

平成7年度～平成8年度
文部省科学研究費補助金
基盤研究(C)(2)
研究課題番号 07680025
研究成果報告書

新しい衣料素材の表面特性評価 に関する研究

平成10年11月

研究代表者 木下 瑞穂

(広島大学 教育学部 助教授)

はじめに

本書は、平成7、8年度にわたり文部省科学研究費補助金基盤研究（C）の交付を受けて行った研究の成果報告書である。

「手触り」は布の性質としてひじょうに重要な因子であるが、これを客観的に評価することはなかなか難しい。特に近年では、新しい加工技術を駆使して従来の布地にはない手触りをもった布地が開発され、現在用いられている風合い計測システムでは評価が困難となっている。手触りであるから、人間が実際に手で「触ってみればわかる」わけであるが、人間の判断とは別に、客観的な評価法は必要であり、また、その研究を通じて「人間の感ずる手触り」とは何かということについて手がかりが得られるのではないだろうか。手触りには摩擦や微少な圧縮などの布の表面特性がかかわっており、表面特性の詳細な測定と分析を先ず行う必要がある。本研究は、表面特性として滑り摩擦力を中心に分析したものであるが、従来の布地の分類を目的とする研究から、「手触りとは何か」という少し次元の異なった研究へつながるものとする。

本研究において特に測定の面で手伝っていただいた研究協力者、また数々の有益な助言を頂いた京都工芸繊維大学繊維学部松尾教授ならびに秋山教授に感謝いたします。

研究組織

研究代表者 木下瑞穂（広島大学教育学部 助教授）
研究協力者 矢野登希和（広島大学大学院教育学研究科博士課程前期）

研究経費

平成7年度	1 5 0 0 千円
平成8年度	3 0 0 千円
計	1 8 0 0 千円

平成10年11月

研究代表者 木下 瑞穂

目次

1. 研究の目的	1
2. KES-SE摩擦感テストによる測定と周波数分析	4
2-1 はじめに	4
2-2 測定法	4
2-3 試料	4
2-4 摩擦力波形とパワースペクトル	5
3. 滑り摩擦力のシミュレーション	11
3-1 シミュレーション方法	11
3-2 パワースペクトル	12
4. 静摩擦荷重・移動速度依存性とクラスター分析による分類	15
4-1 滑り摩擦力測定装置の設計および製作	15
4-2 測定条件の設定	17
4-3 試料	17
4-4 測定条件とMIUとMMD	18
4-5 変動成分の荷重・速度依存性	20
4-6 主成分分析	23
4-7 クラスタ分析	24
5. 総括	27
参考文献	29

付録試料

第1章 本研究の目的

新しい衣料素材

衣服製品は生活者のニーズが多様化し、高級化高付加価値化が進むにつれて、生地 of 風合いがよく、サイズフィット性、温熱的快適性、シルエットなどのいわば感性的性能を有する製品が望まれてきている。また、社会の高齢化が進むにつれて、老人の運動機能にマッチした衣服のサイズ適応性、温熱的な快適性を設計・評価する技術や、運動機能、感覚機能が未発達な乳幼児に対しても同様に人間に優しい技術の開発が強く望まれている。また経済的な状況として、1970年代にオイルショックやアメリカからの繊維製品締め出し、東南アジア地域からの安い製品の流入などが重った。国内の繊維メーカーは、日本の技術力を生かし、各社がそれぞれ独自に外国では真似のできない日本人の感性を生かした新規の製品の開発に取り組んだ。その結果「新合繊」とよばれる高感性テキスタイルが誕生した。そのコンセプトはニューシルキー、ドライタッチ（ニューレーヨン）、ソフト（薄起毛）、ナチュラル（ニュー梳毛）といった着用快適性である。新合繊においては、着用快適性の主要因の中で、接触感・接触温冷感に関係づけられている肌触りがもっとも重要であり、また、快適性に関連した生理的環境要因、心理的環境要因として、その風合いは非常に重要な要素である。

ところで、新合繊の一般的な特徴は”柔らかい”ことであり、諸々の力学的な特性値は、従来の布にくらべて小さな方へ相当程度シフトしている。このために従来使用されている評価法が、測定感度や解析方法等の点で必ずしも布の特徴を抽出するのには適しているとは言えない状況になっている。

風合いの研究

風合いに関する研究は1920～1930年代にまでさかのぼる。風合い研究は二つの流れの中でとらえることができる。一つは、感覚評価量の解析に重点を置いた研究であり、他の一つは布の力学的因子に重点を置いた研究である。

風合い研究の二つの流れのうち、官能評価の風合い研究はH. Binnsの論文¹⁾ また布の力学的因子の風合い研究はF. T. Peirceの論文²⁾ に端を発していると言われている。その後、1950年頃まではさしたる進歩は見られなかったが1950年以後に再び風合いに関する論文が

比較的多く発表されるようになった。我が国でこの研究が特に進んだのは1970年以後であるといえる。松尾³⁾は風合いの形容語と力学的特性を関連づける手法を提案し、風合い計測のシステム化に関連する一連の研究を行っている。また風合い解析のプロジェクトは、1970年に川端⁴⁾の提唱により京都大学においてはじり、風合いに関する力学的特性の計測機器が開発された。さらに力学的性質の計測値から風合い値を直接に求める客観的風合い評価法の開発へとすすみ、人間による風合いの主観評価値と力学的性質の値を関連づけることに成功した。

風合いに限らず一般的に官能特性は、できれば物理・化学的な特性に置き換えることが望ましいとされている。風合い計測においては、官能特性を尺度化する一方、官能特性に関連する物理的特性を測定することにより、官能特性と物理特性を対応づける方法は常套手段として用いられる。この場合、次の点が問題になる。

- (1) 問題となる風合いの官能特性をいかに表現し、人間の評価とし尺度化するか
- (2) 風合いに関連する物理的因子をどのような測定法と、測定値によりの確に捉えるか
- (3) 官能特性と物理特性の測定値をどのような方法により対応付けるか

風合いは多面性を有しているために、風合い計測には風合いに関連する物理的因子を個々に測定し、官能量と物理量との関係を考察する手段をとることになる。風合いの物理的因子としては、熱や水分の物理的刺激を除いた場合には、次の7因子が関係することが明らかになってきている。それらの因子は(1)重さ、(2)厚さ、(3)伸長特性、(4)圧縮特性、(5)せん断特性、(6)曲げ特性、(7)表面特性(粗さと摩擦)である。現在までに風合いの物理的因子の測定法は種々考察されているが、特に川端によって開発されたKESシステム(Kawabata Evaluation System)は実用化されているものとして有名である。

布の風合い判断は、それが繊維製品の製造や流通における熟練技術者であっても、また一般消費者であっても、個人的な標準に基づく触感覚によって点検されており、また、“かたい”、“やわらかい”、“紙のようである”など多くの種類の言葉で表現されている。熟練者は普通、いくつかの共通の言葉で風合いを表現している。“こし”、“ぬめり”、“ふくらみ”などは、それらの例であるが、それらについての明確な定義はない。新合繊の微妙な手触り感の違いも、人間が実際に手で触り、感覚器官でとらえたデータを脳で処理し判断している。よってそこに何らかの物理特性の違いが存在し、またそこには人間の経験といったものも関連するものと思われる⁵⁾。

触覚の計測では各因子に分離して測定し、総合評価するのが理想であるが、実際には分離して測定することが難しく、測定対象の概念が明確でないものが多い。そのため、風合いの計測評価は、官能特性を尺度化するとともに、官能特性に関連するであろう物理特性を測定し、官能特性と物理特性を対応づける方法がとられている。

本研究の目的

手触り感に関する風合い表現と布の力学特性との関連を解析するためには、手触りに関すると考えられる布の力学的表面特性を詳細に検討する必要がある。「布を手で触る」という動作は、まず布に触れたとき布の表面をおさえ、次に指先を布表面上で移動させるという一連の動作である。このとき指は布の表面の凹凸を圧縮させながら移動することから、布の圧縮特性、布と指との摩擦特性が評価の対象となっている。また指には指紋があり、布の表面の凹凸と複雑に相互作用していると考えられる。

本研究は、力学的表面特性のうち、もっとも手触りに関係が大きいとされる摩擦特性を中心に、“柔らかい”という特徴をもつ新しい手触り感素材に対し、どのような測定条件でどのような解析をすれば、その微妙な手触り感を捉え評価できるのかを検討することを目的としておこなうものである。摩擦特性の測定には、ある基準面との摩擦、同じ布と布の摩擦などを測定する方法があるが、本研究ではライン配列形状の摩擦子を用いた測定に限定し、系統的な測定条件下で測定をおこない、摩擦力の時系列データ摩擦力の波形そのものを詳細に解析することにより、手触り感との関連を検討する。

第2章. KES-SE摩擦館テストによる滑り摩擦力の測定と周波数分析

2-1 はじめに

現在風合い計測システムとして代表的なKESにおいては、布の摩擦感特性に関して、布の平均摩擦係数(MIU)および平均摩擦係数の平均偏差(MMD)で評価している。MIUは人間が物体の表面をこするときに感じるすべりやすさ、すべりにくさ、MMDは滑らかさ、ざらつき感との相関がある特性値であり、手触り感の評価に重要である。しかし、MMDは平均値からの変位の平均であり、平均化するときに変動の速さなどの細部の情報が失われ、異なった波形の摩擦力でも、同じMIU, MMD値を持つ場合があり得る。織物の布地は織り構造という比較的大きな揺らぎを含んだ周期的な幾何学的構造を持ち、さらに織物を構成する糸や繊維自体が複雑なランダムな構造を含んでいるが、滑り摩擦力にはこのような幾何学的構造が何らかの形で反映されていると考えられる。したがって、人間が感ずる手触りと直接的な関係があるかどうかは未知数であるものの、周波数分析を含め、滑り摩擦力の波形を分析することにより多くの情報を得られることができるものと考えられる。

2-2 測定法

滑り摩擦力の測定にはKES-SE摩擦感試験器(カトーテック(株)製)を用いた。一般的に用いられ、信頼性も十分認められている計測装置である。KES-SE装置の摩擦力のアナログ出力信号をAD変換器を介してパソコンに取り込んだ。この際に、摩擦力が20.0[gf]に相当するアナログ出力(1V)を12ビットに量子化し、サンプリング間隔10[ms]、サンプリング点数は2048とした。本装置の標準的な使用法では、50[gf]がフルスケールであるが、静摩擦荷重、新合織布が一般的に摩擦が小さいなどの諸条件から、このような設定とした。布と摩擦子の相対移動速度は1.0[mm/sec]であるので、約20[mm]の間を測定したことになる。KES-SE装置ではMIUやMMDをもとめる積分回路の前にhigh-passフィルタを入れているが、本研究では、データ解析をコンピューター上でソフト的に行うので、必要であればソフト的にフィルターをかけることも可能であるため、出力電圧を直接AD変換して取り込んだ。

摩擦子はKES-SE装置で標準的に用いられている直径0.5[mm]のピアノ線を20本並べた

ライン配列形状 (line array) のものを使用した。

2-3 試料

試料は、(社)繊維学会編「最新衣料素材」⁶⁾の布試料の中、風合い・外観特徴新素材に分類された試料を使用した。この試料集は、最新の衣料素材をはじめ、現在、特化素材として商品化されている代表的なものを集めたもので、繊維・アパレル関連企業の研究技術者、生産、営業関係者、大学教育機関の研究者、学生、その他一般ユーザーにも活用されている。風合い・外観に関するものうち、60種類 (No.1~No.60) を選び、試料とした。試料の大きさは170×150mmである。比較のためにレギュラーのポリエステル、ナイロン、アクリルおよび絹、ウール、綿の布試料も用いた (実験用白生地セット：関西衣生活研究会)。

これらの試料の手触り感の分類として、京都工芸繊維大学で行われた官能検査の結果⁷⁾を用いることにした。官能検査による分類は、専門家がその手触りとして代表的な試料決め、その代表試料に近い手触りのものを被検者が選択する方法でおこなわれた。官能検査による分類を表2-1に示す。

表2-1 官能検査による新合織布の分類

グループ	試料番号
薄起毛調	05, 25, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 36, 37, 49
ドライタッチ調	01, 03, 10, 12, 13, 40, 41, 46, 52
ニューシルキー調	02, 04, 05, 06, 09, 12, 27, 28, 30, 31
ニュー梳毛調	06, 33, 44, 46, 47, 49, 54, 55

表中で□で囲んである試料は被検者の意見が分かれ、2つのどちらのグループに帰属させるべきか判別が難しい試料であり両グループそれぞれに入れてある。また、異なる判定をした人数が2名以下の場合には多い人数の判定したグループに帰属してある。新合織の各グループ、薄起毛調、ドライタッチ調、ニューシルキー調、ニュー梳毛調はそれぞれ PS, RD, NS, NW をレギュラー布の綿、毛、絹、ナイロン、ポリエステル、アクリルはそれぞれ CT, WL, SLK, NYL, PE, ACR を略号として表示する。

2-4 摩擦力波形とパワースペクトル

図2-1 (a) ~ (f) は今回測定した試料の中から任意に選んだ6つの試料の摩擦力の波形である。図では摩擦力を摩擦係数に直し、横軸に摩擦子の移動距離をとって示してある。それぞれ特徴的な波形をしており、含まれる振動成分の周期、振幅が異なっていると考えられる。このような様々な波形が得られる原因は摩擦子の接触面の形状と関係がある。KES-SE装置による標準的な測定において、摩擦子として指紋を模した形状であるピアノ線を1センチあたり20本並べたライン配列形状のものを使用している。このような形状の摩擦子ではピアノ線による凹凸と布地の凹凸が接触し複雑な波形の摩擦力が観測されるものと思われる。

KES-SE装置による測定では特性値として、MIUとMMDを装置内の積分回路で求めている。変動成分に関する指標である平均偏差は、摩擦力の変動の大きさを表しているが、変動成分の周波数に関する情報は含まれていない。そこで、これらのデータの中にどのような周波数の振動成分が含まれているかを調べるために、FFTによりフーリエ変換して周波数分析を行った。一例として図2-1-(a)のデータをフーリエ変換して得られたパワースペクトルを図2-2(a)示す。スペクトルの特徴は、波数が2, 4, 6 [mm⁻¹]の位置にピークが見られること及び、波数2.8 [mm⁻¹]の成分が含まれることである。2 [mm⁻¹]は

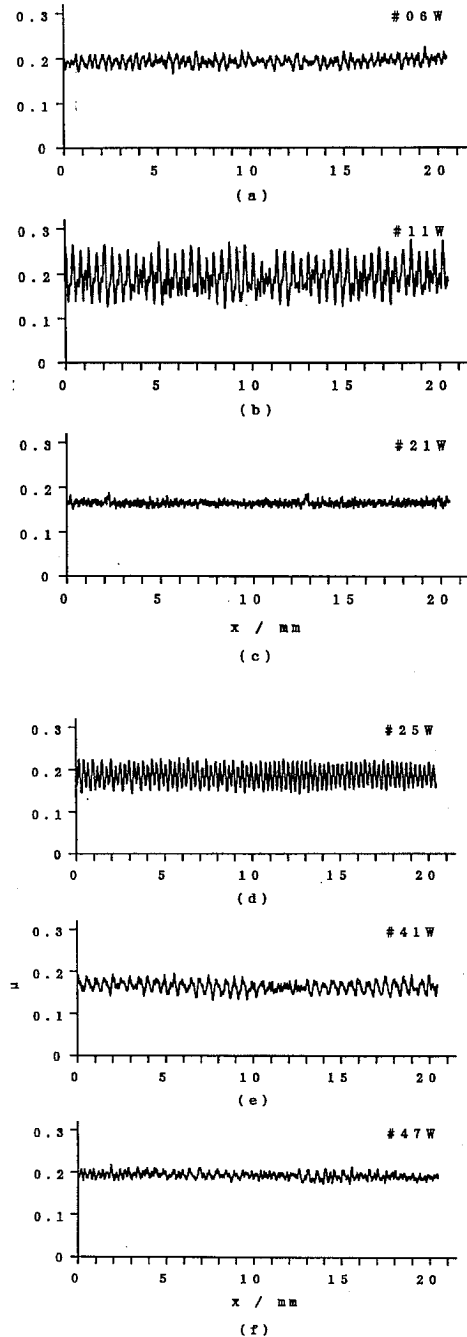


図2-1 摩擦力波形の例
x : 摩擦子の移動距離 x
y : 摩擦係数 μ

摩擦子のピアノ線のピッチ0.5[mm]に一致しているので、摩擦子の凹凸に対応したものであり、4および6[mm⁻¹]のピークはその高調波成分と考えられる。2.8[mm⁻¹]のピークは、横糸の織密度[2.8本/mm]に一致しており布の縦方向の凹凸に関係していることがわかる。#06の試料に限らず、この測定系で測定した摩擦力の時系列データには、摩擦子のピアノ線の間隔に対応した周波数成分及びその高調波が含まれるている場合が多い。しかし波数2, 4, 6などの成分(摩擦子成分と呼ぶことにする)がどのくらい含まれるかは、試料布によってそれぞれ異なっていた。また、図2-2(a)では波数が2.8の位置に大きなピークが見られたが、波数が2, 4, 6以外の成分(以下織密度成分と呼ぶことにする)の大きさも試料毎に異なっていた。以下に摩擦子成分と織密度成分について、1) 両成分ともに相当程度含まれる、2) 織密度成分は小さく摩擦子成分が大きい、3) 摩擦子成分がひじょうに大きい、4) 両成分ともに小さい、5) 織密度成分が大きく摩擦子成分が小さい、の5つに分けて各試料のパワースペクトルの特徴について述べる。

1) 図2-2(a)~(c)は#6, 7, 9の試料のパワースペクトルである。これらのスペクトルは、波数が2の倍数の位置にピークをもち、また2の倍数以外の波数にも比較的大きなピークをもつのが特徴である。このピーク位置は横糸の間隔に一致している。同様の特徴

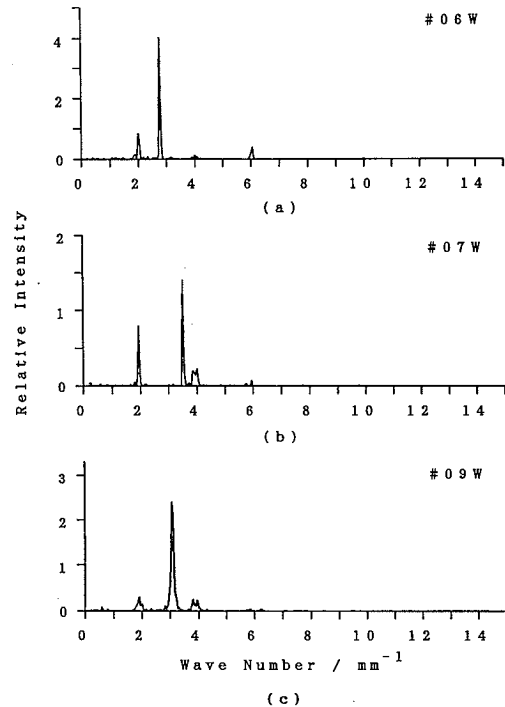


図 2-2 摩擦力のパワースペクトル
(a) #06, (b) #07W, (c) #09W

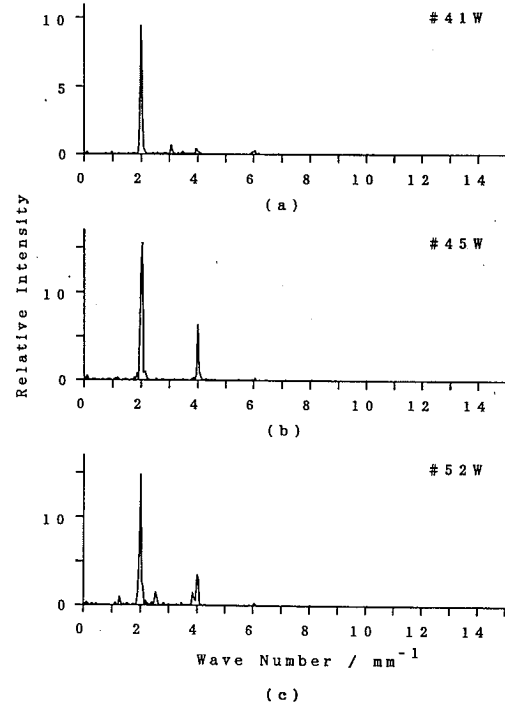


図 2-3 摩擦力のパワースペクトル
(a) #41W, (b) #45W, (c) #52W

をもつ試料には他に #12W, #13W, #15W, #22W, #31Wなどがり, いずれの試料も平織りで縦糸曲がりであった。また, これらの試料はシルク調・ニューシルキーに分類されているものが多い。

2) 図2-3(a)~(c)は#41W, #45W, #52Wのパワースペクトルである。これらの特徴は, 波数が2の倍数の位置に比較的大きなピークをもち, ほかにはほとんど振動成分が見られないことである。このグループに入る試料は他に#48W, #55Wなどがあり, ウール調・ニュー梳毛調またはレーヨン調・ドライタッチの分類に入るものが多い。

3) 図2-4(a), (b)に示したスペクトルはそれぞれ, #08F, #14Fのものである。これらのスペクトルの特徴は, 波数が2または4の位置に極端に大きなピークをもつことである。この原因は, #08の縦糸の密度が2 [本/mm], #14の縦糸の密度が4 [本/mm]であり, 摩擦子の凹凸ピッチと同じであるかまたは2倍になっていることによると考えられる。すなわちこの大きな振動成分は布の構造と摩擦子の構造との共鳴によるものであり, 布の本来の摩擦特性とは直接の関連はないと考えられる。図2-4(c)は#25Wのスペクトルであり, 波数3.9に大きなピークが見られる。この試料の場合横糸の密度は3.9 [本/mm]であり, 完全に摩擦子の凹凸ピッチの2倍ではないものの, 4に近いためにやはり共鳴が起こり, 大きなピークが生じたものと考えられる。

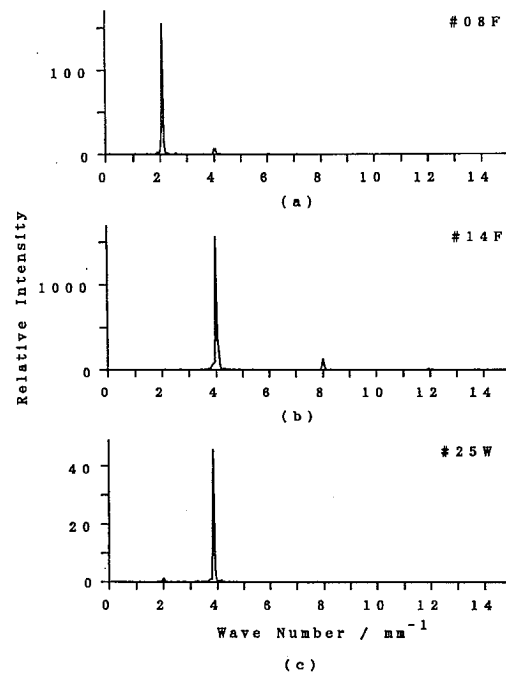


図 2-4 摩擦力のパワースペクトル
(a)08F, (b)#14F, (c)#25W

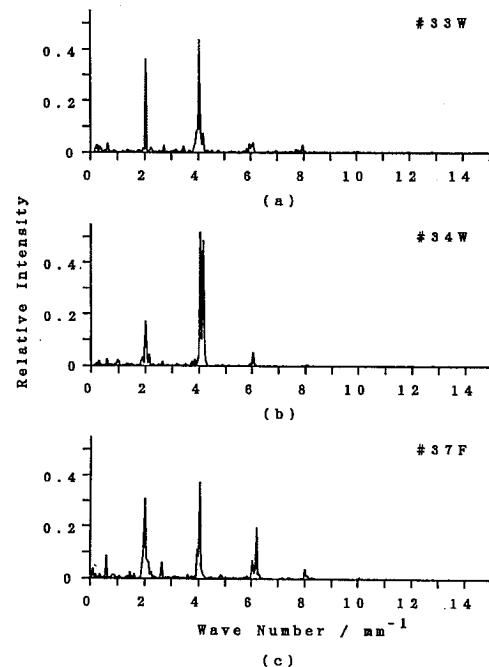


図 2-5 摩擦力のパワースペクトル
(a)#33, (b)#34W, #37F

4) 図2-5(a)~(c) はそれぞれ#33W, #34W, #37F, のスペクトルである。このグループの特徴は全体的に振動成分が少ないこと及び波数4などの成分が、波数2の基本波成分に比べて大きいことである。これら試料の糸の密度はいずれも4や6の近辺にはないので、織り構造に起因するものではないと考えられる。このグループには、割織型極細繊維を用いた薄起毛調のものや、マイクロボイド繊維やマイクログループ繊維を使用したものが多い。また縦糸曲がりや横糸に強い撚りが掛かっている試料では、横方向の測定で高調波成分

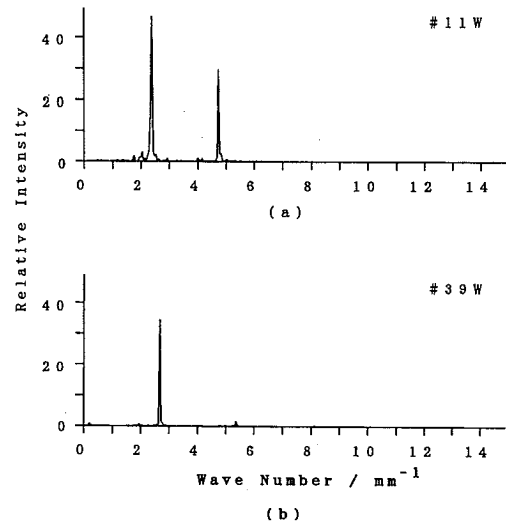


図2-6 摩擦力のパワースペクトル
(a)#11W, (b)#39W

が大きくなり、縦方向の測定では高調波成分は小さい結果となった。以上の事実からこのグループの試料では繊維表面が滑らかな曲面ではなく、エッジや凹凸をもっているため、摩擦子の凹凸と接触する際にパルス状やノコギリ波状の高い周波数を含んだ力が発生し、高調波成分が相対的に大きくなっているものと推測される。

5) 図2-6 (a), (b) それぞれ#11W, #39Wのスペクトルである。これらのスペクトルの特徴は、波数が2の倍数成分は小さく糸の密度に対応した成分が大きいことである。#11Wでは横糸の密度2.4本/mmに対応して、波数が2.4及びその2倍の4.8の位置に大きなピークが見られる。#39Wでは、横糸の密度2.7[本/mm]に対応して波数2.7の位置に大きなピークが存在する。ただし、その2倍の5.4の位置のピークは小さい。これらの試料は他の新合織試料布とはまったく異なった手触り感があった。

以上、新合織布について、摩擦力の周波数スペクトルのいくつかのパターンを示したが、ここにあげた試料はその特徴がかなりはっきりしたものを選んであり、試料の中にはこれらのパターンの中間的なものも数多くある。

次にレギュラー布のスペクトルについて検討した。図2-7にレギュラーのナイロン、ポリエステル、アクリル及びシルク、コットン、ウール素材の布地に対する摩擦力の測定から得られたパワースペクトルを示した。図7(a)のナイロン、(b)のポリエステルでは、2の倍数の波数成分は少なく、織密度に対応した波数成分が大きくなっていることがわかる。これに対し(c)のアクリル及び(f)のウールは波数2, 4の成分が大きく他の成分は小さい。

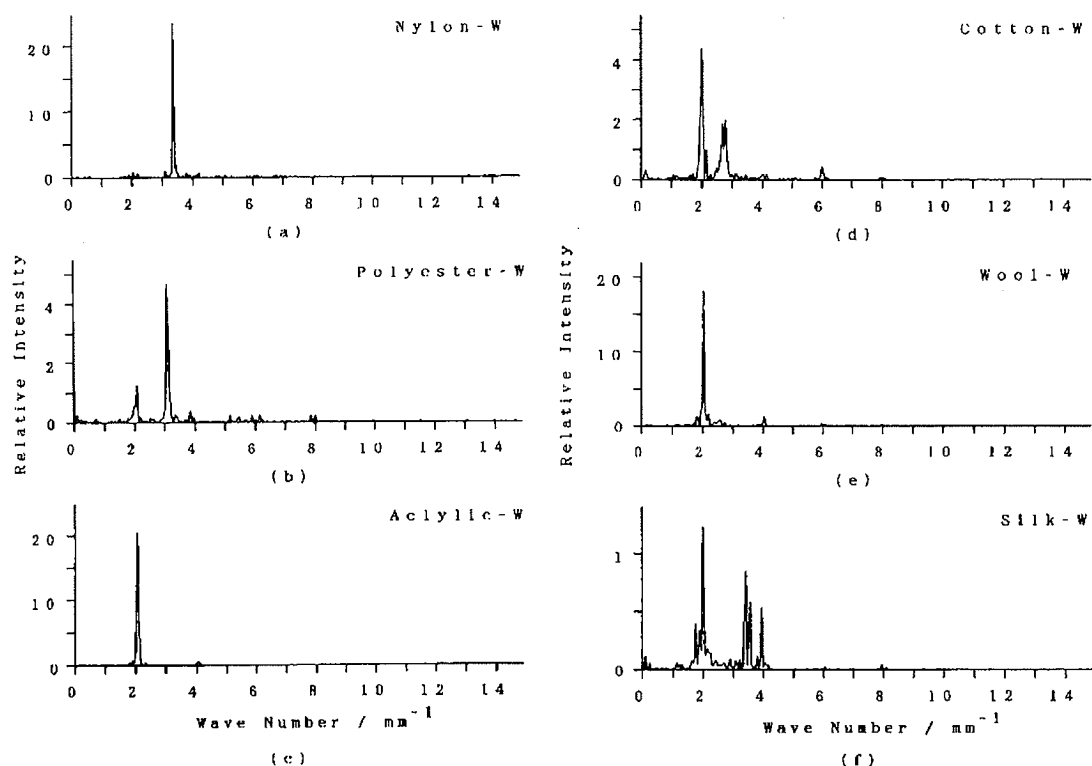


図2-7 レギュラー布の摩擦力パワースペクトル

(a)ナイロン, (b)ポリエステル, (c)アクリル, (d)綿, (e)羊毛, (f)絹

このパターンはウール調・ニュー梳毛調の試料が多く含まれる図2-3のグループのスペクトルに類似している。また(d)のシルク, (e)のコットンでは, 波数2, 4の成分及び織密度に対応した成分がみられ, シルク調・ニューシルキー試料が多く含まれる図2-2のグループのスペクトルに類似している。

以上のように, 摩擦力の時系列波形は, 試料それぞれに特徴的な形状をしており, そこに含まれる周波数成分は, そのパターンを概観するだけでも定性的にその試料の手触りと関連がみられる。パワースペクトルの強度はMMDの大きさに対応していると考えられるので, 各周波数成分の含まれるパターンが, 手触りと関連しているとするば, 得られる情報が格段に増加したわけである。以後の章において, 周波数成分の含まれ方と手触りについて検討する。

第3章 摩擦力発生シミュレーション

3-1 シミュレーション方法

第2章において、摩擦力の時系列データにはいくつかの振動成分が含まれることが明らかになった。またそのパワースペクトルがその試料の手触りと関連があるらしいことが示唆されたが、その特徴的なスペクトルパターンがどのようにして生じるのか明らかにするために簡単な滑り摩擦力発生シミュレーションを行った。

摩擦力は布の凹凸と摩擦子の凹凸の相互作用として生じるものであり、布の表面の凹凸形状、凹凸の変形し易さ、二次元的な分布状態などが関係していると考えられる。ここでは、布表面の凸部と摩擦子の凸部が接触したときに主な力が発生すると仮定し、布表面の凸部を、摩擦子と相互作用する点という意味で作用点と以下呼ぶことにする。作用点は布表面に2次元的に分布しているはずであるが、計算を単純化するために摩擦子の移動方向に一次元的に並んでいるものとする。つまり摩擦子の移動方向に関してのみ力の変化を考え、移動方向に対して垂直方向には力の分布は考えないことにする。さらにすべての作用点は摩擦子の凸部との接触によって同じ力が発生するものとする。作用点上を摩擦子が通過するとき、作用点は摩擦子のピアノ線 20 本と連続して相互作用するので、個々の作用点によって生じる力は、図 3-1(a)に示したように 0.5mm の波長の波が 20 個連なったものとなる(図では簡略のため 10 個にしてある)。またすべての作用点で同じ形状の力が、作用点の間隔だけずれながら生じる。したがって摩擦子全体が受ける力は図 3-1(b)に示したように、20 個連なった力の波を、作用点の間隔だけずらしながらつぎつぎと加え合わせたものとなる。今回の計算で作用点で生じる力の形状は、正弦波および正弦波を 4 乗、16 乗したものを用いた。正弦波を 4 乗、16 乗したのは含まれる高調波成分を変化させるためである。これらの力の形状を図 3-2 に、含まれ

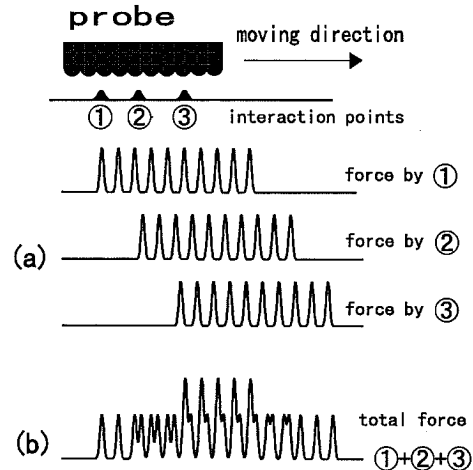


図 3-1 摩擦力シミュレーションの図解

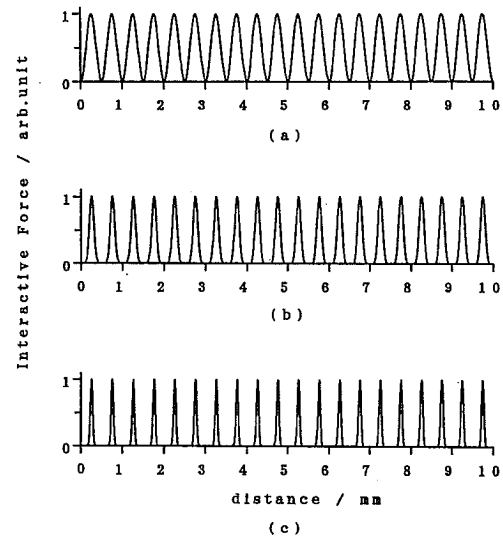


図 3-2 作用点で生じる力の形状のバリエーション

る周波数成分を図 3-3 に示す。さらに、実際の布においては、糸の中心間距離は一定ではなく平均値の周りに揺らいでいると考えられるので、作用点が完全に等間隔な場合と間隔に揺らぎがある場合について計算を行った。揺らぎは平均間隔を中心に正規分布しているとし、その標準偏差を平均間隔の 1% 及び 10% とした。作用点の平均間隔は 0.1 ~ 0.5mm の範囲で 0.01mm ずつ変化させて計算した。また測定データのサンプリング間隔に合わせて、摩擦子が 0.01mm 移動する毎に力の計算を行った。40mm にわたって計算を行い、摩擦子の移動距離が 10mm の地点から 2048 点のデータを採用し、FFT をおこなってパワースペクトルを得た。

3-2 パワースペクトル

図 3-4 ~ 3-6 に計算結果例を示す。図中の EX1, EX4, EX16 はそれぞれ力として正弦波、正弦波の 4 乗、16 乗を用いたこと、FC0, FC1, FC10 はそれぞれ作用点の間隔の揺らぎの標準偏差が 0, 1, 10%, INT31 は、作用点の平均間隔が 0.31mm であることを示している。

図 3-4 は作用点の間隔に揺らぎがない場合の計算結果である。作用点が等間隔であれば、その間隔に対応した波数及び高調波成分のみが含まれ、摩擦子の凹凸周期に対応する波数 2 及びその高調波成分は生じていない。摩擦子のピアノ線一本一本は、作用点の間隔を周期とした力を感じるのので、摩擦子全体としては周期的な力を、位相を 0.5mm ずつずらして 20 回加えたものとなる。周期が一定の波をいくら加えあわせてもその周期は変化しないので、摩擦子の凹凸の周期は含まれないことがわかる。この事情は、なめらかな正弦波であっても、高調波を多く含む鋭いパルス状の波であっても同じである。図 3-4 のスペクトルパターンは図 2-のグループ及びレギュラーナイロン、

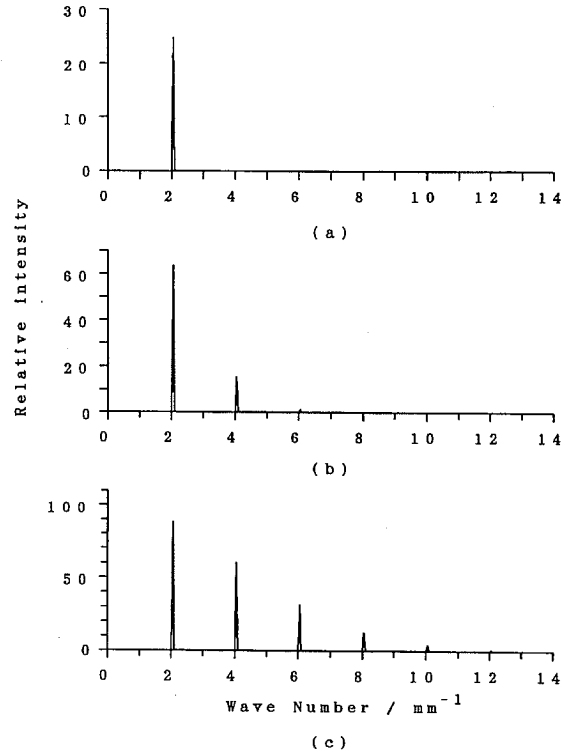


図 3-3 図 3-2 のパワースペクトル

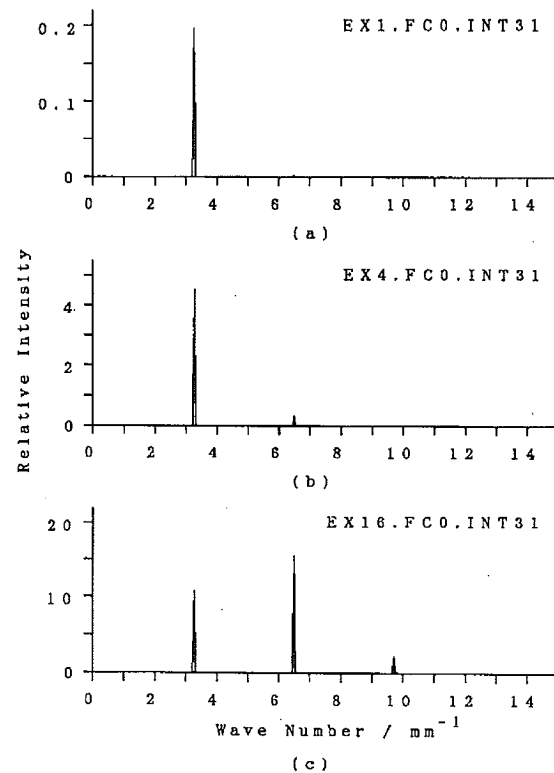


図 3-4 作用点の間隔が一定の場合の摩擦力のパワースペクトル

ポリエステルのもに類似している。

図 3-5, 図 3-6 は作用点の間隔に揺らぎがある場合の結果である。図 3-5 は揺らぎの標準偏差が平均間隔の 1%, 図 3-6

は 10% のものである。揺らぎがある場合には, 波数が 2, 4, 6 などの振動成分が生ずることがわかる。図 3-5, 図 3-6 を比較

すると, 揺らぎが大きいほどこれらの波数の振動成分は大きくなっている。また作用点の間隔に対応した波数の振動成分は, 揺らぎが大きいほど小さくなっている。さらに,

作用する力の形状がパルス的になり高い周波数が多くなるほど, 摩擦子の凹凸の間隔や作用点の間隔の 2 分の 1, 3 分の 1 の波長をもった成分が大きくなっていることがわかる。図 3-5 のスペクトルパターンの特徴は, 2, 4, 6 などに小さなピークがあり,

作用点の間隔に対応する波数に比較的大きなピークが存在することであるが, これは図 2-2 に示したグループや, 綿, シルクのスペクトルと類似している。一方図 3-6

のスペクトルパターンの特徴は 2, 4, 6 などに大きなピークが存在し, 作用点の間隔に対応した波数のピークはかなり小さいことである。これは図 2-3 のグループ, 図 2-7

(c) のアクリル, 図 2-7(e) のウールのパターンと類似している。今回用いたアクリル布は紡績糸であり, またウールもふくらみのある紡績糸による織物であることから, 布表面の凹凸がかなりランダム性をもっていて,

これがスペクトルに反映されているのではないか。図 2-3 の中のウール調・ニュー梳毛調の試料の場合も, ウールを模すために凹凸のランダム性が付与されているのではないかと考えられる。また図 2-3(a) の #41

はドライタッチ調であるが, 糸にランダムなふくらみをもたせて, 織物表面の微細な凹凸が肌と点接触することによりさらさら感を出しており⁶⁾, 凹凸のランダム性ということではウール調・ニュー梳毛調のもの

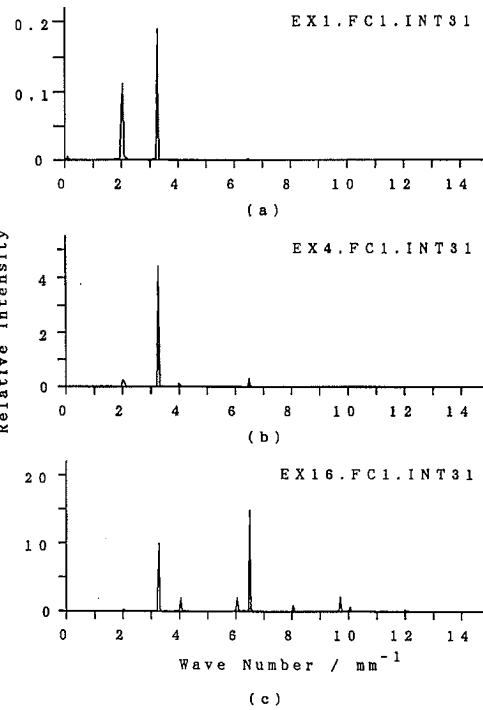


図 3-5 作用点間隔が 1% の正規分布揺らぎを持つ場合の摩擦力パワースペクトル

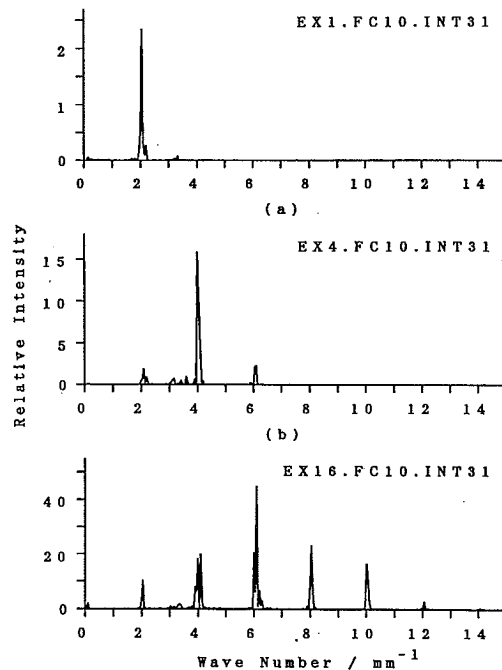


図 3-6 作用点間隔が 10% の正規分布揺らぎを持つ場合の摩擦力パワースペクトル

類似しているのではないかと考えられる。ウール調・ニュー梳毛調との違いは平均摩擦係数が小さいことである。また、図は掲げていないが、作用点の間隔が摩擦子の凹凸の間隔と同じであるか、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ などの簡単な整数比のときには、その波数のピークが非常に大きくなり、間隔が簡単な整数比に近い場合においても相当大きくなった。このような現象は図 2-4 のグループのスペクトルでも見られた。

以上のように、ごく簡単なシミュレーションであるが、摩擦力のパワースペクトルパターンがどのようにして生じるのかが明らかになった。しかし、パワースペクトルのパターンと人間が感じ取る手触りとどのような関連があるのかは現在のところ不明であり、今後検討する必要がある。

第4章 静摩擦加重，摩擦子移動速度と滑り摩擦力波形

前節において，滑り摩擦力の時系列データに対して周波数分析を行うことが，布を分類または差別化するにあたって有効であることがわかった。またさらに，布の摩擦力は押圧力や運動速度に依存性があることが知られており¹⁸⁾，その布の特徴を抽出するためには単一の測定条件による測定のみでは限界があると考えられる。静摩擦荷重及び摩擦子の移動速度の測定条件を系統的に変化させ測定することができればより多くの情報がえられると考え，静摩擦荷重及び摩擦子の移動速度を自由に变化させることのできる摩擦力測定装置を新たに製作することにした。

製作した装置により測定を行い，得られた滑り摩擦力の時系列データに対して解析を行い，新合織布の測定条件依存性の特徴，官能検査との相関性について検討した。

4-1 滑り摩擦力測定装置の設計および製作

作製した測定装置のブロック図を図4-1に示す。測定装置は，摩擦子，摩擦子移動用の1軸ステージ，摩擦子に生ずる力の検出器で構成される測定系と，摩擦子の移動速度の制御，データサンプリングおよびデータ処理をおこなう，パソコンを中心とした制御・処理系から成っている。

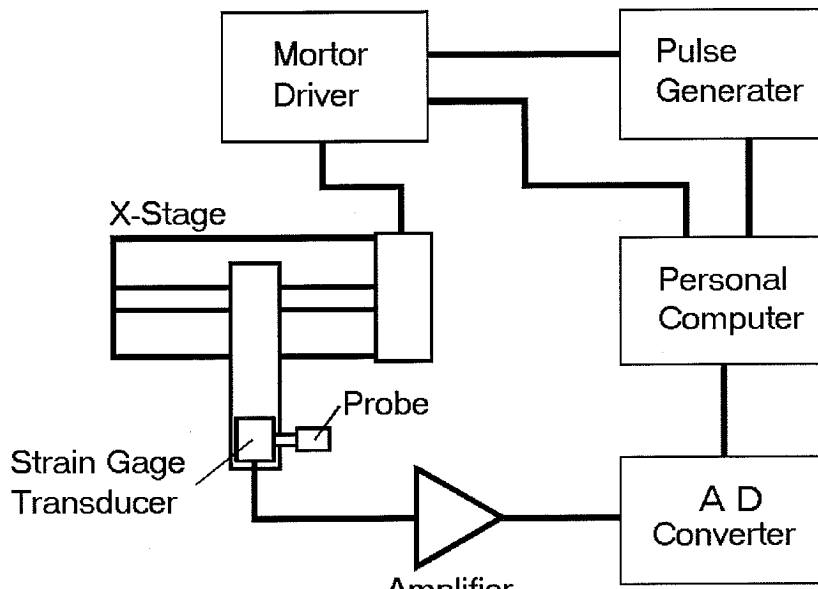


図4-1 測定装置のブロック図

摩擦子の移動用 1 軸ステージには、移動の滑らかさとピッチの正確さの点から、光学用 1 軸ステージを用い、5 相パルスモータにより制御した。ステージのネジピッチとモータの回転角の関係から、1 パルスあたり $1\ \mu\text{m}$ の移動となり、 1mm/sec で移動させるには $1000\ \text{パルス/sec}$ のパルス速度でモータを駆動する。パルスモータによる駆動では、原理的にパルス周波数を基本波としたノイズが発生するが、今回測定した周波数帯とは異なる周波数領域にあるため、測定には影響なかった。

装置各部の仕様は以下の通りである。

1 軸ステージ : 京都光学(株)製 $\pm 50\text{mm}$ ストローク, ネジピッチ $1\ \text{mm}$
ひずみゲージ型検出器 : 共和電業 LSV-100GA
ストレインアンプ : 共和電業 DPM-711B
パルス発生器・コントローラ : NF回路設計ブロック, ファンクションシンセサイザー
5 相パルスモータコントローラ : 自作
AD変換器 : マイクロサイエンス ADM-5198BPC
パーソナルコンピューター : エプソン PC-286VF

AD変換

摩擦力が、摩擦子が $5\ [\mu\text{m}]$ 移動するごとにサンプリングされるように、摩擦子の移動速度にあわせてサンプリング周波数を調整した。また、静摩擦荷重に応じて、 $5\ [\text{gf}]$ または $10\ [\text{gf}]$ をフルスケールとして 12 ビットに量子化してサンプリングした。

摩擦子

摩擦子は直径 $0.5\ [\text{mm}]$ のピアノ線を 20 本並べたライン配列形状のものをを用いた。接触面積は $100\ [\text{mm}^2]$ ($10\text{mm} \times 10\text{mm}$) である。

制御プログラム

装置の制御、データ収集、解析のプログラムは、N88BASIC, アセンブラ, MSC++ を用いて作成した。

4-2 測定条件の設定

KESの標準的な測定条件は動摩擦荷重は25, 50 [gf]であり, 摩擦子移動速度は1 [mm/sec]である。しかし, 新合繊維の微妙な表面感覚を検出するためにはさらに軽い荷重で測定を行う必要があることが予想される。また移動速度依存性について検討するために移動速度を変化させた一連のデータが必要である。

検出器の周波数特性, 解析に必要と予想される滑り摩擦力の周波数領域, パルスモータ駆動によるノイズの影響等を考慮し, 以下のような測定条件を設定した。

静摩擦荷重 : 5, 10, 15, 20, 25 [gf]

摩擦子移動速度 : 1, 5, 10, 20 [mm/sec]

摩擦子移動距離 : 往路50 [mm], 復路50 [mm]

測定距離 : 往路の約20 [mm]

測定方向 : たて糸方向

測定室温 : 20 [℃]

測定室湿度 : 40~60 [%]

測定回数 : 布地の測定場所を変えて3回

4-3 試料

新合繊維の試料, レギュラー布試料とも, 第2章と同じものを使用した。2-3節(p5)を参照。

4-4 測定条件とMIUとMMD

布の滑り摩擦測定では、垂直加重の違いにより、摩擦係数が変化することはよく知られている。平均摩擦係数MIUは周波数分析をした場合の波数0の直流成分と同等の情報である。MIUを、加重、速度に対してプロットした例を図4-1～図4-3に示す。図4-1は試料#02のMIUで、加重に対してはほとんど変化せず、速度の増加とともに大きくなっている。図4-2は#37の試料の場合であるが、加重の増加とともにMIUは減少し、速度の増加とともにMIUは増加している例である。図4-3は試料#32の場合であるが、加重、速度双方の増加とともに大きくなっている。このように、MIUの加重および速度に対する依存性は、様々であり、ニューシルキーのタイプではほとんど依存性のないものも多かった。また、同じ手触り感グループに属する試料でも異なる変化をするため、MIUの変化パターンが、手触りとどのような関係があるかは不明である。ただし、MIUの絶対値は手触りと密接な関連があることはよく知られており、本研究の結果も矛盾するものではない。例えばPSのタイプは比較的大きく、RDのタイプは総じて小さいわけであるが、絶対値の議論について秋山ら⁷⁾が詳細におこなっているののでここでは述べない。

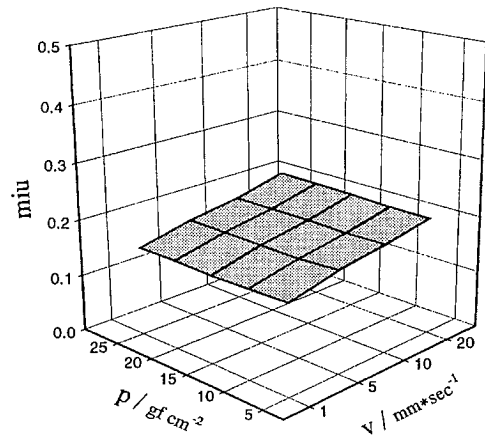


図4-1 平均摩擦係数の静摩擦加重および速度依存性, 試料#02

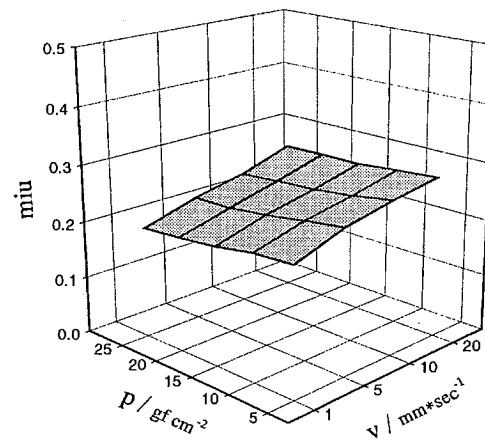


図4-2 平均摩擦係数の静摩擦加重および速度依存性, 試料#37

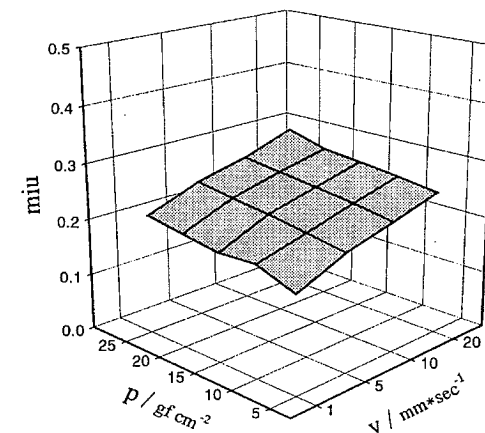


図4-3 平均摩擦係数の静摩擦加重および速度依存性, 試料#32

図 4-4 はMMDの荷重依存性を速度 5 [mm/sec] の場合について示したものである。ドライタッチ調とニューシルキー調の場合、静摩擦荷重の増加にともなってほとんどの試料で値が減少した。薄起毛調とニュー梳毛調では、荷重の増加に対し減少傾向にあるものの、値が上下し一定の傾向がない試料も多い。レギュラー布では、アクリル以外は減少傾向を示し、アクリルのみ値が上下した。加重が大きくなるにつれ、表面の凹凸が平面化し滑らかになることでMMDが小さくなると考えられるが、起毛や糸のふくらみが大きい場合には、一定の傾向がなくなるようである。

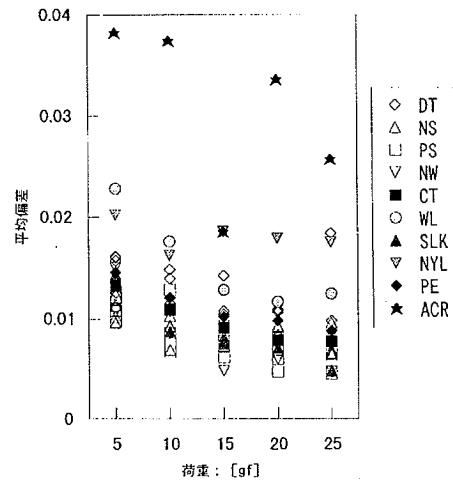


図 4-4 MMDの荷重依存性

図 4-5, 4-6 にMMDの移動速度依存性を示す。平均偏差は上昇すると増加する試料がほとんどである。しかしレギュラー布のアクリルのみ減少傾向にある。また新合織布ではとくに静摩擦荷重が 5 [gf] の場合に薄起毛調以外のグループにおいて増加が著しかった。加重が大きいか場合には、

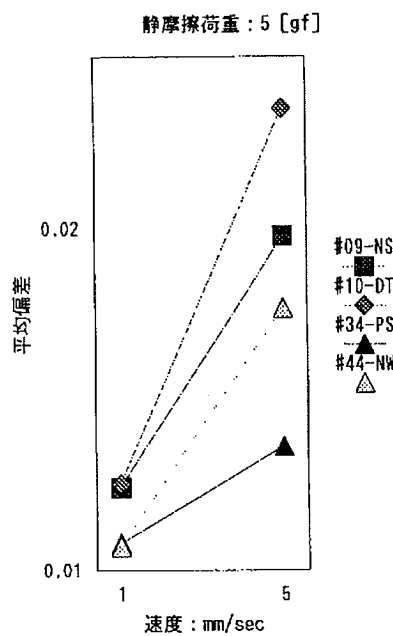


図 4-5 MMDの速度依存性, 新合織

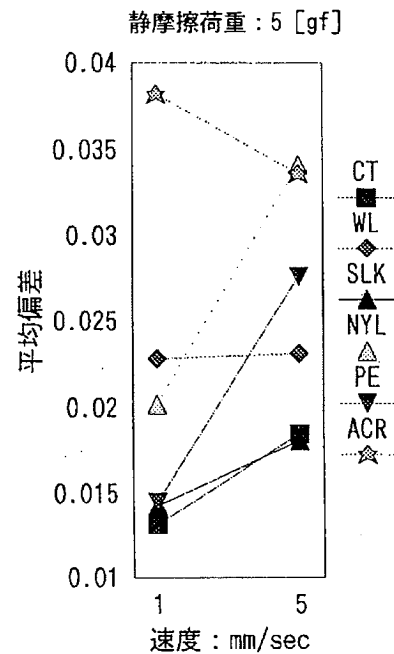


図 4-6 MMDの速度依存性, レギュラー布

5 [gf] の場合に比較して変化がかなり小さかった。新合織布は静摩擦荷重が 5 [gf] というひじょうに小さい場合において移動速度の影響を受けやすく、その構造がひじょうに”柔らかい”ことの現れとも考えられる。

4-5 変動成分の荷重・速度依存性

新合織布，レギュラー布ともに織り密度成分については，測定毎に強度が変化し安定しないことがわかった。本測定では各試料3回ずつ測定を行ったが，この3回が布の異なる場所を測定するために，微妙に角度がずれることによるものと思われる。摩擦子には10 [mm]の幅があるために，織り糸方向とごく小さな角度が生じるだけで位相の異なる波が重ね合わされ強度が極端に小さくなると考えられる。このようにライン配列形状摩擦子は布と接触角度に対して敏感であり，織り密度成分は安定しないため，安定したデータが得られる摩擦子成分のみについて分析することとした。このことに関連して，織り密度成分が大きな試料においてはMMDの値が不安定な場合が多く，織り密度成分の不安定さが影響しているものと考えられた。また移動速度が大きな，10 [mm/sec]と20 [mm/sec]の場合にも，測定データが安定しないことから，2つの速度のデータは分析から除き，1 [mm/sec]と5 [mm/sec]のみのデータを用いることにした。

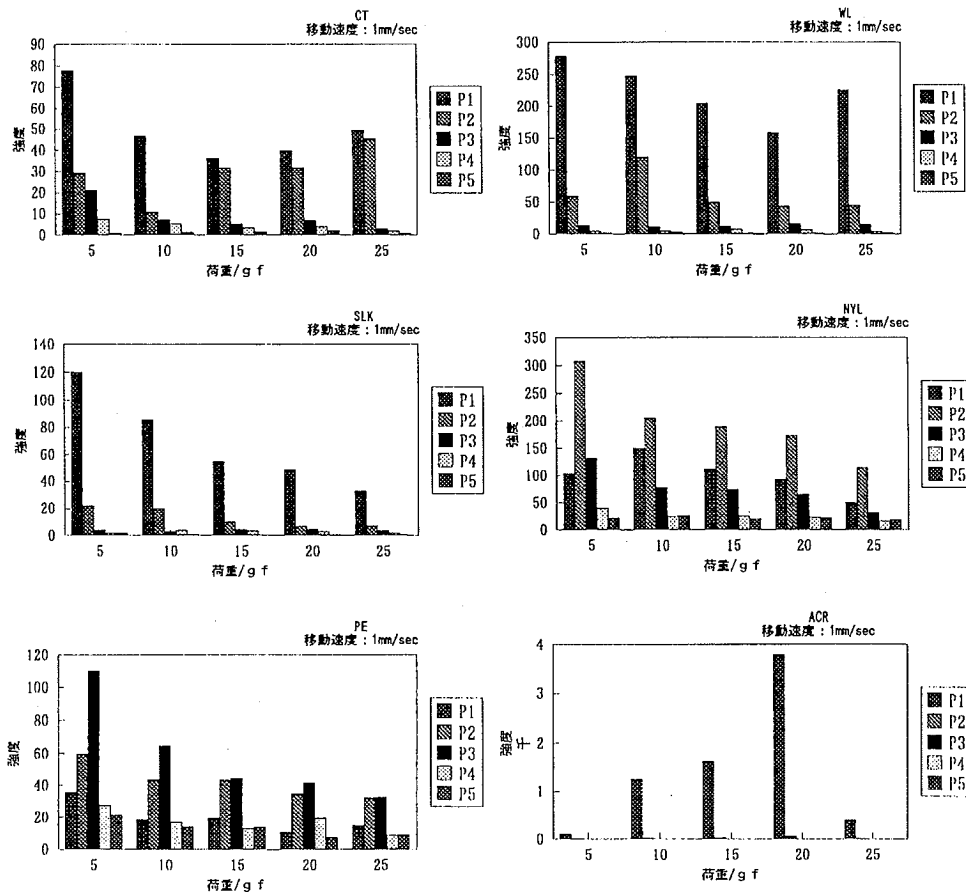


図 4-7 各周波数成分の荷重・速度依存性

静摩擦荷重の変化に伴う変動成分の強度の変化のグラフを図4-7に示す。このグラフでは摩擦子成分の2, 4, 6, 8 [mm⁻¹]をそれぞれP 1, P 2, P 3, P 4, P 5としている。また、周波数成分の各ピークは試料によってピーク形状が異なっていたために、その成分の強度としてピークの面積を求め分析を行った。ピーク形状も情報としては重要と考えられるが、以後の節の分析において強度のみを対象とした。新合繊維においては静摩擦荷重の上昇に対して各変動成分の強度はほとんどの試料で複雑な変化をしており、一見してわかる単純な傾向はないようである。しかし、静摩擦荷重の上昇に対して強度が増加する試料はほとんど見られず、これは基本波、高調波すべての波数でも同じ結果である。レギュラー布においても同様でほとんどの場合で値が上下している。とくにアクリルではこのことが顕著に見られた。いずれにしても静摩擦荷重の変化に対してピーク強度が複雑に変化しており、それが各試料の特徴ともみることができる。

4つのグループに帰属された試料全体について特徴をまとめると以下のようになる。

- ①測定条件にかかわらずM I Uは、薄起毛調 \geq ニューシルキー調 \geq ドライタッチ調、MMDは、ドライタッチ調 \geq ニューシルキー調 \geq 薄起毛調 の順であり、ニュー梳毛調の場合は値が広い範囲にあり一定の傾向はつかめなかった。
- ②摩擦子の移動速度の上昇ともないM I UとMMDは増加する。
- ③静摩擦荷重の増加に対してM I Uはあまり変化しない。
- ④変動成分の強度は摩擦子の移動速度が大きくなると基本波2 [mm⁻¹]が小さくなり、高調波成分4, 6, 8, 10 [mm⁻¹]が大きくなる傾向がある。

各グループ毎の特徴は以下のようにまとめられる。

ニューシルキー調

- ①M I Uについて：摩擦子の移動速度の影響を受けにくい。静摩擦荷重の増加に対してほとんど影響を受けない。
- ②MMDについて：摩擦子の移動速度の上昇に対して顕著な増加を示し、とくに静摩擦荷重が5 [gf]の場合にそれが著しい。静摩擦荷重の増加に対して減少する傾向がある。
- ③変動成分強度：摩擦子成分、織り密度成分が共に同じくらい観測される。

ドライタッチ調

- ①M I U：移動速度への依存性は小さく、静摩擦荷重の増加に対してほとんど影響を受けない。
- ②MMD：摩擦子の移動速度の上昇に対して大きな増加を示し、とくに静摩擦荷重が5

[gf] の場合には顕著である。静摩擦荷重の増加に対して減少する傾向がある。

③変動成分強度：全体的に強度が高い。織り密度成分が小さい値で観測される。

薄起毛調

①M I U：摩擦子の移動速度の影響を受けやすい。静摩擦荷重の増加に対して一定の傾向がない。

②MMD：摩擦子の移動速度の影響を受けにくい。静摩擦荷重の増加に対して一定の傾向がない。

③変動成分強度：全体的に強度が低い。

ニュー-梳毛調

①M I U：一定の傾向がない。

②MMD：一定の傾向がない。

③変動成分強度：一定の傾向がない。

上述の中で一定の傾向がないという意味は、単調な関係が見られないことを示しており、より複雑な非線形関係が含まれていることを否定するものではない。

4-6 主成分分析

4.4~4.5節で述べたMIUや各周波数成分の強度およびそれらの静摩擦荷重・移動速度依存性については、これらを布の構造との関連で議論する必要があると考えるが、本研究の中でおこなうことは無理であるので、ここでは言及しない。これらの測定データが手触り感とどのような関連があるのか、また測定データを用いてどの程度手触り感を分類可能なのかについて議論する。解析に用いる変数を表4-1に示すが、MIU、P1、P2、P3の強度の他に、表面圧縮の情報として圧縮レジリエンスを用いた。圧縮測定はKESEFB2を用いておこなった。分析に用いたソフトウェアは、SPSS ver6.3 (SPSS Japan Inc.)である。図4-8、4-9は表2-1に示した試料の中、官能検査での判定率の高かった21の試料について、表4-1に示した変数を用いて主成分分析を行った結果である。図4-8は第1主成分と第2主成分、図4-9は第1主成分と第3主成分を軸にプロットしてある。ピーチスキンのグループは図4-8、4-9ともに他のグループとかなりはっきり分離してまとまっていることがわかる。また、ドライタッチのグループは図4-8においては広い範囲に分布しているものの、図4-9においては比較的まとまっており他のグループと分離している。ニュー梳毛調とニューシルキーのグループは他のグループと重なっており、そ

表4-1 解析に用いた変数

平均摩擦係数	速度 [mm・sec ⁻¹]	10	41 個 の 変 数
2 mm ⁻¹ のピーク強度	1, 5	と	
4 mm ⁻¹ のピーク強度	圧力 [gf・cm ⁻²]	お	
6 mm ⁻¹ のピーク強度	5, 10, 15, 20, 25	り	
圧縮レジリエンス	最大圧力 [50gf・cm ⁻²]	数	

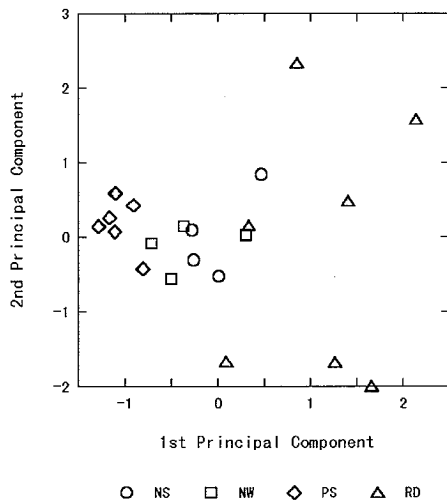


図4-8 主成分得点の散布図
第1主成分-第2主成分

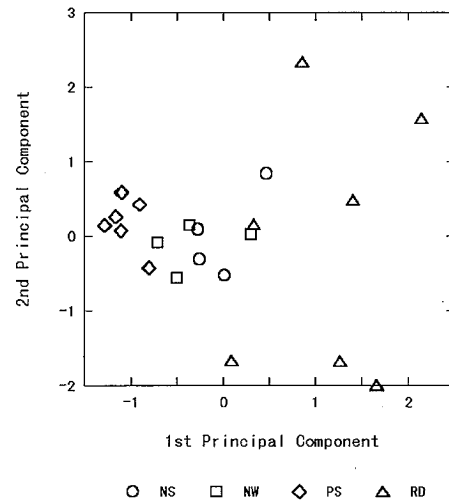


図4-9 主成分得点の散布図
第1主成分-第3主成分

れぞれ完全に分離することができないものの、ある程度まとまって分布していることがわかる。

4-7 クラスタ分析

前節において、摩擦力のパワースペクトルの各周波数成分強度を変数とした場合、変数ベクトルの集合と官能検査による分類に類似性があることが確認された。ただし、各々の変数との関連は不明であり、このような場合分類を行うためにはクラスタ分析が有効であると考えられる。本節では、表4-1の変数を用いてクラスタ分析をおこない、官能検査の結果と比較検討する。分析用のソフトウェアは、SPSS ver6.3 (SPSS Japan Inc) を使用した。距離速度として平方ユークリッド距離を用い、ウォード法によりクラスタリングを行った。また各変数は変数毎に標準化し分析に供した。

図4-10は60試料すべてをケースとしてクラスタリングをおこなった結果のデンドログラムである。

最終的に一つのクラスターになる距離を100としてスケールし直し横軸にとっている。結合距離20で切ってみると10のクラスターが形成されている。図の一番上のクラスターは薄起毛調グループがほとんどを占めていることがわかる。ニューシルキー調とニュー梳毛調は次の4つのクラスターに分布しているが、ニューシルキー調は距離の小さなところで小さなクラスターをつくりまとまっている。ドライタッチ調は他のグループとはなれて位置しまとまってクラスターを形成している。下から4番目のクラスターは57,60,58,59の

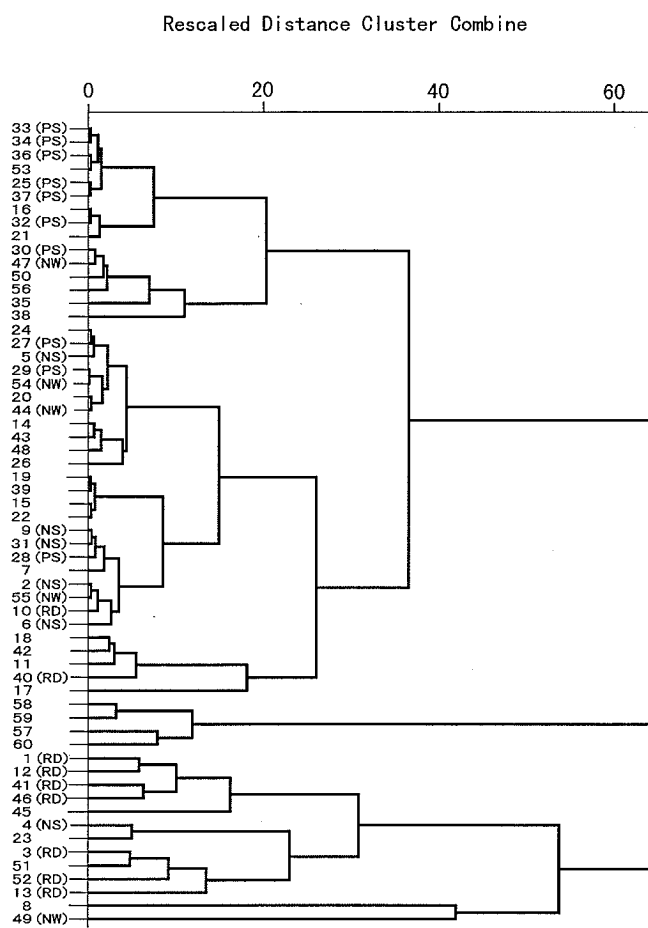


図4-10 60試料のデンドログラム

試料から成っている。これらの試料はいずれもレザータッチとされている試料であり、他の試料とは手触りが顕著に異なる。図4-10には含まれていないが、レギュラー布を含めてクラスタリングすると、綿と絹は新合繊維がそれぞれ比較的近いところに位置し、他のレギュラー布はクラスタ化距離が大きく、ナイロンとアクリルはそれぞれ単独でクラスタを形成した。

図4-11に官能検査で4つのグループに帰属された新合繊維30試料のみをケースとしてクラスタ分析を試みた結果を示す。変数は図4-10と同じであり、クラスタ化して最終的に一つのクラスタになる距離を100として距離40までを図示してある。図4-10に比してグループごとのまとまりが格段によくなっている。薄起毛調、ドライタッチ、ニューシルキーは近距離にまとまっていることがわかるが、ニュー梳毛調は、薄起毛調またはニューシルキーと混在してサブクラスタを形成し単独ではまとまっていないことがわかる。

さらに、上記30試料の中、得点の高い21試料のみをケースとしてクラスタリングをおこなった結果が図4-12である。薄起毛調は近距離にまとまりAというサブクラスタを形成している。また、ドライタッチは結合距離は大きいものの

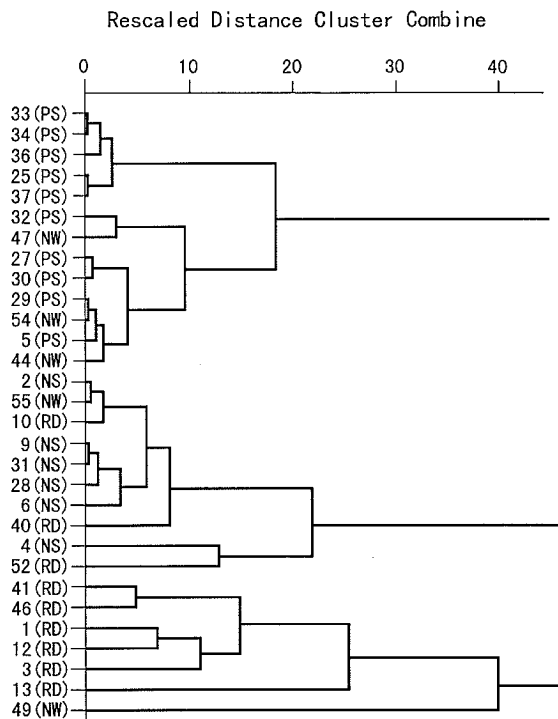


図4-11 30試料のデンドログラム

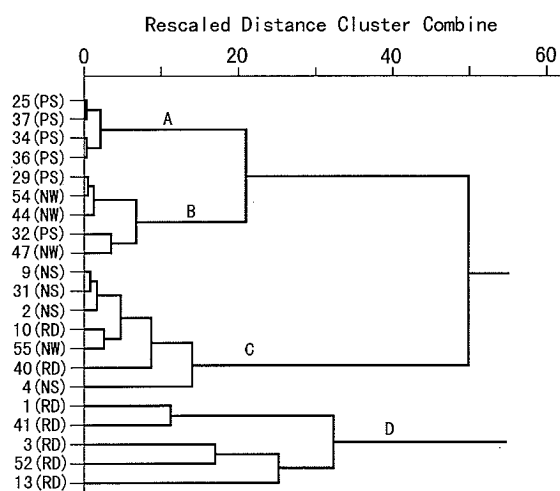


図4-12 21試料のデンドログラム

一つのクラスタDを形成している。ニューシルキー調はサブクラスタCにすべて含まれるが、このクラスタには、ニュー梳毛調に分類された試料もいくつか含まれている。また別に薄起毛調とニュー梳毛調が比較的近距离でまとまったサブクラスタBが存在する。このことからニュー梳毛調には、ニューシルキーに近いものと、薄起毛調に近いものが存在し、また薄起毛調、ニューシルキーにもニュー梳毛調に近いものがあることが推測される。

以上のように「ニューシルキー」、「薄起毛調（ピーチスキン）」、「ドライタッチ（レーヨンドライ）」、「ニュー梳毛」という新合織の手触り感の4分類は摩擦力との対応関係を見る限り妥当なものと考えられるが、さらにいくつかの下位の手触りに分類ができそうである。

第5章 総括

本研究で明らかとなった点は以下の3つにまとめることができる。

1. ライン配列形状の接触面をもつ摩擦子を用いて滑り摩擦力を測定した場合、その摩擦力の時系列データには、直流成分である平均摩擦力成分、布構造の周期性に対応する成分、摩擦子接触面の周期構造に対応した成分からなる。

2. 直流成分を除いた振動成分は、布表面の凹凸が大きいほど大きくなるが、布構造の周期性に関する成分は、構造周期の逆数を波数として持つ基本波とその整数倍の波数から成る高調波を含んでおり、周期のコヒーレンス性が大きいほど大となる。一方、摩擦子表面の周期構造に関連した成分は、やはりその基本波と高調波成分から成るが、布構造の周期がはっきりしない場合に大きくなる。さらに、直流成分の大きさ、各振動成分の大きさと比率、高調波成分の比率が、布の周期構造とその構造のゆらぎ、毛羽などの周期とは関連のない構造、糸や繊維の幾何学的な構造を反映している。

3. 摩擦子と布の相対速度、摩擦子の垂直荷重をパラメータとした測定データに対し、周波数分析をおこない、直流成分を含む各成分を変数としてクラスター分析を行うことにより、新しい衣料素材を相当な高率で分類することが可能である。また、ニューシルキー、薄起毛調、ニュー梳毛調に関してはこれらの境界領域に位置する手触り感があることが推測された。

滑り摩擦力の波形には、人間が判断する手触り感に関する情報が相当含まれており、従来行われていた平均摩擦係数、摩擦係数の平均偏差という指標に比べ、周波数分析を行うことで、より多くの情報を取り出すことができ、官能検査と関連付けることが可能になったと考える。

第2章の内容の一部は、日本繊維機械学会第50回年次大会において発表した。

(付録資料1)

第2章の一部と第3章の内容は、繊維機械学会誌に発表した。(付録資料3)

第4章の内容の一部は、日本繊維機械学会第51回年次大会において発表した。

(付録資料2)

今後の課題および展望

本研究において、当初の目的である布の手触り感評価と言う面で一定の成果があった一方で、現在の測定法および解析法には限界があるという感触も得られた。手触り感の評価、また手触りとは何であるかということをもさらに追求するためには、現在次の3つの問題があると考えられる。(1)解析法の問題で、人間が何かの手触り感を評価する場合、自分の経験を基準に判断していることから、手触りに関した評価システムを作ろうとした場合、何らかの学習機能が備わっている必要があるのではないかということ。(2)使用する官能用語の問題で、「ざらざら」「ぬめり」といった基本的な言葉と「ニューシルキー」といった高次のレベルの言葉をどのように選定し組み合わせればよいかという問題。(3)測定系の問題で、人間の手指には数多くの圧覚や痛覚などのセンサーがあるのに対し、現在の測定系は、摩擦子一つとそれに生ずる力を検出する1つのセンサーから成っていることから、測定によって得られる情報量がひじょうに少ないことである。

(1)の問題に関してはニューロネットなどの応用が考えられるかもしれない。ニューロネットの特徴はその学習機能にあり、非線形な関係の抽出に有効であり、手触りという人間の経験をもとにした評価に対し有効性があるものと予想される。

(3)については、摩擦子全体に生じる力に加え、摩擦子の局所的なひずみを測定することができれば得られる情報が格段に増加するであろうと予想される。また布表面の幾何学的な構造を別の手段で測定し、摩擦力と相関をとるなどの方法も考えられる。

(2)については、さまざまな官能検査を実行し、測定手段、解析法の検討と同時に考える必要がある。

手触りは「感性」的な情報で、視覚情報や聴覚情報に比べて曖昧なところがあり、その取り扱いはひじょうにデリケートであるが、(1)(2)(3)の問題を有機的に検討することにより、新しい衣料素材の微妙な手触り感を捉え、かつ人間の評価・判断と適合した評価が可能ではないか、さらには感性情報としての「手触り」とは何かが見えてくるのではないかと考える。

参考文献

- 1) H.Binns ;「A comparison between the judgements of individuals skilled in the textile trade and natural judgements of untrained adults and children」 J.Text. Inst.,17, T615(1926)
- 2) F.T.Peirce ;「The handle of cloth as a measurable quality」 J.Text.Inst.,21, T 377 (1930)
- 3) 松尾達樹 ; 繊維機械学会誌, 23, T134(1970)
- 4) 川端季雄 ; 繊維機械学会誌, 26, P721 (1973)
- 5) 川端季雄 : 風合い評価の標準化と解析 (第2版), 日本繊維機械学会
- 6) 繊維学会編, 最新の衣料素材, 文化出版局, 1993
- 7) 秋山隆一他, 繊維機械学会誌, vol.48, T153(1995)