

Specific testing for smart textiles

12.1.1 Markets and applications

スマートテキスタイル技術は、その登場以来、世界中の研究者の注目を集め、最新のイノベーションを待ち望むユーザーからの支持と熱狂が高まっています。この 10 年間、繊維産業は生産の非局在化や経済的な制約に苦しんできたが、スマートテキスタイルは、人々の繊維産業に対する認識を変えた価値の高い製品を顧客に示すことができた。現在では、スマートテキスタイルの主な分野である製品化につながったのは、ウェアラブルエレクトロニクスやヘルスケアやスポーツパフォーマンスのモニタリングセンサーに直接関係している。高齢化が進んでいるにもかかわらず、人々は、健康を監視するために必要な医療機器の使用により、高齢者という固定観念にとらわれることなく、アクティブでモバイルな状態を維持したいと考えている。このようなかさばる医療機器は、現在では、完全にテキスタイルで作られた類似の製品に取って代わられており、美的で目立たない外観のために衣類に直接組み込まれています。同様に、スポーツやレジャー活動においても、センサーは心拍数や呼吸数、さらには筋肉活動に関するフィードバックを提供することができ、これはトレーニングを最適化するための重要な情報となる。スマートテキスタイルはプロテクション市場でも広く使用されており、性能に対するニーズは快適性に対するニーズと同じくらい重要であることが多い。作業員のユニフォームに暖房や保温性のある素材を組み込むことで、全体的な快適性を向上させながら嵩高さを減らすことがすでに可能になっている。より一般的には、スマートテキスタイルは、輸送、家庭用テキスタイル、建設、ファッションなどの様々な分野で応用されている。エネルギーハーベスティング・テキスタイルなどの新しいトピックに向けた広範な研究により、スマートテキスタイル市場は今後数年にわたって繁栄を続けると予想されている。

12.1.2 Recent evolution of smart textiles

何世代ものスマートテキスタイルが何年にもわたって継承されてきました。それぞれの新世代は、より高いレベルの統合性を提供しています。当初は、機能的な要素は組み立ての最後の段階、つまり仕上げの後に追加されていました。製造が容易になったにもかかわらず、統合のレベルは低く、着用者の快適性は低かった。第二世代のスマートテキスタイルは、編物、織物などの繊維構造のレベルで直接作業することで改善が見られました。最終的には、次の世代では革新的な繊維や糸を使って機能性を提供できるようになるかもしれません。2011 年、欧州委員会 CEN TC 248 WG 38 は、スマートテキスタイル素材の定義を次のように述べています。"環境と積極的に相互作用する機能性繊維材料、すなわち、環境の変化に反応したり、適応したりするもの"である。しかし、スマートテキスタイルの社会的または一般的な定義はもっと広く、パッシブ・スマート・テキスタイル、アクティブ・スマート・テキスタイル、ウルトラスマート・テキスタイルというサブカテゴリーを作る必要があるように思われた。パッシブ・スマート・テキスタイルは、環境を感知することはできるが、環境との相互作用はできない。パッシブ・スマート・テキスタイルの例としては、導電性繊維や光ファイバーが埋め込まれた繊維が挙げられる。これらの特性は時間的に一定であり、周囲の環境によって変化することはない。一方、アクティブ・スマー

ト・テキスタイルは、センサーとしてもアクチュエータとしても機能する。例えば、相変化材料(PCM)、形状記憶ポリマー、電氣的に加熱された衣服などが挙げられます。環境からの刺激を利用して特性を変化させることができます。最後のカテゴリーは、欧州委員会の定義に沿ったもので、ウルトラスマート・テキスタイルは環境を感知し、反応し、適応することができるからです。刺激を検知し、分析し、その刺激に適応するために構造を変更することができるように、テキスタイル内に電子デバイスを統合することに頼っているのである。聴覚障害者向けの音楽ジャケットは、リアルタイムで音楽に合わせて振動したり点灯したりする超スマートシステムの一例である。また、製品化に向けて、製品の耐久性にも特に注目が集まっている。性能を得るだけでなく、使用や清掃などでメンテナンスを行い、製品の寿命を確保しなければなりません。

12.2 Testing conductive textile materials

12.2.1 Introduction

導電性材料は、電力伝送媒体としてもセンサーとしても機能するため、スマートテキスタイルの用途では一般的に使用されています。電気抵抗は導電性材料の最も重要な特性の一つであり、要求されるレベルは用途によって異なります。固体金属の正確な電気抵抗の測定には問題はありませんが、導電性繊維、糸、布地の場合はより複雑です。測定の再現性、試験片の数、試験片にかかる機械的張力の値などの問題は、世界中の研究グループによって研究されてきました。実際、ほとんどの導電性繊維や糸は、銀、銅、ポリアニリンなどの導電性ポリマーをポリマー繊維や糸に表面コーティングや電気メッキなどの技術で塗布して製造されている。繊維およびヤーン表面の不規則性のため、このプロセスは、完全に均質なコーティングに至らない場合があります。したがって、ヤーンの抵抗率は、測定接点の位置に依存する。同じ原理は、炭素などの導電性粒子を含むフィラメントおよびヤーンにも適用される。これらの粒子がポリマーマトリックス中にランダムに分散し、クラスターが形成される可能性があるため、ヤーンの電気抵抗にばらつきが生じることもあります。このような障害にもかかわらず、ここ数年で大幅な進歩が見られました。ASTM D4496(2013)や AATCC TM76(2011)のような既存の規格の中には、布地の表面抵抗率の測定に適用できることが実証されているものもあります。これと並行して、欧州の研究グループ Sustasmart は、糸の電気抵抗率を測定するための新しい規格案を起草し、これは CEN (欧州標準化委員会)に提出され、承認待ちとなっている(BS-EN-16812、2016)。

12.2.2 Electrical characteristics

材料の導電性を特徴づけるために、いくつかのパラメータを使用することができます。

・電気抵抗率(ρ)は材料の性質にのみ依存し、その寸法に関係なく一定です。糸やケーブルの直径はその長さに比べて非常に小さいので、 Ω/m で表されることが多いです。織物の場合は、表面抵抗値を Ω/m^2 で表すことができます。

・電気抵抗(R)は製品の寸法(長さ(L)、直径(A))に依存し、オームで表されます。材料の電気抵抗は、次の式を用いて計算することができます。

$$R = \rho * (L / A) \quad (12.1)$$

この式は、ケーブルの長さと電気抵抗の間の既存の関係を示しています。ケーブルが長くなればなるほど、電気抵抗は増加します。逆にケーブルの直径が大きくなればなるほど、電流が流れやすくなるため電気抵抗は減少します。

・コンダクタンス(G)と導電率(γ)は、それぞれ抵抗と抵抗率の逆数であり、シーメンス、シーメンス/m で表されます。

さらに、これらのパラメータは、温度、圧縮、延伸、湿度などの外部要因の影響を受け得る。いくつかの実施形態では、電気抵抗に対する環境パラメータの影響が文書化されており、計算することができる。

例えば、抵抗値は、次の式に従って、周囲温度 T が低下するにつれて増加する。

$$\rho_T = \rho_0 (1 + \alpha (T - T_0)) \quad (12.2)$$

ここで、 ρ_T は選択した温度での抵抗値であり、 ρ_0 は 25°C (T_0 で)での抵抗値である。また、導電性材料に対する機械的圧縮および延伸の効果に関する一般的な傾向も知られており、圧縮は導電性繊維間の接触を増加させ、したがって抵抗を減少させ、一方、延伸は抵抗を増加させる。しかし、材料の硬さ、弾性、および他の物理的特性が結果に影響を与えるため、導電性材料の電気的特性に対する機械的圧縮および延伸の効果を説明する数学的関係は存在しない。

12.2.3 Measurement of the linear resistivity

スマートテキスタイルの標準化に関する CEN 委員会 TC248/WG31 は、導電性トラックの幅がその長さに比べて有意でない、すなわち $< 10^{-1}$ である繊維、ヤーン、リボン等の線抵抗率を測定するための試験方法の開発に取り組んできた。導電性トラックの幅は、必ずしも導電性ヤーンの直径と一致しないことに注意することが重要である。例えば編物の場合、幅はループの高さとなり、長さは図 12.1 に図示されているようにそのコースに対応する。

試験方法は、導電性トラックに接続され、その幅にわたって整列された 4 つの電極を使用します。内側の 2 つの電極は電圧計に接続され、外側の 2 つの電極は電源に接続されています。セットアップは図 12.2 に示すとおりで、 G は電源、 V は電圧計を表します。

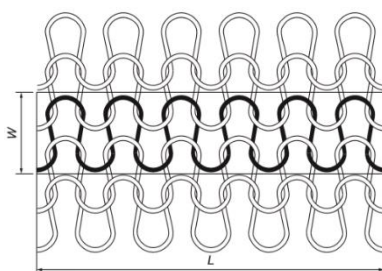


Fig. 12.1 Schematic representation of the width and length of the conductive track of a knitted fabric.

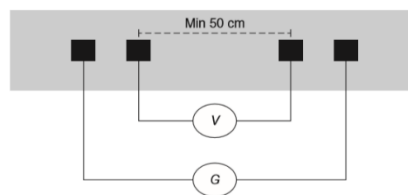


Fig. 12.2 Schematic representation of the test method set-up for measuring linear electrical resistance of conductive tracks.

そして、電源から供給される電流 (I) と電圧 (V) の値を用いて、導電性材料の抵抗 (R) を算出することができる。

電極は平坦な表面を持ち、導電性媒体との良好な接触を提供しなければなりません。この接触を改善するために、また、導電性トラックの性質によっては導電性エポキシで接着したり、はんだ付けしたりすることが可能な場合があります。導電性糸の場合は圧着コネクタを電極として使用することもできます。電圧電極間の距離は、導電性トラックの幅の少なくとも 10 倍、又は最低 50cm であることが望ましい(図 12.2)。試験前に管理された値の応力を織物に加える。その値は織物の種類及び重量によって異なる(表 12.1)。この試験方法では、少なくとも 5 個の試験片を測定することが必要である。各試験片について、5 つの電圧測定を 2 つの系列で行う。2 つのシリーズの間は、試験片を弛緩させてから保持することが望ましい。

Table 12.1 Values of stress to be applied on the yarn or fabric for the measurement of linear resistivity

Nature	Weight (g/m^2)	Stress applied
Yarns	—	0.5 cN/tex
Not stretchable fabrics	<200	2 N
	200–500	5 N
	>500	10 N
Stretchable fabrics	—	0.5 N

12.2.4 Measurement of the surface resistance

導電性材料の直流表面抵抗の測定については、標準化された試験方法が既に存在する。例えば ASTM D4496(2013)には、線抵抗率の測定に用いられる4点法に類似した試験プロトコルが記載されている。主な違いは、電極の位置だけでなく、布地に加える重量と応力にあります。表面抵抗の測定では、図 12.3 に示すように、4 つの電極を導電性トラックの同一面上に配置するのではなく、布地の両側に配置します。電極の間に絶縁材料を追加して、布地試料を支持し、凹型の形状が形成されないようにすることができる。電流電極の上に第1の重りを加える。それは、メートル単位で試験片の幅の 300M/m 倍とする。電位電極の上に第2の錘を加え、試験片の幅の 60N/m 倍とする。ポテンシャル電極間の距離は 10mm 以上とし、電流電極から少なくとも 20mm 離れていること。

ATCC TM76(2011)規格では、試料を 25mm 離れた 2 つの平行な板状または同心円状の電極のみに接触させる簡易な方法を提案しています。電極はオームメーターと電源に接続され、安定した値に到達するために 1 分間または必要なだけ長く 80V を供給するように設定されています。この方法に従

って 3 つの試験片の 2 セットを試験する。各セットは幅と長さの点で異なる方向を持つことが予想される。すべての試験片は試験前に調整しなければなりません、選択される温度と湿度の値は製品の意図された用途に依存します。

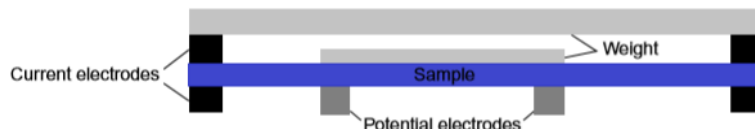


Fig. 12.3 Schematic representation of the electrode position for the measurement of the surface resistance of fabrics.

12.2.5 Dynamic measurements

これまでに説明した規格のほとんどは、電気抵抗の基準値にアクセスできるように、制御された試験条件を課しています。しかし、電気抵抗は、温度、湿度、機械的ストレスなどの多くの環境要因に依存する。例えば、電気抵抗は、生地が引き伸ばされたり、圧縮されたり、擦れたりすると変化することがある。また、生地が編物や織物である場合には、その変化は同じではありません。そこで、CTT グループでは、導電性織物に機械的作用を加えたときの電気抵抗の変化を評価するための具体的な試験方法を開発しました。例えば、導電性糸で構成された細幅織物の電気抵抗に対する摩耗の影響を評価できる装置があります(図 12.4)。この装置には、20 回の摩耗ごとに電気抵抗値を記録する電子システムが含まれています。この試験で得られたデータは、スマートテキスタイルの経時的な挙動や耐久性、加速された使用条件での耐久性を決定するのに役立つ。さらに、導電性糸は、生地の構造的完全性を監視するための経年変化の指標としても使用することができます。また、引張応力を受けたスマート織物の電気的性能の変化を調査するシステムも開発されている。図 12.5 に示すように、導電性編物をダイナモメータの 2 つのクランプの間に保持しながら抵抗測定を行う。

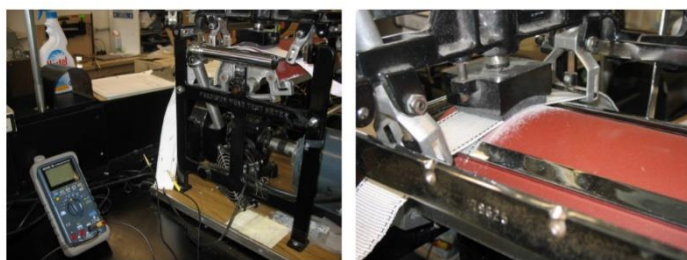


Fig. 12.4 Pictures of the recording device (left) and mechanical abrasion system (right) developed to evaluate the impact of abrasion on the electrical resistance of narrow woven fabrics comprising conductive yarns.



Fig. 12.5 Measurement of the electrical resistance of a conductive fabric under tensile stress.