

## 8. 水濡れ検知布帛「Swetty」の取り組み

住江織物株式会社 宮村 佳成, 宮田 千歌

### 1. はじめに

近年、濡れやムレ感の検知のため、湿度センサ、光学センサ、超音波センサなどを利用した数多くの技術が開発されている。しかしそれらの多くは、センサの検出領域が狭く特定の点のみの計測に留まる問題や、監視対象物が曲面など複雑な形状をもつ場合にセンサの検出面が適合しないなどの問題があった。そのため我々は、繊維によって1枚のセンサ部材で大面積の濡れを検出することができ、かつ屈曲した面でも濡れの計測のできる布帛型センサとして、水濡れ検知布帛を開発した。

本稿では、開発したセンサと湿度に対する抵抗値変化、および掌の肌水分率との相関について述べ、加えて実際の活用を想定した開発例として、介護用排尿検知システム、配管への漏水検知システムについて紹介する。

### 2. 水濡れ検知布帛「Swetty」について

一般的に、濡れやムレ感を検知する湿度センサは構造的に2つの電極を有し、これにより電気的な抵抗値の変化を計測する手法をとるものが多い。これらのセンサは構造的に単純でありながら高感度で、幅広い湿度変化を計測することができる。

そこで、まずは本構造を繊維で再現すべく、ポリエステル製の布帛上に導電糸（銀メッキ加工 Ny6, 6糸）をお互いに接触させないように、櫛型に刺繍した（Fig.1）。この布帛上に水を落とすと、水により2本の導電糸間が電氣的に接続され、導電糸間の抵抗値変化が確認できた。

さらに当社は、本構造の量産手法すなわち織りや編みでの再現を試みた。織りや編みでの再現には、導電糸同士を常時接

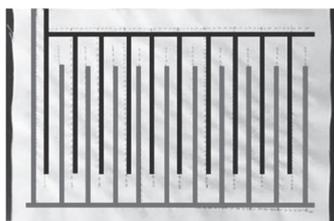


Fig.1 櫛型刺繍布  
(太線部に導電糸を刺繍)

触させずに、水に濡れた際に導通経路が確保される構造が求められる。しかし Fig.1 に示すような櫛状の構造は導電糸を断線させる必要がある。また導電糸と非導電糸を用いた二重織構造も検討したが、導電糸同士が接触する可能性が高く困難であった。

これらのことから糸に着目し、導電糸同士が接触してもショートしないようにするため、導電糸の周囲に非導電糸を8本組んだ組紐（以下、カバリング糸と呼称する）を撚糸構造で開発した。非導電糸には水分に対する応答性を良くするため、異形断面構造を持つ吸水速乾ポリエステル糸を用いた。カバリング糸を電子顕微鏡で観察した写真を Fig.2 に示す。

開発したカバリング糸を10mm間隔で経、緯に織り込んで織物を作成した。さらに2つの電極を構成するには全ての経糸同士および緯糸同士を電氣的に接続する必要があるため、織物端部に経、緯方向に1本ずつ導電糸の刺繍を施し結線を行った。作製した織物を Fig.3 に示す。

また、カバリング糸を経糸に2本編み立てて作製した編物を Fig.4 に示す。織物とは異なり、2本の経糸がそのまま2つの電極となる。細幅で長さをもつ布帛を作成する場合は、編物のほうが適する。なお、織物と編物のカバリング糸以外の部

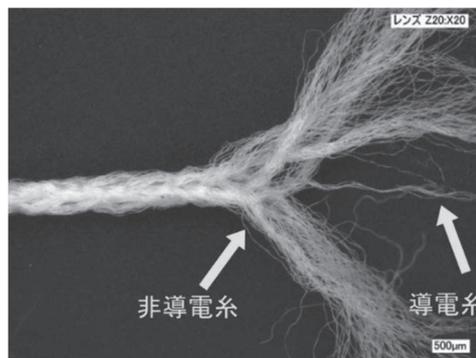


Fig.2 カバリング糸の電子顕微鏡写真

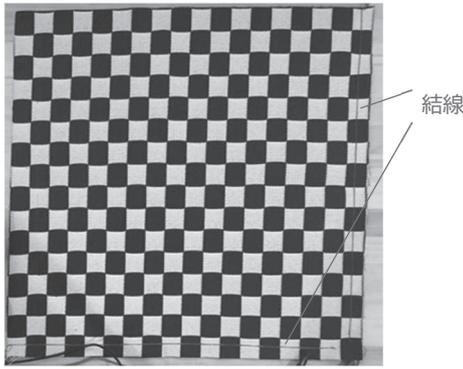


Fig.3 水濡れ検知布帛（織物）

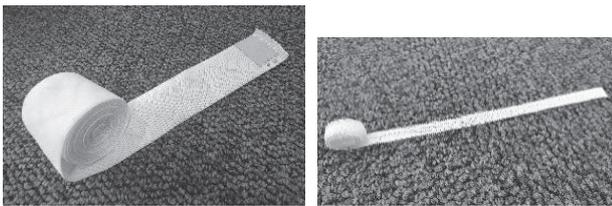


Fig.4 水濡れ検知布帛（編物）

分には、いずれも一般的なポリエステル糸を用いた。

本カバリング糸を用いて作成した水濡れ検知布帛（以下、水濡れ布帛と呼称する）およびそれに付随するシステムの総称を「Swetty」とした。

### 3. 湿度に対する水濡れ布帛の出力特性

開発した織物の水濡れ布帛について、湿度に対する出力特性を評価した。

#### 3-1 湿度に対する出力特性

水濡れ布帛（縦 200mm × 横 200mm）を恒温槽内に入れ、湿度に対する抵抗値の変化を計測した。また本実験ではカバリング糸の鞅部の素材違いにより、抵抗値に変化がみられるか検証するため、鞅部を前述の吸水速乾ポリエステル糸に加え綿糸に変更したものも用意した。

実験方法について、120℃ × 20 分で乾燥させた水濡れ布帛を所定温度、所定湿度に設定した恒温槽内に設置し、5 分後の水濡れ布帛の抵抗値を計測した。30℃ 雰囲気下での計測結果を Fig.5 に、50℃ 雰囲気下での計測結果を Fig.6 に示す。

結果より、水濡れ布帛は湿度が高くなると抵抗値は低くなり、温度が高いとさらに抵抗値が下がることがわかった。また、カバリング糸の鞅部に綿糸を使用すると、吸水速乾ポリエステル糸と比較して抵抗値が小さくなった。これは素材の吸湿性が影響していると考えられる。

#### 3-2 掌の肌水分率に対する出力特性

被験者 16 名（20 代）に対し、肌水分計（スカラ社製）で掌の肌水分率を計測したのち、水濡れ布帛（縦 90mm × 横 90mm）に掌を当て、その際の水濡れ布帛の抵抗値を計測した。計測結果を Fig.7 に示す。掌の肌水分率と水濡れ布帛の抵抗値には相関があり、水濡れ布帛が微量な水分に対

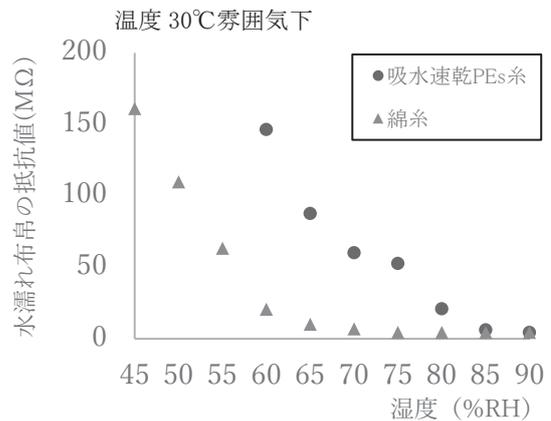


Fig.5 30℃ 雰囲気下での湿度と水濡れ布帛の抵抗値の関係

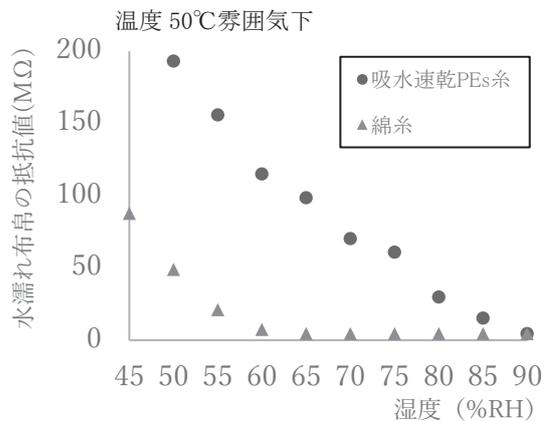


Fig.6 50℃ 雰囲気下での湿度と水濡れ布帛の抵抗値の関係

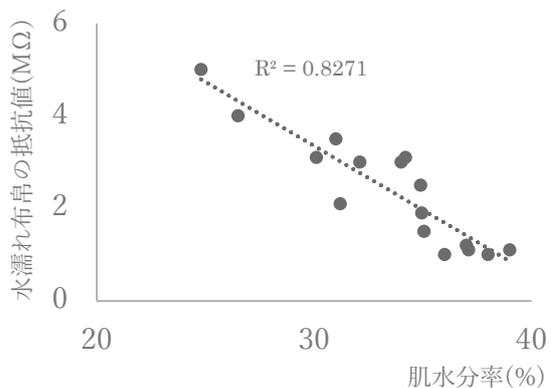


Fig.7 肌水分率と水濡れ布帛の抵抗値の関係

しても反応できることがわかった。

#### 4. 水濡れ検知システムの活用

水濡れ布帛における活用例を2例説明する。

##### 4-1 おむつ着用者向け排尿検知システム

近年、介護人材不足が顕在化し、介護テクノロジーの重要性が指摘されている。厚生労働省の定める「介護テクノロジー技術の介護利用における重点分野」でも「排泄支援」は重点分野として記されており、2024年6月の改定で「排泄予測・検知」が新たに加わった<sup>1)</sup>。よって、おむつ着用者（被介護者）の排尿の有無等を効率的に把握することは喫緊の課題である。

本背景を受け、当社はおむつ内の排尿や排尿回数を検知し、その情報を別室にいる介護者に通知する排尿検知システムを開発した。

##### 4-1-1 システム概要

本システムは子機1台：親機1台から成り、子機には細幅の水濡れ布帛（幅10mm×長さ400mm）が接続される（Fig.8）。また、子機は主にCPU、水濡れ布帛の抵抗値の計測回路、通信機器、バッテリー関連の機能を搭載し、親機はCPU、データ記録ストレージ（SDカード）、通信機器、表示画面およびスピーカーを備える。

使用时、被介護者は子機をFig.9のように装着する。また親機は介護者が持つ。子機と親機は電源を入れると自動で接続し、子機は一定間隔で水濡れ布帛の抵抗値を計測し、そのデータを親機へ送信し続ける。親機は一定のアルゴリズムに基づいて受信した抵抗値を解析し、被介護者の排尿を



Fig.8 子機と親機の外観



Fig.9 子機装着

Fig.10 親機の通知画面

検知すると、介護者に対して表示画面および音で通知を行う（Fig.10）。

##### 4-1-2 計測実験

被験者1名（20代、女性健常者）が本システムの子機、介護用おむつ及びパットを身体に装着して安楽座位姿勢をとり、尿意を感じた際はおむつ内に排尿し、排尿開始時刻を手動で記録した。またこのとき、システムにより水濡れ布帛の抵抗値変化および排尿回数検知状況を記録した。なお、実験に用いたおむつ及びパットは「アクティ 大人用おむつ パッド併用テープ止めタイプ スマート Mサイズ」、「アクティ ワイドパッド 1000」（いずれも日本製紙クレシア製）である。

##### 4-1-3 計測結果と結言

本実験で計測した水濡れ布帛の抵抗値、親機による排尿回数の判定結果および被験者が手動で記録した実際の排尿タイミングをFig.11に示す。

水濡れ布帛の抵抗値の計測データについて、計測開始から初回の排尿まで、水濡れ布帛は乾燥状態即ち回路がオープン状態となるため、抵抗値は計測されない。続く初回の排尿で布帛が湿潤することで初めて抵抗値が計測され、その後は追加の排尿および尿のパットへの浸透具合等に応じて、抵抗値は複雑に変化する。ただし「排尿中は抵抗値が下がる」「排尿完了後は抵抗値が上がる」傾向にあり、排尿回数判定アルゴリズムもこの傾向を利用して排尿回数を検知している。本実験では、被験者が記録した実際の排尿タイミングの通りにシステムも排尿回数を検知できていることがわかる。

この様に本システムによっておむつ着用者の排尿および排尿回数を検知できることから、本シス

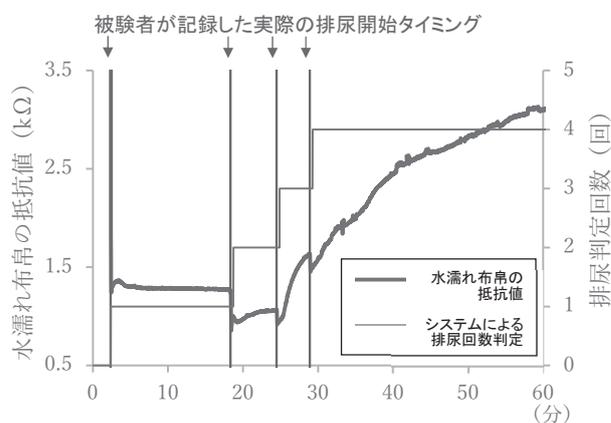


Fig.11 計測結果

テムは介護施設等におけるおむつ交換時期の把握において有用である。

#### 4-2 配管漏水における漏水位置検知システム

従来、配管の漏水検知においては多くの技術が開発されている。ただし、具体的な漏水箇所の特定にはセンサを多数配置して広範囲をカバーする必要がある、配管の曲面部には適用ができない、等の問題があった。

本背景を受け、当社は1枚の水濡れ布帛で配管の漏水及び、そのおおよその濡れ位置を検知することができる漏水位置検知システムを開発した。

##### 4-2-1 システム概要

本システムは、機器および1本の水濡れ布帛（幅60mm×長さ750mm）で構成される。機器には水濡れ布帛の抵抗値の計測回路、漏水位置検出器、表示装置を備える。

使用時は水濡れ布帛を配管に直接巻き付け、機器と共に適宜テープ等で固定する。配管より漏水し水濡れ布帛が濡れた場合、水濡れ布帛全体を8分割した0-7の領域のうち、どの領域に濡れが発生しているのか表示装置を通じて使用者に通知する（Fig.12）。

##### 4-2-2 濡れ領域の検知原理

濡れ領域の判定アルゴリズムは、Pythonの機械学習ライブラリであるscikit-learnのサポートベクターマシンを用いた多クラス分類手法を活用して開発した。水濡れ布帛上には2本のカバリング糸が交差部を形成しながら配置されており、布帛両端にあるカバリング糸端部のうち3か所には端子a, b, cが設けられ、各端子はそれぞれ機器の抵抗値の計測回路と接続される（Fig.13）。ここで水濡れ布帛上の1か所に濡れが生じた場合、a-b間で計測した水濡れ布帛の抵抗値と、a-c間で計測した水濡れ布帛の抵抗値では、カバリング糸の長さ分の抵抗値の差が生じる（Fig.14）。

このことから、事前に8つの領域のうち1か所を濡らし、そのときの「水濡れ布帛上の濡れ位置」と「a-b間およびa-c間で計測した抵抗値」を学習させておき、使用時には「a-b間およびa-c間で計測した抵抗値」を計測することで学習結果に照らし合わせて「水濡れ布帛上の濡れ位置（領域）」を推定できる。

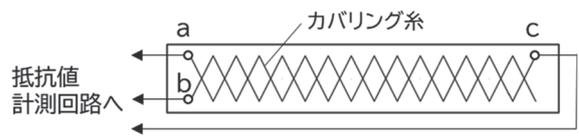


Fig.13 水濡れ布帛詳細

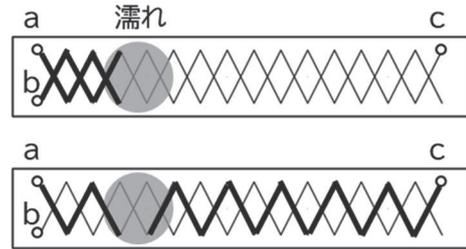


Fig.14 水濡れ布帛の抵抗成分

（上：a-b間で計測する場合  
下：a-c間で計測する場合）

置」と「a-b間およびa-c間で計測した抵抗値」を学習させておき、使用時には「a-b間およびa-c間で計測した抵抗値」を計測することで学習結果に照らし合わせて「水濡れ布帛上の濡れ位置（領域）」を推定できる。

##### 4-2-3 計測実験

本実験では、濡れ位置の検知精度について調査した。1本の水濡れ布帛（学習に用いていないもの）に対して8領域のうち1か所を濡らし、学習結果から推定された濡れ位置と、実際に濡らした領域を比較した。濡らした後は乾燥機にて乾燥させ、これを8領域それぞれにおいて100回繰り返した。

##### 4-2-4 計測結果と結言

本実験にて、1か所を濡らした際にシステムが推定した濡れ位置（予測値）と、実際に濡らした領域（正解値）の混同行列をTable 1に示す。

領域0を濡らした際は、100回の試行全てにおいて領域0が濡れていると正しく推定できた。一方で領域1を濡らした際は、64回は領域1が濡れていると推定できたが36回は領域2が濡れていると誤推定をした。同様に、領域2~7におい



Fig.12 システム概要

Table 1 混同行列

		予測値							
		0	1	2	3	4	5	6	7
正解値 (実際に濡らした領域)	0	100	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	64	36	0	0	0	0	0
	2	0	26	71	3	0	0	0	0
	3	0	0	26	49	25	0	0	0
	4	0	0	0	45	55	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	30	70	0
	6	0	0	0	0	0	39	61	0
	7	0	0	0	0	0	0	17	83

でも、それぞれ本来濡らした領域に対して隣接する領域が濡れていると判定してしまう誤推定がみられた。これは水濡れ布帛が繊維であるという特性上、濡れの量や濡れの広がり方によって水濡れ布帛の抵抗値が複雑に変化するため、同一領域内の濡れであっても値のばらつきが大きいことが誤推定に繋がっていると考えられる。ただし、誤推定がいずれも隣接する領域内に収まっていることから、本システムによっておおよその漏水位置は特定できているといえる。

現状では、濡れ位置の特定精度以外にも水濡れ布帛の長さに制限があること、濡れ位置特定がピンポイントではなく8分割の領域に留まること、同時に複数個所が濡れた場合は位置検知ができないこと、および水濡れ布帛の両端に配線が必要な

ことから、本漏水位置検知システムが実用レベルに達しているとは言い難い。今後は水濡れ布帛の構造の改善や信号処理手法をブラッシュアップし、より実用性の高いシステムの実現を目指す。

## 5. おわりに

水濡れ及びムレの計測が可能で、大面積で柔軟な繊維センサ部材を開発することができた。また繊維の素材を変更することで、検知したい湿度に合わせた設計ができることもわかった。さらに機械学習をはじめとする信号処理を利用することで、現実に存在する水濡れ検知に関するニーズに応じたシステムも構築できた。

現在の使用用途は介護・医療・ヘルスケア系、工業系、スマートハウス関連、産業資材用途を想定しているが、常にお客様の声に耳を傾け、時代に合わせた快適な生活環境作りに貢献できる商材開発に取り組み続けていきたい。

## 参考文献

- 1) 厚生労働省；介護テクノロジー利用の重点分野の全体図と普及率（2024）  
<https://www.mhlw.go.jp/content/12300000/001268135.pdf>

みやむら よしなり  
宮村 佳成

2004年 住江織物株式会社 入社  
インテリア、産業資材商材への機能加工開発、スマートテキスタイル関連の開発に従事  
現職 技術・生産本部 技術開発センター 開発部 部長

みやた ちか  
宮田 千歌

2020年 住江織物株式会社 入社  
入社後から現在まで 技術・生産本部 技術開発センターにてスマートテキスタイル関連の開発に従事