

研究論文

繊維産業に於ける AI 自動検査システムの構築に関する研究開発

河瀬賢一郎^{*1}、市毛将司^{*1}、棚橋伸仁^{*1}、後藤拓海^{*1}、伊東寛明^{*1}

Research and Development on the Construction of AI Automatic Inspection Systems in the Textile Industry

Kenichiro KAWASE^{*1}, Masashi ICHIGE^{*1}, Nobuhito TANAHASHI^{*1},
Takumi GOTO^{*1} and Hiroaki ITO^{*1}

Owari Textile Research Center^{*1}

繊維製品は、アパレル産業やインテリア産業など、非常に多岐に渡って利用されており、これを生産する繊維産業は、愛知県における主要産業の一つである。この繊維産業をさらに発展させていくためには、生産の効率化だけでなく、より付加価値の高い製品を生産するための方法を確立する必要がある。このような高効率かつ付加価値の高い繊維製品を生産してくため、繊維製品の検品(検反)と、それを生産するための織機の信頼性向上に着目し、研究開発を実施した。

1. はじめに

日本の繊維産業、特に尾州地域に代表される毛織物産地では、長年に渡り職人の高い技能により製品品質が支えられてきた。しかしながら、少子高齢化による人材不足や若年層の繊維業界離れが進行する中、現場での技能継承が困難となっているのが現状である。特に、織機で織り上げた反物の表面を目視で検査する「検反」作業は、経験に裏打ちされた判断が求められる工程であり、標準化や自動化が難しい分野とされてきた。加えて、織機の動作状態の異常を早期に察知するには、熟練者による「音の違い」への感覚的な対応が必要であり、設備保守の面でも属人的な要素が色濃く残されている。

本研究では、繊維製品の生産性と品質の向上を実現するため、各工程で行われる繊維製品の検品(検反)の効率化と、より精密な疵検出の実現を目指す。また、製造装置の予防的保全を実現するため、人が経験的に行っている音による機器の状態把握を目指し、AI モデル作成に向けた基礎研究を実施した。

2. 研究開発の概要

2.1 AI による自動検査システムの試作

繊維製品の検反は、生機、染色加工前後、最終仕上げなどで行われ、糸や製織欠点、染色欠点の有無などを点検する工程であり、一般的に検反機が利用されるが、目視による欠点の確認や手直し等が行われているため、作業効率向上の妨げとなっている。

本研究で開発した自動検査システムは、検反機において人が目視検査を行っていたものを画像処理に置換することを目指している。図 1 に開発した試作自動検反機の構成を示す。一般的な検反機同様、図 1 中の反物送り装置から送り出された生地は装置内を通過しつつ、巻き取り用のロールに巻き取られる。その途中、本来人が目視を行う位置にカメラと照明を配置し、取得した生地の画像から AI を利用して疵を検出する。

本システム用に開発する異常検知 AI は、現状の熟練者による目視での見逃し疵出現 0.06 箇所/m(反物の経糸方向の長さ 1m につき 0.06 箇所)を上回る、見逃し疵出現 0.006 箇所/m の実現を目標とした。

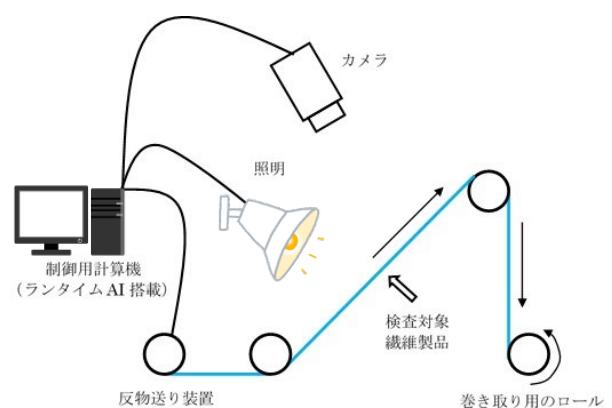


図 1 試作自動検反機の基本構成

^{*1} 尾張繊維技術センター 機能加工室

次に、図1中①の検反機構を図2に示す。画像処理で疵の検出を行うには、様々な疵の画像情報をAIに学習させる必要がある。この学習データ次第で識別性能が大きく左右されるが、データを精度よく大量に収集し、更に整理加工することは膨大な作業を伴う。

また、同一の疵であっても、カメラと照明の相対位置関係によって検出の可否が変わる。そのため、本機構は、疵に対してカメラ位置・照明位置をそれぞれ独立して自在に配置できる構造とした。

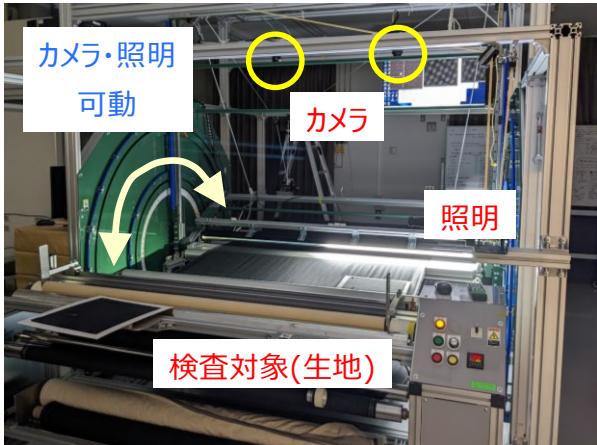


図2 カメラ位置・照明位置を自由に変更可能な検反機構



図3 試作自動検反機の全体図

最後に、図1で示した試作自動検反機の全体を図3に示す。本機は、図2の検反機に速度制御機能を有する反物送り装置を取り付けて、全体を構成している。AIがリアルタイムで疵を検出すると、反物送り機構により自動で検反機が停止する仕組みを実現した。この装置により、AIに学習させるための画像を大量に取得するとともに、自動検反機の試作機として、実環境に近い状況での疵検出試験を実施した。

2.2 織機の音と異常検知システムに関する研究開発

本研究では、織機が動作する際に発する音を解析することで織機の状態を把握し、いち早く異常(故障)を

検知・予知可能なシステムの研究を行った。織機は複雑な構造をしているため、織機の発する動作音を再現可能な音響モデルを構築し、その疑似データと実際の動作音を時空間解析する手法を開発した。織機は規則的・周期的に動作を行っているため、このような動作音の発生時刻を特定することで動作の異常を検出する足掛かりとなる。

一般的に人間が知覚できる音のずれは、50ms(対象の音による差異や諸説ある)が下限といわれている¹⁾。人間が機械動作音のわずかな差異(ずれなど)を感じて異常検知の手がかりとしていると仮定した場合、異常検知システムにおいても同程度の時空間解析が必要と考えられるため、その実現を目標とした。また、これらの処理は、最終的には動作音を録音しながら解析する(リアルタイム処理)ことが必要であるが、その前段階として、録音された音響情報を解析するオフライン処理により実施することから始める。また、工場内には様々な雑音が存在しているが、この段階においては、これらの影響を考慮しないものとした。

最終目標としては、この時空間解析によって織機動作音に関する特徴を取り出し、その特徴に基づきAIによる異常検知・予知の実現し、実環境下の工場内の様々な音が混在する状況において熟練者と同程度の性能で織機の異常検知が可能なAI技術の確立を目指すが、今回の研究では、その前段階である、シャトルの打ち出し時刻を誤差40~50msの範囲内で推定できる時空間解析の検討を行った。なお、織機の異常な動作は発生頻度が少なく、実機での性能評価が困難であることから、前段で開発する動作音生成モデルを用いて仮想的な正常動作音・異常動作音を作成し、それを熟練者と提案システムのそれぞれで異常か否かを判定することで評価した。

それに加えて、動作音に基づき織維製品に発生する疵(エラー)を検知する技術の開発可能性について検討した。

実際の工場内にて、織機の動作音のデータ収集を効率的に実施するため、図4に示す自動収集システム及び収集データの整理の自動化システムについて検討した。国島(株)の工場で導入済みの織機稼働状況IoT監視システムのログデータを活用することで、収集したデータに対する切り出し等のデータ整理作業を効率化させることができる。異常検知システムには、様々な環境・状況による大量のデータが必要となることが予想されるため、織機動作と連動して定期的に音響データを取得可能な装置を工場内に常時設置し、動作音のデータ収集を実施した。これにより、複数の製品を

対象とした 100 時間以上の織機動作音のデータを取得した。

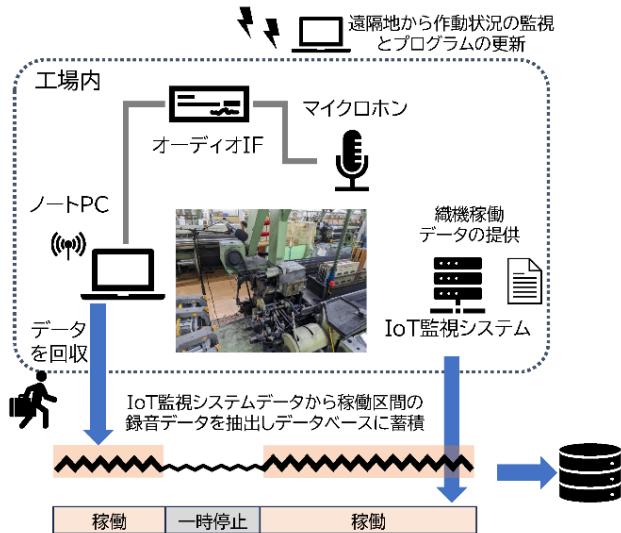


図 4 データ収集システムの概要図

3. 研究開発の実施結果

3.1 自動検査システムの疵検出能力評価

図 2 の機構を用い、様々なカメラ位置・照明位置で生地の疵を撮影し、8,000 枚超の画像からなる大規模データセットを作成した。さらに、この大規模データセットを ROXY AI(株式会社 Roxy 製)に学習させて、疵の検出を行った。

図 5 に検出結果の混同行列を示す。ラベルデータは、「正常」及び「バー」「ボツ」「織疵」「糸フシ」「垂すじ」「ネップ」「横抜け」の 7 つの疵の計 8 分類で付与され、各疵種に対する学習バランスを調整した。学習データは、データ拡張(回転・コントラスト変化・ノイズ付加)により、ロバスト性を確保した。モデル評価は混同行列で実施し、「ボツ」以外の疵画像の正確判定率が 100%を記録した。

図 5 の混同行列は、それぞれ種類の異なる疵がどの疵として判定されたかを示している。正常が疵として判定されたものが過検出、疵が正常として判定されたものが見逃しとなる。正常を正常と判定した割合は 99.77%、糸フシを疵アリと判定した割合は 100%となった。特に過検出については、研究開始当初の結果から大幅な改善が見られ、撮影方法やモデルの改良、データ収集の効果を確認できた。これは、研究開始当初の見逃し疵出現 0.01 疵所/m から 0.005 疵所/m へ大幅に改善できており、最終目標の 0.006 疵所/m を十分に上回る結果を達成できた。

	予測したラベル							
	正常	バー	ボツ	織疵	糸フシ	垂すじ	ネップ	横抜け
① 正常	439 99.77%	1 0.23%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%
② バー	0 0.00%	12 100.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%
③ ボツ	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	13 100.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%
④ 織疵	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	16 100.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%
⑤ 糸フシ	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	14 100.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%
⑥ 垂すじ	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	68 100.00%	0 0.00%	0 0.00%
⑦ ネップ	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	15 100.00%	0 0.00%
⑧ 横抜け	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	44 100.00%

図 5 疵検出結果の混同行列の例

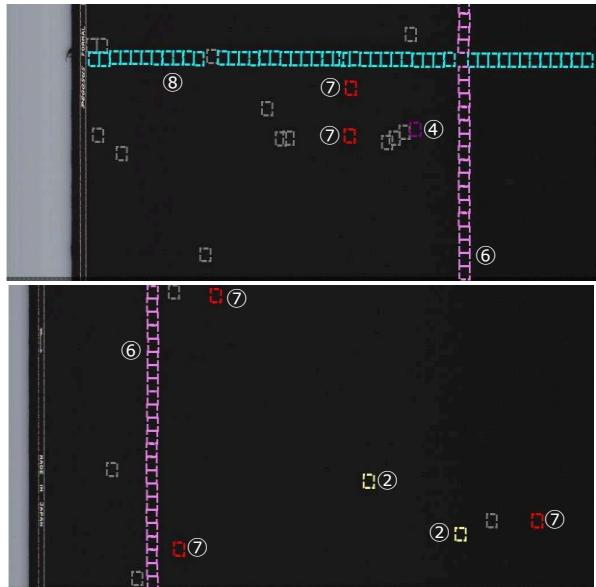


図 6 検出結果の例

図 6 に、実際の疵を検出した結果の例を示す。図中の四角は疵の候補となった箇所で、図 6 上図が研究当初、下図が研究終期の検出結果である。図中の四角の番号(②④⑥⑦⑧)は、図 5 に示した疵の番号に対応している。番号がついていない四角は、AI が①～⑧の疵に分類できなかつたが疵と判定した箇所を表している。この結果を見ると疵以外の箇所が疵として検出される過検出は依然存在しているものの、その数は研究当初と比べると大幅に減少している。これにより、高精度な疵検査が実現できていることが確認できる。

3.2 織機の音と異常検知システムの評価

収集したデータを解析することで、織機の動作と音響に一定の関連性が存在していることを確認した。加えて、解析モデルの構造と音響特徴について様々なパラメータや抽出手法を検討し、目標として設定したシャトルの打ち出し時刻を誤差 40~50ms 以内で推定可能な手法を開発した。

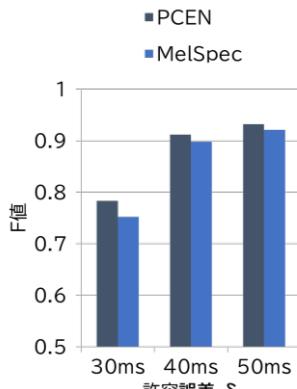


図 7 評価結果

図 7 に、織機の動作時に記録した音響データから、シャトルの打ち出し時刻をどれだけ正確に推定できるか評価した結果を示す。ここでは、音響特徴量として「PCEN(Per-Channel Energy Normalization)」と「Mel スペクトログラム(MelSpec)」の 2 種類を比較し、異なる許容誤差(30ms、40ms、50ms)に対して推定の精度(F 値)を算出している。

F 値は、正解率と再現率のバランスを表す指標であり、1 に近いほど精度が高いことを意味する。図 7 より、いずれの手法でも誤差の許容幅を広げる(30ms → 50ms)ことで F 値が上昇しており、推定がしやすくなる傾向が確認された。とくに 40ms 以上の誤差幅では、両手法ともに F 値が 0.9 前後と高い精度を達成している。

また、PCEN は全体的に Mel スペクトログラムよりも高い F 値を示しており、音の強弱の変化を捉える能力が高いことから、シャトル動作に伴う音の特徴をより的確に表現できていると考えられる。

これらの結果から、織機の動作に伴う音響とシャトルの物理動作には明確な関連性があることが確認されたため、音響の特徴を適切に捉えることで、打ち出し時刻を目標とする誤差の範囲内で推定できる手法を構

築することができた。これは、今後のさらなる高精度化やリアルタイム検出への展開に向けた重要な成果である。

4. 結び

AI による画像の疵検出では、従来の目視検査を上回る見逃し疵出現を達成し、高い識別性能とリアルタイム処理能力を実証した。また、音響 AI による異常予知では、人間の聴覚を超える時刻精度で機械の挙動変化を捉え、非接触・センサレスという利点を活かした予防保全の可能性を示した。

両技術の組み合わせにより、単体では困難な異常の補完検知が可能となり、現場の品質保証体制における信頼性と効率性を大きく高めることが期待できる。さらに、将来的な DX 連携やクラウド基盤との接続により、生産工程全体の最適化・見える化へと展開可能な拡張性を与えることも可能となる。

今後は、装置の小型化・操作性向上・過検出の抑制など、実用化に向けた要素技術の改善を進めるとともに、地域連携やユーザー共創による導入拡大を図る。これにより、繊維産業におけるスマート検査技術の定着と、持続可能なものづくりの実現に貢献することを目指す。

謝辞

本研究の実施に当たって、国立大学法人名古屋工業大学、国島株式会社、有限会社若林の皆様にお礼申し上げます。

付記

本研究は、(公財)科学技術交流財団の知の拠点あいち重点研究プロジェクトIV期「繊維産業に於ける AI 自動検査システムの構築に関する研究開発」により実施した。

文献

- ACM Digital Library:Measuring the Just Noticeable Difference for Audio Latency, https://dl.acm.org/doi/10.1145/3678299.3678331?utm_source=chatgpt.com