

氏 名	ほんだ もとし <b>本田 元志</b>
学位(専攻分野)	博 士 ( 学 術 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 1 0 8 6 号
学位授与の日付	令和 5 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学 位 論 文 題 目	<b>繊維製品の品質検査技術への機械学習の応用</b>
審 査 委 員	(主査)教授 佐藤 哲也 教授 鋤柄 佐千子 教授 桑原 教彰 准教授 北口 紗織

## 論文内容の要旨

繊維製品の品質検査においては、ヒトに依存する目視による評価や判定が採用されている検査が多くある。これらの目視による検査は、ヒトの主観による影響が懸念されているため、何らかの方法でこの問題を解決する方法の開発が望まれている。このことに対して、申請者は、繊維製品の品質検査への機械学習の応用を試み、機械学習を用いて精度良く評価・判定する可能性について検討した内容を申請論文にまとめている。申請論文は 5 章で構成されており、以下に各章の概要を示す。

第 1 章では、研究の背景、目的、概要とともに、繊維分野において機械学習を適用する際の課題について示し、論文の構成について述べている。

第 2 章では、繊維織物の製造に必須の検反工程について、先行研究と比較しながら、機械学習が応用できないか検討している。具体的には、織物画像を入力とした畳み込みニューラルネットワークにおける情報の位置と教師データの有無の組合せを変化させた条件において欠陥検出の可能性を幅広く調査・検討している。この際、機械学習に特有のデータ準備に係る労力をできるだけ少なくすることを狙い、畳み込みオートエンコーダーのネットワーク構造と損失関数を工夫することにより、欠陥検出精度の向上と、訓練データへ欠陥領域が含まれていた場合でも、精度を低下しにくくする試みについて述べている。そして、実際の織機を用いて、図案に関係なく高い欠陥検出精度を達成できるかどうかの実験を行った結果から、実用化に向けての課題について考察している。

第 3 章では、繊維織物や編物にできるピルに対してヒトに目視で等級判定を行うピリング試験に機械学習が応用できないか検討している。この際、第 3 章の検反への機械学習で用いている光学画像データではなく、繊維織物や編物にできたピルの高さの計測データを活用し、畳み込みニューラルネットワークを用いた回帰モデルで判定の専門家による等級判定結果との比較検討を最初に行っている。そして、手法の簡便化を狙って光学画像データを用いた等級予測にも取り組み、照明角度のみを変化させた画像を活用して、ヒトが画像から等級判定を行う際の問題点について考察している。

第 4 章では、法律で義務付けられている繊維種別の記載にかかわる繊維分類において、機械学

習が応用できないか検討している。まず、事前学習済の一般物体認識モデルを活用した転移学習によって、外観形状の異なる繊維種については精度良く分類できるかどうか検討し、その際の諸条件の影響について考察している。続く麻繊維の分類においては、実用的な運用に向けて有益な知見を得ることを目的に、分類精度の向上に取り組むとともに、分類結果の提示方法について提案している。

第5章では、研究全体の総括を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、繊維製品の品質を検査する際に、ヒトの視感で行われている評価や判定を、機械学習を用いて精度良く評価・判定する可能性について検討・考察している。具体的には、現在、ヒトの視感で行われている評価や判定の中でも重要な繊維織物の検反、日本産業規格（JIS）で規格化されているピリング試験の等級判定、ならびに、繊維分類の3種類の品質検査に機械学習法を適用し、その有用性を調べている。

繊維織物の検反では、織物画像を入力とした畳み込みニューラルネットワークにおける情報の位置と教師データの有無の組合せの各条件において欠陥検出の可能性を幅広く検討している。そして、それらの内の一つの手法について、ネットワーク構造と損失関数を工夫することにより、欠陥検出精度の向上と、訓練データへ欠陥領域が含まれていた場合でも、精度が低下しにくいという稀有な特徴の付与に成功している。この手法は、実際の織機を用いた可能性検討実験においても、欠陥の種類によっては図案に関係なく高い欠陥検出精度を達成できることを確認している。また、欠陥検出能力獲得までの検査モデルの訓練時間は伝統的な織物製造業においては十分実用的であることを見出している。

ピリング試験の等級判定では、繊維織物や編物にできたピルの高さの計測データを用いることによって、専門家の判定等級に対して相関が高く、ばらつきを少なく等級予測ができる機械学習手法を開発している。更に手法の簡便化を狙って光学画像からの等級予測にも取り組み、照明角度のみを変化させた画像群の活用によりニューラルネットワークの予測精度向上に努めるとともに、ヒトが画像から等級判定を行う際の問題点を確認し、知見を深めている。

繊維分類においては、事前学習済の一般物体認識モデルを活用した転移学習によって、外観形状の異なる繊維種については精度良く分類できることを見出している。形状の似ていて同じ麻繊維の亜麻と苧麻については、ヒトの顕微鏡観察行動を模してピントを変化させた一連の画像群を取得するというオリジナリティのあるデータで臨んでおり、高精度な分類性能を確認するまでには至らなかったものの、更なる研究に繋がる有益な知見を得ている。加えて、多量の単繊維を分類する作業においてヒトの目視による判断をサポートすることを想定し、画像内の領域毎に予測結果を重畳表示するという例を示し、形状の似ている同一繊維種内での難しい分類についても、実用的な運用に向けて有益な知見を得ている。

以上の研究成果は、繊維製品の品質検査において機械学習を応用することの有用性と評価・判定精度向上の可能性を見出しており、繊維製品の品質検査の新たな試みとして評価できる。

本論文の内容は、下記の公表された査読論文 5 編を基礎としている。なお、下記 2 の論文で、申請者は繊維製品消費科学会の年度論文賞を受賞している。

1. 本田元志，廣澤覚，三村充，早水督，北口紗織，佐藤哲也，機械学習による柄織物の教師なし欠陥検出法の提案と検証，*Journal of Textile Engineering*, Vol.66, pp.47-54, 2020
2. 本田元志，廣澤覚，西野重樹，倉本幹也，北口紗織，佐藤哲也，畳み込みニューラルネットワークを用いたピリング等級判定の試み，*繊維製品消費科学会誌*, Vol.61, pp.730-737, 2020
3. 本田元志，廣澤覚，北口紗織，佐藤哲也，紋織物向け欠陥領域検出自動学習システムの実現可能性の検討，*Journal of Textile Engineering*, Vol.68, pp.87-97, 2022
4. 岡本和哉，倉本幹也，本田元志，廣澤覚，佐藤哲也，北口紗織，深層学習を用いた繊維の外観形状による分類，*繊維製品消費科学会誌*, Vol.63, pp.242-249, 2022
5. 本田元志，室瀬美咲，廣澤覚，倉本幹也，北口紗織，佐藤哲也，視覚評価および畳み込みニューラルネットワークによる光学画像からのピリング等級判定における照明角度の影響，*繊維製品消費科学会誌*, Vol.63, pp.250-257, 2022