

Title	機械学習によるOLED製造工程での不良検出に関する研究
Author(s)	富田, 暁
Citation	
Issue Date	2022-12
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/18190">http://hdl.handle.net/10119/18190</a>
Rights	
Description	Supervisor:小谷 一孔, 先端科学技術研究科, 博士

氏 名	富田 暁			
学 位 の 種 類	博士 (情報科学)			
学 位 記 番 号	博情第 490 号			
学 位 授 与 年 月 日	令和 4 年 12 月 23 日			
論 文 題 目	機械学習による OLED 製造工程での不良検出に関する研究			
論 文 審 査 委 員	主査	小谷一孔	北陸先端科学技術大学院大学	教授
		東条 敏	同	教授
		長谷川 忍	同	教授
		岡田 将吾	同	准教授
		阿部 亨	東北大学	准教授

## 論文の内容の要旨

In this paper, we discuss the automatic detection of mura defects, non-uniformity of brightness or color, which has been a long-standing challenge in the display industries. Our purpose is to develop a method using machine learning, which automatically detects and classifies mura in the front-end process. This will enable prompt feedback to the manufacturing process and contribute to improvement of the productivity.

The dataset we made for this work consists of 8 classes and 1000 images for each class, totaling 8000 images obtained from an actual OLED (Organic Light Emitting Diode) manufacturing line, including four different types of mura which frequently occur in the manufacturing process.

In the evaluations of multiclass classifications using general machine learning models such as SVM (Support Vector Machine), CNN (Convolutional Neural Network), and Residual Neural Network (ResNet), the accuracy was improved to 0.830 by adjustments of parameters such as layer structures and training modes. However, weak mura with low contrast and small defective areas are difficult to be detected by such models because of the confusion with normal displays with no defects, and thus new approaches were necessary.

Our approaches are based on the human visual perception. One of the measures taken to ensure test accuracy in the human visible test is that test-images appropriate for each type of defects are used to clarify the deference between the defective area and the normal area. To reproduce this measure with machine learning, we enhanced contrast of the images of the dataset before inputting them into the machine learning models. Another measure to ensure test accuracy in the human visible test is boundary-samples which are compared with a display being tested when a human tester is unsure of the decision. We evaluated 2-class classifications based on the subspace method to reproduce the boundary-samples with machine learning.

We propose “Progressive Hybrid model” which consists of a multiclass CNN, a 2-class ResNet, and a 2-class CNN. The two 2-class models which reproduce the boundary-samples in the human visible test are for accurate classification between Normal displays and weak mura with low contrast and small defective areas. To reproduce the appropriate test-images used in the human visible test, we enhanced contrast of the images of the dataset using the sigmoid function. The proposed model showed the improvement of the accuracy from 0.830 in the general application of CNN to 0.884. It was also confirmed that the proposed model is particularly effective to improve the classification accuracy of Normal displays by reducing the confusions with weak mura with low contrast and small defective areas. As Normal displays are usually the most numerous in the manufacturing, the improvement effect of the proposed method is further

beneficial in the practical use.

Keywords: Display, Machine Learning, Mura, Detection, Subspace Method, Contrast Enhancement

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、OLED（Organic Light Emitting Diode、有機 EL ディスプレイ）の製造工程における不良を高精度に画像検査する手法を与えた。特に前工程での製造装置のセッティング不良や環境条件の変化などにより生じる製品不良の有無と項目を早期に検出し、これを前工程でのセッティングの修正や材料の調整などに反映することにより不良の継続を防いで製造効率の向上を実現する。

OLED の製造工程において、ガラス面への有機材料の塗布や電極の蒸着などを実施する前工程と呼ばれる段階で発生する不良を放置すると 1 ヶ月ほどの後工程を経て製品検査でようやく不良が確認され、この間に不良が生産され続けるという大きな問題が生じる。これを防ぐために前工程終了段階で画像を表示して人が目視で検査していたが、検査精度が検査員のスキルに依存する上、大量生産の現場では見落としも生じる。このため画像検査装置が導入されたが、電極異常などによる線状の表示不良など明確な不良しか検出できなかった。特に目視でかろうじて見つけられる表示ムラという不良があり、検査装置では抽出が困難であった。

本論文は人の視知覚特性である Weber の法則に基づいて撮影画像をロジスティック関数によりコントラスト強調を適用し、各種の不良特性と目視検査行動に基づいて最適化した部分空間における深層学習により項目毎の不良を識別するプログレッシブ・ハイブリッドモデルを提案した。これらを考慮しない多クラスの特徴空間での深層学習機に比べて提案手法は 20 ポイント近い高い精度効果が得られ、製造現場への試験的な適用においても高い評価を得ている。

画像情報に対する機械学習の研究、論文では、まずネットワークモデルを選択し、豊富な学習データを使用して必要な特性を獲得してきた。これはいわゆる heuristics なアプローチと見なせ、特性の獲得を機械（計算機）に委ねている。本論文は人の視知覚特性、検査行動特性と画像特徴との関係を予め分析、モデル化した上で特徴毎に最適化した深層学習機を与えており、従来研究に比べて効率よく高い精度を実現するアプローチの良い手本といえよう。

以上、本論文は OLED の製造時に発生する不良（特に各種表示ムラ）を、その特性毎に高精度に検出する手法を提案し、複数の異なる特性を学習する深層学習機の最適化に不可欠な技術を与え、学術的に貢献するところが極めて大きい。更に提案手法は製造現場へ試験的に導入して高評価が得られており、高い実用性も認められる。よって博士（情報科学）の学位論文として充分価値あるものと認めた。