

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	機械学習による電子写真プロセスの温度予測法の開発
Title(English)	
著者(和文)	長谷岳誠
Author(English)	Takamasa Hase
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12525号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:笹部 崇,岡村 哲至,奥野 喜裕,西田 佳史,伏信 一慶
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12525号, Conferred date:2023/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	( 工学 )
学生氏名： Student's Name	長谷 岳誠		審査員主査： Chief Examiner	笹部 崇 准教授

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

近年の商用印刷の市場動向として、従来の大量印刷から、顧客需要の多様化、小ロットの印刷へ需要がシフトしている。電子写真方式デジタル商用印刷は多種多様なメディアにも特殊な処理をせずに印刷が可能であり、様々な顧客要望への対応性に優れている。今後の商用印刷の付加価値として、印刷速度の高速化と多種多様なメディア対応が更に拡大していくと考えられる。それに伴い、特に定着プロセス起因の熱課題についても多種多様になる。熱課題の中で、排紙トレイでの画像貼り付きであるトナーブロッキングは、印刷速度高速化の影響を受け、多種多様なメディアに対しても発生状態が異なる。また、多種多様なメディアに対する定着プロセスの最適条件は異なり、過剰な加熱はトナーブロッキングや環境性能を悪化させ、また加熱が不十分であればコールドオフセットを引き起こす。これらの相互に関連する課題に対して、短い開発期間における予測、対策、設計には、従来の複雑な熱物理モデルによる解析ではなく、簡易かつ高精度にモデル構築が可能な機械学習が適している。そこで、本研究では機械学習モデルを基本としたトナーブロッキングの予測手法と、定着プロセスのトナー定着性予測手法を開発することを目的とした。

トナーブロッキングを予測するための排紙部紙温度予測において、第一の機械学習モデルとして FNN モデルを適用した。従来は紙の坪量でカテゴリ分けしており、坪量のみ入力した場合の予測精度は、 $\pm 9^{\circ}\text{C}$ であったが、坪量、厚さ、平滑度を入力することで、過学習を抑制し、予測精度は $\pm 5^{\circ}\text{C}$ に向上した。第二の機械学習モデルとして時系列データを扱うことができる LSTM モデルを用い、印刷開始後 20 枚の温度データから、最大 500 枚までの紙温度を予測することが可能となった。LSTM モデルと比較するための同じ条件における FNN モデルの予測精度は $\pm 6^{\circ}\text{C}$ であったが、LSTM モデルでは $\pm 4^{\circ}\text{C}$ となり、時系列データを入力することによる予測精度向上を確認した。第三の機械学習モデルとして、印刷時における定着装置の部材温度から紙物性を予測できるモデルを構築した。坪量、厚さの予測精度は、 $\pm 10\%$ 以内であったが、平滑度の予測精度は $10\%$ 以内には収まらず、過学習と判断された。

一方、排紙部紙温度予測モデルは、機械学習のみによる予測であるため、定着装置温度、印刷速度、紙物性を組み合わせた多くの学習実験が必要であった。そこで、従来から用いられている定着ニップ部、定着ニップ後を表す熱回路モデルをベースに、機械学習を組み合わせて定着プロセス後の紙温度を予測する手法を開発した。従来の熱回路モデルのみの予測誤差は $\pm 22^{\circ}\text{C}$ であったが、本手法は $\pm 6^{\circ}\text{C}$ の予測精度が得られた。また、8 条件の学習実験から 72 条件の検証実験の予測を行い、学習していない条件についても予測が可能となった。従来の熱回路モデルのみでは、測定困難な紙の熱伝導率や、定着ニップ後における紙に含まれる水分の蒸発潜熱影響により予測誤差を低下させたが、本手法は学習実験によって得られた熱物性値を入力することで、高精度に予測が可能となった。

更に、熱回路モデルと機械学習とを組み合わせた手法により、トナーがコールドオフセットしない定着温度範囲を予測する手法を開発した。従来の熱回路モデルのみの予測誤差は $\pm 19^{\circ}\text{C}$ であったが、本手法は $\pm 6^{\circ}\text{C}$ の予測精度が得られた。また、学習した 2 種類の紙種以外の 2 種類の紙種についても予測可能であった。従来手法はトナー温度を面内平均で計算しているが、本手法は僅かでもコールドオフセットが発生する場合の最悪値で学習しており、前モデルと同様、測定が困難である対象に対して本手法は有効であった。

以上により、いずれのモデルにおいても従来手法よりも高い予測精度が得られたが、機械学習の課題は前述したとおり多くの学習実験を必要とすることであり、学習データ取得コストに対する予測可能範囲を拡大させることが、機械学習の利用価値を高めることに繋がる。今後は、本論文の提案手法の製品開発、設計プロセスへの展開、製品搭載へ向けて、複数の機種や紙種についての更なる追加検証と、製品展開に適した機械学習アルゴリズムの開発を継続する。電子写真方式商用印刷は今後も付加価値の向上、市場の発展が見込める分野である。この分野への機械学習の導入は、顧客要望への対応性向上、短納期での製品開発に繋がり、更なる業界発展に貢献できると考えられる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	長谷 岳誠		審査員主査： Chief Examiner	笹部 崇 准教授	

### 要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Recently, customer demands for commercial printing have been diversified, and optimal conditions for fusing process and occurrence conditions of toner blocking on outlet paper tray, which is a thermal issue caused by the fusing process, vary depending on a wide variety of paper media. The objective of this study is to develop temperature prediction method for electrophotographic process based on machine learning (ML) model to predict those issues.

In order to predict outlet paper temperature, FNN model was applied and obtained prediction accuracy of  $\pm 5$  °C, which was target value. The second ML model was LSTM model that handled time-series data, and by inputting temperature data of first 20 sheets, paper temperature of 500 sheets was predicted, and prediction accuracy was  $\pm 4$  °C. The prediction accuracy was improved by inputting time-series data. The third ML model could predict paper properties by inputting the fusing unit temperatures during printing. The prediction accuracy of basis weight and thickness was within  $\pm 10\%$ , but the prediction accuracy of smoothness was not within 10%, and it was judged to be overfitting.

In order to predict the paper temperature after the fusing process with small number of training experiments, method of combining ML and conventionally used thermal network model that represents the fusing process was developed. The prediction error of the conventional thermal network model is  $\pm 22$  °C, while this method has a prediction accuracy of  $\pm 6$  °C. Furthermore, this method was applied to the prediction of fusing temperatures range where toner was fixed properly. The prediction error of the conventional thermal network model was  $\pm 19$  °C, while this method achieved prediction accuracy of  $\pm 6$  °C.

Those results indicate that ML models had higher prediction accuracy than the conventional physical model, and that the introduction of ML can be considered to contribute to further improvements in the electrophotographic commercial printing industry.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).