

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		長谷 岳誠	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	笹部 崇		准教授		伏信 一慶	教授
	審査員	岡村 哲至		教授	審査員		
		奥野 喜裕		教授			
		西田 佳史		教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本研究は「機械学習による電子写真プロセスの温度予測法の開発」と題し、全5章から構成されている。 第1章「緒論」では、近年の印刷技術を取り巻く環境変化と、その中で拡大を続ける商用デジタル印刷の動向、中でもEP（電子写真方式）による商用印刷の利点を概観し、デジタルシフトのために今後期待される更なる高速化、高画質化実現には、排紙部におけるトナーブロッキングと定着プロセスの双方における温度予測・制御が重要となることを述べている。その上で、EPによる商用印刷機は従来から温度センサを始めとする各種センサを機体に搭載しており、これまで当該目的に用いられていないこれらセンサの出力などを入力とする機械学習を用いた温度予測手法の新規性・優位性を論じた上で、機械学習を用いた新たな温度予測手法の開発が本研究の目的であると述べている。 第2章「機械学習を用いた電子写真プロセスにおける紙温度予測」では、EPによる商用印刷機におけるトナーブロッキング回避のための排紙部紙温度予測と紙特性値予測を目的とした機械学習アルゴリズムを開発している。まず、FNN（順伝播型ニューラルネットワーク）モデルを用い、印刷条件だけでなく、紙特性値の坪量、厚さ、平滑度を順に入力として加えることで、排紙部紙温度の予測精度が順に向上することを示し、その要因がこれら紙特性値は紙の熱物性値である比熱、熱伝導率、接触熱抵抗に影響を受けるためであることを論じている。また、連続印刷時の枚数ごとの排紙部紙温度履歴予測のため、LSTM（長・短期記憶）モデルを用いた予測モデルを開発し、印刷開始から20枚のデータを用いて数百枚後の温度を予測できることを示している。さらに、これらの機械学習モデルの予測精度向上には紙特性値が必要となるが、市場で出回る膨大な紙銘柄全ての紙特性値取得が困難であることに鑑み、機体搭載の温度センサの出力データなどを用いることで紙特性値を予測する機械学習モデルを開発し、以後の紙温度予測の入力に用いることで、多様な紙種に対して十分な精度で紙温度予測が可能となることを示している。 第3章「機械学習と熱回路網法による紙温度予測」では、熱回路網法により物理モデルで得られた紙熱物性値、印刷条件と紙温度との関係を用いて学習した学習器を用い、少数回の紙温度の実験データから紙熱物性値を予測し、得られた紙熱物性値を用いることで熱回路網法により様々な印刷条件での当該紙種の紙温度予測を行う新たな予測手法を構築している。これにより、機械学習のみに依拠する手法で必要となる新規な紙種の温度予測に必要な学習データ取得の工数が大幅に削減されるとともに、印刷時の紙温度、含水条件の急激な変化に起因する従来手法での熱物性値測定の困難さも同時に解決されると述べている。特に、従来手法とは印刷時の紙熱物性値の予測値が大きく異なることを示し、その要因として、定常法による従来手法での計測は含水量に影響を及ぼすため、一般に熱伝導率の値を小さく見積もり、また、定着部通過直後の紙温度予測では紙内部非定常熱伝導に及ぼす紙熱物性値や水分蒸発による潜熱損失の影響により予測誤差が大きくなることなどを明らかにしている。 第4章「機械学習と熱回路網法によるトナー溶解性予測」では、定着時にトナーが適切に溶解するか否かの予測のため、紙表面温度がトナー溶解を担保し得る定着温度下限、すなわち紙へのトナー定着を実現できる定着ベルト温度の下限値を予測するモデルとして、機械学習と熱回路網法を融合したモデルを開発し、実用に供する予測精度で定着温度下限を予測できることを示すとともに、少ない紙種と印刷条件の学習データから、より多い紙種と印刷条件での予測実現を可能としている。また、紙熱物性値取得に従来の測定手法を用いた手法では、特に普通紙に対して予測誤差が大きく、これはコート紙と異なる紙表面でのトナーと定着ベルトとの接触のばらつきに起因するトナー溶解状態のばらつきの大きさに起因することなどを示している。 第5章「結論」では、本研究の成果を概観し、得られた知見と今後取り組むべき研究の方向性を総括している。以上を要するに本論文は、EPによる商用印刷機の開発期間短縮・コスト低減のため、機体に搭載されるセンサが出力するデータを活用した機械学習を使う新たな温度予測手法を提案し、その有用性を実証するとともに、当該手法との比較で物理モデルベースでの温度予測手法の課題とその差異の要因を明らかにしており、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。