

高速カラー電子写真方式における省エネ定着技術

Energy-Saving Fusing Unit for a High-Speed Electrophotographic Printing System

清水 洋介* 田淵 健二* 益田 朋彦**
Shimizu, Yousuke Tabuchi, kenji Masuda, Tomohiko
鴨田 雄二*** 加川 哲哉****
Kamoda, Yuji Kagawa, Tetsuya

要旨

電子写真プロセスを使用したMFPにおける省エネルギーへの対応としては、ウォームアップタイム（以降WUT）の短縮が重要な課題である。WUTに大きな影響を与える定着機構として、新たに外部IH加熱方式による定着装置を開発し、高速カラーMFPのbizhub C550（カラー45枚/分、モノクロ55枚/分）に搭載した。

新規開発した定着装置は加熱源であるIHコイルを定着ローラ外部に設け被加熱部材に金属ベルトを使用する形態とし、シリコンスポンジによりベルトを支持する1軸構成をとることで放熱を抑制し熱容量を極力抑えた。また加圧ローラについてもシリコンスポンジ層を設けることで低熱容量化と放熱抑制を図った。その結果bizhub C550では、従来機に比べて大幅なWUT短縮とエネルギー消費量の低減を実現した。

Abstract

Shortening of warm-up time (WUT) is one of the most important ways for MFPs incorporating an electrophotographic printing process to save energy. Since a fusing unit structure has much influence on WUT, a new fusing unit employing an extension IH heating device was developed to be installed on bizhub C550, a high-speed color MFP capable of 45 color and 55 B/W pages per minute.

In the above fusing unit, an IH coil was mounted outside of a fusing roller which was composed of a metal belt as heated material, and a silicone sponge roller, which secured the belt co-axially. This structure exhibited great effects in suppressing heat radiation as well as in reduced heat capacity of itself. A pressure roller was also designed to suppress heat radiation and to reduce heat capacity by adopting a silicone sponge layer. As a result, bizhub C550 achieved a drastic reduction in WUT and energy consumption compared with conventional MFPs.

* コニカミノルタ ビジネステクノロジーズ(株)
機器開発本部 機器第2開発センター 第22開発部
** コニカミノルタ ビジネステクノロジーズ(株)
機器開発本部 画像技術開発部
*** コニカミノルタテクノロジーセンター(株)
システム技術研究所 プリント技術開発室
**** コニカミノルタ ビジネステクノロジーズ(株)
機器開発本部 プロセス改革推進部

1 はじめに

近年、地球温暖化の問題等から産業界においては環境負荷低減に対する取り組みが非常に注目されている。中でもエネルギー総消費量はユーザーが製品を購入する際の大きな判断指標であり、機械全体の中でも特に重要な製品スペックのひとつとなっている。

このような動向下において我々は消費電力量を飛躍的に低減することができる定着装置を開発し、bizhub C550（カラー45枚/分、モノクロ55枚/分）に搭載した。本報告ではbizhub C550用定着装置を開発するにあたり、消費電力低減技術を中心に、これまで取り組んできた内容について紹介する。

2 省エネルギー化へのアプローチ

機械の消費エネルギーを示す指標のひとつとしてはTEC（Typical Electricity Consumption）値がある。これは、国際エネルギースタンププログラムにて制定された、一週間を基準として標準的な使用状態を想定した時に消費される総エネルギー量を示すものである。この中では、機械の標準的な使用状態として、ウォームアップモード⇒コピーモード⇒スタンバイモード⇒ローパワーモード（またはオフモード）からなる一連のコピー動作が繰り返し行われることが規定されている。

Fig. 1にはその標準的な使用における電力消費状況を示す。従来機ではウォームアップモード、スタンバイモードおよびローパワーモードといったプリントモード以外の状態で定着装置の待機温度を維持するために多くの電力を消費していた。

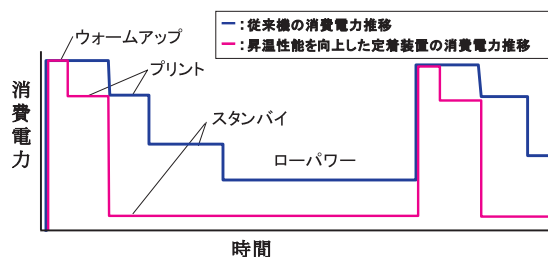


Fig.1 Comparison of electrical consumption in the standard operating mode operation between conventional and the fusing units

スタンバイモードやローパワーモードといった待機状態において消費電力を低減するには、定着装置の待機温度を低く設定することが最も効果的である。しかしながらそれだけでは、機械の復帰時間が長くなってしまい、逆にユーザーの使い勝手を低下させることになる。そこで定着装置の昇温性能を向上させ、WUTを短縮することにより、『ユーザーの利便性』と『省エネルギー性能』を同時に向上させることを試みた。

Fig. 1には、定着装置の昇温性能を向上させ、同時に待機温度を低く設定した場合に予測される消費電力推移も併せて示した。このようにプリント状態以外での消費電力を抑えることは、機械としての消費電力量を低減することに対して効果的であるといえる。

3 定着装置の構成

3. 1 要求性能および定着装置構成

bizhub C550の定着に対する主な要求性能は、

- ショートウォームアップタイム
- 高速化対応
- 高寿命化

であった。この要求性能を満たすために今回我々が開発した定着装置の構成図をFig. 2 aおよびFig. 2 bに示す。

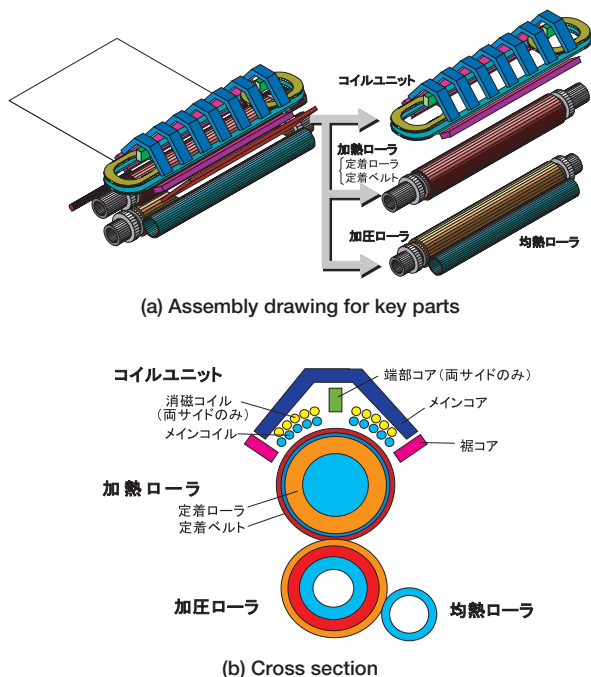


Fig.2 Fusing unit of bizhub C550

新規開発した定着装置は加熱源であるIHコイルを加熱ローラ外部に設け、コイル周辺に発生する磁束を効率的に加熱ローラに向けて誘導するためのコアを配置した。加熱ローラは定着ローラの外周に被加熱部材となる定着ベルトを被せ、定着ローラがベルトを支持する1軸構成

とした。本定着装置の特徴として大きく3つのポイントがあげられる。

1. 被加熱部材の低熱容量化
 2. 高断熱化による放熱防止
 3. 供給電力の最大化
- 以降にその詳細を説明する。

3. 2 被加熱部材の低熱容量化

記録紙に熱を供給しトナーを溶融するために、定着ユニット内の熱供給部材（記録紙に接触して熱を伝える部材）をあらかじめ加熱昇温しておく必要がある。従来方式は、加熱源として熱供給部材に内蔵されたハロゲンランプを用い、熱伝導によって間接的に熱供給部材に伝えていたため、熱供給部材以外にハロゲンランプ自身や周辺部材の熱容量が加わり、昇温性能を高めることが困難であった。そこで加熱源をIHコイルとし、熱供給部材である定着ベルト中に設けられた被加熱部材を直接電磁誘導加熱する方式を選定した。さらに被加熱部材を薄肉金属ベルトとすることで低熱容量を図り、定着システム全体として、従来機の1/3以下の熱容量を実現した。Fig. 3に加熱ローラの構成図を示す。

3. 3 高断熱化による放熱防止

加熱されたベルトの内側にはベルトを保持する定着ローラが、外側にはニップを形成する加圧ローラが当接している。これらの当接部材には耐熱性が高く、弾性機能を有するシリコンゴム層を設けることが一般的であるが、加熱されたベルトの熱エネルギーがシリコンゴム層を介して周囲に拡散してしまう。そこでこれらの当接部材には断熱性を高めるためにシリコンゴムを発泡させたスポンジ材料（以降シリコンスポンジ）を採用することで、ベルトからの放熱を抑制し低電力にてベルトの温度を高温に維持できる構成とした。

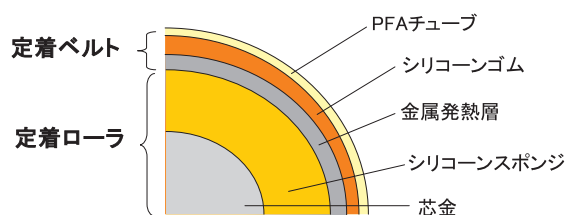


Fig.3 Details of the heating roller assembly

3. 4 供給電力の最大化

加熱方式にIHを採用することによるもう1つのメリットとして、供給電力を機械の状況に応じて常に最大にできるということがあげられる。一般的な定着熱源として広く利用されているハロゲンランプでは投入電力は固定もしくは限定された条件での切り替えしかできなかった。一箇所のコンセントから機械に供給できる電力には上限があり（例えば日本国内では1500W）、定着熱源への供給電力は、そこから熱源以外のエレメントにて使用さ

れる電力の合計値を差し引いた値に設定しなければならない。高速機では、駆動などの熱源以外の必要電力も高くなる要素を含んでおり、定着としては、割り当てられた熱源への供給電力の範囲内では、昇温性能が低下するだけでなく、連続プリント時にはベルトを所定の温度に維持することができなくなり、定着強度を確保するのが困難であった。それに対しIHではコイル電源の周波数を変更することにより定着への供給電力をフレキシブルに変化させることができる。機械の使用状態に応じて、その時に使われていない電力を定着に割り振るように機械全体の電力をコントロールすることで、余剰電力を全て定着に供給可能となり、昇温性能も連続プリント時の生産性も常に最大限に発揮させることができた。

4 外部 IH 定着の課題

上述のように、本定着装置には昇温性能を向上させる種々の方策を盛り込んでいる。しかしながら同時にIH熱源特有の課題や、熱容量を小さくしたことによる不具合を克服しなければならなかった。以下にその課題と対応の方策を示す。

4.1 発熱分布の均一化

本加熱方式は、ベルトと一定の距離に保持されたコイルに交流電流を流すことで交番磁界が発生し、この磁束の変化によりベルトの金属層にできる誘導電流によってジュール熱を発生する仕組みとなっている。したがってコイルから発生する磁束密度分布そのものにムラがあった場合、ベルトの発熱分布にも直接影響を与えることになる。

コイルのベルト軸方向両端部では磁束がベルト端部より外側に広がることで磁束密度が低下し、ベルト両端部に温度ダレが発生する傾向があった。ベルト金属層の発熱分布をコントロールするためには、コイル/コア/ベルト等の部材に関連する数多くのパラメータが磁束の形成に、どのように影響するのかを把握することが必要である。しかしながら磁界そのものを正確に測定すること自体が困難である上に、関連するパラメータの全てを検証するには膨大な工数と時間が必要である。そこでコイルから発生する磁束をCAE(Computer Aided Engineering)解析することによって、磁束の形成に大きく影響するパラメータの抽出を行った。

ベルト両端部における磁場の解析結果の一例をFig. 4に、またこの時のベルト端部の発熱分布をFig. 5に示す。ベルトの両端部に対向する補助コア（以降端部コア）を設けることでベルトを貫通する磁束の密度が高い領域が広がっており、その結果ベルト端部の発熱量が増加しているのが判る。このように、これまで検証することが困難であった磁束をCAE解析によって視覚化したことで、短期間で磁束およびベルト発熱分布に大きく影響するパ

ラメータを特定した。そして端部コアやその他、磁束に影響するパラメータを最適化することによって、ベルト両端の磁束密度を増加させ、ベルト軸方向の温度分布の均一化を行った。

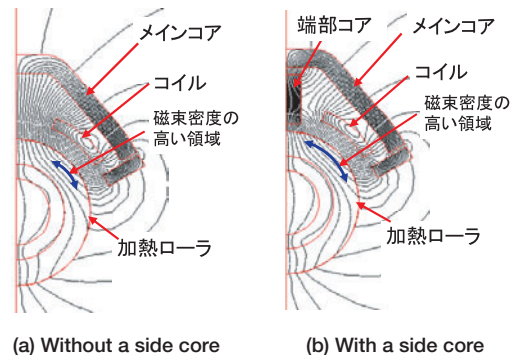


Fig.4 Magnetic flux calculation around ends sides of the coil

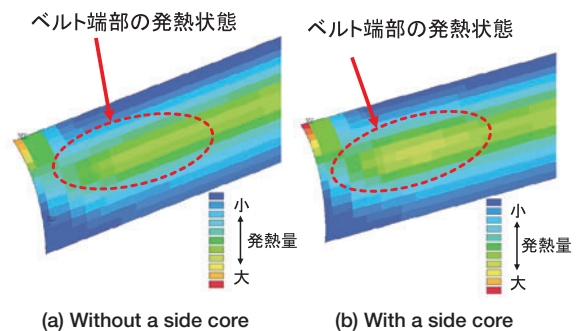


Fig.5 Simulated heat generation distribution at the end side of the belt

Fig. 6は最適化前後における、実際にベルト軸方向の温度分布を測定した結果である。このグラフから、最適化前にベルト両端温度が大きく落ち込んでいたものが、コイル周辺のパラメータを最適化することによって、通紙領域全域においてほぼフラットな温度分布となったことが判る。

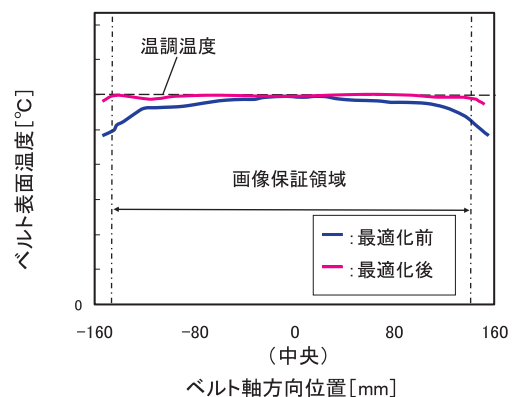


Fig.6 Experimental result of temperature distribution in the axial direction of the belt after completion of warm-up; comparison between before and after design optimization

4. 2 端部温度上昇の防止

本定着装置では熱容量の小さい薄肉金属ベルトを直接加熱する構成となっている。そのため従来機のように、加熱ローラの芯金が剛性を保つために所定の肉厚を有しているものに比べて軸方向の熱移動量が小さく、幅の狭い記録紙を連続通紙した場合、ベルト上の非通紙領域が異常高温となり、ベルトおよび周辺部材の破損に至る。そこでベルト非通紙部の温度上昇を防止する方策として、非通紙領域にメインコイルで発生する磁界を打ち消すために別のコイル（以降消磁コイル）を設け、ベルトの端部温度によってその動作を制御することとした。さらに加圧ローラにアルミ製のローラ（以降均熱ローラ）を当接し、軸方向の熱移動を促進させることにより、局所的な温度上昇を防ぐ構成とした。Fig. 7 aおよびFig. 7 bにはCAE解析による最適化前後の非通紙部温度の計算結果を示す。ここでもCAEによる電磁場解析および熱伝導解析を活用することで、実際の部品を試作することなく、加熱ローラの表面温度を予測し、短期間で消磁コイルおよび均熱ローラに関するパラメータの最適化を行った。Fig. 8に確認実験として実際に小サイズ用の紙を連続通紙した時のベルト温度分布測定結果を示す。この結果から、消磁コイルおよび均熱ローラの設置・最適化により非通紙部での温度上昇を低減できたと共に、CAE解析がその検討に有効的に活用できていたことが判る。

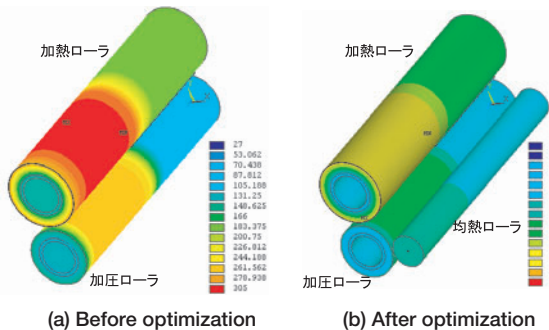


Fig.7 Simulated temperature distribution of the fusing devices at the border of the fed area and the non-fed area

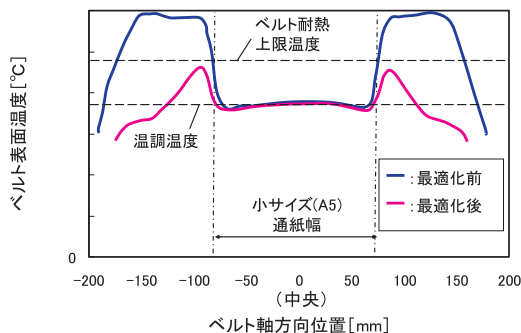


Fig.8 Experimental result of temperature distribution in the axial direction of the belt by multiple print test of narrow paper; comparison between before and after design optimization

4. 3 耐久性の確保

本定着装置のニップ形成状態をCAE解析した結果をFig. 9に示す。

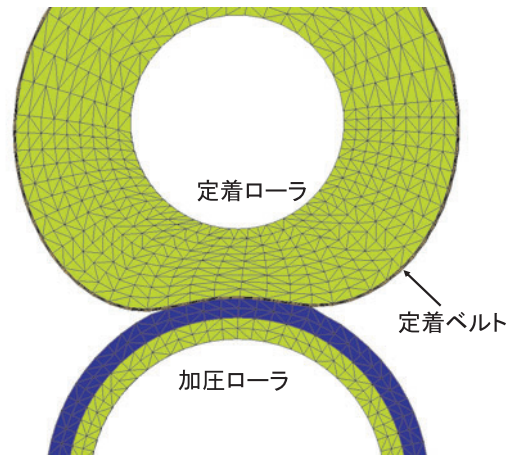


Fig.9 Fusing nip formation; simulation via CAE analysis

定着装置に送り込まれた記録紙上のトナー画像是定着ニップ部にて加熱溶融されることで、記録紙上に固定される。必要な定着強度と用紙分離性を確保するためにニップ部の形状は定着ローラ側を大きく歪ませた構成とした。

前項で述べたように定着ローラおよび加圧ローラに断熱性の高いスポンジ材料を選定しており、これによりベルトからの放熱が抑制され、昇温特性を向上させることができる。一方シリコンスポンジ材はその特性としてシリコンゴムに比べて物理的強度が低く、特にニップでの応力歪みが多い定着ローラについては、その繰返し応力および熱負荷によってスポンジセルの劣化が進行し耐久使用にしたがって初期性能を維持できない課題があった。

そこで我々は新たなスポンジ材料を探索し、従来にはない高機能を有するスポンジ材料を採用することで耐久使用による定着機能の低下を防止した。今回採用したスポンジ材料は従来ものからスポンジのセル構成および形状を改良することで局部的に応力が集中することを防止している。また同時に高い反発弾性を維持することに

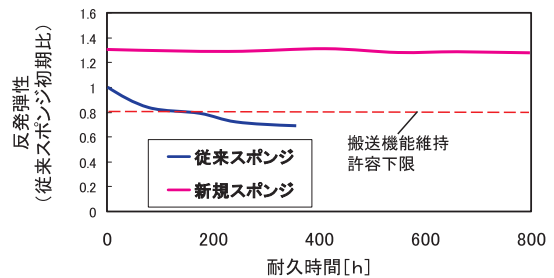


Fig.10 Transition of rebound resilience of the fusing roller via an endurance test; comparison between conventional sponge and the sponge

より、スポンジ内部でのエネルギーロスの低減を実現している。Fig.10に耐久使用による定着ローラの反発弾性の変化を示す。

定着ローラとしてニップ部での繰り返し応力と熱負荷を与え続けた状態において、従来スポンジはセル破壊およびスポンジ劣化が進行し反発弾性が低下していたのに対し、新規スポンジでは反発弾性が初期からほとんど変化すること無く、スポンジの耐久劣化が非常に少ないことを示している。その結果、従来スポンジでは耐久によって通紙搬送性の低下・トルクUP等の機能不良が発生していたのに対し、新規スポンジでは長時間の使用においても機能低下がなく、定着ローラの耐久性向上および定着システムの高寿命化を実現した。

5 到達性能

5.1 ウォームアップタイム

本定着装置における加熱ローラの昇温特性をFig.11に示す。種々の方策を盛り込んだ結果、昇温性能は大幅に向上し、ウォームアップタイムは従来の1/3以下に短縮している。

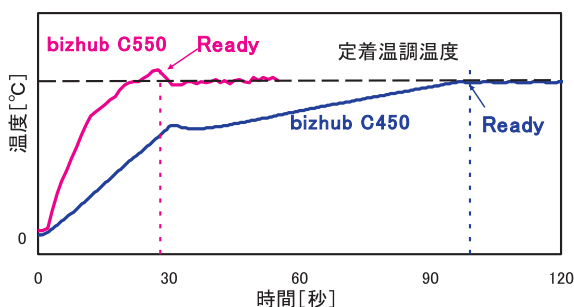


Fig.11 Comparison of the rising curve of heating roller temperature between bizhub C450 and C550

5.2 省エネルギー

Fig.12にbizhub C550および弊社従来機種(モノクロ)のTEC測定結果を示す。横軸には機械のプリント速度(モノクロ)、縦軸がTEC値を表しており、bizhub C550のエネルギー消費量は従来機実績から予測するレベルのおよそ半分程度に抑えられている。

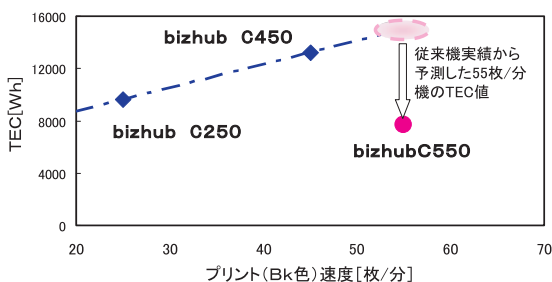


Fig.12 Measured TEC (Typical Electricity Consumption) of conventional MFP series and bizhub C550

6 まとめ

bizhub C550の製品化にあたり、外部IH加熱方式を採用した定着装置を開発した。本定着装置には低熱容量化技術を中心に様々な新規技術を搭載しており、その開発過程においてはCAEによる電磁場解析や熱伝導解析を活用することによって、検証精度を向上および開発期間の短縮を図った。

その結果、昇温性能は従来のものに比べて大きく向上し、本定着装置を搭載したbizhub C550は大幅なWUT短縮とエネルギー消費量の低減を実現した。