

(3) 高速カラー電子写真方式における省エネ定着技術

(採用機種：KONICA MINOLTA bizhub C650/C550/C451 シリーズ)

清水 洋介

コニカミノルタビジネステクノロジーズ株式会社
機器開発本部 機器第2開発センター 第22開発部

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大きく注目されている。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仕様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 C650/C550/C451 シリーズに搭載した。本報告ではこの省エネルギー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。



Fig.1 Color MFP bizhub C650

	プリント速度		ウォームアップタイム (*)	発売時期
	モノクロ	カラー		
bizhub C650	65枚/分	50枚/分	30秒	2007年7月
bizhub C550	55枚/分	45枚/分	30秒(海外仕向) /60秒(国内仕向)	2007年2月
bizhub C451	45枚/分	45枚/分	30秒(海外仕向) /60秒(国内仕向)	2007年5月

*ウォームアップタイムは副電源 ON 時の値

Table.1 The product specifications of bizhub C650/C550/C451 series

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 TEQ (Typical Electricity Consumption) 値がある。これは、国際エネルギースタート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.2 に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。

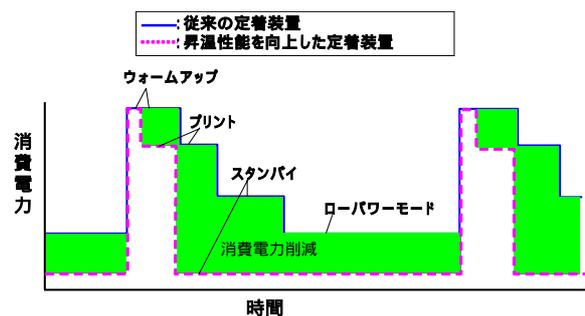


Fig.2 Transition of electricity consumption according to a regular operating mode; comparison between a conventional MFP and a target

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、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、ウォームアップ時間を短縮することにより、『ユーザーの利便性確保』と『省エネルギー性能向上』の両立を図った。

Fig.2 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 C650/C550/C451 シリーズの定着に対する主な要求性能は下記の通りである。

- ショートウォームアップタイム
- 高速化対応
- 高寿命化

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.3 に示す。

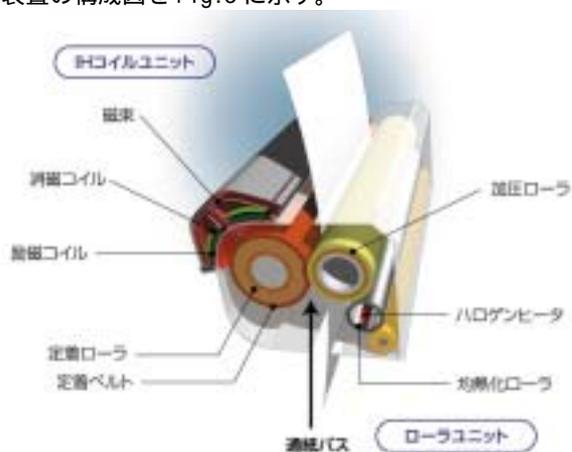


Fig.3 Fusing unit of bizhub C650/C550/C451

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抑制
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、定着システムとして弊社従来機（bizhub C450: モノクロ 45 枚/分、カラー 35 枚/分）の 1/3 以下の熱容量を実現した。

3.3 高断熱化による放熱抑制

Fig.4 および Table.2 に加熱ローラの構成図とその仕様を示す。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。

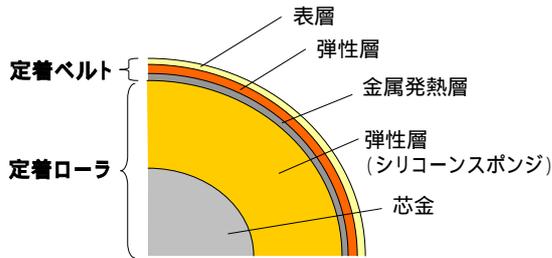


Fig.4 Details of the heating roller assembly

構成		材料	厚さ(もしくは外径)
定着ベルト	表層	PFAチューブ	30 μm
	弾性層	シリコーンゴム	200 μm
	金属発熱層	ニッケル	40 μm
定着ローラ	弾性層	シリコーンスポンジ	10mm
	芯金	SUS	20

Table.2 The specifications 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、供給電力を機械の使用状態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

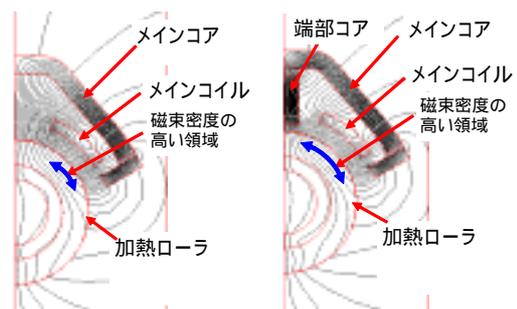
上述のように、本定着装置には昇温性能を向上させる種々の方策を盛り込んでいる。しかしながら同時に IH 熱源特有の課題や熱容量を小さくしたことによる不具合を克服しなければならなかった。以下にその課題と対応の方策を示す。

4.1 発熱分布の均一化

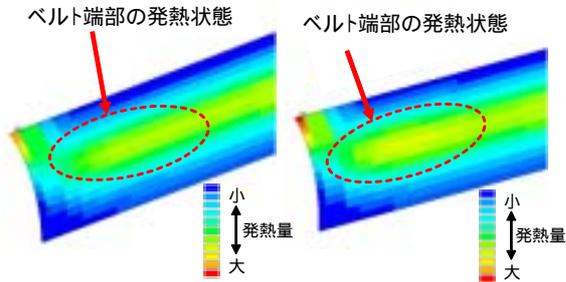
本加熱方式は、ベルトと一定の距離に保持されたコイルに交流電流を流すことで交番磁界が発生し、この磁束の変化によりベルトの金属層にできる誘導電流によってジュール熱を発生する仕組みとなっている。したがってコイルから発生する磁束密度分布そのものにムラがあった場合、ベルトの発熱分布にも直接影響を与えることになる。

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.5 に、またこの時のベルト端部の発熱分布を Fig.6 に示す。



(a) Without a side core (b) With a side core
 Fig.5 Magnetic flux calculation around end side of the magnetising coil



(a) Without a side core (b) With a side core
 Fig. 6 Simulated heat generation distribution at the end side of the belt

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密度の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チューニングすることによって、ベルト両端の磁束密度を増加させ、ベルト軸方向の発熱分布の最適化を図った。Fig.7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。

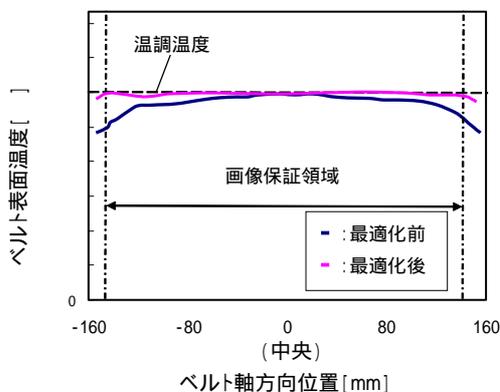


Fig. 7 Experimental result of temperature distribution in the axial direction of the belt

after the completion of the warming up; comparison between before and after the optimum design

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、ベルトの発熱分布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。

4.2 非通紙部温度上昇の抑制

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抑制する方策として、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回路を制御することとした。Fig.8に消磁コイルによる発熱抑制の原理を示す。消磁コイル回路を形成することで、電磁誘導の作用による反発磁束が発生する。この反発磁束により定着ベルトの両端部の発熱を抑制することができる。

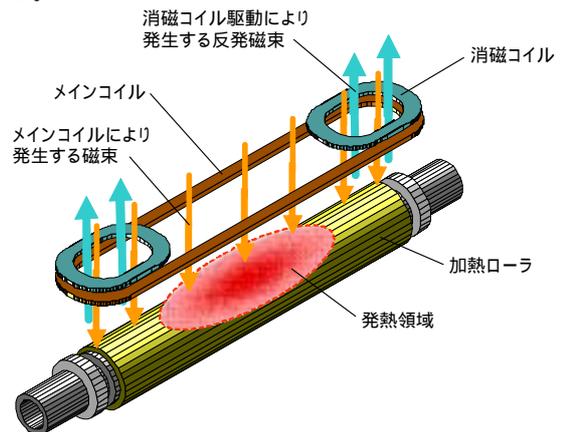


Fig.8 A principle of the heating width control with the demagnetising coil

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.9a および9bに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最適化を行った。

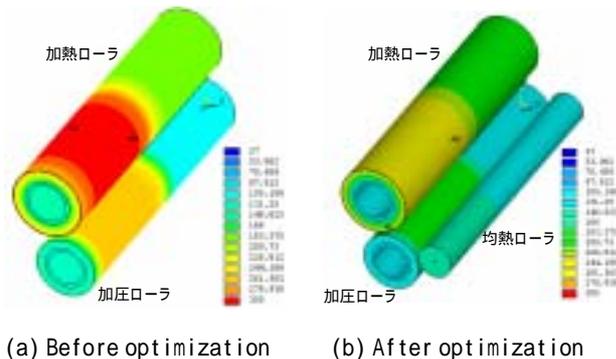


Fig.9 Simulated temperature distribution of the fusing devices at the border of the fed area and the non-fed area

Fig.10に確認実験として実際に小サイズの用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/最適化を行うことによって、非通紙部の温度上昇は大幅に低減しており、同時にCAEによる電磁場解析や熱伝導解析が効果的に活用できていることが判る。

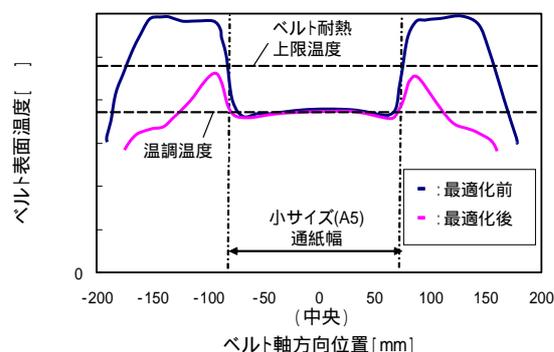


Fig.10 Experimental result of temperature distribution in the axial direction of the belt by multiple print test of narrow-sized paper;

comparison between before and after the optimum design

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.11に示す。

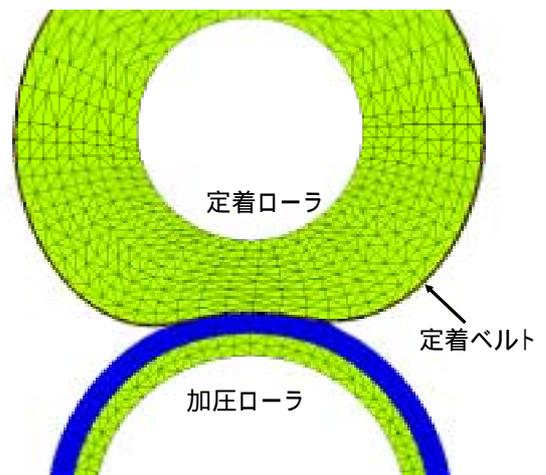


Fig.11 Fusing nip formation; simulation by the CAE analysis

定着装置に送り込まれた記録紙上のトナー画像は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大き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。

そこで定着ローラの弾性層として、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の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.12 に耐久使用による定着ローラの反発弾性の変化を示す。

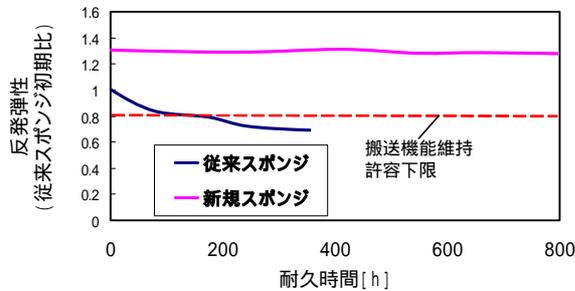


Fig.12 Transition of rebound resilience of the fusing roller by an endurance test; comparison between the conventional sponge and the improved sponge

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や駆動トルクの増加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 定着昇温時間

本定着装置における加熱ローラの昇温特性を Fig.13 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、定着昇温時間は弊社従来機 (bizhub C450) の 1/3 以下に短縮している。

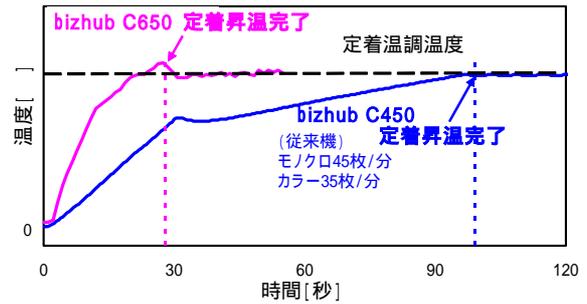


Fig.13 Comparison of rising curve of heating roller temperature between bizhub C450 and C650

5.2 省エネルギー

Fig.14 に bizhub C650/C550/C451 シリーズおよび弊社従来機種の 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 C650/C550/C451 シリーズ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。

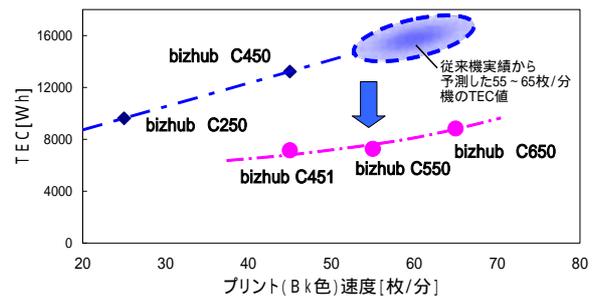


Fig.14 Comparison of TEC (Typical Electricity Consumption) value between estimation value by conventional series and result of bizhub C650/C550/C451

6 まとめ

bizhub C650/C550/C451 シリーズの製品化にあたり、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、検証精度の向上および開発期間の短縮を図った。これにより、昇温性能は弊社従来機に比べて大きく向上し、本定着装置を搭載した bizhub C650/C550/C451 シリーズでは大幅な定着昇温時間の短縮とエネルギー消費量の低減を実現した。以上の結果、bizhub C650/C550 にお

いては、省エネルギー性を含めた商品性の高さを評価され、「平成19年度 省エネ大賞 資源エネルギー庁長官賞」を受賞した。

参考文献

- 1) 霜田光一，近角聰信：電磁気学（1996）
- 2) 松本 他：Journal of the Imaging Society of Japan Vol.45 No.6 p65-70 (2006)

禁無断転載

2007 年度

ビジネス機器関連技術調査報告書(“ 3 ” 部)

発行 社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会
技術委員会 技術調査小委員会

〒105-0003 東京都港区西新橋 3-25-33

NP 御成門ビル 4F

電話 03-5472-1101

FAX 03-5472-2511