

高速機対応省エネ定着システムの開発

Development of High-Speed and Low-Energy Fusing System

香川 敏章*¹
Toshiaki Kagawa

光岡 徹典*¹
Tetsunori Mitsuo

山中 孝師*²
Takashi Yamanaka

井上 達也*²
Tatsuya Inoue

木田 裕士*²
Hiroshi Kida

要 旨

デジタル複合機において高速化と省エネルギー化を両立するには、定着システムにおけるウォームアップ時間の大幅短縮と熱効率の向上が課題となる。開発した高速機用省エネ定着システムは、外部ローラ加熱や鉄製薄肉定着ローラ、温度/電力最適制御等の新規技術により、定着ローラ熱容量を従来比1/6以下に削減し、ウォームアップ時間を従来に比べ71%短縮した。更に高効率熱設計技術により、定着器の熱効率を14%改善した。これにより、定着器単体として40%の省エネ化と、コンティニュアスランによるリアルスループットを実現した。

In order to realize both speedup and energy saving in a digital MFP system, large shortening of warm-up time and the improvement in thermal efficiency in the fusing system serve as subjects. Our newly developed high-speed and low-energy fusing system, which employs some technologies such as external roller heating, a thin shell fusing roller made of steel, and the optimal control of roller temperature and electric power, reduces heat capacity of the fusing roller to 1/6 or less, and also reduces warm-up time by 71% compared with that of a conventional system. Those technologies improve the thermal efficiency of the fusing system by 14% combined with the design technologies for controlling heat dissipation. This efficiency improvement enables 40% energy saving and the real throughput by continuous running of the fusing system.

まえがき

オフィスにおける生産性向上に対する要求から、デジタル複合機は高速化へのシフトが急速に進行してきているが、高速機（50～70枚/分）では中低速機に比べてより多くの電力を消費するため、環境問題の観点から高速機における省エネルギー化が非常に重要な課題となってきている。

図1は、従来の高速機（65枚/分）における消費電力比率を示したものであるが、全消費電力のうち、定着システムで消費される電力が大半（72%）を占めていることがわかる。

こうした背景から、我々は理論解析等により高速機用定着システムの省エネ化を実現するための技術課題と開発指針を明らかにし、得られた指針に基づき、高速化と省エネ性を両立した新規定着システム（外部ローラ加熱定着方式）を開発した。本稿では、この外部ローラ加熱定着システムを構成する各要素技術と、本定着システムによる省エネ効果について報告する。

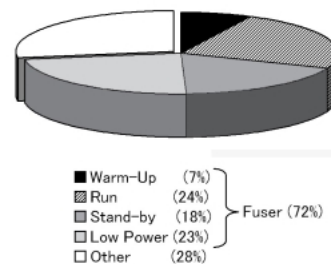


図1 高速機（65cpm）における消費電力比率
Fig. 1 Power consumption in a high-speed MFP (65cpm).

1. 高速定着における省エネ技術課題

従来、モノクロ定着システムとしては、図2に示すように内部にハロゲンランプからなる熱源を有する金属製ローラ（定着ローラ）と、これに圧接し、定着ニップを形成するゴムローラ（加圧ローラ）とからなる2ローラ方式が一般的に採用されている。

*¹ ドキュメントシステム事業本部 ドキュメント商品開発センター 第2開発室

*² ドキュメントシステム事業本部 ドキュメントシステム事業部 第1技術部

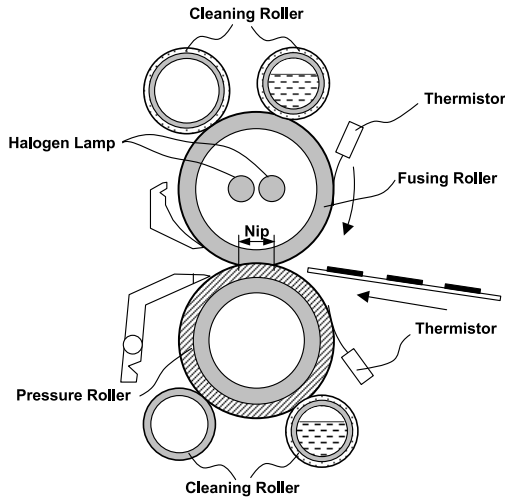


図2 従来定着システム構成（2ローラ方式）
Fig. 2 Construction of conventional fusing system.

図1より、定着で消費される電力の中でも待機中（スタンバイ+低電力時）に消費される割合が約56%と最も多く、定着システムの省エネ化を実現するには、ウォームアップ時間（W.U.T.）を短縮することで待機中における定着の予熱温度を低くし、待機時電力を削減するのが最も有効であることがわかる。そこで中低速機用定着システムでは、定着ローラの薄肉化や定着ベルトの採用によってW.U.T.を短縮し、省エネ化を実現した定着技術が既に数多く実用化されてきている¹⁾。

一方、図3に示すように、速度が速くなるに従い、用紙が定着ニップ部を通過する時間（ニップ通過時間）が短くなるため、これを補うために定着温度を高くしていく必要がある。しかしながら、定着ローラの耐熱性（通常約200℃）の点から、高速機では定着温度が限界であるため、定着荷重（面圧）を高くして接

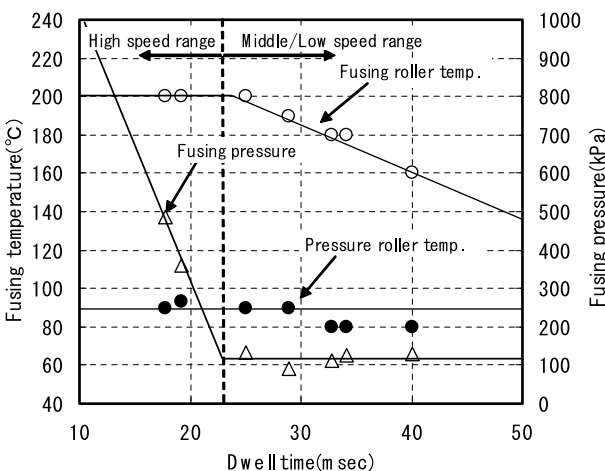


図3 ニップ通過時間と定着温度、荷重（面圧）の関係
Fig. 3 Relation between dwell time and fusing temperature and pressure.

触熱抵抗を低くし、且つ定着ローラを大径化して定着ニップを拡大することで定着性を確保する必要がある。その結果、高速機では定着ローラの熱容量が非常に大きく、且つ定着ローラからの放熱量も多く、W.U.T.短縮（省エネ化）に対する技術課題となっていた。

更に高速機では定着以外での電力消費が多く、その分定着への電力配分が少なくなる。その結果、動作時における消費電力量が供給電力量を上回り、連続で動作し続けると定着温度が低下するため、定着温度の低下に応じて印字速度を低下させたり印字動作を一時的に停止しなければならず、スループットが低下してしまう課題があった。このため、従来の高速機では定着ローラの熱容量を必要以上に大きくし、ウォームアップ時に定着ローラに十分な熱エネルギーを蓄熱することで定着ローラの温度降下を極力遅くする対策を施しており、これにより更にW.U.T.が長くなるといった弊害があった。

今回、我々は外部ローラ加熱技術等の新規要素技術を導入することで、短W.U.T.化による省エネ化とコンティニュアスランによるリアルスループットを実現した高速機対応新規定着システム（外部ローラ加熱定着方式）を開発した。以下に、本定着技術の詳細について報告する。

2. 外部ローラ加熱定着システム

2.1 定着システム構成

今回開発した定着システムの断面図を図4に示す。W.U.T.短縮に対しては、以下の3つの手段がある。

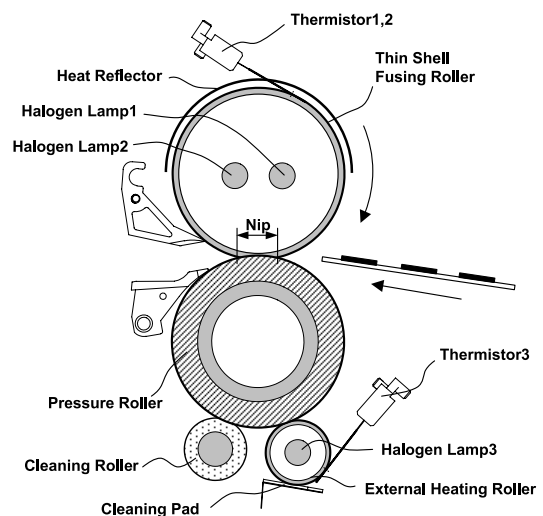


図4 外部ローラ加熱定着システム構成
Fig. 4 Construction of fusing system with external heating roller.

- a) 定着部材の低熱容量化（ローラ薄肉化，ベルト化）
 - b) 定着部材の局所加熱（外部加熱，ニップ集中加熱）
 - c) ウォームアップ時実効電力の増大（熱源の高効率化，位相制御による電力有効活用）
- またコンティニュアスランの実現には，以下の2つの手段がある。
- d) 動作時実効電力の増大（熱源の高効率化，位相制御による電力有効活用）
 - e) 定着ユニットの熱効率向上

そこで本定着システムでは，以下の4つの特長要素技術を導入することで，W.U.T.の短縮とコンティニュアスランを実現している。

- ①外部加熱ローラによる加圧ローラ表面の急速・高効率加熱技術
- ②鉄製薄肉定着ローラによる低熱容量化技術
- ③ヒータ配熱最適設計による温度均一化並びに位相制御による3ヒータ電力最適制御技術
- ④定着ローラのクリーナレス化及び熱反射板設置による定着ユニットの高効率熱設計技術

以下，上記要素技術個々の技術内容について説明する。

2・2 外部ローラ加熱技術²⁾

第1章で述べたように，従来の2ローラ方式では定着ローラ側にのみ熱源を有し，加圧ローラ側には熱源がない。この理由としては，加圧ローラは定着ニップを得るためにゴム層を有し，このゴム層が熱的に不良導体であるため，ローラ内部に熱源を設けた場合，熱伝達率が非常に悪くなり，かえってW.U.T.が長くなってしまったためである。

そのため，従来の高速機用定着システムでは，定着ローラを大径化し，定着ニップを広げることで必要な定着エネルギーを確保していた。

一方，本定着システムでは，加圧ローラ表面に当接させた薄肉・小径の加熱ローラ（外部加熱ローラ）によって，加圧ローラを外部から効率的に加熱・昇温し，用紙に対して定着ローラ側からだけでなく，加圧ローラ側からも積極的に熱を供給することで，従来に比べて狭い定着ニップで必要な熱エネルギーを確保している。

図5は，1次元の熱伝導解析により加圧ローラ温度と必要ニップ通過時間の関係を計算した結果である。

これより，加圧ローラ温度を50deg（90→140℃）引き上げれば，ニップ通過時間としては，約38%低減可能であることがわかる。

その結果，2ローラ方式における定着／加圧ローラ

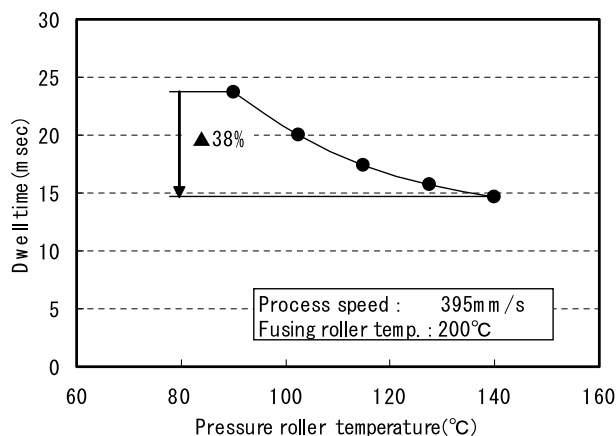
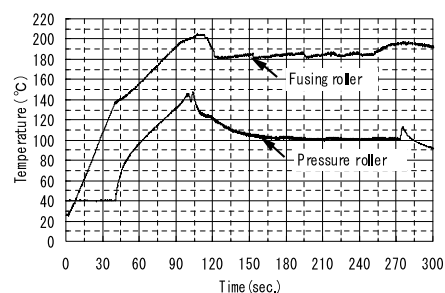
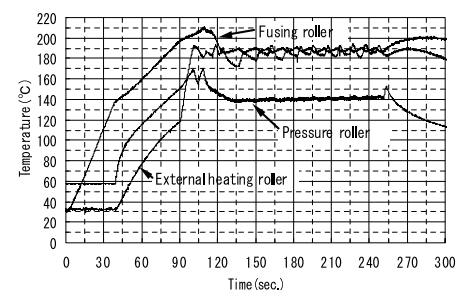


図5 加圧ローラ温度と必要ニップ通過時間の関係
Fig. 5 Relation between P.R. temp. and dwell time.



(a) Non-existence of a external heating roller



(b) Existence of a external heating roller

図6 外部加熱ローラ有無による温度比較
Fig. 6 Temperature comparison by the existence of an external heating roller.

の直径60mmに対し，本定着システムでは中速機（30～50枚／分クラス）と同じ40mmの小径化を実現している。

図6は，外部加熱ローラの有無による各ローラの温度推移を比較した結果である。これより，加圧ローラ温度を約40deg高温に維持できていることがわかる。

2・3 定着ローラ低熱容量化技術³⁾

定着ローラの低熱容量化を図るには，小径化と併せて芯材を薄肉化するのが有効であるが，芯材を小径・薄肉化した場合，たわみの増加が課題となる。

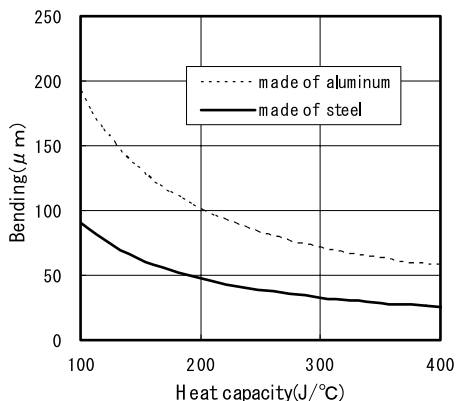


図7 定着ローラ熱容量とたわみ量の関係
Fig. 7 Relation between heat capacity and the amount of bending.

表1 定着ローラ仕様比較
Table 1 Comparison of fusing roller specification.

	従来方式	本方式
芯材材質	アルミニウム	鉄
ローラ径	60mm	40mm
芯材肉厚	9mm	1.3mm
熱容量比	1	0.15

従来、定着ローラにはアルミニウム製芯材が一般的に用いられているが、本システムではアルミに比べて機械的強度に優れる鉄製芯材を用いることで、薄肉化を実現している。図7は、定着ローラ芯材材質による熱容量とたわみの関係を示したものであるが、鉄製芯材を用いることで1/2～1/3の低熱容量化を図れることがわかる。

これにより、表1に示すように、外部ローラ加熱技術による小径化効果と併せて、定着ローラの熱容量を従来比1/6以下に低減することができた。

2・4 温度均一化／電力最適制御技術

定着ローラを低熱容量化した場合、ローラ軸方向での熱伝導性が低下するため、ローラ軸方向における温度バランスが課題となる。

また、コンティニューアスランの実現のためには、限られた定着電力を複数のヒータで如何に効率よく活用するかがポイントとなる。

次に、本定着システムにおける温度均一化並びに電力最適制御技術について説明する。

2・4・1 ツインヒータ配熱最適設計⁴⁾

本定着システムでは、定着ローラ内に配熱パターンの異なる2本のハロゲンランプを配置（ツインヒータ）する事で温度バランスの改善を図っている。

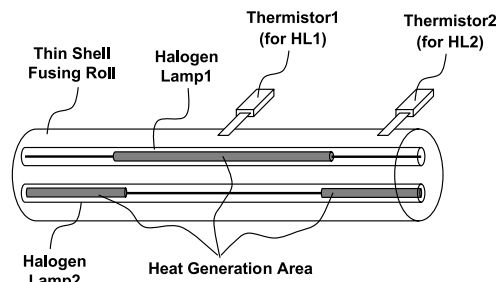


図8 ツインヒータ構成
Fig. 8 Twin heater image.

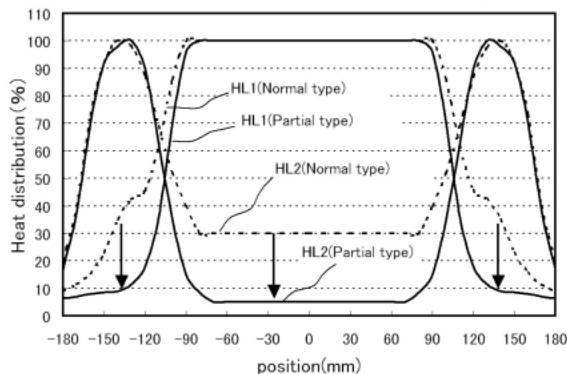


図9 ツインヒータ配熱分布
Fig. 9 Heating distribution of twin heater.

図8にツインヒータの概略図を示す。ハロゲンランプ1 (HL1) は定着ローラ中央部に、またハロゲンランプ2 (HL2) は定着ローラ両端部に発熱領域を有し、各々サーミスタ1、2により独立に制御される。

このツインヒータシステムは、既に当社中速機で実施している技術であるが、高速機では電力的な制約が大きく、且つ鉄製芯材によるローラ軸方向の熱伝導性の低下により、よりシビアな熱設計が要求される。

従来のハロゲンランプは、図9に示すように、非発熱領域においても30%程度の配熱分布を有しており、これが電力的な制約の大きい高速機において温度バランス改善の障害となる。そこで今回、この非発熱領域の配熱分布を10%以下に抑えた新規ランプ（パースシャルタイプ）の適用による温度バランス改善効果について、3次元熱伝導解析により検討を行った。結果を表2に示す。

表2より、4種類の組み合わせの中でHL1：ノーマルタイプ、HL2：パースシャルタイプの組み合わせが最も温度制御性に優れることがわかる。

尚、2本共にパースシャルタイプを用いた場合、ランプの取付位置ばらつきや製造時の配熱ばらつきに起因する温度ばらつきの影響が大きくなる。この理由としては、パースシャルタイプは図9に示すように発熱領域と非発熱領域の間の配熱変化（傾き）が大きく、2本のランプの位置関係により、このクロスオーバー領域

表2 ハロゲンランプによる性能比較

Table 2 Performance comparison of halogen lamp type.

HL1/HL2	小サイズ紙 端部昇温	取付／配熱 ばらつき	小サイズ紙 追従性
N/N	×	○	×
P/N	○	○	×
N/P	○	○	○
P/P	○	×	○

N : Normal type, P : Partial type

表3 ヒータ電力制御仕様

Table 3 Heater power control specification.

	Power control (W)
HL1	770/700/430/0
HL2	423/200/150/0
HL3	470/428/150/0

でのトータル発熱量のばらつきが大きくなるためである。

2・4・2 3ヒータ電力最適制御

表3に示すように、3本のヒータは位相制御によりいずれも4段階の出力電力を設定している。そして、HL1→HL2→HL3の優先順位に従って、各モードでのトータル電力が最大となるように制御仕様を設定している。

2・5 定着システムの高効率熱設計

コンティニューアスランを実現するには、定着システムの熱効率を向上し、定着システムでの消費電力を供給電力以下に抑える必要がある。

特に定着ローラは他のローラに比べ、温度、表面積の点から放熱量が最も大きいことから、定着ローラに対する熱負荷を如何に低減し、且つ定着ローラからの放熱を抑制するかが熱効率改善のポイントとなる。

2・5・1 定着ローラクリーナレス化による熱負荷低減

図2に示すように、従来の高速機用定着システムでは、定着ローラと加圧ローラの両方にクリーニングシステムが設置されており、これが熱負荷となっていた。そこで、本定着システムでは熱負荷の影響の大きい定着ローラ側のクリーナレス化を実現することで、熱効率の改善を図っている。

その手段として、まず第1に、定着ローラに対する静電オフセットを防止し、定着ローラへのマイクロなトナーの付着を抑制した。具体的には、加圧ローラ表面

表4 静電オフセット比較

Table 4 Comparison of electrostatic offset.

Fusing Roller (Roller current)	Pressure Roller (Roller current)	Electrostatic offset
GND (0.8 μ A)	Float (0 μ A)	×
Float (0 μ A)	Float (0 μ A)	○
Float (0 μ A)	GND (0.8 μ A)	○
GND (0.05 μ A)	GND (0.75 μ A)	○

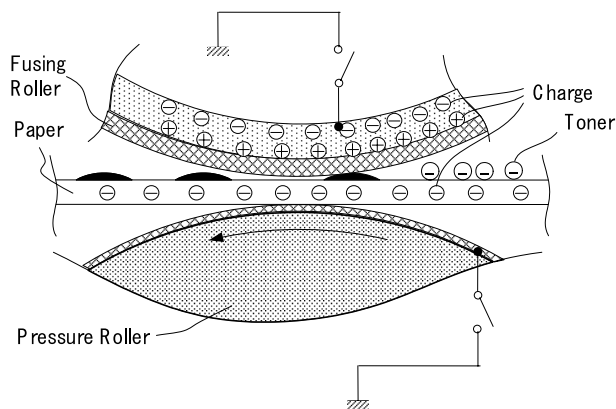


図10 静電オフセット発生メカニズム

Fig. 10 The mechanism of electrostatic offset.

に被覆しているフッ素樹脂製チューブを導電性 (10⁵Ω) とすることで加圧ローラの摩擦帯電による電位上昇を抑えると同時に、表4に示すように、定着ローラ及び加圧ローラをフローティングとすることで、微小な静電オフセットも解消した。

定着ローラをアース (GND) ではなく、フローティング (Float) とすることで静電オフセットが改善される理由を図10に示す。図のように、マイナス帯電した用紙により定着ローラは静電誘導されるが、誘導された定着ローラ内のマイナス電荷がアースに逃げないので、トナー (マイナス) と定着ローラ間で静電吸着力が作用しないためと考察する。

また、定着ローラクリーナレス化の第2のポイントとして、定着ローラに比べ加圧ローラのトナー離型性を低く設定することで、定着ローラに付着したトナーが加圧ローラ側に移行するよう、各ローラの被覆材の最適化を図った。具体的には、定着ローラ被覆材として非導電性フッ素樹脂コート、加圧ローラ被覆材として導電性フッ素樹脂チューブを用いている。

2・5・2 熱反射板による定着ローラの放熱抑制

定着ローラをクリーナレス化することで、図4に示すように、定着ローラ周囲に輻射熱による放熱を抑制

するための熱反射板の設置が可能となった。この熱反射板は輻射熱だけでなく、内部対流の抑制による断熱効果も有する⁵⁾。

3. 性能評価（従来方式との比較）

本定着システムを搭載した高速複合機AR-705S（70枚/分）と、従来定着システム（アルミ製定着ローラ＋内部ハロゲンランプ方式）を用いているAR-S650（65枚/分）との性能比較を行った。

3・1 定着システムの熱効率

図11に熱効率の比較結果を示す。従来は供給電力の内、50%がトナーや用紙に伝達し、残りが放熱等のロスとなっていた。一方、本システムでは定着/加圧ローラの小径化や定着ローラのクリーナレス化、熱反射板の設置等により、従来に比べ放熱量を約43%削減した。これにより、定着器の熱効率としては64%（従来比14%増）に改善でき、その結果、コンティニュアスランによるリアルスループットを実現した。

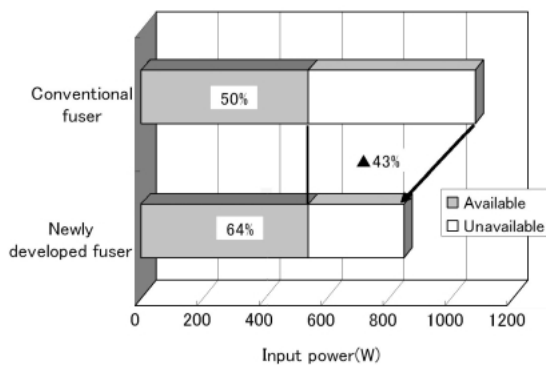


図11 熱効率比較
Fig. 11 Comparison of thermal efficiency.

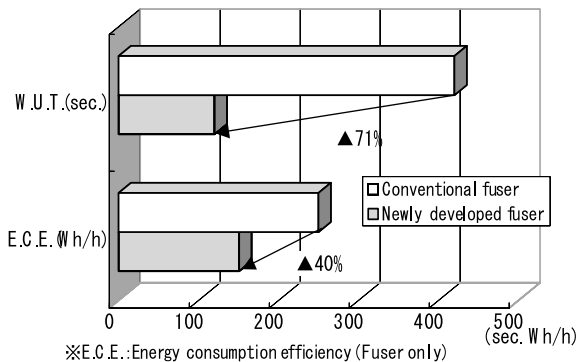


図12 ウォームアップ時間、エネルギー消費効率比較
Fig. 12 Comparison of W.U.T. and E.C.E.

3・2 ウォームアップ時間、エネルギー消費効率

図12にウォームアップ時間及び定着部でのエネルギー消費効率の比較結果を示す。これより、ウォームアップ時間：120秒（従来比71%減）、定着部でのエネルギー消費効率：150Wh/h（従来比40%減）と大幅な省エネ化を達成した。

むすび

外部ローラ加熱や鉄製薄肉定着ローラ、温度/電力最適制御等の新規技術の開発により、定着ローラ熱容量を従来比1/6以下に削減し、高速機用定着としてウォームアップ時間を従来比71%減の120秒に短縮した。更に、高効率熱設計により、定着器の熱効率を14%改善した。これにより、定着器単体のエネルギー消費効率として40%の改善とコンティニュアスランによるリアルスループットを実現し、本定着システムを搭載したデジタル高速複合機AR-555S/625S/705Sにおいて、2006年度の改正省エネルギー法基準値をクリアした。

デジタル複合機は今後、カラーへのシフトも急速に進展すると予想されることから、今後、モノクロ機に比べ電力消費の大きいカラー機での省エネ技術開発も推し進めていく。

謝辞

本研究は、経済産業省からの補助金を原資とした「待機時消費電力削減技術開発」の一環として、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）との共同研究契約に基づき実施したものであり、関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 高木, “省エネルギー定着技術の動向”, 第55回日本画像学会技術講習会, pp.190-202 (2003).
- 2) 平成13年度NEDO共同研究報告書, “カラー複写機定着システム待機時消費電力削減技術の開発”, pp.30-36 (2002).
- 3) 平成11年度NEDO共同研究成果報告書, “複写機定着システム待機時消費電力削減技術の実証実験”, pp.52-58 (2000).
- 4) 平成12年度NEDO共同研究成果報告書, “複写機定着システム待機時消費電力削減技術の実証実験”, pp.57-63 (2001).
- 5) 中人, 多久島, 香川, “熱流体解析を用いた定着器の省エネ設計”, Japan Hardcopy2000, pp.165-168 (2000).

(2004年5月25日受理)