



高強度高熱伝導ポリイミド定着チューブの開発

中島晋吾*・内場勇介・御守直樹
 鈴木良昌・菅原潤・溝口晃
 木澤一浩

Development of High Strength and High Thermal Conductive Fixing-Film Sleeve — by Shingo Nakajima, Yusuke Uchiba, Naoki Onmori, Yoshimasa Suzuki, Jun Sugawara, Akira Mizoguchi and Kazuhiro Kizawa — To meet the growing market demand for energy-saving business machines, Canon Inc. developed on-demand power-effective laser beam printers (LBPs) using their new toner-fixing method. Since 1993, Sumitomo Electric has manufactured fixing-film sleeves, indispensable components for the LBPs. Recently, the authors have developed an advanced fixing-film sleeve applicable to high-speed printing systems. This sleeve is made of composite materials consisting of highly thermal conductive carbon nanofiber and tough polyimide resin. In this paper, the authors report the development of the sleeve in detail.

Keywords: laser beam printers, fixing-film sleeves, polyimide, carbon nanofiber

1. 緒言

現在、省エネルギーによる環境負荷の低減は、多くの電子機器において共通の課題であり、OA機器に関しても、その例外ではない。電子写真方式を採用したレーザービームプリンター（以下LBP）では、消費電力の70%近くがトナーを紙に熱圧着させる定着器に使用されており、その大半を占めるスタンバイ状態での消費電力を低減することが省エネルギーの観点から重要な課題であった。

一般のローラ定着器（図1(a)）では、ローラ内部に設置されたハロゲンヒーターの輻射熱により1~3mm厚の金属製ローラを150℃から180℃に加熱している。この加熱された金属ローラと加圧ローラの間にはトナーの付着した記録紙が通過することにより、トナーが記録紙に熱定着される。

この為、ローラ定着器で印刷を開始してから完了するまでの時間を短くするには、常時ローラを加熱しておく必要

があり（スタンバイ状態）、消費電力が大きくなってしまふ（図2、クイックモード）。

一方、この予熱をやめることにより消費電力量を低減することができるが、印刷を開始してから完了するまでの時間は大幅に長くなってしまふ（図2、省エネモード）。

この二律背反の関係にある省エネルギーと印刷開始時間の両立を達成したのが、キヤノン(株)が開発したオンデマンド型フィルム定着器である。

オンデマンド型フィルム定着器は、セラミックヒーターにより発生した熱を熱容量の小さい数十μm厚のポリイミドフィルムを介して直接トナーに伝えることができるため、消費電力をローラ定着器より大幅に抑えたまま、印刷

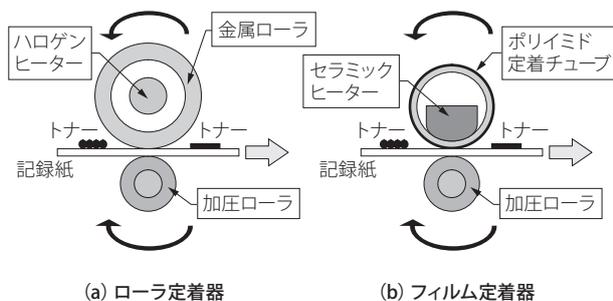


図1 ローラ定着器とフィルム定着器の構造比較

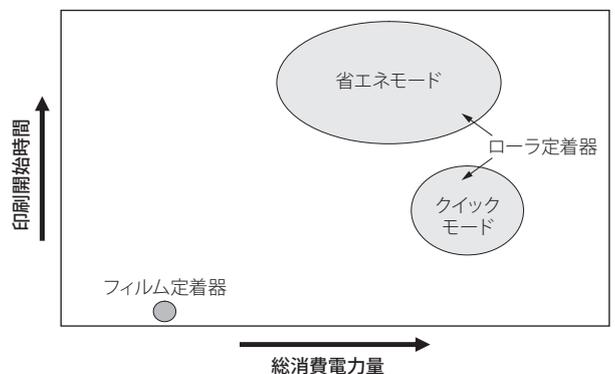


図2 LBPの総消費電力量と待ち時間の関係

開始時間を短くすることが可能である (図1-b、2)⁽¹⁾。

当社では、このポリイミドフィルムの表面にトナーの付着を防ぐためのフッ素樹脂^{*1}をコーティングしたポリイミド定着チューブ (以下定着チューブ) を生産しているが、近年の高速印刷化に対応するためには、定着チューブの強度 (捻れ強度、突刺強度) をできるだけ維持したまま、①熱伝導率を向上させる、もしくは、②厚みを薄くすることにより熱容量を更に低減させる、といった要素技術の開発が必須であった。

本報告では、ポリイミド樹脂^{*2}とカーボンナノファイバー^{*3} (以下CNF) の複合材料を用いることにより①、②を達成したため、以下、詳細について述べる。

2. 開発の背景

定着チューブには、紙づまり等の際に受ける周方向への捻りの力に耐え、座屈しないための捻り強度と、ステープラーの針等の異物の噛みこみに耐え、破断しないための突刺強度が必要である (図3)。また、定着時には、常にセラミックヒーターによる加熱を受けるため、200℃以上の長期耐熱性が必要とされる。このため、定着チューブのベース樹脂の材料は、捻り強度、突刺強度、耐熱性に優れたポリイミド樹脂を使用している。

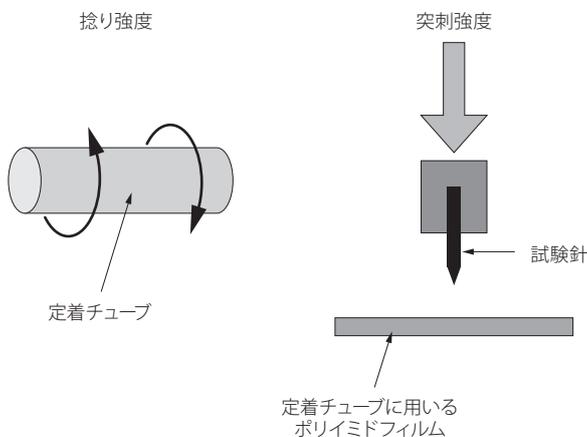


図3 捻り強度と突刺強度

表1 従来機用定着チューブの構成

名称	機能	厚み(μm)	材質
トップ層	定着チューブへのトナー付着抑制	10	フッ素樹脂+カーボン
プライマ層	トップ層/ベース層の接着、静電気のアースへの誘導	4	フッ素樹脂+接着成分+カーボン
ベース層	強度保持	67	ポリイミド+窒化ホウ素

当社がキヤノン(株)向けに生産していた従来機用定着チューブの構成を表1に示す。この定着チューブは、'96年に、当時の低速機 (印刷速度4枚/分) から、印刷速度の高速化 (印刷速度16枚/分) に対応するために、窒化ホウ素^{*4} (以下BN) フィラーを配合した定着チューブであるが⁽²⁾、'06年には、高まるユーザーのニーズを背景に、更なる高速印刷化 (印刷速度35枚/分) に対応することができる定着チューブの開発を要請されていた。

3. 定着チューブの熱伝導率向上

3-1 熱伝導率向上方法の検討 LBPの印刷速度をより高速化するためには、セラミックヒーターより発生した熱を、より速くトナーに伝えれば良い。このためには、定着チューブの熱伝導率を向上させる必要がある。

そこで、まず従来機用の定着チューブに熱伝導性フィラーとして用いていたBNの配合量を増やすことを検討したが、単にフィラーの配合量を増やすだけでは、熱伝導率は向上するものの、突刺強度と相関のある、引張強度が低下してしまう問題が生じた (図4)。そこで、BNより熱伝導率の高いフィラーを用いることにより、フィラーの配合量を増やすことなく、定着チューブの熱伝導率を向上させる方法が最も有効であると判断し、開発を進めることとした。

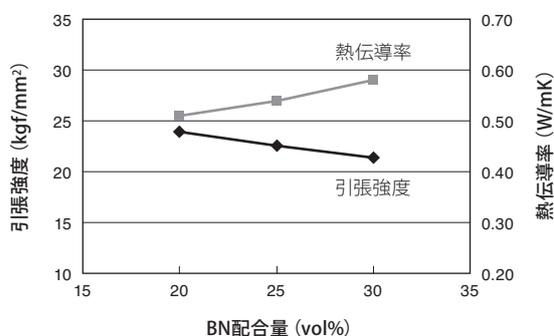


図4 BN充填量と引張強度、熱伝導率

3-2 熱伝導性フィラーの選定 まず、各種フィラーの中から本用途に最適なフィラーを選定することとした。

(1) 熱伝導率測定方法

熱伝導率の測定は、周期的加熱法による熱拡散率測定装置を用いた。この装置により熱拡散率 α を測定し、式(1)より定着チューブの厚み方向の熱伝導率 λ を算出した。ここで、 ρ は密度、 C_p は比熱である。

$$\lambda = \rho \cdot C_p \cdot \alpha \dots\dots\dots (1)$$

(2) 熱伝導率測定結果

ポリイミド樹脂に各種熱伝導性フィラーを25vol%配合した定着チューブの熱伝導率を評価した結果、CNFを配合したものが1.48W/mKと、従来機用定着チューブ(BN25vol%配合、0.54W/mK)の約2.7倍の熱伝導率を示したため(表2)、熱伝導性フィラーとして、CNFを選定することとした。

CNFフィラーの配合量と熱伝導率の関係を図5に示す。フィラーの増量により熱伝導率が著しく向上するのが判る。

表2 各種フィラー配合定着チューブの熱伝導率

フィラー種	形状	平均粒径(μm)	熱伝導率(W/mK)
SiO ₂	球状	2.0	0.36
Al ₂ O ₃	球状	3.0	0.42
SiC	破碎形状	3.2	0.54
TiO ₂	針状	0.27φ×5.2L*	0.36
黒鉛	鱗片状	3.0	0.56
BN	鱗片状	1.0	0.54
CNF	繊維状	150nmφ×8.0L*	1.48

フィラー配合量：25vol%

*針状、繊維状フィラーに関しては、径と長さを記載

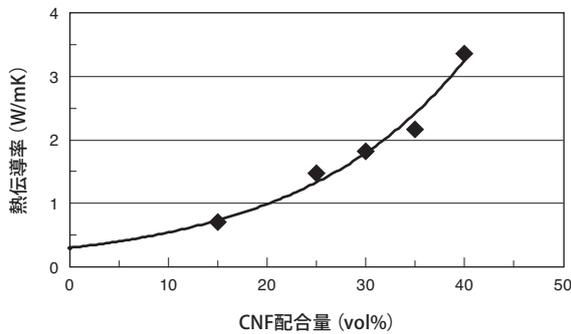


図5 CNFフィラー配合量と熱伝導率の関係

3-3 CNFフィラーの分散方法

(1) 分散方法の選定

CNFなどのナノマテリアルの分散性は、それを用いた複合材料の物性を大きく左右する。CNFフィラーの分散性を向上させる方法としては、酸化処理、プラズマ処理、表面ポリマー被覆といった表面化学処理や、界面活性剤等の分散性向上剤の添加、超音波による分散やロールミルの使用といった物理的な混合、分散強化が知られている(表3)⁽³⁾。しかし、酸化処理やプラズマ処理は、バッチ処理となるため、大量のCNFを扱う工業用途には適用が難しく、表面ポリマー被覆や、分散性向上剤の添加では、残留した成分が、

表3 CNFの分散方法

手法分類		具体例
表面処理	表面化学処理/修飾	酸化処理、プラズマ処理、オゾン/UV処理
	表面ポリマー被覆	ポリビニルアルコール、ポリビニルピロリドン
分散向上剤添加	溶剤添加	アセトン、トルエン、メタノール、エタノール
	界面活性剤添加	非イオン界面活性剤、陽イオン界面活性剤、陰イオン界面活性剤
分散・混合強化技術	超音波混合・分散	超音波照射による分散機
	高シエア混合・分散	ロールミル、高速ミキサー

ポリイミド焼成条件である約400℃で分解してしまうため、分散性向上による強度向上の効果が得られないばかりか、逆に、ポリイミドの強度低下を引き起こしてしまう。また、ポリイミドの前駆体であるポリアミック酸の溶液(以下ポリイミドワニス)は高粘度であるため超音波による分散性向上には向かない。そこで、CNFの分散性を向上させるには、物理的剪断力による分散方法が最適と考え、3本ロールミル^{※5}による分散方法を採用することとした。

(2) 剪断応力によるCNFの切断と熱伝導率

押出成形機を用いた剪断力によるポリマー中へのCNF分散では、剪断力を大きくすることで、導電率が向上するが、剪断力がある一定値を超えると、逆に導電率の低下が起こることが知られている⁽⁴⁾。これは、一定の剪断力までは、CNF凝集体の解砕による導電パスの形成により導電率が向上するが、剪断力がある一定値を超えると、CNF自体の切断が生じ、導電パスが減少していくためである。3本ロールミルによるCNFの分散においても、同様な現象が生じ、熱伝導率が低下する可能性があると考えた。3本ロールミルの処理回数と熱伝導率の関係を図6に示す。3本ロールミルの処理回数が0回(プロペラ攪拌機による攪拌のみ)の場合(0.66W/mK)に比べ、処理回数が1回の場合は熱

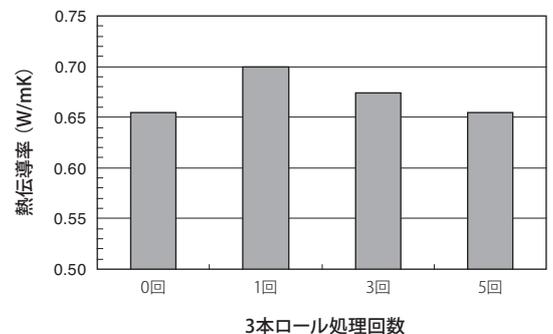


図6 3本ロール処理回数と熱伝導率

伝導率が向上しているが (0.70W/mK)、処理回数が3回を越えると、徐々に熱伝導率が低下し、処理回数が5回のものでは、熱伝導率が0.65W/mKにまで低下することが判った。

次に、上記のポリイミドワニスを希釈し、取り出したCNFの平均鎖長を測定した結果を図7に示す。CNFの平均鎖長は、3本ロールミルの処理回数が0回では4.6μmであるのに対し、処理回数5回のものでは約4.0μmとなり、処理を行う毎にCNFが3本ロールミルの剪断力により切断され、短くなっているのが判った。

これら二つの結果より、3本ロールミルの処理回数は1回まではCNFの鎖長は短くなるもののCNF分散性向上の効果が大きく、熱伝導率が向上する。しかし、3本ロールミルの処理回数が、それ以上になると、CNFの切断による熱伝導パス減少の影響が大きくなり、熱伝導率が低下してしまうことが判った。

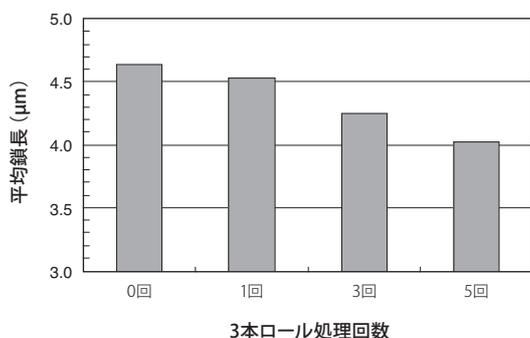


図7 3本ロール処理回数とCNFの平均鎖長

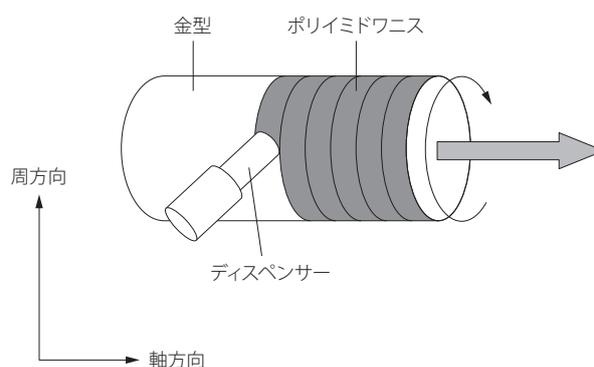


図8 ポリイミドワニス塗布方法

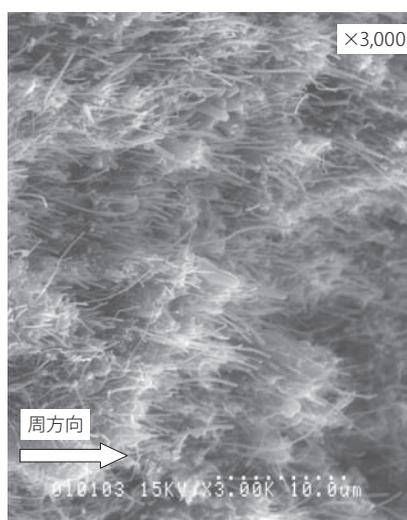


写真1 CNF配合定着チューブの断面

4. CNF 配合定着チューブの機械特性

(1) CNFの配向による捻り強度の向上

当社では、金型にポリイミドワニスをディスペンサー※6により塗布している (図8)。この時、CNFのようなアスペクト比の高いフィラーは、ディスペンサーのノズルから受ける内圧のため、塗布方向であるチューブの周方向に配向する (写真1)。

BNを25vol%配合した定着チューブとCNFを25vol%配合した定着チューブの周方向と軸方向 (周方向に垂直な方向) の伸びと弾性率を表4に示す。CNFを配合した定着チューブでは、BNを配合した定着チューブと比較し、周方向の弾性率が高く、軸方向の伸びが高くなり、異方性が強く出ていることが判る。捻り強度は、周方向の弾性率が高く、チューブの膜厚が厚くなる程高くなることから、CNFを配合した定着チューブは、CNFの配向により周方向の捻りに強いという特長も持つものと考えられる。

表4 各フィラー配合ポリイミドの伸びと弾性率

		BN25vol%配合品	CNF25vol%配合品
伸び (%)	周方向	20	14
	軸方向	25	26
周/軸比		0.80	0.54
弾性率 (kgf/mm ²)	周方向	740	818
	軸方向	682	539
周/軸比		1.09	1.52

5. 開発品の特性

開発した定着チューブの特性と構成を表5に示す。開発品には、熱伝導率、捻り強度、突刺強度とコストのバランスを考慮し、BNとCNFを併用している。この開発品では、

同一厚みでの捻り強度と突刺強度を損なうことなく、熱伝導率を従来品より約30%向上し、かつ、膜厚を11 μ m薄くすることにより、熱容量を約16%低減することに成功した。これによって開発品の定着性は大幅に向上しており、実機評価にて35枚/分の高速印刷にも十分耐えることを確認した。

表5 開発品の特性と構成

項目		開発品	従来品	
構成	トップ層	材質	フッ素樹脂+カーボン	フッ素樹脂+カーボン
		厚み(μ m)	12	10
	プライマ層	材質	フッ素樹脂+接着成分+カーボン	フッ素樹脂+接着成分+カーボン
		厚み(μ m)	4	4
	ベース層	材質	ポリイミド+BN+CNF	ポリイミド+BN
		厚み(μ m)	56	67
熱伝導率 (W/mK)		0.70	0.54	
捻り強度 (cNm)		18	22	
突刺強度 (N)		18.5	20.0	
画像性能	16枚/分	良好	良好	
	35枚/分	良好	不良	

6. 結 言

以上述べたように、従来機（印刷速度：16枚/分）に使用されていた定着チューブに比べ、熱伝導率を大幅に向上させ、且つ、薄膜化により熱容量を低減させた結果、高速印刷機（印刷速度：35枚/分）でも十分な定着性の得られる定着チューブの開発に成功した。

今回開発した定着チューブは、キャノン(株)に正式に採用され、'08年6月より量産を開始している。

今後もLBPのさらなる高速化、カラー化という市場ニーズに対応した新しい定着部品の開発を進めていきたい。

用語集

※1 フッ素樹脂

フッ素を含むオレフィンを重合して得られる合成樹脂の総称。耐熱性、耐薬品性の高さや摩擦係数の小さいことが特徴。

※2 ポリイミド樹脂

繰り返し単位にイミド結合を含む合成樹脂の総称。高分子中で最高レベルの高い熱的、機械的、化学的性質を持つ。

※3 カーボンナノファイバー

炭素によって作られるグラフェンシート（グラファイトの1枚面）が多層の同軸管状になった物質。

※4 窒化ホウ素

窒素とホウ素からなる固形の化合物。電気絶縁体では最高レベルの熱伝導率を持つ。

※5 3本ロールミル

回転数の異なる3本のロールから構成された分散機。ロール間圧力を利用した圧縮作用と、速度の異なるロール間での剪断作用により分散を行う。

※6 ディスペンサー

液体定量吐出装置のこと。

参 考 文 献

- (1) 高田憲一、NIKKEI MATERIALS & TECHNOLOGY、No.138、pp.80-83 (1994)
- (2) 溝口晃、広幡俊郎、羽深正弘、上岡勇夫、西村昭、加藤千明、SEIテクニカルレビュー第151号、pp146-150 (1997)
- (3) 小池常夫、ネットワークポリマー、vol.28、No.2、pp50-63 (2007)
- (4) 高瀬博文、古川真基、岸肇、村上淳、成形加工、17 (1)、50 (2005)

執 筆 者

中島 晋吾*：エレクトロニクス・材料研究所
高分子材料技術研究部
定着チューブの開発に従事



内場 勇介：住友電工ファインポリマー(株) 製造部
御守 直樹：住友電工ファインポリマー(株) 機能品技術部 主査
鈴木 良昌：住友電工ファインポリマー(株) 製造部 工場長
菅原 潤：エレクトロニクス・材料研究所 高分子材料技術研究部
高分子合成技術グループ グループ長
溝口 晃：エレクトロニクス・材料研究所 高分子材料技術研究部
主幹
木澤 一浩：Sumitomo Electric Interconnect Products (VIETNAM), Ltd.
社長

*主執筆者