遠心成形法によるポリイミドシームレスベルトの作製と カーボンブラックによる半導電性付与技術

西 浦 直 樹^{*1}・鞍 岡 隆 志^{*1}・金 武 潤 也^{*1}・鵜 家 邦 良^{*1}・
岡 本 健 三^{*2}・石 川 優^{*2}

Production of a Polyimide Seamless-Belt by a Centrifugal Forming Process and Semi-Conductivity Using Carbon Black

Nishiura, Naoki^{*1}/Kuraoka, Takashi^{*1}/Kanetake, Junya^{*1}/Uie, Kuniyoshi^{*1}/
Okamoto, Kenzo^{*2}/Ishikawa, Masaru^{*2}

In this study, polyimide resin was examined as a material for use as intermediate transfer belts. Master batches (MBs) were made by mixing various carbon blacks (CB) with polyamic acid (PAA) which is a precursor of polyimide. A method for uniformly dispersing CB in PAA was discussed. The polyimide seamless belts were produced by a centrifugal forming method. In this belt, the electrical resistance (in the range of semi-conductive materials) was measured. The results were as follows: (1) Oxidized CB had excellent dispersibility. (2) It was possible to use oxidized CB to attain high conductivity in the resin, and also it made the change of resistivity sluggish in percolation. (3) The state of CB in the MB solution is important to accurately control the electrical resistivity in the semi-conductive range. (4) The electrical resistivity of the belt was stable with the elapse of time using CB with many volatilized parts (functional groups).

Key words : Polyimide/Centrifugal Forming Process/Carbon Black/Seamless-Belt/Intermediate Transfer Belt

1. 緒 言

複写機やプリンターなどのOA機器における大きな技術進歩はデジタル化、カラー化、省エネルギー・エコロジー対応化、高速化、高信頼性の確立にある。さらに、装置の省スペース化、軽量化、低コスト化などの面でも新しい形での対応が必要とされている。これらの問題解決の手段として、新しい機能、性能を持ったパーツ材料の開発に大きな期待がかけられている。なかでもエンジニアリングプラスチック製シームレスベルトへのニーズが高まり、各社一斉にシームレスベルト成形技術、導電性付与などの複合化技術の開発に取り組ようになった^{1),2)}。

カラーレーザープリンターの概略構成を図1³⁾に示す。ここで中間転写ベルトは感光体で形成されたトナー像を、一

色ずつベルト上に一旦静電的に担持し重ね合わせ、その後紙などの転写材に一括転写するという二度の転写工程を経るため、ベルトの表面抵抗率、体積抵抗率を半導電領域で精密に制御する必要がある。カーボンブラック（以下CBと示す）による導電性付与技術にて半導電領域での電気抵抗率を制御する方法が検討されている。CBを用いた複合導電材料の導電機構に関しては、数多くの研究報告の中で諸説がある。例えば、構造連鎖説⁴⁾、トンネル効果説⁵⁾、電

Fig.1 Schematic illustration of a color laser printer with an intermediate transfer belt system

^{*1} ゲンゼ(株) 研究開発部
守山市森川原町 163 (〒524-0064)
Gunze Co., Ltd
163 Morikawara-cho, Moriyama 524-0064, Japan

^{*2} 山形大学工学部 機能高分子工学科
米沢市城南 4-3-16 (〒992-8510)
Department of Polymer Science and Engineering,
Yamagata University
4-3-16, Jonan, Yonezawa 992-8510, Japan
2002.7.17 受理

界放射説⁶⁾などであるが、明確な根拠はなく、現在でも不明な部分が多い。また、高分子にCBなどの導電材を充填すると、ある充填率で抵抗率が急激に低下する。このように絶縁体のマトリクス内で分散していた粒子が集まり導電回路を形成することをパーコレーションと呼ぶ^{7)~9)}。このパーコレーションが半導電領域での電気抵抗制御を困難にさせている。そのため、中間転写ベルトとして必要な電気抵抗率を1桁内（例えば $1 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ ）でコントロールするにはCBの選定や充填量などの決定とともに、コンパウンディング技術も重要な要素技術となる。近年、CBとポリマー間の親和性（濡れ性）が大きく分散性に影響することが報告されている^{10), 11)}。つまり、電気抵抗率の制御にはCB粒子のミクロな分散形態と、粒子表面と高分子の親和性の制御が重要な課題と考えられる。一般に機械的混練操作で高い分散性を得るためには強いせん断応力が必要であり、溶融粘度を高い状態に保つ必要がある。この場合には、せん断応力で生じるCBの界面の損傷などにより、CBとポリマー間の親和性が変化し¹²⁾、結果としてCB粒子の分散制御には限界がある。

本実験ではポリイミド樹脂に着目し、その前駆体であるポリアミック酸（以下PAAと示す）溶液の段階でCBを均一に分散・混合することを検討した。このブレンドにより均一に分散していなくては、これ以降の製膜工程やイミド化工程においてCBの分散状態が向上するとは考えにくい。本実験の目的は、特性の異なるCBをPAA溶液に分散したマスターバッチ（以下MBと示す）溶液を作製し、その粒度分布とレオロジー特性からCB粒子の分散状態を検討し、さらに遠心成形法によりCB分散PAA溶液から作製した導電性ポリイミドシームレスベルトの導電特性を評価、検討した。

2. 遠心成形法

遠心成形とは円筒状金型の内に液状原料を供給し、遠心力により円筒状金型の内面に均一に流延した後、加熱することで溶剤を揮発させてシームレスベルトを成形するプロセスである。従来、遠心成形法はプラスチック粉末を回転体に投入し比較的厚肉の中空円筒体の成形を対象とするものであり、厚み150 μm 以下の薄膜なシームレスベルト成形には適用されていなかった^{13), 14)}。その原因は、回転体の芯ズレや加熱乾燥ムラがあると、薄膜であるが故にベルト

の厚みにバラツキが、また周長差などが顕著に発生することによる。これらの課題を解決するために、駆動方式において回転可能な受けロールを一對並設し、この受けロール上に円筒金型を設置する表面駆動方式を採用した¹⁵⁾。図2に、本実験に用いた遠心成形装置の概略図を示す。

3. 実験方法

3.1 PAA溶液とカーボンブラックの選定

ポリイミド先駆体のPAA溶液は、溶剤N-メチル-2-ピロリドン（以下NMPと示す）中でビフェニルテトラカルボン酸二無水物（BPDA）とp-フェニレンジアミン（PPD）との縮重合反応によって得られる宇部興産（株）製U-ワニス-S（粘度5.0 Pa·s、固形分濃度18.0 wt%、NMP 82.0 wt%）と、ビフェニルテトラカルボン酸二無水物（BPDA）と4,4'-ジアミノジフェニルエーテル（DADE）との縮重合反応によって得られる宇部興産（株）製U-ワニス-A（粘度5.0 Pa·s、固形分濃度18.0 wt%、NMP 82.0 wt%）を用いた。

CBとしては表1に示す4種類の異なる製法によって生成したCBを用いた。

3.2 カーボンブラックの分散・混合

ジアミンモノマーが異なる2種類のU-ワニス-SとU-ワニス-Aに、表1の表面状態が異なる4種類のCBを、それぞれ予備分散した後、ボール状の充填物を入れたサンドミル法にて、CBを高濃度を含むMB溶液の作製方法を検討した。

- 1) MB溶液のCB粒子分散度
HORIBA社製LA-920型レーザ回折・散乱式粒度分布測定装置を用いて、各MB溶液におけるCB粒子の粒度分布を測定した。さらに、光学顕微鏡による直接観察を行った。
- 2) MB溶液の動的粘弾性

Rheometric Scientifics社製SR-200治具径25 mm-0.1 radコーンプレートを用いてレオロジー特性を測定することにより、MB溶液の凝集構造を調べた。

3.3 導電複合ポリイミドシームレスベルトの製作

ポリイミドベルトの製造工程を図3に示す。遠心成形における製品の厚み精度は、回転する成形用金型の内径の真円度と大きく関係する。本実験では内径の真円度が $\pm 0.03 \text{ mm}$ である金型を用いた。

- 1) 成形原料の調整工程：成形原料は固形分に対するCB充填量（vol%）を所定の値として、そして粘度が0.5

Fig.2 The outline figure of centrifugal compaction equipment

Table 1 Physicochemical data of carbon black

Grade No.	CB 1	CB 2	CB 3	CB 4
Manufacture	Ketjen	Acetylene	Furnace	Channel
pH value	9.3	7.7	3.5	3.0
Surface area (m ² /g)	950	70	125	180
DBP adsorption (cm ³ /100 g)	360	125	95	110
Volatiles (%)	0.5	0.1	1.5	14.5
Specific gravity (g/cm ³)	1.86	1.95	1.87	1.85

1. Material blend process

2. Casting and centrifugal forming process

3. Baking process (Cyclization and elimination of water)

Fig.3 Making process of the polyimide seamless-belt by the centrifugal forming method

～0.6 Pa・s になるよう、MB 溶液とワニスと希釈溶剤 NMP の配合割合を決定し、攪拌混合にて調整した。投入量は固形分濃度から算出することで、フィルム厚みが決定された。ここではフィルム厚みが 80 μm になるよう投入量を決定した。

- 2) フィルム成形工程：円筒状の成形用金型をゆっくり回転させながら成形原料を金型内面になじませ、その後、加熱をしないで重力の 15 倍の遠心力（遠心効果 $Z=15$ ）で 5 分間金型の回転数を固定して遠心力を加え、成形用金型の内面に均一塗布した。その後、加熱することで溶剤 NMP を半分以上揮発させ、ポリアミック酸のシームレスベルトを成形した。この加熱する間の遠心力も遠心効果 $Z=15$ とした。

- 3) 焼成工程：成形したシームレスベルトを成形金型より取外し、円筒状の焼成用金型を内側に挿入した。その後、高温加熱炉で加熱し、溶剤 NMP の揮発とイミド化反応を完全に終了し、複合ポリイミドシームレスベルトを作製した。

3.4 走査型電子顕微鏡（SEM）観察

3.3 で作製した複合シームレスベルトを切り出し、高真空でアルゴンガスによるイオンエッチング処理にて表面層のポリイミド成分を除去した。その後、日本電子（株）製 SEM（JSM-5310）を用いて CB 粒子の分散状態を観察した。

3.5 体積および表面抵抗率の測定

JIS K-6911 の規格に基づいた三菱化学製ハイレスタ（HR プローブ：主電極直径 1.6 cm，ガード電極内径 3.0 cm）を用い、印加電圧 100 V で 10 秒後の体積抵抗率と表面抵抗率を測定した。参考データとして、 $1 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の低い抵抗率の測定には三菱化学製ロレスタ（四探針法）を用いた。

4. 実験結果および考察

4.1 カーボンブラックの分散評価結果

各種 MB 溶液の特性を表 2 に示す。例えば S/CB 1 とは U-ワニス S と表 1 に示す CB 1 とを分散した MB 溶液を示す。高せん断力がポリイミド樹脂の先駆体である PAA 溶液に負荷され、CB の二次粒子がほぐされて一次粒子化が進行する。しかし、CB を高濃度に含む MB 溶液の作製では、CB による粘度の増加率が高く、分散機中で行われるボール間の衝撃力によっても CB の粉砕が困難であった。そこで、B 型粘度計（60 rpm）を用いて見かけ粘度を 1.0 ～ 2.0 Pa・s の範囲に入るように溶剤 NMP の配合割合を上げて調整した。その結果、分散不良などの凝集塊が少なく、長期貯蔵に安定した MB 溶液の作製が可能であることを見出した。これは溶剤 NMP 量を増やすことで、分散機で行われる CB の粉砕と、ほぐされていく CB の溶媒液による濡れという界面現象が伴った結果と考えられる。また、見かけ粘度 1.0 Pa・s 以下では、CB の沈降による凝集を抑えることが出来なかった。CB 3、CB 4 の酸性 CB を添加した MB の粘度の増加率は低く、CB 充填量を高くしても安定した分散性を維持する MB 溶液の作製が可能であった。逆にケッチェン方式で製造される CB 1 は比表面積が大きく、細孔の多い構造のため溶剤 NMP の吸着・保持が

Table 2 Properties of master batch

Grade No.	Polyamide acid	Carbon black	CB content (phr)	Weight fraction (wt%)	Apparent viscosity (Pa・s)
S/CB 1	U-Varnish-S	CB 1	10	14.0	1.3
S/CB 2	U-Varnish-S	CB 2	15	13.5	1.0
S/CB 3	U-Varnish-S	CB 3	20	15.6	1.8
S/CB 4	U-Varnish-S	CB 4	20	15.6	1.7
A/CB 1	U-Varnish-A	CB 1	10	14.0	2.4
A/CB 2	U-Varnish-A	CB 2	15	13.5	1.1
A/CB 3	U-Varnish-A	CB 3	20	15.6	1.4
A/CB 4	U-Varnish-A	CB 4	20	15.6	1.3

Fig.4 Particle size histograms of various carbon black dispersed state of varnish-S/master batch

大きく、結果として粘度の増加が非常に大きく、CBを高濃度を含むMB溶液の作製が難しいという結果が得られた。

1) CB粒子分散度の評価結果

MB溶液を約100倍の溶剤NMPで希釈した試料に対し、HORIBA製LA-920型レーザ回折・散乱式粒度分布測定装置を用いて、CB粒子径と粒度分布の測定を実施した。図4はU-ワニス-Sを用いた場合のCBの粒度分布を示す。酸性CBを用いたMB溶液、S/CB3とS/CB4の場合は前者がメジアン径=0.314 μm 、MAX粒子径=0.765 μm で、後者がメジアン径=0.303 μm 、MAX粒子径=0.668 μm であった。この結果はS/CB1、S/CB2と比較して、粒度分布の幅が狭く、分散性に優れている。図5は、U-ワニス-Aを用いた場合の粒度分布を示す。U-ワニス-Sと比較して、同じCBを用いても分散性に違いが認められた。A/CB3のMAX粒子径については4.472 μm 、A/CB1では粒子径1 μm 以下の割合が17.5%と小さく、U-ワニス-Sと比較して大きな凝集構造の形成が多いことを意味している。この結果はMB溶液の約85 (wt%)をしめる溶媒NMPとCBとの親和性によってのみ分散性が決まるのではなく、溶媒NMPに溶解しているPAAの分子構造も影響することを示唆している。特に、ジアミンモノマーがCB粒子の分散安定性に大きく影響を与えていると考えられる。ただし、A/CB4だけは、メジアン径=0.306 μm 、MAX粒子径=0.765 μm となり、U-ワニス-Sと同等に良

Fig.5 Particle size histograms of various carbon black dispersed state of varnish-A/master batch

い分散性を示した。これはCB表面の揮発分である表面官能基（カルボキシル基：-COOH、フェノール性水酸基：-OH、キノン基：>C=O など）が界面張力を小さくし、界面での親和性が良好となり、結果として分散安定性を高め、凝集を防いだと考えられる。図6は、MB溶液におけるCB分散状態を光学顕微鏡で直接観察した結果を示す。粒度分布の結果とよく一致していることがわかる。

2) CB粒子により形成される構造

一般に、表面が活性で内部構造を作りやすいCBの分散系溶液においては3次元的な網目構造を形成し、擬塑性流動、チキソトロピー性、構造粘性などの現象を示すことが知られている¹⁶⁾。図7は、1ヵ月間貯蔵したU-ワニス-S系MB溶液を室温(25℃)下でクリープ測定を行ない、定常状態での応力とひずみ速度を求めた結果である。CBの種類や各MBの粒度分布状態に関係なく、粘度挙動に時間依存性がなく、非常に安定したニュートン流動性を示す。この結果は、CB粒子の網目構造、凝集構造などの形成がなく、MB溶液中のCB濃度の調整がとれていると言える。このように粘度のせん断速度依存性が非常に小さければ、1) CB濃度の調整が容易である。2) 遠心成形中も安定した流動性を示す、など複合シームレスベルトの作製においてもCB凝集などの問題を回避できると考えられる。

4.2 遠心成形における“浮きまだら”現象

図8は、S/CB1を用いてCB充填量5 vol%に、また図9はS/CB3を用いてCB充填量12 vol%に調整した原料を

Fig. 6 Photographs of a section of each master batch with an optical microscope

Fig. 7 Stress-strain curves in mater batch

用いて、遠心成形法で作製したベルトの内側を SEM 観察した写真である。写真から CB 粒子が密(a)と疎(b)の部分が存在しているのが認められた。これは、遠心成形の乾燥過程における温度対流や蒸発対流が主要な原因と考えられる¹⁷⁾。対流を起こす浮力と表面張力、溶媒の蒸発による粘度変化、密度変化などの影響によって、微粒子の分散状態が不均一になって起こる“浮きまだら現象”(Floating)と考えた。ここでは、成形原料の固形分濃度が 13.5 wt%で、残りの 86.5 wt%が溶剤 NMP であり、加熱温度 120℃ 近傍の乾燥による CB の分散性に非常に大きな影響を与える要因の 1 つであることがわかった。この対策として、界面活性剤の添加が非常に有効であり¹⁸⁾、本実験では原料調整工程にフッ素系界面活性剤を成形原料に対して 0.01 wt%の割合で添加することで、“浮きまだら”の発生を回避できることを確認した。

4.3 カーボンブラック含有量と体積抵抗率の関係

U-ワニス-S 系 MB 溶液を用いて、遠心成形法で作製したポリイミドベルトの CB 充填量と体積抵抗率の関係を、図 10 に示す。CB 1 : 2.0 vol%, アセチレン方式で製造され

(a) Compact aggregation (b) Loose aggregation

Fig. 8 SEM photographs of a section of the CB 1 /PI (5%) composite sample

(a) Compact aggregation (b) Loose aggregation

Fig. 9 SEM photographs of a section of the CB 3/PI (12%) composite sample

る CB 2 : 4.2 vol%, CB 3 : 11.0 vol%, CB-4 : 11.8 vol% 近傍で電気伝導度が増加するパーコレーション現象が見られた。このように抵抗率の急激な変化は CB の種類に依存する¹⁹⁾。また、従来の混練操作で得られる電気抵抗率^{19), 20)}と比較して、少量の CB 充填量で高い導電性が得られることがわかった。そして、導電性付与として用いることが無かった低導電性 CB の CB 3 (比表面積が小、DBP 吸油量が小)、や CB 4 (揮発分が大)を用いても導電性付与が可能となった。一般に、CB 4 のように表面に結合する官能基量を表す揮発分が多い CB は、この揮発分が導電性の役割を果たす π 電子をキャッチするため、導電性を著しく低下させると報告されている^{21), 22)}。しかし、CB 3 と CB 4 を対比しても、導電特性に大きな差は無い。その理由として、官能基量が多いことで CB とポリイミド樹脂の濡れ性が向上し、粒子間のギャップ間距離が小さくなり、その結果、トンネル効果によって導電性が向上したと推測した。

さらに、図 10 からパーコレーションの傾きを CB 充填量の差で判断すると、CB 1 は 0.3 vol%の間でパーコレーションが終了し導電化した。同様に、CB 2 は 0.8 vol%の間、CB 3 は 2.3 vol%の間、CB 4 は 2.2 vol%の間で、それぞれパーコレーション現象が見られ導電化した。つまり、CB 3, CB 4 の場合、CB 充填量の変化に対してパーコレーションでの抵抗率変化が緩やかにできることが確認できた。

図 11 は、CB 2 を 10 vol%複合化したポリイミドベルト : CB 2/PI (10%)、と CB 3 を 10 vol%複合化したポリイミドベルト : CB 3/PI (10%) の表面 SEM 写真である。CB 2/PI (10%) では CB 粒子どうしが連なったストラクチャーを形成していることがわかる。一方、CB 3/PI (10%) は小さな凝集状態で均一分散していることが観察できる。この結果を図 4 の MB 溶液中の CB 粒子の粒度分布データと対比すると MB 溶液の S/CB 2 はメジアン径 $1.131 \mu\text{m}$ であり、SEM 観察でのストラクチャー長さも約 $1.0 \mu\text{m}$ 前後である。また、MB 溶液の S/CB 3 はメジアン径 0.314

(a) JIS k-6911

(b) four-point probe array method

Fig. 10 Dependence of electrical resistivity of polyimide filled with carbon black as a function of carbon volume fraction

μm でSEM観察での粒径も約 $0.3\mu\text{m}$ であることが確認できた。これらの結果は、PAA溶液でのCB粒子のブレンド状態（粒度分布）とこれをイミド化したフィルムでのCB粒子の分散状態とは比較的近いことを示唆している。つまり、電気特性発現にとってPAA溶液でのCB分散状態が重要な要素であり、半導電性領域の電気抵抗率を高度に制御するには、MB溶液でのCB分散状態が重要となる。そして、CB3やCB4などの酸処理CBを用いることで、電気抵抗率をコントロールし易くなることが分かった。

4.4 マスターバッチ貯蔵と抵抗率の関係

MB溶液の貯蔵期間でのベルト表面抵抗率の変化を、図12に示す。CB3充填量が10.4 vol%のS/CB3、CB4充填量が11.0 vol%のS/CB4の2種類のMB溶液を所定の期間貯蔵し、その後遠心成形法でCB3/PI (10.4%)とCB4/PI (11.0%)の2種類の複合ポリイミドを作製した。ベルト表面抵抗率はMB溶液のS/CB4を用いたCB4/PI (11.0%)では、経時的にも抵抗水準は安定しているのに対して、S/CB3を用いたCB3/PI (10.4%)は同じCB充填量に関わらず、経時的に導電性が悪くなり、約1ヵ月後に抵抗水準が安定した。このような変化はMB溶液のCBの分散状態にも反映されると考えられる。しかし、レーザ回折・散乱式粒度分布測定装置を用いて経時的なCB粒度分布の変化を測定すると、S/CB3、S/CB4いずれにおいても粒度分布に大きな変化がない結果であった。この結果は、MBの貯蔵に伴う表面抵抗の変化は、単純に

(a) CB-2/PI

(b) CB-3/PI

Fig. 11 SEM photographs of a section of the CB 2/PI (10%) composite sample and CB 3/PI (10%) composite sample

Fig. 12 Relation between storage of master batch and surface resistivity

Fig. 13 The effect of mechanical dispersing force with the storage of master batch and surface resistivity

CBの粒度分布（凝集）の変化のみで説明出来ないことを示している。

混合・分散過程における力学的操作はポリイミドとCBの間の表面エネルギーに変化をもたらす可能性がある。MB溶液を作製する時に強い分散力をかけるためCBの表面状態が壊され、活性な状態になる。図13は、S/CB4のMB溶液の製作において、サンドミル法による混合・分散を繰り返して行ったとき、MB溶液の貯蔵期間がベルト表面抵抗率の経時変化に及ぼす効果を示す。混合・分散を繰り返して行ったとき、S/CB3を用いた場合と同様に経時的に導電性の低下がおり、その変化は機械的に強い分散力をかけたMB溶液から製作されたベルトにおいて大きいことがわかった。この結果は安定なMB溶液を作るためには、CBの表面状態を損なうことなく分散を行うことが必要であることを示している。

5. 結 論

近年、OA 機器のカラー化に欠かすことができない最重要部品の1つである中間転写ベルトを対象として、ポリイミド樹脂を選定し、実用化の可能性を確かめた。はじめに、ポリイミド前駆体である PAA 溶液の段階で CB を均一分散・混合することを検討した。特性の異なる CB を PAA 溶液に分散した MB 溶液を作製し、その CB 粒度分布とレオロジー特性から分散状態を評価した。最後に遠心成形法でシームレスベルトの作製を行ない、半導電領域での電気抵抗率について検討した。その結果を以下に示す。

- 1) CB 粒子径が $0.6\ \mu\text{m}$ 以下の CB 分散状態の MB 溶液を作製するには機械力の他に、CB 粒子の濡れという界面現象の寄与が必要であった。
- 2) 酸性 CB は PAA 溶液への濡れ性が非常に優れていた。特に、CB 表面の揮発分が PAA 溶液との濡れ性を改善した。
- 3) 遠心成形の加熱乾燥工程で発生する CB の凝集は温度対流や蒸発対流が原因である“浮きまだら現象”(Floating)と考えられた。この現象の回避には界面活性剤の添加が非常に有効であった。
- 4) 液体状態で CB を分散混合することで飛躍的に導電性が向上した。その結果、低導電性 CB を用いても導電性付与が可能となり、パーコレーションでの抵抗の変化を緩やかにできた。
- 5) MB 溶液での CB ブレンド状態とこれをイミド化したベルトの CB 分散状態とは比較的近いことがわかった。つまり半導電性領域の電気抵抗率を高度に制御するには、MB 溶液での分散状態が重要であった。
- 6) 表面に揮発分が多い CB を用いたベルトの導電性は経時的に安定である。

参 考 文 献

- 1) 鵜家邦良：デジタルハードコピー技術と材料，**209**

(1999)，シーエムシー

- 2) 北浦達朗：日本画像学会誌，**39**，1，18 (2000)
- 3) 岡本佳和，奥野辰夫，木村政夫，辻 芳彦：カラー用中間転写ベルトシステム，Fuji Xerox Technical Report, No. 12 (1998)
- 4) Frenkel, J. : *Physical Review*, **36**, 1604 (1930)
- 5) Polley, M. H. and Boonstra, B. B. S. T. : *Rubber Chem. Technol.*, **30**, 170 (1957)
- 6) Van Beek, L. K. H. : *J. Appl. Polymer Sci.*, **6** (24), 651 (1962)
- 7) Buche, F. : *J. Appl. Phys.*, **44**, 1, 532 (1973)
- 8) Scarisbrick, R. M. : *J. Phys. D*, **6**, 2098 (1973)
- 9) Aharoni, S. M. : *J. Appl. Phys.*, **43**, 5, 2463 (1973)
- 10) 住田雅夫，城島栄一郎，相田広巳，宮坂啓象，石川欣造：高分子論文集，**40**(4)，203 (1983)
- 11) 久 英之：顔料，**39**(2)，29 (1995)
- 12) 井本 稔：接着とはどういうことか，(1980)，岩波書店
- 13) Machida, T. and Nakagawa, T. : 生産研究，**31**, 1, 25 (1979)
- 14) 町田輝史：日本塑性加工学会誌，**24**(274)，1140(1983)
- 15) 平田重幸，村川善浩，岩井透匡，島路賢吾，大嶋哲弘，松本義則 (ゲンゼ) 特開平 06-39858
- 16) 甘利武司，渡辺鋼市郎：日本レオロジー学会誌，**12**，55(1984)
- 17) Kornum, L. O. and Nielsen, H. K. R. : *Prog. Org. Coat.*, **8**(3), 275 (1980)
- 18) 西浦直樹，鞍岡隆志，大志万優二 (ゲンゼ)：特開平 07-156287
- 19) Voet, A. : *Rubber Chem. Tech.*, **50**, 736 (1977)
- 20) 炭素応用技術の新展開，64 (1988)，シーエムシー
- 21) Studebaker, M. L. : *Inst. Rubber Ind.*, **21**, 188 (1945)
- 22) Voet, A. : *Rubber Age*, Aug. 746 (1964)