総説

繊維系廃棄物のリサイクル処理技術および再生品の展開と課題

杉本 太*

1. はじめに

世界規模での繊維不況の中、国内の各繊維産地も例外ではなく、不況脱却に向けて日々努力を行っている¹⁾。現在、国内で発生する繊維系廃棄物は年間で約200万tといわれており、繊維製造、縫製・アパレルから排出される裁断くずなどの産業廃棄物、一般家庭から排出される古着、布団等の一般廃棄物などがある。とくに、製造現場などで発生する産業廃棄物には、準備・製布工程から発生する捨て耳や残糸、不良品、整理加工などの工程で発生する廃棄物などがある²⁾。したがって、地球環境の問題から企業においては、これら繊維系廃棄物の処理・リサイクル化が求められ、その対応が必要となる。現況として、これら廃棄物の一部は衣料など繊維製品の原料としてリサイクルされているものの、ほとんどは焼却・埋立処理されているのが実情である。

一方、「循環型社会形成推進基本法（2000）」の成立とともに、「再生資源利用促進法（1991）」が改正されて「資源有効利用促進法（2000）」、「廃棄物処理法」の改正（2000）、「容器包装リサイクル法（1995）」の全面施行（2000）、「家電リサイクル法（1998）」など、リサイクルに関する法律が次々に制定され、逐次施行されており、今後、廃棄物として処理することがますます難しくなることが想定される¹⁾。

平成13年1月に施行された循環型社会形成推進基本法における循環資源の処理の優先順位は下記の通りである³⁾。

- 1) リデュース（発生抑制）
- 2) リユース（再利用）
- 3) リサイクル（再資源化）

a) マテリアルリサイクル

b) ケミカルリサイクル

c) サーマルリサイクル

たとえば、リデュースは、これまでの大量生産、大量消費、大量廃棄型の経済システムからの脱却を図る上で、製造工程で発生する繊維系等の廃棄物を抑制することを目的に、製品の工程フローの見直し、見込み生産の調整、不用在庫の削減など流通段階での製品の廃棄量の減量化などを行うことであり、消費者に至っては、製品の長期使用などが挙げられている。

リユースは、古くから一般家庭から廃棄される衣料などの故繊維製品を回収し、ウエスや古着など形態を変えずに再利用する方法で、反毛などもこれに属する。

廃棄物の再資源化として、マテリアルリサイクルは、PET ボトルから再生繊維の衣料やカーペット、マットなどを得るように、中間品に戻して再利用する方法である。

ケミカルリサイクルは、化学的処理を施して、たとえばPETをテレフタル酸に⁴⁾、ナイロン-6ではカプロラクタムなど原料に完全に戻して再利用する方法^{1,4,5)}である。

サーマルリサイクルは、焼却等による熱エネルギーを発電やビニールハウス、温水プールなどに熱的利用するものである。これまでの、サーマルリサイクルが一番効率的な方法とされ、リサイクルの主流であったが、廃棄物の発生を抑制することを第一に考え、天然資源の消費と地球環境への悪影響をできるだけ少なくする「循環型社会」へと環境対策の考え方が変わりつつある中で、現状では環境負荷が低いと考えられるマテリアルリサイクルが優先し、ケミカルリサイクルは次善とされている⁶⁾。

そこで、本報では繊維系廃棄物のマテリアルリサ

*兵庫県立工業技術センター Futoshi SUGIMOTO

イクル, サーマルリサイクル等を中心に検討し, 以下にリサイクル処理技術, 再生品について報告する。

2. マテリアルリサイクル処理・技術

繊維系廃棄物のマテリアルリサイクルに関する技術について, 本節ではポリマー樹脂との複合, 糸または不織布, フェルト作製後の応用, 古紙やその他各種材料との複合的な利用により検討を進めることとした。

2.1 プラスチック製品の成形素材の製造

プラスチック製品の成形素材の製造について, マトリックスに廃プラスチック, 合成繊維などを, 強化材に綿, ウールなどの天然繊維, 古紙, 木粉などを用いた複合材料の成形加工があり, 各特性用途に応じてシートやマット, 各種断熱材などに利用されている。上記のような複合材料の成形加工については, 圧縮成形, 押出成形, 射出成形などがある⁷⁾。各成形用途に応じたりサイクル技術, 用途展開について以下に示す。

a. 圧縮成形

圧縮成形は, 材料を金型の雌型に入れ, 適当な温度で加熱し, 圧力を加えて軟化流動させて, 型の細部まで充填し硬化させ, 型を冷却した後に取り出す方法である。成形機を図-1に, 成形用の金型例を図-2に示す。

たとえば, 廃棄された綿ふとんにバインダーとなる熱可塑性樹脂を混合し, 加熱圧縮成形して, 繊維集合体に含まれる空隙を利用した断熱特性や軽さを

生かした断熱材(板)への加工技術が開発されている⁸⁻¹⁰⁾。その他, 廃プラスチック(ポリエチレン(PE), ポリプロピレン(PP), アクリロニトリル/ブタジエン/スチレン共重合体(ABS)など)と木くず・木粉との混練による成形(混合溶融プレス成形)により, 建築用資材(地下貯水耐水材, 高速道路用消音材など), ハウジング資材(ドア, 床下地材, 中棚板など), 物流資材(パレット, 汎用箱, 台車など)に応用されたり¹¹⁾, 廃車シュレッダダストを粗分別した発泡ウレタン・繊維素材に熱可塑性樹脂を添加し, シート状に成形し, 車両用防音材(RSPP)などを製造^{12, 13)}したり, 使用済みナイロンカーペットから自動車部品として利用するエンジニアリングプラスチックを開発した例¹⁴⁾, マット, クッション材およびジオテキスタイル(建築資材など)への転用例¹⁵⁾がある。

b. 押出成形

押出成形は, 熱可塑性樹脂を加熱炉で軟化させ, これをスクリーまたはプランジャーで押出して連続的に成形品を製造する方法である。しかし, プランジャーによる押出成形機は連続的の製品ができない欠点があり, 一般的にはスクリー型となっている。図-3にスクリー型の押出成形機を示す。

この成形法は, 管, 棒, フィルムやシートなどへの成形が可能であり, たとえば, 熱可塑性樹脂に木粉を配合して, 押出成形して擬木材やパレットとしたり¹⁶⁾, さらに二次加工により柔軟な加工性を出すため, 真空成形(型と板との間を減圧にして型の上

図-1 圧縮成形機⁷⁾

図-2 成形用金型例⁷⁾

図-3 押出成形機（スクリュー型）⁷⁾

に樹脂膜を密着させて成形する加工）や曲げ加工など¹⁷⁾を行い、木の風合いと樹脂の成形性を合わせ持つ成形シート材料などが開発され、家具、建材、照明、事務用品などへの商品化例^{16, 17)}がある。また、鉄道会社の廃棄乗車券のリサイクルへの取り組み¹⁸⁾があるが、乗車券は重量比で約80%が上質紙であり、表面はPVA樹脂などの熱可塑性樹脂でオーバーコートされ、裏面は磁気層にスチレン/ブタジエン系のバインダーが含まれている。これを廃プラスチックと粉碎し、紙が炭化しない180℃程度で溶融混合する。押出機より金型へ注入して冷却すると、強度、耐久性に優れた材料が得られ、擬木材や誘導板などに利用されている。

c. 射出成形

射出成形は、熱可塑性樹脂をホッパーからシリンダー中に送り出し、この中で加熱可塑化してピストンによって金型へ射出し、冷却固化させた後取り出して、成形素材を得る方法である⁷⁾。図-4にプランジャー型、スクリュー型、両者共用型の3種類の成形機を示す¹⁹⁾。

伝熱特性に劣る繊維くずを熱可塑性樹脂と加熱筒内で混練、加熱溶融し、金型内で冷却固化させる射出成形で、たとえば、綿などの天然繊維と合成繊維くずを射出成形によりプラスチック強化材として再利用する方法や、強化材としてガラス繊維や炭素繊維を用いたプラスチックの射出成形により、引張強度、弾性率に優れた板材が得られた例^{20, 21)}がある。また、マトリックスとしてPPの代わりに生分解性プラスチック（ポリ乳酸（PLA）やポリビニルサキシネート（PBS）等の脂肪族ポリエステルなど）からなる熱可塑性樹脂を用いると、マトリックスと強化材ともに生分解性を持つことになり、繊維くずからの生分解性の複合材料が成形でき、資源の有効利用と廃棄物の減量対策に役立つものと考えられる²²⁾。

(a) プランジャーによる予備可塑化装置

(b) スクリューによる予備可塑化装置

(c) 予備可塑化用スクリュー付プランジャー

図-4 射出成形機¹⁹⁾

2.2 繊維系廃棄物の糸や不織布へのリサイクル

繊維系廃棄物の糸や不織布への応用として、図-5に発生した繊維くずの再資源化フローを示しており、繊維製品・くずをウエス原料として利用するケース、繊維を解繊してフェルト、カーペット、軍手等の原料として反毛加工するなどの用途を挙げている²³⁾。特に、不織布は原料や製法の組合せにより、多種多様の機能を有する製品ができるので、その利用も様々である。用途としては、芯地などの衣料、各種フィルター、包装材、土木建築資材などの産業資材、日常生活用品など多岐にわたっている²⁴⁾。主な用途を図-6に示し、リサイクル製品の用途展開を図る上で参考になるものと考えられる。実際のリサイクル化への取り組み例を以下に示す。

a. 四国タオル工業組合の取り組み事例

四国タオル工業組合では、織物工場から製織時に綿の繊維くずが年間数千トン発生し、そのほとんどが焼却・埋立されており、その費用が年間約6億円となっている。当該組合では、平成10年度にNEDO（新エネルギー産業開発機構）から委託を受け、繊維くずを再利用するための技術開発に取り組んだ。その結果、捨て耳幅を均一にして巻き取り、太番手

図-5 故繊維・繊維くずの再資源化フロー²³⁾

糸を作り、この糸を用いてバスマットを作製し、バストイレタリー製品への商品化を行い、地元（愛媛県今治市）においてテスト販売をし、リサイクルの技術的手法を確立した²⁵⁾。しかし、年間数千トンにも及ぶ繊維くずをどのように有効利用するのかについて、一つは捨て糸の回収方法の構築、二つは手作業によるくず糸の巻き取りの自動化および、用途展開、販売ルートの開拓などを課題として挙げている。

b. 愛知県岡崎地区の取り組み事例

愛知県岡崎地区は、産地内の紡織加工、化合繊維メーカーから出る落綿・瑞玉や二級品などの繊維くずを回収して、再生製品化する繊維リサイクル産地（図-7）を形成している²⁶⁾。図はリサイクル繊維

の流通経路であり、濃い色で示された部分が岡崎地区の扱い部分で、岡崎で回収された使用品は中古衣料として再販されるもの、ウエスになるもの、反毛工程後、糸化（特紡糸）して、作業用手袋の生産に用いられる。一部フェルト化し、主に自動車内装材（断熱、保温材）として利用されている。一方、岡崎産地の問題点としては、製造される商品の種類が少なく、作業用手袋と自動車断熱材が主であるため、故繊維やくずの回収が進むにつれ、再生用原料の段階での在庫が増加し、既存商品の供給過剰が懸念されている。加えて、最近中国をはじめとするアジア諸国からの輸入が急増して、作業用手袋などの製造業界なども打撃を受けている。このような現状を打破するため、たとえば、新リサイクル手袋の開発、

図-6 不織布の主な用途²⁴⁾

需要促進を図る目的で、平成12年度に全国中小企業団体中央会の助成を受け、反毛ワタに使用済みペットボトルを原料に加えた作業用手袋の新製品（商品名：ペットハンズ）を開発し、国が推進するグリーン購入法の特典調達物品としての指定を受け、新たな市場展開を行い、合わせて、建築、土木用資材、インテリア資材等の用途展開にも力を入れている^{27, 28)}。

また、日清紡において²⁶⁾ は、綿100%の端切布、C反等の生地を使った使用済みアパレル商品（衣料品、家庭用品）の反毛綿化による再生商品の開発を目指している。特に愛知県岡崎地区にある日清紡美合工場は、上記の岡崎産地の持つ技術集積、生産設

備を利用し、新商品の開発と販路開拓を行うとのことである。それに追隨して、岡崎繊維リサイクル産地を廃棄物の有効利用として組み込む製造メーカーもある。

c. ウール製品のリサイクル

ウール製品のリサイクルでは、1996年11月にIWS（株）とアオキインターナショナル、トーア紡（東亜紡織）の三者によって、「ウール・エコリサイクル・クラブ（WEC）」が設立され、新たにウール製品の回収システムを構築するとともに（図-8）、回収された中古ウール衣料を裁断し、反毛や粉碎を行う。反毛工程を経たものは、紡績、不織布工程を

図-7 リサイクル繊維の流通経路²⁶⁾ 図-8 ウールのリサイクルシステム²⁹⁾

經由して、モップ、各種油吸着材、園芸用マルチマット、建築用断熱材などに商品化され、粉碎工程を経たものは、プランター、梱包資材、再生紙などの商品展開が行われている^{29,31)}。一方、ウール衣料のリサイクルの問題点は、スーツでは裏地、芯地、肩パット等の副資材や合繊との混紡品などが存在しており、これらの分別が非常に困難な点で、本格的な実用化にはまだ時間のかかる見通しである。

d. その他

その他不織布等のリサイクル製品の展開として、綿などの繊維くずにPP繊維を混合させ、ニードルパンチ機で加工した不織布を流出軽原油の吸収材として利用するものがあり、吸収した油は機械的圧縮で除去ができ、吸収材の再利用も可能ということである³²⁾。ニードルパンチ式のカーペットを破碎・粉

碎後の試料に、PPやスチレン/ブタジエン系のバンダーを混合して、ニードル機でフェルト化して自動車用のカーペットへの再生利用を検討した例³³⁾や、ドイツにおいては、故繊維をカード紡績原料にする例³⁴⁾がある。また、パルプ、古紙などの木質繊維を原料として、粗・精砕機でワタ状に解繊し、薬剤処理で防燃性、防かび、防虫性などの特性を付与したセルロースファイバー断熱材として製品化されており、吹込工法の天井断熱材としての需要が多いとのことである³⁵⁾。古紙単独またはウールを併用し、水でスラリー状にして成形乾燥させたものは、包装資材用の鶏卵容器、水稻育苗ポットなどに商品化され^{36, 37)}、通気性、吸湿性が高く、廃棄処理が容易であり、古紙利用のリサイクル製品として包装の簡易化などに寄与するものと考えられる。

繊維系廃棄物の他の用途展開としては、繊維くずを珪藻土などの原材料と混合・混練して造粒成形し、これらを焼成して多孔体を作製する方法^{38, 39)}があり、繊維くずには綿やウールを用い、繊維長2～5mmで多孔体としての物性（かさ比重、含水率、硬さ、比表面積など）が良好で、特に吸水性が優れ、イチゴやバラの養液栽培用の培地として有用であった。また、綿タオルを600℃、60分間で炭化処理を行い、これを水蒸気賦活し、環境ホルモンである4-ノニルフェノールの除去性能について調べた結果、吸着能は空気賦活の場合に比べ良好であった。得られた活性炭を繊維に混合することにより作製した繊維は、抗菌、脱臭、吸湿作用といった機能材料の商品化に繋がる⁴⁰⁾。

3. サーマル・ケミカルリサイクル処理・技術

繊維系廃棄物を再生利用するマテリアルリサイクルが進められる一方、潜在する高い熱エネルギーを活用したサーマルリサイクルも、従来の焼却から資源リサイクルとして見直され⁴¹⁾、特に、固形燃料化(RPF)、油化、ガス化などの再利用技術が推進され、ゴミのリサイクル施設や技術開発が各地区で取り組まれている^{42, 43)}。

廃棄物のサーマルリサイクルとしては、プラスチック系の場合、油化から固形燃料化にわたっての多くの検討例が報告されている^{43, 45)}が、今回対象となる繊維系廃棄物に関しては、廃棄物の特性から固形燃料化に対応した技術が多くを占めていた⁴²⁾。

そこで本報では、固形燃料化システムの技術構築について、廃プラスチックや繊維、紙を含めた廃棄物の破碎、選別、成形等の要素技術、開発された技術の市場投入例の概要を以下に示す。

3.1 固形燃料化

廃棄物は、その種類、大きさ、排出形態も様々であり、場合によっては金属、土砂、水分等が混入しており、これらを原料としてサーマルリサイクルに載せるためには、燃料としてクリーンで安定した製品品質を安価に安定供給できる原料加工技術と、システム技術の開発が必要である。固形燃料化の検討例として、クラレ⁴⁶⁾は、環境保護としての資源リサイクルの一環として、廃プラスチックおよび衣料製品などを回収し、破碎して混合、加圧・熱融着に

図-9 固形燃料化設備のフローシート⁴⁶⁾

表1 固形燃料化プラントの稼働状況⁴⁴⁾

事業者 プラントの所在地	処理対象 燃料利用先	処理能力 プラントメーカー
札幌市ごみ資源化工場 北海道札幌市篠路	建設廃材中の木材、紙ごみ、廃プラスチック 地域暖房、地域給湯	200 t/日 極東開発㈱、栗本鉄工所
富良野市農業廃棄物処理施設 北海道富良野市山部	一般廃棄物系ごみと農業用廃フィルム 地域の公共施設	7.2 t/日 中道機械㈱
(株)日本リサイクルマネジメント野木事業所	一般廃棄物系ごみ（生ごみは分別してコンポストに使用、瓶缶は資源回収）	10 t/日
栃木県野木町大字南赤塚字出山	地域の公共施設、合板メーカーに売却	(株)日本リサイクルマネジメント
松戸市日暮クリーンセンター 松戸市初富	一般廃棄物系不燃ごみ中のフィルム 福島県大熊町の老人病院のクリーニング工場用	20 t/日 (株)日本リサイクルマネジメント
久喜宮衛生組合 埼玉県宮代町	一般廃棄物系分別廃プラスチック 一般廃棄物系分別廃プラスチック	20 t/日 (株)日本リサイクルマネジメント
(株)関商店 群馬県館林	産業廃棄物系廃プラスチック (株)三足利染色工場	40 t/日 (株)シナネン、(株)タクマ
南砺リサイクルセンター 富山県西砺波郡福光町立野原	一般廃棄物系生ごみを含む可燃ごみ 地域利用	28 t/日 (株)日本リサイクルマネジメント
(株)日本リサイクルマネジメント榛原事業所 奈良県榛原町大字萩原	奈良県榛原町の一般廃棄物系ごみ 地域利用	8 t/日 (株)日本リサイクルマネジメント
津久見Jカトレルプロセス実証プラント 大分県津久見市大字日見	津久見市の一般廃棄物系ごみ(1994.11で運転停止) 秩父小野田(株)のセメント工場	20 t/日 カトレルグループ

より固形燃料化する設備を導入し、循環型流動層ボイラの補助燃料として利用し、発生した熱エネルギーは、蒸気・電力として回収するシステムを具体化している。固形燃料化設備のフローシートを図9に示す。

また、PE、PS、PP、PETなどのプラスチック廃棄物と古紙類を原料とするゴミ固化燃料システムについて検討し、廃プラスチックと古紙の混合割合で発熱量を調整し、燃料利用先の要求発熱量に応じた製造法を紹介したもの⁴¹⁾や、各種廃プラスチックなどの廃棄物の組成、発熱量、燃焼性や成形性を評価し、そのデータをデータベース化して固形燃料の品質管理、省力化を考慮した燃料化システムを構築した例⁴⁵⁾、固形燃料における発熱量に関しての標準化を検討した例もあり規格化の動きもある⁴⁷⁾。なお、固形燃料化プラントの稼働状況について表1に示す⁴⁴⁾。表からもわかるように、固形燃料の燃焼性は、水分、灰分、密度などの影響を受け、安定した発熱量を得るためには、こういった成分の変動を小さくする必要があり、熱利用施設での固形燃料の利用形態としては、中小規模の工場での冷暖房、給湯への利用や病院⁴⁸⁾といった小規模な施設への利

用に適しているものと考えられる。

たとえば、石川県能登地区においての固形燃料化の取り組み⁴⁹⁾としては、固形燃料化施設の導入のシュミレーション、熱エネルギーの活用方法、リサイクル製品の再利用調査などの具体化についての検討を行い、熱エネルギーの活用用途として、廃棄物発電、下水汚泥の焼却の補助燃料や公共施設などの冷暖房、小規模工場やロードヒーティングの熱源などへの利用の可能性を示す一方で、固形燃料が燃料として販売されるためには、燃料としての品質が保証されることや発生する焼却灰の処理が容易であること、焼却時のダイオキシンの発生が検出限界以下であることなどを示している。

愛知県岡崎地区では、すでに繊維リサイクル産業によって多岐にわたり、再生品として利用されているものの、一般あるいは産業廃棄物として焼却・埋立処分される量も徐々に増加する傾向にある。このような現状のもとで、繊維系廃棄物再資源化システムの一方策として固形燃料化技術に着目し、岡崎繊維団体協議会のもと、平成11年度に通商産業省（現：経済産業省）からの委託事業により、固形燃料化システムとその導入の可能性について調査を実

施した⁵⁰⁾。内容としては、繊維系廃棄物の現況調査、燃焼施設の使用企業・自治体の調査、廃棄物の燃焼による発熱量、燃焼・熱分解性、繊維原料別成分調査、ボイラー製造メーカーの調査結果を基に、サーマルリサイクルとしての固形燃料化が有効であることを報告している。

3.2 焼却灰の利用

固形燃料燃焼後の焼却灰の利用については、再資源化技術として、焼却灰をセメントと併用して固化したりリサイクル材を作製し、路盤・路床材としての活用や、焼結体によるタイルへの利用などが報告されている⁴⁹⁾。

3.3 ケミカルリサイクルの事例

ケミカルリサイクルは廃棄物に熱や薬品を作用させてプラスチックであればモノマーに還元し、新たに製品として再利用する方法^{1, 4, 5)}であり、最終製品から原料まで戻すプロセスを繰り返すことにより、半永久的なりサイクルシステムが可能となるため、完成度の高いリサイクル技術としては他の技術とは一線を画するものである³⁾。資源リサイクル、廃棄物削減などの観点からも理想的なりサイクル方法であるが、易リサイクル商品・回収・再生など技術面、コスト面で企業が利潤追求できるような体制が取れば、将来的には有用な技術であるといえる⁵¹⁾。

4. まとめ

繊維製品のリサイクルの推進として、製品の消費、回収、再生に至るリサイクルシステムを構築するためには、

1) 廃棄物の回収から再生までの間に発生するリサイクル負荷コストの軽減あるいは解消方法の立案が必要である⁵²⁾。

2) リサイクル品市場の確立には、リサイクル品の開発および用途、需要先の開拓がより一層必要である⁵³⁾。たとえば、愛知県岡崎産地の例にもあるように、開発した製品のグリーン購入法による特定調達物品への認定による市場展開も一案である^{27, 28)}。

3) 効果的な回収システムの構築や、リサイクル原料の一定量の供給およびリサイクル製品の安定した提供が必要である^{52, 54)}。

循環型経済社会において、これまでの大量生産後に大量廃棄された製品をそのままリサイクルすることを考えるのではなく、廃棄物をできるだけ少なくする又は発生させない（ゼロエミッション化）など

の考え方が先行するようになってきている⁵⁵⁾。したがって、最初に廃棄物などの発生を抑制する方法を考え、この中で、発生する廃棄物について前述のように商品化する方向で進めるのか、サーマルリサイクルによりエネルギー回収を主体に進めるのか、リサイクル処理を選択する上での重要な点といえる。

参考文献

- 1) 塩谷 隆：合成繊維のリサイクル，化学工学，62 (6)，317 (1998)
- 2) 日本綿スフ織物工業組合連合会 繊維屑リサイクル研究開発専門委員会：繊維屑リサイクル事業報告書，平成12年度社会要請対応円滑化支援事業 (2000)
- 3) 塩谷 隆：合成繊維のリサイクル，プラスチックスエーヂ，43，107 (1997)
- 4) 樋口富壮：繊維，染色工業，44 (8)，352 (1996)
- 5) 山崎義一：繊維製品のリサイクル，繊維学会誌，55 (5)，170 (1999)
- 6) 濱 真理：容器包装リサイクル法と地方自治体の廃棄物対策，環境技術，25 (6)，314 (1996)
- 7) 大津隆行，黒木宣彦，田中 誠：基礎高分子工業化学，朝倉書店，p.145-150 (1983)
- 8) 木村照夫，内藤泰史，八田誠治：PLLA 繊維をバインダーに用いた綿繊維屑のマテリアルリサイクル，成形加工，12，61 (2001)
- 9) 八田誠治，木村照夫，内藤泰史：廃棄ふとん綿のマテリアルリサイクル，繊維学会予稿集，56 (1)，249 (2001)
- 10) 木村照夫，内藤泰史，八田誠治：生分解性をもつ板材としての廃ふとん綿のマテリアルリサイクル，エコデザインジャパンシンポジウム論文集，2001，130 (2000)
- 11) 小林丈紘：木粉/古紙/繊維/炭と廃プラスチックの混合溶融技術の開発と成形材料化の実用化，木質ボード・木質複合材料シンポジウム，16，75 (2000)
- 12) 梶原拓治，今橋邦彦，田中敦史：廃車シュレッダダストの活用化技術開発，自動車技術，51 (7)，71 (1997)
- 13) D.Wuestenberg and S.Schnell：Stoffliches Recycling von Textilien Bodenbelagen，*Gummi. Fasern. Kunstst.*，46 (12)，608 (1993)
- 14) S.R.Dunkle：From Carpet to Car Parts，*Proc. Annu. Recycl. Conf.*，7，3 (2000)
- 15) K.O.Sellers：Reduce, Reuse, Recycle in the Carpet Industry，*Text. World*，148 (9)，75 (1998)
- 16) 三宅 彰：廃プラスチックのリサイクル技術，化学工学，62 (5)，252 (1998)
- 17) 矢野和秀：木粉混入プラスチックによる建材用途，プラスチックスエーヂ，43，103 (1997)
- 18) 石田達紘，飯田康史，田中 浩，加地寛行：廃棄乗車券からできるリサイクル製品，名古屋鉄道株式会社研究報告，45，8，1 (2000)
- 19) 化学大辞典編集委員会編：化学大辞典4，共立出版，p.553 (1969)
- 20) 木村照夫：製織工程で生じる合繊維物捨て耳のリサイクル，繊維機械学会誌，48 (3)，112 (1991)
- 21) T.Kimura, M.Takeuchi and K.Nakanishi：Recyclability of Waste Cord of Synthetic Fibers as Matrix Material of Thermoplastic Hybrid Composites，*Proc. Int. Conf. Compos. Mater.*，10，373 (1995)
- 22) 木村照夫：繊維屑を用いた複合材料の射出成形，工業材

- 料, 47 (10), 65 (1999)
- 23) 正木剛太郎: 繊維製品のリサイクル, 染色工業, 45 (5), 204 (1997)
- 24) 東レリサーチセンター調査研究部門: 機能性不織布の最新技術, 東レリサーチセンター, p.30 (2001)
- 25) 宇高福則: タオルの捨て耳をリサイクル, いんだすと, 15 (7), 60 (2000)
- 26) 川合康夫: 綿製品などのリサイクルシステム企画 (その発想・構想・現況), 繊維学会誌, 55 (8), 259 (1999)
- 27) 日本作業手袋工業組合連合会 活路開拓調査・実現化事業委員会: 特紡作業手袋 (軍手) の新リサイクル手袋開発及び需要促進に関する調査研究報告書, 全国中小企業団体中央会補助事業, 平成12年度中小企業活路開拓調査・実現化事業 (2001)
- 28) 日本作業手袋工業組合連合会 活路開拓調査・実現化事業委員会: ペット再生作業手袋「ペットハンズ」, 全国中小企業団体中央会補助事業, 平成12年度中小企業活路開拓調査・実現化事業 (2001)
- 29) 亀井政治: ウール製品のリサイクル, 加工技術, 35 (12), 728 (2000)
- 30) 大内輝雄: 年間50万着規模に成長したウールのリサイクル, 繊維学会誌, 55 (6), 205 (1999)
- 31) 神谷源一: ウール・エコリサイクル・プロジェクトについて, 皮革科学, 43 (3), 159 (1997)
- 32) H.M.Choi, H.J.Kwon and J.P.Moreau: Cotton Nonwovens as Oil Spill Cleanup Sorbents, *Text. Res. J.*, 63 (4), 211 (1993)
- 33) D.Wuestenberg and S.Schnell: Stoffliches Recycling von Textilien Bodenbelagen, *Gummi. Fasern. Kunstst.*, 46 (11), 554 (1993)
- 34) W.B.Achwal, Recycling of Textiles, *Colourage*, 42 (2), 31 (1995)
- 35) 辻 賢二: セルローズファイバー断熱材, 工業材料, 46 (6), 5 (1998)
- 36) 秋好敏雄: 古紙リサイクル製品 (パルプモールド), リサイクル技術研究発表会講演論文集, 5, 1 (1997)
- 37) 名古屋モールド社: リサイクルウール混合のパルプモールド緩衝材を開発, 月刊カートン・ボックス, 18 (5), 6 (1999)
- 38) 小杉敏己, 斉藤和夫, 名倉 稔, 佐野昌隆: 繊維屑を利用した土壌焼成多孔体の開発, 静岡県浜松工業技術センター研究報告, 5, 1 (1995)
- 39) 樋口明久, 番場紀久雄, 中島 茂, 加藤陽一, 石塚隆治: リサイクル繊維素材を活用した養液栽培用資材の開発, 繊維加工, 52 (2), 72 (2000)
- 40) 棚田成紀, 安部郁夫: 有機性副産物の炭化による高度資源化技術に関する研究, 環境科学会年会講演要旨集, 1999, 357 (1999)
- 41) 釜瀬俊英, 田中勝治, 西 昌彦, 加藤由章, 市川 剛: プラスチック系廃棄物のリサイクル技術開発, 川崎重工技報, 141, 29 (1999)
- 42) 田中貞夫: 廃プラ固形燃料化 (RPF) システム, 化学装置, 別冊p.180-184 (1999)
- 43) 森 光金, 容器包装リサイクル法と廃プラスチック油化技術, 環境技術, 26 (12), 810 (1997)
- 44) 梶 光雄: 廃プラスチックリサイクルの現状と課題, 北海道石炭研究会講演会, 62, 29 (1997)
- 45) (財) クリーン・ジャパン・センター: 普及型廃プラスチック・サーマルリサイクルシステム技術, クリーンジャパン, 125, 56 (1998)
- 46) 小柳 隆, 守屋隆夫: 衣料製品のサーマルリサイクルについて, 繊維学会誌, 55 (8), 265 (1999)
- 47) プラスチック処理促進協会: プラスチックのリサイクルに関する標準化調査研究成果報告書 (平成7年度) (1996)
- 48) 稲谷稔宏: 可燃性廃棄物の固形燃料化技術とその有効利用, 月刊エコインダストリー, 2 (9), 38 (1997)
- 49) (財) クリーン・ジャパン・センター: 資源総合利用計画報告書 石川地区における廃棄物リサイクルシステムの具体化 (平成7年度) (1996)
- 50) 岡崎繊維団体協議会 繊維リサイクル調査委員会: 繊維廃棄物の固形燃料化調査研究報告書 (繊維廃棄物リサイクルの方向性と課題), 平成11年度通商産業省委託事業 (2000)
- 51) 長谷川英雄: ポリエステルのケミカルリサイクル, ポリマー材料フォーラム講演要旨集, 7, 325 (1998)
- 52) 日本化学繊維協会: 合成繊維リサイクルの総合的検討 (化繊協の調査より), 化学経済, 44 (6), 78 (1997)
- 53) 山崎義一: 繊維製品リサイクルの現状, 京染と精練染色, 50 (3), 79 (1999)
- 54) 津川 敬: マテリアルリサイクルの現在, いんだすと, 14 (4), 23 (1999)
- 55) 田中貞夫: 廃プラスチック固形燃料化 (RPF) システム, *Kubota Tech. Rep.*, 35, 24 (1998)