

地域産業特性にあった環境調和型生産システムに関する調査研究

河村博司、藤田浩文

地球環境問題は重大な関心の的となっており、平成8年9月に環境管理の国際規格であるISO14000シリーズが制定されたことを契機に、製造業者は生産の最初の段階から環境負荷を最少にし、資源の循環利用が図られるような製品を開発していくことが、より求められるようになっていくことが予想される。

環境調和への対応方法は、同じ業界でも地域によって素材や生産技術が異なり、地場産業においては、取り組みが容易でない面もあることから、専門家と愛知県商工部6試験研究機関及び工業振興課による「環境調和型生産システムに関する調査研究会」を設置し、ワーキング形式で調査研究を進め、報告書（愛知県商工部、平成9年3月）としてとりまとめた。

この報告書は、「環境調和型社会の構築」、「環境調和型製品設計・評価の考え方とその方法」、「環境への負荷を軽くする技術事例」、「環境マネジメントの国際規格（ISO14000シリーズ）について」、「環境調和型社会実現のための先進企業の取り組み状況（新日本製鉄(株)、ソニー幸田(株)、(株)INAX、リンナイ(株)、トヨタ自動車(株)の各社）」及び「ドイツの廃棄物原料対策及びリサイクル促進策の近況」の各章で構成している。この報告書は、機械器具、ガス機器、塗装加工、プラスチック加工、食品、窯業など、繊維以外の広い産業分

野を含むため、繊維業界において実用化されている「環境への負荷を軽くする技術事例」についてのみ抜粋し概説する。

繊維産業における環境への負担を軽くする技術の主なものには、リサイクル技術や染色等の排水の処理技術があり、実用化されている。

繊維産業におけるリサイクルの歴史は古く、リユース（再使用：着飽きた衣類を衣類として再利用）という手段では、リサイクルショップを経由するもの、古着として輸出されるものなどがあり、リメイク（衣料を分解して再利用）という手段では、ウール衣料を分解して紡毛糸の原料にしたり、反毛としてフェルトの原料にしたり、あるいは、古着をバラして雑巾や工場の油拭き用の布（ウェス）にしたりして再利用されている。また、資源の有効利用という面でも天然繊維で古くから行われ、ウールの原料である原毛中に含まれる油分（羊脂）は化粧品や軟膏の原料（ラノリン）として、すき落ちた短い羊毛は紡毛糸の原料として利用されてきている。生糸を製造するとき生ずるくず繊維及びくず繭などは一括総称して副蚕などといわれ、紡績して絹紡糸につくって使用されている。実綿から綿花を取り去った種子には短い繊維（コットンリント）が残る。このリントは繊維が短いためそのままでは紡績原料にはならないが、溶解

することによってキュプラ繊維、綿火薬などの貴重な原料となっている。

マテリアルリサイクル（使用済み製品を洗浄、溶解して再利用）という手段では、溶解してポリエステルチップに戻し、再びポリエステルの詰め綿に再生したり、PETボトルを繊維として再生し、シャツ地、テント用生地、学生服、カーペットなどに再利用¹⁾されてきている。絹を溶解し絹フィブリン水溶液として繊維加工などの分野での試験・実用化^{2, 3)}が行われ、羊毛についても同様に溶解し、天然高分子の一つである羊毛ケラチンとして繊維加工、重金属吸着材などでの試験・実用化^{4, 5, 6)}が行われてきている。

ケミカルリサイクル（製品を元の原料にするリサイクル）という手段では、PETボトルについて米国では一部化学会社で本格的にプラントを建設中であつたり、国内では超臨界状態の水やメチルアルコールでPETボトルを溶解し元の原料（テレフタル酸とエチレングリコールなど）段階まで戻す試験・研究⁷⁾も進められている。また、ナイロン（ナイロン6）については、東レ(株)がYKK(株)などファスナ、ボタン、芯地などの衣服副資材メーカー7社と提携して、使用済みの作業服、雨衣、防寒衣などの製品をナイロン原料のカプロラクタムまで解重合する企画を進めている。

なお、これらの中から、主だった具体例として、ウール衣料とPETボトルのリサイクル技術を紹介する。

また、紡績や染色整理排水の処理については、昭和30年代から重大な公害問題として取りあげられてきており、工場排水などの規制に関する法律の施行以来、様々な研究、対策が講じられてきている。特に、染色関係においては、使用する染料や薬剤も多種、多量にわたり、着色や季節的な変動など難しい問題

も多く、その排水処理や処理にともなう発生するスラッジの処理にも多大の労力と経費を要している。現在、染色排水などの処理は活性汚泥、凝集沈澱、加圧浮上などの生物的、化学的および物理的処理の組み合わせにより行われている。中でも、活性汚泥等好気性微生物処理が中心となっているが、最近になって、嫌気性微生物処理や、光合成細菌や酵母など特定生物による処理および自然浄化機能を活かした処理⁸⁾などが試みられている。

以上述べたリサイクルや排水処理などによる環境対応の他に、新しい技術による環境対応としては、繊維素材そのものを環境にやさしい生分解性繊維に置き換えようとする試みがある。特に、ロープや漁網、ネットなど産業資材用繊維は回収も難しく、廃棄後も分解することがないため、海洋および土壤汚染などの環境問題となっている。また、廃棄繊維の絡まりなどによる海洋生物への危害も深刻な事態となっている。そこで使用中は従来の繊維と同程度の機能を保ちながら、使用後は自然界に存在する微生物の働きによって低分子化合物に分解され、最終的には水や二酸化炭素などの無機物に分解される脂肪族ポリエステル系やでん粉系の生分解性繊維の研究⁹⁾が進んでいる。手術用の縫合糸、釣り糸などは実用化されており、衣料用についても広島アジア大会でのTシャツなどの例がある。産業資材用繊維においても愛知県三河繊維技術センターなどで実用化研究¹⁰⁾に着手している。

その他繊維関連の環境保全化技術として育花用シートの開発¹¹⁾や塩素を使わないウールの防縮加工¹²⁾、代替技術として医療分野へのキチン、キトサンの応用技術¹³⁾などが研究され、一部実用化が進められている。

1. リサイクル技術

1.1 ウール衣料のリサイクル技術

国際羊毛事務局（IWS）では、(株)アオキインターナショナルと東亜紡織(株)との3社で、ウールのリサイクルシステムを完成し、1996年11月11日より、「ウール・エコサイクル」プロジェクトとして、メンズプラザ・アオキ全店舗（240店舗）でウール製品の回収¹⁴⁾を始めた。このシステムはスーツ等の回収と加工による産業資材への再利用システムで、その概要¹⁵⁾は図1のとおりである。

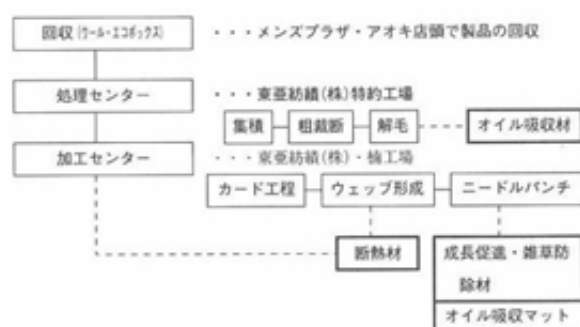


図1 「ウール・エコサイクル」のシステム概要¹⁵⁾

もともとウール繊維のリサイクルは数百年の歴史があり、古着から回収した再生ウールを衣服に再利用するのが中心であった。しかし、再生ウールは繊維に損傷が多く、色つやや発色性、強度などが新しい毛に比べて劣るため、衣服への再利用よりも今後に大きな可能性がある産業資材などの別の分野への活用が考えられている。

このリサイクルは、産業資材分野で高度な加工技術を有する東亜紡織(株)が、IWSイルクレー開発センターが中心となって開発してきたウールの新用途開拓技術をベースに活かしつつ、環境保全に役立つ資源の有効利用として取り組んだものである。

これらの主なりサイクル製品は、大きく3つに分けられる。

① 植物の成長促進・雑草防除シート：ウールで地表を覆うことにより、雑草の防除だけでなく、ウールが本来持っている高い保温性や保水性、そしてウールの生分解時に生成されるアンモニアや硝酸塩、硫酸塩などの植物の栄養素などが相まって、草花・樹木の成長を促進させる。

② 天井・壁断熱材：ウールが持つ熱遮断性により、冷暖房の省エネ化、結露防止効果と消音効果が期待される。

③ オイル吸収材：ウールブームと呼ばれるオイル吸収材は、オイルで汚染された河川、海水から選択的にオイルだけを吸収する。吸収されたオイルはマングルあるいは遠心脱水機で回収可能である。ウールブームのオイル吸収量は大きく低下せず、10回以上の再使用が可能である。またバット状にすることにより、機械工場、自動車修理工場、船舶底などのオイル漏れにも対応できる。

1.2 PETボトルのリサイクル技術

PETボトルは17.2万トン（1995年）使用されたが、今後もさらに需要の拡大が予想されるためいっそう廃棄物処理が問題になり、これに対応して「容器包装リサイクル法」が1995年成立し、1997年4月1日に施行された。PET（ポリエチレンテレフタレート）は、ポリエステル繊維と組成は同じもので、ブロー成型すればペットボトルに、フィルム状に成型すればビデオやコンピュータのテープや各種包装材になり、繊維状に紡糸すればポリエステル繊維となる。再生ポリエステルのルーツは1973年の第一次オイルショックのあと、原油価格の高騰で合成繊維やプラスチックが急騰したため、ポリエステルの重合屑やプラスチックの成型屑などを使って、再生ポリエステル繊維が企業化されたことにある。現在

のPETボトルのリサイクルは、資源の再利用を図るという考え方である。1996年5月17日、官報に公告された12社のペットボトル処理工場の年間処理能力は17,500トンで、廃棄されているペットボトル重量の10%前後にすぎない¹⁶⁾。そして、これらの利用例は、(株)アシックス（ジャケットとベストとして）、(株)オンワード樫山（パーカ）、(株)ワールド（アウト）、グンゼ(株)（リサイクル生地）、帝人(株)（ドレスシャツ）に見られ、他にも東レ(株)や東洋紡績(株)はワーキングウェア、学生服、安全帽子、通学カバンへの再利用を計画している。根来産業(株)はトーマンや倉敷紡績(株)と組んで衣料品化を狙っている。また、ユニチカ(株)は丸紅(株)と合併で再生企業を設立し、卵ケースに利用することを計画している¹⁶⁾。

PETボトルは、PETボトル→廃棄物→回収→選別・分別という過程の後に、図2に示すPETボトル再生処理プロセス¹⁷⁾で処理される。

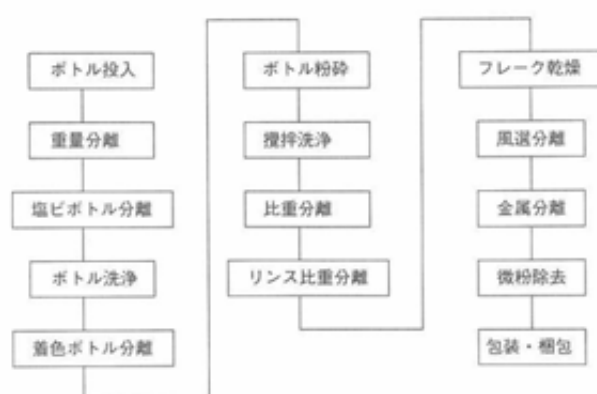


図2 PETボトルの再生処理プロセス¹⁷⁾

最初は回収ボトルを洗浄し、ポリ塩化ビニルなどの異種ボトルとカラーボトルを選別除去する。また、ボトル洗浄工程でラベルを薬剤と摩擦力で剥すプロセスもある。ボトルを粉碎後、アルカリでフレーク洗浄し、比重分離によりボトルのキャップやラベルの素材のポリプロピレン、ポリエチレンなどを除去す

る。風選分離、金属分離及びリンス比重分離で紙ラベル、微粉末、アルミニウム、金属などを除去し、乾燥して再生フレークが得られる。再生フレークをそのまま再溶融して紡糸することは可能であるが、安定した品質及び操業性を得るためには再ペレット化することが必要である。

日本におけるPETボトルのリサイクルポリエステル商品としては、作業服、ドレスシャツ、学生服、オフィスユニホーム、ブラウス、白衣、Tシャツ、トレーナといったもので、各企業、官庁・自治体に販売活動をしている。

2. 排水の処理・再生技術

2. 1 微生物資材による染色排水処理技術

竹信染工(株)（蒲郡市）は、綿、合繊混紡等の糸染企業であるが、微生物資材を用いた排水処理、特にスラッジの発生しないノンスラッジ処理に取り組んでいる。この方法は従来の活性汚泥、凝集沈殿、加圧浮上等の処理方法に比較して時間、人、物（処理薬剤）、処理の安定度、消臭の面で優れ、汚濁物質の分解効率が非常に良いためスラッジがほとんど発生しないなどといわれ、環境汚濁対策として有効な処理方法として期待されている。

使用した微生物資材は乳酸菌群、酵母菌群、発酵糸状菌群、放線菌群、光合成細菌群等の働きが異なる10属80種類以上の菌が活性状態で共存しているといわれ、土壌改良や農産廃棄物処理には実績があるとされている。

活性汚泥法と微生物資材を用いた処理方法では、作用する微生物の種類が異なり、両者の微生物が混在すると、汚泥のバルキングが発生しやすく処理効率が非常に悪くなるため、切り換えの際には処理槽内を清掃する必要がある。

微生物が定着し処理が安定するまでは、排

水量、汚濁濃度等を考慮して、泡切れ、処理槽内の溶存酸素、汚泥の濃度やバルキングの発生状態等常に処理の状態を観察しながら添加する微生物資材の量を調整し、最良の状態を保つことが重要である。

現在の排水処理のフローを図3に、また処理前後の水質を表1に示す。

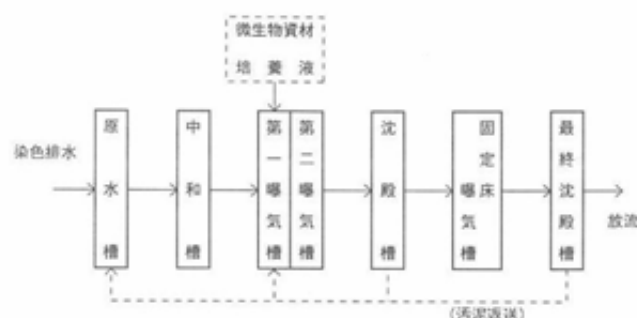


図3 排水処理フロー

表1 処理前後の排水濃度比較

	原 水 槽	最終沈殿槽
水素イオン濃度	6.4～8.8	6.8～7.7
BOD (mg/l)	640	5～12
COD (mg/l)	720	60～75
浮遊物質 (mg/l)	80～150	13～12
n-ヘキサン抽出物質含有量 (mg/l)	20～50	5～10

排水処理を始めて1年余になるが、現在までのところ水質はほぼ所期の目標どおりで運転も安定しており、余剰汚泥の発生はみられない。また、使用している微生物資材はコスト低減のため、現在では自家培養したものを使用している。この方法を採用した当初は染料の一部に除去率の悪いものがみられたが、現在ではかなり改善されている。さらに処理効率を高めるため、処理方法の改善や他の微生物資材との併用等、現在研究中である。

2. 2 微生物資材による工事用シート洗浄水の再生利用技術

石田製網(株) (蒲郡市) は、ロープ、漁網の製造企業であるが、昭和60年頃より建設工事

用シートの洗浄や補修を手がけ、幸田工場をこのための専用工場として操業している。

シートの洗浄工程では、平均で1日当たり80 tの水と洗剤、そしてアルカリ（苛性ソーダ）を使用しており、洗浄排水にはこれらの使用薬剤とシートの汚れが含まれている。以前はこの排水を活性汚泥処理し、その後凝集沈殿処理を行って矢作水系へ放流していた。しかし、矢作川水域の水質汚濁防止指導基準（矢作川沿岸水質保全対策協議会）はBODが10mg/l、CODが10mg/l、浮遊物質が10mg/lなどと非常に厳しく、基準のクリアに多大な労力を必要としていた。また、喝水時の節水対策や発生するスラッジの処理にも苦慮していた。

一昨年、微生物資材を用いた排水処理技術を地元染色企業から導入し、三河繊維技術センターの指導の下で排水再生利用に着手した。処理施設は全て現有の施設を用いることとし、凝集沈殿処理を行っていた反応槽と沈殿槽を第一沈殿槽、第二沈殿槽に変え、発生した汚泥を第一曝気槽及び調整槽に返送するよう変更した。約1か月後、排水中のCODは目標値以下になり水質が安定しスラッジの発生が認められなくなった。このため排水の再利用を考慮して砂ろ過装置を新たに設置し、処理水を砂ろ過して再利用水槽に貯水している。平成8年5月より運転を実施し、現在のところ100%再利用を行っている。したがって、処理は微生物資材のみで、給水は工程中で減少する量を追加するだけである。

現在の洗浄水のフローを図4に、また、その処理結果を表2に示す。

なお、表2の受水槽のCOD値は指導基準より高くなっているが、完全再利用で河川への排水もなく、洗浄効果にも影響ないので問題ないとのことである。

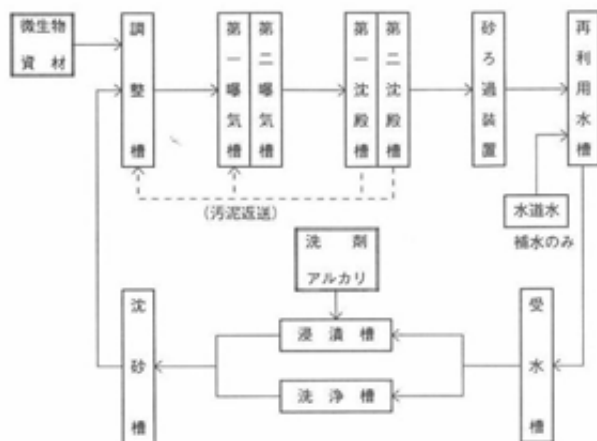


図4 洗浄水のフロー

表2 処理前後の排水比較

	浸漬槽排水	受水槽
水素イオン濃度	12	7~8
BOD (mg/l)	300	10以下
COD (mg/l)	300	30~40
浮遊物質 (mg/l)	80	10
n-ヘキサン抽出物質含有量 (mg/l)	10	5以下

2. 3 繊維接触材による環境用水の浄化技術

ティビーアール(株) (豊川市) は、日本の伝統産業である「組ひも」の技術を漁業、農業用の資材として取り入れ、様々なメリットを持つ漁業用ロープ等付加価値の高い製品を開発している企業である。近年、生活雑排水等による海洋汚染が問題となり、水産資源へも深刻な影響を及ぼすようになってきたため、海洋の水産資源を守るためには、陸域から流入する汚濁負荷を削減することが緊急の課題であると考え、流入する環境用水の浄化を目的とした組ひもロープの研究に取り組み、ひも状接触材「バイオコード」を開発した。

1) バイオコードとは

バイオコードは、複数のループ状繊維を放射線状に特殊加工したひも状の接触材で、水中の微生物を早期に付着させることができる。その立体的な構造から、表面部に好気性微生物、中心部に嫌気性微生物と多種多様な微生物を大量に固定できる。このバランスの良い

食物連鎖によって、高度な処理水質が得られるとともに余剰汚泥が少なくなる。

バイオコードの材質は、ビニリデン、ポリプロピレン、ビニロン繊維の単独または複合体で構成され、その材質の持つ表面積や特徴により、水質に応じて幅広く選択することが可能である。その外径は20mmから450mmまで、また、水中に浮遊するタイプから沈むタイプまでと、目的および条件に応じて幅広く選択することが可能である。

2) バイオコードによる河川浄化の原理

バイオコードを用いた河川の浄化方法は、河川が本来持つ「自浄作用」という浄化現象を基とする生物処理方法である。すなわち、河床の砂礫や水草等の表面に付着生息している微生物膜に流水が接触し、流水中の汚濁物質である有機物等がこれらの微生物の作用によって酸化、分解される現象を利用したものである。

水路内に設置されたバイオコードには水中の微生物が大量に付着し、水中の汚濁物質を効率よく分解してくれる。これらの微生物はワムシやミミズの餌になり、最終的には魚が捕食する。この食物連鎖により余剰汚泥の発生が抑制される。(図5参照)

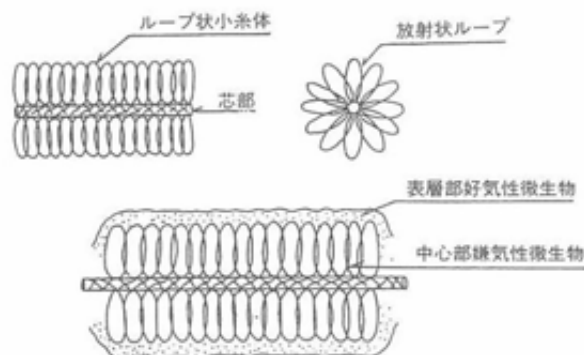


図5 バイオコードの構造

3) バイオコードによる河川浄化方法

河川の浄化方法は、河川水をポンプ等で取

水し浄化装置で処理をして河川に返流する分離方法と、水路内に設置した浄化機能を用いて微生物による自然浄化作用を助長する直接方法に分けられる。バイオコードは、分離・直接のいずれの方法においてもその生物処理の接触材として使用される。

4) バイオコードによる河川浄化の特徴

- 微生物の付着が早い。河川では汚濁負荷の状況にもよるが、2～3日である。
- 水流による微生物膜の剥離が少なく安定した処理効果が期待できる。
- 汚濁負荷の除去量に比べて余剰汚濁の発生量が少ない。
- ひも状であるため、湾曲部に簡単に設置できる。
- 設置工事、維持管理ともに簡単である。
- 水路内に直接設置した場合でも水位変動に対応できる。
- 河川の流下延長100m設置で10～30%のBOD除去率が期待できる。

5) バイオコードによる河川浄化の設置例

① アモタイプ：このタイプは、水深のある中小河川や水位変動のある河川向きに開発したものである。浮力体を入れたバイオコードを鉄筋格子等に一定の間隔で取り付け河床に設置すると、バイオコードが水中で林立し、水中を揺らぐ水草のように水と接触する。上流からのゴミ等が引掛かりにくく、水位変動に対応でき、また、魚巢としての効果もある。

② 平面タイプ：側溝や都市下水路で水深10cm以下の三面張り水路に適しているタイプで、長さ10mのバイオコードを河床に10cm間隔で固定するものである。設置が簡単で建設コストも抑えられるといった特徴を持っている。

③ 架台タイプ：水深、水量のある河川に設置するタイプであり、流れに対して垂直方

向へもバイオコードを10cm間隔で取り付けたものである。流入水位が安定し、ゴミ等の流入の少ないバイパス式水路等で使用される。環境調和型生産システムに関する調査報告書（平成9年3月愛知県商工部発行）からの抜粋

参考文献

- 1) 織研新聞；'96.3.7.付
- 2) 中山；繊維学会誌,45,No.6,p258 ('89)
- 3) 平林ほか；繊維学会誌,45,No.6,p263 ('89)
- 4) 平出ほか；長野県情報試験場研究報告,6,p29 ('90)
- 5) 北野ほか；愛知県尾張繊維技術センター年報,14,p60 ('93)
- 6) 宮本ほか；化繊講演集,'79.10,p1
野沢ほか；大阪府立産業技術総合研究所報告,p101 ('92)
山内；高分子加工,43,No.1('94)など
- 7) 平成8年度物質研研究発表会資料；(財)日本産業技術振興協会発行, p62
- 8) 小林；「光合成細菌で環境保全」、農山漁村文化協会 ('93) など
- 9) 近藤；日本繊維機械学誌,49,10,p484 ('96)
望月；「生分解性ポリマーのはなし」、日刊工業新聞社 ('95)
筏 編；「生分解性高分子」、高分子刊行会 ('94) など
- 10) 西村ほか；三河繊維研究科,247,p13 ('96)
- 11) 岐阜県繊維試験場；加工技術,31,2,p131 ('96)
- 12) 織研新聞；'96.7.16.付け
- 13) 鶴谷；繊維学会誌,52,1,p27 ('96)
- 14) 織研新聞；'96.11.12.付け
- 15) IWS国際羊毛事務局ほか報道用資料；6.10.9.付け
- 16) 戸原；化繊月報,10月,p32 ('96)
- 17) 藤岡；日本繊維機械学会誌,49,10,p504 ('96)