

ワーキンググループ3

「建設リサイクル処理システムの技術検討」

【目次】

1. 混合廃材の分別・選別システム.....	2-3-1
2. 塩ビのリサイクル.....	2-3-4
2.1 塩ビについて	
2.2 塩ビのリサイクル方法	
2.3 主な塩ビ建材のマテリアル・リサイクル	
2.4 主な塩ビのケミカルリサイクル	
2.5 塩ビ製品を含む建設系混合廃プラスチックのサーマルリサイクル	
3. FRPのリサイクル.....	2-3-19
3.1 FRPの構造	
3.2 FRPの現状	
3.3 都市整備公団におけるFRPの使用量	
3.4 事業化例-セメント原料化	
3.5 実用化を計画している処理方法	
4. ウレタンのリサイクル.....	2-3-23
4.1 ウレタンについて	
4.2 ポリウレタンの生産量と用途	
4.3 ポリウレタンのリサイクル法	
4.4 建築廃材ポリウレタンのリサイクル	
5. 処理システムのまとめと環境面から見た課題.....	2-3-30
5.1 処理システムのまとめ	
5.2 環境面から見た課題	

1. 混合廃材の分別・選別システム

建設工事現場から排出する建設廃棄物については、建設リサイクル法では以下の事項に留意し、再資源化、減量化等に努力しなければならない¹⁾。

- (1) 再資源化施設を活用すること。特に指定副産物であるコンクリート塊、アスコン塊および建設発生木材。
- (2) 再資源化困難な廃棄物は脱水、乾燥、焼却等を行う。
- (3) 現場での分別解体ができない混合廃棄物は選別処理により再資源化を図る。

中でも、建設発生木材や建設混合廃棄物、さらに廃プラスチックは高度な分別、選別技術が開発され、事業化されている。

建設発生木材は破碎してチップ化し、チップ、炭化材料、建材用ボード、圧縮混合燃料などとして使用される。しかし、チップ価格などの変動が激しく、安定した需要バランスが確保しにくいといった問題がある。

建設混合廃棄物、具体的には廃木材、紙くず、廃プラスチック、コンクリート塊、金属などが混合した廃棄物で、主に建築物の解体工事で発生し、さまざまな材質、形で雑多に混合されており手間をかけて選別しなければ資源化できない。たとえば鹿島建設では図 3.1.1 に示す建設混合廃棄物の資源化フローを提案している²⁾。

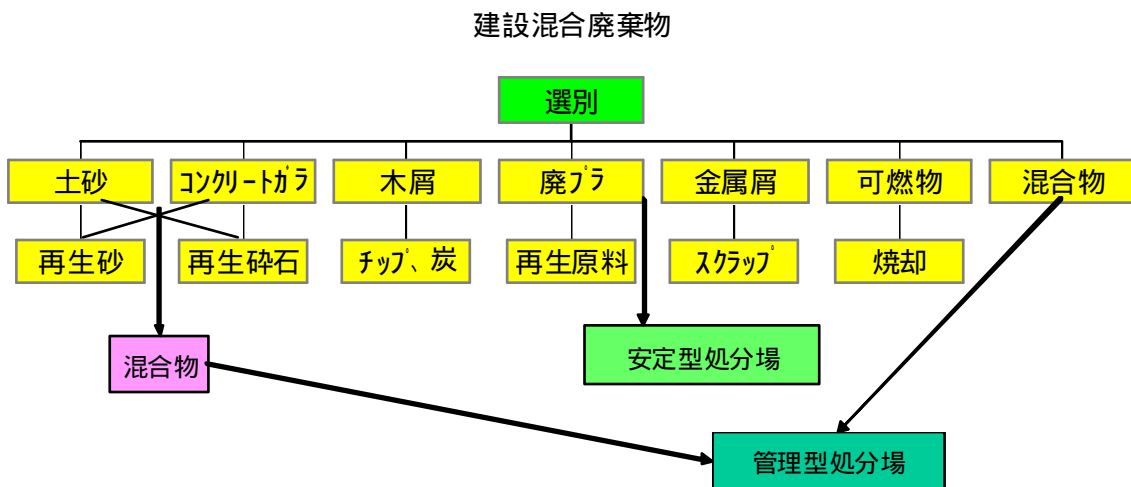


図 3.1.1：建設混合廃棄物の資源化フロー

一般に、建設混合廃棄物の資源化には、振動ふるい、トロンメル、その他スクリーンなど選別工程を多段で組み、さらに粗いコンクリートなどを破碎しながら、土砂、コンクリート、木、プラスチック、金属などを分離するフローとなっている。

関東では選別を主体とした建設混合廃棄物の再資源化施設が整備され、30ヶ所以上が建設リサイクルを積極的に進めており、東京エコタウン事業などもスタートしている。部会で見学を実施した川崎市にあるタケエイリサイクルセンターでは図 3.1.2 に示すように高度精選別システムにより分離選別された廃棄物は各所での資源原料として有効利用されている³⁾。



図 3.1.2 . 高度精選別システム

選別は主に 4 段階に分かれている。図 3.1.3 に概観写真を示す。

(1) 粗選別

ダンプアップ後、主に再資源物、大物廃棄物、及び機械選別に適さない廃棄物を人と重機で選別する。後工程での選別を効率良く行なう為には、この粗選別は非常に重要な選別作業になる。

(2) ライン選別

粗選別後、中物廃棄物は重機によりベルトコンベアに運ばれ、そこで熟練した作業員によりさらに手選別される。品目毎に分別された廃棄物は再生品の原料として再生業者に搬出される。

(3) 機械選別

粗選別、ライン選別を経た後の廃棄物は性状が細かいため、従来通りの人手に頼る選別では「さらに精度の高い分別」は時間的にも、コスト的にも難しい。タケエイでは、従来の風力、振動篩（フルイ）等の機械選別設備をさらに高度化し、これまで選別できなかった細かな廃棄物の選別を実現し、リサイクル率の向上とさらなる最終処分量の低減が可能。日々の廃棄物の性状は、搬入量や搬入品目、天候により左右される為、常にプラントを監

視し最適な設定により、効率的稼動を行なっている。

(4) 機械処理

粗選別、ライン選別、及び機械選別によって品目毎に分別された廃棄物は、次工程の機械処理により破碎、圧縮、梱包などが行なわれた後に再生業者等へ搬出される。木くず、及びコンクリートガラ等の加工設備を備え、リサイクル素材の製品化を図っている



振動篩（フルイ）選別設備



風力、振動篩（フルイ）選別設備



砕石化設備



チップ化設備



木くずチップ保管ヤード



圧縮梱包機

図 3.1.3 . 高度精選別ラインの概観

(参考文献)

- 1) 建設副産物適正処理推進要綱の解説、建設省監修、大成出版社
- 2) ゼロエミッション型産業をめざして、p220、シーエムシー出版
- 3) タケエイ社ホームページ

2. 塩ビのリサイクル

本節では建設現場から排出される塩化ビニル樹脂（塩ビ）製品のリサイクル方法とその実態について報告する。最初に「塩ビの特性」「生産量と用途」「主な塩ビ建材」について述べ、その後にはリサイクルの方法と実態について報告する。

2.1 塩ビについて

2.1.1 塩ビの特性等について

汎用プラスチックである塩ビは、非結晶性の構造で極性を持つ塩素原子を構成元素に持つという特徴があり、難燃性、耐久性、耐油・耐薬品性に優れている。また、加工性、経済性にも優れていることから多くの製品に利用されている。また、他のプラスチックが100%石油に依存するのに対し、塩ビは塩（60%）と石油（40%）が原料であり、省資源性の素材でもある。さらにリサイクルが容易で、一部の製品ではリサイクルシステムも構築されている。しかし、焼却時の燃焼条件によってはダイオキシン発生要因にもなっているとわれ、1997年頃から生産量が一時減少した。この頃から全生産量に占める容器包装への利用割合が減少しているが、建材への利用割合は上記の利点を活かし毎年増加している。

2.1.2 国内における塩ビの生産量と用途

塩ビ工業・環境協会の統計データを基に、塩ビの生産量やその使用比率等について述べる。塩ビは2005年には約212万トン生産され¹⁾、そのうちの約66%が国内で使用されている。国内での使用については、図3.2.1に産業部門別の使用比率と、図3.2.2に製品別の使用比率（塩ビ工業・環境協会提供資料、2003年度のデータ）を示すが、土木・建築部門で67%使用され、その中でもパイプ・継手に38%が使用されている。

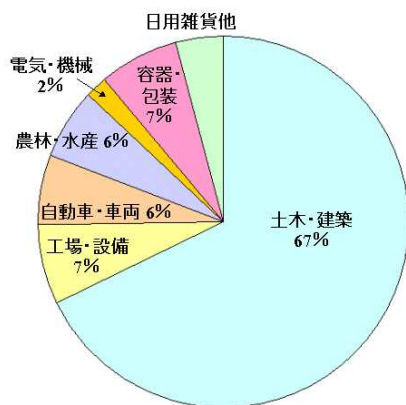


図 3.2.1 塩ビ樹脂の産業部門使用比率¹⁾

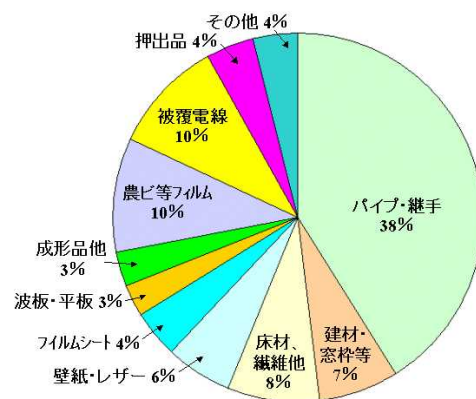


図 3.2.2 塩ビ樹脂の製品別比率

2.1.3 主な塩ビ建材について

図3.2.2から、以下のものが塩ビ建材の多くを占めることがわかる。

(1) 塩ビ管・継手

塩化ビニル管・継手協会のデータ²⁾によると、2005年度の生産量は塩ビ管が約45万トン、継手が約4万トンである。

(2) 窓枠（塩ビサッシ）

高い断熱効果を持つ塩ビサッシは欧米各国で普及してきたが、日本でも 1980 年頃から販売が開始され、北海道や東北などの寒冷地を中心に普及・拡大している。

(3) 床 (タイルカーペット)

塩ビ系床材は、塩ビだけでできたものと、塩ビと他の素材を複合したものがある。塩ビ系床材は、これまで農ビなどの再生塩ビが原料として使用されることが多く、塩ビリサイクルの重要な受け皿でもある。

(4) 壁紙

耐久性や加工性に優れ、燃えにくくデザインもし易いなど多くの長所を持つ塩ビ壁紙は、約 30 年から国内で使用され始め、現在では年間に 20 万トンが使用されていると言われている。

(5) 電線被覆材

塩ビ被覆材は絶縁性や耐久性にも優れていることから、昭和 20 年代半ばに使用が開始されてから急速に普及し、現在では被覆材全体の 60% を占めるといわれている。

2.2 塩ビのリサイクル方法

塩ビなど使用済みプラスチックのリサイクル方法を、図 3.2.3³⁾ に示す。

(1) マテリアル・リサイクル (MR)

ペレット加工等により、再度製品として利用するリサイクル

(2) フィードストック・リサイクル (ケミカル・リサイクル) (FR)

化学的な方法により、化学品や製品原料として利用するリサイクル

(3) サーマル・リサイクル (TR)

燃焼することにより、熱エネルギー源として利用するリサイクル

本報では使用済み塩ビ製品のマテリアル・リサイクルについて報告する。

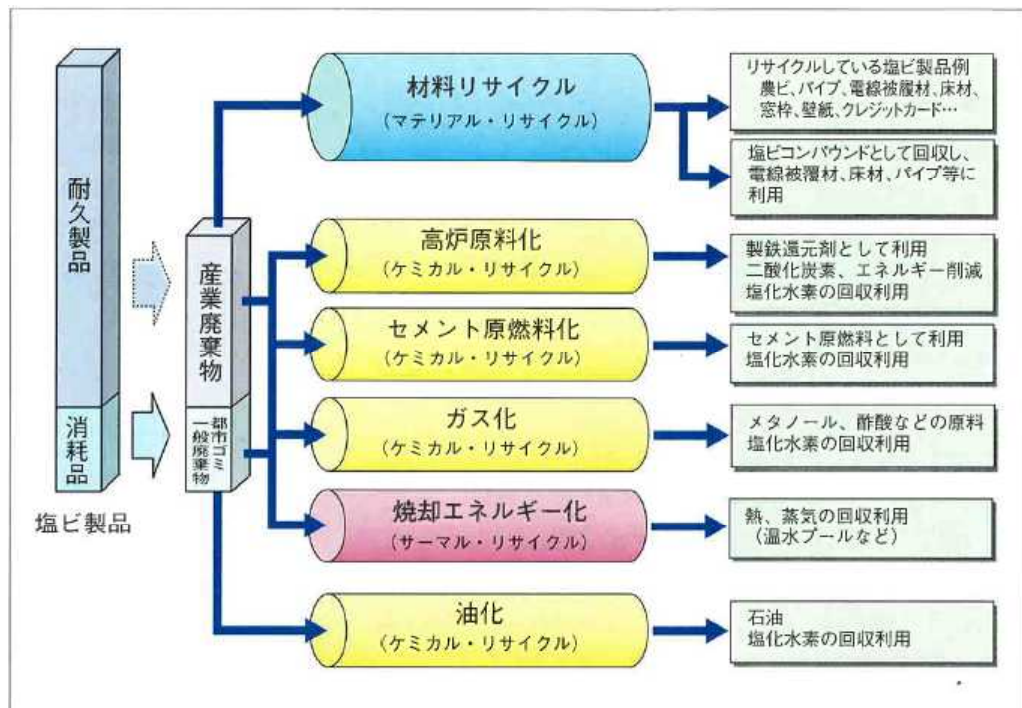


図 3.2.3 使用済み塩ビ製品のリサイクル方法³⁾

2.3 主な塩ビ建材のマテリアル・リサイクル

現在、塩ビ建材の中で「塩ビ管・継手」「タイルカーペット」「電線被覆材」などが実際にマテリアル・リサイクルされ、一部の製品ではその研究が行われているので、それらの製品のマテリアル・リサイクルの実態について報告する。

2.3.1 塩ビ管・継手

1998年12月に塩化ビニル管・継手協会が中心となり、全国に10カ所のリサイクル拠点を整備して、塩ビ管・継手の受け入れを開始してから、使用済み塩ビ管・継手のマテリアル・リサイクルが本格的にスタートした。2003年からは汚れ落としや異物除去などの前処理が行われていなくても受け入れられるように、中間処理拠点を新設してリサイクル率の向上を図っている。図3.2.4⁴⁾に使用済み塩ビ管・継手リサイクルシステムの概要を示す。

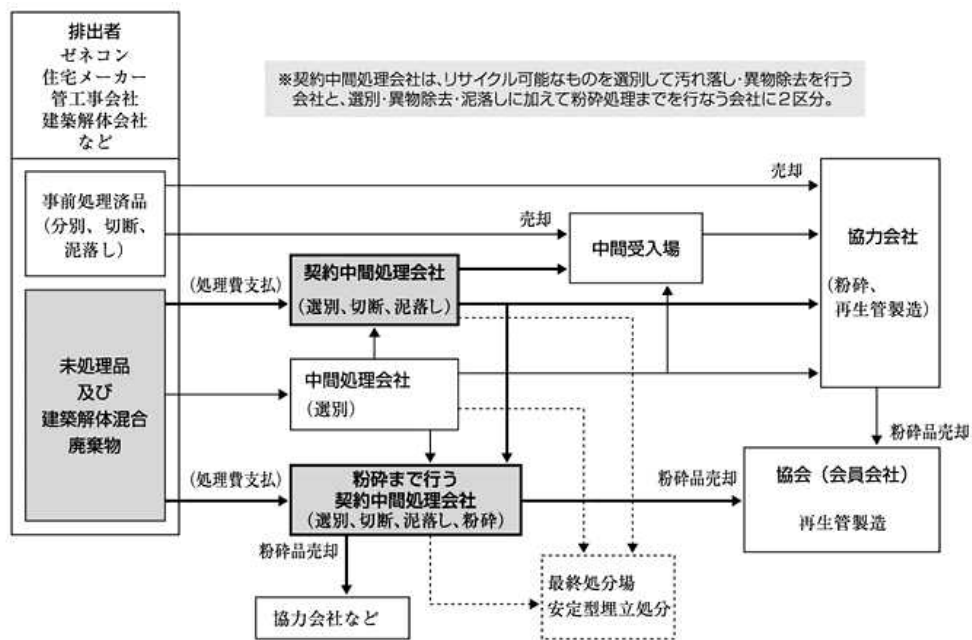


図3.2.4 使用済み塩ビ管・継手リサイクルシステムの概要⁴⁾

2005年度の実績は、塩化ビニル管・継手協会の公表では、マテリアル・リサイクル率は60%（排出量：35,500トン、リサイクル量：21,462トン）となっている。

塩ビ管・継手のマテリアル・リサイクルは、再度、塩ビ管・継手の製造に戻すことを基本としており、受け入れ後、選別・泥落としなどの前処理を行った後、粉砕し更にペレット加工や微粉砕加工で原料化し、その原料を溶融して押出機で管・継手を製造するというものである。

現在、マテリアル・リサイクルが可能なものは、「硬質塩ビ管」「硬質塩継手」「マンホール」などで、「金属付き硬質塩ビ管」「軟質塩ビ管」「雨樋」「波板」などは、マテリアル・リサイクルが困難なために受け入れ不可となっている。

なお、2005年3月には下記の再生管2品種の環境JISが制定された。

リサイクル硬質ポリ塩化ビニル三層管（JIS K9797）

リサイクル硬質ポリ塩化ビニル発泡三層管（JIS K9798）

2.3.2 窓枠

30年を超える寿命があると言われている塩ビサッシは、日本での使用が1980年頃開始されたということもあり、その排出量はごく少量である。しかし、今後は家屋の解体等からの排出が増加すると予測されている。今後の排出量の予測は、塩化ビニル環境対策協議会が発行しているPVCnews⁵⁾(2002年12月)によると、図3.2.5に示すように、今後急増すると予測されている。

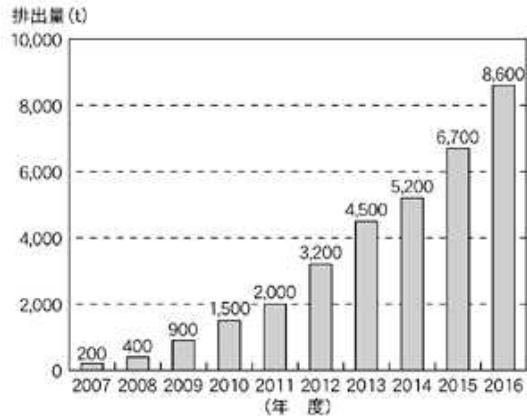


図 3.2.5 塩ビサッシの排出量予測

このように排出量が増加することが予測されていることに加え、塩ビサッシは産業構造審議会の「業種別廃棄物処理・リサイクルガイドライン」において、塩ビ管・継手などとともに対象業種に指定されており、「効率的にリサイクルするための研究開発の推進及びリサイクルシステムの構築のための回収に係わる具体的手法等について検討を行う」とされていることから、2002年頃からリサイクルシステム構築についての検討などが行われてきた。2002年8月から2003年3月にかけて行われた、塩化ビニル製サッシリサイクルシステム調査委員会による「塩化ビニル製サッシリサイクルシステム調査」⁶⁾では、下記事項に関する調査研究が行われた。

- (1) 北海道道内において、建築廃材から回収された塩ビサッシをリサイクル可能な品質の原材料化までのリサイクルの流れを検討する。
- (2) 回収原料を利用し、新規塩ビサッシを量産レベルで成形し、品質・性能を評価する。

この調査・研究では、回収した塩ビサッシを一次中間処理(モルタル等を除去)、二次中間処理(付属部品、アルミ、鉄等を除去)した後、粉碎処理などで原料化するテストと、二層押し出し技術(成形品のコア部に再生原料を使用し、外層にバージン原料を使う成形技術)を用いての成形テスト等が行われた。図3.2.6⁷⁾に検討された塩ビサッシ回収・リサイクルモデルを示す。

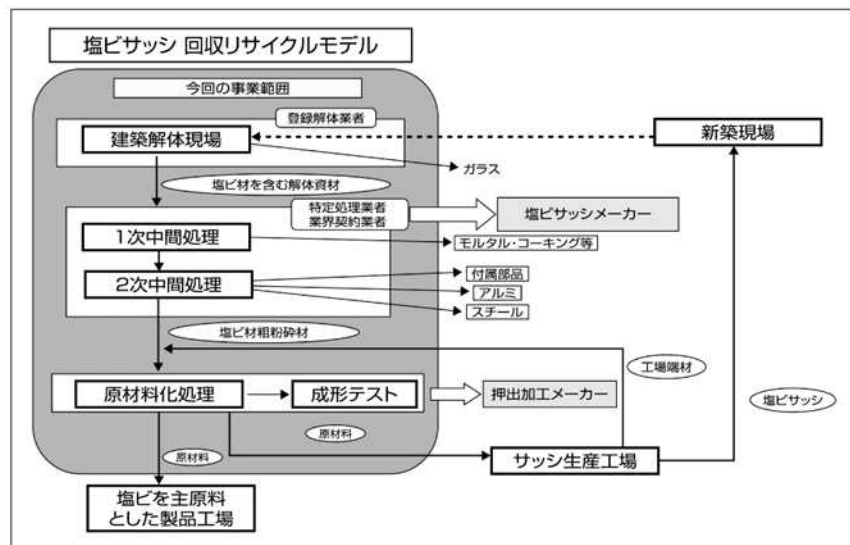


図 3.2.6 塩ビサッシ回収リサイクルモデル⁶⁾

この調査・研究では、「サッシ to サッシ」実現が可能であることが確認されている。

また、プラスチックサッシ工業会の技術委員会と、(社)日本サッシ協会の環境問題対策委員会の合同環境ワーキンググループが、リサイクルされた塩ビサッシの物性をテストした結果、成形には問題がなく、かつ、得られた成形品の物性についても JIS 規格に比して十分な性能が得られたことを確認したと報告⁸⁾されている。

2.3.3 床(タイルカーペット)

タイルカーペットは、表面の繊維層に塩ビの裏打ち層(バック層)を貼り合わせた複合・多層構造であることや、塩ビの使用割合が小さいこと、また、そのまま破碎すると糸が絡むなどの問題がありリサイクルが難しいといわれている。これらの問題を解決してタイルカーペットの MATERIAL・リサイクルを行っている、リファインバース(株)と東リ(株)の事例を紹介する。

上記の他に、インテリアフロア工業会を構成する塩ビ床材メーカー 8 社が、新築現場から排出される、端材・余材のリサイクルを 2003 年から全国 8 地域で行っている⁹⁾。

(1) リファインバース(株)のリサイクル¹⁰⁾

リファインバース(株)は「切削加工」と呼ばれる、微細な刃がついた円筒体を回転させて、繊維層から塩ビバック層を分離すると同時に、0.5mm サイズの粉末(再生塩ビコンパウンド)に加工する技術により、再生原料にリサイクルしている。図 3.2.6 にリファインバース(株)のリサイクル処理フローを示す。

製造されたコンパウンドは、再びタイルカーペットのバック層材に利用されている。なお、切削加工前後で、以下の処理が行われている。

- (1) 除塵装置により、タイルカーペットの裏面に付着した接着剤の残りや、表面に付着したホッチキスなどの金属や塵・埃などを除去(前処理)
- (2) 振動分級装置により切削粉を 3 種類に分級し、混入した繊維玉などを除去
- (3) 磁力選別機により最後まで残った金属を除去

リファインバース(株)では、千葉県八千代市の工場が本格稼働を迎えており、1日の処理能力は 50 トン(年間約 18,000 トン)である。2007 年度以降は、関西、東海地区にもプラントを立ち上げるための検討が行われている。

(2) 東リ(株)のリサイクル^{11) 12) 13)}

東リ(株)は、処理し難い複合材を非分別・一体処理でまるごと有効利用するシステム「TTR システム(東リ・タイルカーペット・リサイクルシステム)」により、リサイクルを行っている。TTR システムは、タイルカーペット表面の繊維層とポリエステルなどの基布層、塩ビバック層などを分別することなく、全てを一緒に破碎・チップ化して、再度タイルカーペットのバック層材に利用するもので、破碎してから素材別に分離する方法とは異なり、製品をまるごとリサイクルすることが特徴である。

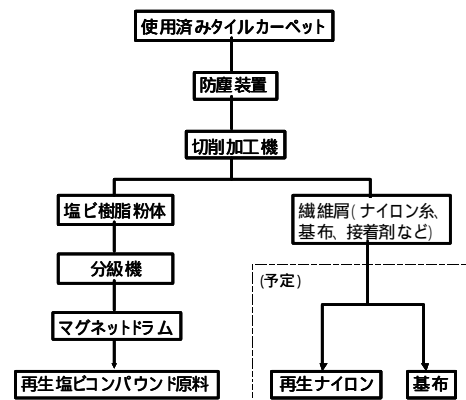


図 3.2.6 リファインバース(株)のタイルカーペットの切削処理フロー

東リ(株)では 1999 年にこの技術の開発に成功し、2001 年から滋賀東リカーペットで本格生産を開始している。

2.3.4 壁紙

これまで使用済み塩ビ壁紙の排出量は少なかったことから、リサイクルはほとんど行われてこなかった。しかし、今後は排出量の増加が予測されることや、最終処分場の逼迫などの問題もあることから、実証実験やリサイクルプラントの立上げなどが行われている。

以下に、壁紙の MATERIAL・リサイクルも可能な、(株)コベルコ・ビニループ・イーストの塩ビ再生技術 Vinylloop®プロセス、および、セメントと混ぜてブロックを製造するリサイクルについて報告する。

(1) (株)コベルコ・ビニループ・イーストの塩ビ再生技術 Vinylloop®プロセス^{14) 15)}

神戸製鋼所のグループ会社である、(株)コベルコ・ビニループ・イーストは、ベルギーのソルベイ社が開発した「塩ビ再生技術 Vinylloop®プロセス(以下、ビニループ・プロセス)」を用いて、塩ビの MATERIAL・リサイクル事業の準備を進めている。ビニループ・プロセスは、壁紙のみでなく、電線被覆材、農ビ、塩ビ管など、様々な使用済み塩ビ製品の MATERIAL・リサイクルが可能なシステムであるが、現在は千葉工場で、使用済み農ビと電線被覆材、および塩ビ壁紙の工場端材の3品目をリサイクルするための性能確認試験が行われているとの情報があることから、本壁紙の項で紹介することにした。電線被覆材については次項で報告する。図 3.2.7 にビニループ・プロセスの概要を示す。

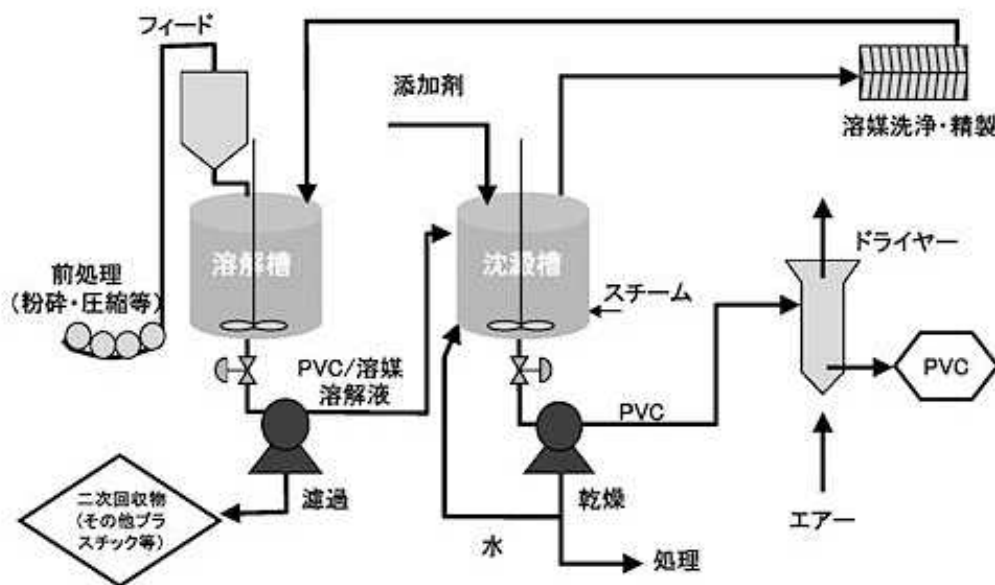


図 3.2.7 ビニループ・プロセスの概要¹⁴⁾

ビニループ・プロセスの MATERIAL・リサイクル工程は主として下記の 4 工程からなっている。

(a) 溶解工程

使用済み品を前処理(切断、洗浄など)した後、溶解槽に投入して溶剤に塩ビ成分を溶かしこむ。農ビの場合、所要時間は約 100 で 20~30 分。次に塩ビ成分を溶かしこんだ溶液を濾過機に通す。

(b)分離工程

濾過機を通すことで、塩ビ成分と溶剤に溶けなかった他の成分（ポリオレフィン泥、砂など）が分離する。溶剤に溶けた塩ビは沈殿槽に送る。

(c)沈殿工程

溶剤から塩ビ成分を分離する。沈殿槽の底から水蒸気を吹き込んで攪拌し、水蒸気の熱で溶剤を蒸発させると塩ビの成分が水の中に顆粒状に沈殿する。

(d)乾燥工程

最後に、遠心脱水機で水分を飛ばした後、ドライヤー（流動床乾燥炉）に投入し、熱風で所定の水分含有量まで乾燥する。

このビニループ・プロセスの利点として、以下が紹介されている。

あらゆるタイプの使用済み塩ビ製品の処理に有効

純度 100%に近い新しい形の塩ビコンパウンドとして再生

再生された塩ビはバージン材に匹敵

電線 to 電線など、元の用途へのマテリアル・リサイクルが可能

塩ビから分離された 2 次回収物（ポリエチレンなど）も別途リサイクルが可能

（２）塩ビブロックへのリサイクル¹⁶⁾

ヒートアイランド対策のための屋上緑化に、塩ビ壁紙の普及が進んでいる。日本ビニル工業会のビニル建装部会と塩ビ壁紙メーカーのトキワ工業株が共同で開発した塩ビ壁紙リサイクルブロック（商品名：パイン・ブロック）は使用済みの塩ビ壁紙とセメントを混ぜ合わせて固めたもので、軽量で施工が簡単という特性を活かし、屋上の緑化用部材として利用が広がっているとのことである。

2.3.5 被覆電線（電線被覆材）

被覆電線のリサイクル方法は、導線径が概ね 10mm を超えるものを対象とする剥離解体と、10mm 以下を対象とする粉碎（ナゲット）処理がある。剥離解体は一本ずつ解体機に通して、被覆部分と銅線に解体する方法、ナゲット処理は電線を切断・粉碎した後、比重選別により被覆材と銅線を分離する方法である。

塩ビ被覆材はメーカーによって原料（難燃剤や可塑剤など）の配合割合が異なるため、これをそのまま混合して、被覆材に戻すことは難しいが、一部は電線の外皮に再利用するなどの研究が行なわれているようである。これまでに、杭、床材、シート（自動車内装材）、路盤材、マンホールの蓋の緩衝材などの製品が開発されており、住電資材加工株では、ナゲット処理で分離された塩ビとポリエチレンの混合物を用いて、通信会社がケーブル敷設の際に用いる枕木を製造している。図 3.2.8 に住電資材加工株におけるリサイクル工程の概要を示す¹⁷⁾。

日立電線株では、2001 年にリサイクルネットワークを構築して、建設現場などから使用済み電線を集めて、リサイクルを行っている。被覆材についても 90%以上のリサイクルを達成しているとの情報がある¹⁸⁾。

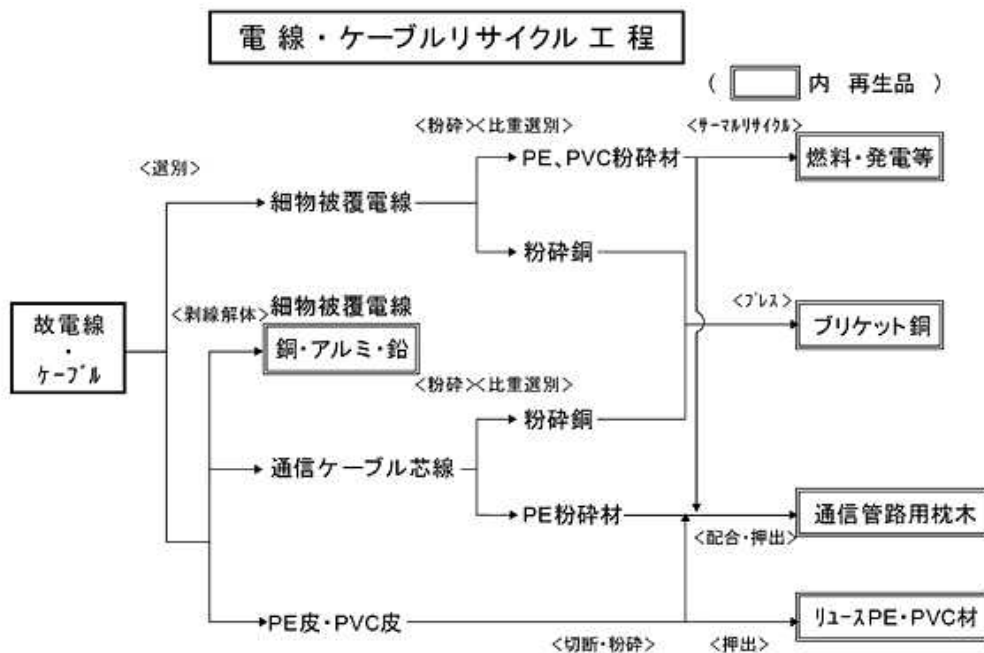


図 3.2.8 住電資材加工(株)における電線・ケーブルのリサイクル工程概要¹⁷⁾

(参考文献)

- 1) 塩ビ工業・環境協会ホームページ
塩ビの生産出荷データ <http://www.vec.gr.jp/enbi/seisan.htm>
- 2) 塩化ビニル管・継手協会ホームページ
生産・出荷実績表(平成17年度) http://www.ppfa.gr.jp/04/index_a17.html
- 3) 塩ビ工業・環境協会パンフレット「塩ビとリサイクル」(2005年・春)
- 4) 塩化ビニル環境対策協議会 PVCnews 使用済み塩ビ管・継手リサイクルシステムの概要
http://www.pvc.or.jp/news_ind/54-03.html
- 5) 塩化ビニル環境対策協議会 PVCnews 塩ビサッシの排出予測
http://www.pvc.or.jp/news_ind/43-01t.html
- 6) 塩化ビニル環境対策協議会 PVCnews 基礎調査で技術的可能性を確認 新たな調査事業がスタート http://www.pvc.or.jp/news_ind/43-01t.html
- 7) 塩化ビニル環境対策協議会 PVCnews 塩ビサッシ回収リサイクルモデル
http://www.pvc.or.jp/news_ind/43-01t.html
- 8) 塩ビ工業・環境協会 PVC Fact Book <http://www.vec.gr.jp/fact/chapter3/3-3.html>
- 9) インテリアフロア工業会ホームページ <http://www.ifa-yukazai.com/recycle.html>
- 10) 塩化ビニル環境対策協議会 PVCnews http://www.pvc.or.jp/news_ind/57-03.html
- 11) 塩化ビニル環境対策協議会 PVCnews http://www.pvc.or.jp/news_ind/42-03.html
- 12) 東リ(株)ホームページ http://www.toli.co.jp/ecospirit/ecosystem_cpt.html
- 13) 東リ(株)ニュースリリース http://www.toli.co.jp/newsrelease/release19991215_1.html

- 14) ㈱コベルコ・ビニループ・イースト ホームページ
<http://www.kobelco-eco.co.jp/KVE/seihin.htm>
- 15) 塩化ビニル環境対策協議会 PVCnews http://www.pvc.or.jp/news_ind/58_04.html
- 16) 塩化ビニル環境対策協議会 PVCnews http://www.pvc.or.jp/news_ind/47_01_t.html
- 17) 塩化ビニル環境対策協議会 PVCnews http://www.pvc.or.jp/news_ind/55_03.html
- 18) 塩化ビニル環境対策協議会 PVCnews http://www.pvc.or.jp/news_ind/41_06.html

2.4 主な塩ビのケミカルリサイクル

2.4.1 はじめに

PVC を加熱すると塩化水素が容易に発生して装置の腐蝕を促進させると同時に、いったん発生した塩化水素が再度生成物中に取り込まれて有機塩素化合物を生成して製品の品質を低下させるため、PVC は廃プラスチックのケミカルリサイクルを進める上で大きな障壁の一つとなっている。

PVC は図 1 に示す様に直鎖のパラフィンに塩素が置換された構造を有しており、200～300 に加熱される不安定な 3 級塩素が脱離してポリマーの分解が開始され、続いてジッパー反応によって塩化水素が連続して脱離してポリエン鎖が生成する。ポリエン鎖は不安定なために近くのポリエンと架橋するか、あるいは環化してベンゼン等の芳香族化合物が生成される^{i,ii}。375～520 ではポリエンの重縮合反応はさらに進みナフタレン等の多環芳香族化合物が生成するⁱⁱⁱ。

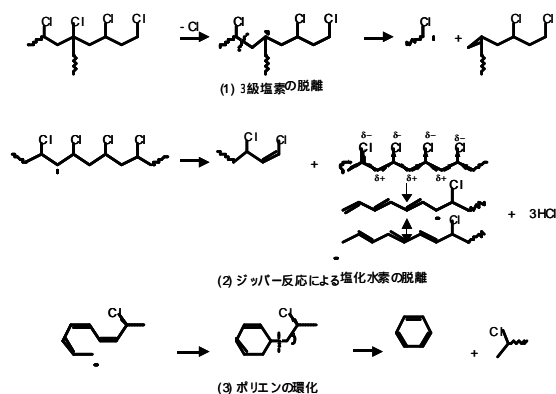


図 2.4.1 PVC の脱塩素・分解機構

2.4.2 高炉還元としての利用

高炉へ還元剤として直接 PVC を投入した場合、PVC の分解によって塩化水素が発生するが、炉内温度が 1000 以上の高温で、廃プラスチックの投入量が鉄鋼石や石炭等に比べて相対的に少なく、しかもスラグ成分調整剤として大量に石灰等が共存しているため、高炉自身が PVC からの塩化水素によって直接腐食される可能性は低い。しかし蒸気からのエネルギー回収施設等での腐食が懸念されるため、現状では PVC の混入は厳しく制限されている。PVC を含む廃プラスチックを脱塩素化して高炉還元剤として利用するため、外部加熱式ロータリーキルン法が検討された。ロータリーキルンを用いた場合、PVC 含有率が 50%以上の固体試料でも処理ができ、塩ビ配管、農業用ビニル、壁紙等に対し、処理温度 325、滞在時間 30 分で 95%以上の脱塩素化が可能である。1998 年に 1000t/y 規模の実証試験が行われた。PVC を 50%以上含む廃プラスチックを脱塩素化した場合、処理後の試料は固体状態なのでスクリーフィーダー等で扱うことは困難である。一方、PVC 濃度が 20%以下の場合、プラスチックは可塑化されるが、コークス粉等を添加することでロータリーキルン内器壁への付着を回避した。各種の廃プラスチック (PVC 数%～100%) や、金属・土砂等が混入した試料の脱塩素化処理を行い(表 1)^{iv}、その結果に基づいて 2000 年に 5000t/y 規模のプラ

ントが建設され、2004年からJFEスチールで事業化されている(図2)⁵。

高炉還元法は廃プラスチックを製鉄用還元剤として高炉に直接投入するため、廃プラスチック中に含まれるハロゲンや重金属等の品質管理が必要で、また炉内のガス流量が増加するために運転が不安定になる可能性があり、容器包装リサイクル法で回収された廃プラスチックの処理量はここ数年間は頭打ちである。

表 2.4.1 各種 PVC 材をロータリーキルンで脱塩素処理した場合の脱塩素率(345~360℃、7.5分)

試験材	PVC濃度	塩素濃度	脱塩素率
単位(%)			
1 板材	90.6	51.4	92
2 シート材	72.2	41.0	76
3 配管材	97.3	55.2	88
4 工業用ペレット	88.6	50.3	84
5 PEとの複合材	70.5	40.0	99

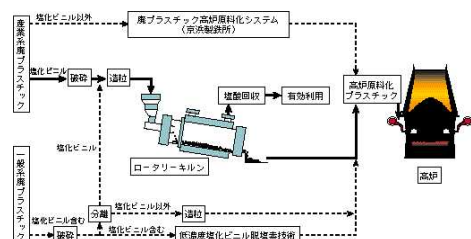


図 2.4.4 塩化ビニル高炉原料化リサイクルフロー

2.4.3 油化・熱分解

PVCが混入した廃プラスチックの油化では、生成油中の残留塩素濃度を低減化させるためにスクリーフィーダー等による脱塩化水素前処理装置が用いられている。剪断作用を利用して効率的に粘度の高いプラスチックを可塑化でき、発生した塩化水素を速やかに除去できるスクリーフィーダーは、5~20%のPVCを含むポリエチレン(PE)に対し、280~340分以内で99%以上の高い脱塩素化率を示し、大型の廃プラスチック油化プラントに採用された。特に2軸スクリーフィーダーを用いた場合^{vi}、剪断発熱による効率的な可塑化、表面更新による効率的な脱揮除去、セルフクリーニングによるコーキングの防止等が期待

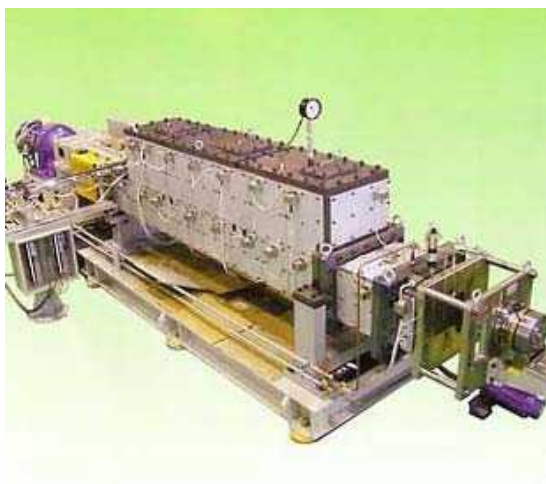


図 2.4.5 スクリュー型脱塩素処理装置

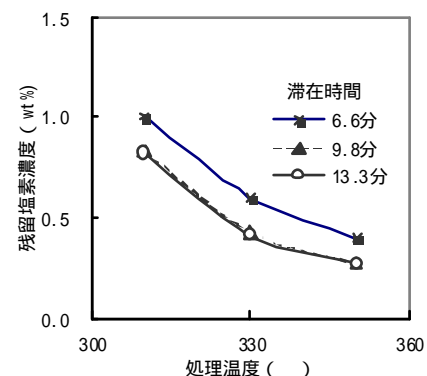


図 2.4.6 残留塩素濃度と処理条件との関係

できる。容器包装リサイクル法で回収したプラスチックを330℃以上で処理すると、滞在時間10分以上で生成物中の残留塩素濃度0.5wt%以下まで除去することができ(図3、図4)^{vii}、そのまま固体燃料として利用することも可能である。

年間 5000 トン以上を処理できる大型装置を用いた油化プラントは、1997 年末に新潟で試験運転されたのを始まりとして、次いで札幌、三笠に建設されたが、2006 年度において容器包装リサイクル法で回収された廃プラスチックを大型装置で油化しているのは、札幌プラスチックリサイクル社のみである。PVC を含む廃プラスチックは、前処理工程で破袋・造粒された後にスクリーフィーダで脱塩化水素され、シリコンボールを入れたロータリーキルン型熱分解反応装置で油化される（図 5）。当初、廃プラスチックに混入したペットボトルが分解した際に生じたテレフタル酸による閉塞・腐食が頻発したが、原料に石灰を添加することによって解決し、同時に生成油中の残留塩素濃度が大きく改善された。

油化生成物中の残留塩素濃度をさらに低減化させるため、アルミニウム - 亜鉛ⁱⁱⁱ、赤泥^x、鉄^x等多くの触媒が検討されてきた。酸化鉄は形態に因らず、PVC の熱分解において炭素鎖に対する分解活性を殆ど示さないが、 $FeOOH$ （ゲーサイト）、 Fe_3O_4 （マグネタイト）および $FeOOH$ から調整した Fe_3O_4 と多孔質炭素との複合材は優れた脱塩素活性と塩素吸着材としての機能を示した^{xi}。

2.4.4PVC を含む廃プラスチックのガス化

容器包装リサイクル法で回収された PVC を含む廃プラスチックのガス化は、宇部興産と荏原製作所との共同出資会社（EUP）によって 2001 年から開始された。当初、再商品化能力は 30 t/日（年間約 1 万 t）であったが、2002 年に設備を増設して現在は約 100 t/日（年間約 3 万 t）の能力を有している。EUP で採用された加圧二段ガス式システムは、宇部興産の得意とする石炭ガス化法の一つであるテキサコ法と荏原製作所の流動床炉の技術を組み合わせたもので、家庭から排出されるあらゆるプラスチック類を材質別に分類することなく処理できる点が大きな特徴である。昭和電工は 2003 年に EUP から技術導入し、川崎に処理能力 195 t/日（97.5 t/日×2 系列、年間約 6 万 4,000 t）の国内最大規模の廃プラスチックのガス化処理プラントを建設し運転を開始した。

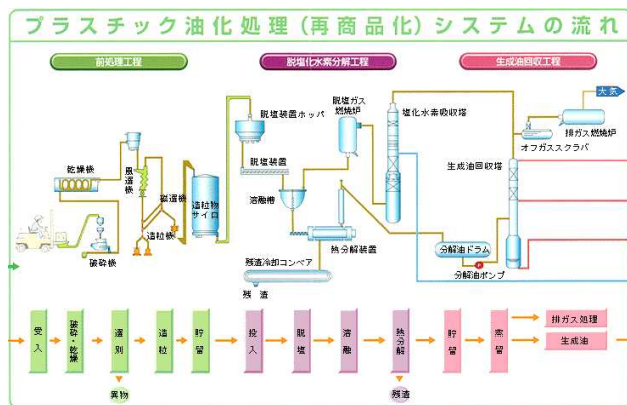


図 2.4.5 札幌油化プラントの概要

本プロセスで廃プラスチックは、金属等を除去するために細かく破碎され、スクリー成形機でいったん直径 25 mm、長さ 50 ~ 100 mm 程度の筒状の RPF に転換された後、ガス化プロセスに搬送される。ガス化プロセスでは、600 ~ 800 の低温ガス化炉で熱分解され、次に 1400 ~ 1500 の高温ガス化炉で完全ガス化される。合成ガス (H_2 , CO , CO_2) は、洗浄、 CO 転化、脱硫設備を経て、既存のアンモニア製造設備に原料として送られる。本プロセスでは、低温ガス化炉から出る鉄、銅、アルミなどの未酸化金属は外部のリサイクル会社に販売され、高温ガス化炉等から排出されるスラグは建材、路盤材、改良土等として利用されている。

昭和電工(川崎事業所)では、容器包装リサイクル法で回収された廃プラスチックの他に、成形クズや施工時に出る切れ端などの産業廃棄系廃プラスチックが約 2000 t (2004 年) 処理されている。一般廃棄物中の廃プラスチックには PVC が 2~3%、産業廃棄物系の廃プラスチックには 5%含まれているが、本プロセスでは最大 10%まで処理可能である^{xii}。

2.4.5 まとめ

現在、建築廃材として排出される廃プラスチックを主な対象としたケミカルリサイクルの処理場はなく、容器包装リサイクル法で回収された廃プラスチックや産業廃棄物を処理

するために建設された施設の一部が、建築廃材としての廃プラスチックを受け入れているに過ぎない。

2.5 塩ビ製品を含む建設系混合廃プラスチックリサイクルのサーマルリサイクル

2.5.1 サーマルリサイクルの意義

建設工事、特に新築工事から発生するプラスチック資材の多くは現状混合状態での排出が多く、中間処理(破碎、選別)の後、一部のパイプ、電線などはマテリアルリサイクルされているが、大半は最終処分されている。関東では埋め立て処分場の残余年数が 5 年を切っており、解体やリフォームも進む中、現場での手解体や選別および中間処理での選別精度向上により約 60~70 万トン発生すると言われる混合廃プラのリサイクルを進める必要がある。

一方、工事現場での分別により回収される塩ビは従来から表 2.5.1 に示すリサイクル方法が知られている。塩ビ管・継ぎ手、壁紙、電線などは溶媒抽出や切削粉碎による再生材利用(マテリアルリサイクル MR)が行われている。塩ビ混合廃棄物(主に電線、農ビ、タイルカーペット、壁紙など)はロータリーキルン炉で乾留し、塩素は塩酸に、チャーは高炉原料に利用する高炉原料化(フィードストックリサイクル FR)が事業化されている。一部のガス化や油化でも塩ビ処理されているが、大規模なものではない。最後に焼却炉での処理だが、塩ビはダイオキシン発生の懸念があるため、産廃処理炉では通常処理されていない。自治体の大型炉(流動床式、ストーカ式)でも耐火煉瓦の寿命低下やボイラー腐食などから塩素制約を設けている。

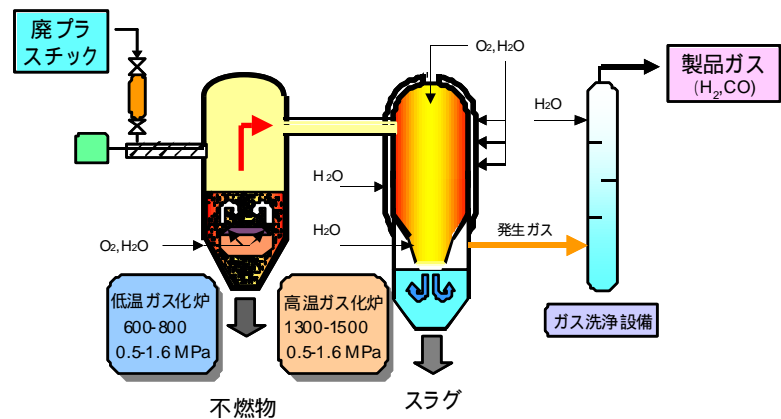


図 2.4.6 加圧二段ガス式システムの概要

表 2.5.1 . 主な塩ビのリサイクル方法

方式	処理方法	処理物	回収物
MR	パイプ to パイプ	塩ビ管・継ぎ手	再生塩ビ管
	溶媒抽出	塩ビ混合廃棄物	塩ビコンパウンド
	切削粉碎	タイルカーペット	塩ビコンパウンド
FR	高炉原料化	塩ビ混合廃棄物	コークス代替、塩酸
	2軸押出脱塩素	分別プラ、塩ビ	炭化水素、塩酸
	ガス化改質	ASR、建廃、塩ビ	合成ガス、工業塩
	油化	分別プラ、塩ビ	生成油、塩酸
TR	焼却発電	ASR、混合廃棄物	電気
	非鉄精錬	ASR、塩ビ	熱回収、希少金属
	流動床ボイラー	建設混合廃棄物	熱回収

4.

2.5.2 塩ビ工業・環境協会のモデル事業

塩ビ工業・環境協会（以下 VEC）は、関東建設廃棄物共同組合、同和鉱業と連携して建設系混合プラスチックのリサイクルシステム作りに取り組んでいる。これまで VEC では混合プラの組成分析、排出物の形状調査を行い、混合廃プラの成分・形態の把握により全国の処理施設を選定、その結果自動車リサイクルでの ASR 処理施設に着目した。

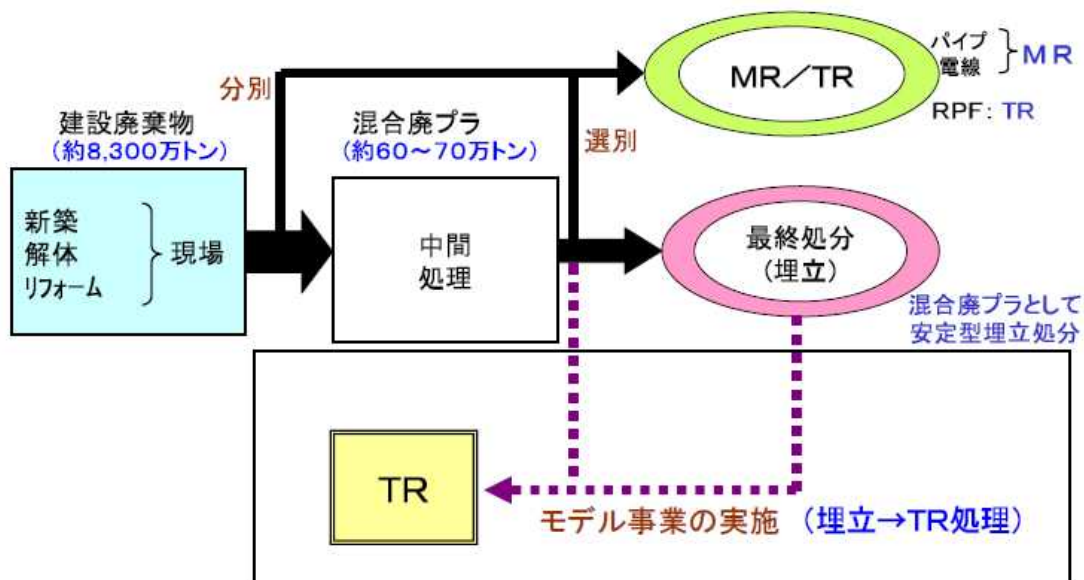


図 2.5.1 . 建設混合プラスチックのリサイクルフロー

2004年11月には、関東建廃組合から提供された混合プラを秋田県小坂町の同和鉱業グループ小坂精錬のリサイクル施設で実証試験した。図2に示す小坂精錬の設備は、前処理したASR、低品位電子基板、家電解体品を流動床炉700で燃焼し、廃熱ボイラーにて熱回収し

ている。処理能力は2200トン/月×2基で、有価物含有灰は銅や鉛精錬炉を用いて山元還元し資源化している。塩ビ(3~10%)を含む建設混合廃棄物は問題なく処理でき、高効率で熱回収が確認できた。

転炉式ガス化改質炉(山口県小野田市の共英製鋼、規模3万トン/年)を用いた実証試験も実施し、ASRと同等に処理され、合成ガスは工業炉燃料として利用可能であった

2005年7月より同和鉱業岡山工場にて現在埋め立て処分されている塩ビ製品を含む建設系混合廃プラを関東の中間処理業者12社で1200トン(100トン/月)から受け入れ、これを焼却処理した。実証実験は1年間行われ、図3に示す流動床ボイラー(4トン/時)にてエネルギー回収率80%(廃棄物1トン当たり約400リットル重油削減)と埋め立て量削減(廃棄物1トン当たり2m²の削減)のデータが得られた。

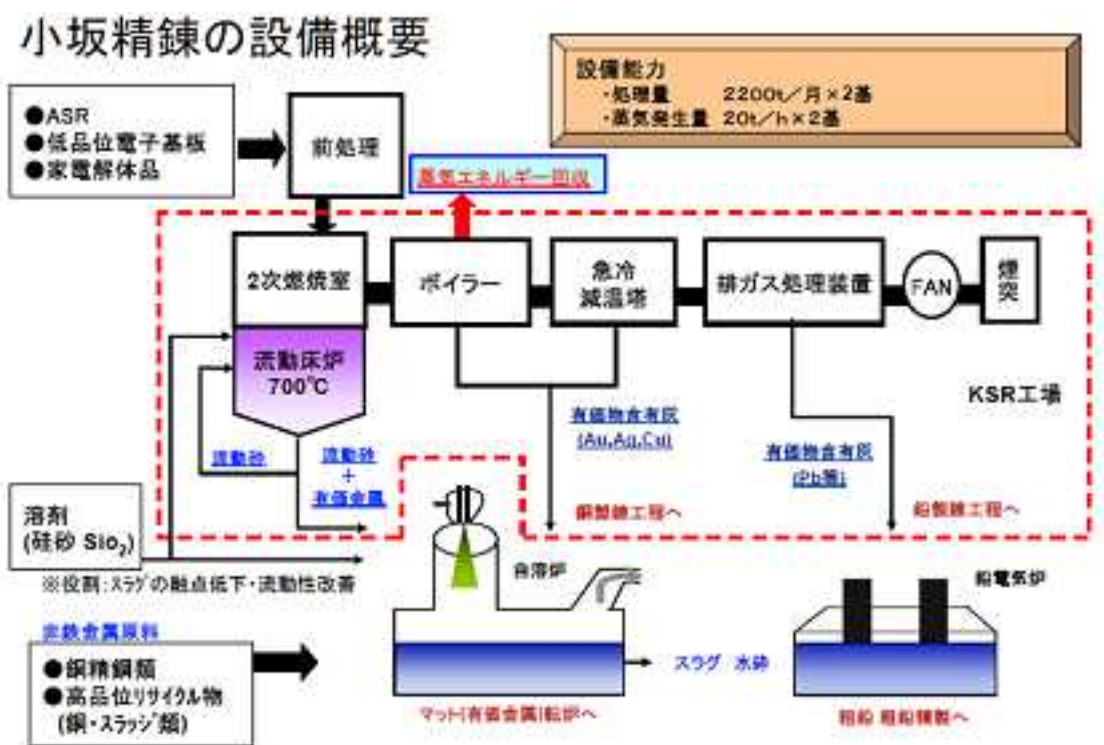


図 2.5.2 . 小坂精錬の金属・蒸気回収炉

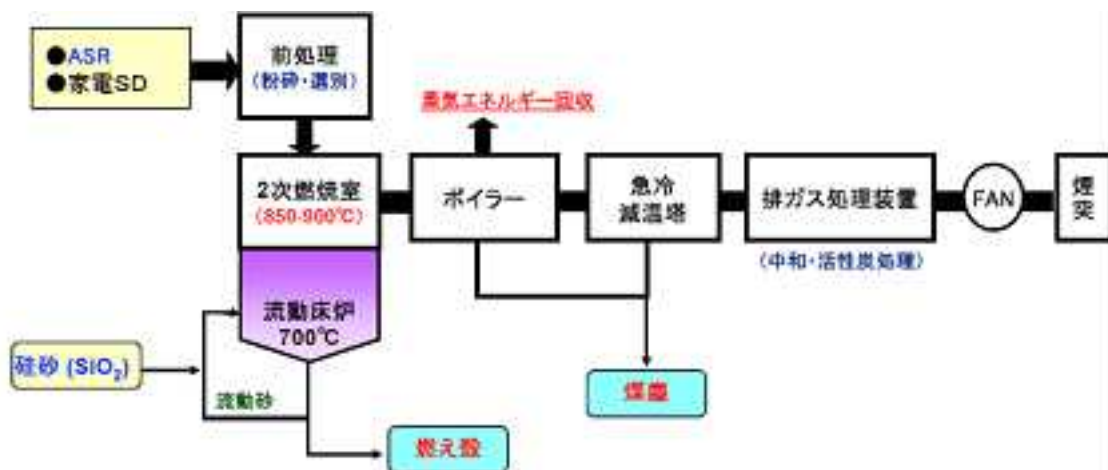


図 2.5.3 . 同和鉱業岡山工場の焼却熱回収システム

2.5.3 建廃プラスチックの熱利用

原油高騰や二酸化炭素削減のためには、建設系の混合廃棄物、特に廃プラはサーマルリサイクルが主流となっている。特に、固形燃料の利用は一般廃棄物が 7 万トンしかないのに比べ、産業廃棄物は 49 万トンも利用されており、RPF 生産量は今年度末には 100 万トンを超える勢いである。建設系廃プラの輸出は 1 - 2 割であるため、RPF 設備の稼働増加に伴い、建設系プラを RPF 原料にする傾向が高まっている。製紙会社などの大型ボイラーも稼働しはじめており、受け皿は整っている。

2.5.4 今後の課題

燃料としての熱量調整と塩素含有の制約が当面の課題であり、コスト面ではフラフ形状か RPF 加工かで市場も変わるが、受け入れ先は当面 RPF であろう。CCA 材などの廃材や塩ビなどのガス化改質炉に期待がかかるが、ASR の処理との比較となろう。

3.3 FRP のリサイクル

3.3.1 FRP (Fiber Reinforced Plastic) の構造

ガラス繊維等を架橋した不飽和ポリエステル樹脂で強化した複合材料。不飽和ポリエステル樹脂とは、二塩基を有する不飽和酸(例えばフマル酸)と二価のアルコール(例えばエチレングリコール)からなる線状ポリエステル樹脂で、通常、架橋剤としてスチレン等のビニル系モノマーを加えて3次元網目構造を有する熱硬化性樹脂として使用する。

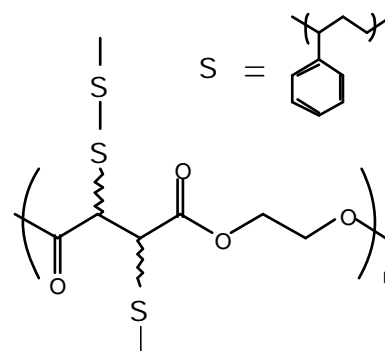


図 3.3.1 架橋させた不飽和ポリエステル構造

3.3.2 FRP の現状

表 3.3.1 不飽和ポリエステル生産量¹

樹脂名	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
不飽和ポリエステル樹脂	208,342	216,136	194,040	184,879	179,392	187,042	181,457

表 3.3.2 FRP 用途別生産量^{xiii}

分類	建設資材	住宅機材	浄化槽	舟艇	自動車	タンク	工業機材	雑貨	その他	合計
2004	61,700	91,000	47,900	11,000	27,100	24,500	39,400	33,200	6,600	342,400
割合(%)	18.0	26.6	14.0	3.2	7.9	7.2	11.5	9.7	1.9	100.0
2005	46,100	119,900	49,300	10,500	39,000	25,800	41,700	25,900	5,800	364,000
割合(%)	12.7	32.9	13.5	2.9	10.7	7.1	11.5	7.1	1.6	100.0

3.3.3 都市基盤整備公団における FRP の使用量

浴槽は、昭和 30 年代は木製、昭和 40 年代から昭和 50 年前半まではホーロー製が採用されていた。FRP 製浴槽は、保温性に優れて肌触りやが良く耐食性も高いため、昭和 51 年頃から公団で採用された。また昭和 63 年より、住宅内の設備向上を図るため昭和 40 年代に取り付けられたホーロー製浴槽を FRP 浴槽に取り替える制度が実施された^{xiv}。

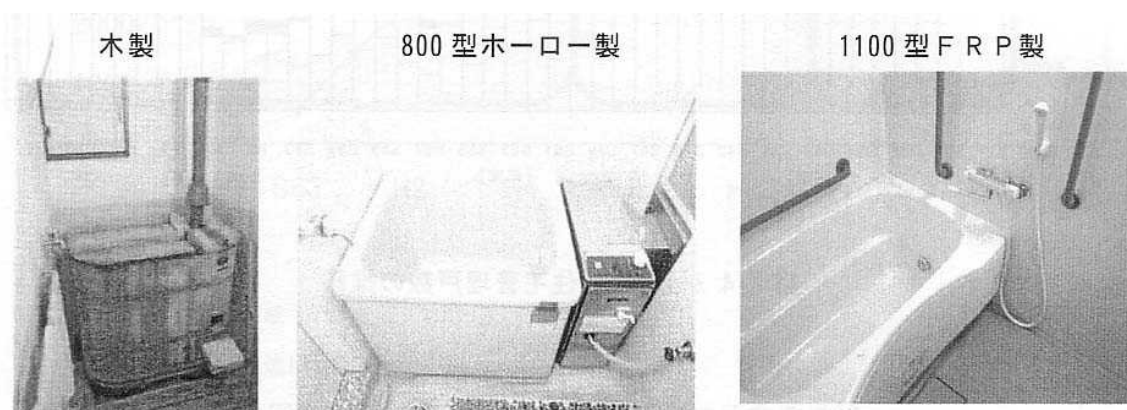


図 3.3.2 浴槽材料の推移

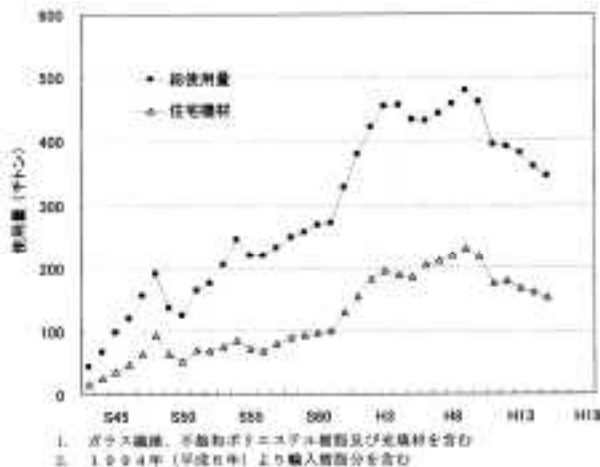


図 3.3.3 FRPの住宅機材（浴槽+浄化槽）使用量

表 3.3.3 FRP 製品廃棄物発生量（万トン）

用途	1995	2000	2005	2010
住宅・建設	15.10	21.70	29.20	26.20
住宅機材	9.60	15.50	20.40	17.70
タンク・容器	3.00	3.50	4.90	4.30
建設資材	2.50	2.70	3.90	4.20
輸送機器	4.30	6.70	5.60	6.50
船舶	2.60	4.40	3.30	3.90
自動車	1.70	2.30	2.30	2.60
工業・他	6.50	10.90	10.80	9.90
工業機材	3.60	5.40	5.70	5.00
雑貨	1.90	4.00	3.90	3.70
その他	1.00	1.50	1.20	1.20
合計	25.90	39.30	45.60	42.60

3.3.4 事業化例 セメント原料化（700トン/月）

廃 FRP と熱量調整用の廃オレフィン系プラスチックを同一系列で破碎し、セメント原燃料として利用できる実規模のプラント実験を行い、得られたセメント原燃料をセメントプラントにおいて実際に使用し、廃 FRP をセメント原燃料として再資源化するシステムの実証研究が行われた。本プロセスでは、廃 FRP と廃オレフィンを混合破碎して燃烧熱量を 5,000kcal / kg 以上の高熱量に調整したセメント原燃料を製造するところが特長である。実証プラントは栃木県真岡市の（株）富士田商事内に設置し、廃 FRP 製品（浴槽、給水タンクのほかパイプ、ヘルメット等）と FRP 工程廃材を 200 トン、熱量調整用廃オレフィン系製品として、農業用ポリエチレンフィルムを中心に 200 トン、合わせて 400 トンを使用した。連続運転を行いプラントの処理能力が 20 トン/日以上あることを実証しました。燃烧熱量調整技術の研究では、二次破碎機への

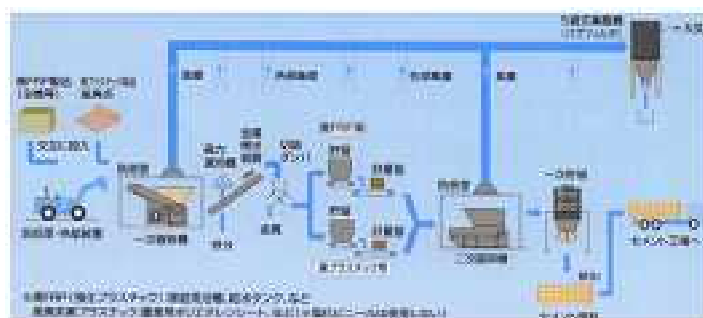


図 3.3.4 実証プラント概要図
(ジャパン・フジ・リサイクルセンター)

定量供給精度の安定化対策を実施した結果、得られたセメント原燃料の熱量は目標である 5,000kcal / kg 以上を満足しました。セメントプラントにおける実証評価では、セメント焼成工程およびセメント品質への影響はなく、得られたセメント原燃料はセメント原燃料代替として使用可能であることが実証されました^{xv}。研究終了後、本システムは（株）富士田商事に引き継がれ、平成 14 年 4 月より栃木県真岡市で事業をスタートしました。現

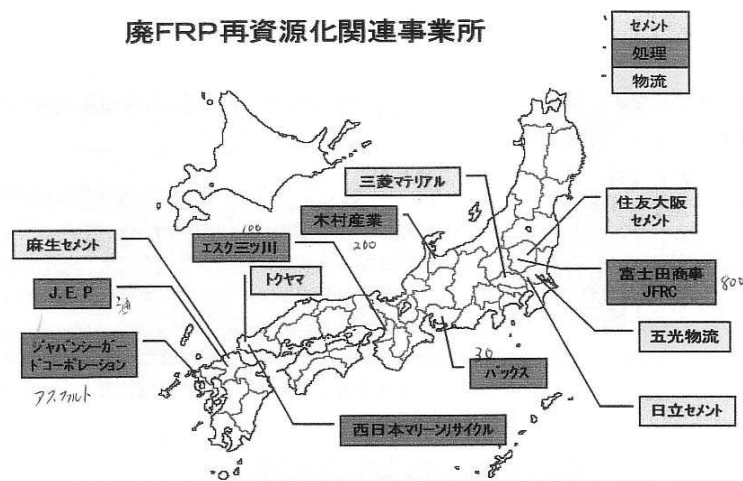


図 3.3.5 廃 FRP 再資源化事業所

在、月平均で廃 FRP700 トンを処理している。

3.3.5 実用化を計画している処理法

3.3.5.1 常圧溶解法による FRP のリサイクル (日立化成)

溶媒にジエチレンクリコールモノエチルエーテルやベンジルアルコール、触媒としてリン酸三カリウム水和物やリチウムアミドを使用することにより、FRP を反応温度 200 以下、反応時間 10~20 時間ですべて可溶化させ、ガラス繊維や木材を回収した。回収したガラス繊維を用いて再生させた FRP は、量産品と比較して引張強さは約 70%、引張弾性率は同等、伸びは約 70% になり、実用可能な水準にあると判断した。本法の特徴は、常圧でしかも試料を粉砕させることなく可溶化でき、高品質のガラス繊維が回収できる点にあり、現在、パイロットプラント (反応器容量 0.2 m³) の試験を終え、実用化を目指している^{xvi}。

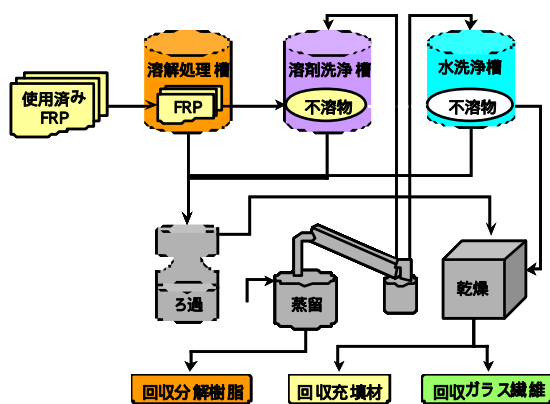


図 3.3.6 FRP 溶解並びに回収工程

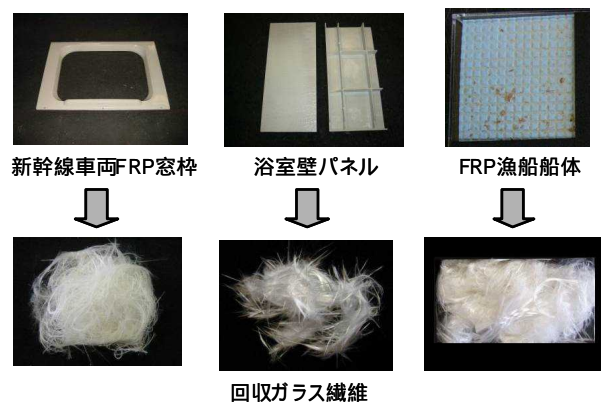


図 3.3.7 各種 FRP から回収したガラス繊維

3.3.5.2 亜臨界水分解による FRP のリサイクル法 (松下電工)

浴室ユニット用 FRP (繊維強化プラスチック) 等をアルカリ (KOH, NaOH) 共存下の亜臨界水中 (230、4 時間) で処理すると、有機成分は全て水溶性成分となり、樹脂成分・無機物ともに再生原料として利用することに成功した。内容積 200L のベンチスケールプラントを用いて実験を行った結果、約 70% の再資源化率が達成できた。した^{xvii}。

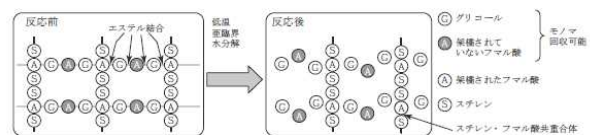


図 3.3.8 低温亜臨界水中での FRP の分解

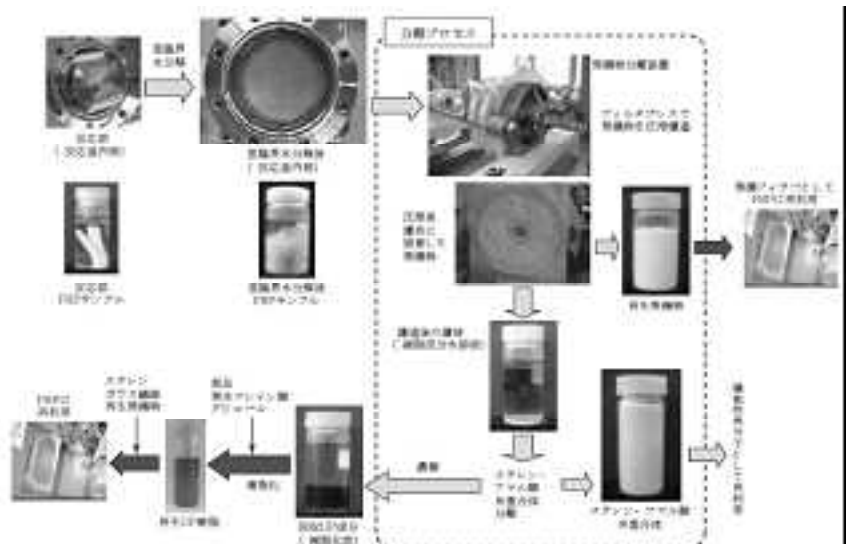


図 3.3.9 低温亜臨界水分解プロセスの概要

3.3.6 まとめ

FRPの処理法としては上述の3法の他に、熱分解、廃食用油や水素供与性溶媒中での分解、グリコール分解、超臨界水中での分解等様々な手法が提案されているが、いずれもまで実験室レベルであり、ここでは紹介しなかった。

ⁱI. C. McNeil, L. Memetea, and W. J. Cole, *Polym. Deg. Stab.*, **49**,181(1995).

ⁱⁱG.Montaudo, C. Puglisi, *Polym. Deg. Stab.*, **33**,229(1991).

ⁱⁱⁱR. Miranda, J. Yang, C. Roy, C. Vasile, *Polym. Deg. Stab.*, **64**,127(1999).

^{iv} 浅沼稔, 有山達郎, 家本勅, 「高濃度塩化ビニル脱塩素技術の開発」, 日本エネルギー学会誌, 79, 210(2000).

^v NKK360 Vol141 (1999).

http://www.jfe-holdings.co.jp/archives/nkk_360/No.41/scope/scope3.html

^{vi} 日本製鋼所 「廃プラスチック脱塩素処理システム」カタログより抜粋

^{vii} 時久昌吉, 千村禎, 「廃プラスチックの脱塩素技術」, 産業機械 6, 52(2003).

^{viii}C. Tang, Y. Wang, Q. Zhou, and L. Zheng, *Polym. Deg. Stab.*, **81**,89(2003).

^{ix}J. Yanik, M. A. Uddin, and Y. Sakata, *Energy & Fuels*, **15**, 163(2001).

^xN. Lingaiah, M. A. Uddin, A. Muto, Y. Sakata, T. Imai, K. Murata, *Appl. Catal. A: Gen.* **207**, 79(2001).

^{xi}Y. Shiraga, M. A. Uddin, A. Muto, M. Narazaki, Y. Sakata, and K. Murata, *Energy & Fuels*, **13**, 428(1999).

^{xii} 塩化ビニル環境対策協議会 PVC ニュース No.52

^l 日本プラスチック工業連盟 <http://www.jpif.gr.jp/3toukei/toukei.htm>

^{xiii} 強化プラスチック協会 <http://www.jrps.or.jp/frpdb/sizyou.html>

^{xiv} 都市基盤整備公団報告書 03809 「循環型社会に対応した設備仕様・工法に関する研究(その2)」.(2004).

^{xv} Focus NEDO 2(5), 5 (2002).

^{xvi} 前川一誠, 柴田勝司, 岩井満, 遠藤顕, 日立化成テクニカルレポート, 42(1), 21(2004).

^{xvii} 中川尚治, 卜部豊之, 前川哲也, 日高優, 宮崎敏博, 岡健司, 松下電工技報 54(1), 23(2004).

3.4 ウレタンのリサイクル

3.4.1 ウレタンについて

ポリウレタンはイソシアネートと多価ポリオールによる重付加反応で得られる高分子のことで、主鎖にウレタン結合 (NH-COO-) を含む化合物の総称である。2液の配合や成形法を変えることにより、フォームクッション、断熱フォーム、エラストマー、塗料、接着剤、合成皮革、弾性繊維などに広く使われている。建築分野では、断熱パネル、防水剤、シーリング材、床材などに、また、道路や競技場のトラック舗装材などに使われている。

3.4.2 ポリウレタンの生産量と用途

2005年の生産量は約60万トンでここ5年はほぼ横ばいである。分野別需要動向を表3.4.1⁽¹⁾に示す。土木建築用は6～7万トンで全体の10%程度である。建材分野でのポリウレタンの用途を表3.4.2⁽²⁾に示す。防水材が約60%を占めている。多い順に、シーリング材約20%、表面保護材約10%、床材約7%などである。

表 3.4.1 ポリウレタン分野別需要動向 (単位ト)

種類	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
軟質フォーム	146,700	151,700	153,000	150,400	148,000
硬質フォーム	110,000	103,000	100,900	100,600	101,500
エラストマー	14,900	15,600	17,500	20,400	20,600
塗料	128,800	127,700	129,000	136,900	141,800
接着剤	59,500	60,700	60,900	59,300	52,000
土木建築塗布	67,100	65,600	67,400	70,600	69,500
シーリング材	28,100	29,600	30,300	32,300	34,200
レザー・マイクロバラー	21,300	20,500	21,100	21,100	21,200
繊維	27,200	26,800	26,500	26,300	26,100
計	603,600	601,200	606,600	617,900	614,900

表 3.4.2 外材建材主要製品の出荷量 (ト)

年度	防水材	床材	シーリング材	表面保護材ほか	外装材ほか	建築向け合計	土木舗装材	合計
2005	40,959	4,831	12,591	7,316	164	65,861	3,671	69,532
2004	40,562	5,656	13,323	7,309	193	67,043	3,604	70,647
2003	38,580	5,029	12,262	7,451	107	63,429	4,002	67,431
2002	36,795	5,321	10,914	7,798	143	60,971	4,670	65,641
2001	38,742	5,211	10,910	7,050	136	62,049	5,057	67,106

3.4.3 ポリウレタンのリサイクル法

リサイクル方法を図1⁽¹⁾に示す。

マテリアルリサイクルは、そのまま再生加工する方法です。ポリウレタンを粉砕し、必要に応じて接着剤を塗布して熱プレス成形などにより、比較的容易に再生加工できます。冷蔵庫から発生するポリウレタンからは図2⁽³⁾に示すような人工木材が作られています。

ケミカルリサイクルは、熱分解やグリコールなどを用いた化学分解などでウレタンの原料として回収する方法です。この原料によりポリウレタンを再生することやエポキシ樹脂代替えが確認されていますが⁽⁴⁾、課題として原料中の不純物除去があります。

サーマルリサイクルは、ウレタンを補助燃料として直接燃焼させエネルギーを回収する方法です。ウレタンの発熱量は石炭に近く、従来の焼却炉でも安全に焼却することが可能です。

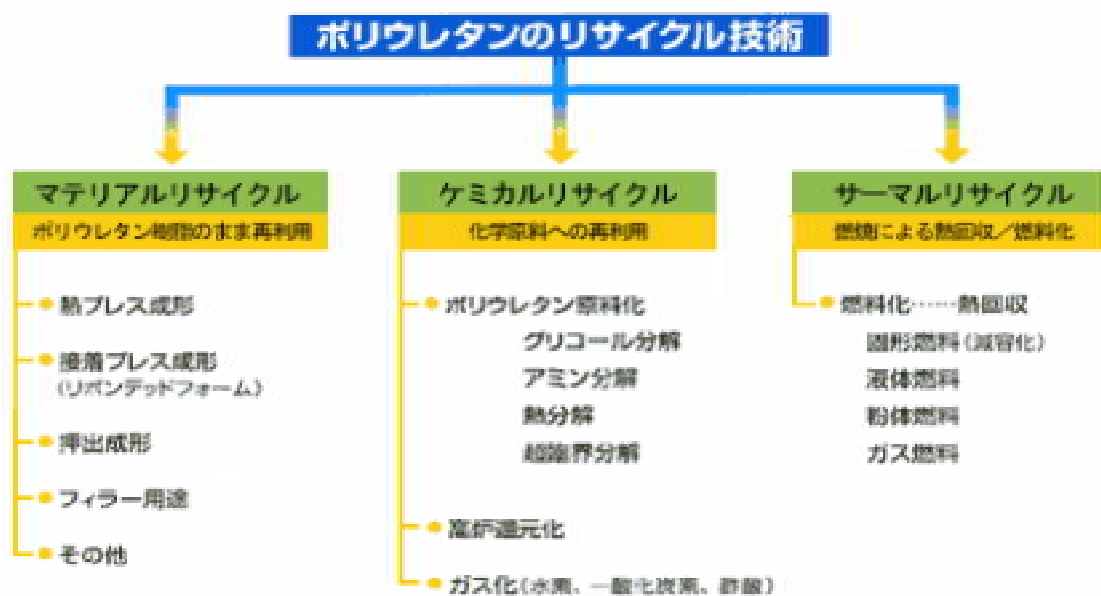


図 3.4.1 ポリウレタンのリサイクル技術



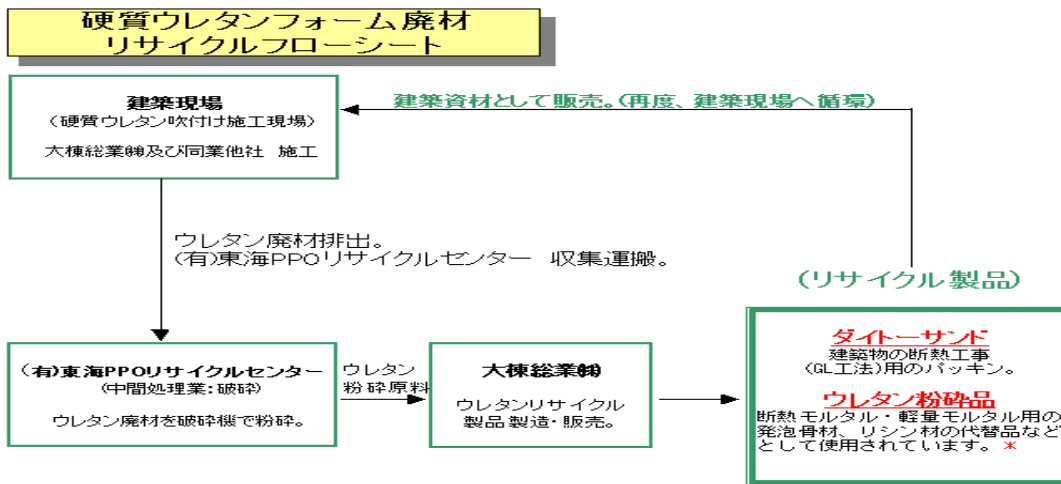
図 3.4.2 廃ウレタンから製作した人工木材 (アキレス製)

3.4.3 建築廃材ポリウレタンのリサイクル

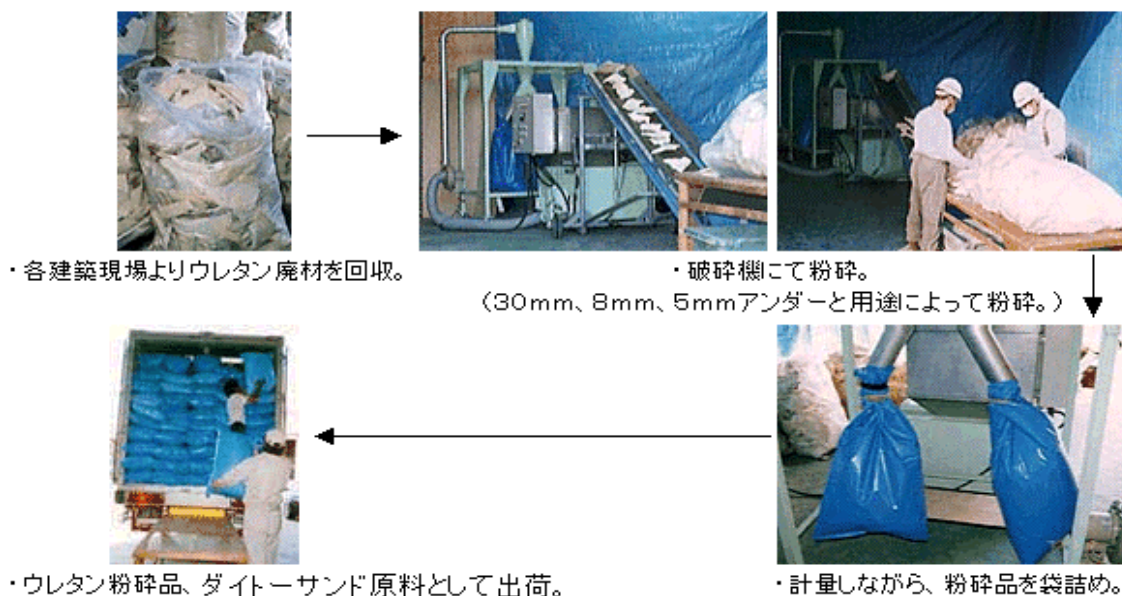
建材ポリウレタンは断熱材、防水材などに使われているが、ほとんどが発泡材であるため廃棄される容量は非常に多くなる。そこで、回収リサイクルの取組が始まっているが、まだ実用化された方法はウレタンを粉砕し充填材として使うマテリアルリサイクルのみである。その例を例1⁽⁵⁾、例2⁽⁶⁾に示す。例1では、10mm程度に粉砕したウレタン粉をセメントと混練し空隙部充填用モルタルとして使用しています。例2でも、粉砕したウレタンをモルタルと混練し屋根下地や窓枠充填材として使用しています。メーカーは平成11年度通産省環境立地局長賞を受賞しています。

ただ、充填材とはいえ、やはりある程度の異物除去が必要なため、家屋解体時に発生するウレタンはまだリサイクルされていません。また、道路舗装材のリサイクル例を例3⁽⁷⁾に示す。ウレタンを削り出し粉にして回収する方法が特徴です。

例1

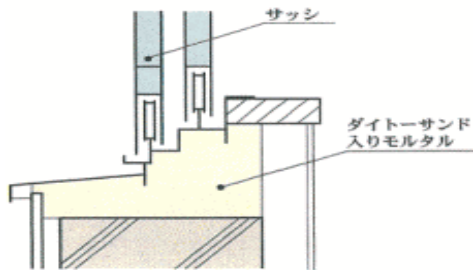


リサイクルフロー



施工手順

- | | |
|-------|--|
| 1. 準備 | 下地処理、仮枠取り付け、養生 |
| 2. 混練 | 左官用ミキサーにダイソーサンド1袋とセメント2袋(50kg)を投入して空練り(1分)したのち、防水剤(1リットル)を混入した清水(約24リットル)を加え、ペースト状になるまで3分間攪拌します。
練り上がり時の目安は、生容量1.17kg/リットル、スランプ10cm程度で充填しやすい軟度が得られます。 |
| 3. 充填 | 充填用トロ詰め器で混練されたダイソーサンド入りモルタルをサッシ廻りの空隙部に充填します。 |
| 4. 養生 | 充填後、最低24時間は次の工程に入らないようにします。特に雨のかかる心配がある箇所はシート等で養生してください。尚、ダイソーサンド入りモルタル可使用時間は、混練後2時間です。 |



性状

項目	性状	備考
組成	発泡合成樹脂	
可使用時間	約2時間	
養生時間	約24時間	冬季は48時間以上

性能

項目	性状	備考
熱伝導率	0.206kcal/m.h.	JIS A1412(絶乾)
比重	0.925	絶乾時
接着強度	9.7kgf/c m ²	コンクリート面
圧縮強度	69kgf/c m ²	JIS A1108(材令 28 日)
曲げ強度	13kgf/c m ²	JIS R5201(材令 28 日)
弾性係数	Es1/3=0.29 × 10 (モルタルの約 1/5)	ASTM469
透水量	9.4g(モルタルの約 60%)	JIS A1404

凍結融解

200 サイクルで異常なし

JIS A6204

耐久性

自燃せず

例 2



<<ウレタンフォーム残材集積>>

ウレタン吹付断熱施工後養生を
とりはずす。
ウレタン残材を集積し持ち帰る。
リサイクル古賀工場へ集積。

<<リサイクル工程>>

ウレタンフォーム及びスチレン
フォーム粉碎加工。
ウレサンド - U (屋根下地骨材)
ウレサッシ - U (窓枠下地骨材)
袋詰め・出荷・現場施工。



<<現場左官工事>>



ウレサンド屋根下地左官施工 (左図)
ウレサッシ窓枠充填左官施工 (右図)

例 3

■ ウレタン舗装材のリサイクル工法



[1]表面が磨耗したウレタン舗装

長年の使用により舗装表面は磨耗し、ついには競技に支障が生じるまでになってしまいますが、ウレタンの物性自体は、施工後10～15年程度は十分な品質を保持しています。

[2]表面の洗浄・切削

ウレタンのリサイクル率を高めるため、表面の不純物をあらかじめ除去します。



[3]表面切削完了

発生したウレタン切削粉を回収し、余分な水分を乾燥・除去します。

[4]ウレタン剤と混合

ウレタン切削粉を混合することで、ウレタン樹脂の使用量と廃棄物量が大幅に削減されます。





ポリウレタン系表層材の標準物性値

項目	標準値	試験方法	
硬 度	20℃	40~75	JIS K-6301、JIS-A硬度計
	70℃	20℃の-10%以内	
引 張 強 度		20kgf/cm ² 以上	JIS K-6301
伸 び 率	500%以上	JIS K-6301	
引 裂 強 度		12kgf/cm以上	JIS K-6301
耐 磨 耗 性		600mg以下	JIS K-7204、テーバー磨耗試験機
CS-17、1kg、1000回			

参考文献

- (1) 日本ウレタン工業協会ホームページ
- (2) 日本ウレタン建材工業会ホームページ
- (3) アキレス(株) 断熱ウレタンのマテリアルリサイクル技術開発、平成 12 年度循環型社会構築促進技術実用化開発費助成事業報告書、平成 14年 4月
- (4) 東芝家電製造(株) 断熱材ウレタンのリサイクル技術、(財)家電製品協会ホームページ
- (5) 大棟総業(株) ホームページ
- (6) (有)三松業務店ホームページ
- (7) 日本体育施設ホームページ

5. 処理システムのまとめと環境面から見た課題

5.1 処理システムのまとめ

建設廃棄物中のプラスチックの処理について、塩ビの用途別にまとめると、次のようになる。詳細は前節までを参照されたい。

表 3.5.1 建設廃棄物中のプラスチックの処理方法のまとめ

	リサイクル 種別	リサイクル の現状	備考
塩ビ管・継手	・マテリアルリサイクル（前処理 粉碎・造粒 押出）	・塩化ビニル管・継手協会が全国 10箇所拠点、リサイクル率 60%。	・単一材料のためリサイクルに比較的に適する ・金属付き、軟質は不可。
塩ビサッシ	・マテリアルリサイクル	・調査段階ではサッシ to サッシ 可能。	・今後排出量が急増する見 通し。
床材	・マテリアルリサイクル	・リファインパース（株）：カー ペットの表面・バックング分離 ・東レ（株）：カーペットの一括 処理 ・床材の端材リサイクル：インテ リアフロア工業会・8地域で実施	・繊維層 + PVC裏打ち層（バ ックング）の複合構造。
壁紙	・マテリアルリサイクル	・（株）コベルコ・ビニループ・ イースト：実証中	・塩ビを溶剤で溶かして回 収。
電線被覆材	・マテリアルリサイクル ・サーマルリサイ クル	・剥離解体 ・粉碎（ナゲット）処理 ・住電資材加工（株）：枕木 ・日立電線（株）：建設現場との ネットワーク構築	・製造者により難燃剤や可 塑剤の配合に差異がある。 ・銅線を回収しブリケット 銅にリサイクル。約 35%リ サイクル。
容器包装リ サイクル法 に基づく塩 ビ廃棄物の 一部	・ケミカルリサイ クル	・高炉還元剤利用：JFE スチール （株）	・還元材料として利用 + 脱 塩素化（塩酸回収）
		・油化・熱分解：札幌プラスチッ クリサイクル社	・脱塩素化 + 熱分解油化
		・ガス化：宇部興産（株）・（株） 荏原製作所の EUP プロセス	・加圧二段ガス化式
混合建設廃 棄物	・サーマルリサイ クル	・ASR 処理（塩ビ工業・環境協会 + 関東建設廃棄物協同組合 + 同 和鉱業小坂製錬所）	・熱回収 ・ガス化改質も応用可能

5.2 環境面から見た課題

塩ビを主体とした建設廃棄物中のリサイクル技術を概観すると、マテリアル、ケミカル、サーマルの各技術は十分に開発されている。従って、課題は、リサイクル設備が安定的にそのポテンシャルを発揮できるための社会システムとしての成立要件が満たされるかどうかであり、また、そのシステムが成立した場合に、資源・エネルギーの節減に資するという大目的が果たされ、環境側面での問題が生じないことである。

5.2.1 リサイクルシステムの成立要件

回収システム

リサイクルが可能なものとそうでないものを建設解体現場で判別でき、分別回収が可能である場合に、次に問題となるのが回収システムの成立である。建設現場からのプラスチック排出量は比較的小さく、プラスチックの種別を分ければさらに1つ1つの分類区画は少量になるため、回収業者の採算性を考慮すれば、効率よく、一定の回収量を確保できるかどうかの問題になる。この点で、複数の現場を計画的に回って回収を図る小口回収システムが検討されている。俗にちり紙交換方式と称されるが、建設廃棄物は、新聞紙と異なり定期的に排出される訳ではないので、複数の解体業者との情報共有による回収計画システムの構築が一案となるだろう。

リサイクル用途の確保

塩ビはプラスチックの中では比較的反リサイクルしやすい部類と認識されており、塩ビ to 塩ビの水平リサイクルが可能な場合もある。これが、異物の混入、添加剤等の相違する組成の混合など、分離が困難、または分離しても再生できない場合、最良でもカスケードリサイクルとなる。また、前節のように、採算性が取れない理由で一括処理となり、混合廃棄物となることが考えられる。

サーマルリサイクル以外のリサイクルでは、リサイクルの用途先が品質、量、価格の面で一次品に見合うことが必要である。

また、塩ビのリサイクル時のハロゲン（塩化水素）と添加剤に由来する重金属類の処理または受け入れが可能であることが必要である。

環境安全面の確保

環境保全の確保に関しては、解体現場やリサイクル工場等での労働衛生面の確保、一般環境への影響について、十分に確保できるポテンシャルを有している。（独）国立環境研究所では、ダイオキシン類対策特別措置法の副次的効果として、重金属類等の環境排出が減少したと指摘している。

1つ懸念されるのは、解体、回収、リサイクル等の業が商売として成立する要件が不安定である場合、不安定側に振れたときに不法投棄等の問題が生じ得ることである。

5.2.2 システム全体としての資源・エネルギー効率

建設リサイクル法の見直しに対する提案でも述べられているように、リサイクルの本質的な目的に照らして、資源・エネルギーの節約に資するかどうかを、評価することが行

く行くは課題となる。単一指標の効率化の検討がまず第一であり、一例として、プラスチック処理促進協会では、運搬の最適化ソフトの開発を試みている。

その次には、複雑系を LCA 的な視点から評価することが、課題の 1 つとして考えられる。このような評価や判定が可能になれば、社会的・地域的リサイクルシステムの成立要件を計画時に判定したり、稼働実績の事後評価にも応用することができると思われる。

ただし、究極的には、資源・エネルギーの優先順位の考え方や、トレードオフの考え方の検討が必要になる。例えば、

ある特定の希少資源の散逸を防ぎ一次資源を保全するために、どの程度まで従来よりエネルギーを掛けても回収すべきと考えるか、

埋め立てることが現状では資源・エネルギー効率が最良と判定された場合に、処分場逼迫との関係でどの程度の量や速度で埋め立てることを容認するか、

良好なサーマルリサイクルを行えば必ず CO₂ が発生するが、サーマルリサイクルによる石油資源の有効活用（生焚きではなく、一旦プラスチック材料として利用し、それを燃料として利用する）のメリットと、CO₂ による温暖化のインパクトをどう考えれば良いか、

などである。

こうした検討は、科学的検討によって明確になる場合もあるが、主観的、行政的判断で試行錯誤的に判断基準を決めざるを得ない場合もある。

2000 年に始まった本格的な循環型社会形成への 5 年間余の初動が総ざらいで見直される時期にあって、単なるリサイクル運動の継続・拡大ではなく、より良い方向への選択・選別を目指して、社会システムの設計を検討する時期であると考えられる。

参考資料

- 1) 廃プラスチック収集輸送等に関するデータソフトの応用、(社)プラスチック処理促進協会、2000 年 3 月
- 2) 平成 15 年度 建築解体廃棄物中の廃プラスチック排出量等に関する調査報告書、(社)プラスチック処理促進協会、2004 年 3 月