

特集 処理困難な廃棄物の先駆的リサイクル事例

エコビジネスネットワーク 安藤 眞・安達 剛

(JIPMソリューション「TPM エイジ」2008年2月号掲載)

国内外の環境関連法の規制強化、世界的な石油を始めとする資源インフレなどを背景に、製造現場で発生する廃棄物をオンサイトでリサイクルし、有効利用するメーカーの取り組みが本格化している。しかし、発生量が少なく、一社単独での対応が困難だったり、技術的な理由から取り組みが遅れている廃棄物が多いのも事実だ。こうした廃棄物への対応を製造現場の技術革新で克服したり、また、そこで培った技術をバネに、技術(あるいは装置)や経験・ノウハウを外販化する事業所も増している。

1. 製造現場でのリサイクル

食品廃棄物のリサイクル

国内の食品廃棄物の年間排出量が約2000万トン。国内外の関連法規制の強化によって、これまで以上にリサイクル率アップが求められている食品メーカーは、生産工程から出る廃棄物を原料に、商品価値の高い製品の開発に積極的だ。

年々強化される食品廃棄物の国内外関連法規制

現在、日本の食品廃棄物の年間排出量は約2000万トン。うち、産業廃棄物が20%(420万トン)、事業系一般廃棄物(外食産業やコンビニなど)が30%(600万トン)、家庭から排出される生ごみが50%(1000万トン)である。産業廃棄物あるいは事業系廃棄物としての排出分は、2001年に施行された食品リサイクル法によって、年間100トン以上排出する事業所(複数事業所を持つ事業者はその合計量)に対して、06年までに全業種一律基準(リサイクル率20%)を達成する目標が掲げられた。さらに07年12月から同法が改正され、一律基準から業種別に基準値を設定し、取り組みの進まない業種に対して、改善を求める基本方針が掲げられた。

また、廃棄物の海洋投棄を規制するロンドン条約が07年4月に改正され、多くの一般・産業廃棄物の海洋投棄が禁止となった。とくに、禁止対象項目に追加された動植物性残渣の産業廃棄物を排出する中小規模の食品関係メーカーは、その対策が大きな負担となっている。

こうした規制強化を受けて、食品メーカーの中には、食品廃棄物を積極的に活用して、再商品化する動きを加速している。「廃棄物はリッチな資源である。生産工程で排出される廃棄物は組成がはっきりしていて、量・質がほぼ一定というところも、再商品化しやすい」という利点があるからだ。

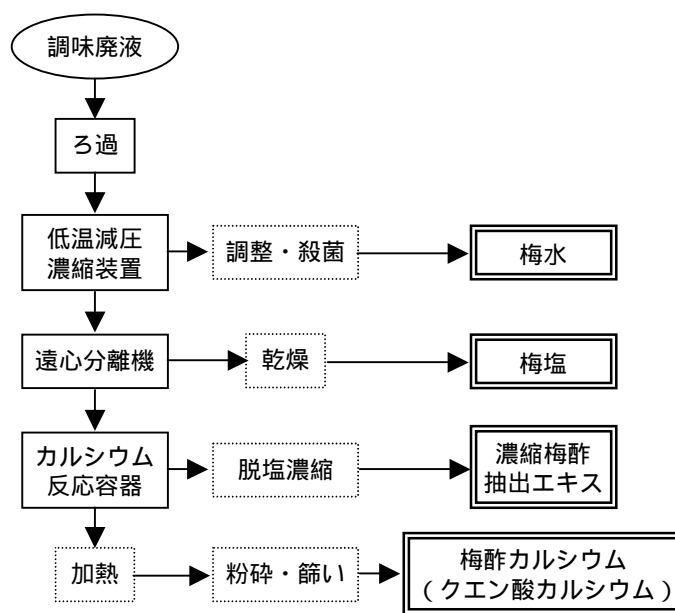
経営規模に応じたりサイクル技術開発で事業化

和歌山県の梅干加工メーカーは、国内外の法規制の影響を受けている業界のひとつである。梅干を味付ける時に発生する調味廃液は塩分濃度や酸性度が高く、以前のように海洋投棄ができなくなった。よって、各メーカーには適正処理が求められるようになった。

同県の田辺保健所（和歌山県田辺市）によると、同所に届け出ている梅干製造業 309 業者のうち 147 業者が年間 1 万 8188 トン（05 年）の調味廃液を排出している。このうち 76.6% が自社処理で対応している。残りの 23.4% の事業所は外部業者に処理を委託しているが、いずれも年間排出量が 10 トン前後の小規模事業所で、浄化槽の設置コスト（数千万円相当）や浄化槽の汚泥処理コストの負担が大きいからだ。

自社処理のメーカーの中には、クエン酸やカリウムなどの栄養分を豊富に含む調味廃液の価値を見直し、回収して食品などの原料に戻すリサイクル技術を開発するケースが増えている。梅干の老舗メーカーである東農園（和歌山県みなべ町）は、95 年から産学連携で梅酢加工の技術開発に着手し、05 年に年間 1000～3000 トンの調味廃液から有用成分を抽出できるプラントを稼働開始した（図表 1 参照）。調味廃液を蒸留濃縮し、有機酸を含むミネラル豊富な梅塩と塩分 1% 以下の水（梅水）を回収。さらに、その工程で発生する濃縮液に焼成カルシウムを加え、濃縮梅酢の抽出エキス、クエン酸カルシウムを精製する。1000 トンの調味廃液から、700 トンの梅水、140 トンの梅塩などが抽出できる計算だ。同社はこれらを食品メーカーなどへ売却するほか、他社と共同で口腔スプレーなどの商品を開発するなど、自社の新規事業に着実に結び

図表 1 梅干調味廃液からの梅酢加工プラントフロー



（東農園ホームページをもとに作成）

一方、調味廃液が少なく、自社処理が困難な梅干メーカーは、各社連携で対応しようとしている。和歌山県田辺市周辺の梅干メーカー 40 社が加盟する紀州田辺梅干協同組合は、04 年に有限会社「紀州田辺梅干研究センター」を共同設立し、加盟各社で発生する調味廃液を回収・再生する拠点を計画 중이다。

そうした調味廃液の再生技術を開発し、市場参入を図るメーカーもある。サンアクティス（大阪市中央区）は、海水の淡水化などに用いるイオン交換膜に電気透析を組み合わせ

た分離・抽出装置を開発。一度分離させた塩分と液の成分を調合し直して、再び調味液に再利用できるのが特徴で、紀南地方の梅干メーカー20数社が同装置を導入している。同社は06年から、自社で処理できない梅干メーカーへ事業提案も展開。和歌山県上富田町に設けた専用工場で、梅干メーカーから調味廃液を受け入れ、同様の方法で再生している。

排水・廃液からの有用資源リサイクル

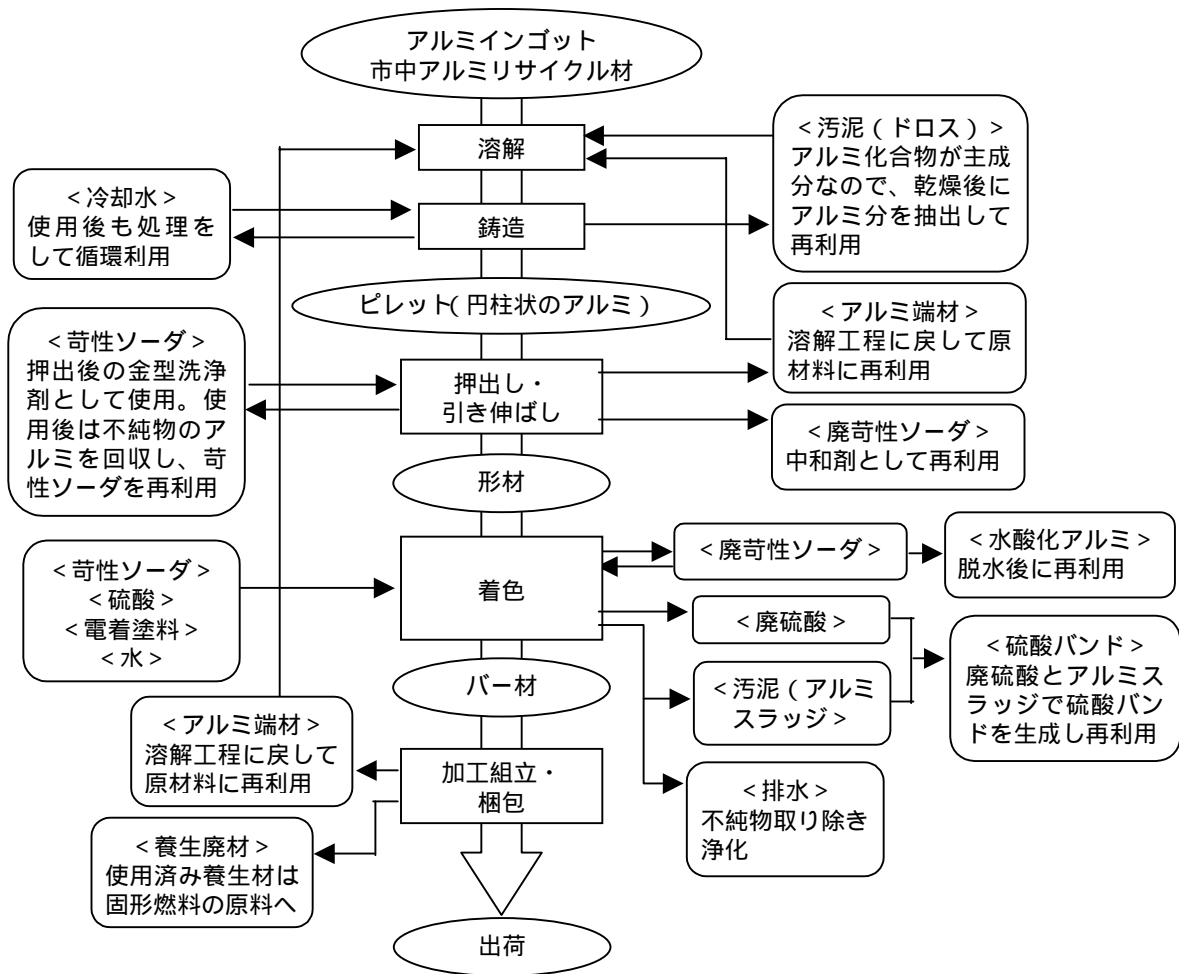
製造業を主要産業とする日本では、世界的な資源インフレの中、製造工程における排水・廃液処理にあわせて、それらに含まれる有用資源の回収が重要なテーマになっている。近年、各社の排水・廃液の利活用は高度化し、それに伴う新しいビジネスが多様に開発されている。

有用資源の回収技術導入が進む排水対策

製造工程における排水処理や水質浄化の対策の一環として、近年では排水・廃液に含まれる有用資源の回収を念頭においた取り組みが盛んだ。とくに廃液については、最終処分場の逼迫による処分費用のアップ、資源インフレによる原材料のコストアップなどを考えると、従来の単に廃液を脱水・固化して最終処分場で廃棄するという方法は理にかなわなからだ。

そうした中、一部の工場では排水・廃液から有用資源の回収が始まっているが、アルミサッシの製造各工程段階で使用した化学薬品類を生産ラインに戻すなど、徹底した資源回収と活用を図っているトステムの例は刮目に値する（4ページ図表2参照）。とくに廃苛性ソーダ回収ラインは画期的だ。たとえば、表面処理に使ったミスト状の苛性ソーダは、集塵装置で回収され、これまでは汚泥として処理されていた。同社下妻工場では、集めた汚泥を細かく粉砕して苛性液で溶解後、再び表面処理剤として利用している。循環冷却水を利用して水車を粉砕装置の動力源としている。同工場で発生する苛性汚泥数十トンをすべて再利用できるようにした。また、以前は外部へ処理委託していた金型洗浄後の廃苛性ソーダから、ゼオライトの原料となるアルミン酸ソーダを取り出す技術を確立。05年度に同社の前橋工場に設備を導入し、ゼオライトメーカーに廃苛性ソーダを売却している。有用資源の回収の発想は、生産コスト削減から一歩進み、いかに収益の一部に取り込むかという考え方へと進行している。

図表 2・トステムのアルミサッシ製造工程の廃棄物・排水・廃液の再利用



(トステムホームページをもとにエコビジネスネットワーク作成)

排水からのフッ素回収・再利用ニーズが急増

近年、電気・電子産業の振興に伴い、半導体やデバイスなどの製造工程でのフッ素の需要が増大。フッ素は、半導体や液晶の表面処理工程で、洗浄剤として年間約1万トンも使われている。

そうした中、使用済みのフッ素を回収するケースが多くなっている。その理由は二つある。ひとつは、フッ素の原料である蛍石は限りある資源であり、価格が右肩上がりになっているためだ。ましてや100%海外依存している日本では、使用済みフッ素もリッチな資源であり、回収・再利用は必須条件である。もうひとつは排水規制の強化による環境側面から、フッ素を回収せざるを得ないからだ。

この5、6年、さまざまな高度なフッ素回収技術・事業が開発されている。フッ素を含む汚水や廃液の処理方法は従来、消石灰を反応層に注入して生成されるフッ化カルシウム

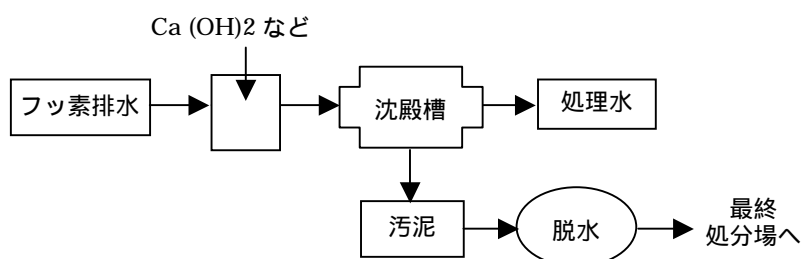
を高分子凝集剤で粗大化し、沈殿槽で固液分離する凝集沈殿処理法が多く用いられてきた。しかし、これではフッ素の低濃度処理が不可能で、沈殿槽の後工程に二段式の凝集沈殿装置や樹脂吸着装置などの設置が必要で、費用もかかる。

フッ素を回収できる新たな処理として注目を集めているのが、化学反応や加熱によってフッ素を結晶化・析出することで除去する晶析法だ。日立プラントは、2004年4月に愛知製鋼から受注したのを皮切りに、晶析法を用いた高度処理装置の導入提案を本格展開している。晶析剤は下関三井化学が2003年に開発した「ノボロック」を使用し、晶析法の使用済み晶析剤のリサイクルも可能となる。下関三井化学自身も、2002年からフッ酸やリン酸などを含む難回収廃棄物の回収・リサイクル事業を実施している。

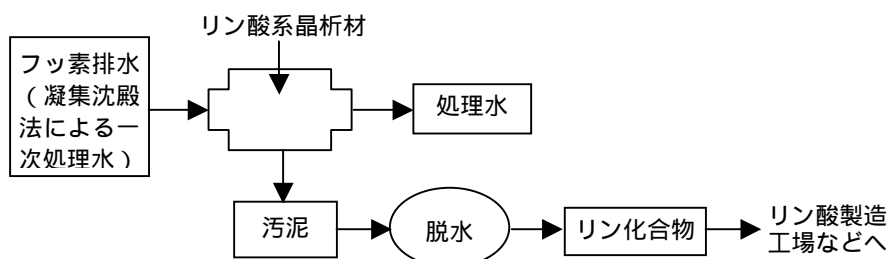
松下環境空調エンジニアリング（大阪府吹田市）は、凝集沈殿法と晶析法を組み合わせたフッ素排水処理システムを開発。フッ化カルシウムだけでなく、リン化合物も回収できる高度処理が特徴だ（図表3参照）。設備費は1億5000万～2億円で、すでに大手太陽電池メーカーに導入されている。

図表3・凝集沈殿法と晶析法

【凝集沈殿法】



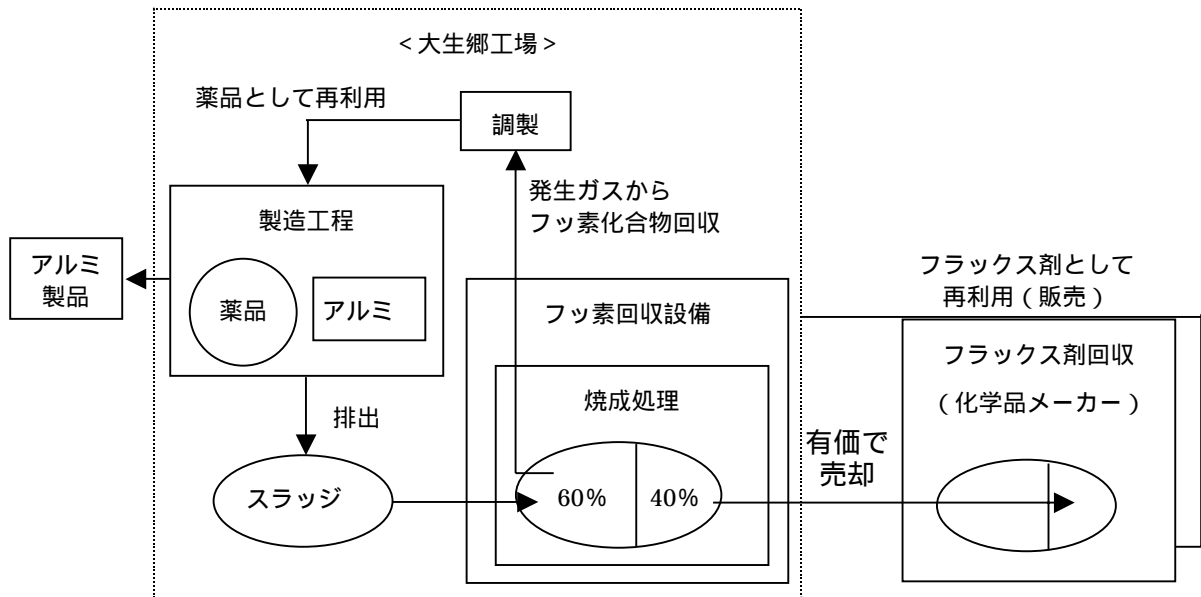
【晶析法（リン化合物析出の場合）】



アルミサッシ表面加工にフッ素使用しているトステムの大生郷工場は、フッ素廃液を含む汚泥の60%を加熱分解し、ガス化したフッ素を回収・再使用することで、フッ素使用量を30%削減した。さらに残りの40%は、フラックス剤（溶接の融剤）原料として同社に供給している化学品メーカーへ有価で売却。メーカーは残渣を原料にフラックス剤を生成し、再びトステムに納入することで、発生廃液を完全に自社の原材料に還元するスキームを05年から稼働している（6ページ図表4参照）。

トステムの廃苛性ソーダ回収や、松下環境空調エンジニアや日立プラントのフッ素回収にしても、当初はグループ企業内の環境対策の一環だった。そこで培った技術やノウハウを他の事業所へ外販する新規事業を立ち上げることも可能になっている。

図表4 トステム大生郷工場のフッ素回収フロー



(トステム「社会環境報告書 2005」をもとに作成)

2. 使用済み製品のリサイクル

廃 FRP 製品のリサイクル

年間 40 万トン発生する廃 FRP 製品は、高強度、耐久性の高い素材特性から技術的にリサイクルが難しい。メーカーが責任を持って回収・再生することが求められる現在、新たな技術を用いて製品原料に再生する研究開発が進められている。

技術的、経済的理由で進まぬリサイクル

樹脂（不飽和ポリエステル樹脂等）、ガラス繊維、充填材（炭酸カルシウムおよび水酸化アルミニウム等）で構成される FRP（繊維強化プラスチック：Fiber Reinforced Plastics）は、高強度、軽量であることに加え、耐久性・対衝撃性・対摩耗性などに優れる。浴槽、浄化槽、水槽や建築資材、ヘルメットのほか、レジャーボート（レジャー用船舶）や漁船など各種小型船舶、飛行機や自動車（バンパー）、工業機械、釣竿、テニスラケットに至るまで幅広い分野で利用されている。強化プラスチック協会によると、2000 年の廃 FRP 製品発生量は約 39 万 3000 トンで、05 年には 45 万 6000 トン、10 年には 42 万 6000 トンになると予想されている。

しかし、廃 FRP は多量のガラス分を含み、破碎や燃焼が困難で、処理施設までの収集・運搬コストが大きいなどの課題を抱え、リサイクルが進んでいない。そのために現状では、建設重機（ユンボ）などにより 50 cm～1 m 角程度に破碎した後、ほとんどが埋立処分され、ごく少量がさらに粉碎された後にセメント原燃料化などで処理されているという状況だ。

廃 FRP 製品の埋立処理費用は、形状や分別の手間などによって異なるが、3万 5000 円～5 万円 / トンである。リサイクル率は把握されていないが、成形工程から排出される端材を中心に数%に過ぎないといわれている。

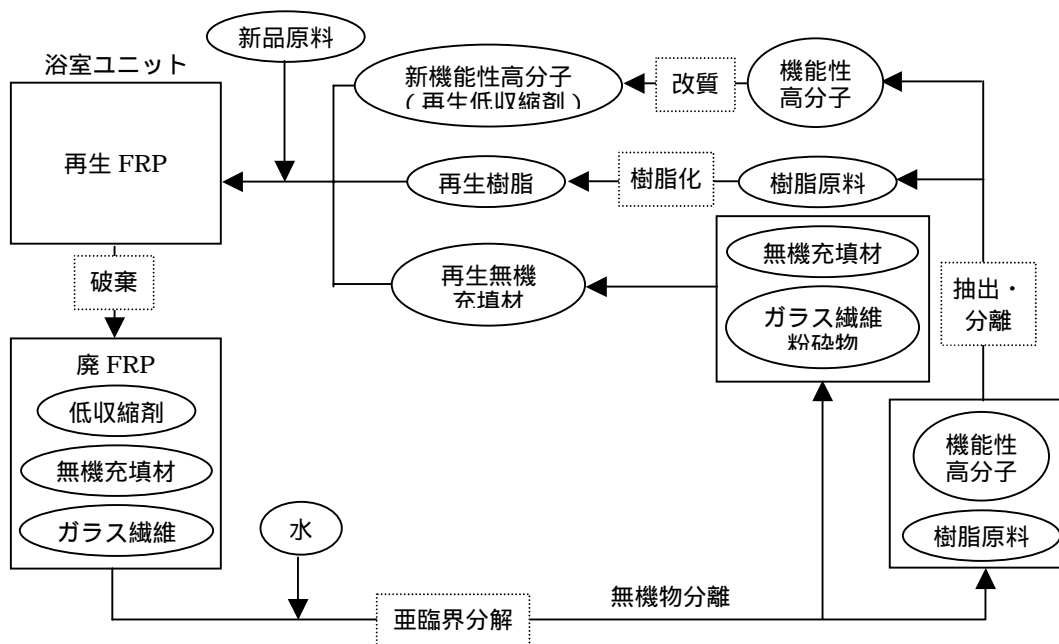
亜臨界水技術で FRP から高付加価値物質を精製

FRP 廃棄物のリサイクル技術として、破碎した後に、樹脂はセメント焼成用燃料に、ガラス繊維はセメント原料にする方法や、粉碎してコンクリート製品やアスファルト、FRP 製品に混入する方法が研究されてきた。粉碎して SMC フィラーに利用（武田薬品工業ほか）コンクリート骨材として利用（クボタ、日化プラスチックほか）する技術が開発されているが、コスト面の問題から近年は破碎 セメント原燃料化の開発が活発化し、拡大生産者責任などを背景として業界団体や FRP 製品メーカーでの動きが目立っている。

そうした中、松下電工は、自社製品の浴槽など廃 FRP 製品を再び FRP 製品原料に再資源化する技術の確立に向け、02 年から研究開発を進めている。コア技術は「亜臨界水」と呼ぶ、374 度 C・22.1MPa の臨界点（液体・気体の区別がつかない高温高压の状態）以下の水だ。亜臨界水は有機物を溶解する作用と、加水分解（水の分子による化学反応）作用を兼ね備え、有機物を含む廃棄物を、薬品を用いずに分解し、有用な資源を取り出せる技術として将来的に有望視されている。

同社は 230 度 C・2.8MPa の亜臨界水を使い、廃 FRP から熱硬化性樹脂やガラス繊維など原料ごとに分離する技術を開発し、再資源化率 80%を達成している（図表 5 参照）。この

図表 5 FRP の亜臨界水分解リサイクル



（松下電工「CSR 報告書 2007」をもとに作成）

再生技術の大きな特徴は、再生工程で発生する機能性高分子に、塩化ベンジルや触媒を加えて改質すると、FRP の樹脂原料よりも付加価値の高い新たな機能性高分子が精製できる点だ。この高分子は FRP 製造に不可欠な低収縮剤の代替品になるという。同社は浴室ユニット製造工程で発生する端材を、2012 年に年間 200 トン処理できる体制を整える方針だ。厄介な廃 FRP が、技術革新によって貴重な物質の原料に生まれ変わる。

3 . 最新のリサイクル製品

代替燃料としての需要高まる RPF

マテリアルリサイクルが困難な廃棄物も、工夫次第で価値の高い製品を作ることができる。古紙や廃プラスチックが原料の固形燃料である RPF (Refuse Paper & Plastic Fuels) は、価格が高騰する石炭やコークスを代替する燃料として利用され、化石燃料の使用を削減できる点で注目を集めている。

RPF 製造は原料の目利きが決め手

RPF はリサイクルには適さない古紙や廃プラスチックを原料とする。安全性が高く、低価格、熱量を石炭 (6000kcal / kg) やコークス (8000kcal / kg) 並みに調整できる。現在、石炭燃料のボイラーを持つ製紙工場などを中心に需要が伸びており、作れば売れる市場になってきている。

建設廃棄物などの中間処理を行なう傍ら、RPF を製造している北越環境 (新潟市) は、月産 200 トンのほとんどを北越製紙向けに納入している。製造工程は、原料となる廃棄物を圧縮し、140 度 C 程度の加熱を経て、長さ 10cm 程度に押出して成形する仕組みだ。古紙や廃プラのほかに、建設廃棄物などを RPF 原料として利用している。同社によれば「カーテン、ソファ、ヘルメット、安全靴など、繊維の混じった複合素材の廃棄物でも分別すれば原料になる。木材の破砕などで生じた粉じんもリッパに RPF 原料になる」という。古紙の代わりに、同じセルロースを含む畳を利用したり、廃プラは布団のポリエステル綿で代替できる。

RPF は需要が伸びる一方で、原料に使える古紙や廃プラが国内で不足しており、RPF メーカーは代替原料の確保が目下の課題だ。北越環境のように RPF に利用できる原料の目利き、また必要な量の確保が安定供給につながる。

同社では、RPF と同等の品質や特長を持つ新たな固形燃料も開発されている。一般廃棄物の可燃物を炭化させ、異物除去や脱塩工程を経て、廃プラスチックを混ぜて固形燃料化した C (Carbide) -RPF で、石炭と同等の 6000kcal / kg の発熱量が得ることができる。現在、石川島播磨重工業が C-RPF の製造プラントを供給している。

コラム：繊維 to 繊維を実現する省エネ型ケミカルリサイクル

ポリエステル原料の繊維製品メーカーである帝人ファイバー（大阪市中央区）は、PET（ポリエチレンテフタレート）素材の使用済み衣料を DMT（ジメチルテレフタレート；PET の原料）まで戻し、ポリエステル繊維に再生するケミカルリサイクル技術を 2000 年に確立。この技術をコアに、同社は衣料メーカーなどと連携して「繊維 to 繊維」のリサイクルを実現するシステム「エコサークル」を展開している。

同社の PET 繊維のケミカルリサイクル技術は以下の工程を踏む。回収した使用済み衣料を細かく裁断し、付属品を取り除き、破断した後に固めて粒状にする。染料を分離してから化学反応によって DMT を精製。これをチップ化し、溶解してから紡糸する仕組みだ。従来の石油から DMT を製造する場合に比べて、投入エネルギーを 84% 削減できる上、純度の高い DMT を回収できるメリットがある。何度リサイクルしても品質が変わらない点も、繊維原料としての価値を高めている。

同社は、米国のアウトドア衣料品メーカーのパタゴニアと、「エコサークル」に基づくフリースのリサイクルを 07 年から開始した。パタゴニアの直営店などから回収した使用済みフリースを、帝人ファイバーの松山事業所（愛媛県松山市）でフリース用糸に再生。これを、生地メーカーのポーラーテックが生地に加工して、パタゴニアへ提供するというもの。完全な循環が可能な衣料品のリサイクル技術やシステムの確立により、メーカーの拡大生産者責任（EPR；Expanded Producer Responsibility）が実現した例である。