

1.2.7 飲料容器と包装容器の再生利用

使用済みの飲料容器と包装容器は、市町村が分別収集して資源化施設に搬入しています。資源化施設では異物を除去し、選別して品目ごとに梱包します。次に再商品化事業者が引き取り、スチール缶は鉄鋼製品に、アルミ缶は電線や鋳物に、PET ボトルは容器や繊維製品に変換しています。本稿では飲料容器と包装容器の排出から再商品化に至る流れと、処理方法や再生利用率を紹介します。

本稿で対象とするのは、使用済みの飲料容器（スチール缶、アルミ缶、PET ボトル、ガラス瓶）と、食品パッケージ、ボトル、袋類などの包装容器です。総称して「容器包装」と呼ばれ、1995年の時点で家庭ごみの6割に達していました（容積基準）。このため、市町村にとって収集と処理が大きな負担になっていただけでなく、最終処分場の確保も困難になっていました。一方、資源消費を抑制する観点から容器包装の再利用を促進する機運が高まり、1995年に現在の容器包装リサイクル法が制定されました。容器包装リサイクル法は、家庭など主な排出者には分別排出を、市町村には分別収集・選別・保管を、容器包装の利用者には再商品化の費用負担を求めています。本稿では初めに使用済み容器包装のフローを示し、次に再生利用に必要な資源化施設の役割と設備について概説します。続いて容器包装の種類ごとに、再生利用の方法と現状を紹介します。

1. 使用済み容器包装のフロー

排出者が分別排出する容器包装は、図1に示すように市町村が収集し、資源化施設に搬入します。資源化施設の役割は、収集した使用済み容器包装の選別、異物の除去、洗浄、および再商品化施設に

搬出するまでの保管です。なお、「資源化施設」という呼称は一般名で、市町村により「資源化センター」、「資源循環センター」「リサイクルセンター」、「資源選別センター」など多様な呼称が採用されています。対象廃棄物は主に飲料容器とプラスチック製の包装容器ですが、市町村により分別収集する品目が異なります。このため資源化施設には金属製品や新聞・雑誌まで扱っている施設もあれば、容器包装の一部しか扱っていない施設もあります。資源化施設

から再商品化施設に搬出される「製品」は、主に異物を除去して洗浄されたスチール缶、アルミ缶、PET ボトル、ガラスカレット、プラスチック製の包装容器です。飲料容器とプラスチック包装容器は、輸送効率を高めるためにメートルサイズの立方体に圧縮され、多くはテープで結束されています。この荷姿は、通常、ベールと呼ばれています。なお、一部の容器について異物除去・選別・洗浄・梱包・保管を民間企業に委託している場合があります。委託処理の場合は市町村の施設ではなく、企業が設置している資源化施設に搬入されます。

資源化施設から搬出される飲料容器とプラスチック包装容器は、それぞれ再商品化する事業者に送られます。スチール缶は電炉メーカーと呼ばれている製鉄所に送られ、溶融・造塊・圧延工程を経て、建築用の鉄骨や鉄筋、および土木工事用の鋼矢板などになります。アルミ缶はアルミ再生地金工場に送られ、溶融・造塊工程を経て、板材、電線、サッシなどの建築部材、機械部品、包装材、鋳物などになります。一部ですが再度アルミ缶にもなっています。PET ボトルはPET 原料化工場に送られ、異物と着色ボトルや塩ビボトルを除去して、ペレットやフレーク状のPET 樹脂にします。得られたPET 樹脂はPET 製品メーカーに送られ、熱処理や成形工程を経てシート類、容器類、玩具

や文具類、繊維製品などになっています。一部ですが化学製品メーカーに送られ、再びPETボトルにもなっています。

2. 資源化施設の設備

資源化施設の役割は、飲料容器とプラスチック容器包装の選別・洗浄・梱包・保管です。したがって一般的に下記の設備が、通常は3フロアから4フロアの建物に設置されています。

①搬入と開梱設備群

- ・受入ホッパー
- ・受入コンベア
- ・梱包破袋機
- ・袋分離器
- ・破袋コンベア
- ・破袋圧縮梱包機

②選別設備群

- ・包装容器手選別コンベア
- ・磁選機
- ・振動ふるい
- ・ビン分離器
- ・着色ビン手選別コンベア
- ・トロンメル回転分級選別機
- ・比重差選別機
- ・アルミ選別機
- ・せん断式破碎機
- ・せん断ごみコンベア

③圧縮梱包設備群

- ・スチール缶圧縮梱包機
- ・アルミ缶圧縮梱包機
- ・PETボトル圧縮梱包機
- ・プラスチック容器包装圧縮梱包機
- ・可燃物梱包機

④その他の設備群

- ・脱臭設備
- ・洗浄設備
- ・ボイラー、給湯設備、空調設備
- ・フォークリフトなどの搬送機器

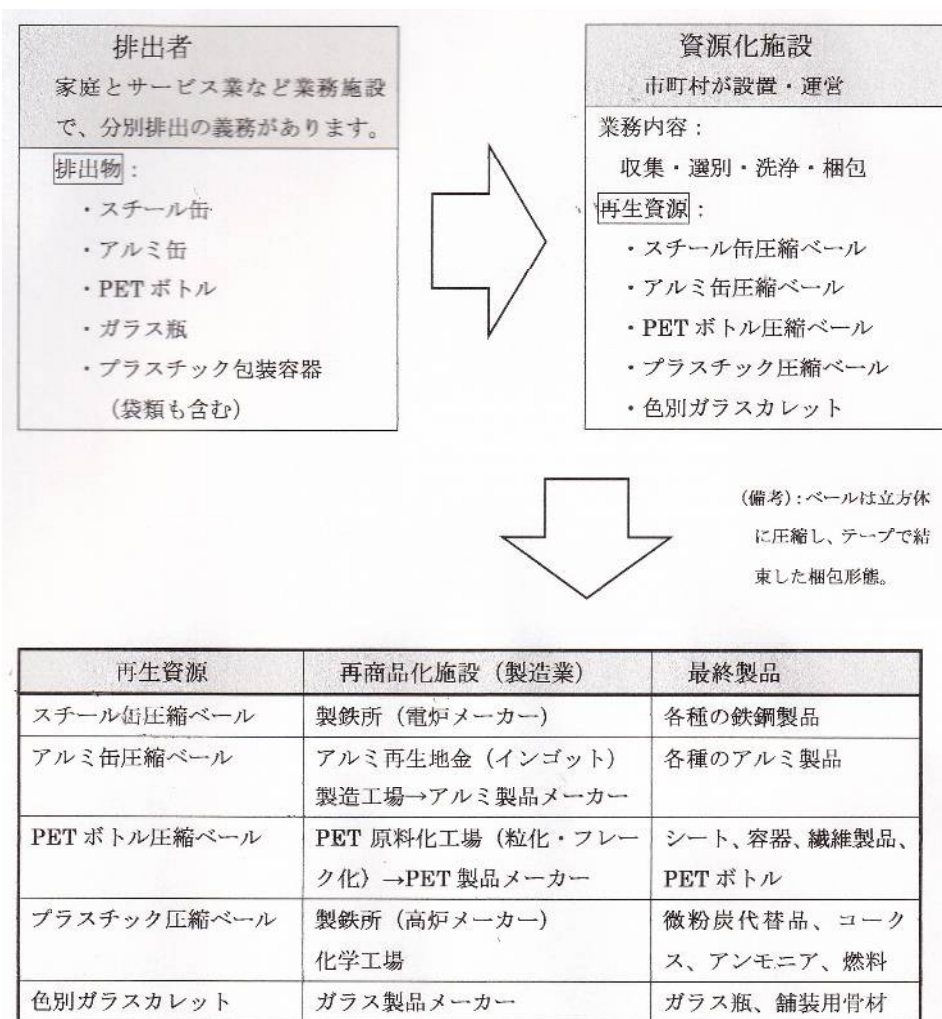


図1. 使用済み飲料容器と包装容器のフロー

梱包破袋機は、収集時に飲料容器や包装容器を収納していたプラスチックの袋を破る設備です。包装容器手選別コンベアは、同梱収集しているスチール缶、アルミ缶、PET ボトル、ガラス瓶を種類別に分ける作業台です。混入してくる容器以外の廃棄物や危険物も同時に除去するので、目視確認をとまう手作業が一般的です。磁選機はスチール缶の選別に使われ、振動ふるいは細かいガラス片や異物を分離するのに使われます。トロンメル回転分級選別機は、長さが6 m程度で直径が2m程度の円筒形または6～8角形の回転ドラムです。ドラムの周囲は網目になっており、少し斜めに設置してコンベアの上から、多様なサイズが混入している破碎廃棄物を送入します。すると回転と同時に下方に移動し、小さなプラスチック片や割れたガラス片は網目から外に落下します。一方、サイズの大きいシーやボトルなどは、ドラムの下方出口から排出されます。アルミ缶の選別には風力を利用する方式と、過電流を利用する方式があります。使用済みの容器を再生利用するには、種類の異なる素材の混入をなるべく少なくする必要があります。このため、多様な選別機が何回も使われています。なお、せん断式破碎機やせん断ごみコンベアは、粗大ごみも扱う場合に設置されます。

3. スチール缶の再生利用

3.1 スチール缶の再商品化方法

2017年の時点で、日本には65カ所に製鉄所があります。このうち50工場が高炉から銑鉄を経て

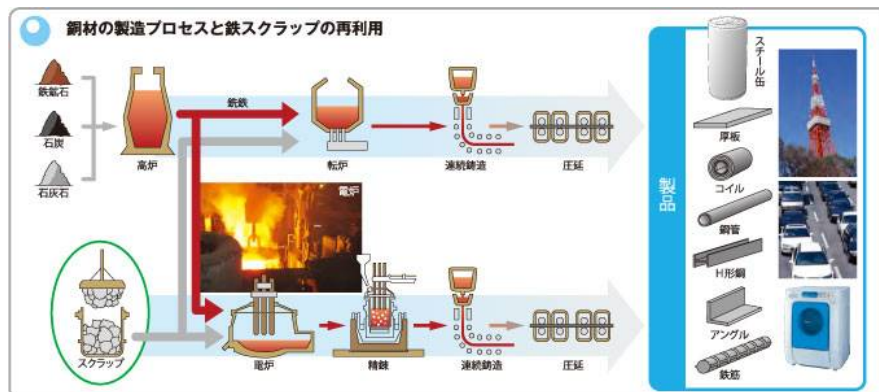


図2. 電炉メーカーの鉄スクラップ処理工程
(引用：スチール缶リサイクル協会 HP)

鉄鋼を製造する高炉メーカーで、15工場が電気炉で鉄鋼を製造する電炉メーカーです。資源化施設から搬出されるスチール缶圧縮ボールは、大部分が電炉メーカーに搬入されて、図2に示す電炉（電気炉）に投入されます。電気炉は蓋のついた鍋のような形で、蓋の部分には黒鉛でできた太い電極が差し込まれています。電流を流すと電極と鉄スクラップの間にアーク放電が発生し、その熱で鉄スクラップを溶解します。溶融した鉄鋼は電気炉を傾けて取鍋に移し、連続鋳造設備を経て土木や建築用のH形鋼、厚板、鋼矢板、鉄筋、線材などに加工しています。薄い板材の割合は多くありません。スチール缶などの鉄スクラップには不純物が残っているので、品質要求の厳しい薄板やメッキ鋼板には適していないからです。

3.2 スチール缶の再生利用率

スチール缶の消費量は、スチール缶リサイクル協会の資料（HP）によると43万9千トンです（2018年度）。このうち使用済みとなって家庭から排出されたのが15万9千トン、自販機を設置している事業者などから排出されたのが26万2千トンです。差の1万8千トンは、スチール缶としてではなく金属クズとして回収された量や、不燃ごみとして回収された量です。分別回収された42

万 1 千トンは 96%が電炉メーカーに搬入され、4%が鋳物メーカーや高炉メーカーに搬入されています。このうち異物とアルミ製の蓋を除く 40 万 4 千トンが再生利用されており、再生利用率は約 92%です。ちなみに 40 万 4 千トンのうち、32 万 5 千トンが製缶メーカーを経て飲料缶・食品缶・一般缶・18 リットル缶になっています。なお、2018 年度のスチール缶販売量は 82 億本でしたから、国民一人当たりになると年に 63 缶になります。

3.3 スチール缶再生利用の意義

スチール缶の再生利用には、環境保全と資源保全の二つの意義があります。容器包装リサイクル法が成立する前は、観光地、公園、道路の中央分離帯など、公共の場所に散乱する飲料缶が景観を損なっていました。しかし回収率が向上した結果、現在は飲料缶の散乱を見なくなりました。資源の保全では、鉄資源の消費抑制とエネルギー消費の抑制に意義があります。高炉製鉄（転炉鋼）では、鉄鉱石の還元 to 多くのエネルギーが必要です。一方、電気炉製鉄では鉄鉱石の還元も脱炭酸も不要なので、主に溶解のエネルギーだけで鉄鋼を製造できます。この結果、エネルギー消費原単位が高炉法の約 30%で済むのが大きな利点です。ただし電炉法の原料は高炉法の製品ですから、電炉法だけを単独に評価するのは適切ではありません。

参考：スチール缶リサイクル協会資料（HP）

4. アルミ缶の再生利用

4.1 アルミ缶の再商品化方法

資源化施設から搬出されるアルミ缶圧縮ベールはアルミ再生地金工場に運ばれ、開梱、選別（スチール缶除去、異物除去）、粉砕を経て、付着塗料を焼却処理します。次に約 800℃に加熱し、溶解して型枠に入れ、冷却固化します（図 3）。固化したアルミはインゴットと呼ばれますが、直方体の塊

状、棒状、板状が多く、1 個の重量は加工処理しやすい 20 kg 以下が多いです。工程後半の溶解と冷却固化は、前半の選別とは別の事業者が担う場合もあります。製造されたアルミ



図 3. アルミインゴット（例）

出典：Wikipedia

は加工メーカーが買取り、住宅建築部材、アルミ管、板材などに加工しています。一部は厚さが 0.3 ミリメートル程度の薄板に圧延し、打ち抜いて再び飲料缶にしています。

4.2 アルミ缶の再生利用率

アルミ缶は 2017 年で約 92%の 31 万トンが回収され、そのうち輸出を除く 25 万トンが再生地金になっています。日本のアルミ再生地金需要は約 220 万トンで、このうち 6 割の約 135 万トンが国内生産で、4 割が輸入再生地金です。したがって、アルミ缶の比率は国内再生地金の約 2 割に相当します。なお、日本のアルミ缶需要は 2018 年度が 217 億本ですから、国民一人当たりでは年に約 170 缶になります。重量は約 33 万トンで、2017 は 31 万トンが回収されていますから、再生利用率は約 93%です。

4.3 アルミ缶再生利用の意義

アルミ缶再生利用の第1の意義は、原料ボーキサイド資源の保全です。他の金属資源と比べると埋蔵量に余裕がありますが、再生産が不可能な化石資源ですから、消費量を抑制する意義があります。第2の意義は、これが非常に大きいのですが、エネルギー消費の抑制です。ボーキサイドからアルミニウムを作るのに必要なエネルギーは、主にボーキサイドからアルミナを作る際の焼成と、電気分解によるアルミナの還元です。とくに電気分解の電力消費量が多く、アルミニウム1kg当たり約1.2kgの石油換算エネルギーが必要です。一方、アルミ缶を再生地金にするのには800℃で溶解するだけでよく、1kg当たり0.1kg以下の石油換算エネルギーしか必要としません。第3の意義は、自然環境や公共の場所への投棄の抑制、つまり環境保全です。たとえ数量が少なくても、自然環境への投棄は広い空間の景観を台無しにし、人々に不快感を与えます。再生利用の環境保全効果は、小さくないと言えるでしょう。

(参考：アルミ缶リサイクル協会資料 (HP))

5. PETボトルの再生利用

5.1 PETボトルの再商品化方法

資源化施設から搬出されるPETボトル圧縮ベールはPET原料化施設に運ばれ、開梱、手選別(スチール缶除去、塩ビボトル除去、着色ボトル除去、異物除去)、粉碎を経て、フレーク状またはペレット(粒)状に加工されます。フレークは薄片という意味で、図4に示すようにPETボトルを8mm角(カク)位の小片に粉碎し、洗浄・乾燥したものです。ペレットは小さな弾丸(弾薬)という意味で、フレークを一度溶かして小さな粒状にしたものです。PETのペレットとフレークは、最終消費財のメーカーに販売され、シート類、成形品、繊維製品、PETボトルになっています。



図4. PETのペレット(上)とフレーク(下)

出典：Wikipedia

シート類の最終製品は卵などの食品パッケージ、粘着ラベルの素材、防草シート、文具の下敷きやマウスパッド、ブリスターパックなどです。ブリスターパックは、多くの医薬品のように商品を固い板の定位置に乗せ、上部を透明パックで覆う包装です。成形品の最終製品はシート類より厚手の製品で、収納ボックスやごみ箱、キッチンで使われる洗剤のボトル、バスルームで使われるトイレタリー商品のボトルなどです。繊維製品はフロアマット、ゼッケン、作業衣、スーツ、バッグなどです。PETのペレットとフレークは、石油から作る化学製品のPET樹脂と同じ物ですから、不純物の混入による影響がなければ同じ製品に再生することができます。

一方、PETボトルに再生する場合は飲料や調味料の容器にもなるので、人の健康に有害な物質の混入を完全に排除する必要があります。このため

実用化されている一つの方法は、PET のペレットを樹脂の中間原料にまで化学的に分解し、再び重合して新たな PET 樹脂を作り、それからボトルを製造する化学的再生法です。具体的には解重合にエチレングリコール (EG) を使用し、樹脂製造時の中間原料であるビス-2-ヒドロキシエチルテレフタレート (BHET) に戻します。これを精製した後、PET 樹脂に再重合します。化学的再生法の特徴は、解重合と再重合で不純物が完全に除去され、バージン樹脂から製造するのと同じ PET 樹脂に再生できる点です。

もう一つの方法は、混入した異物を十分に除去した後、高温下に曝し、樹脂内部に留まっている汚染物質を拡散させる物理的再生法です。具体的には、PET のフレークを PET 樹脂製造工程の固相重合槽のような除染装置に投入します。この槽内では投入した PET のフレークを気流中あるいは減圧下で加熱し、樹脂に付着または吸着している汚染物質をガス化して放散させます。物理的再生法は、化学的再生法に必要な分解設備や重合設備が不要なので、製造コストが安く環境負荷が少ないのが長所です。

5.2 PET ボトルの再生利用率

PET ボトルリサイクル推進協議会の HP に掲載されている資料によると、2018 年度の PET ボトル販売量は 62 万 6 千トンです。ちなみに本数は 252 億本ですから、国民一人当たりでは年に約 200 本になります。一方、リサイクル量は国内再資源化量が 33 万 4 千トン、海外再資源化量が 19 万 5 千トンで、合計 52 万 9 千トンでした。したがって再生利用率は 84.6% になります。なお国内の再商品化はシート類が約 5 割、繊維製品が約 2 割、PET ボトルが約 2 割、成形品は 1 割以下です。

5.3 PET ボトル再生利用の意義

PET ボトル再生利用の第 1 の意義は、原料ナフサ消費量の軽減です。ナフサは主に石油から製造されますから、化石燃料の資源保全に寄与します。第 2 の意義は、自然環境や公共の場所への投棄の抑制、つまり環境保全です。PET ボトルは容積が大きいので、公共空間への放置や投棄は景観を台無しにし、目にする人に不快感を与えます。現在、海岸に漂着するプラスチックごみには PET ボトルが多く見られます。PET ボトルの分別回収と再生利用は、河川や海洋投棄が多い国々に広く普及させる意義があるでしょう。

6. ガラス瓶の再生利用

6.1 ガラス瓶の再商品化方法

資源化施設から搬出される無色、茶色、その他の色のガラスカレットは、カレット工場に搬入されます。しかし、この段階ではまだ異物が混入しており、ガラス製品の原料としての品質が不十分です。このため、カレット工場では数段階の再選別を経て、商品化に必要な水準の原料にします。工程としては、最初にプラスチックボトルなど大きいサイズの異物を手選別で除きます。次に破碎して細片にし、回転式のラベル剥離機でガラスに張り付いているラベルを除去します。次に洗浄して目視と手選別で異物を取り除き、磁選機で鉄片を除去します。続いて風力選別機で紙片やプラスチック片を除去し、金属選別機で非鉄金属を分離します。こうして得られた再生原料化カレットは、大部分がガラス瓶の製造工場に搬出されます。ガラス瓶の製造工場では、カレットに珪砂、石灰石、ソーダ灰を加え、必要な原料構成に調合して加熱溶解し、種々の大きさや形状の瓶に成形しています。なお、ガラス繊維や断熱材など、瓶以外の製品の原料にも利用されています。

6.2 ガラス瓶の再生利用率

2018年の日本のガラス瓶出荷量は約110万トンで、薬品とドリンクが約25%、食料と調味料が約25%、清酒が約15%、ビールと飲料が約20%です。ガラス瓶の再生利用率は、ガラスびん3R促進協議会の資料によると2018年で68.8%です。この比率の中には、ガラス瓶に再生された量だけでなく、ガラス繊維など瓶以外の用途に利用された量も含まれています。再生利用できなかった約3割の多くは、細かく割れて色分けができなかったガラスです。ガラス瓶再生利用の意義は、ガラス資源の珪砂、石灰石、ソーダ灰の消費抑制です。いずれも国内で入手できる豊富な資源ですが、有限の資源ですから消費の抑制は意義があります。もう一つの意義は、不要になったガラス瓶の散乱防止でしょう。

7. プラスチック包装容器の再生利用

プラスチック包装容器を再生利用する場合、大別して三つの形態があります。一つはPETボトルをシートや成形品に転換するなどプラスチックの特性を生かした再利用で、マテリアルリサイクルと呼ばれています。2番目は化学原料として再利用する方法で、ケミカルリサイクルと呼ばれています。三番目は熱源として利用する方法で、サーマルリサイクルと称されています。容器包装リサイクル法が再生利用として認めているのは、マテリアルリサイクルとケミカルリサイクルだけなので、本稿ではケミカルリサイクルについて概説します。しかし、熱源として利用するサーマルリサイクルは、分別回収や厳密な選別が不要で、清掃工場が熱エネルギーを効率よく電力に転換すれば、ケミカルリサイクルより費用対効果に優れています。このため、ケミカルリサイクルの概説に続いて方法と概況を紹介します。

7.1 プラスチック包装容器の再商品化方法

資源化施設から搬出されるプラスチック圧縮ペールは、再生利用を実施している3種類の施設に搬出されます。一つは高炉を保有する製鉄所で、鉄鉱石の還元剤として利用しています。具体的には微粉炭の一部を代替する方法で、高炉の熱源としても役に立っています。もう一つは高炉製鉄に必要なコークスの製造工場で、原料石炭の代替品として利用されています。三番目は化学工場で、プラスチック包装容器をガス化し、主にアンモニアの原料に利用しています。

7.1.1 高炉の微粉炭代替利用方法

製鉄所の高炉で還元剤として利用する場合は、最初に選別機でフィルム類とパッケージやボトル類に分けます。次にフィルム類は破碎し、比重差を利用して塩化ビニルに分けます。塩化ビニルは約350℃に加熱し、塩素を塩化水素にして分離します。塩素分が高炉に入ると、塩化水素になって装置を腐食させるからです。脱塩された塩化ビニル(もう塩化ビニルではない)は、粒状にして分級機へ送ります。一方、パッケージやボトル類は、破碎して分級機に送ります。分級機に送られたプラスチックの細片は、適切な粒度に調整されて微粉炭とともに高炉に吹き込まれます。

7.1.2 コークスの石炭代替利用方法

コークスの原料として利用する場合は、破碎して選別機で塩化ビニルを除去します。次にコークス炉内の炭化室で約1200℃に加熱すると、熱分解してガス化します。この高温ガスを冷却して炭化水素油(軽質油とタール)とコークス炉ガス(水素、メタンなど)を分離し、残された炭素分をコークスとして利用します。炭化水素油は製鉄所の化成工場で燃料や化学原料に利用し、コークス炉ガスはボイラー燃料や発電燃料に利用しています。

7.1.3 化学工場の化学原料代替利用方法

化学工場が原料として利用する場合は、破碎して磁力選別で鉄分を除去し、二次破碎して細片にします。次にペレット状に成形し、酸素と水蒸気とともに600℃~800℃で操作する低温ガス化炉に投入します。その結果、炭化水素、一酸化炭素、水素、チャー（粉状炭化物）が生成しますが、塩化ビニルも含まれているので塩化水素ガスも発生します。続く高温ガス化炉で水蒸気とともに1300℃~1400℃に加熱し、急冷して下流のガス洗浄設備に送り、残存する塩化水素をアルカリ性の薬品で中和処理します。その結果、水素と一酸化炭素を主成分とする合成ガスが得られるので、メタノール、アンモニア、酢酸などの原料に利用します。現在は主にアンモニアの原料として利用されています。

7.2 プラスチック包装容器の再生利用率

2018年に排出された廃プラスチックのリアルフローを表1に示します（出典：プラスチック循環利用協会のHP）。排出量は一般廃棄物と産業廃棄物を合わせて891万トンで、このうちプラスチックの特性を生かして再利用したリアルサイクルが208万トンです。プラスチック包装容器は39万トンで、高炉の微粉炭代替利用、コークスの石炭代替利用、化学工場の化学原料代替利用を合わせた再生利用率は90%~95%です。しかし用途が石炭や石油の代替利用ですから、PETボトルに比べると付加価値の低い再生利用形態です。他の利用形態には固形燃料化、発電焼却、熱利用焼却がありますが、エネルギーとしての利用ですから分別回収の必要がなく、可燃性廃棄物として混合回収されています。また、清掃工場が焼却で得られる熱エネルギーを効率よく電力に転換できれば、ケミカルリサイクルより費用対効果に優れている側面があります。課題は発電効率で、欧米では25%以上が一般的なのに、日本では発電設備のない清掃工場が多く、発電していても発電効率

は平均で約13%です。もし発電効率を欧米並みの約25%に改善できれば、需要側が電力をヒートポンプエアコンで4倍から5倍の熱に転換できるの

表1. 廃プラスチックのフロー（万トン/年）

利用形態	一般 廃棄物	産業 廃棄物	計
再生利用（分別回収）	71	137	208
高炉・コークス原料・ ガス化（分別回収）	25	14	39
固形燃料他	26	147	173
発電焼却	207	57	264
熱利用焼却	21	66	66
単純焼却	52	21	73
埋立て	26	43	68
計	429	462	891

で、原料の石油相当の燃料価値が得られます。現在のケミカルリサイクルの用途は石炭や石油の代替品ですから、分別収集とその後の選別負担を考慮すると、焼却発電の方が好ましい選択になり得るでしょう。そのためには清掃工場のごみ発電の拡大と、発電効率の向上が必要です。

7.3 プラスチック包装容器再生利用の意義

プラスチック包装容器のケミカルリサイクルは、石炭や石油など化石エネルギー資源の消費抑制と、温室効果ガスの発生量軽減に寄与します。

（おわり）

参考：プラスチック循環利用協会、ガラスびん3R促進協議会、PETボトルリサイクル推進協議会、スチール缶リサイクル協会、アルミ缶リサイクル協会のHP資料