

日本のプラスチックリサイクルの現状と課題

(PET 対 PE・PP・PS・EPS)

日本のプラスチック廃棄物の処理処分とリサイクルの現状をまとめた。課題として、サーマルリサイクル中心からマテリアルリサイクルへのシフト、従来輸出してきた廃プラの国内マテリアルリサイクル化、PE・PP・PS・EPS のマテリアルリサイクルの推進がある。日本の PET ボトルのリサイクルは世界的に進んでいて、再生材 100%使用のボトル to ボトル技術が実用化されている。

2019 年 9 月



株式会社 旭リサーチセンター

シニアリサーチャー 府川 伊三郎

まとめ

- ◆ 日本の 2016 年のプラスチック廃棄物（廃プラ）は約 900 万トン（密度 1.0 として東京ドーム約 7 杯分）で、内訳は産業系約 500 万トンと一般系（自治体系）約 400 万トンである。処理方法としては、マテリアルリサイクル 23%、ケミカルリサイクル（高炉・コークス炉原料、ガス化）4%、サーマルリサイクル（セメント燃料、廃棄物発電、熱利用）57%が主で、この 3 つを合わせると 84%と高いリサイクル率である。しかし、課題は、①マテリアルリサイクル 23%のうちの 16%は海外輸出によるリサイクルであり、国内で実施されたりサイクル比率は 7 %と非常に少ない。国内リサイクルの約 80%は PET であり、PE・PP・PS は少ない。②中国の廃プラ輸入禁止やバーゼル条約の改定による汚染廃プラの輸出規制により、これまで輸出してきた廃プラを国内で処理する必要がある。③サーマルリサイクルの比率が高く、その中にはエネルギー回収率が約 10%と低いものもある。

また、今後廃プラスチックを熱分解して得られる熱分解オイルを、ナフサクラッキングや石油精製の原料に使用する開発・事業化が活発になるであろう。（4～5、8～16 頁）

- ◆ 日本と EU のプラスチック廃棄物処理の状況を比較した。EU は容器包装のリサイクル率が、すでに 41%になっていることが注目される。（6～7 頁）
- ◆ 日本の PET ボトルのリサイクル率 85%と回収率 92%は、欧州の 42%と 62%、米国の 21%と 29%に比べはるかに高い。今後、輸出分を国内でリサイクルすれば、世界に先駆けて日本は PET ボトルについて資源循環社会を実現できる。自治体が回収した使用済み PET ボトルは現在有償で、33 円/kgでリサイクラーに販売されている。日本の PET 樹脂供給は年間 184 万トンで、国内生産 32%、輸入 53%、国内再生樹脂 15%となっている。主用途は、ボトル 37%、繊維 13%、食品包装用シート 18%、非包装用フィルム 18%となっている。ボトル用途における再生材比率は 8.4%とまだ低い、繊維用途は 28%、シート用途は 33%と再生材比率が高い。（17～21 頁）
- ◆ 日本の優れたリサイクル技術としては、協栄産業がサントリーと提携して開発したメカニカルリサイクルによる再生材100%使用のボトル to ボトル（水平リサイクル）技術がある。技術のキーはアルカリ洗浄により飲料ボトルに再使用可能にしたことと、

固相重合による物性の修復である。

もう一つは、日本環境設計の回収PETをモノエチレングリコールで解重合してモノマー化するケミカルリサイクル技術である。川崎市に能力2万トンの工場と、2018年に北九州市に新設した能力2千トンの工場を有する。後者は、リサイクル原料に回収した衣類などのポリエステル繊維を使用することが特徴である。

さらに、簡易食品容器のトップメーカーのエフピコは回収PETボトルより再生トレーを製品化している（ボトル to トレー：関連売上高360億円）。再生トレーは中間層に再生樹脂を使い、両面にバージンPET樹脂を重ねて押し出した多層構造で、食品用に使用できる。ポリスチレンペーパー（PSP）トレーのリサイクル製品（トレー to トレー：売上高145億円）もあり、食品用に使用できる。トレーを販売したスーパーなどから使用済みトレーを回収してリサイクルする独自のサプライチェーンを確立している。

福岡大学八尾滋教授は、PPやPEの再生材の機械的物性（引張強度や伸び）を化学的ではなく物理的に修復する技術を発明した。実用化が期待される。（21～29頁）

- ◆ PETがリサイクル性に優れる理由は、①日本では無色透明ボトルに統一されている。②ポリマーグレードが単純である。③使用済みPETボトルが分別収集される。④PETボトル本体をラベル（PE・PP・PS）やキャップ（PE・PP）との密度差を利用して、選別できる。⑤アルカリ洗浄により飲料用に利用できる。⑥回収PETボトルの分子量低下は、固相重合により修復できる。⑦再生材は樹脂用途以外に、繊維用途がある。（30～31頁）
- ◆ PE・PP・PS・EPSのリサイクルは、PETボトルのリサイクルに比べてはるかに遅れている。現在は一部選別した再生材にバージン樹脂を加えてパレットなどが製造されているに過ぎない。その最大の理由は、容器包装廃棄物はPE・PP・PS・EPS・PETの混合物であり、PVCも含まれている。再生材用途を拡大するためには、プラスチックを種類別に選別することが求められる。そのためのリサイクルしやすい製品設計、分別収集法の開発、プラスチック識別・選別技術の開発が重要である。（31～36頁）
- ◆ PETボトルのリサイクルについては、日本が欧米より大幅に進んでいて、資源循環をかなり実現していることは注記すべきことである。この事例を手本に、プラスチック全体のマテリアルリサイクルの推進に挑戦すべきである。（37頁）

目 次

はじめに	1
用語・略語集	2
1 日本の廃プラスチックのリサイクルと処理処分の現状	4
1.1 概況と課題	4
1.2 プラスチック廃棄物処理の歴史	5
1.3 廃プラ処理の EU との比較	6
1.4 廃プラの排出源と適用される各種リサイクル法	8
1.5 廃プラのリサイクルと処理の方法	10
2 日本のリサイクル技術と事業	17
2.1 日本の PET の高いリサイクル率	17
2.2 日本の PET 樹脂のマテリアルフローの現状と将来	18
2.3 日本の注目されるリサイクル技術と事業（PET など）	21
2.4 日本の PET ボトルがリサイクル性に優れる理由の解析	30
2.5 日本の PET ボトルを除く容器包装廃棄物のマテリアルリサイクル	31
おわりに	37
参考文献	38

はじめに

本リポートは、ARCリポート「シングルユース プラスチックとそれを取り巻く国際的動き」(参考文献1の⑤)¹の続編である。

シングルユース(容器包装)プラスチックは海洋プラスチック問題の主な発生源であり、資源の有効利用の上で問題があり、かつ使用後焼却処理すると温室効果ガスの二酸化炭素(CO₂)を発生することから問題視されている。このため、国際的に3R(Reduce、Reuse、Recycle)の推進や代替材料の開発が進められている。また各国でシングルユース(容器包装)プラスチックの規制が提案されている。そして、EUプラスチック戦略(2018年1月)、G7シャルルボアサミットの海洋プラスチック憲章(2018年6月)、日本のプラスチック資源循環戦略(2019年5月)は共通して、「2030年までに容器包装プラスチックの55～60%をリユース・リサイクルすること」を目標にしている。

本リポートはシングルユース(容器包装)プラスチックを中心に、日本の廃プラスチックの処理処分がどうなっているのか、またリサイクルによる再資源化がどうなっているかについてまとめたものである。

さらに、シングルユース(容器包装)プラスチックの代表的な素材であるPETと炭化水素系プラスチック(PE・PP・PS・EPS)の2つを比較しながら、そのリサイクルの現状と課題をまとめた。そして、リサイクル率が際立って高いPETボトルについてその理由を解析した。また、日本の優れたリサイクル技術(PETやEPS・PSなど)を紹介した。

続編は「プラスチックリサイクルとPETに関する海外動向」である。

次頁に、本リポートで使用する用語・略語を載せた。

(注1) 年生産能力(〇〇万トン/年)は、略して〇〇万トンで示した。

(注2) 国、地域、共同体(EUなど)からなる場合は、簡単に国で代表した。

¹ https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-1037.pdf

用語・略語集

(1) プラスチックの名称:

PET（ポリエチレンテレフタレート）：本リポートでは PET 樹脂、PET 繊維の総称。

PET 樹脂：ボトル用、シート・フィルム用途などに使用される PET。

PET 繊維：ポリエステル繊維（長繊維と短繊維がある）。

PET 再生材（r PET）：回収 PET ボトルなどからリサイクルでつくられたもの。

PE（ポリエチレン、LDPE・LLDPE・HDPE の総称） LDPE（低密度ポリエチレン）

LLDPE（線状低密度ポリエチレン） HDPE（高密度ポリエチレン）

PP（ポリプロピレン） PS（ポリスチレン）

EPS（発泡ポリスチレン） PSP（ポリスチレンペーパー）

(2) リサイクル関連用語（日本語、順不同）

- ・ 廃プラ：廃棄プラスチックの略。回収プラスチック製品と生産・加工ロスを含む。
- ・ リサイクル：広義には、マテリアルリサイクル（材料リサイクル）、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクルを意味し、狭義にはマテリアルリサイクルだけを意味する。また、その中間としてマテリアルリサイクルとケミカルリサイクルを意味する場合もある。定義が不明確なので注意が必要。
- ・ リサイクル率：廃プラスチック A トンのうちの B トンをリサイクル工程に回し、C トンの再生材を回収した場合に、 B/A （％）をリサイクル率という場合もあるし、 C/A （％）をリサイクル率という場合もある。定義が不明確なので注意が必要。
- ・ マテリアルリサイクル（材料リサイクル）：廃プラスチックを固体または熔融状態でリサイクルし、再生材を得る方法。メカニカルリサイクルとほぼ同義語。
- ・ メカニカルリサイクル：機械的方法で廃プラスチックを材料リサイクルする方法。ケミカルリサイクルと対比して使用されることが多い。
- ・ 水平リサイクル：ある回収製品をリサイクルにより、同じ製品をつくるリサイクル。
例：回収 PET ボトルからリサイクルにより PET ボトルをつくること（ボトル to ボトル リサイクル）。

- ・カスケードリサイクル：ある回収製品をリサイクルにより、元の製品と異なる製品（元の製品より付加価値が低い場合が多い）をつくること。
- ・ケミカルリサイクル（モノマーリサイクル）：プラスチックを解重合によりモノマー化して、そのモノマーを再重合して元のプラスチックをつくるリサイクルの方法。
- ・ケミカルリサイクル：高炉やコークス炉の還元剤に使う場合やガス化・油化がある。上記のケミカルリサイクル（モノマーリサイクル）も含む。
- ・リサイクラー：リサイクル事業者のこと。
- ・容リ法（容器包装リサイクル法の略）：家庭から出るごみの 6 割（容積比）を占める容器包装廃棄物を資源として有効利用することにより、ごみの減量化を図るための法律。
- ・バーゼル条約：有害物質の国境を越えての移動と処分を規制する法律。

(3)リサイクル関連用語と略号(英語)

- ・ASR (Automobile Shredder Residue：自動車シュレッダーダスト)：回収自動車を破砕（シュレディング）した後に残る残さ（シュレッダーダスト）。ASR の一例は、プラスチックが 30～40%含まれる。残りはガラスや金属などの不燃成分である。
- ・EPR (Extended Producer Responsibility：拡大生産者責任)：OECD の拡大生産者責任ガイダンス・マニュアル（2001 年）によれば、OECD は EPR を、製品に対する製造業者の物理的および（もしくは）財政的責任が、製品ライフサイクルの使用後の段階にまで拡大される環境政策アプローチと定義する。
- ・RPF：Refuse Paper & Plastic Fuel（紙とプラスチックの混合燃料）、廃プラスチック、紙くず、木屑を粉砕し、造粒したもの。形状は直径 10～30 mm×10～50 mmのクレヨン状。セメント会社の燃料やコークス炉・高炉の原料などに使用される。

1 日本の廃プラスチックのリサイクルと処理処分の現状

1.1 概況と課題

図1に日本の廃プラスチック（以下、廃プラと略す）のマテリアルフローを示す。

プラスチック廃棄物 900万トン 内訳 ①一般廃棄物廃物 (自治体廃棄物) 407万トン ②産業廃棄物 492万トン	マテリアルリサイクル		206万トン	23%
		再生(用)樹脂輸出	(168万トン)	[19%]
		再生(用)樹脂国内投入	(34万トン)	[4%]
	ケミカルリサイクル		36万トン	4%
	コークス炉、高炉原料 油化・ガス化			
	サーマルリサイクル		516万トン	57%
		セメントなど固形燃料	(156万トン)	[17%]
		発電焼却	(281万トン)	[31%]
		熱利用焼却	(79万トン)	[9%]
	未利用		140万トン	16%
		単純焼却	(80万トン)	[9%]
		埋立	(60万トン)	[7%]

図1 日本の廃プラスチックの処理処分のマテリアルフロー(2016年)

出所：黄色地はプラスチック循環利用協会資料（引用文献2）と青色地は環境省資料（図3、2013年）。
上記資料を基に旭リサーチセンター作成。

図1に示すように、2016年の廃プラの発生量は約900万トンで、内訳は一般系（自治体系）²約400万トン、産業系³約500万トンである。なお、一般系が減少傾向にある。

廃プラの処理方法としては、マテリアルリサイクル23%、ケミカルリサイクル4%、サーマルリサイクル57%でこの3つを合わせると84%と高いリサイクル率である。サーマルリサイクルの比率が高いのが日本の特徴である。埋立は7%と欧米に比べ少なく、廃プラが確実に処理されているものとみられ、国際社会において日本が誇れる点である。

しかし課題は、①図1に示すように、2013年のマテリアルリサイクル203万トンのうちの168万トンは海外への輸出⁴（中国など海外でリサイクルしているとの前提）であり、国内のマテリアルリサイクルは34万トンと極めて少ない。国内はほとんどが回収PETボトルのリサイクルである。②中国が2017年12月に廃プラを輸入禁止したことと、タイ・マレーシアなどの東南アジア諸国も輸入禁止の方向に動いているため、その分の廃プラ

² 自治体が家庭から回収している廃棄物

³ スーパー、コンビニ、オフィス、工場などからの廃棄物

⁴ 2016年の廃プラの海外輸出は160万トン。

を国内で処理する必要に迫られている。すでに2018年の廃プラ輸出量は約100万トンに減少しており、輸出できない廃プラが国内に滞積し、廃プラの焼却処理価格が上昇している。このため価格高騰が不法投棄を引き起こす事態が危惧される。今後は、焼却ではなく、マテリアルリサイクル化が求められる。また、2021年には、バーゼル法改訂により汚染された廃プラの輸出は規制される。③サーマルリサイクルの比率が高く、その中にはエネルギー回収率が約10%と低いものもある。欧州は循環経済やプラスチック戦略の実現の中で、サーマルリカバリー（リサイクル）をマテリアルリサイクルより価値の低いものと位置付けている。④過去に廃プラは不燃物として埋立処理されてきたが、2000年頃より新型高性能焼却炉の導入により、ダイオキシンの発生なく焼却できるようになった。このため、廃プラも可燃ごみと一緒に焼却されることが多くなり、プラスチックの分別収集は後退してしまった。今後マテリアルリサイクルを增強するには良質な廃プラの確保が重要で、今まで以上に廃プラを可燃ごみ（紙や生ごみ）と分けて収集する必要がある⁵。⑤廃プラの処理処分量の16%を占める単純焼却と埋立は、今後ゼロにする努力が求められる。

1.2 プラスチック廃棄物処理の歴史

2000年以前は廃プラを焼却炉で燃やすことができなかったため、廃プラは不燃ごみとして分別収集され埋立処理されていた。それは廃プラを焼却すると焼却炉の温度が上がることやポリ塩化ビニルを焼却すると塩化水素が発生することから炉を損傷すること、さらにポリ塩化ビニルが分解してダイオキシンを発生するためであった。

しかし、年々埋立用の土地がひっ迫して、首都圏では東京湾臨海地区の埋立が完成したため大きな埋立場所を失い、大変なごみ戦争となった。行き場のない廃プラの不法投棄が頻発して社会問題になった⁶。幸い、当時開発された新型高性能焼却炉（以下、新型炉）を全国一斉に導入することにより、ダイオキシンの発生なくプラスチックを焼却できるようになった。1999年にダイオキシン類特別措置法が制定され、2000年1

⁵ 図 1、3 は廃プラがすべて単独で存在していると仮定した図である。実際には他のごみと混じっている場合があることは注意すべきことである。

⁶ 当時も現在のように生分解性プラスチックで解決できないかの声が上がったが、無理であった。

月施行されたが、これが新型炉導入を強力に促進した。新型炉導入により、ダイオキシン問題は解決し、当時高まっていたプラスチック バッシングの世論も沈静化した。一方、新型炉を採用すると廃プラを分別収集する必要性は弱まり、分別収集に力を入れない自治体が出てきている。

その後、2003年に第1次循環型社会形成推進基本計画が出され、循環型社会元年といわれる。2018年6月に第4次の同基本計画が閣議決定されている。この間、PETボトルのマテリアルリサイクル体制は確立したが、残念ながらそれ以外のプラスチックのマテリアルリサイクルは十分でない。

なお、新型炉は、人口40万人程度の都市の自治体ごみを処理するのに1基約100億円の投資が必要である。1億人のごみを処理するには、焼却炉250基で2.5兆円が必要となる。仮に、東南アジアに新型炉を導入するとすれば、大きな投資が必要となる。

一方、新型炉の寿命は約30年なので、日本では2030年ごろに新しいものに更新する必要がある。マテリアルリサイクルが重視される国際環境の中で、新型炉を更新してサーマルリサイクル依存体制をその後30年も継続することが妥当かどうかは十分検討すべき課題である。

1.3 廃プラ処理のEUとの比較

プラスチックヨーロッパは、2018年に2016年のEU28+N0/CH⁷の廃プラの処分処理データを発表した（図2と表1）⁸。これによれば、2006～2016年の10年間で、リサイクル比率は79%増加し、エネルギーリカバリーは61%増加し、埋立は43%減少した。2016年の廃プラ発生量は2,710万トンで、処分処理比率はリサイクル31%、エネルギーリカバリー42%、埋立27%である。また、EU主要国のそれらの比率を、表1に示す。ドイツは埋立てを法律で禁じているため、実質ゼロであるが、その他主要国の埋め立て比率は30～46%と非常に高い。またドイツのリサイクル率は39%と高いが、その他主要国のリサイクル率は23～37%とばらついている。

⁷ NO はノルウェー、CH はスイス。EU28+N0/CH は欧州 30 カ国。

⁸ https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf

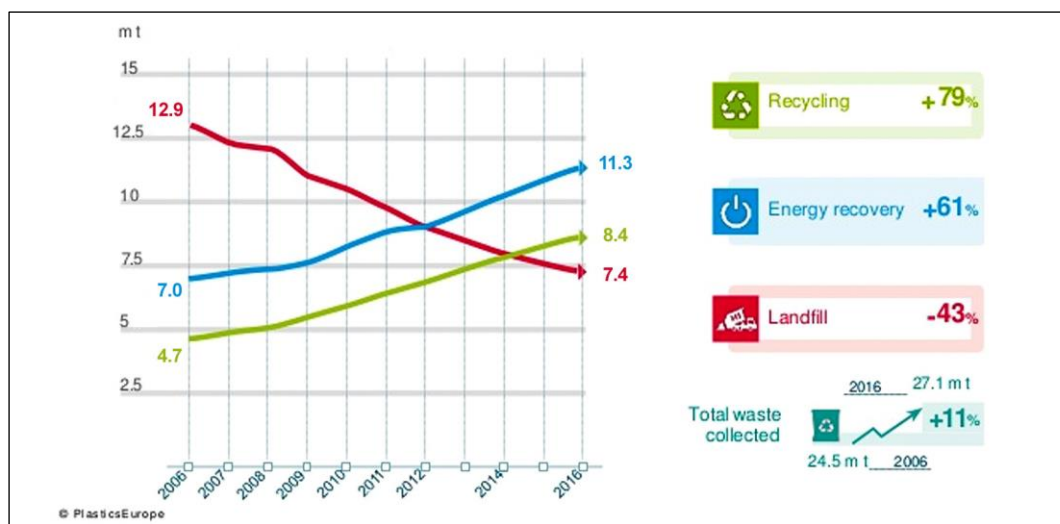


図2 EUの廃プラスチック処理の年次的変遷(2006-2016年)

出所：プラスチックヨーロッパ

表1 EUと日本の廃プラスチックの処理(2016年)

廃棄物種類	国名	廃棄物量 (万トン) (%)	リサイクル (万トン) (%)	ケミカル リサイクル (万トン) (%)	エネルギー リカバリー* (万トン) (%)	単純焼却 (万トン) (%)	埋立 (万トン) (%)
全体	日本	900 万トン 100%	206(国内 34(4%)、 輸出 168(19%)) 23%	36 万トン 4%	516 万トン 57%	80 万トン 9%	60 万トン 7%
	EU28+ NO/CH	2,710 万トン 100%	840(国内 530 (19%)、 輸出 310(12%)) 31%		1,138 万トン 42%		732 万トン 27%
	ドイツ	510	39%		61%		0.80%
	イギリス	380	32%		38%		30%
	イタリア	340	29%		34%		37%
	フランス	340	23%		44%		33%
	スペイン	230	37%		17%		46%
	ポーランド	170	27%		29%		44%
容器 包装	EU28+ NO/CH	1,670 万トン 100%	685 万トン 41%		651 万トン 39%		334 万トン 20%
	ドイツ	300	50%		50%		0.10%
	イギリス	230	46%		33%		22%
	イタリア	220	41%		45%		14%
	フランス	220	26%		45%		29%
	スペイン	150	45%		16%		38%

注：EUはエネルギーリカバリーと呼ぶが、日本ではサーマルリサイクルと呼んでいる。

出所：プラスチックヨーロッパ。ただし、日本のデータは図1。

なお、EUは日本と同様に海外輸出分をリサイクルしたものとしてリサイクル率に含めているので注意が必要である。EUのリサイクルは840万トンであるが、廃プラ輸出量は2016年310万トンなので、国内リサイクルは530万トンとなる。一方、日本は、輸出168万トン、国内リサイクル34万トンである（表1）。EUの国内リサイクル530万トンに対

し、日本の国内リサイクル34万トンは見劣りする。

プラスチックヨーロッパは、容器包装（Package）廃棄物の処理・処分の状況も発表している（表1の下部）。それによれば、EU28+N0/CHの容器包装廃棄物は1,670万トンで廃プラ全体の61%である。リサイクル率は41%と廃プラ全体より10%高い値になっていることが、注目される⁹。なお、EUの2030年の容器包装廃棄物のリサイクル目標は55%である。

1.4 廃プラの排出源と適用される各種リサイクル法

図3は、環境省が発表したプラスチックのマテリアルフローである。この図では、廃プラ940万トンの排出源が示されている。容器包装・コンテナが426万トン、家電28万トン、自動車33万トン、小型家電6万トン、建設系資材59万トン、その他製品306万トンとなっている。容器包装・コンテナ用途が最大で約45%を占めている。

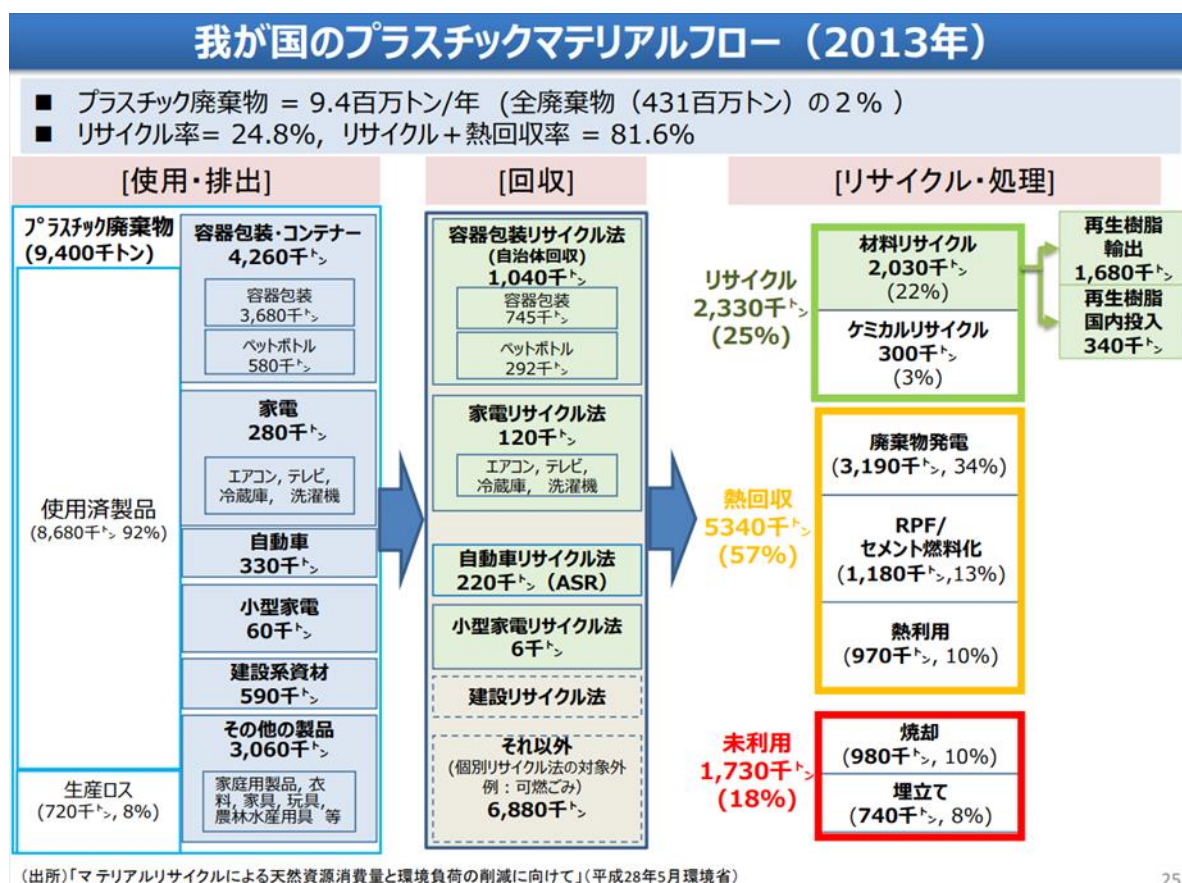


図3 我が国のプラスチックマテリアルフロー図(2013年)

出所：環境省

⁹ 廃プラ全体よりも容器包装廃棄物の方が、輸出比率が高いことが考えられる。

政府は特定の廃プラについて各種リサイクル法で処理方法を規定している。法律としては、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、自動車リサイクル法、小型家電リサイクル法、建設リサイクル法がある。シングルユース プラスチックが関係するのは、容器包装リサイクル法（以下、容リ法と略す）である。図3には、法の対象となる廃プラの数量も記載されている。容リ法対象は、自治体が回収するペットボトル（29万トン）と容器包装（シート、トレイなど、75万トン）である。容器包装廃棄物は主にマテリアルリサイクルやケミカルリサイクル（高炉やコークス炉の原料、ガス化、油化など）に使われている。日本容器包装リサイクル協会の2018年・年次リポート¹⁰によれば、2017年度の市町村からの引き取り量は65万トンで再商品化製品販売量は43.9万トンである。再商品化製品販売量の内訳は、パレットや再生樹脂などのマテリアル（材料）リサイクル製品が15.8万トン（36.1%）、ケミカルリサイクルが28万トン（63.9%）となっている。図4から読みとると、パレットの量は約6万トンである。なお、容器包装廃棄物から再商品化の収率を約70%とすると、15.8万トンのリサイクル製品をつくるために23万トンの廃棄物を使用することになる。

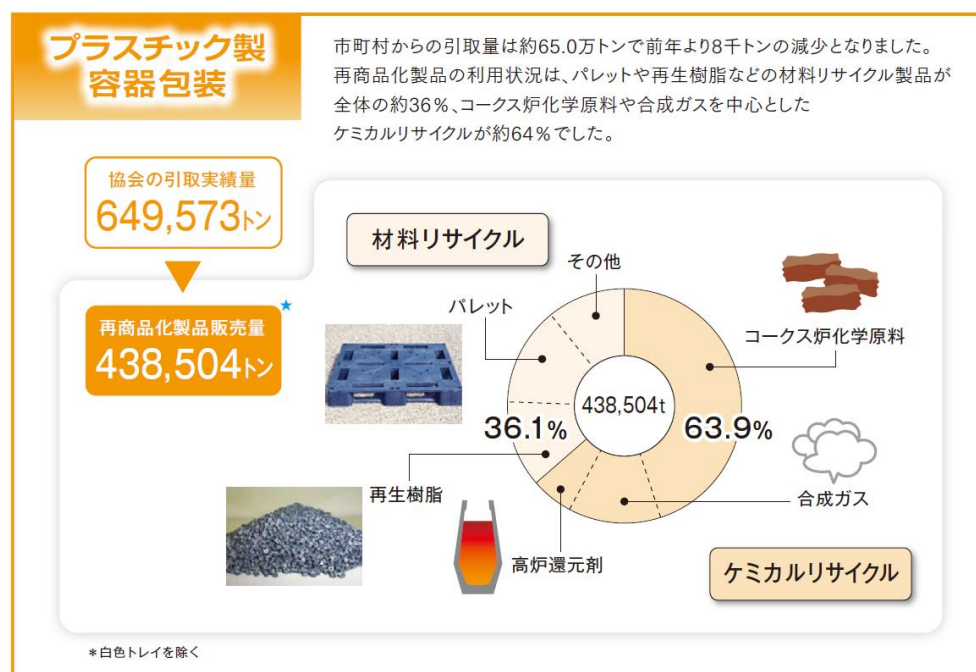


図4 容器リサイクル法対象容器包装廃棄物の再商品化

出所：日本容器包装リサイクル協会 2018年年次レポート

¹⁰ 2018 年年次リポート <https://www.jcpa.or.jp/report/tabid/577/index.php>

一方、家電リサイクル法対象の廃プラは約12万トンである。また自動車リサイクル法の対象の廃プラは22万トン（ASR¹¹など）である。ASRのマテリアルリサイクルは試みられているが¹²、現状はほとんどが焼却処理されている。

1.5 廃プラのリサイクルと処理の方法

(1) マテリアル（材料）リサイクル、(2) ケミカルリサイクル、(3) サーマルリサイクル、(4) 未利用（単純焼却、埋立）について述べる。

(1) マテリアルリサイクル

(2016年、206万トン（23%）)

① プラスチックの種類別マテリアルリサイクル比率

プラスチック循環利用協会のプラスチック別の廃棄物量とマテリアルリサイクル量の別々のデータを組み合わせて、プラスチック種類別のリサイクル比率を求めた（表2）。

表 2 日本のプラスチック別の廃棄量、マテリアルリサイクル量、リサイクル比率

日本（2017）			
プラスチック名	廃棄物量	マテリアルリサイクル量	リサイクル比率
PETボトル	68万トン	53万トン	78%
PE	297万トン	33万トン	11%
PP	201万トン	40万トン	20%
PS・ABS・AS	109万トン	20万トン	18%
PVC	69万トン	31万トン	45%
その他	154万トン	29万トン	19%
合計	898万トン	206万トン	23%

プラスチック循環利用協会資料を基に旭リサーチセンター作成。

PETボトルは高いリサイクル率（78%）であるが、PE・PP・PSのリサイクル率（11～20%）は低い。

② 日本のマテリアルリサイクルのマスバランス（2016年）

これまでの表2、図3、4のデータに加えて、図5のデータ（PETボトル、国内リサ

¹¹ ASR(Automobile Shredder Residue:自動車シュレッダーダスト):使用済み自動車を破砕(シュレディング)した後に残る残さ(シュレッダーダスト)。ASRの一例は、プラスチックが30～40%含まれ、残りはガラスや金属などの不燃成分である。

¹² 2016年に、環境省によるASRのプラスチックマテリアルリサイクルの取組み(実施は豊田通商)が報告されている(https://www.env.go.jp/recycle/car/pdfs/h27_report01_mat05.pdf)。

イクル35万トンと輸出リサイクル26万トンで合計61万トン）を使って、表3の右側のプラスチック種類別マスバランスを作成した。

結論からすると、PE・PP・PSなどは輸出が多く、国内のリサイクルは16～23万トン程度と非常に少ないということである。

また、マテリアルリサイクル原料（廃プラ排出源）は、生産・加工品ロスが72万トンと廃プラ134万トンからなっている。生産・加工品ロスは単一素材でプラスチックの種類が明確なものが多いのでリサイクルしやすいが、その多くが輸出されていると推定される。

表3 日本のマテリアルリサイクルのマスバランス

マテリアルリサイクル用 原料(排出源)		→		マテリアル リサイクル量	うち国内 リサイクル	うち輸出 リサイクル	
生産・加工品 ロス	72		PETボトル	53(61)	35	26	図5
廃プラ	134		PE	33	16～23 (図4)	130～137	
			PP	40			
			PS・AS・ABS	20			
			PVC	31			
			その他 (小計)	29 〔153〕			
合計	206	合計	206(202)	34	168	図3	
出所 プラスチック循環利用協会			表2				

各資料より旭リサーチセンター作成

なお、表3は2016年のデータをベースにしたもので、中国の輸入禁止政策から2018年より輸出量が大幅に減少しているのでマテリアルリサイクルのバランスは大きく変わるものと思われる。今後、国内のマテリアルリサイクル、特に、PE、PP、PSのリサイクルが増えることが期待される。

(2) ケミカルリサイクル(モノマーリサイクル)

ケミカルリサイクル（モノマーリサイクル）としては、PETを解重合してモノマーに戻し、これを重合してPETを再生する技術がよく知られている。現在は数量的にはわずかである。これについては、「2.3 日本の注目されるリサイクル技術」の項で述べる。

また、ポリスチレン（PS）、ポリメチルメタアクリレート（PMMA）は熱的に解重合しやすくモノマー収率が高いが、実用化はほとんどされていない。最近、PSのモノマーリサイクルの実用化研究が欧米で再開されている。続編で紹介する。

一方、PEとPPは解重合によるモノマー収率が低いので、モノマーリサイクルには適していない。ガス化や油化が検討されている。

重合は発熱反応で、表4に示すようにエチレンやプロピレンは大きな重合熱が発生する¹³。解重合はその逆反応なので、重合熱と同じ熱量の吸熱となる。したがって、解重合を進めるには加熱が必要で、その分エネルギー的に不利である。

仮に、PEやPPをモノマーに定量的に解重合できるとすれば、解重合には大きな加熱が必要となる。一方、PSとPMMAの重合熱は小さいので、解重合の際の吸熱はその分小さく、あまり問題にならない。

表 4 ビニルモノマーの重合熱

モノマー	モノマー 分子量	ポリマー	モノマーの重合熱		モノマー の状態	ポリマー の状態	燃焼熱
			J/mol	kcal/kg			kcal/kg
エチレン	28	PE	101.6	867	気体	固体	PE 11,000
プロピレン	41	PP	104.6	610	気体	固体	PP 10,500
スチレン	104	PS	70.1	161	液体	固体	PS 9,600
塩化ビニル	62.5	PVC	71.4	273	液体	固体	PVC 5,760
メタクリル酸メチル	100	PMMA	57.1	136	液体	固体	na
酢酸ビニル	86	PVA _c	89.5	249	液体	固体	na

注：1joule=0.239calで換算。ビニルモノマーとは、CH₂=CHXで表されるモノマー（X=H（エチレン）、X=CH₃（プロピレン）、X=Ph（スチレン）、X=Cl（塩化ビニル）など。燃焼熱は参考（重合熱に比べて燃焼熱は大きい）。

出所：弓削耕ら 高分子 19, 84（1970）

ポリマーの熱分解反応のメカニズムは、化学的にポリマー鎖が切断してラジカルが生成（ $-\text{CH}_2-\text{CHX}- \rightarrow -\text{CH}_2\cdot + \cdot\text{CHX}-$ ）することから始まる。切断してできた末端のラジカルが安定的で、末端から順次モノマーに分解するのがPSやPMMAである。一方、PEやPPは、切断した末端のラジカルが不安定で、ラジカルが高分子鎖上をランダムに移動（連鎖移動）し、そこでポリマー鎖の分解が起こる。このため、分子鎖長（分子量）分

¹³ エチレンなどのビニルモノマーの重合熱は、モノマーの二重結合が開裂して一重結合が生成することに基づく発熱である。したがって、おおざっぱには、1モルのビニルモノマーの重合熱は同じである。一方、1kg当たりの重合熱はビニルモノマーの分子量に反比例する。したがって、表4に示すように、分子量が小さいエチレンとプロピレンのkg当たりの重合熱が非常に大きい。一方、スチレンやメタクリル酸メチルは分子量が大きいためkg当たりの重合熱は小さい。

布の広い分解生成物となり、モノマー収率は極めて低い。なお、PEやPPの熱分解も吸熱反応である。

(3) ケミカルリサイクル

(2016年、36万トン (4%))

実用化されているケミカルリサイクルには廃プラの高炉やコークス炉の原料としての利用とガス化や油化が含まれる。

① 高炉用とコークス炉用原料

高炉用原料とは、還元剤であるコークスの一部を廃プラで数%置き換えるというものである。PE・PP・PSなどの炭化水素系プラスチックは炭素と水素から成っているので、酸素と反応してそれぞれ二酸化炭素(CO₂)と水(H₂O)になり、還元剤として働く。高炉は2000℃の高温である。

コークス製造用コークス炉の場合も廃プラを還元剤として原料石炭中に数%混ぜて使用される。1200℃のコークス炉で、廃プラは炭化水素油、コークス、コークス炉ガスに転換され、有効に利用される。

容り法対象廃プラの使用量は、コークス炉用(約21万トン)が高炉用(2万トン)より多い(図4)。コークス炉用および高炉用には、固体燃料(RPF)が使用される。RPFとは紙とプラスチックを粉砕して、これをクレヨン状に固めたものである¹⁴。

最近の経団連のレポート(循環型社会形成自主行動計画)¹⁵によれば、製鉄会社は

¹⁴ RPF: Refuse Paper & Plastic Fuel(紙とプラスチックの混合燃料)、廃プラスチック、紙くず、木屑を粉砕し、造粒したもの。形状は直径10~30mm×10~50mmのクレヨン状。セメント会社の燃料やコークス炉、高炉の原料に使用される。

¹⁵ 循環型社会形成自主行動計画 2019年4月16日 一般社団法人 日本経済団体連合会
—2018年度フォローアップ調査結果—

<個別業種編> 鉄鋼(日本鉄鋼連盟): 廃プラスチック、廃タイヤの利用

- ・1997年に政府から産業界に対して地球温暖化対策拡充に向け自主行動計画の追加的取組みの要請がなされたことを受け、鉄鋼連盟では、政府等による集荷システムの整備を前提に、年間100万トンの廃プラスチック等の製鉄プロセスでの利用を目指すこととした。このため、鉄鋼業界全体で約400億円の設備投資を行っている。
- ・しかしながら、これまでに鉄鋼業界が要望してきた集荷システムの整備や入札制度における材料リサイクル優先の見直しが進んでいない等の要因により、鉄鋼業における廃プラスチック、廃タイヤの2017年度の利用実績は約47万トンと前年比微増にとどまっている。

鉄鋼(日本鉄鋼連盟)の目標

政府等による集荷システムの確立等を前提に、廃プラスチック等の製鉄所でのケミカルリサイクルの拡大(100万トン活用)を行うことで、200万トン-CO₂削減を目指す。(注:100万トン活用には廃タイヤを含む)

http://www.keidanren.or.jp/policy/2019/032_kobetsu.pdf

高炉・コークス炉用に年間100万トンの廃プラを処理することを目指して、過去400億円の設備投資を行ってきた。しかしその設備能力に合った廃プラの供給がないため、現在は年間47万トンしか処理できていない。今回、これを拡大して年間100万トン処理を目指す目標を設定した。

② ガス化

一例としてオリックス資源循環の寄居工場（埼玉県）がある。処理能力450トン/日で、廃プラや一般ごみを2000℃の高温反応炉で酸素を吹き込み熱分解して合成ガス（COとH₂）にした後、これを燃料に発電している。この施設は埼玉県とオリックス資源循環がPFI¹⁶の枠組みで2006年につくられたものである。設備費は発電設備を含め約200億円と大きい。発電した電力は工場内で使用されている。

また、オリックス資源循環 寄居工場内で、積水化学は微生物の働きを使って合成ガスをエタノールに転換する発酵プロセスの開発を行なった。パイロットを建設し、2017年までの3年間テストを実施した¹⁷。原料の合成ガスは寄居工場から供給を受けるので、廃プラや一般ごみからエタノールができることになる。パイロット運転は終了したが、実用化プラント建設の発表はまだない。なお発酵プロセス技術と使用されている微生物は、米国ベンチャーのランザテック（LanzaTech）の開発によるものである¹⁸。

別のガス化プロセスとしては、昭和電工の川崎工場がある。廃プラを原料にして、2段階で酸素を供給しながら分解・ガス化し（1段目600～800℃、2段目1300～1500℃）、生成した合成ガス（COとH₂）をシフト反応により水素（H₂）ガスに転換し、隣接したアンモニア工場に原料として供給している。基本技術はNEDOの支援を受けて宇部興産が開発したものである。

¹⁶ PFI(Private Finance Initiative)とは、公共施設に民間の資金やノウハウを活用して、民間主導で運営を行う手法。

¹⁷ https://www.sekisui.co.jp/news/2017/1314802_29186.html

¹⁸ LanzaTech は発酵エタノールからジェット燃料を製造する技術を開発している。ANA は LanzaTech と同社技術により2021年以降に米国にて製造・供給を予定する、エタノールを原料としたバイオジェット燃料の購入について合意した。共同開発協定を締結した。(2019. 6.14) <https://www.ana.co.jp/group/pr/201906/20190614.html>

③ 油化

廃プラを熱分解して熱分解オイルにする研究は、過去長年試みられたが失敗したものが多い¹⁹。廃プラが思うように集まらなかったり、コストが合わなかったり、技術が完成しなかったり、熱分解オイルを最終製品として販売する場合に好適な市場や用途が見つからなかったためである。熱分解反応をコントロールして市場の要求するスペックの熱分解オイルをつくることは技術的に難しいと考えられる。

それとは別のアプローチとして、熱分解オイルを石油精製の原料に加えることや、ナフサクラッキングの原料に加える方法がある。これについても過去取り組まれてきたが成功しなかった。前者は、日本ですでに実施されていると聞くが、量的には少ない。またナフサ原料については、BASFが実用化テストを実施したことが2018年12月に発表された²⁰。BASFは以前にも試みたが成功しなかったが、新技術でブレイクスルーしたものと思われる。

また、最近三井化学と日産自動車は、自動車由来の廃プラを熱分解して製造した熱分解オイルを、ナフサと混ぜてナフサクラッキング（エチレンクラッキング）する開発を行っている²¹。ねらいはBASFと同じである。

¹⁹ https://www.nissan-global.com/JP/ENVIRONMENT/A_RECYCLE/R_FEE/SAISHIGEN/PDF/report_automobile_waste_plastic_liquefaction_technology.pdf

²⁰ <https://www.basf.com/jp/ja/media/news-releases/global/2018/12/p-18-385.html> の抜粋
BASF（本社：ドイツ ルートヴィヒスハーフェン）は「ChemCycling プロジェクト」を通して、プラスチック廃棄物の再生利用において新境地を開きます。ケミカルリサイクルは、複合素材のプラスチックや未洗浄のプラスチックなど、現在は再生利用されていないプラスチック廃棄物を再利用するための革新的な方法を提供するものです。BASF のフェアブントが、ChemCycling に理想的な条件を提供 BASF は、生産工程の初期の段階で、プラスチックを油化したオイルを生産フェアブント（統合生産拠点）に投入します。BASF は、パートナーである Recenso 社（ドイツ）からこの試作品の原料を入手しています。代替手段として、プラスチック廃棄物から作られる合成ガスも使用することが可能です。10 月、ルートヴィヒスハーフェンの BASF 拠点にあるスチームクラッカーに、初回分のオイルを投入しました。スチームクラッカーは、フェアブント生産（統合生産）における出発点です。スチームクラッカーは、摂氏約 850 度の温度で原料を分解します。このプロセスでは主にエチレンとプロピレンが生成されます。

²¹ 研究報告「自動車廃プラスチック油化技術の開発」を発表した。報告の実施期間は、2017 年 8 月 1 日～2018 年 3 月 31 日である。
https://www.nissan-global.com/JP/ENVIRONMENT/A_RECYCLE/R_FEE/SAISHIGEN/PDF/report_automobile_waste_plastic_liquefaction_technology.pdf

(4) サーマルリサイクル

(2016年、516万トン (57%) : 東京ドーム4杯分)

サーマルリサイクルには、セメント燃料、発電焼却、熱利用焼却が含まれる。セメント燃料などに固体燃料（RPFなど）が使用される。前述のように、RPFとは紙とプラスチックを粉砕して、これをクレヨン状に固めたものである。2017年のRPFの需要は140万トン、生産は130万トンである²²。紙とプラスチックの比率で熱量をコントロールできる。

発電焼却は、焼却温度が高いほど発電効率が高くなり、サーマルリサイクルの効率が上がる。日本の焼却発電所の効率は、高いものから低いものまで幅広く分布している（参考文献2を参照）。

前述のように、現行の焼却炉は廃プラ処理とダイオキシン対策を第一の目的に約20年前に建設されたものであり、サーマルリサイクル（エネルギーリカバリー）を第一目的につくられたものではない。したがってエネルギー効率の低いものや小規模発電所がある。

(5) 未利用

(2016年、140万トン (16%) : 単純焼却80万トン (9%)、埋立60万トン (7%))

未利用140万トンは削減することが求められる。マテリアルリサイクルかそれができない場合は、サーマルリサイクルを行うことが求められる。

²² 日本 RPF 工業会ホームページ <http://www.jrpf.gr.jp/rpf-6>

2 日本のリサイクル技術と事業

2.1 日本のPETの高いリサイクル率

前述のように、日本の PET ボトルのリサイクル率は 78%と高く、PP（リサイクル率 20%）、PS（同 18%）、PE（同 11%）よりはるかに高い（表 2）。リサイクル率が全体に低い米国においても PET のリサイクル率は約 20%と高い（表 5）。なお、米国では HDPE のリサイクル率が 10%と高いことが、注目される。HDPE 製ボトルのリサイクルと推定される。

表 5 米国におけるプラスチック別のリサイクル量とリサイクル率

米国 (2012)			
樹脂名	生産量	マテリアル リサイクル量	リサイクル 比率
PET	450万トン	88万トン	19.50%
HDPE	550万トン	57万トン	10.30%
LDPE	740万トン	39万トン	5.30%
PP	720万トン	4万トン	0.60%
PS	220万トン	19万トン	0.90%
PVC	90万トン	0万トン	0.00%

出所：C&EN（元資料 EPA）

また、表 6 に示すように日本の PET ボトルのリサイクル率と回収率は、欧米に比べてもはるかに高い。協栄産業やエフピコの優れた PET リサイクル技術と事業が貢献している（表 8）。日本の PET ボトルは、資源循環をほぼ実現しているといえることができる。現在はボトル to ボトルはまだ 8%であるが、これを高めるのが課題である。

なお、日欧米はいずれも回収 PET の中国などへの輸出分を再資源化量（リサイクル量）に含めているので、リサイクル率が見かけ高くなっていることに注意が必要である。今後、各国とも国内でのマテリアルリサイクルが必要となる。

PET ボトル販売量は日本 58.7 万トン/年、欧州 320.7 万トン/年、米国 268.2 万トン/年で、合計すると約 650 万トンとなる。また、PET 再資源化量を合計すると、約 240 万トン/年になる。

表 6 PET ボトルのリサイクル率

		2012年	2017年
日本	リサイクル率 (%)	85	84.8
	回収率 (%)	90.5	92.2
	販売量(千トン)	583	587
	回収量(千トン)	527	541
	再資源化量(千トン)	495	498
欧州	リサイクル率 (%)	37.5	41.8
	回収率 (%)	52.3	61.5
	販売量(千トン)	3,024	3,207
	回収量(千トン)	1,675	1,972
	再資源化量(千トン)	1,202	1,340
米国	リサイクル率 (%)	21	21
	回収率 (%)	31	29
	販売量(千トン)	2,534	2,682
	回収量(千トン)	779	783
	再資源化量(千トン)	536	561

		2017年
ドイツ	リサイクル率 (%)	54.5
	回収率 (%)	92.7
イギリス	リサイクル率 (%)	18.7
	回収率 (%)	58.3
フランス	リサイクル率 (%)	47
	回収率 (%)	57.4

注1. リサイクル率の分母をPETボトル販売量に統一して、推進協議会で計算し直している。

注2. 元データの出所 米国=NAPCOR、欧州=PETCORE、2017年は、Wood Mackenzie、日本=PETボトルリサイクル推進協議会。

出所：PETボトルリサイクル協議会

2.2 日本のPET樹脂のマテリアルフローの現状と将来

(1)PET樹脂のマテリアルフロー

PET ボトルリサイクル推進協議会が作成したマテリアルフローを図5に示す。

図の左から、ポイントになる点を箇条書きにすると、

- ① 日本のPET樹脂の供給は184万トンで、その内訳は国内生産32%、輸入53%、国内再生樹脂15%となっている。PE・PP・PSに比べ、輸入品と国内再生樹脂の比率が高いことが注目される。

用途は、ボトル37%、繊維13%、食品包装を中心とするシート18%、非包装用（工業用など）フィルム18%、樹脂輸出5%、その他9%となっている。

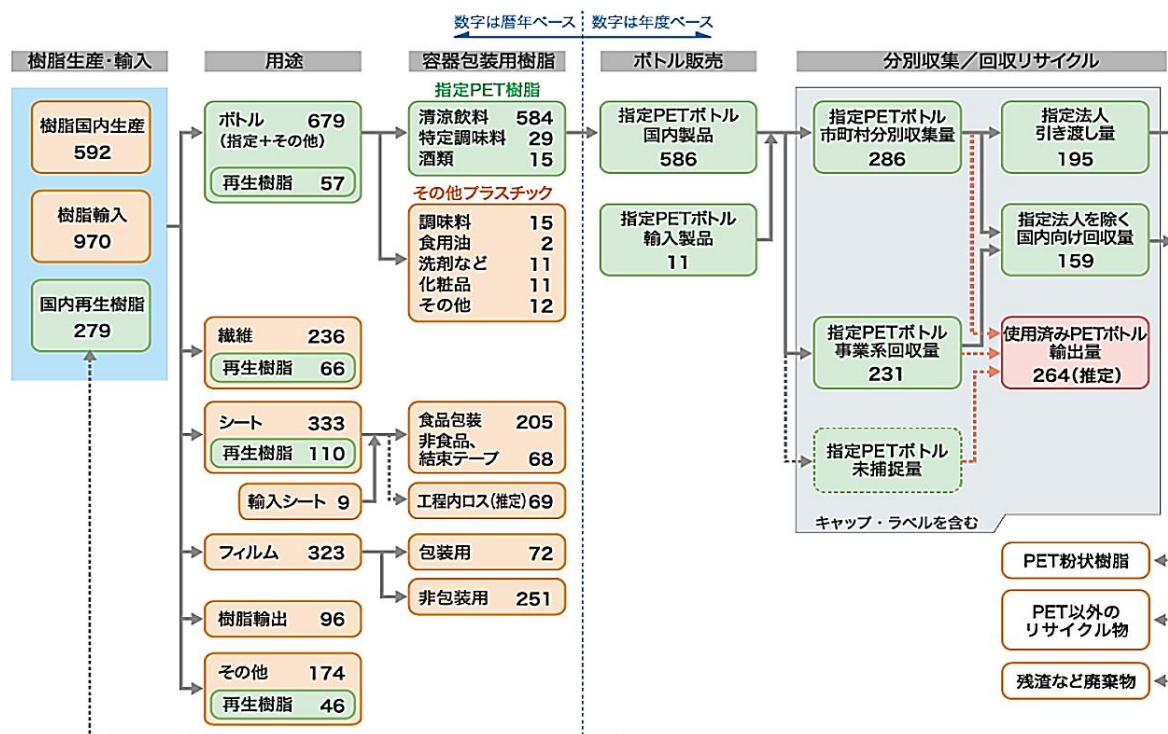


図 5 PET 樹脂のマテリアルフロー (2017 年度)

出所：PET ボトルリサイクル推進協会 http://www.petbottle-rec.gr.jp/data/materia_flow.html

ボトル用途における再生材の占める割合は、 $57/679 \times 100 = 8.4\%$ とまだ低い値である。それ以外の再生材の割合は、繊維用途で 28% ($66/236$)、シート用途で 33% ($110/333$)、その他用途で 26% ($46/174$) である。いずれも再生材比率が高いことが注目される。回収ボトルからカスケードリサイクルで繊維、シート、その他用途に使用されていることになる。

仮に、これまで輸出されている回収 PET ボトルを全量日本でリサイクルすると、当面はリサイクルしやすいシート、繊維、飲料用以外のボトル（シャンプーボトルなど）の再生品が急増することになるであろう。そうなった場合には、PE・PP・PS のシートやボトルとの競合が激しくなる可能性がある。

- ② 容器包装リサイクル法（以下容リ法）で規定される PET ボトルやその原料の PET 樹脂は、それぞれ指定 PET ボトル、指定 PET 樹脂と呼ばれる。
- ③ 指定 PET ボトル全販売量 59.7 万トン（58.6+1.1 万トン）のうち、全回収量は 51.7 万トン（28.6+23.1 万トン）であるので、回収率は 86.6% となる。高い回収率である。このうちの 28.6 万トンは市町村（自治体）が家庭などから収集するボトルであり、容

リ法の適用を受けるものである。残りの 23.1 万トン事業系回収（産業廃棄物系）であり、容リ法に直接規制されるものではない。

- ④ 回収 PET ボトルのうち、国内でリサイクル処理されるものは $19.5 + 15.9 = 35.4$ 万トン（全体の 57%）である。一方、中国などに輸出されリサイクル処理されるものが 26.4 万トン（全体の 43%）ある。海外への輸出が難しくなったので、今後この数字は大きく変わる。

(2) 容リ法による回収廃プラの入札価格

自治体系回収 PET ボトルは、主として容リ法に基づき指定業者が入札して購入する（事業系回収 PET ボトルは指定業者以外でも購入できる）。2018 年の自治体系回収 PET ボトルの入札価格は有償の 33 円/kg である（表 7）。指定法人引き渡し量は 19.5 万トン（図 5）なので、入札総金額は 64 億円になる。この 64 億円はボトル収集を行っている自治体に還元される。

半面、回収 PET ボトル以外の容器包装廃棄物は、表 7 にあるように 50 円/kg 支払って指定業者に引き取ってもらう。引き取り量は 65 万トンなので、その総額は 325 億円と計算される。そのための資金は、EPR（拡大生産者責任）の考え方で食品・飲料メーカーと容器包装メーカーが拠出することが容リ法で決められている。2018 年のメーカー負担額は他の品目も含め総額 380 億円になる²³。

分別回収された単一廃棄物の PET ボトルには 64 億円の価値が生まれ、一方プラスチック混合物の容器包装廃棄物は 325 億円の処理費（マイナスの価値）が発生していることは対照的である。

表 7 容リ法に基づいて回収された廃プラの入札単価と総額

	入札単価 (単位 円/kg)				引き取り量 (万トン)	入札総額 (単位 億円)
年度	2015	2016	2017	2018	2018	2018
プラスチック	39	43	48	50	65	325
PET ボトル	-29	-26	-40	-33	19.5	-64

出所：日本容器包装リサイクル協会

https://www.jcpra.or.jp/recycle/related_data/tabid/483/index.php

²³ 日本容器包装リサイクル協会、2018 年年次リポート。

<https://www.jcpra.or.jp/report/tabid/577/index.php>

中国の廃プラ輸入禁止政策により、これまで有償で輸出していた回収 PET ボトルは国内で処理しなければならない。そして、当面焼却処理すると、有償による収入が無くなり、かつ焼却処理費が発生して、二重の経費増となる。これまで自治体は容リ法対象の回収 PET の一部を直接中国に有償で売却していたので、その分を指定 PET ボトルとして指定法人に買取を求めることになろう。そうすると、入札総額は増え、EPR によるメーカーの負担額も増えるであろう。

2.3 日本の注目されるリサイクル技術と事業（PETなど）

日本の注目される技術と事業として、協栄産業の PET のメカニカルリサイクル、日本環境設計の PET のケミカル（モノマー）リサイクル、エフピコが多層化技術を組み込んだ PET や PSP（ポリスチレンペーパー）のメカニカルリサイクルがある（表 8）。

表8 日本の注目されるリサイクル技術と事業（PETなど）

リサイクラー	技術	リサイクル原料	再生材用途	開発時期 事業化・工場
協栄産業 (サントリーとの 共同開発)	メカニカルリサイクル ボトル to ボトル(2011 年) FtoP ダイレクトリサイクル (2018 年) (欧州機械メーカー2 社との 共同開発)	使用済み PET ボトル	PET ボトル (100%リサイクル : 水平リサイクル)	栃木、小山、 MR ファクトリー 工場ほか 8 万トン/年 (栃木県)
元ペットリファイン テクノロジー (2018 年 3 月に株主 は日本環境設計に)	ケミカルリサイクル (モノマーリサイクル)	使用済み PET ボトル	PET ボトル ほか	工場稼働 2004 年 2 万トン/年 (川崎市)
日本環境設計	ケミカルリサイクル (モノマーリサイクル)	使用済み PET ボトルと PET 衣料 (良品計画、イオン リテール参画の Bring 計画)	PET ペレット (ボトル、シート、 繊維用など)	工場稼働 2018 年 2,200 トン/年 (北九州市)
エフピコ	メカニカルリサイクル			
	ボトル to トレー	使用済み PET ボトル	食品用 PET 透明容器	関東、中部、 九州工場 2018 年度 5 万トン/年
	トレー to トレー	使用済み PSP (ポリスチレン ペーパー)トレー	食品用 PSP トレー	6.1 万トン/年
	トレー to トレー	使用済み 透明容器	食品用 透明容器	2.2 万トン/年

注：エフピコの PSP トレーと透明容器の能力には、再生材を使っていないものも含む。
各種資料より旭リサーチセンター作成。

また、研究段階の技術として、福岡大の八尾滋教授の PP・PE 再生材の機械的物性を物理的手法でバージンプラスチック並みに修復する技術が注目される。

(1) 協栄産業のメカニカルリサイクル技術と事業

リサイクラーの協栄産業はサントリーと提携して、再生材100%のボトル to ボトル（以下、100%ボトル to ボトル）技術を開発し、さらに2018年にそのプロセスを簡略化したFtoP（Flake to Preform）ダイレクトリサイクルの新技术を開発した²⁴。

再生材100%を使用するPETリサイクルのイメージを図6に示す。リサイクルロスがなければ、バージン樹脂は必要なくなる。これは、樹脂製造メーカーにとって衝撃的なことである。新しい資源循環社会の幕開けである。

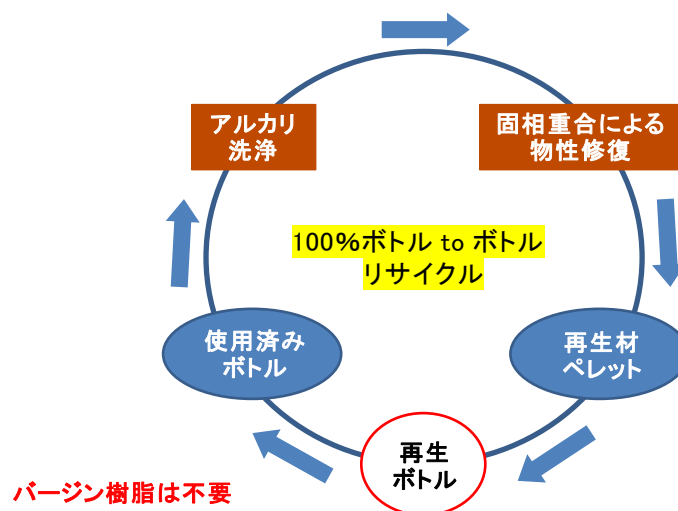


図 6 再生材 100%使用の PET のボトル to ボトル技術

各種資料より旭リサーチセンター作成。

協栄産業は栃木県小山市に本社を置くリサイクラーで、1985 年に現 古澤栄一社長が設立した会社である。栃木県内の栃木工場、小山工場、MR ファクトリー（Mechanical Recycle の専用工場）と東日本 FtoP ファクトリーがある。そのほかに子会社としてジャパンテック株式会社と東京ペットボトルリサイクル株式会社を有している。製品とし

²⁴ <https://www.suntory.co.jp/news/article/13135.html>

て、ボトル用、フィルム用、シート用（卵パックなど）、長繊維・短繊維用の各 PET 再生材（ペレット形状とフレーク形状）を販売している。回収 PET ボトルの処理能力は合計で年間 8 万トンである。

協栄産業とサントリーは 2018 年 8 月に東日本 FtoP ファクトリー内にある「FtoP 製造ライン」で年間約 3 億本の PET ボトルの生産を開始した。また、2020 年春に能力を倍増して約 6 億本にすることを 2019 年 3 月 29 日に発表した（1 本 25g とすると、6 億本は 15,000 トン）。

100%のボトル to ボトル技術と FtoP 技術の製造ルートを図 7 に示す。

メカニカルリサイクルプロセス（協栄産業－サントリー）	
原料：使用済みPETボトル（本体：PET樹脂、キャップ（PE、PP）、ラベル（スリーブ）（PE・PP・PS）	
（前段）	ベール→ 光学識別による選別（塩ビボトル除去、カラーボトル選別）→ 金属除去→ →手選別→粉碎→ ラベル除去→ アルカリ洗浄→ フレーク→ ①または②
（後段）	① 100%・ボトル to ボトル技術（2012年に再生材をサントリーに供給開始） フレーク→〔（溶融押出し）→非晶ペレット→（結晶化）→（固相重合）→（溶融押出し）→非晶ペレット→（溶融成形（射出成形））〕→プリフォーム→（ブロー成形）→PETボトル ② FtoPダイレクトリサイクル技術（2018年開発） フレーク→〔（結晶化）→（固相重合）→（溶融成形（射出成形））〕→プリフォーム→（ブロー成形）→PETボトル 注：①の〔 〕のプロセスが②の〔 〕のプロセスに簡略化された。

図 7 協栄産業&サントリーの PET のメカニカルリサイクルプロセス

出所：前段は協栄産業のパンフレット。

後段はサントリー資料を基に旭リサーチセンターが作成。

技術のキーはアルカリ洗浄と固相重合による物性の修復技術である。アルカリ洗浄は PET 表面の飲料などの汚れを除去するもので、この操作により表面のクリーン度が保証され、飲料ボトル用原料としての使用が可能となる。PET 繊維のアルカリ処理は減勢と呼ばれ、繊維の風合いを改良する手法としてよく知られている。アルカリ処理であるから、PET の微量の溶解や加水分解による分子量の低下が起こっているものと考えられる。また回収 PET は劣化で分子量が低下している。これらの分子量低下は、固相重合で分子量をアップすることにより修復できる。

図 7 の前段は回収 PET ボトルのベールから、再生フレークをつくるプロセスである。ここではボトルのキャップやラベルを密度差を利用して選別し、アルカリ洗浄を行う。

後段の 100% のボトル to ボトル技術では、フレークをいったんペレット化した後加熱結晶化してから、PET のガラス転移温度と結晶融点の中間の適切な温度（220～235℃）で重合される（参考文献 1 の⑤の 1.4 PET の重合法を参照）。固相重合した PET はペレタイザーで溶融した後に、冷却して非晶性の透明ペレットにする。このペレットを射出成形してボトル製造用のプリフォームをつくる。

後段の FtoP ダイレクトリサイクル技術では、図 7 に示すように従来の「フレークの溶融押出しによる非晶ペレット化→加熱結晶化→固相重合→溶融押出しペレット化（非晶化）→溶融成形（射出成形）によるプリフォーム作成工程」を、フレークの形状のまま加熱結晶化・固相重合し、そのフレークを直接溶融成形（射出成形）によりプリフォームを作成する。2 回の溶融押出しペレタイズ工程が省略されるため、プリフォーム製造による二酸化炭素（CO₂）の発生は従来法に比べ 25%削減されるという。また、熱履歴が減ることは、再生材の物性にも好ましい。

FtoP ダイレクトリサイクル技術はイタリアの SIPA 社、オーストリアの EREMA 社と共同開発したものである。

最近、サントリーがメカニカルリサイクルの拡大とともに、新たにバイオマスベースの PET ボトルを導入する基本方針を発表した（2019 年 5 月 31 日）。バイオ PET としては既存の PET30²⁵の導入だけでなく、100%バイオマスベースの PET（PET100）の導入も計画している。サントリーは米国のベンチャーのアネロテック社と共同でバイオマスベースの高純度テレフタル酸（PTA）の製造プロセスを開発中であり、これに成功すれば PET100 が実現する。

なお、マテリアルリサイクルとバイオマスプラスチックは競合するものではなく、両者を組み合わせることは相乗効果がある。例えば、回収バイオ PET ボトルをリサイクルすれば、少ない量のバージンバイオ PET で多くのバイオ PET ボトルを製造することがで

²⁵ PET30 はコカ・コーラが PET ボトルにすでに採用している。PET30 の原料の MEG はバイオマスベースで、PTA は石油化学品である。PET 中の MEG 由来が 30 重量%なので PET30 と呼ばれる。

きる。現在、バイオ PET は既存の PET より価格が高いため、少ない量でバイオマス化が可能となることはメリットがある。ただし、バイオ PET は既存の PET と特性は変わらないので、海洋プラスチック問題の解決には全く寄与しない点には注意が必要である。

(2) 旧ペトリファインテクノロジーのアイエス法（ケミカル リサイクル）

旧ペトリファインテクノロジー（株主・東洋製缶）はアイエス法と呼ばれる PET のケミカルリサイクル（モノマーリサイクル）技術を開発し、2004 年に川崎に約 100 億円の設備投資をして能力 2 万トン/年のリサイクル工場を建設した。PET をモノエチレングリコール（MEG）で解重合してモノマー化して、これを重合して PET を再生する。日本環境設計は 2018 年にペトリファインテクノロジーを東洋製缶から買収した。図 8 にアイエス法の工程の概要を示す。

ケミカルリサイクル（モノマーリサイクル）プロセス（旧ペトリファインテクノロジー）	
第1ステップ：	使用済みペットボトルバールの解体→金属、ラベル、キャップの分離 → 粉碎物洗浄→フレーク
第2ステップ：	解重合 PETフレーク+MEG→粗BHET→着色不純物除去（活性炭）→金属イオン除去 （イオン交換樹脂）→晶析（MEG溶媒）→分子蒸留→純BHET
第3ステップ：	再重合 ① 繊維用PETの重合：純BHET→（熔融重合）→PET+MEG PET分子量（I. V. =0.6） ② ボトル用PETの重合：PET（I. V. =0.6）ペレット→（結晶化）→（固相重合）→熔融ペレット化→PET （I. V. =0.8）
注：BHET：ビス-（2ヒドロキシエチル）テレフタレート PTA：高純度テレフタル酸、 MEG：モノエチレングリコール	

図 8 旧ペトリファインテクノロジーの PET リサイクルプロセス（アイエス法）

同社発表資料より旭リサーチセンター作成。

アイエス法の第 1 ステップは、入荷した回収 PET ボトルのバールを解体し、金属、ラベル、キャップとの分離を行いフレークを得るプロセスである。

第 2 ステップは、まず PET フレークを MEG を使って約 220℃で解重合して粗 BHET をつくる。得られた粗 BHET を活性炭で着色物などの不純物を除去し、次いでイオン交換樹

脂で重合触媒残渣などの金属イオンを除去し、さらに晶析と分子蒸留により純 BHET をつくる。晶析には MEG を溶媒に使用している。高沸点の BHET を分子蒸留することは技術的に難しいがこれに成功したことがアイエス法の特徴である。

第 3 ステップは純 BHET を再重合して繊維用やボトル用の PET を製造するプロセスである。本プロセスでは高純度のモノマー（BHET）を原料に使用するため、つくられた PET 成形品（ボトルやシートなど）は食品用に使用できる。これはメカニカルリサイクルに比べ大きなメリットである。ただし、全体として工程が多く、現在は回収 PET ボトルを有償で購入しなければならないので、コスト的に厳しいといわれている。

(3) 日本環境設計の回収繊維製品を原料とするケミカルリサイクル

日本環境設計は 2007 年に岩元美智彦会長と高尾正樹社長が設立した会社である。従来にない斬新でユニークな環境ビジネスを展開している。

同社は 2018 年に北九州市響に川崎と同様なケミカルリサイクル工場（能力 2,200 トン/年）を新設し、稼働を開始した。リサイクル原料に PET ボトル以外に使用済み衣類などの繊維製品を使うことに特徴がある。環境省提唱の Bring 計画に参画し、良品計画、イオンなどと共同で消費者に使用済み繊維製品を店頭に持ち込んでもらい回収している（回収費用が発生しないのでコストを削減できる）。そして回収品の中からポリエステル繊維製品を選別し、ケミカルリサイクルの原料にしている²⁶。また、同社は PET 再生材からつくった繊維製品（T-シャツなど）をプレミアム価格で販売する独自のビジネスモデルを立てている。

日本環境設計は PET のケミカルリサイクル技術を世界にライセンスすべく、積極的に活動している。その様子が、NHK・BS1 スペシャル「脱プラスチックへの挑戦～持続可能な地球をめざして」（2019 年 4 月 14 日）で報道された²⁷。

²⁶ 世界的にみると、PET 繊維の生産量は PET 樹脂の生産量の約 2 倍あるので、PET 繊維のリサイクルは今後重要になると考えられる。

²⁷ <https://www.nhk.or.jp/docudocu/program/2443/3115590/index.html>

(4) エフピコのリサイクルPETシートとリサイクルPSPシート

エフピコは簡易食品容器の日本のトップメーカーである。1962 年に設立された資本金 131 億円、グループ従業員 4,439 人、2019 年 3 月期の売上高 1,812 億円、経常利益 149 億円の会社である。本社は広島県福山市と東京都で、代表取締役社長は佐藤守正氏である。全国に工場を有している。

再生 PET 原料の供給能力は 5 万トンで、内訳は関東工場（茨城県）2 万トン、中部工場（岐阜県）2 万トン、西日本ペットボトルリサイクル(株)（グループ会社）1 万トンである。回収 PET ボトルや PET 透明容器を自らメカニカルリサイクルして、エコ APET シート²⁸を生産している（同社はボトル to トレーと呼んでいる）。

エコ APET シートは、中間層に再生樹脂を使い、両面にバージン PET 樹脂を重ねて押出したもので食品用に使用できる（図 9 左図）。食品に接触する面はバージン PET 樹脂なので、食品包装の安全性を確保できる。バージン PET 樹脂層の厚みは、酸性食品や水性食品用は 25 μm 以上、それ以外の用途は 25 μm 以下といわれる²⁹。

同社は、発泡の PSP（ポリスチレンペーパー）トレーと OPS 透明容器のリサイクルも行っている。エコ PSP は、再生シートの両面にバージンの PS フィルムをラミネートしたもので、食品用に使用できる（図 9 右図）。PS フィルムの厚みは 13~25 μm といわれる³⁰。この場合は、ラミネートフィルムが PSP の強度を補強する効果もある。



図 9 エコ APET シートとエコ PSP の 3 層構造 (イメージ)

エフピコ資料などから旭リサーチセンター作成。

²⁸ 再生材を使用している製品には、エコの名称を付けている。

²⁹ 厚生省資料 <https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001i9wm-att/2r9852000001kmig.pdf>

³⁰ 新工場 生産能力 4 割増 エフピコ子会社、トレー用ポリスチレンフィルム：日経新聞 2018/3/1
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO27579960R00C18A3LC0000/>
<https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001i9wm-att/2r9852000001kmig.pdf>

表 9 に PET ボトルと容器の回収実績と目標を示す。着実に回収量を増やしている。また、製品販売に対する使用済み製品の投入量比率も高めている。2019 年 3 月期の PET ボトルの回収量は 6.5 万トン、容器（発泡トレーと透明容器）の回収量は 8,700 トンで、全体の使用済み製品の投入量比率は 42% である。特に、PET 製品については、エコ製品（再生材使用製品）の比率は、97% に達している。

表 9 エフピコの PET ボトルと容器の回収実績と目標（各年 3 月期の実績と目標）

回収品目	回収ルート	回収量	2017 実績	2018 実績	2019 実績	2021 目標
PET ボトル	指定法人ルート スーパー店頭 事業系ルート	本数（億本） 重量（トン）	18 46,862	19 48,500	26 65,000	30 75,000
容器 （発泡トレーと 透明容器）	スーパー店頭 指定法人ルート 9,200 拠点 （店頭など）	枚数（億枚） 重量（トン）	18 8,400	17 8,400	18 8,700	21 10,000
製品販売量に対する使用済み製品の投入量比率 （%）			na	32.7%	42.1%	44.7%

注 1：PET ボトル 25g/本、発泡トレー（PSP トレー）4g/枚、透明容器 10g/枚で計算。

注 2：2019 年 3 月期の容器の内訳：①発泡トレー 6,446 トン、16.1 億枚、②透明容器 2,284 トン、2.2 億枚

出所：エフピコ 2019 年 3 月期決算資料

https://www.fpcoco.jp/dcms_media/other/press_keieikikaku_20190514.pdf

発泡トレーと透明容器のリサイクルについては、エフピコ方式のサプライチェーンを確立している。全国 9,200 の拠点（スーパーなどの店舗）に発泡トレー（PSP トレー）と透明容器を販売し、同時にそこから使用済み品を回収している。

2019 年 3 月期の実績は、エコ APET の売上が 295 億円、エコ OPET（二軸延伸 PET：透明性・耐油性が高い）の売上が 65 億円、エコ PSP の売上が 145 億円となっている。

エフピコによれば、家庭ごみ（一般廃棄物（自治体系廃棄物））の内訳は、PET ボトル約 75 万トン、食品容器約 80 万トン、軟包装約 300 万トンである。PET ボトルの約 85% と食品容器の一部はマテリアルリサイクルされるが、食品容器の一部と軟包装は焼却で熱回収されていると推定している。軟包装はレトルト食品やマヨネーズ容器などで多層のラミネート構造になっているので、リサイクルが難しい³¹。

³¹ リサイクルの大きな課題の一つである。ラミネート品の単層化ができればいいが、一般には難しい。ガスバリアー層を溶媒で抽出するプロジェクトが欧州で始まっている。

(5) 福岡大学八尾教授のポリプロピレン(PP)、ポリエチレン(PE)の物性修復技術

福岡大学八尾滋教授の研究成果（2017年3月10日）報告書³²の抜粋を下記に示す。

『リサイクルプラスチックの物性低下原因は化学劣化ではなく物理劣化である。

成形履歴などによるタイモレキュール（タイ分子）数の減少が主要因である。

- ・成形法の最適化などにより物理再生が可能である。
- ・容器包装リサイクル樹脂においても、成形条件の最適化により力学的特性（破断強度や破断伸びなど）は大幅に改善される。

特に PP 選別品には効果は著しく、ほぼバージン並みに回復する。PE 選別品・非選別品も、混錬比率程度でバージン並みの特性を示す。コンタミネーションあるいは異種高分子の存在は、特に悪影響を与えない。

- ・ペレタイズ条件を最適化することで、射出成形品の特性も大きく向上させることが可能である。

混錬温度は高い方が良好に働く、混錬速度は遅い方が良好に働く、樹脂溜まりの設置は、非常に安定的で良好な結果を導く』

具体的には、ペレタイザー³³の出口に樹脂溜まり（高温高圧条件）を付ける方法が集中的に研究されている³⁴。樹脂溜まりの中で、高分子鎖の絡み合いが増加し、冷却したペレット中のタイ分子の数が増加する。

容器包装廃棄物から選別されたPP再生材やPE再生材の物性修復技術であり、有用性が高い。早急な実用化が期待される。

³² https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/special/houkoku/data_h28/pdf/3K143013.pdf、その他
<https://www.fukuoka-u.ac.jp/press/18/07/18163514.html>

³³ ペレタイザーは溶融押出機でノズルからヌードル状の溶融樹脂を押出し、これを冷却カットしてペレットをつくる機械である。

³⁴ 新構造の樹脂溜り部を持つ 新型ペレタイザーによる プラスチックの高度リサイクル・高性能化、福岡大学 工学部 化学システム工学科 ポスト・ドクター パントン パチャ、2019年5月21日
https://shingi.jst.go.jp/list/fukuoka-u/2019_fukuoka-u.html

2.4 日本のPETボトルがリサイクル性に優れる理由の解析

PET（ボトル）がリサイクル性に優れる理由を日本の特性を含め、以下のように解析した。

① 日本には着色ボトルがなく、無色透明ボトルに統一されている。

欧州では、歴史的に着色品ボトルが市場に出回っておりリサイクルの妨げになっている。

② 製品グレードが単純である。

PET は通常ポリエチレンテレフタレートのホモポリマーである。前述のように、分子量については高分子量グレード（ボトルや高性能繊維・高性能フィルム）と通常分子量の一般グレード（繊維用など）がある。一方、分子量分布は、重縮合の理論的な分子量分布となる。分子量の違うポリマー混合物も押し出し機で加熱溶解すると、エステル交換反応が起こり、分子量分布が狭くなり理論的分子量分布に近づく。

③ 高い分別収集率

PET ボトルは、自治体系のごみ収集では分別収集されるし、産業系（スーパー、コンビニ、自動販売機など）の場合も専用のごみ箱に分別収集されることが多い。自治体系の回収ボトルは家庭から出されるもので、飲み残しがなくまた洗浄されていることが多いので汚染の少ない質のよい回収品である。産業系は、飲み残しやボトル以外のごみの混入があり、自治体系に比べ汚染度が高い。産業系にはデポジット機の導入が始まっている。

注 1. PET ボトルは、本体の透明 PET ボトルのほかに印刷されたラベル（素材は PE・PP・PS）³⁵、キャップ（素材は PE・PP）³⁶からなる。ラベルとキャップを取って本体だけ回収されることが理想であるが、現状はラベルとキャップの付いた形で回収されることが多い。ただ、ボトル本体（PET）はキャップやラベルより密度が高いため、リサイクル工程での密度差による分離は容易である³⁷

注 2. 冬場の加熱用の耐熱ボトルは PET/ナイロン/PET の 3 層ボトルであり、リサイクル時手作業などで除く必要がある。

³⁵ ラベルに印刷することにより飲料の光安定性・保存性を高め、ボトルを着色したり印刷する必要をなくしている。

³⁶ ボトルのキャップがよく締まるためには、キャップはボトルの PET と硬さの違うプラスチックが必要である。

³⁷ 中国ではラベルに一部ポリ塩化ビニルが使用されており、PET とポリ塩化ビニルは密度が同じなので、リサイクル工程での分離が難しくなる。

④ 洗浄

回収物に付着した汚染物質を除くために、リサイクル工程での水洗浄は必須である。特に、食品包装容器用（ボトルやシート）に使用するためには、特別の工夫が必要である。その一つが、協栄産業が使用しているアルカリ洗浄法である。アルカリ洗浄により、PET 表層の一部は溶解するので汚れをよく除去することができる。この際、一部分子切断により PET が低分子量化するが、固相重合により分子量アップさせる手法を用いて修復することができる。

再生材が食品包装容器に使用できるかどうかは、再生材の用途拡大に非常に重要なポイントとなる。

⑤ 選別

キャップやラベルはボトルと密度が異なるので選別しやすい。風力を使う方法や水中での選別方法がある

⑥ 修復技術

固相重合で分子量をアップさせて、元に戻す修復技術がある。

⑦ 用途

これまで世界の PET 再生材の主用途は繊維であった。樹脂用途以外に繊維用途があることは強みであり、PE・PP・PS・EPS の再生材とは大きな違いである。

以上、多くの要因が PET のリサイクルに有利に働いている。

2.5 日本のPETボトルを除く容器包装廃棄物のマテリアルリサイクル

(1)PETボトルを除く容器包装廃棄物

PET ボトルと容器包装廃棄物のほとんどはシングルユース プラスチックで、リサイクルの要求が高い。

自治体系で回収される容リ法対象容器包装廃棄物（除く PET ボトル）は量的に 74.5 万トンある。それ以外に産業廃棄物系も含めると、容器包装・コンテナ用途で 368 万トンもの廃プラが発生している。

容器包装廃棄物（除く PET ボトル）には、食品などの容器（フィルム・シート・トレイ）、軟包装、PET ボトル以外のボトルがある。これを密度的に見ると、発泡体と固形物（ソリッド）、形状的に見るとフィルム、トレイ、ボトルなど、カラー的に見ると無色透明品とカラー品、材質的には PE・PP・PS・EPS・PET・PVC などが含まれており、複雑である。しかもそれらの組成は、廃プラ・ベールのロットによってかなり違うといわれる。材質組成もばらつきがあるが、一例として次のようなデータが参考文献 2 に示されている。

PE 30.2%、PP 21.1%、PS 17.7%、PET 13.8%、PVC 4.9%、その他 2.4%、金属 2.6%、水分 7.3%（合計 100%）。ここで金属と水分を除いて、プラスチックだけの比率を求めると、PE 33.6%、PP 23.4%、PS 19.7%、PET 15.3%、PVC 5.4%、その他 2.7% となる。そして、PE・PP のポリオレフィンの割合が 57%になる。これに、PS と PET を加えると 92%になる。

(2) プラスチックを種類別に選別する手法—プラスチックの光学的識別装置

プラスチックを種類別に選別（ソーティング）して、できるだけ単一のプラスチック再生材を得ることは、再生材の価値を高めかつ用途を拡大できるので今後重要になる。選別のための装置の一つとして、光学識別装置とエアガン（エアジェット）を装備したコンベア方式のプラスチックソーターがある。模式図（図 10）を使って説明すると、まずホッパーから廃プラ混合物を振動フィーダーを使って、コンベアベルト上に間隔が開くようにまばらにバラマキ、それら一個ずつに光学識別装置から光線を当て、反射光を検知して、直ちにデータ処理装置でプラスチックの種類を判別して、エアガンにより必要な赤色プラスチックを下方に飛ばし、その他のプラスチックと選別する。用いる光線は、近赤外（NIR）、ラマン（RAMAN）、IR がある。コンベア式識別装置の価格は 30 万ユーロ程度である。

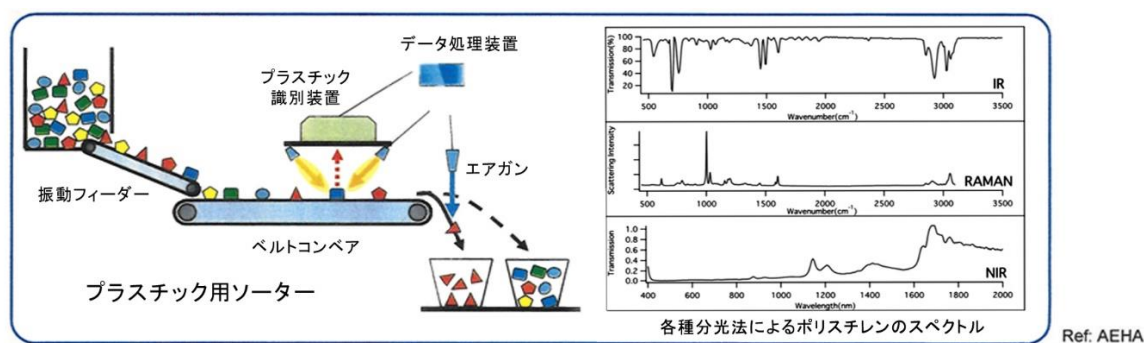


図 10 プラスチックの高度選別技術

出所：産業技術総合研究所（AIST）加茂徹上級研究員提供

この選別コンベアーの大手メーカーの一つにフランスの Pellenc ST 社があり、日本にはペレンク ジャパンがある。2001 年創業、累計 1,600 台の選別機販売、年間売上 4,000 万ユーロ、従業員 160 人の会社である³⁸。

ペレンクの装置には、近赤外（NIR）識別装置が装備され、瞬時に 3 種類の材質を識別して、エアジェットで 3 方向（上、平行、下）に吹き飛ばして選別できる。ただし現状では、低密度 PE（LDPE と LLDPE）と高密度 PE（HDPE）の選別はできない³⁹。また黒色の成形品の材質識別はできないという。

別の大手選別機メーカーとしては、ノルウェーの TOMRA がある。あらゆる材料の選別機と PET ボトルの回収機（RVM：Reverse Vending Machines）の世界的メーカーである⁴⁰。創業 1972 年、売上高約 1,000 億円、最終純利益約 90 億円、従業員 3,420 人の会社で世界に展開している。プラスチック、金属、紙などの有価物を廃棄物中から回収するための TITECH 選別機 4,000 台が世界 40 カ国に展開している。コンベヤ方式で、NIR（近赤外）と IR（赤外）を一体化した“オートソート”が主力製品である。プラスチック、金属、紙の混ざったものから、それぞれを選別することや、プラスチック廃棄物をプラスチックの種類別を選別することができる。

³⁸ <http://www.pellencst.com/ja/%E4%BC%9A%E7%A4%BE%E6%A1%88%E5%86%85/>

³⁹ 現在、密度差を利用した分別装置が開発されている。

⁴⁰ <https://www.tomra.com/ja-jp/sorting/recycling/products/autosort>

(3)リサイクルによる容器包装廃棄物からパレットの製造

容器包装廃棄物からつくられた再生材の主用途は、図 4 に示したようにパレットや土木用成形品である。

例えば、富山環境整備は容リ法対象の家庭から回収した容器包装廃棄物からパレットを製造する再商品化事業（マテリアルリサイクル）を実施している。通常再生パレットを製造する場合には、再生材にバージンの PP や PE を加えて物性の改良を図るのが通例だが、同社は 100%再生材でパレットをつくっているのが特徴である。

製造フローは、廃プラ原料の解砕機による解砕→磁選機による金属除去→破袋機→**光学式選別機（コンベア）→バリオセパレーター⁴¹→光学式選別機（コンベア）→洗浄脱水機→ペレタイザー→ペレット→圧縮成形→パレット**である。

光学式選別機（コンベア）→バリオセパレーター→光学式選別機（コンベア）の組み合わせで、選別を行っているのが特徴である。各段階で何を選別しているかは公表していない。

(4)容器包装廃棄物から、プラスチック種類ごとに選別する方法

思考実験として、容リ法対象の容器包装廃棄物から材質的に単一の再生材を製造するルートを考えてみた。まず、廃棄物を発泡体と固形物、無色品とカラー着色品に分けたのち、材質別（PE、PP、PS、PET、PVC とその他）に分類することを想定した。なお、PVC とその他プラスチックは量が少ないので、リサイクル利用は考えず選別対象にはしなかった。

次の図 11 は、容器包装廃棄物を原料とする第 1 次の選別スキームである。

⁴¹ バリオセパレーター：機械式選別装置、傾斜した振動エレメントにより軽量物、細粒物、重量物を効率よく選別する。

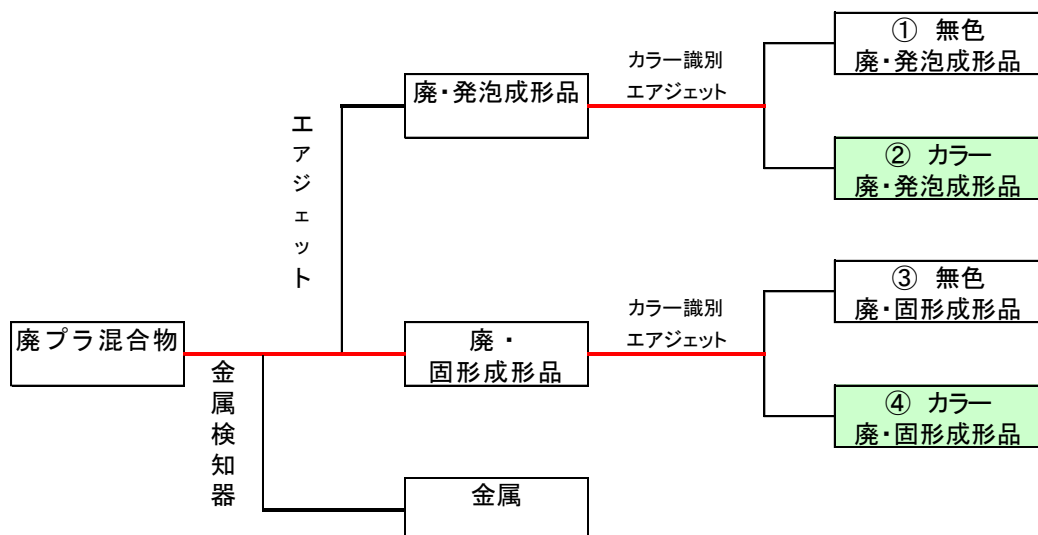


図 11 選別の第 1 スキーム(発泡体と固形物の選別と無色透明物とカラー着色物の選別)

各種資料より旭リサーチセンター作成。

これによりまず、① 無色透明の廃・発泡成形品、② カラーの廃・発泡成形品、③ 無色透明の廃・固形成品、④ カラーの廃・固形成品の 4 つに選別する。このうち廃・発泡体成形品と廃・固形成品は密度が大きく異なるために、それを利用した各種の選別方法がある。また、無色透明品とカラー着色品を分けることは光学的に識別できる。

次に、上記①～④について、図 12 の第 2 次スキームにかけて、材質別に選別し、PE、PP、PS、PET の各再生材に分ける。この選別には、光学的識別装置とエアジェットを装備した選別コンベアー 2 台をシリーズで使う。

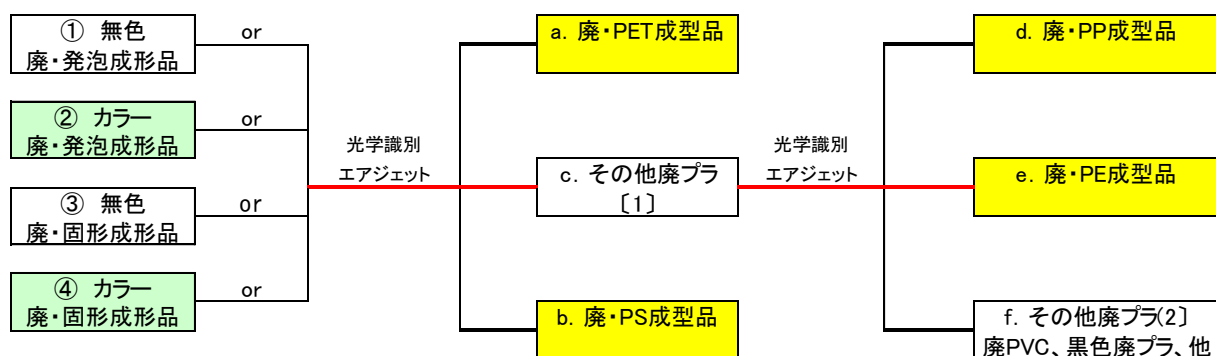


図 12 選別の第 2 スキーム(材質別分別)

各種資料より旭リサーチセンター作成。

まず、最初の選別で、a. 廃 PET、b. 廃 PS、c. 廃 PE・PP を主体とするその他の 3 つに選別し、次の識別装置で d. 廃 PP、e. 廃 PE、f. その他（PVC や黒色の成形品）に選別する。このスキームにより、PET、PS、PE、PP の 4 種類の単一成分の廃棄物が得られる。

以上のように、容器包装廃プラを形状、色、材質で完全に分類することは、多くのステップが必要となり、大きな工場敷地と設備投資が必要となる。これをいかに簡略化して、コスト安く目的再生材を得るかは重要な課題である。

そのためには、リサイクルしやすい廃プラの収集、新規選別装置の開発やイノベーションが必要である。また、用途開発により、必要なスペックを絞り込むことも有用である。

おわりに

PET ボトルのリサイクルについては、日本が欧米より進んでおり（高いマテリアルリサイクル率や優れた技術）、時代の要請である資源循環をかなり実現していることは注記すべきことである。今後、PETのボトルtoボトルリサイクル（水平リサイクル）を増やしていけば完璧になる。日本はこのPETボトルの事例を手本に、プラスチック全体のマテリアルリサイクルの実現に挑戦すべきである。すでに、エフピコは先駆的にPSPシートや透明容器のマテリアルリサイクルを成功させている。

現状、炭化水素系プラスチック（PE・PP・PS）のリサイクルは国内ではパレット用途などに限られている。今後リサイクル率を上げるためには、プラスチックの種類ごとに選別した高品質の再生材を製造することが付加価値を高め、用途拡大と需要拡大につながるものと思われる。そのための、廃プラの分別収集、選別・洗浄・物性修復、全体システムの開発やイノベーションが期待される。

ケミカルリサイクルについても日本は進んでいると考えられる。汚染された廃プラの処理に大きな力を発揮すると考えられる。

なお、日本はサーマルリサイクルの優れたプラスチック処理体制をもつが、資源循環の観点からは十分ではないと考えられる。現体制・現設備にこだわるあまり、将来のグローバルスタンダードから外れた特異な体制になることを危惧する。

本リポートの続編は「プラスチックリサイクルとPETに関する海外動向」である。欧米のプラスチックリサイクル技術とビジネス、PET樹脂・PET繊維の世界的状況、タイの石化メーカーのインドラマ・ベンチャーズの挑戦についてまとめる予定である。

参考文献

1. ARCレポート：府川伊三郎

- ① 海洋プラスチックごみとマイクロプラスチック（上） 2017年11月
https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-1019.pdf
- ② マイクロプラスチック：海洋プラスチックごみとマイクロプラスチック（下）
2017年12月
https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-1020.pdf
- ③ 浮遊するPE・PPマイクロプラスチックの生成と行方 2018年7月
https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-1026.pdf
- ④ バイオマス化学 2014年9月
https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-978.pdf
- ⑤ シングルユースプラスチックとそれを取り巻く国際的動き 2019年8月
https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-1037.pdf

2. 一般社団法人 プラスチック循環利用協会：<http://www.pwmi.or.jp/>

旧特例社団法人 プラスチック処理促進協会

「プラスチックリサイクルの基礎知識」<http://pwmi.or.jp/pdf/panf1.pdf>

3. 公益財団法人 日本容器包装リサイクル協会：<https://www.jcpra.or.jp/>

4. PETボトルリサイクル推進協議会：<http://www.petbottle-rec.gr.jp/>

5. UNEP “SINGLE-USE PLASTICS” (2018)

6. 環境省：プラスチックを取り巻く国内外の状況 第3回資料集 (2018.12)

<https://www.env.go.jp/council/03recycle/y0312-03/y031203-s1r.pdf>

7. 松藤敏彦編 プラスチックリサイクル入門（技報堂出版）

<本リポートのキーワード>

シングルユース プラスチック、使い捨てプラスチック、プラスチックリサイクル、PET ボトル、資源循環、EU プラスチック戦略、マテリアルリサイクル、ポリエチレン、廃プラスチック、ケミカルリサイクル

(注) 本リポートは、ARC のWEB サイト (<https://arc.asahi-kasei.co.jp/>) から
検索できます。

このリポートの担当

主席研究員 新井 喜博

お問い合わせ先 03-6699-3095

E-mail arai.yc@om.asahi-kasei.co.jp