

廃プラリサイクルと健康被害問題 － 容器包装プラ・化学物質発生に係る基礎知識（Ⅱ）－

技術士（衛生工学・建設・環境）
環境計画センター 会長代行 鍵谷 司

はじめに

2022年4月からの「プラスチック資源循環促進法」の施行に伴い、リサイクル施設（保管を含む）並びに取扱量の増加が予想される。リサイクル施設では大気汚染物質が発生・排出しないとの前提で、法規制は定められていない。しかし、規模の大きな容器包装廃プラ取扱施設の周辺において有害化学物質による住民の健康被害が発生し、地域で大問題になった事例がある。1996（平成8）年に起こった「杉並病」と2005（平成17）年の「寝屋川病」である。

前回の『環境施設』（第167号；2022.3）では、事例の概要、経緯及びプラスチック（以下、プラと略す）の圧縮等による化学物質の発生に関する文献を調査した。プラの圧縮時に化学物質が発生することは明らかになっているが、発生メカニズムは解明されていない。各種文献や裁判等の資料によると、プラに圧縮等の機械的エネルギーを加えると、分子が活性あるいは切断により発生するとするメカノケミカル反応が提唱されている。しかし、収集した容器包装廃プラは、圧縮前にすでに化学物質が検出されていることから、メカノケミカル反応は、主反応ではないことを示す。むしろ、プラの劣化過程で生じる化学物質が分子内に溜まっており、これが圧縮により外部へ放出された可能性が高いことを紹介した。

プラの「劣化」は、空気中で起こりやすいことが知られており、酸素が関与した化学反応で分子が切断すると考えられている。化学物質の発生を合理的に説明するためには、プラを構成する単量体の化学構造、重合、高分子の構造や特性などの

基礎的な事項を理解しておく必要がある。

以下に容器包装プラの種類や性質および利用性を整理するとともに高分子の特性など基本的な事項について整理した。今回は、分子切断および再結合による化学物質の発生メカニズムについて解説するとともに、化学物質発生に係る様々な疑問に対して解説したい。たとえば、次のような疑問が多い。

- ①なぜ、プラを圧縮しただけで、化学物質が発生するのか？
- ②なぜ、200種類以上もの化学物質が発生するのか？
- ③なぜ、容器包装廃プラだけが化学物質の発生が問題になるのか？
- ④なぜ、製品などの加工品の保管、使用時に化学物質の発生が問題にならないのか？
- ⑤なぜ、プラ製品を数多く使う家庭内で化学物質が問題にならないのか？

3. 容器包装プラに係る基礎知識

容器包装に用いられるプラは、単量体（モノマー）が数多く結合した高分子量体であるが、単量体の化学構造や結合数（重合度）で決まる分子量あるいはその分布などにより物性が変わる。とくに、プラのリサイクル時に発生する化学物質は、高分子の切断によって起こることが明らかになっている。当然、分子切断は分子量をはじめとする分子構造、物性変化を伴うので、化学物質発生のメカニズムを検討する上で不可欠の知見である。

以下に容器包装に使用済みの廃プラを材料リサイクルするにあたり、基本的な知識を整理した。

3. 1 プラの種類と利用性

プラには、数多くの種類があり、あらゆる分野で広く使用されている。しかも、様々な呼び方があり、混乱を招きかねない。とくに、容器包装に用いられるプラは、暮らしの中で広く大量に使用されているので、安全かつ安価で、丈夫でなければならない。さらに、容器包装リサイクル法に則り、使用後はリサイクルが義務付けられており、廃棄後に回収して選別し、これを原料にして製品を製造して循環利用しなければならない。

以下に容器包装に用いられた廃プラを材料リサイクルするにあたり、関連する基礎的な知識について取り上げた。

(1) プラの呼び方と意味！

プラ (Plastic) の語源は、ギリシャ語の形容詞「plastikos (可塑性 (かそせい) のある)」との意味で、可塑とは、物質に物理的な力を加えることで変形させ、その形を保持する性質をいう。一般的に「主に石油に由来する高分子物質 (主に合成樹脂) を主原料とした可塑性の物質」と定義されている。

ところで、プラには、様々な呼び方 (用語) があり、その違いを正確に理解していなければ混乱を招く。以下に簡略に意味を解説しておく。

- ①高分子量体：一般的に分子量がおおよそ1万以上の化合物の総称で、主に有機高分子化合物を指し、「高分子」と短く呼ばれている。自然界には、デンプン、セルロース (樹木) やポリペプチド (絹) などの天然高分子があり、また、石油を原料として人工的に合成したポリエチレンやナイロンなどの「合成高分子」がある。
- ②ポリマー：単量体 (モノマー) が繰り返し数多く結合 (重合) してできる高分子化合物のことであり、「ポリ」は「多数」を意味する。プラ材料および製品は、高分子化合物「ポリマー」であり、例えばPE (ポリエチレン)、PP (ポリプロピレン) など、プラの名前の前に「ポリ」が付く。なお、その原料である単量体は、モノマーとい、「モノ」はギリシャ語の接頭語で「1」

を、「ジあるいはダイ」は「2」を、「トリ」は「3」を表す。

- ③ビニール；二重結合のビニル基「 $\text{CH}_2=\text{CH}-$ 」を持つ原料から合成した高分子の総称で、ビニル化合物の略称である。ビニル管やビニルシートなどの「ビニル」は、いずれもポリ塩化ビニル樹脂を意味し、略して「塩ビ」ともいう。最近では、PVCだけでなく、「ビニール袋」のようにポリエチレン製にも使われており、いろいろな材質のものがある。
- ④樹脂；樹脂とは樹木から分泌される樹液が固まった物質で、松脂、柿渋、漆などがその代表的な天然高分子である。これらの樹脂は、水に溶けにくく、固まった後には安定し、形を保持する性質があるので、古くから塗料や接着剤、充填材などとして使われている。これに類似した性質をもつ化合物を人工的に合成し、「合成樹脂」と呼んだ。プラは「合成樹脂」を指し、省略して単に「樹脂」と呼ぶこともある。

また、樹脂は、英語ではレジン (Resin) と訳されるが、日本語では天然樹脂と合成樹脂の総称のように使われ、樹脂全般を指す。本来、プラ (Plastic) は英語では形容詞なので、「可塑 (かそ) 性」と使われ、対象物ではない。このため、工業用途などでは樹脂やレジン (Resin) という言葉が使用される。

- ⑤プラ (Plastic)；語源は、ギリシャ語の形容詞「plastikos (可塑性 (かそせい) のある)」といわれており、物質に物理的な力を加えることで変形させ、その形を保持する性質をいう。一般的に「主に石油に由来する高分子物質 (主に合成樹脂) を主原料とした可塑性の物質」と定義されている。また、加熱すると硬くなり元には戻らない「熱硬化性樹脂」がある。2020年度のプラ生産量は、約960万トンで、このうち熱可塑性が90%弱、熱硬化性が10%以下である¹⁾。このようにプラは、「高分子化合物」の一つであるが、その呼び方は、正式名、慣用名、略語など様々である。一般的に「(略して) プラ」あるいは「樹脂」が広く使用されている。

(2) プラの種類と特性

プラは、加工性である熱特性から分類する方法と用途や性能から分類する方法がある。以下に簡略に紹介する。

1) 熱特性（加工性）に基づく分類

容器包装として使用された後のプラは、分別回収後に、不適物除去、破碎後に加熱して製品を製造して再商品化する。製品を製造するためには、ほぼ同じ程度の温度で溶融できなければ、良質な製品を作ることはできない。つまり、熱による加工性からプラを分類すると、熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂の2種類に大別される。

①熱可塑性樹脂；チョコレート型と呼ばれ、製品などに加工された後も再び加熱することで形状を自由に変えることができる（図1）。これは鎖状の分子同士が結合していないので、熱を加えると分子が自由に動くことで軟化・溶融する。型枠に溶融物を入れて冷やすと元の固体に戻る。つまり、何回でも製品を製造することができる。図1の紐状の高分子は、個々には単量体が結合していることを表す。なお、単量体については後述する。

②熱硬化性樹脂；ビスケット型といわれ、分子同士が結合して網目状の三次元構造になり、硬化したものは再度熱を加えても分子が自由に動けなくなるので軟化しない（図2）。つまり、温度が高くなっても溶融せずに、しだいに熱分解する。加熱成型ができないので、材料リサイクルの原料としては使用できない。

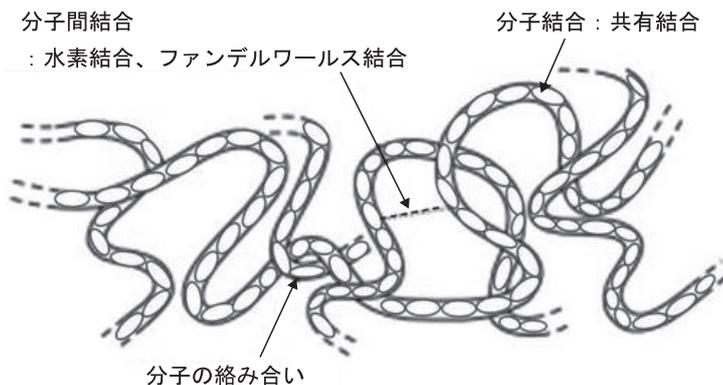


図1 熱可塑性ポリマーの概念図²⁾ (○；単量体追記)

容器包装で使われて廃プラを回収し、再商品化するためには、熱加工する必要があるため、熱可塑性のプラでなければならない。しかしながら、同じ可塑性であってもその種類により融点が大きく異なる。ナイロンのような融点の高い(200℃以上)プラもあり、融点の低い(120℃程度)ポリエチレンもある。これらが混入すると、材質が不均一になり、溶融加工しても良質な材質にならないので、分離あるいは除外しなければならない。

2) 用途・性能に基づく分類

プラは、用途や性能の違いによっても分類されることがある。性能は低いのが低価格で加工性の良いものは汎用プラ、強度や耐熱性のような特定の機能を強化したものをエンジニアリングプラ（エンプラ）やスーパーエンジニアリングプラ（スーパーエンプラ）に分類される。

①汎用プラ；特定の目的に限らず、幅広く用いられる。とくに、4大汎用樹脂であるポリエチレン(PE)、ポリプロピレン(PP)、ポリ塩化ビニル(PVC)、ポリスチレン(PS)は、大量生産が容易で、安価で丈夫である。日用品や住宅建材、フィルムシートなどの包装材、緩衝材など多くの分野で利用される。汎用プラは、全生産の約90%を占める。なお、ポリエステル(PETなど)を加えて5大汎用樹脂ともいう。

②エンジニアリングプラ；ポリアセタール(POM)、ポリアミド(PA；ナイロン)、ポリウレタン(PU)などで、耐熱性や強度などの物性が汎用プラよりも優れ、しかも軽量でコストが

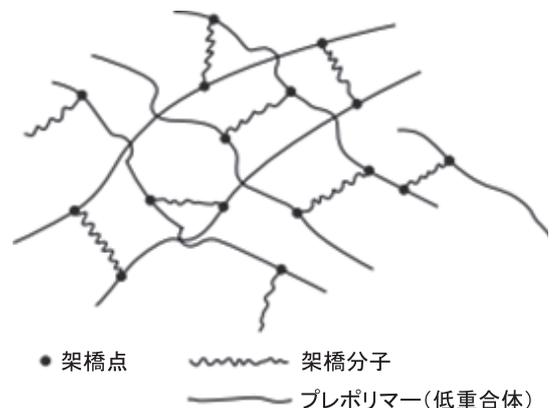


図2 熱硬化性ポリマーの概念図²⁾

安価であり、用途に応じて使い分けられる。プラ全生産量の約10%程度である。

3) 容器包装プラの基本骨格と特徴

容器包装に用いられるプラは、熱可塑性の汎用プラである。直鎖状高分子であるが、その単位構造は、二重結合をもつビニル化合物 $\text{CH}_2=\text{CH X}$ (Xは置換基)であり、二重結合が開裂して連続的に結合することにより高分子を形成する。汎用プラの基本である単量体の化学式を図3に示す。ビニル基 ($\text{CH}_2=\text{CH-}$) の結合する置換基が違うだけで、骨格は同じである。

ポリエチレンは、置換基が水素であり、ポリプロピレンはメチル基、ポリ塩化ビニルは塩素、ポリスチレンはベンゼン環である。これら置換基の化学反応性、分子の大きさや結合角度など形態の違いが、融点や強度など異なった物性をもつ要因である。

一方、分子の切断が主鎖で起こると分子量が低下し、物性が大きく変わる。また、側鎖に結合している官能基 (反応基) が切断すると、分子量の小さな様々な化合物 (化学物質) が生成する。官能基であるメチル基、塩素、ベンゼン環あるいは主鎖に存在する弱いC-H結合 (三級水素) で反応が起こりやすい。さらに、反応性の高い空気中の酸素が進入した場合には、分子切断・再合成反応が連鎖的に進むことが知られている。

これらの4大汎用樹脂は、いずれもラジカル重

合反応により生成するが、ポリエチレンテレフタレート (PET) は、エステルであり、フタル酸とエチレングリコールとの脱水反応を繰り返す縮重合反応で生成し、反応形式が異なるが、いずれも共有結合で結ばれる。構造式や示性式で表したように分子の物性は、主に高分子を形成する単量体の化学的性質及び重合した場合の主鎖の長さ (分子量) に依存する。また、劣化等に伴う化学物質の発生は、主に分岐した側鎖や分子の末端基で起こり易いことが知られており、分子内へ進入した酸素との反応のほか、プラ材料に添加される酸化防止剤などの安定剤、着色剤、バインダー等や充填材が混合されており、化学物質発生メカニズムの解明は複雑で難しい。

(3) 熱可塑性プラの分子量と性状

通常化学物質の分子量は一つであるが、プラは、様々な分子量をもつ集合体であることを述べた (図1)。分子量が大きくなると融点が高く、丈夫になる。たとえば、炭化水素を例にとると、分子量が小さければ気体であり、大きくなるにしたがって液体に、さらに分子量が大きくなると固体になる。分子量と物質の状態を表1に示したように、分子量がおおよそ500以上では潤滑油やワックス、1,000以上では脆いロウ状になるが、分子量の増加とともにしだいに固く丈夫になり、1万以上になると硬い固体になるが、それ以上分子量が

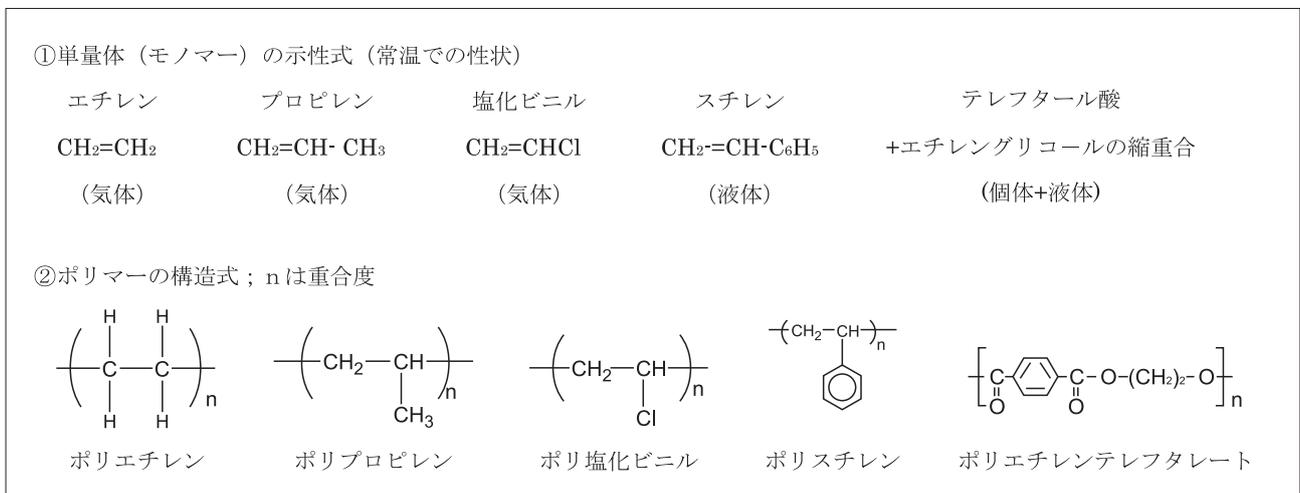


図3 容器包装プラのモノマーとポリマー構造

表1 直鎖炭化水素の分子量と性質

重合度 (n)	分子量	融点 (°C)	沸点 (°C)	外観
1	30	-183	-88.6	気体
10	282	-30	174	液体
20	562	38	>300	潤滑油
60	1,682	100	分解	ろう状固体
100	2,802	106	分解	もろい固体
1,000	28,002	110	分解	堅い固体

大きくなっても性質はあまり変わらなくなる。このようにプラは、様々な分子量からなる高分子の集合体であり、分子量ごとに融点は異なる。平均分子量が同じであっても、その分布状態が違っていると、軟化温度、融点あるいは機械的強度や成形加工性が異なる。これらについては次回に解説する。

3. 2 容器包装プラのリサイクル

(1) 容器包装プラの用途と種類

①容器包装プラの用途

「容器」とは商品を入れるもの（袋を含む）、「包装」とは商品を包むもので、容器包装プラとは、その中身を取り出し、あるいは使った後に不要になるプラ製の容器や包装のことをいう（図4）。つまり、「中身の商品と分離した後、不用となるプラ製の容器や包装のことをいい、プラ製の商品そのものは対象外である。



図4 主な容器包装プラの用途

②容器包装に使用される主なプラ

資源循環利用促進法に基づいて、容器包装は、プラ、紙、PET、スチール、アルミ等の材質を表示することが義務付けられている。リサイクル対象は、表2に示すように、「プラ容器」（PETを除く）とPETボトルのリサイクルマークである識別マークが表示され、この2種類がリサイクル対象である。また、リサイクル対象のプラの種類は、数値で表示されており、4大汎用樹脂が対象である³⁾。

- 01；PET（ポリエチレンテレフタレート）
- 02；HDPE（高密度ポリエチレン）
- 03；PVC（ポリ塩化ビニル）
- 04；LDPE（低密度ポリエチレン）
- 05；PP（ポリプロピレン）
- 06；PS（ポリスチレン）
- 07；その他のプラ

表2に汎用プラ生産量の90%以上を占める5大汎用プラの基本的な特徴と生産割合を示す。とくに、熱可塑性プラは、融点や耐熱温度に関わらず温度を上げると溶融することはできるが、融点の高いプラは、冷却過程で周りが溶けているにもかかわらず固体になる。このため、材質は不均一になり、強度が弱く、使い物にならない。良質な材質を得るためには、融点や耐熱温度が類似していることが求められる。

【付記】PETについては、「プラ製容器」とは別途回収されるので、ここでは対象外とする。なお、PETは紫外線や加熱により劣化し、分子切断に伴う化学物質が発生する。しかし、生成した化学物質には、主鎖に結合した分子量の大きなベンゼン

表2 容器包装プラのリサイクルマーク

リサイクルマーク	プラ種類	対象
	PET以外	プラ製容器
	PET	ペットボトル

表3 容器包装に用いられる5大汎用プラの特徴

種類	特徴	容器包装としての用途	生産割合 (%)
ポリエチレン (PE)	低密度 (LDPE)：水より軽い。電気絶縁性、耐水性、耐薬品性、環境適正に優れるが、耐熱性は乏しい。	ポリ袋、ラップフィルム、食品チューブ	23.3
	高密度 (HDPE)：LDPEよりやや重く、耐熱性、剛性が高い。水より軽く、電気絶縁性、耐水性、耐薬品性に優れている	包装フィルム、レジ袋、ポリ袋、食品容器、シャンプー容器	
ポリプロピレン (PP)	比重が最も小さい。耐熱性が比較的高い。機械的強度に優れる。	包装フィルム、食品容器、ごみ容器	23.3
ポリ塩化ビニル (PVC)	燃えにくい。軟質と硬質がある。水に沈む。表面の艶・光沢が優れ、印刷適性が良い。	ラップフィルム	16.9
ポリスチレン (PS)	ポリスチレン：透明で剛性があり、着色が容易。電気絶縁性がよい。ベンジン等に溶ける。	食品容器、CDケース	7.5
	発泡ポリスチレン：軽くて剛性があり、断熱保温性に優れている。ベンジン等に溶ける。	食品用トレイ、梱包材、カップ麺容器	
ポリエチレンテレフタレート (PET)	延伸フィルム：透明性に優れ、強靱でガスバリア性に優れている。	包装フィルム	3.6
	無延伸シート：透明性に優れ、耐油性、耐薬品性に優れている。	食品用容器、各種透明包装	
	ボトル：透明、強靱で、ガスバリア性に優れる。	飲料・酒類などの容器 (ペットボトル)	

環を持つので、沸点が高く、常温では固体である。つまり、揮発しないので健康被害は起こりにくいと考えられるので、ここでは除外した。

(2) 容器包装廃プラのリサイクル手法について

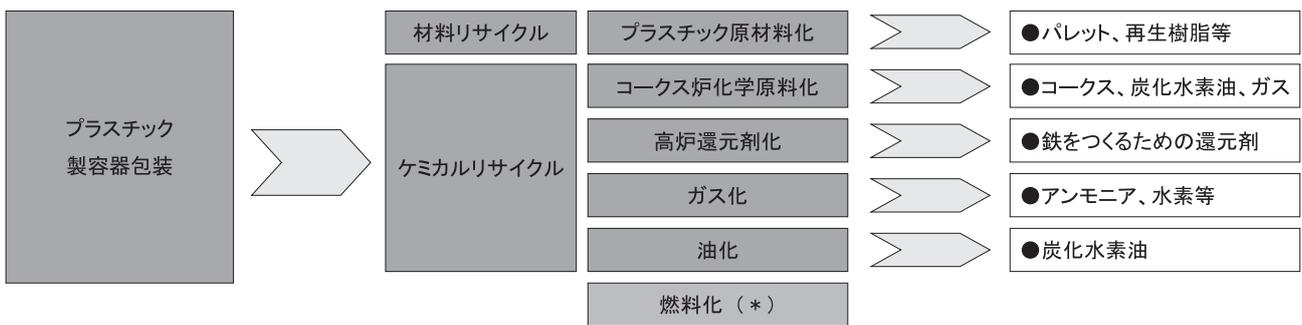
回収された廃プラの再商品化方法は、図5に示すとおり、①マテリアルリサイクル、②ケミカルリサイクル、③サーマルリサイクル、に分類される。以下に簡略に説明する。

①マテリアルリサイクル：材料として土留め板や

パレット製造 (写真1)、あるいは廃PETボトルから元の原料 (PET) を製造し、PETボトルやカーペットなどの製造原料とするなど、物質としての利用方法である。

②ケミカルリサイクル：廃プラ類を化学的に分解して石油原料等を製造し、再利用する方法である。例えば、高炉還元剤や油化などがある。

③サーマルリサイクル：燃料、助燃材あるいは固形燃料としてボイラなどの燃料として利用する。廃プラの燃料利用は、2007 (平成19) 年4月の



(*)他の手法では再商品化に支障が生じる場合、緊急避難的に利用

図5 プラ製容器包装の再商品化利用例

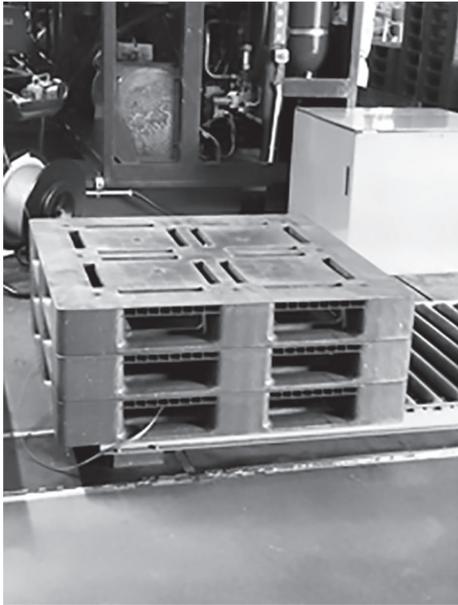


写真1 材料利用の事例

法改正により「その他のプラ製容器包装」の分別回収が始まると、回収量が増えて再商品化量を上回る可能性があることから、緊急避難的、補完的な措置として燃料利用が認められた。

①は再商品化業者への委託量であり、製品となる工程で残さが発生する。リサイクル率とは、再商品化委託量であり、実際に販売された量ではない「見かけのリサイクル」であり、実質リサイクル量は半分程度になる。また、②は、ケミカルリサイクルと名目を変えただけで、実質、高炉還元剤利用なので燃料利用である。最終的に燃焼するのであれば、サーマルリサイクルとすべきである。詳細については、『環境施設』第166号、pp.28-35(2021.12)を参照のこと。

(3) 容器包装プラの分別基準³⁾

公益財団法人日本容器包装リサイクル協会（以下、容リ協）が市町村の指定保管施設から引き取る分別収集品は、素材ごとに分別基準が定められている。主に品質に関する基準を抜粋して以下に示す。

①PETボトルの「分別基準」

主としてプラ製の容器であって、飲料、醤油、その他環境大臣が定める商品を充てんするためのPET製の容器に係る物。

- 圧縮されていること。
- 原材料として主として他の素材を利用した容器包装が混入していないこと。
- 容器包装以外の物が付着し、または、混入していないこと。
- 洗浄されていること。
- PET製以外の主としてプラ製の容器包装が混入していないこと。
- PET製のふた以外のふたが除去されていること。

②プラ製容器包装の「分別基準」

主としてプラ製の容器包装（PET容器を除く）に係る物。

- 原材料として主として他の素材を利用した容器包装が混入していないこと。
- 容器包装以外の物が付着し、または、混入していないこと。
- 圧縮されていること。ただし、白色の発泡スチロール製食品用トレイのみの場合にあつては、この限りでない。
- 飲料、醤油その他環境大臣が定める商品を充てんするためのPET製の容器が混入していないこと。
- プラ製のふた以外のふたが除去されていること。
- 白色の発泡スチロール製食品用トレイのみの場合にあつては、洗浄され、乾燥されていること。

以上のように、容リ協の引き取る容器包装プラは、PET容器とプラ製容器包装であり、「他の素材が混入していないこと」ならびに「圧縮されていること」が条件となっている。写真2及び写真3に示すようにリサイクル施設に搬入される時点ですでに圧縮されており、化学物質が発生していることを示唆する。

(4) 廃プラ材料リサイクルの留意点

容器包装廃プラの材料リサイクルにあたって、多くの労力と費用を負担しつつ、再商品化される成形加工品は、土留め板やパレットなどの価値の低い製品だけである。以下に、容器包装プラでは良質な成型品の製造はできない理由を明記する。



写真2 廃PETボトルの圧縮梱包事例



写真3 容器包装廃プラの圧縮梱包事例

- ① プラ製容器包装の材質は、PE、PP、PVC、PSであるが、これらを材質ごとに分別回収や選別あるいは異物の完全除去はほぼ不可能であり、かつ選別できたとしても印刷物や複合材が混在するので、低品質の製品製造に限られる。
- ② 異なる材質のプラである4大汎用プラを混ぜると、多くの場合、均一に溶け合わずに、強度等の物性が大幅に低下する。このため、成形加工時には、劣化していない新しい樹脂を追加して、劣化の影響を薄め、強度を改善している。
- ③ 製造、保管、成形加工および使用時には、光や熱あるいは圧縮、成形などの化学的および物理的作用を受けて劣化が進行し、物性が低下する。低下した物性の回復は現実的に不可能なので、新しい樹脂を加えるなどで改善している。
- ④ 単一材質のプラでも、用途に応じて多くの品種

(グレード)があり、それぞれ分子量分布や物性に幅がある。つまり、同じ材質でも分離精製は現実的に不可能であり、また、たとえPEだけでも約3,000品種あるといわれており、混合した場合は物性が低下する。

【追記：容器包装廃プラの熱利用】

ところで、PET以外の「その他のプラ」については、緊急避難的、補完的な措置ではあるが、燃料利用が認められた。最近では、「プラ製容器包装」の分別収集や材料リサイクルに係る労力、費用負担あるいは実質的な材料リサイクルの低さなどから可燃ごみと混合収集し、燃焼熱利用を推進する自治体が増えつつある。主に、日量100t以下の中小規模の焼却施設であるが、ごみ焼却施設に対する国庫補助対象条件である熱利用率15%以上を満たすためにはごみ発電が必須であり、これに温水プールなどの組み合わせ利用が主体になる。熱利用だけでは、ごみ焼却熱はとても使いきれないので、熱を大量に使う「蒸発・水蒸気」利用が不可欠なのである。

最近では、厳冬の兆候があり、温室、ビニールハウスなど燃料負担に深刻な事態が生じている。また、ロシアやウクライナからの燃料供給が不安定であることや世界的な燃料不足が懸念されており、燃料確保、費用負担はますます深刻になりかねない。ごみ焼却施設周辺に熱大量利用施設を誘致するなど、新たな地域活性化事業も注目されるように思う！

おわりに

ここでは、プラの基本的な事項を取り上げた。最初に、プラの呼び方について解説し、次いで、容器包装に用いられるプラは、熱可塑性の汎用プラであり、PE、PP、PVC、PSの4大汎用プラの化学構造と特徴をまとめた。とくに、プラは、様々な分子量の集合体であり、その分子量により性質が異なることを示した。また、容器包装プラの種類、特性、リサイクル手法、分別基準を整理した。再商品化のための引き取り時の品質基準は、洗浄や他の素材が混ざっていないことあるいは圧縮梱

包されていることが条件であることを述べた。

今回は、プラの「劣化」に伴う化学反応を論理的に解説し、化学反応に適用される「アレニウスの化学反応論」から廃プラ圧縮から化学物質が発生するメカニズム並びに様々な現象を合理的に解説したい。

私事であるが、関学理学部では物理化学を専攻し、卒業後に原研・高崎においてプラの改質と劣化研究に取り組んだ。高圧下でエチレンの放射線重合反応によりポリエチレンを生成し、これをフィルムに加工し、様々な雰囲気中で γ 線を照射し、

赤外線分光解析や液体クロマトによる分子量測定、引張試験など、分子構造や強度変化について研究した。

あれから数十年、プラ世界は予想できたが、その普及がマイクロプラ問題など地球規模で起こるとは夢にも思わなかった。何事も大量に使用、あるいは依存することは、少量の世界では考えられないような重大な事態が起こることを学んだ。石油系プラをバイオプラに変えても別の問題が発生するのではと思う次第！

〈引用・参考文献〉

- 1) プラリサイクルの基礎知識2021；一般社団法人 プラ循環利用協会
- 2) 本間精一；プラスチック材料大全、第1章 プラスチックの基礎；日刊工業新聞社（2015. 12）
- 3) 分別基準/引取り品質ガイドライン；公益財団法人 日本容器包装リサイクル協会
- 4) プラと容器包装；経済産業省