

中学校理科
教授用資料

調べてみよう プラスチック

学ぼう プラスチック …… 2

プラスチックの基礎知識/
原油からプラスチック製品になるまで/主なプラスチックの特徴

知ろう プラスチック …… 12

プラスチックの利用とその歴史/ポリ袋と言い換えよう/
硬さも色も変えられるプラスチック/
いろいろな素材を組み合わせる食品包装/
廃プラスチックの有効利用/海のプラスチックごみの問題/
生活や人類の未来を支えるプラスチック

やってみよう プラスチック …… 22

密度でプラスチックを区別する/燃え方でプラスチックを区別する/
緩衝材として利用されるプラスチック/
プラスチックのリサイクルを体験する/廃プラスチックの有効利用/
延伸プラスチックの熱収縮/ナイロン66の合成

とらえ直そう プラスチック …… 34

ディベート:
くらしを支えるプラスチックの長所と短所をとらえ直そう

プラスチックの基礎知識

材料としてすばらしい性質を持っているプラスチックは、身の回りのいたるところに使われ、おかげでわたしたちは豊かで便利な生活を送ることができています。

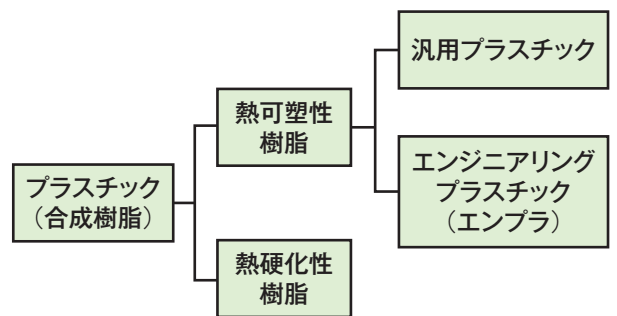
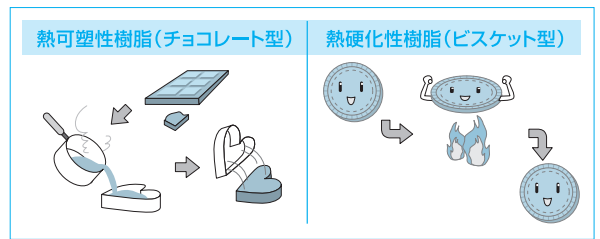
この冊子は、そもそもプラスチックとは何か、さまざまな種類があるプラスチックの機能や開発の歴史、そして、プラスチック製品の利用のされ方を

知ることができます。また、後半の実験は、中学校の授業で使うことを想定しており、プラスチックの性質やリサイクルについて理解を深めることができます。

すでに教壇に立っている中学校理科の先生はもちろん、その支援を担う方々、これから教師を目指している方々の参考にさせていただければ幸いです。

① プラスチックの種類

プラスチックには、熱を加えたときの性質から、大きく2つのタイプに分けられます。1つは、チョコレートのように熱を加えると柔らかくなり、冷やすとそのときの形のまま固まる性質を持っている熱可塑性樹脂です。もう1つは、ビスケットのようにいったん硬化したあとに加熱しても柔らかくならない性質を持っている熱硬化性樹脂です。日頃、わたしたちが身の回りでよく見かけるプラスチック(汎用プラスチック)は熱可塑性樹脂の仲間です。

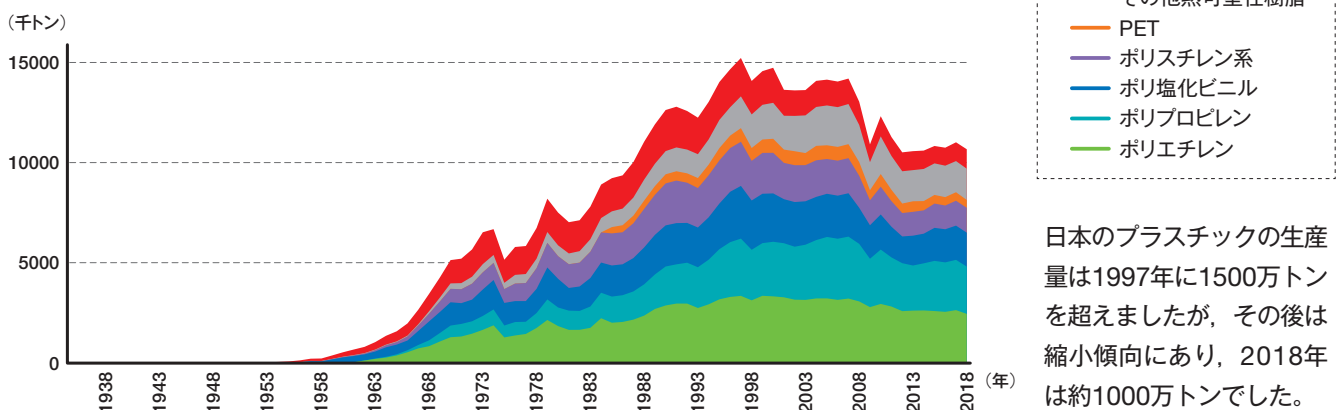


② プラスチックの生産量

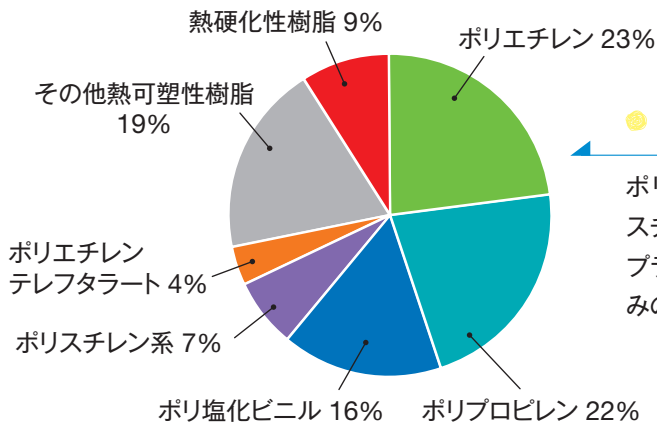
身の回りにあふれるほど見られるプラスチックですが、その歴史は浅く、100年くらいです。1907年に初の全合成プラスチックとなるフェノール樹脂「ベークライト」が合成されたのが、最初とされています。その後、数々の種類のプラスチックが開発され、広まっ

てきました。日本においても高度成長期及びその後の発展に伴い、国民の豊かな生活を支えるように、プラスチックの生産量が上昇してきました。それを表した次のグラフからも、いかにプラスチックが現代のわたしたちの生活を支えているかを知ることができます。

● 日本のプラスチックの生産量



日本のプラスチックの生産量は1997年に1500万トンを超えましたが、その後は縮小傾向にあり、2018年は約1000万トンでした。

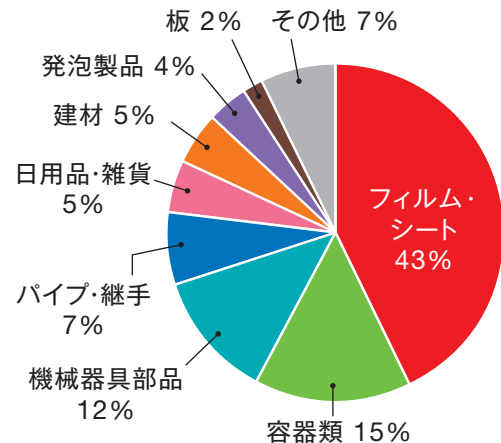


● 2018年種別生産比率

ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリスチレンは生産量が多く、安価で身近な材料のため汎用プラスチックと呼ばれています。ペットボトルでおなじみのポリエチレンテレフタレートがそれに続きます。

● 2018年用途別生産比率

フィルム・シートは43%を占め、農業用、包装用、ラミネート、土木・建築用に使われます。容器類には清涼飲料用、化粧品用、シャンプー用等の容器、灯油缶などのほかコンテナ、パレット等の輸送用容器があります。



③ プラスチックの構造

プラスチックはほとんどが海外から輸入される原油からつくられます。原油の蒸留精製でナフサが得られ、それを熱分解してエチレンなどの石油化学基礎製品がつくられます。ただし、ポリ塩化ビニル（PVC）のようにエチレンと塩の電気分解で得られる塩素からつくられるプラスチックもあります。

プラスチックの原料は常温・常圧では気体または液体の状態、単量体（モノマー）と呼ばれています。こ

れらのモノマーを、触媒などによって繰り返し結合していくことで、プラスチックが作られます。この化学変化を重合と呼び、生成したプラスチックを重合体（ポリマー）とも呼びます。繰り返し数はおよそ100以上で、ポリマーの分子量¹⁾は10,000以上になります。

なお、原油から各種プラスチック製品が作られる過程は、次のページに詳しく紹介しました。

1) 分子中に含まれる原子量の総和

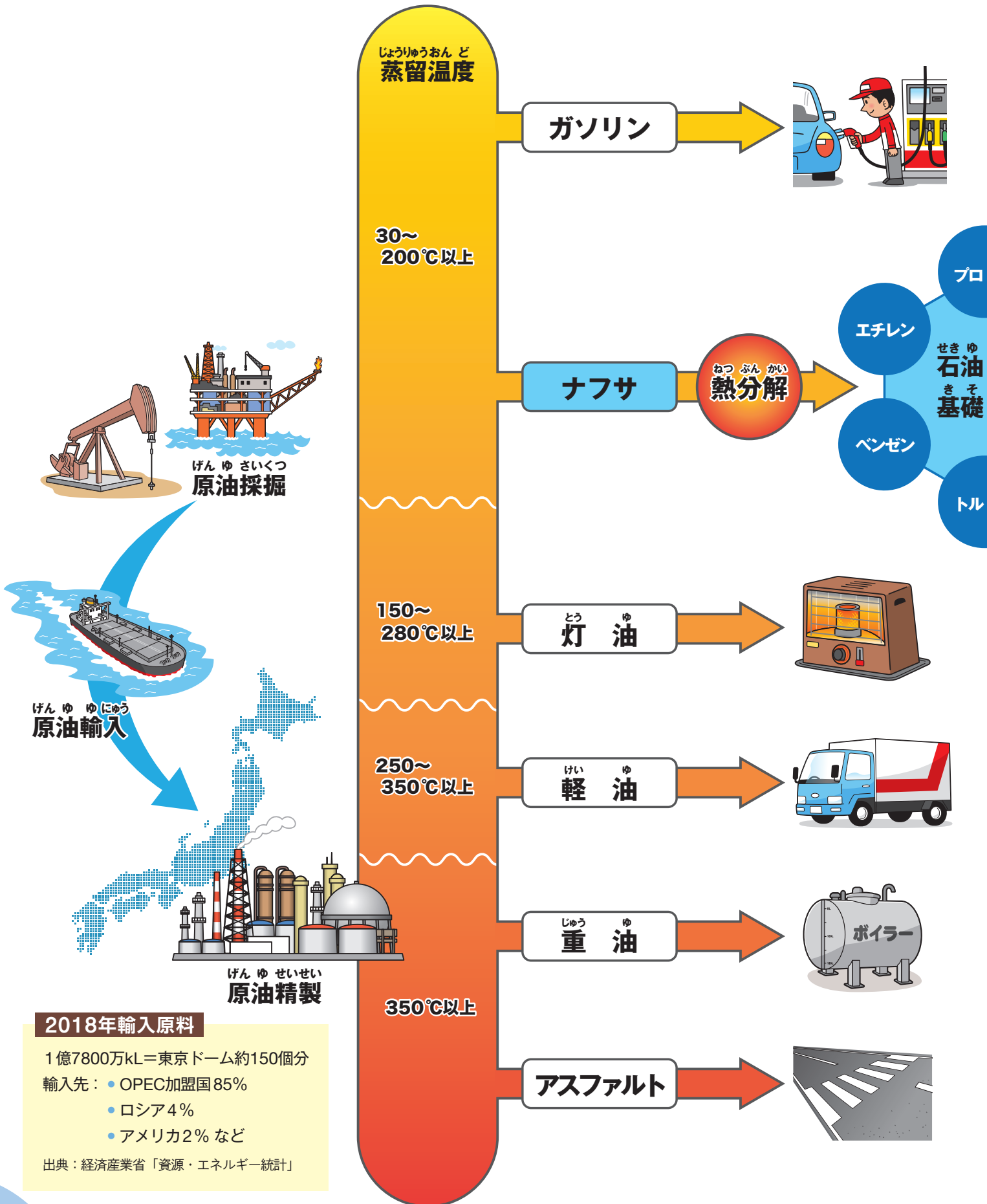
熱可塑性樹脂は、炭素を軸にした長い鎖状の紐のような構造で、その炭素に水素や炭化水素、ベンゼン環などが結びついています。規則正しく折りたたまれている部分があり、それを結晶と呼び、不規則な部分を非結晶と呼びます。結晶部分や長い鎖状の紐どうしのからみ合いによって、それぞれのプラスチックの加工性や性質が決まります。

熱硬化性樹脂は3次的に結合が行われるため、強固な構造で、加熱しても軟らかくなりません。

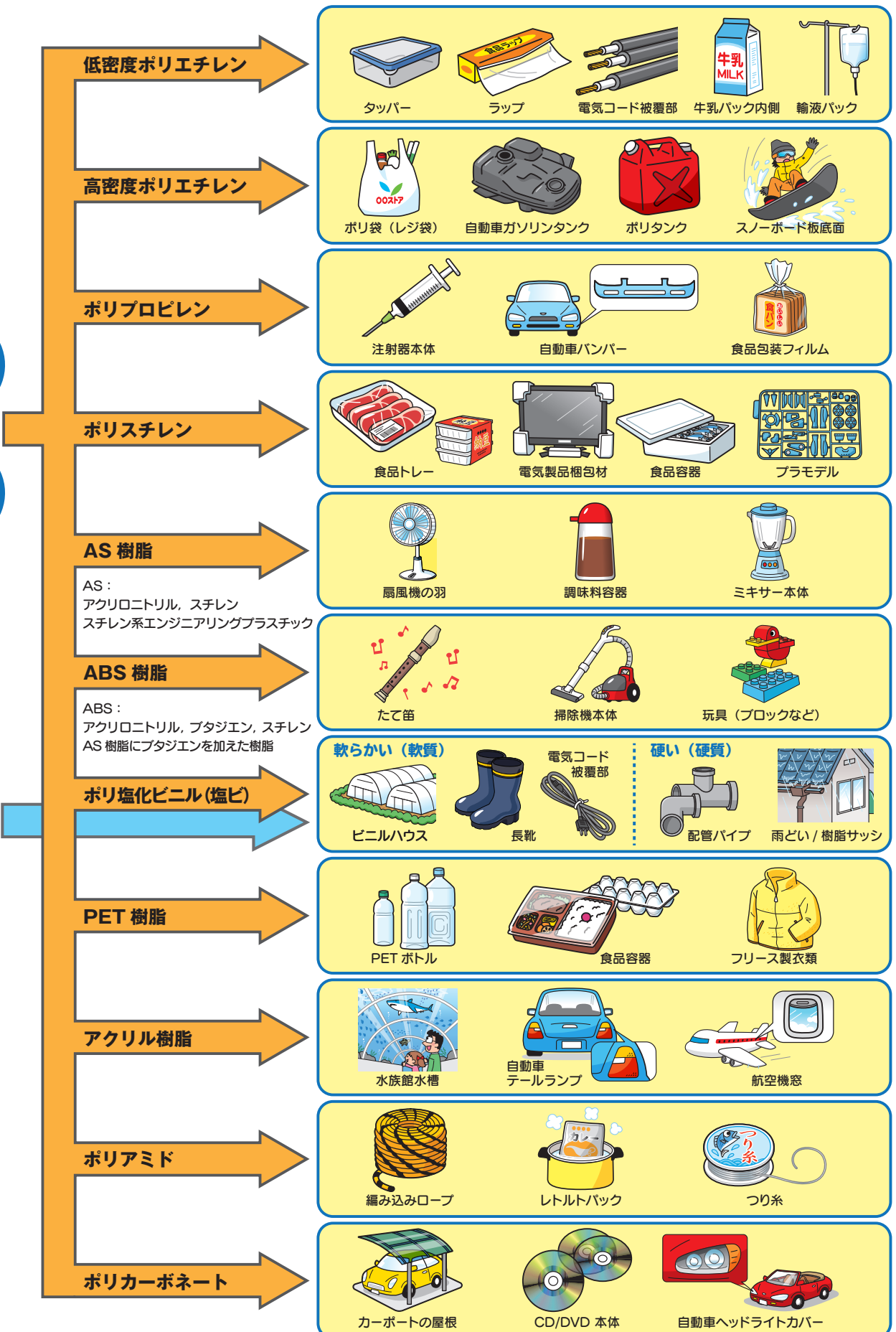


3次的にからみ合っている。

原油からプラスチック製品になるまで



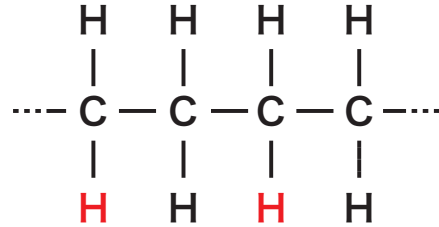
プラスチックは、原油から精製されたナフサを原料としますが、輸入された原油の約3%がプラスチックとなり、ほとんどが燃料として消費されます。



主なプラスチック(汎用プラスチック)の特徴

ポリエチレン (PE)

ポリエチレンは右図に示すような構造を持ったプラスチックです。プラスチックの中では最もシンプルな構造で、その構造から次のようなポリエチレン特有の性質が生まれてきます。



- 1 密度が0.92～0.97 g/cm³と水（密度1.00 g/cm³）より小さく、水に浮く。
- 2 構造的に安定しているため、耐薬品性に優れる。
- 3 電気絶縁性に優れる。
- 4 着火するとよく燃え二酸化炭素（CO₂）と水（H₂O）になる。

ポリエチレンには密度の違いから低密度ポリエチレン・高密度ポリエチレンの2種類があります。

● 低密度ポリエチレン (略号: LDPE) ●

密度が0.92～0.93 g/cm³と低いことからこの名があります。透明性のある乳白色で、肉厚でも柔らかく感じます。機械強度はあまり強くありません。

→ 用途例：容器のフタ，
包装用袋(この場合薄いのでほぼ透明)

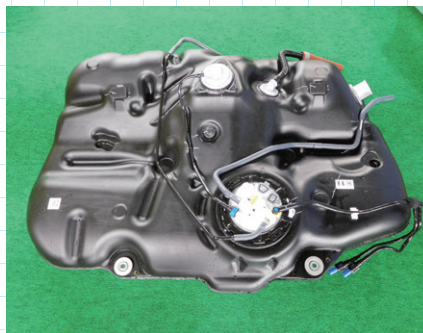
● 高密度ポリエチレン (略号: HDPE) ●

密度が0.95～0.97 g/cm³あり、かなり硬く、色調もLDPEより白く不透明になります。また、機械強度に優れています。

→ 用途例：各種容器，運搬用コンテナ，
冷凍倉庫用パレット，
ポリタンク，レジ袋



日用雑貨



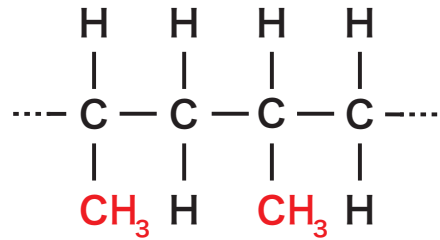
自動車燃料タンク



非飲料容器

ポリプロピレン (PP)

ポリプロピレンの構造はポリエチレンとよく似ていますが、水素 (H) の代わりに1つおきに、メチル基 (-CH₃) がついています。このことからポリプロピレンの性質は、次のようにポリエチレンとはかなり異なったものになっています。



1 密度が0.90～0.91 g/cm³と水より小さく、機械強度に優れる。

→用途例：自動車のバンパー

2 剛性¹⁾に優れるため、大きな容器にしても側面のたわみが小さい。1) 物体に力を加えて変形しようとするとき、変形に抵抗する性質

→用途例：整理箱、簡易整理ダンス、大型ゴミ容器

3 100℃付近の高温でも機械強度がかなり維持されるので、熱が加わるものにも使える。

→用途例：風呂場の洗面器、調理用品

4 延伸をする（一方向に強く引っ張る）と、その方向に強い強度のものが得られる。

→用途例：各種包装用ひも、結束用バンド

5 プラスチックの中で唯一ヒンジ（蝶番）特性²⁾に優れる。

2) 折り曲げを繰り返してちぎれるまでの耐久性のこと

→用途例：フタが一体となった容器類

6 色調は低密度ポリエチレンに似て、やや白濁している。

◆プラスチックが白濁するのは、プラスチック自身が結晶化するためで、結晶化が強いほど白く見えるようになります。また、添加剤を加えることにより透明にすることもできます。

→用途例：透明衣装ケース

7 既存のポリマーや充填材をブレンドすることにより新しい組成物が得られる。

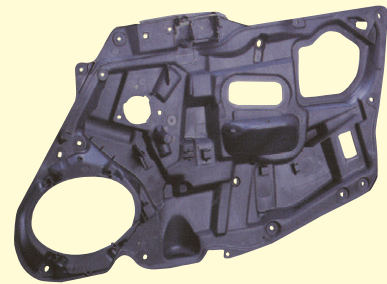
→用途例：自動車部品



浴室用品



透明衣装缶

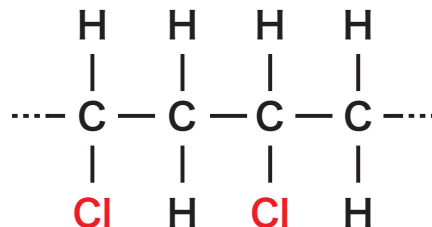


自動車ドアモジュール

ポリ塩化ビニル (PVC)

ポリ塩化ビニル（塩ビ）は、海水から得られる塩化ナトリウムの水溶液を電気分解して生成する塩素と、石油から得られるエチレンを原料としてつくられ、ポリエチレンの水素（H）の代わりに1つおきに塩素（Cl）がついた構造をしています。

ポリ塩化ビニルは、軟らかくする可^{かそざい}塑剤を添加した軟質ポリ塩化ビニル（軟質PVC）と可塑剤を添加しない硬質ポリ塩化ビニル（硬質PVC）に大きく分けられ、幅広い用途があります。



1 ポリ塩化ビニルの密度は1.30～1.58g/cm³と水より大きく、水に沈む。

2 剛性、寸法安定性、耐久性、耐腐食性がある。

◆プラスチックの中では耐久性があって寿命が長い特徴があります。例えば、塩ビパイプは埋設されて50年以上経っても強度がほとんど低下しません。

➔用途例：硬質 | パイプ、継手、雨樋、窓枠、ブラインドなどの建築材料

3 透明性、着色性、接着性、印刷性に優れ、汚れにくい。

➔用途例：軟質 | 農業用フィルム、ラップフィルム、床材、壁紙、テーブルクロス、テントシート、ソファ（合成皮革）、バッグ、長靴、食品サンプル、消しゴム、玩具、手袋、浮き輪

4 化学構造の中に塩素を持つため自己消火性があり、燃えにくい。

➔用途例：軟質 | 電線被覆材、壁紙、テントシート、防水シート

5 耐薬品性に優れる。

➔用途例：軟質 | ホース、シャワーカーテン、長靴
硬質 | 工業用板、配管、仕切り板

6 化学的に安定で弾性に優れ、衛生的で清潔さを保つことができる。

➔用途例：軟質 | 血液バッグ、輸液チューブ
硬質 | 錠剤のパッケージ (PTP¹⁾)

1) Press Through Pack



ソファとフロア（床材）



錠剤のパッケージ

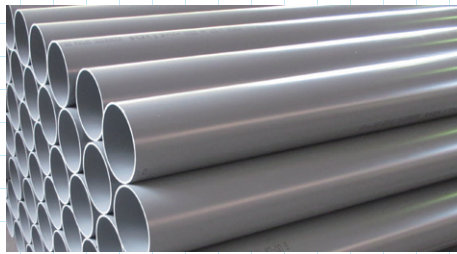
その他の特徴

- 加工性に優れているためさまざまなデザインやファッション性の高い製品をつくることができる。窓枠のような複雑な形状をしたもの、ソファやバッグなど本物の革と見まちがうようなデザイン表現ができます。



バッグ

- リサイクル性能に優れている。廃パイプから再生パイプ，廃タイルカーペットから再生タイルカーペット，農業用フィルムから床材シートへと再利用されています。



リサイクルパイプ

- 安全・防災に貢献する。防災テントから救命胴衣や安全長靴など，緊急時や避難時に役立っています。



防災テント



安全長靴

◆人にも家にもやさしい樹脂窓¹⁾

ポリ塩化ビニルはアルミニウムに比べて約1000倍熱が伝わりにくい性質があるため、ポリ塩化ビニル製樹脂窓は、非常に高い断熱性を持っています。そのため、窓から熱の出入りが少なく冷暖房費を抑えることができるので省エネルギー効果があります。また、結露が起こりにくいいため、湿度の高い室内に発生するカビやダニを防ぐので、人の健康を守ります。さらに、気密性が非常に高いため、家

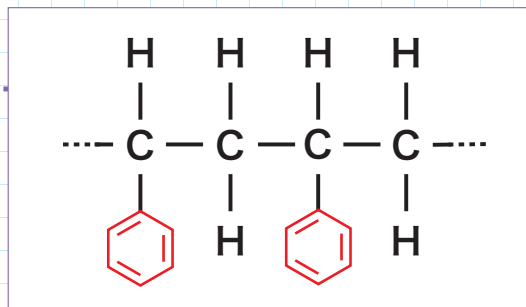
の外からの騒音を遮る遮音，家の中からの騒音を防ぐ防音の効果があります。

1) ポリ塩化ビニル製窓枠でつくられた窓



ポリスチレン (PS)

ポリスチレンは石油から得られるエチレンを原料とし、ポリエチレンの水素 (H) の代わりに、1つおきに、ベンゼン環¹⁾ がついている構造です。ポリスチレンには次のような性質があります。



1) ベンゼン環 … 分子式C₆H₆。炭素原子 (C) が六角形を形成し、各々に水素 (H) が1つついた構造



- 1 ポリスチレンの密度は1.03~1.06 g/cm³と水より大きく、水に沈む。
- 2 成形性に優れる。また、着色も容易であり、リサイクルしやすい。
- 3 発泡剤を加えると体積が3~100倍の発泡体が得られる。
- 4 可燃性で燃焼時にすすの発生が多いが、燃えにくくしたものもある。十分な酸素の供給された状態で燃焼させると、二酸化炭素 (CO₂) と水 (H₂O) になる。
- 5 他のプラスチックに比べて硬いが、割れやすい。

ポリスチレンの種類と用途

● 一般用途 (GPPS=General Purpose Polystyrene) ●

加工時の流動性がよく複雑な形状の製品の成形が可能で、透明性にも優れています。

→用途例：電気 (照明) カバー、プラスチック模型、玩具

● 耐衝撃用途 (HIPS=High Impact Polystyrene) ●

割れにくく、耐衝撃性に優れ、剛性、成形加工性に優れますが、透明性はGPPSに比べ劣ります。

→用途例：家電製品 (エアコン外装等)、OA機器 (コピー機外装等)、日用品、乳酸飲料、アイスクリーム、ヨーグルト、豆腐の容器

● 発泡ポリスチレン (FS=Foamed Polystyrene) ●

発泡剤を用いて大きく体積を増やすことができます。あらかじめ発泡剤を浸み込ませておくビーズ法と、加工時に発泡剤を加える押出法があります。発泡させると、ポリスチレンの特性に緩衝特性と断熱性が加わります。*発泡部分で光が乱反射するため、白色になります。

→用途例：ビーズ法 | 食品容器 (通称：発泡スチロール)、緩衝包装用資材

押出法 | 食品トレー、建築用断熱材



弁当の容器



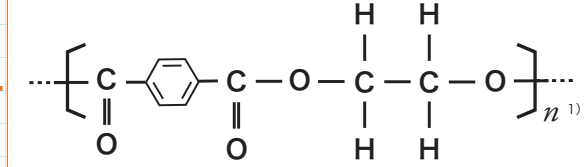
食品容器 (魚箱)



食品トレー

ポリエチレン テレフタレート (PET)

ポリエチレンテレフタレート (PET) の構造はポリエチレンやポリプロピレンと大幅に異なっていますが、基本となる単量体 (モノマー) が多数連なって重合体 (ポリマー) をつくる点で、ほかのプラスチックと同じです。PETには次のような性質があります。



1) $n \dots$ かっこでくくられた部分の構造が繰り返されることを表す記号で、重合度という。

- 1 密度は1.27~1.38 g/cm³と水より大きく、水に沈む。
- 2 構造的に結晶しやすい結晶性ポリマーである。
- 3 結晶部分は強い機械強度を持ち、耐熱温度も200℃以上になる。
- 4 非結晶部分の強度はやや弱く、耐熱温度も60℃程度しかない。
- 5 延伸すると、引っ張り強度が非常に強くなる。

加工用PET原料の種類と用途

● 非結晶PET (A-PET=Amorphous-PET) ●

結晶を微細化し、成形時の外観が透明になるようにあらかじめ処理されたPETです。

→ 用途例：ボトル，食品容器

◆ ペットボトル

PETボトルは、業界で直接PETボトル本体を着色しない等の自主規制を行っているため、リサイクルしやすい製品です。



ペットボトル

● 二軸延伸PET (O-PET=Oriented-PET) ●

耐熱温度は約80℃です。

→ 用途例：お弁当容器の蓋

● 結晶化PET (C-PET=Cristal-PET) ●

結晶化されたPETです。強度，耐熱温度の要求されるものに用いられます。

→ 用途例：電子レンジ用容器



耐熱容器

プラスチックの利用とその歴史

— 発明されたのはいつ? —

● 昔の人の食器は何でできている?

エジプトのピラミッドの中やギリシャの神殿の跡、日本の古墳など、古い時代のものが見つかった場所からは、金属でつくった器、ガラスでつくった器、粘土からつくった器などが見つかっています。しかし、わたしたちの一番身近にあるはずの紙や木を加工したものはほとんど見つかりません。

現代にいたるまで、食器はさまざまな材質のものでつくられています。粘土からつくった土器や陶器は頑丈ですが、重くて落とすと割れます。ガラスのコップは薄くつくれば軽くなりますが、やはり落とすと割れます。金属でつくった容器は加工しやすいのですが、重く、さびてしまいます。一方、紙や木は加工しやすい反面、水に濡れると腐ったり、カビが発生したりして、長い期間使い続けることが難しい材料です。では、プラスチックでつくった容器の特徴はどうでしょうか。

● プラスチックの発明

プラスチックにはさまざまな種類があります。プラスチックでつくったものは一般的に軽くて割れにくく、触れる液体やまわりの環境の影響を受けることが少ない材料です。

プラスチックは、主に石油などから人工的につくられる『自由に形をつくることのできるもの』を指します。石油を材料として、高分子化合物と呼ばれるものからつくられます。自然にあるものとして、木の樹液が固まったものが“天然”のプラスチックとなります。例えば、木の樹液である松ヤニや漆うるしが固まったものです¹⁾。しかし、漆をはじめとする天然の材料は植物から手に入れる材料であるため、手に入れられる量に限度があり、一度に大量に製品をつくることのできないため高価です。そこで、天然のものと同じようなもので、手軽に安く手に入れられるプラスチックが発明されました。

プラスチックは発明されてから、まだ100年程度しかたっていない。19世紀中ごろには、石油を原料としてさまざまなプラスチックつくられるようになりました。どんな場所にどんなプラスチックが使われているのでしょうか。身の回りのプラスチックを見つけて、どんな特徴を持つものなのか、その用途から考えてみましょう。

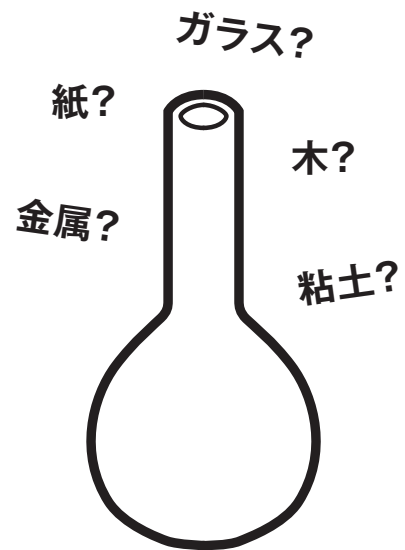


表 プラスチックの発明の歴史

時期	プラスチックの発明
1907年	フェノール樹脂 ²⁾
1926年	ポリ塩化ビニル ³⁾
1931年	ポリエチレン
1934年	アクリル樹脂
1937年	ポリウレタン
1938年	ポリスチレン
1939年	ナイロン
1941年	ポリエチレン テレフタラート
1951年	ポリプロピレン

1) これを樹脂とよぶ。

2) アメリカでフェノールとホルムアルデヒドを原料としてつくられた樹脂。世界で初めて、植物以外の原料より人工的につくられた。

3) 当時は石炭と石灰石からできるカーバイドを原料としてつくられた。

ポリ袋と言い換えよう —プラスチックのつくり—

● 街中でよく見るプラスチック製の袋

お店で買った商品を入れるためにもらえる、あるいは、購入する右のような袋(図1)を何と呼んでいるのでしょうか? 「ビニール袋」と呼んでいる人はいませんか?

● ビニール袋はビニールではない!?

ビニール袋の「ビニール」とはそもそもどういう意味なのでしょう? 実は「ポリ塩化ビニル」という物質の「ビニル」の部分がビニール袋の名前の由来になっています。ポリ塩化ビニルは、加工しやすく耐久性があって丈夫な素材です。今でもその特性を生かして水道管や電線の被覆、壁紙、散水用ホース、消しゴムなど、さまざまなものに使われています(図2)。この塩化ビニルは1950年代にプラスチックの先駆けのように日本社会に出回りました。そのため、このあとに他のプラスチックが出回っても、人々はプラスチックの代名詞のように、どのプラスチックも総称して「ビニール」と呼ぶようになりました。つまり、本来はプラスチックと呼ぶべきところを慣例で「ビニール」と呼んでいるだけなのです。

● これからはポリ袋と言い換えよう!

プラスチックは「モノマー」と呼ばれる原料になる物質が、いくつも鎖のようにつながって「ポリマー」と呼ばれる状態になった物質です。「モノ」はギリシア語で「1つの」、「ポリ」は「多数の」という意味があります。この袋はポリエチレンという物質からできていて、これはモノマーであるエチレンが、多数つながってポリマーになっている物質です(図3)。

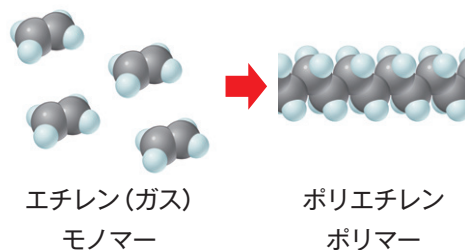
そこで提案なのですが、この袋を「ポリ袋」と呼ぶのはどうでしょうか。プラスチック製の袋にはポリエチレンのほか、ポリプロピレン(図4)などからできているものもありますが、どちらにも共通して使うことができます。これからプラスチック製の袋をポリ袋と言い換えることで、より正しい意味を表すようになるのではないのでしょうか。



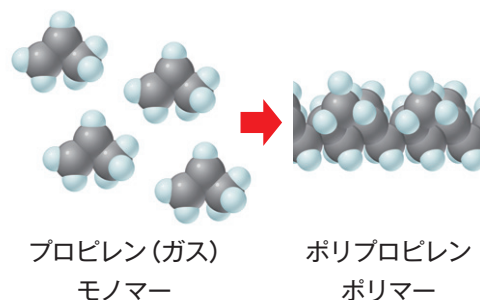
▲ 図1



▲ 図2



▲ 図3



▲ 図4

硬さも色も変えられるプラスチック —ポリ塩化ビニルの汎用性—

● 消しゴムと食品サンプルの材料は同じ!?

ポリ塩化ビニルが使われている製品で最も身近なもの1つは消しゴムではないでしょうか。現在は品質の良さからプラスチック製の消しゴムがほとんどです。プラスチック製の消しゴムはほどよい弾力があり、これが紙の上の黒炭をうまくからめとり、文字を消す効果を高めています。

消しゴムはポリ塩化ビニルに「可^か塑^そ剤」という添加剤を加えて硬さを調整しています。ポリ塩化ビニルの粉末に、可塑剤を加えて混合し100℃以上に加熱すると、よく混ぜあって透明でドロドロした状態になります。これを冷やすと、消しゴムのよう^かに弾力を持つ無色透明なかたまりができます。実際には、こすり取る効果を高める研磨剤として炭酸カルシウムが混合され、消しゴムの色は白色になります。

● 生活を支えるポリ塩化ビニル製品

食品サンプルも、ポリ塩化ビニルを材料として、適量の可塑剤を加えて硬さを調整してつくられています。ポリ塩化ビニルの粉末に、着色剤を添加して混合することで色もつけられます。適度な弾力、着色のしやすさや透明感、成形のしやすさなど、精巧な食品サンプルに適した材料と言えるでしょう(図1)。

ポリ塩化ビニルを使った製品は、上下水道用パイプや窓枠など硬いものもあります。また、農業用のビニルハウスや医療用チューブなど丈夫さが求められる部分での使用もあります(図2)。

さらに、ソファや財布は、天然皮革ではなく、ビニルレザーと呼ばれるポリ塩化ビニルを材料にした合成皮革でつくられていることもよくあります。

ポリ塩化ビニルは身近な生活のさまざまな場面で使用されています。なぜポリ塩化ビニルがこれだけ使用されているのかについて、性質をふまえて考えてみると新しい発見があるかもしれませんね。



電線ケーブルの被覆部



水道用パイプ



医療用チューブ

▲図2 ポリ塩化ビニルを使った製品

表 消しゴムに関する歴史

16世紀	鉛筆の字を消す道具(字消し)としてパンなどを使っていた。
1770年	イギリス人の科学者プリーストリーが、天然ゴムで鉛筆の字をこすって消すことができるかと報告した。
1772年	世界初の消しゴムがイギリスで誕生。そこで、英語ではこするものをラバー(rubber)と呼ぶようになり、ゴムも意味している。
1952～1959年	日本でプラスチック字消し(軟質PVC製)が誕生。世界に先駆けて販売された。



食品サンプルも消しゴムと同じ材料からできている。添加剤によって硬さや色を調節できる特徴もある。



▲図1 ポリ塩化ビニルを使った食品サンプル

いろいろな素材を組み合わせる食品包装 — ポテトチップスを例に —

● ポテトチップスの包装に求められる機能

湿気を吸ったポテトチップスは独特の食感を失います。ポテトチップスに含まれる油脂は、酸素と反応し、変化を起こしてしまいます。これでは、せっかくの味が台無しですね。

ポテトチップスで守るべき中身の品質と包装の機能をまとめてみると、右の表のようになります。

● 積層フィルムの活用

表で示したような機能は単一の素材だけで実現することができないため、複数の素材の異なるフィルムを積層させ、多様な機能を持った包装を実現させています。ポテトチップスの積層フィルムにはさまざまな種類がありますが、図1はその一例を示したものです。

外側には延伸したポリプロピレン (PP) が使用されています。ポリプロピレンは延伸することで強度、耐熱性、透明性が高まるため、外側の素材として適しており、裏印刷した文字や絵の見栄えもよいものになります。接着のためのポリエチレン (PE) 層をはさんで、アルミニウムを薄く蒸着¹⁾したポリエチレンテレフタレート (VMPET) の層があります。アルミニウムは遮光性、ガスバリア性、防湿性に優れており、ポリエチレンテレフタレートなどのプラスチックのシートに薄く緻密に蒸着させる技術が開発されたため、安価で機能性の高いシートが実現しました。そして、接着のためのポリエチレン (PE) 層をはさんで、一番内側には延伸をしていないポリプロピレン (PP) が積層されています。延伸したポリプロピレンよりも延伸していないポリプロピレンの方が密着性に優れています。

包装時は不活性ガスで酸素を追い出し、ここで紹介した複合包装材料を使用して完全密封し、少し膨らませた状態で出荷されます。こうした工夫が、ポテトチップの割れ防止と長期保存を可能にしています。

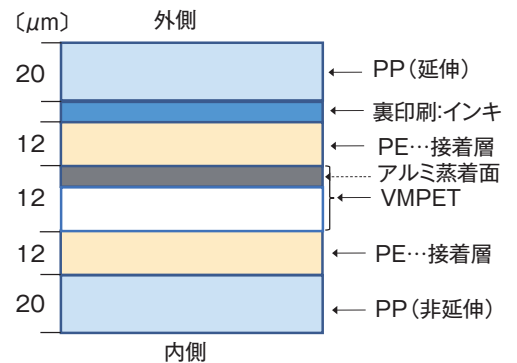
ポテトチップスの袋をつくっているシートをはさみで切りとり、断面を観察すると、さまざまな種類のシートが重なっていることがわかります。

1) 真空中で金属などを加熱・蒸発させ、その蒸気を他の物質の表面に薄い膜として付着させること。



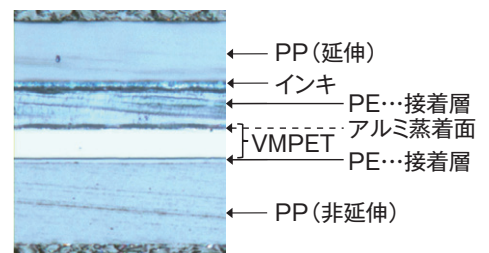
表 守るべき中身の品質と求められる包装の機能

守るべき中味の品質	包装の機能
歯ざわりのよさを保つ	防湿性
油の新鮮さを保つ	遮光性 酸素バリア性
割れないよう衝撃を防ぐ	緩衝性



μ は 10^{-6} 倍の量であることを示す接頭辞。
厚さの合計は0.076mm (=76 μ m)

▲ 図1 積層フィルムの断面模式図



▲ 図2
ポテトチップス包材の光学顕微鏡断面写真

廃プラスチックの有効利用

— 廃プラスチックのゆくえ —

● 廃プラスチックはどのように有効利用されているのか

プラスチックを資源回収した後、いったいどうなっているか知っていますか？ たいていの人は、また同じ製品になって返ってくると思っているのではないのでしょうか。実はほとんどはそうではありません。ここでは、廃プラスチックの有効利用についてご紹介します。

日本の廃プラスチック排出量に占めている有効利用されているプラスチックの割合は86%にのぼります (図1)。

● マテリアルリサイクル

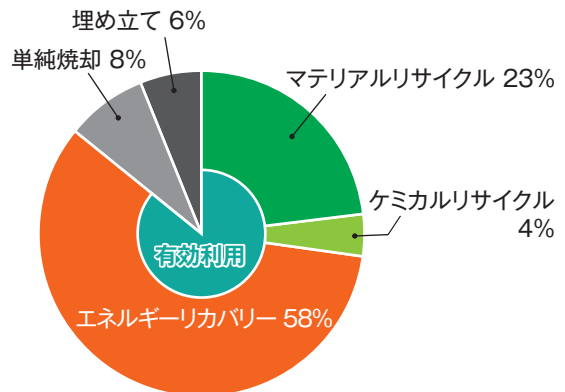
1つめがマテリアルリサイクル (材料リサイクル, 図2) です。これは廃プラスチックを破碎・溶融させて、また新たな製品をつくる方法です。元と同じ製品にできることもあれば、元とは違った製品になることもあります。後述のエネルギーリカバリーと異なり、再び製品になるため、新しくプラスチックを製造するための原料を直接的に削減することができます。万能に思える方法ですが、廃プラスチックには種類の異なるプラスチックが混ざっていたり、汚れが付着していたりして、純粋な材料に戻せないことも多いのです。また、何回かリサイクルを繰り返すうちに劣化するので、最終的にはエネルギーリカバリーをすることになります。

なお、我が国の廃プラスチック排出量に占めるマテリアルリサイクルの割合は23%を占めています。

● ケミカルリサイクル

2つめは、ケミカルリサイクル (化学リサイクル) です。これは、使い終わったプラスチックを熱や薬品を使って各成分にわけ、化学原料として再び用いる方法です。国や地域によって、ケミカルリサイクルに分類しないものもありますが、ここでは原料に戻して有効利用しているものすべてをケミカルリサイクルとして紹介します。

なお、我が国の廃プラスチック排出量に占めるケミカルリサイクルの割合は4%を占めています。



▲ 図1 廃プラスチックのゆくえ (2017年)

マテリアルリサイクル (卵パックの場合)



▲ 図2 マテリアルリサイクル

① ガス化

廃プラスチックを熱で分解してガスにする方法です(図3)。この方法で回収した水素や一酸化炭素は、アンモニアなどの原料として使うことができます。

② コークス炉化学原料化

廃プラスチックをコークス炉で熱分解する方法です(図4)。化学原料となる炭化水素油、高炉の還元剤となるコークス、発電などに利用されるコークス炉ガスが得られます。

③ 高炉原料化

廃プラスチックを製鉄所でコークスの代わりに使えるかもしれないと考えて開発されたのが、高炉原料化という方法です(図5)。天然資源である原料炭が節約でき、水素の有効利用が図れるため、排出される二酸化炭素(CO₂)の削減ができるという利点があります。

● エネルギーリカバリー

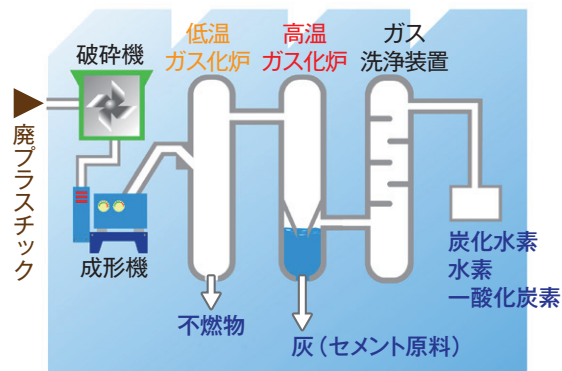
3つ目は、エネルギーリカバリー(エネルギー回収、図6)です。その名の通り廃プラスチックを燃焼させ、熱エネルギーを回収する方法です。これにより、火力発電所で使用される原油を削減することができます。しかし、一度燃焼させてしまえば、元の製品に戻ることはないため、リサイクルとは少し性質の違う有効利用法になります。

なお、我が国の廃プラスチック排出量に占めるエネルギーリカバリーの割合は58%を占めています。

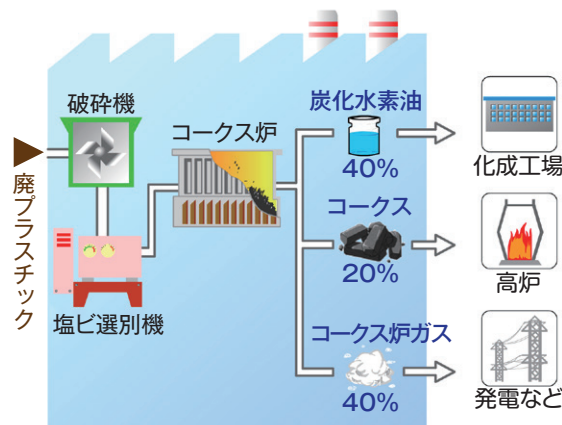
● 廃プラスチックの有効利用を

これからも考えていこう

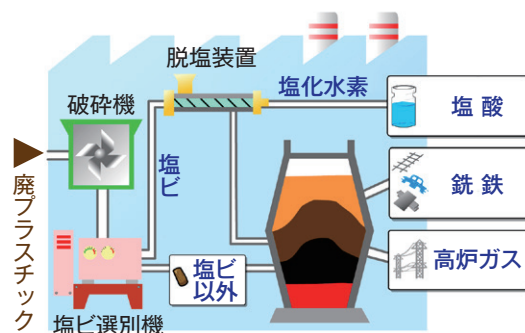
現在、回収されたプラスチックの半分以上はエネルギーリカバリーで、リサイクルされているものは多くはありません。今の技術では、リサイクルするために余計にエネルギーが必要だったり、余計に石油を消費してしまったりして、リサイクルしようとする、かえって環境負荷が大きくなる場合があるからです。また、廃プラスチックを回収しきれず、埋め立てられているものも廃プラスチック排出量のうち6%もあります。リサイクル技術をより高めていくと同時に、こういった未利用の廃プラスチックをしっかりと回収して、有効利用率を上げていくことも大切です。



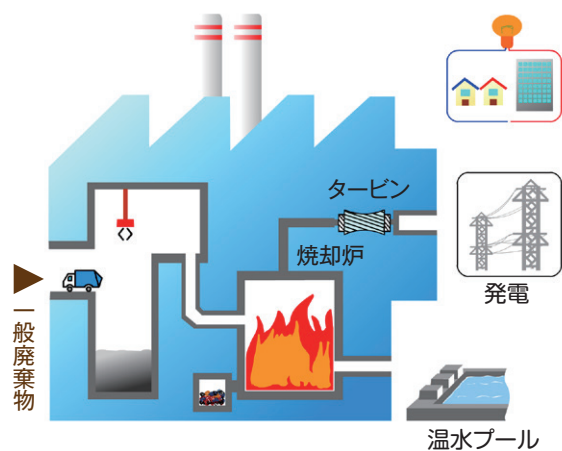
▲ 図3 ガス化



▲ 図4 コークス炉化学原料化



▲ 図5 高炉原料化



▲ 図6 エネルギーリカバリー

出典・写真提供：

一般社団法人プラスチック循環利用協会(図1、図3～図6)
公益財団法人日本容器包装リサイクル協会(図2)

海のプラスチックごみの問題

—問題解決に向けて、わたしたちができること—

プラスチックはわたしたちの暮らしに定着し、生活や産業のさまざまなところで役に立っています。

しかし、最近では使用済みプラスチック製品がごみとなって海を漂い、海岸に打ち上げられ(写真1)、景観をそこなうだけでなく、クジラやウミガメ、海鳥などが餌と間違えて食べる等の事例も報告され、国際的な問題になっています。

● 自然界で分解してできたマイクロプラスチック

プラスチックは丈夫で腐らないといった性質がある反面、自然環境中に長期間置かれると、太陽からの紫外線によって一部が分解し¹⁾、小片になりやすいという性質があります。

こうしてできた5mm以下のプラスチック片は、マイクロプラスチックと呼ばれます(写真2)。マイクロプラスチックは、海岸の清掃活動で拾い集めることが非常に難しくなるだけでなく、貝類等の小型の海洋生物の体内にも取り込まれやすくなります。

● プラスチックごみはどこから来るのでしょうか

海を漂うプラスチックごみや、海岸に打ち上げられたプラスチックごみはどこから来るのでしょうか。外国から流れて来るのでしょうか。船から捨てられるのでしょうか。あるいは、海や海岸で遊んだ人たちが捨てたのでしょうか。

もちろん、そのようにして海のごみになったものもありますが、海洋プラスチックごみの多くは、陸から川などを通じて海に流れ出したものなのです。つまり、多くの海洋プラスチックごみは、わたしたちの生活から出たものなのです。

飲み終わったペットボトルや、食べた後のパンやお菓子の袋などをポイ捨てすると、それが風で飛ばされ、雨で流され、川へ行き、川から海に流れ出るので。小さなプラスチックであれば、街の側溝から川へ流れて行きます(写真3)。

「自分は、ポイ捨てはしない」という人は多いでしょう。しかし、ポイ捨てはしなくても、知らないうちに使用済みのプラスチックを川や海に流してしまっていることがあるのです。

例えば、街かどに置かれたペットボトルの回収箱²⁾や公園の

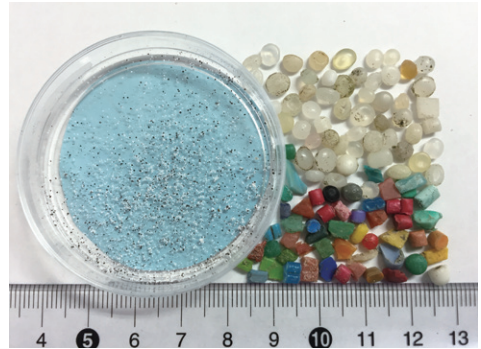
▼写真1

海岸に打ち上げられたプラスチックごみ



▼写真2

マイクロプラスチック(下は採取現場)



写真提供：特定非営利活動法人 荒川クリーンエイド
・フォーラム

ごみ箱がいっぱいになっているのに、その上やまわりにごみを捨てて行けば(写真4)、それが風で飛ばされたり、雨に流されたりして、川や海に流れて行くのです(写真5)。

● **プラスチックを海のごみにしないために
わたしたちができること**

便利でわたしたちの生活の役に立っているプラスチックですが、海のごみになってしまうと、腐らないという性質のため、半永久的に海を漂い、海岸に打ち上げられたり、また海に戻されたりしながら、環境を汚染し続けることとなります。

使い終わったプラスチック製品は、住んでいる市区町村のルールに従って、ごみ・資源としてきちんと処理しましょう。また、屋外での飲食等で発生したごみも、ごみ箱がなかったり、いっぱいだったりした場合は、家に持ち帰ってきちんと処理しましょう。

こういったわたしたち一人ひとりの行動が、海洋プラスチックの問題を解決していくのです。

- 1) 例えば、屋外で使用されるプラスチック製の洗濯ばさみやポリバケツは、折れやすくなったり、割れやすくなったりします。
- 2) ペットボトルの回収箱はごみ箱ではありません。ここに他のごみを捨てると、ペットボトルのリサイクルの障害になるので止めましょう。

▼写真5 川のマイクロプラスチック(右は採取現場)



▼写真3

河川敷にたまったプラスチックごみ



▼写真4

ペットボトル回収箱のまわりに
放置されたごみ



生活や人類の未来を支えるプラスチック

— 最新技術には欠かせないプラスチックフィルム —

● 液晶ディスプレイを構成するプラスチック

液晶ディスプレイはテレビやスマートフォンをはじめ、家電製品などのあらゆる電子機器に利用されています。液晶ディスプレイは次々と薄型化されたものが商品化されていますが、薄型の液晶ディスプレイを支えている素材が「プラスチックフィルム」になります。

図1に示すように、液晶ディスプレイはさまざまな構成要素を層状に組み合わせることで構成されています。この各層を構成する大部分に「プラスチックフィルム」が利用されています。各フィルムの役割は表のようになっています。

● フレキシブルディスプレイへの期待

2018年11月に世界初の「画面が曲がるスマートフォン」が発売されました。このように薄くて、軽く、割れない、曲がる「フレキシブルディスプレイ」が開発されてきています。この技術を可能にしているのが「プラスチック基板」です。従来の液晶ディスプレイは「ガラス基板」を用いていますが、プラスチック基板を利用することで、薄い、軽い、割れない、曲がるという特性が得られます。このように、プラスチック基板は携帯・設置・視聴の利便性を飛躍的に高めるため、幅広い用途が期待されています(図2)。

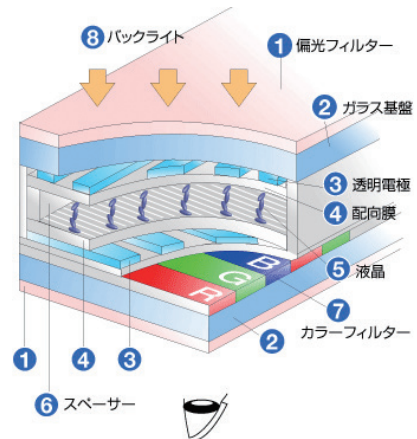
● 最先端技術で期待されているプラスチック

5G(第5世代移動通信システム)化や車の自動運転の領域でもプラスチックフィルムは期待されています。この2つに共通するのは、周波数帯域が30~300GHzの「ミリ波」と呼ばれる従来よりも高周波の信号を利用することです。これまでのガラ

▶ 図2 さまざまな分野で期待されるフレキシブルディスプレイ
フレキシブル有機ELディスプレイ(写真上,提供:シャープ株式会社)
フィルム基板上に、有機EL素子を備えたディスプレイ。軽く、丸めることができる大画面のディスプレイで鮮明な動画が表示できるようになることが期待されている。

電子ペーパー(写真下,提供:凸版印刷株式会社)

紙と同レベルの視認性を備えた表示メディアであり、画像保持や書き換えができる。電子書籍や電子棚札に用いられ、将来は紙媒体に置き換わるものとして期待されている。



▲ 図1 液晶ディスプレイの構造
提供: シャープ株式会社

表 プラスチックフィルムの役割

プラスチックフィルム	役割
偏光フィルター	出入りする光をコントロールする
配向膜	液晶分子を一定方向に並べる膜
スペーサー	液晶層の厚みを均一に保つために基板と基板の間に挿入する
カラーフィルター	赤・青・緑の色のついた膜。この3色の組み合わせで、さまざまな色をつくっている



基板を5Gシステムの回路基板やミリ波レーダーの回路基板に使うと、信号が大きく減衰し、高速伝送や高速通信に伴う信号のロスが生じ、通信性能が落ちたり、レーダーの探知距離が短くなったりしてしまいます。この基板にプラスチックを用いることで、信号の伝達ロスが少なくなることが期待されています。

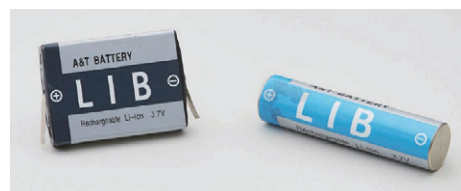
● エネルギーに貢献するプラスチック素材

リチウムイオン電池（LIB：図3）には、ポリエチレンを主成分とするフィルムが、「セパレータ」として使われています。

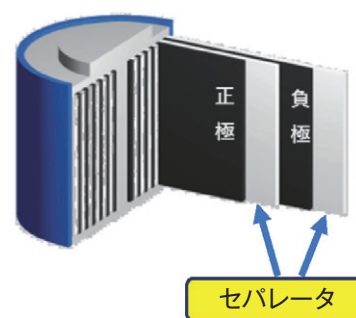
セパレータは、リチウムイオン電池の正極（プラス極）と負極（マイナス極）の間に挟むことで、正極と負極の接触を遮断し、ショートを防止しています（図4）。

また、セパレータには多くの穴が空いているため、正極と負極の間でリチウムイオンを透過させることができ（図5）、リチウムイオン電池は放電と充電を繰り返して使うことができます。

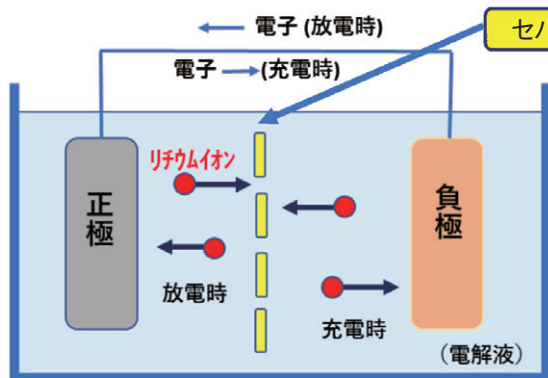
リチウムイオン電池はノートパソコンやスマートフォン、コードレス家電などに使われている他、ハイブリッド自動車、電気自動車など身近な用途に使われています。また、再生可能エネルギーの貯蔵、航空機、人工衛星などにも使われており、わたしたちの生活を支えています。



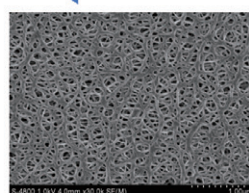
▲図3 リチウムイオン電池 (LIB)



▲図4 リチウムイオン電池の構造



▲図5 リチウムイオン電池の原理図



ハイポア™ 1) 拡大写真

1) ハイポア™：旭化成製セパレータ

● 吉野彰さん（旭化成名誉フェロー）がノーベル化学賞を受賞（2019年）

吉野さんは、現在のリチウムイオン電池の原型となる二次電池を世界で初めて考案し、製作しました。

さらに、基本技術開発や実用化のために必要な周辺技術開発を行い、小型・軽量の新型リチウムイオン二次電池を実用化しました。





生徒実験

密度でプラスチックを 区別する



ワークシート

1 ねらい

ここではプラスチックの例として身近なペットボトルを取り上げ、その性質について調べさせる。プラスチックには加熱すると燃えるなど共通の性質があるが、密度のように固有の性質もあることを実験結果をもとに見いださせる。

ペットボトルは水難救助に使われ、「浮く」というイメージが先行しがちであるが、本体のPET樹脂そのものは水より密度が大きく沈む。実験の結果を考察することにより、プラスチックの性質が種類によって異なることを見いだす。

2 準備

ペットボトルを切断するもの（金切りばさみ、ニッパー、カッター等）、100mLビーカー2個、ピンセット、ペットボトルの本体（PET）、キャップ（PEかPP）、ラベル（PSかPE）、飽和食塩水（溶けきれない量の食塩を水に加え、その上澄みを使う）、50%エタノール水溶液、保護眼鏡



キャップ

本体

ラベル

ペットボトルは飲料の容器として身近に使用されている。それをそのまま実験に用いる。

ペットボトル本体は、PET（ポリエチレンテレフタレート）であるが、キャップはPE（ポリエチレン）かPP（ポリプロピレン）であることが多い。また、ラベルにはフィルム状のPS（ポリスチレン）が用いられていることが多い。いずれも、金切りばさみやカ

ッター等で約1cm²の細片にする。

なお、同じ素材でも密度には幅がある。予備実験を行い、教材として使用できる素材かどうかを確認しておく。

3 操作

1 プラスチック片の角をピンセットでつまみ、下図のように完全に液中に入れる。その状態で、静かにプラスチック片をはなす。なお、液面より上でプラスチック片を離すと、本来なら沈むプラスチック片が表面張力のため浮く場合がある。

2 液体内のプラスチック片のようすをよく観察し、浮いたか沈んだかを判断し、記録する。

3 飽和食塩水、50%エタノール水溶液でも、同様に、浮いたか沈んだかを調べる。



ピンセットでつまむ

4 解説

下の表から、ある程度までプラスチックの種類を絞り込むことができる。浮き沈みによるプラスチックの区別は、実際にリサイクル工場におけるプラスチックの分別に利用されており、そのことを取り上げて、日常生活や社会との関連をはかることができる。

	水	飽和食塩水	50%エタノール水溶液
PE	○	○	×
PP	○	○	○
PVC	×	×	×
PS	×	○	×
PET	×	×	×

○：浮く ×：沈む

演示実験



燃え方でプラスチックを 区別する



ワークシート

1 ねらい

ここでは身近なプラスチックを取り上げ、その性質について点火したときの変化を調べる。プラスチック片に点火し、その燃え方を観察することでプラスチック片を区別する実験である。

2 準備

ペットボトルを切断するもの（金切りばさみ、ニッパー、カッター等）、プラスチック片A～E（PE, PP, PVC, PS, PET）、ピンセット5本または燃焼さじ5本、点火用ライターまたはガスバーナー、アルミニウムはく、保護眼鏡

プラスチックは、身近に使用されているものを、金切りばさみやカッター等で約1cm²の細片に切り取り、それをそのまま実験に用いる。

燃やすとすすやガスが発生するため、十分に換気に注意するとともに一度に複数のプラスチックを燃やすことがないようにする。

燃やす過程で、溶融してポタポタと下にたれたり、そのまま燃え続けたりすることがあるので、机面を傷めないようにアルミニウムはくを広げておく。汚れたアルミニウムはくは交換する。

3 操作

1 右図のように、プラスチック片の角をピンセットでつまみ、ガスバーナーで点火する。

2 点火したらすぐにガスバーナーの火からはずし、以下の点に注目して、燃えるようすを観察する。



- すぐに点火できたか
- 燃え続けるか
- 燃えながら溶けたプラスチックがたれるか
- 燃えながらすすが出るか
- どのようなにおいがするか

3 燃えるようすをできるだけ具体的に記録する。

4 解説

燃え方を比較することで、プラスチックの種類を区別することができる。結果の表から、ある程度までプラスチックの種類を絞り込むことができる。

基本的にプラスチックは石油からできる有機物で炭素や水素が主な構成元素であるが、燃え方にはそれぞれ特徴がある。においやすすの有無、自己消火性の有無などを観察すると違いを区別できる。

また、製品になっているプラスチックは2種類以上のプラスチックを重ねた複合材だったり、添加剤が含まれていたりして特定できない場合が多い。プラスチックの種類がはっきりわからなくても、種類によって共通の性質や固有の性質があることを実験を通して見いだせればよい。

プラスチックには添加剤が含まれているものもあるため、予備実験を行い、教材として使用できる素材かどうかをあらかじめ確認しておく。

燃えるようす	
PE	ぼたぼたたれながら燃え、ろうそくのにおいがした。
PP	ぼたぼたたれながら燃え、石油のにおいがした。
PVC	すすを出しながら燃えたが、すぐに火が消えた。
PS	すすを出しながら燃えたが、振ると火が消えた。
PET	すすを出しながらよく燃えた。



緩衝材として利用されるプラスチック — 発泡ポリスチレンと卵を使った実験 —



1 ねらい

発泡ポリスチレンは、緩衝材、保温材として容器などに利用されており、日常生活において欠かすことができないプラスチック素材である。

発泡ポリスチレンが、カップ麺の容器、鮮魚の配送容器などに使用されていることから、その保温材としての性質を理解することができる。発泡ポリスチレンの緩衝材としての性質もとても重要であるが、その性質を目で見て理解することができる体験は少ない。

ここでは、発泡ポリスチレンに卵を落下させ、その卵が割れない様子を実験で体験することで、発泡ポリスチレンの緩衝性を理解させることを目的とする。

2 準備

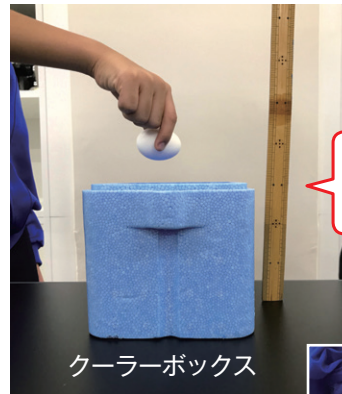
クーラーボックス¹⁾、鶏卵、1m定規

1) 発泡ポリスチレンでできたもの。

3 操作

(1) 卵を落とす実験

- 1 クーラーボックスを準備する。
- 2 高さ20cmから卵を落下させ、卵が割れないことを観察する。
- 3 徐々に高さを大きくしていき、どの高さまで卵は割れることなく落下することができるのか確かめる。



◀ 生徒が卵を高さ20cmから落下させる様子

高さ20cmから落下後、卵は割れていない

クーラーボックス

▶ 生徒が卵を高さ100cmから落下させる様子

高さ100cmから落下後、卵は割れていない



- 4 理科室の天井程度の高さから落としても、卵が割れることはないことを確認する。その際、卵が落下した弾みでクーラーボックスの外に出ないように留意する。

(2) 卵に衝撃を与える実験

- 1 クーラーボックスに卵を入れ、蓋をする。
- 2 生徒全員が円となり、卵の入ったクーラーボックスを順番に回していく。クーラーボックスを手にした生徒は、力いっぱいクーラーボックスを振り、次の人に渡す。
- 3 生徒全員がクーラーボックスを振り終わったら、クーラーボックスの中を確認する。どれだけ力強く振っても、卵が割れないことを確認する。

▼生徒がクーラーボックスを振る様子



衝撃を与えた後、
卵は割れていない

4 解説

発泡ポリスチレンは、気泡を含んだ発泡ビーズが密集してできたものである。つまり、発泡ポリスチレンは、たくさんの空気の部屋からできている。一般的に緩衝材として利用される発泡ポリスチレンは、その98%が空気であるため軽量である。さらに、たくさんの空気の部屋により適度なクッション性が生まれ、外部からの衝撃を和らげることができるのである。

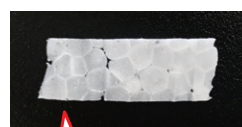
空気が多いほど外部からの衝撃を和らげることができることを、風船とスイカを使用して説明することができる。ここでは、発泡ポリスチレンの空気の部屋を、風船と置き換えて考える。ある程度の高さからスイカを落下させると、スイカは割れてしまう。しかし、風船を多量に入れた容器に落下させると、スイカは割れない。つまり、風船が多く集まるほど、空気の部屋がたくさん集まることになり、外部から加わる力は分散されるため、衝撃を和らげることができるのである。

たくさんの風船
があると、衝撃
を分散する

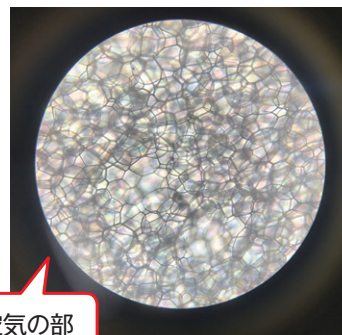


次に、発泡ポリスチレンにはどれだけ多くの空気の部屋があるのか視覚的に確認する。発泡ポリスチレンをよく観察すると、たくさんの細かい発泡ビーズがつまってできていることが分かる。カッターを使用して、この発泡ポリスチレン板の薄片をつくり、理科室にある顕微鏡（400倍）を使って観察してみると、多数の独立した空気の部屋があることが確認できる。これらの独立した空気の部屋がたくさんあるため、発泡ポリスチレンは緩衝性がある。ちなみに、発泡ビーズ1個あたり、2～3万個の独立した空気の部屋がある。

▼顕微鏡で観察した様子



発泡ポリスチレン
板の薄片



多数の独立した空気の部
屋があることがわかる

発泡ポリスチレンが緩衝材として利用される理由として、この実験で確かめた緩衝性に加え、軽くて丈夫であることも挙げられる。現在でも、発泡ポリスチレンは大型で重たい家電の梱包で使用されている。具体的には、大画面テレビや洗濯機、冷蔵庫などが段ボールに入る際、四隅が発泡ポリスチレンで囲われている。



大画面テレビの緩衝材

演示実験



プラスチックのリサイクルを体験する

—発泡ポリスチレンの溶解と再発泡の実験—



ワークシート

1 ねらい

持ってみると分かるように、発泡ポリスチレンの特徴はとても軽いことである。一般的に使用されているものの密度は $0.02\sim 0.10\text{ g/cm}^3$ 程度ととても小さい。これは、製品の95%以上が空気できており、原料のポリスチレンはわずか5%程度しか使われていないためである。

ここでは発泡ポリスチレンを溶解・再発泡させるリサイクル工程を体験する。

2 準備

発泡ポリスチレン、弁当容器のフタやインサートカップなどの発泡していないポリスチレン製品、レモンの皮、リモネン 40 mL、エタノール 20 mL、アセトン 50 mL、100 mLビーカー 3 個、500 mLビーカー 2 個、割り箸、ガラスシャーレ、加熱器具、ステンレス茶こし（またはステンレスざる）、保護眼鏡

発泡ポリスチレンや弁当容器のフタは、あらかじめ3 cm角程度に切断しておく。発泡していない材料は、厚めのものだと溶けるのに時間がかかり、変化の様子が分かりにくい。また、縦長の素材を用意しておく、リモネンやアセトンに溶解する様子がある程度長い時間観察できる。

3 操作

(1) リモネンによるポリスチレンの溶解

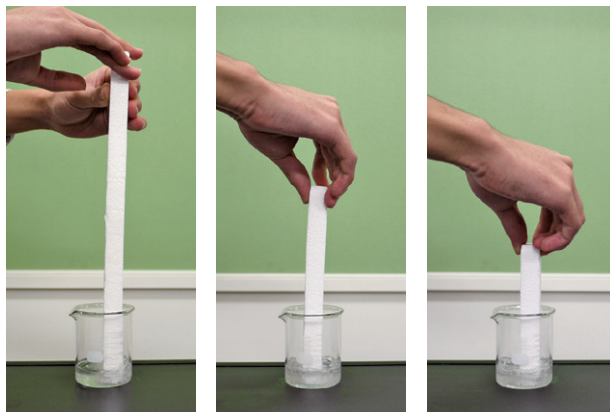
- 1 レモンの皮側を絞り出すようにして、発泡ポリスチレンや弁当容器のフタにこすりつける。
- 2 しばらく放置して、表面が溶けて凹んでくる様子を観察する。



レモンの皮をこすりつけた部分が凹む

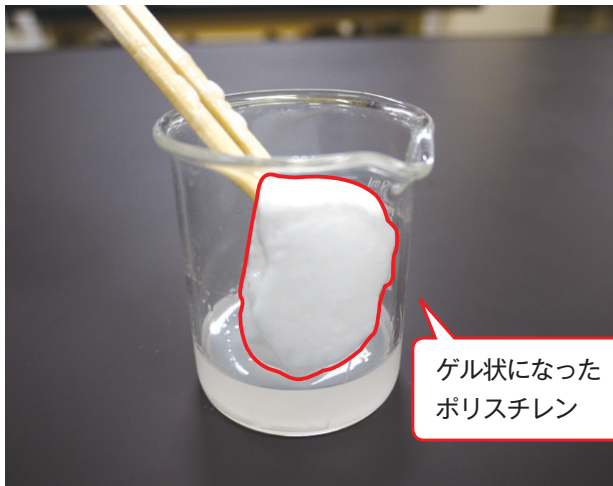
- 3 リモネン20 mLを入れた100 mLビーカーに発泡ポリスチレンや弁当容器のフタを20片程度入れて、完全に溶けて透明になるまで割り箸でかき混ぜる。

- 4 発泡ポリスチレンと弁当容器のフタの溶け方の違いを観察する。



(2) エタノールによるポリスチレンの分離

- 1 ポリスチレンをリモネンで溶かした溶液を入れた100 mLビーカーに、ゆっくりとエタノール20 mLを加えていき、割り箸でよくかき混ぜる。
- 2 溶液が混ざると、すぐにゲル状になったポリスチレンが分離する。
- 3 取り出したポリスチレンをガラスシャーレの上に置き、2~3日乾燥させてポリスチレン原料にする。



(3) ポリスチレン原料の再発泡

- 1 500mLビーカーにアセトン50mLを入れる。
- 2 耳たぶ程度の硬さになるまでポリスチレン原料を溶かしていく。
- 3 べたつきがなくなるまで手でこねて、2~5mm程度のビーズ状にする。
- 4 500mLのビーカーに水を入れて、ガスバーナーで90℃程度まで加熱する。
- 5 茶こし（または、ざる）の1/5程度まで3のビーズ状のポリスチレン原料を入れて、茶こしごと湯の中に入れる。

注意

アセトンは揮発性・引火性の有機溶媒なので、加熱の際には十分注意する。



◀ 発泡前のポリスチレン原料



▶ 発泡後のポリスチレン原料

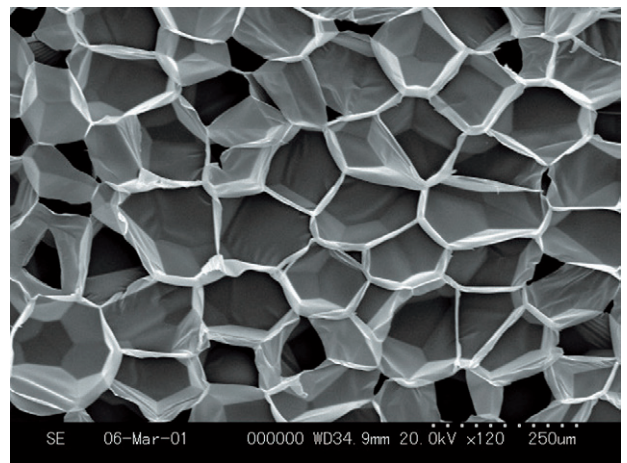
6 湯に入れるとすぐにポリスチレン原料が発泡するので、発泡したらビーカーから茶こしを取り出す。

7 茶こしが十分冷めてから中身を取り出し、様子を観察する。

4 解説

化学用語としては「発泡ポリスチレン」が正式名称だが、一般的には「発泡スチロール」と呼ばれることが多い。これは、本格的に生産が開始されたのがドイツであり、原料であるスチレン（英語）のドイツ語がスチロールであることに由来する。

工場で作られる発泡ポリスチレンの原料ビーズには、発泡剤としてブタンやペンタンが含まれていて、水蒸気を当てて加熱すると膨張する。ポリスチレンは熱可塑性樹脂なので、加熱によって軟化すると同時に発泡剤が気化し、細胞のような構造を形成する。



この実験による発泡ポリスチレンの溶解・再発泡の方法は、以前行われていた「マテリアルリサイクル」の1つであるが、現在は発泡ポリスチレンを破碎した後、摩擦熱によって軟化・脱泡（泡を消す）、そして最後に圧縮することで体積を減らす方法が主流となっている。



廃プラスチックの有効利用

— 酸化銅の還元の実験 —



ワークシート

1 ねらい

炭素、水素で酸化銅 (CuO) を還元すると、それぞれ二酸化炭素 (CO_2)、水 (H_2O) が生成する。ここでは炭素と水素の両方からなるプラスチックのポリエチレン (PE) を用いて酸化銅の還元を行う。

製鉄所では、鉄鉱石 (主成分は酸化鉄) をコークス (C) で還元して鉄 (Fe) を生成している。最近では、還元剤として廃プラスチックも用いることがある。この実験では、鉄鉱石 (酸化鉄) よりも還元されやすい酸化銅を用いた。プラスチックの有効利用の一例として酸化銅の還元実験を行い、化学的に合成されたプラスチックの利用方法を考えたい。

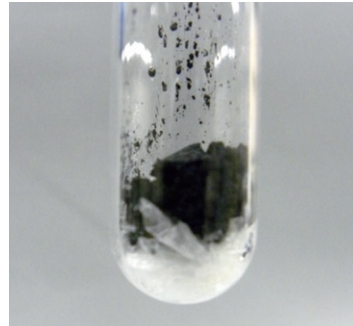
2 準備

酸化銅 (CuO) 1g, ポリエチレン 0.1g (ポリエチレンの袋を切ったもの), 石灰水, 塩化コバルト紙, 葉包紙, ピンセット 1本, 試験管 3本, 誘導管, 試験管立て 1台, ガラス棒 1本, ピンチコック 1個, 葉さじ (金属製), 電子天秤, 加熱器具, スタンド, 保護眼鏡

3 操作

注意 | この実験は換気をよくして行うこと。

- 乾いた試験管 A に、ポリエチレン 0.1g を詰める。
* ガラス棒を用いて、奥まで押し込んで詰める。
- ①の試験管 A に酸化銅 1g を入れる (写真1)。
* ポリエチレンの上に酸化銅をのせるようにする。
- 試験管 A の口を上にして、スタンドに斜めに固定する。
- 試験管 B に、石灰水 5mL を入れる。
- 試験管 A に、誘導管をつなぎ、その誘導管の先を試験管 B の石灰水に入れる。



◀ 写真1



◀ 写真2

- 試験管 A を弱火で加熱する (写真2)。
- 試験管 A の酸化銅, 試験管 B の石灰水の色の変化を観察する。
- 誘導管の先を石灰水から外し、空の試験管 C に差し込む。
- 加熱を止めて、すぐに誘導管のゴム管を折り、ピンチコックでとめる。
- 試験管 A が冷めたら誘導管を外し、塩化コバルト紙で試験管の口の部分に付着した水の生成を確認する。
* 塩化コバルト紙はピンセットで扱うこと。
- 試験管 A の中身を葉包紙の上に出し、葉さじの裏でこする。

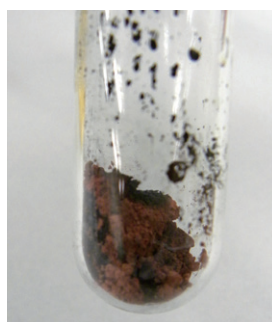
4 解説

操作**1**では、ポリエチレンの使用量は必要最低限にしたい。ポリエチレンの量が多いと、加熱した際に生じる分解生成物の臭いが強くなる。

操作**2**、**3**で、ポリエチレンの上に酸化銅をのせ、試験管Aの口は上になっている。酸化銅を炭素で還元するときは、試験管の口を下にするが、この実験では、試験管の口を上に向けている。これは、ポリエチレンの分解生成物を外に出にくくし、効率よく反応させるためである。また、この反応で水も生成しているが、水の生成量はわずかで、試験管の口にできた水滴が加熱部に流れて試験管が割れるということはない。

操作**6**で、加熱によってポリエチレンが分解し白煙が発生する。この操作を強火で行うと白煙が激しく発生し、分解生成物の臭いが外に出てくるので注意したい。

操作**7**で、試験管Aの酸化銅は黒色から赤茶色に変化するのが観察できる(写真3)。色の変化から酸化銅が銅に変化したことが分かる。また、誘導管の先からは気体が発生し、試験管Bの石灰水は白く濁る(写真4)ことから、発生した気体は二酸化炭素であることが分かる。



▲写真3



▲写真4

操作**8**で、石灰水から誘導管を外してから、加熱を止めるのは、石灰水が試験管Aに逆流しないようにするためである。

操作**9**で、加熱を止めた後、ゴム管を折って、ピンチコックでとめるのは、試験管Aが冷えたとき外の空気が、試験管Aに入ってきて、生成した銅が再

度酸化して酸化銅に戻るのを防ぐためである。

操作**10**で、塩化コバルト紙で水が生成したことを確認する。試験管Aの口の近くに白い物質が付着するが、これは大部分が加熱によって分解したポリエチレンである。その中に含まれるわずかな水を検出することになる。薄い青色の塩化コバルト紙は水に触れると桃色に変化する。この変化は少量の水でも起こり、湿度が高くても、すぐに変色する。使用前に塩化コバルト紙の色が桃色に変化してしまった場合は、ドライヤーなどで加熱して、青色に戻すとよい。

操作**11**では、葉さじの裏で銅をこすり、金属の光沢を確認する。

実験後、試験管Aの中は、加熱したポリエチレンが付着し、汚れが落ちにくい。クレンザー、ブラシなどを用いて、しっかりと汚れを落としたい。汚れが残ってしまった場合は、この実験専用の試験管にするとよい。

廃プラスチックの有効利用

製鉄所では、溶鉱炉に原料として鉄鉱石(主成分は Fe_2O_3)、コークス(C)、石灰石(CaCO_3)を適当な割合で加え、加熱することによって、鉄を生成しています。この時、コークスは燃料、そして鉄鉱石の還元剤として用いられます。近年、このコークスに、炭素、水素を含む廃プラスチックを加えて鉄を生成することが行われています。廃プラスチックは溶鉱炉の中で直ちに一酸化炭素(CO)と水素(H_2)になり、鉄鉱石の還元剤となります。このようにして、鉄鋼業において、廃プラスチックが有効利用されています。この方法は、さまざまな種類の廃プラスチックが利用可能で、再資源化率が高くなっています。また、経済性に優れ、コストの低減に貢献しています。



延伸プラスチックの熱収縮

— 延伸プラスチックフィルムの性質を利用した工作 —



ワークシート

1 ねらい

複雑な形状をしているペットボトルや調味料の瓶でも、その外側は容器の形に合わせたポリスチレンなどのフィルムで包まれていることが多い。これは、縦方向に引っ張って（一軸延伸）、あるいは縦方向と横方向に引っ張って（二軸延伸）つくったフィルムが、加熱によって元の大きさに収縮し、容器に合わせた形状となるからである。



ここでは延伸プラスチックフィルムの熱収縮を体験する。

2 準備

延伸ポリスチレンを用いたペットボトルのラベル¹⁾、リボンテープ、オリジナルペットボトル作成フィルム²⁾、耐熱ボウル、はさみ、割り箸、アイロン、アイロン台、当て布、パンチ、空のペットボトル、電気ポット、タオル

注意

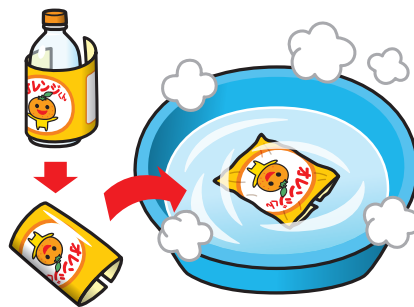
熱湯やアイロンを使うときはやけどをしないように十分に注意すること。

- 1) ペットボトルのラベルにはいくつかの種類があるが、ミシン目がついているラベル（シュリンクラベル）を選ぶこと。
- 2) 100円ショップや事務用品の通販会社で購入できる。単価は1枚約50円。ポリ塩化ビニル製などでも可。

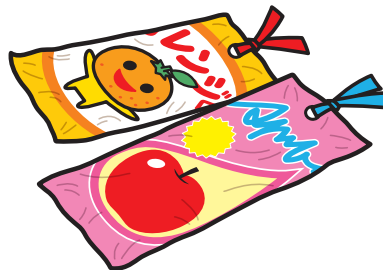
3 操作

(1) ペットボトルラベルを使ったしおりづくり

- 1 ミシン目の部分を切り取り、ペットボトルからラベルをはがす。
- 2 耐熱ボウルに熱湯を入れ、割り箸を使ってラベルを湯にくぐらせる。
*加熱の程度によって、元の1/2~1/3程度の大きさになる。



- 3 湯からラベルを出して表面を拭く。
- 4 ラベルに当て布を重ね、アイロンをかけて平らにする。
*アイロンは低温で使用する。また、温めすぎるとラベルがとけるので注意すること。
- 5 はさみを使って、ラベルを適当な大きさ・形に切る。
- 6 パンチで穴を開け、適当な長さに切ったリボンテープを結ぶ。



(2) オリジナルペットボトルラベルづくり

- 1 油性ペンを使って、オリジナルペットボトル作成フィルムにイラストや文字をかく。
- 2 ラベルをはがしたペットボトルに水を入れ、上から1のフィルムをかぶせる。
- 3 フィルムを手で押さえながら、電気ポットの中の湯に入れる。
- 4 ペットボトルについての湯をタオルでふき取る。



4 解説

今回の実験のように、ペットボトルのラベルには、延伸したプラスチックフィルムを加熱すると元の大きさに収縮するという性質を利用したもの（シュリンクラベル）がある。ペットボトルの形状は販売している会社によって異なり、表面に複雑な凹凸があるものが多い。しかし、延伸プラスチックフィルムであれば、どんな形状のペットボトルにもしっかりと密着したラベルをつくることできる。



また、この性質や技術は、ペットボトルだけでなく他の製品にも使われている。例えば、複雑な形状をした製品でも、延伸プラスチックフィルムで包装し、新品であることを示したり、商品を汚れから保護したりすることができる。



延伸プラスチックフィルム

プラスチックのフィルムを製造するとき、一定の方向に引っ張って伸ばす加工（延伸）をすると、その方向への張力に対して非常に強いフィルムができます。これは、延伸前には絡み合った状態だった分子鎖が、延伸することで密な形で同じ方向に並ぶためです。

延伸したフィルムは、そのままでは徐々に縮もうとしますが、引っ張った状態で熱を加えるとその温度以上にならない限り収縮しないようになります（ヒートセット）。ヒートセットしたフィルムを使った製品には、包装用フィルムや弁当容器の透明な蓋などがあります。

逆に、熱固定せずに収縮する性質を利用したものが、ペットボトルのラベルなどに使われているフィルムです。

演示実験



ナイロン66の合成

— 重合反応の観察 —



ワークシート

1 ねらい

プラスチックは、合成高分子化合物の一種であり、構造の一部を変えることで、さまざまな機能を持たせることができる。しかし、その基本の構造は、モノマーという基本単位を次々に結合させていく「重合」という反応によって合成される。

今回は2種類のモノマーを重合させてつくる「ナイロン66」という合成繊維の合成実験を観察する。2種類の透明な液体を混ぜ合わせると、その界面に繊維が合成される様子から、プラスチックへの理解を深める。

2 準備

アジピン酸ジクロリド1 mL, ヘキサメチレンジアミン1 mL, ヘキサン25 mL, 水酸化ナトリウム0.5 g, メスシリンダー, ビーカー2個, ピペット2本, ガラス棒1本, ピンセット1本, 試験管1本, 保護眼鏡

今回はアジピン酸よりも反応性が高いアジピン酸ジクロリドを使用している。アジピン酸ジクロリドは古いものを使用すると、糸状になりにくい。また、反応により発生する塩化水素を水酸化ナトリウムで中和することで、ナイロン66が生成しやすくなる。

ヘキサメチレンジアミンの融点は42℃であるため、常温ではビンの中で固まっている。そのため、用いるときは試薬ビンをポリ袋に入れて湯の中に入れてとかす。試薬ビンから移す際には、素早く容器に移し、吐き出しと吸引を繰り返して、ピペット内を洗う。アルカリ性が強いので、皮膚についたときは、直ちに大量の水で洗う必要がある。また空気中では二酸化炭素を吸収して、白色の炭酸塩になるため、溶液のつくり置きはできない。

ヘキサンはアジピン酸ジクロリドの溶媒として用いる。ヘキサンは、においはきつくないが、慢性毒性があるので取り扱いに注意する。

3 操作

(1) 溶液の調整

- 1 メスシリンダーでヘキサン25 mLを計り取り、ビーカーに入れる。
- 2 アジピン酸ジクロリドをピペットで1 mLとり、**1**のビーカーに入れて、完全に混ざるまでガラス棒で混ぜる。(A液)
- 3 メスシリンダーで水25 mLを計り取り、ビーカーに入れる。
- 4 ヘキサメチレンジアミンをぬるま湯につけて温めてとかす。とけたらピペットで1 mLとり、**3**のビーカーに入れて、完全に混ざるまでガラス棒で混ぜる。
- 5 水酸化ナトリウム0.5 gを**4**のビーカーに加えて溶かす。(B液)



調製した溶液：左がB液，右がA液

(2) ナイロンの合成

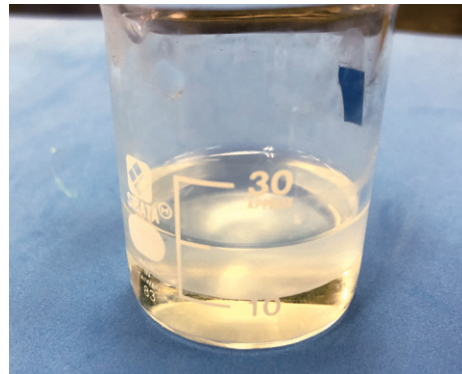
- 1 B液にA液を静かに加える。
- 2 A液とB液の界面にできた膜をピンセットでつまみあげて、試験管に巻き取る。
- 3 流水で2の試験管を洗った後、乾燥させる。

4 解説

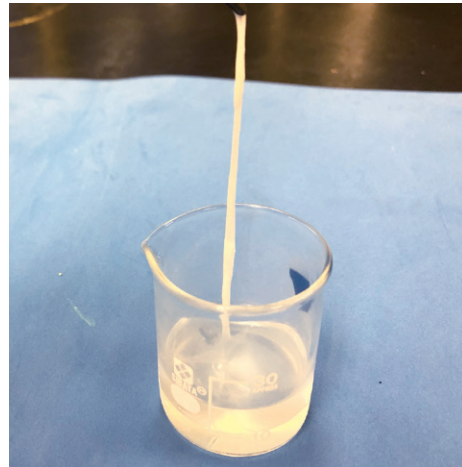
この実験では、反応性の高いアジピン酸ジクロリドを使用しているが、工業的にはアジピン酸を用いて合成される。アジピン酸とヘキサメチレンジアミンによるナイロン66の合成は、以下の反応が起こる。

下の反応のように「-CO-NH-」の結合をアミド結合といい、この結合を持つ繊維を「ポリアミド系繊維」と呼ぶ。アミド系繊維には、ストッキングやたわしに用いられるナイロン66や歯ブラシに用いられるナイロン6などがある。

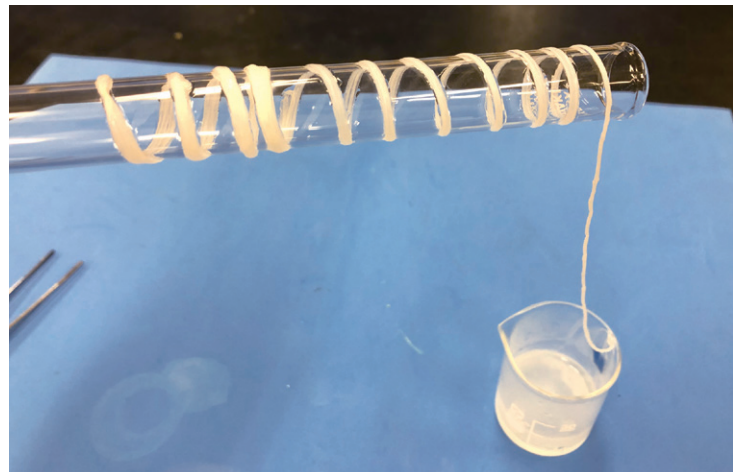
またアミド結合の代わりに、「-CO-O-」の結合をエステル結合といい、この結合を持つ繊維を「ポリエステル系繊維」という。ポリエステル系繊維には、ペットボトルや衣服等に利用されるポリエチレンテレフタレートなどがある。



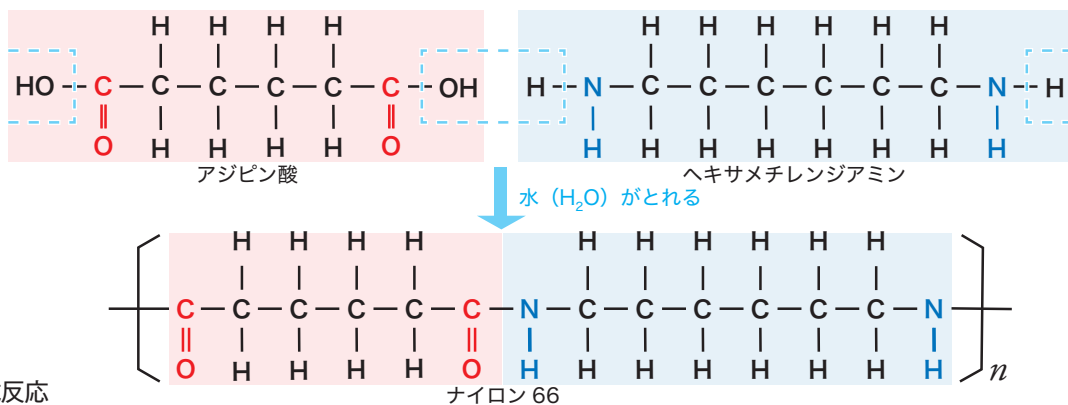
界面に生じた膜



膜を引きあげる



膜を引きあげ、試験管に巻きつける



ナイロン66の合成反応

くらしを支えているプラスチックをとらえ直そう



ねらい

- 自然環境の保全と科学技術の利用のあり方について科学的に考察する。
- 持続可能な社会をつくっていくことが重要であることを認識する。
- 科学的な根拠に基づいて意思決定をする。

① ディベートのテーマを提示し、ルールを説明する

「プラスチックを使わない社会にする」

というテーマでディベートをします！



どうしたら、うまく説得できるかな

チームプレーで、役割分担することがポイントかもね



感情的な発言は減点の対象です



② ディベートで勝つために情報を収集する



図書室で調べてもいいですよ

インターネットを見てもいいですよ

マイクロプラスチックとは

5 mm以下の微細な粒子となったプラスチックをいう。有害な化学物質を添加物として含んでいる。海水中から吸着したりする場合がある。魚や海鳥、そして生態系への影響が懸念される。

2019年6月

大阪ブルー・オーシャン・ビジョン

G20大阪サミットで、日本は途上国の廃棄物管理に関する能力構築及びインフラ整備等を支援していくことを表明した。

海洋プラスチックごみによる新たな汚染を2050年までにゼロにすることを目指す。

紫外線はプラスチック全般を劣化させます。外で使われるプラスチック製品ほど紫外線を浴びやすいのです。細分化され、マイクロ化されると、回収不能になってしまいます。

賛成!

思い切ってプラスチックを使わない生活をしないと、将来の地球環境は大変なことになってしまいます。

「ゴミ箱が見当たらない」「他の人がやっている」等の安易な気持ちのポイ捨てや悪いと分かってやっている不法投棄問題はなかなかなくなりません。

海には800万トンのプラスチックごみが流出しているとされています。マイクロ化すると回収するのが難しいのです。新たな流出を止めない限り、増える一方になってしまう現実があります。



プラスチックがなくなると、大変。
衣食住のほとんどのものにプラス
チックは使われています。



プラスチックがなくなると、生活
しにくくなるのは間違いありませ
ん。別の素材に置き換えられない
ものもたくさんあります。



プラスチックは役に立つ！

近年、プラスチックほど、短時間で浸透し、我々の生活に利便性と恩恵をもたらした素材はない。経済社会になくてはならないのがプラスチックだ。

2019年5月

プラスチック資源循環戦略

環境省等が発表した、資源・廃棄物制約、海洋プラスチックごみ問題、地球温暖化、アジア各国による廃棄物の輸出入規制等の幅広い課題に対応するための策。3R + Renewable（再生可能資源への代替）を基本原則としたプラスチックの資源循環を総合的に推進する。

反対！

化石燃料に限りはあるか？

近年、石油の生産量は増えている。これは技術革新が進み、採算にあう商業生産が可能になったからである。

プラスチック製品のリサイクルやリユース、ごみの分別回収など、わたしたちがすぐにできることがもっとあるのではないのでしょうか。

プラスチックストローやプラスチック袋を使わなくするのはいいけど、プラスチック全体の生産量からするとわずかなものでしかありません。

脱プラスチックへ向けた企業や国の取り組み

衣料品：商品を紙袋に包む
飲食：使い捨てストローの廃止
食料品：プラスチック袋（レジ袋）の有料化や紙袋への変更



ただプラスチックを使わないというのは単純過ぎます。大気汚染や水質汚染等の公害を科学的技術の進歩が克服してきたように、この問題は科学技術で解決すべきでは…。

まとめ

③ 感想を小作文でまとめる



「持続可能な社会」という観点を作文の中に入れてください

④ 単元のまとめをする

指名した人に発表してもらいます



わたしたちのグループでは…

中学校理科 教授用資料

調べてみようプラスチック

参考文献

- 「こんにちは, プラスチック」日本プラスチック工業連盟
- 「暮らしの中のいろいろなプラスチック」日本プラスチック工業連盟
- 「JEPSA INFORMATION」発泡スチロール協会
- 「マテリアルリサイクルによる天然資源消費量と環境負荷の削減に向けて」
(平成28年5月環境省)
- 「新たな発見 塩ビ工業・環境協会 生活と塩ビ」塩ビ工業・環境協会
- THE MAKING「消しゴムができるまで」サイエンス チャンネル

監修

山口晃弘 品川区立八潮学園 校長

執筆

中学校理科プラスチック教育研究会

企画・制作



日本プラスチック工業連盟

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-5-2 アロマビル5F
TEL●03-6661-6811 WEB●<http://www.jpif.gr.jp>



塩ビ工業・環境協会

〒104-0033 東京都中央区新川1-4-1 (六甲ビル8F)
TEL●03-3297-5601 WEB●<http://www.vec.gr.jp>



発泡スチロール協会

〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町2-20 翔和秋葉原ビル6F
TEL●03-3861-9046 WEB●<https://www.jepsa.jp>

編集協力



大日本図書株式会社

〒112-0012 東京都文京区大塚3-11-6
TEL●03-5940-8675 WEB●<https://www.dainippon-tosho.co.jp>