高校化学 L01 第 180 講 化学資源と材料の循環

この講でできるようになること

- 化石資源・バイオマス等から材料が作られ、使用・回収される流れを示し、再使用・再資源化の違いを説明できる。

1. 資源から材料、製品へ

有機・高分子材料は、自然界から得られる資源や、回収された資源を出発点としてつくられる。ここでは、資源、原料、材料、製品を同じものとして扱わず、それぞれが物質の流れのどの段階にあるかを見ることが重要である。

資源・原料・材料・製品

資源とは、利用する価値をもつ自然由来の物質や、使用後に回収されて再び利用できる物質などを指す。**原料**は、材料をつくるために製造工程へ投入される物質であり、**材料**は製品の形や機能を支えるために使われる物質である。**製品**は、材料を加工して使用目的に合わせた形にしたものである。

例えば、原油は化石資源の一つであり、そこから得られるナフサなどを原料としてエチレンなどの基礎化学原料がつくられ、それを重合してポリエチレンなどの高分子材料がつくられる。この材料を加工すると、包装フィルムや容器などの製品になる。

©ミライコーチング

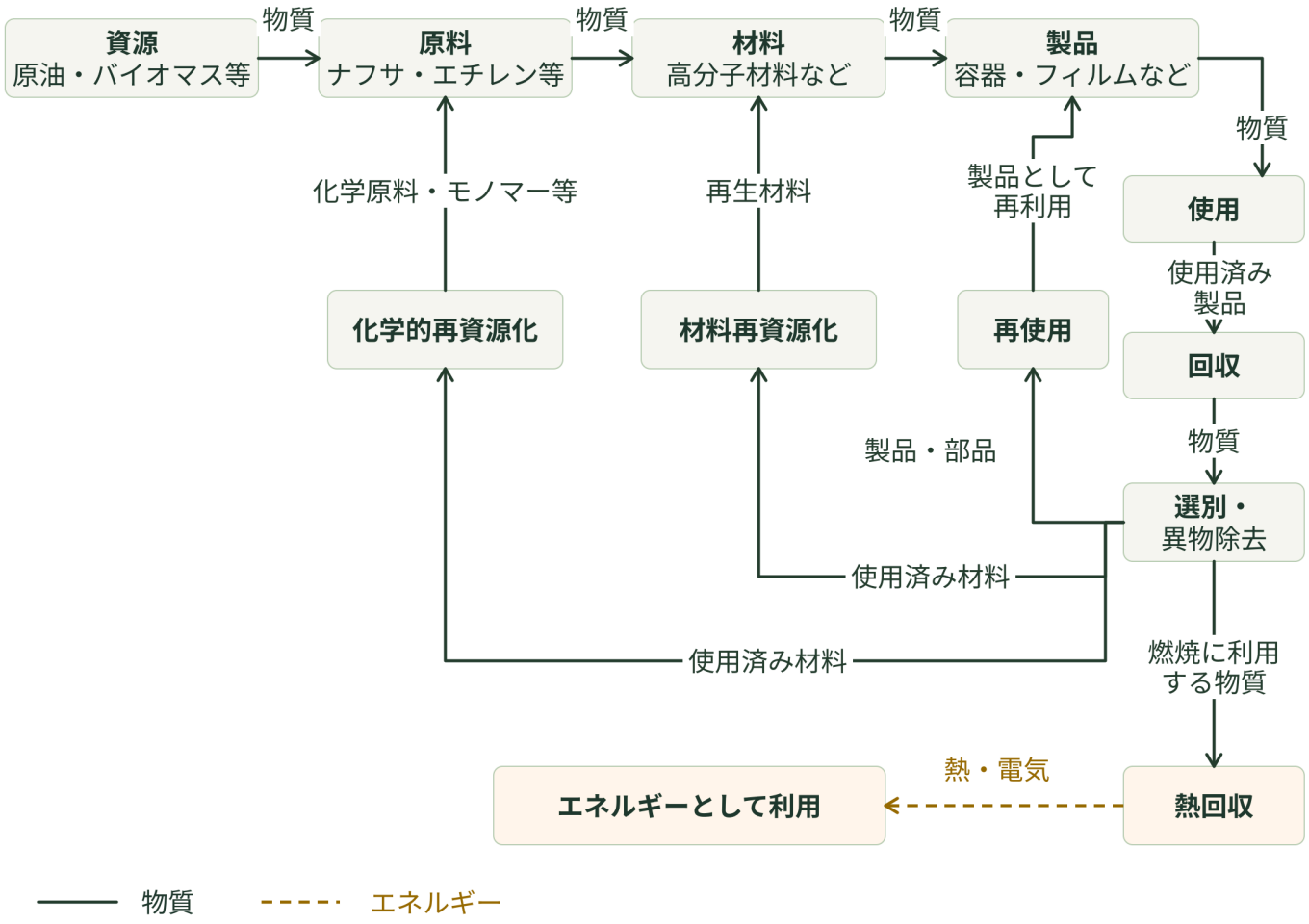

図 1　資源から材料への流れと回収後の経路

この図では、矢印が何を運んでいるかを見る。再使用では製品や部品そのものが再び利用され、材料再資源化では使用済み材料から再生材料をつくり、化学的再資源化では材料を化学的に変化させて原料やモノマーなどへ戻す。

熱回収では、燃焼などによって熱を取り出して利用するので、元の材料そのものが材料として戻るわけではない。したがって、熱回収から材料や原料へ戻る物質の循環矢印を描いてはいけない。

2. 回収と選別は、循環の入口である

回収と選別

回収とは、使用済み製品や材料を集め、次の処理へ移すことである。**選別**とは、集めたものを材質、形状、状態などに応じて分け、異物や不要なものを取り除く工程である。

回収されたからといって、その時点でリサイクルが完了したわけではない。回収物が混ざっていたり、汚れていたり、材料としての性質が変化していたりすると、目的とする再資源化工程へそのまま投入できない場合がある。

©ミライコーチング



図 2　回収・選別のイメージ

材料再資源化では、異なる材料が混ざると再生材料の性質が安定しにくくなる。また、汚れや異物が残ると、再生後の材料の品質に影響することがあるため、回収と選別はその後の循環経路を決める重要な工程である。

3. 再使用と再資源化は何が違うか

再使用

再使用とは、使用済みになった製品や部品を、製品や部品として再び使うことである。洗浄や修理を行ってから再び使う場合も、製品としての形や役割を保っていれば再使用に当たる。

再資源化

再資源化とは、使用済み製品や材料を、再び利用できる材料や原料などへ変換して利用することである。再資源化では、製品そのものをそのまま使うのではなく、材料または原料として利用する段階へ戻す。

再使用と材料再資源化の違いは、「何をそのまま使うか」にある。例えば使用済みの容器を洗浄して同じ容器として使えば再使用であり、容器を破砕・洗浄・溶融して再生材料にすれば材料再資源化である。

©ミライコーチング

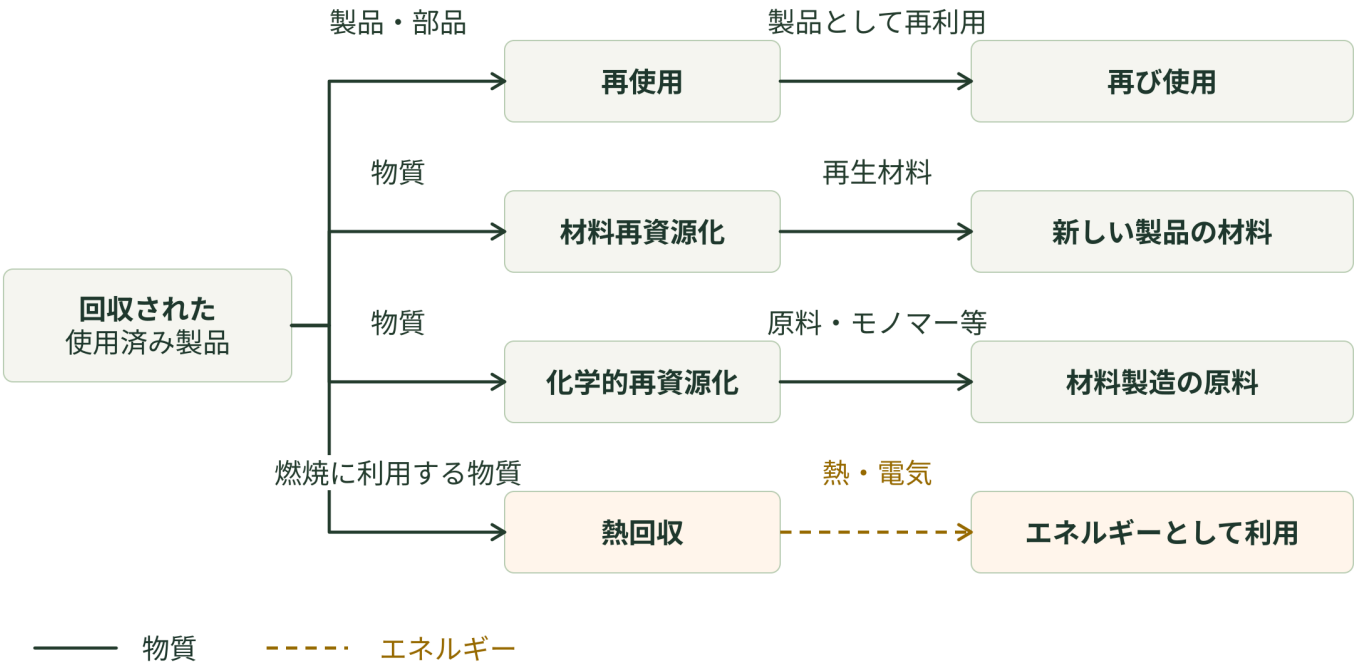

図 3　回収後の 4 つの経路

3-1．材料再資源化

材料再資源化では、使用済み材料を選別し、必要に応じて破砕、洗浄、溶融などを行って再生材料にする。例えばプラスチックを再生して、別のプラスチック製品の材料として利用する流れが考えられる。

この方法では、元の材料に含まれていた異物や別種類の材料が混ざると、再生材料の性質が変わることがある。また、使用や加工によって材料が劣化している場合には、元と同じ用途へ戻せるとは限らない。

3-2．化学的再資源化

化学的再資源化では、使用済みの高分子材料などを化学的に変化させ、原料やモノマーなどとして再利用する。高分子をそのまま材料として戻すのではなく、化学構造を変えて原料側へ近づける点が特徴である。

例えば、ある高分子を化学的に分解してモノマーなどを得れば、その物質を再び重合して高分子材料をつくる流れにつなげられる。したがって、物質フローでは「使用済み材料→化学的処理→原料・モノマー→材料製造」と読む。

3-3．熱回収

熱回収では、使用済み物質を燃焼などに利用し、そのときに得られる熱を利用する。熱から蒸気や電気などを得る場合もあるが、戻ってくるのはエネルギーであり、元の高分子材料そのものではない。

したがって、「使用済みプラスチック→燃焼→熱→利用」という流れは、材料循環とは異なる。熱回収を材料再資源化と同じものとして扱わないことが重要である。

©ミライコーチング

4. 原料の由来と材料の性質を分けて考える

化石資源とバイオマスは、材料の出発点となる資源の種類が異なる。化石資源には原油や天然ガスなどがあり、バイオマスには植物や木材などの生物由来の有機資源がある。

一方、材料がどのような性質をもつかは、原料の由来だけでは決まらない。例えばバイオマス由来の原料から、石油由来のものと同じ化学構造をもつポリエチレンをつくることもできるため、「バイオマス由来」と「生分解性」は同じ意味ではない。

バイオマス由来と生分解性

バイオマス由来とは、材料をつくる原料の全部または一部がバイオマスに由来することを表す。**生分解性**とは、適切な条件のもとで微生物などの働きによって材料が分解される性質を表し、原料の由来そのものを表す言葉ではない。

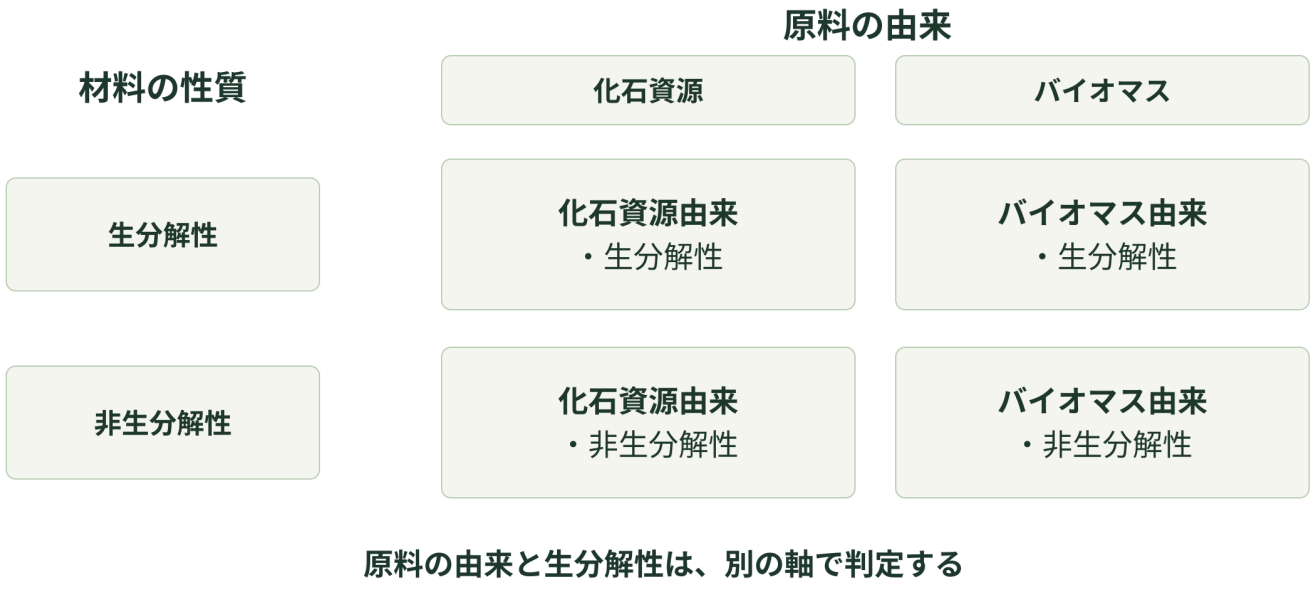

図 4　原料の由来と生分解性の 2 つの分類軸

バイオマスは自然の中で再生され得る資源であるが、利用速度や土地・水などの条件を無視して無制限に利用できるわけではない。また、資源の種類だけを見て材料の環境面での優劣を一律に決めることもできない。

本講では、資源の由来と材料の性質を区別し、まず物質がどこから来てどこへ移るかを見る。材料の環境面を総合的に評価するための条件や社会的な比較は、別の段階で扱う。

5. 回収量と再資源化量を数量で読む

資源循環を数量で考えるときは、「どの量を分母にした割合なのか」を必ず確認する。同じ回収量でも、使用済み量を分母にするか、回収量を分母にするかによって割合は変わる。

例えば、回収率を「使用済み量に対する回収量の割合」と定義すると、

$$\text{回収率} = \frac{\text{回収量}}{\text{使用済み量}} \times 100$$

となる。

©ミライコーチング

一方、再資源化率は対象や定義によって分母・分子の置き方が異なるため、定量問題では条件を確認する。本講の問題では、必要な場合に「回収量を分母とし、材料再資源化量と化学的再資源化量を分子とする」などの条件を明記する。

本講の数量問題では、材料再資源化量・化学的再資源化量を、実際に得られた再生材料・再生原料の質量として与える。再資源化工程への追加原料質量はないものとし、再生材料・原料にならなかった分は、固体残渣だけでなく未回収分などを含む計算上の「残さ」にまとめる。熱回収に回る量は、その工程へ送る使用済み物質の質量であり、取り出す熱量ではない。質量収支はこの仮定内の集計であり、追加投入による質量増加は考えない。各数値・率は教材用の仮定であり、実統計ではない。

また、ある範囲の物質フローを区切って考えると、回収された質量は複数の処理先へ分かれる。例えば、

$$\textbf{回収量} = \textbf{再使用量} + \textbf{材料再資源化量} + \textbf{化学的再資源化量} + \textbf{熱回収に回る量} + \textbf{残さ}$$

と表せる。

ここで大切なのは、熱回収に回った質量を「材料として戻った質量」に加えないことである。熱回収ではエネルギーが利用されるので、材料や原料として循環した量とは別に数える。

©ミライコーチング

1

回収された製品の行き先

使用済みのプラスチック容器が回収され、次の 4 通りの処理が行われた。

- A：洗浄・点検した後、容器として再び使用する。
- B：破砕・洗浄・溶融して再生材料をつくり、新しい製品の材料にする。
- C：高分子を化学的に分解して、原料やモノマーなどとして利用する。
- D：燃焼して得られた熱を利用する。

問 1

A〜D を、再使用、材料再資源化、化学的再資源化、熱回収に分類せよ。

問 2

A〜D のうち、材料や原料そのものではなく、エネルギーが利用される経路を 1 つ選び、その理由を説明せよ。

解答・解説

問 1

A：再使用　B：材料再資源化　C：化学的再資源化　D：熱回収

A は容器としての形や役割を保ったまま再び使っているので、再使用である。B は使用済み製品を処理して再生材料に戻しているので材料再資源化、C は化学的に変化させて原料やモノマーなどへ戻しているので化学的再資源化である。

D では燃焼によって得られる熱を利用しているため、熱回収である。ここでは元のプラスチック材料がそのまま材料として戻るのではなく、エネルギーが利用されている。

問 2

D である。

D では使用済み物質を燃焼などに利用し、そこで得られた熱を利用する。元の材料そのものが再び材料として循環するのではない。

©ミライコーチング

2

回収率と再資源化率

ある仮想的な材料循環を考える。使用済み製品が 1000 kg 発生し、そのうち 760 kg が回収された。回収された 760 kg は、材料再資源化 500 kg、化学的再資源化 160 kg、熱回収 80 kg、残さ 20 kg に分かれた。

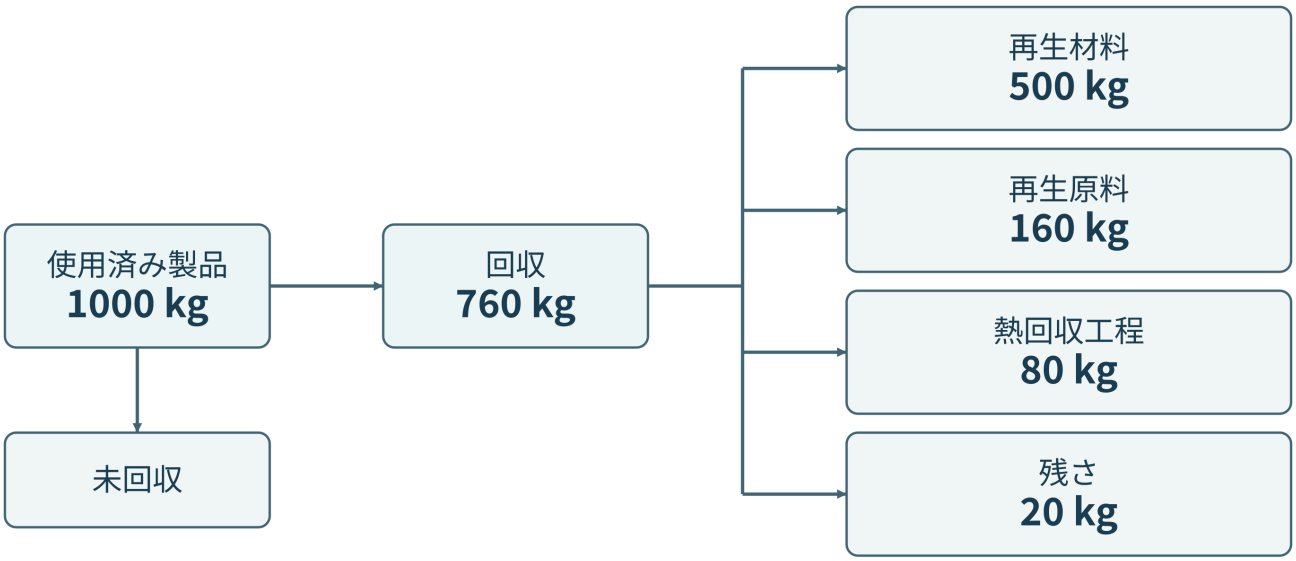

図 5　与えられた質量の内訳

この問題では、回収率を「回収量÷使用済み量」、再資源化率を「材料再資源化量と化学的再資源化量の合計÷回収量」と定義する。

問 1

回収率を求めよ。

問 2

再資源化率を求めよ。

解答・解説

問 1

回収率は、

$$\frac{760}{1000} \times 100 = 76.0\%$$

である。分母は使用済み製品の 1000 kg なので、回収された 760 kg がその何%に当たるかを計算する。

問 2

材料再資源化と化学的再資源化を合わせた量は、

$$500 + 160 = 660\,\mathrm{kg}$$

である。問題文で再資源化率の分母は回収量と指定されているため、

$$\frac{660}{760} \times 100 \approx 86.8\%$$

となる。

熱回収工程に回る 80 kg は、燃焼によって熱を取り出して利用する使用済み物質の質量であり、この問題で定義した再資源化率の分子には含めない。したがって、回収された量のすべてが材料・原料として再資源化されたわけではない。

演習問題

1

次の物質フローについて答えよ。

「原油 → エチレン → ポリエチレン → 包装フィルム → 使用 → 回収 → 選別」

問 1

「原油」「エチレン」「ポリエチレン」「包装フィルム」を、それぞれ資源、原料、材料、製品のどれに当たるか分類せよ。

問 2

回収の後に選別を行う理由を、材料の混合や異物に触れて説明せよ。

2

次の処理 A〜D について答えよ。

- A：使用済み容器を洗浄して、容器として再び使う。
- B：使用済みプラスチックを破砕・洗浄・溶融し、再生材料にする。
- C：使用済み高分子を化学的に分解し、原料やモノマーとして利用する。
- D：使用済み物質を燃焼し、発生した熱を利用する。

問 1

A〜D を、再使用、材料再資源化、化学的再資源化、熱回収に分類せよ。

問 2

A〜D のうち、元の材料そのものを材料として循環させるのではなく、エネルギーを利用する処理を 1 つ選び、他の 3 つとの違いを説明せよ。

©ミライコーチング

3

ある仮想的な循環では、使用済み製品が 800 kg 発生し、そのうち 600 kg が回収された。回収された 600 kg の内訳は、材料再資源化 420 kg、化学的再資源化 120 kg、熱回収 40 kg、残さ 20 kg である。

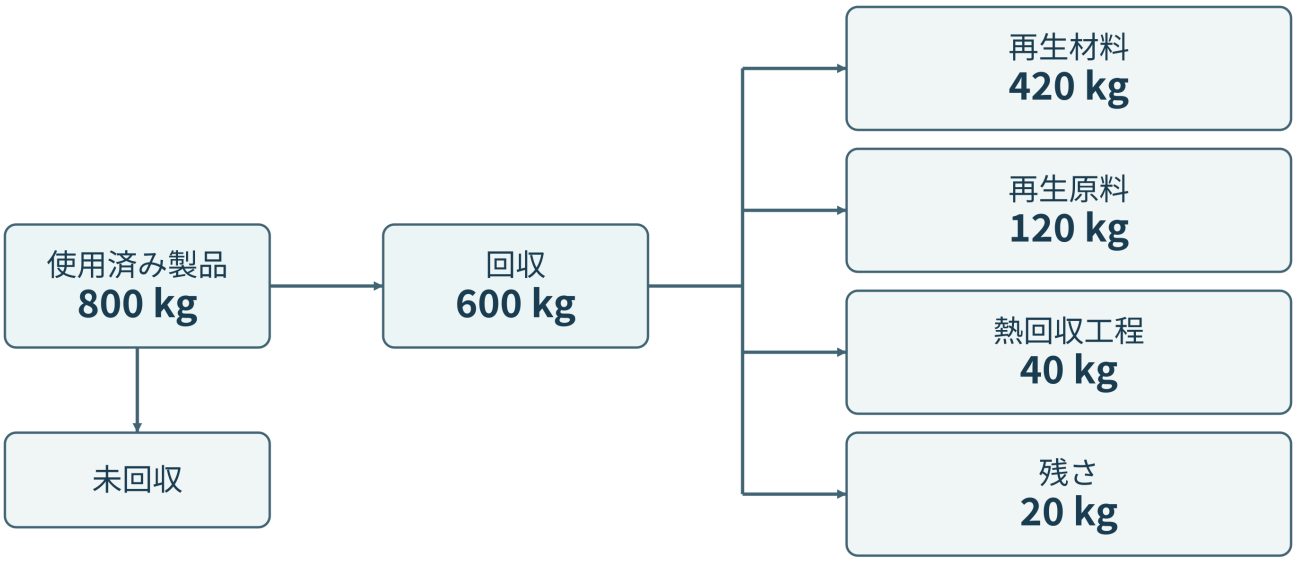

図 6　与えられた質量の内訳

この問題では、回収率を「回収量÷使用済み量」、再資源化率を「材料再資源化量と化学的再資源化量の合計÷回収量」と定義する。

問 1

回収率と再資源化率をそれぞれ求めよ。

4

次の記述のうち、正しいものを 1 つ選べ。

- ア：バイオマス由来の材料は、必ず生分解性をもつ。
- イ：化石資源由来の材料は、生分解性をもつことがない。
- ウ：原料が化石資源由来かバイオマス由来かという分類と、材料が生分解性をもつかどうかという分類は別に考える。
- エ：2 つの材料の化学構造が同じでも、原料の由来が同じであるとは限らないので、材料の性質を原料の由来だけから決めてよい。

©ミライコーチング

5

ある仮想的な回収工程で、使用済み製品 900 kg のうち 540 kg が回収された。選別・洗浄の途中で 20 kg が残さとして回収経路から外れ、残った 520 kg は、材料再資源化 340 kg、化学的再資源化 90 kg、熱回収 60 kg、最終的な残さ 30 kg に分かれた。

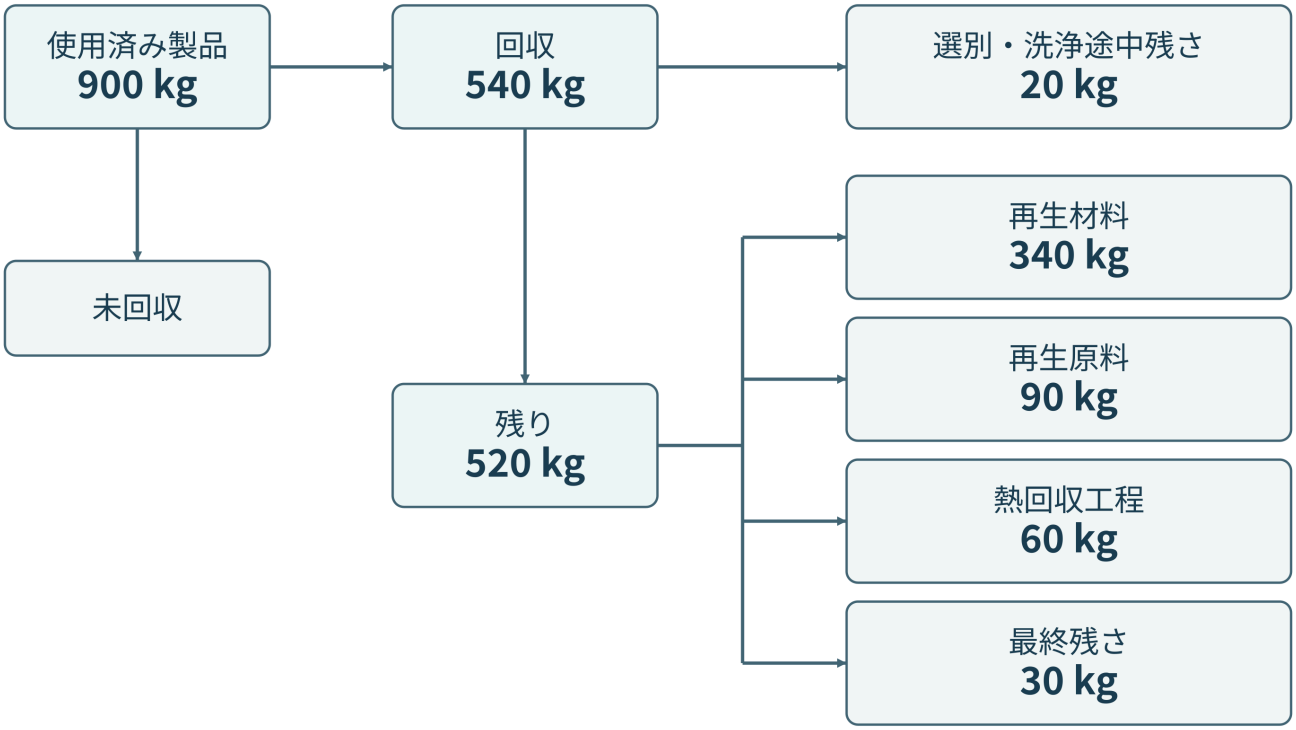

図 7　回収と処理先の質量の内訳

問 1

回収された 540 kg について、選別・洗浄後から最終的な処理先までの質量収支が成り立っていることを示せ。

問 2

この問題で再資源化率を「材料再資源化量と化学的再資源化量の合計÷回収量」と定義すると、再資源化率を求めよ。

演習問題の解答・解説

1

問 1

「原油」は資源、「エチレン」は原料、「ポリエチレン」は材料、「包装フィルム」は製品である。

原油は自然界から得られる化石資源であり、そこから得た物質を利用してエチレンなどの原料をつくる。エチレンを重合してポリエチレンという高分子材料をつくり、その材料を加工して包装フィルムという製品にする。

問 2

回収されたものには、異なる種類の材料や異物、汚れなどが混ざる場合があるため、選別によって材質や状態ごとに分ける。

材料再資源化では、材料の種類が混ざると再生後の性質が安定しにくくなることがある。したがって、回収したことと、材料として再資源化できる状態になったことは同じではない。

2

問 1

A：再使用　B：材料再資源化　C：化学的再資源化　D：熱回収

A は製品として再び使用している。B は破砕・洗浄・溶融などを経て再生材料として利用しているため材料再資源化である。

C では高分子を化学的に変化させ、原料やモノマーなどとして利用しているので化学的再資源化である。D では燃焼によって得られる熱を利用しているので熱回収である。

問 2

D である。

D では、元の材料を再び材料として使うのではなく、燃焼によって得られた熱というエネルギーを利用する。したがって、D から材料や原料へ戻る物質循環の矢印を考えてはいけない。

©ミライコーチング

3

問 1

回収率は、

$$\frac{600}{800} \times 100 = 75.0\%$$

である。

再資源化された量は、材料再資源化 420 kg と化学的再資源化 120 kg の合計で、

$$420 + 120 = 540\,\mathrm{kg}$$

である。問題文で再資源化率の分母は回収量と定義されているので、

$$\frac{540}{600} \times 100 = 90.0\%$$

となる。

熱回収工程に回る 40 kg は、燃焼によって熱を取り出して利用する使用済み物質の質量であり、ここで定義した再資源化率には含めない。また、材料再資源化・化学的再資源化・熱回収・残さを合計すると、

$$420 + 120 + 40 + 20 = 600\,\mathrm{kg}$$

となり、回収量とも一致する。

4

問 1

正しいのは**ウ**である。

アは誤りである。バイオマス由来であることは原料の由来を示すものであり、それだけで生分解性が決まるわけではない。

イも誤りである。生分解性は原料の由来だけで決まらないため、化石資源由来の材料でも生分解性をもつものがある。

エは前半の「2 つの材料の化学構造が同じでも、原料の由来が同じであるとは限らない」は正しいが、後半の「材料の性質を原料の由来だけから決めてよい」が誤りである。材料の性質は、化学構造や使用条件などを含めて判断する必要がある。

©ミライコーチング

5

問 1

回収量は 540 kg であり、その後の質量の内訳は、選別・洗浄途中の残さ 20 kg、材料再資源化 340 kg、化学的再資源化 90 kg、熱回収 60 kg、最終的な残さ 30 kg である。

したがって、

$$20 + 340 + 90 + 60 + 30 = 540\,\mathrm{kg}$$

となり、回収された 540 kg の質量収支が成り立つ。

ここで 20 kg の残さは、選別・洗浄の途中で回収経路から外れた質量である。質量が消滅したと考えるのではなく、設定した物質フローの範囲から別の残さとして出たと考える。

問 2

材料再資源化量と化学的再資源化量の合計は、

$$340 + 90 = 430\,\mathrm{kg}$$

である。

問題文で再資源化率の分母は回収量と定義されているので、

$$\frac{430}{540} \times 100 \approx 79.6\%$$

となる。

熱回収 60 kg はエネルギー利用であり、ここで定義した再資源化率には含めない。また、単に回収された 540 kg がすべて再資源化されたと考えてはいけない。

©ミライコーチング