高校化学 L01 第 181 講 化学・材料と環境を根拠から評価する

この講でできるようになること

- 材料や化学技術について、同じ機能と評価範囲をそろえ、資源使用、エネルギー、耐久性、有害性、回収・再利用など複数の根拠を比較できる。
- エネルギー量と温室効果ガス排出量、有害性と曝露条件、回収と実際の再利用・再資源化などを区別して説明できる。
- 資料から分かる範囲と分からない範囲を区別し、条件を付けて材料や化学技術を評価できる。

環境評価の出発点は「何を同じにして比べるか」である

材料 A と材料 B を比べるとき、まず「1 個あたり」の数字だけを比べてはいけない。材料によって耐久性や使用回数が違えば、1 個が提供する機能の量も変わるからである。

例えば、1 回しか使えない製品と、同じ機能を何十回も提供できる製品を「製品 1 個あたり」で比べると、比較する機能の量がそろわない。そこで、「1,000 mL の飲料を 100 回提供する」のように、比較する機能をそろえる。

機能単位

比較の基準となる機能の量である。容器なら「一定量の飲料を一定回数提供する」、材料なら「一定期間、必要な性能をもつ部品として使う」のように、実際に果たす機能でそろえる。

もう一つ重要なのが、どこからどこまでを比較するかである。原料の採取だけを比べる場合と、製造、輸送、使用、洗浄、回収、処理まで比べる場合では、得られる評価が変わる。

評価境界

環境負荷を評価する対象範囲である。資源の採取から原料化、製造、輸送、使用・洗浄、回収・処理までを一続きに見ると、ある工程で小さくなった負荷が別の工程へ移っていないかを確認できる。

まず見るのは、資源から廃棄・再利用までの流れである。どの工程に負荷があるかを一続きに追うことで、「製造時は小さいが使用時に大きい」といった負荷の移動を見つけられる。

©ミライコーチング

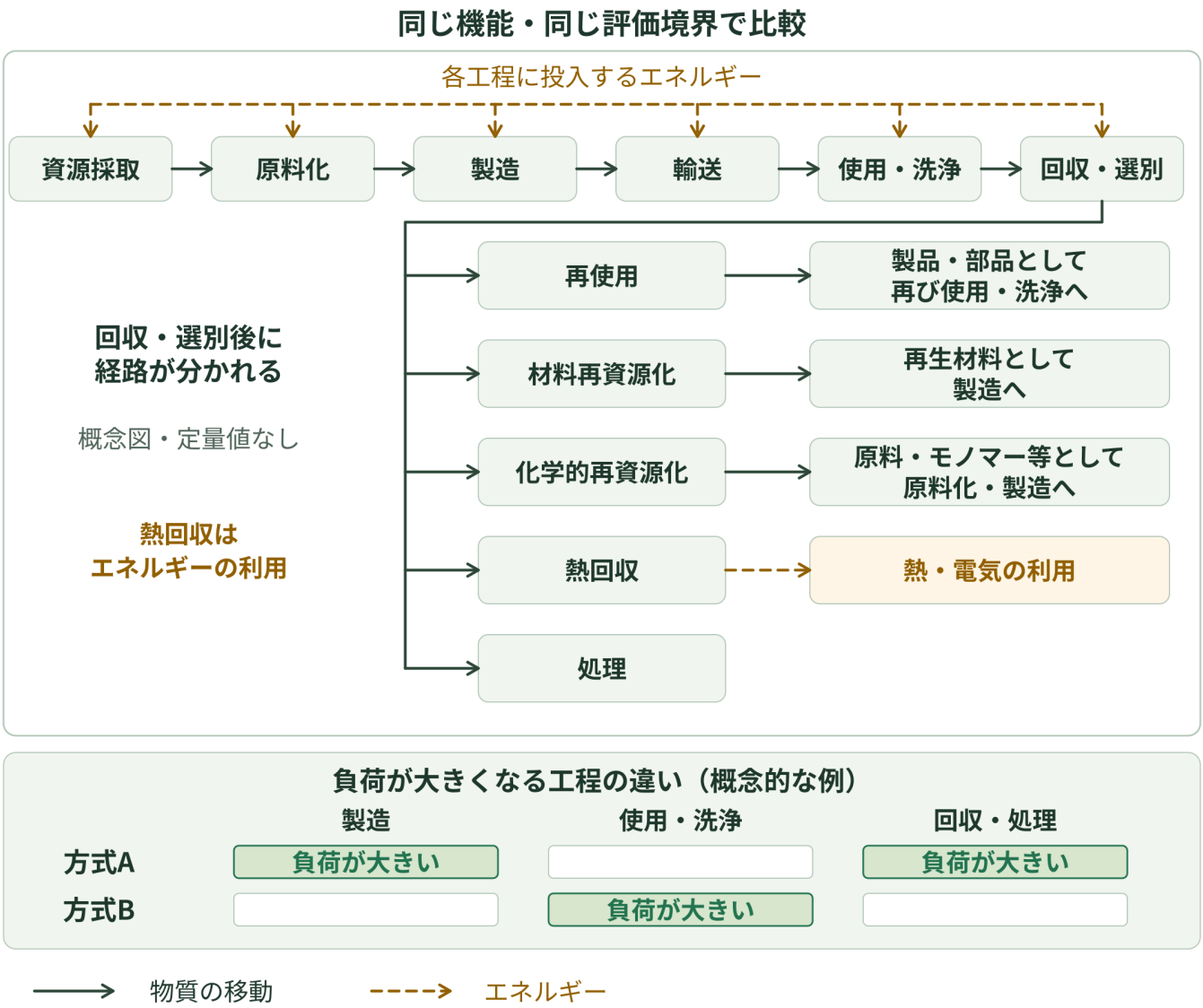

図 1　ライフサイクルの模式図

資源使用は「量」と「由来」を分けて見る

資源については、単に「再生可能かどうか」だけで判断しない。どれだけ原料を必要とするか、どの資源から得るか、原料化にどのような工程が必要かを分けて見る。

化石資源は形成に非常に長い時間を要する資源であり、石油や天然ガスなどが代表例である。一方、植物などを原料とするバイオマスは、再生可能な資源として利用できる場合がある。

ただし、「バイオマス由来」と「生分解性」は同じ意味ではない。バイオマス由来とは主に原料の由来を表し、生分解性とは使用後に微生物などの働きによって分解される性質を表す。したがって、バイオマス由来であることだけから「自然に分解される」とは判断できない。

エネルギーと温室効果ガスは別の指標である

エネルギー量は、製造や洗浄などにどれだけエネルギーを投入したかを表す。一方、温室効果ガス排出量は、二酸化炭素などの温室効果ガスをどれだけ排出したかを表す。

両者は関係することがあるが、同じ指標ではない。例えば、使ったエネルギーの種類や発電方法が違えば、同じエネルギー量でも温室効果ガス排出量は異なり得る。

©ミライコーチング

したがって、エネルギーの値と温室効果ガス排出量の値を単純に足して「合計負荷」を作ってはいけない。単位も意味も異なるからである。

耐久性は「1 個」ではなく「何回機能したか」で見る

繰返し使える製品は、1 個を何度も使うことで製造回数を減らせる可能性がある。しかし、繰返し使用するたびに洗浄や乾燥などの負荷が発生する場合、その負荷も含める必要がある。

したがって、再使用製品の評価では「丈夫だから環境に良い」と決めつけず、初回製造時の負荷と、使用・洗浄を繰り返す負荷を同じ機能量に対して比較する。

例えば、再使用製品の製造時負荷が大きくても、十分な回数を使用すれば、1 回使い切る製品を大量に製造する方式より小さくなる場合がある。逆に、使用回数が少なければ、洗浄などの負荷を含めて有利にならない場合もある。



図 2　再使用容器の使用・洗浄・回収のイメージ

有害性と曝露条件を分ける

化学物質の評価では、「その物質に有害性があるか」と「人や環境がどの程度その物質に曝露されるか」を分けて考える。

有害性

ある物質や材料が、一定の条件で人体や生態系などに悪影響を及ぼす性質である。

曝露

物質が吸入、摂取、皮膚接触などを通して、人や環境の対象へ接触することである。曝露の程度には濃度、時間、経路などが関係する。

有害性がある物質でも、製品内部に固定され、通常の使用ではほとんど接触しないなら、曝露条件は小さくなり得る。反対に、有害性が低いと考えられる物質でも、粉じんとして大量に吸い込むなど曝露条件が変われば評価は変わる。

したがって、「この物質は有害だから危険」「この物質は有害ではないから安全」という物質名だけの判断は避ける。資料に示された有害性と曝露条件を対応させて読む。

©ミライコーチング

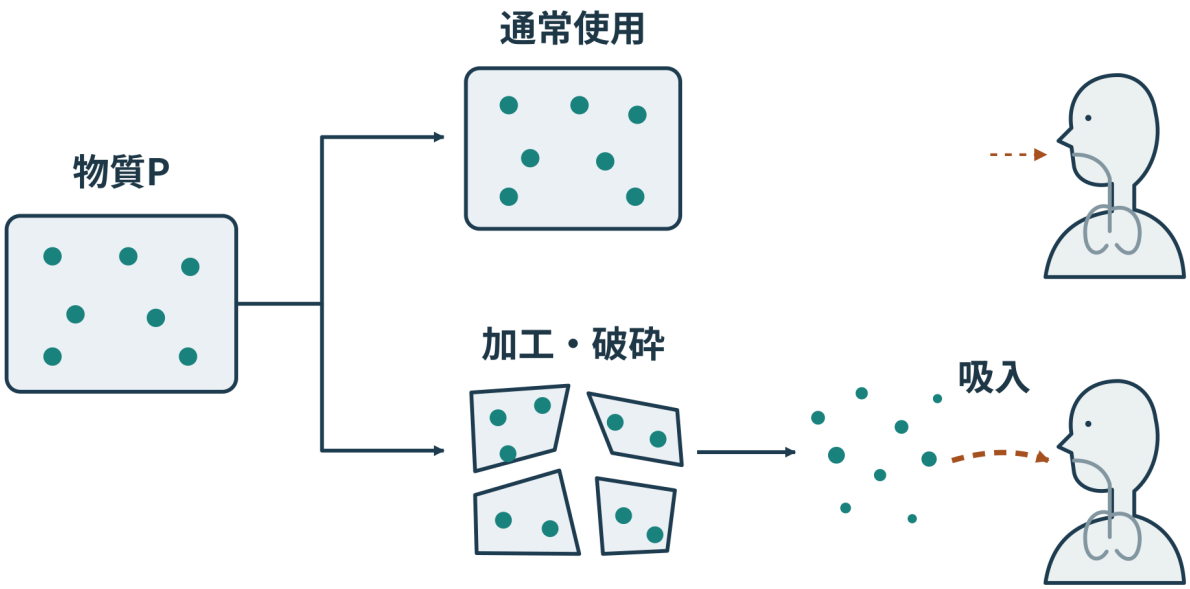

図 3　有害性と曝露条件の関係の模式図

回収されたことと、再利用されたことは違う

使用後の製品が回収されたとしても、その時点でリサイクルが完了したとはいえない。回収後には選別や処理があり、その結果として実際に何が再び利用されたかを見る必要がある。

再使用は、製品や部品をそのまま、または必要な整備をして再び使うことである。材料再資源化は、使用済み製品を処理して新しい材料として利用することである。化学的再資源化では、化学的な処理によって原料やモノマーなどへ戻す場合がある。

一方、熱回収は、廃棄物から得られる熱や電気を利用する方法である。材料そのものを新しい材料へ戻すこととは異なるため、熱回収と物質再資源化を同じものとして数えない。

回収率が高くても、回収後のすべてが実際に再使用・再資源化されるとは限らない。評価するときは、回収率と、その後に実際にどの経路へ進んだかを分けて見る。

©ミライコーチング

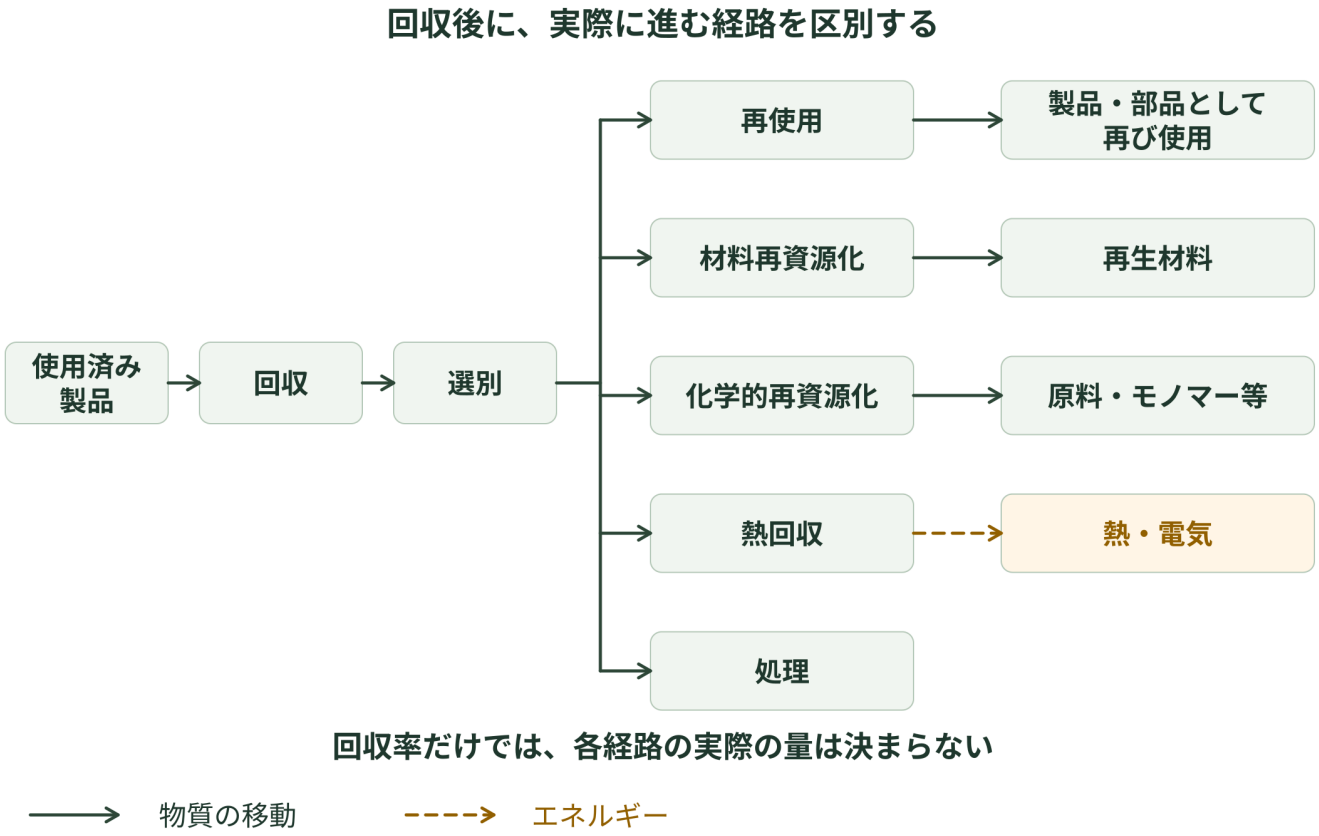

図 4　回収後の資源化経路の模式図

利便性と環境負荷を同じ土俵で考える

材料や化学技術を社会的に評価するとき、環境負荷だけを見ればよいわけではない。例えば、耐久性、扱いやすさ、衛生面、洗浄の手間、必要な性能なども、その材料が果たす機能と関係する。

ただし、利便性も一面的に決められるものではない。ある人にとって洗浄が手間でも、別の使用条件では繰返し利用できることが大きな利点になる場合がある。

そこで、資料から評価を書くときは、「どの指標で」「どの条件なら」どちらが有利なのかを明確にする。複数の指標が同じ方向を示していても、資料にない指標まで同じ結論になるとは限らない。

©ミライコーチング

例題

1

次の資料は、同じ機能をもつ 2 種類の容器方式を比較した教材用の仮想データである。

この資料では、1,000 mL の飲料を 100 回提供することを共通の機能単位とする。評価境界は、資源採取、原料化、製造、輸送、使用・洗浄、回収・処理までとする。表の「製造時」の数値には、資源採取・原料化を含む。飲料そのものの製造と、両方式で同じと仮定した輸送部分は数値から除外する。方式 A は 100 個を各 1 回使用し、方式 B は 1 個を 100 回使用する。エネルギー量は MJ、温室効果ガス排出量は kg-CO2e で表す。

項目	方式 A	方式 B
使用方法	100 個を各 1 回	1 個を 100 回
製造時エネルギー	4.0 MJ/個 × 100	180 MJ/個 × 1
使用・洗浄時エネルギー	0	1.5 MJ/回 × 100
回収・処理時エネルギー	0.2 MJ/個 × 100	10 MJ/個 × 1
製造時温室効果ガス	0.160 kg/個 × 100	7.0 kg
使用・洗浄時温室効果ガス	0	0.03 kg/回 × 100
回収・処理時温室効果ガス	0.008 kg/個 × 100	0.2 kg

(1) 100 回分の機能を提供したとき、方式 A と方式 B の総エネルギー量をそれぞれ求めよ。また、温室効果ガス排出量もそれぞれ求めよ。

(2) (1)の資料だけを根拠として、「方式 B のほうが環境に良い」と断定してよいか。資料から言えることと、判断できないことを分けて説明せよ。

©ミライコーチング

解答・解説

(1) 方式 A の総エネルギー量は、製造時 400 MJ、回収・処理時 20 MJ である。したがって、

$$400 + 20 = 420\,\mathrm{MJ}$$

となる。

方式 B は、製造時 180 MJ、使用・洗浄時 150 MJ、回収・処理時 10 MJ である。したがって、

$$180 + 150 + 10 = 340\,\mathrm{MJ}$$

となる。

温室効果ガス排出量は、方式 A が製造時 16.0 kg、回収・処理時 0.8 kg であるため、

$$16.0 + 0.8 = 16.8\,\mathrm{kg\ \text{-}CO_2e}$$

となる。

方式 B は製造時 7.0 kg、使用・洗浄時 3.0 kg、回収・処理時 0.2 kg であるため、

$$7.0 + 3.0 + 0.2 = 10.2\,\mathrm{kg\ \text{-}CO_2e}$$

となる。

したがって、この共通条件では、方式 B は総エネルギー量と温室効果ガス排出量の両方で方式 A より小さい。

(2) 「方式 B のほうが環境に良い」と総合的に断定するのは適切ではない。資料からは、「100 回分の同じ機能を、示された評価境界で比較すると、方式 B はエネルギー量と温室効果ガス排出量が小さい」と条件付きで評価できる。

一方、資源の種類や採取量、水の使用、土地利用、有害性と曝露条件、実際の再使用・再資源化の状況などは、この資料だけでは十分に評価できない。また、利便性や洗浄の手間などについても数値が示されていない。

したがって、資料が示している指標については方式 B が有利だが、それだけからすべての環境面や社会面で方式 B が優れているとはいえない。評価の範囲を資料に合わせて限定することが重要である。

©ミライコーチング

例題

2

次の資料は、同じ機能をもつ材料 X と材料 Y についての教材用の仮想データである。どちらも共通の機能単位で使用する。

項目	材料 X	材料 Y
原料の由来	化石資源	バイオマス
ライフサイクル全体のエネルギー量	228 MJ	206 MJ
ライフサイクル全体の温室効果ガス排出量	7.10 kg-CO2e	7.58 kg-CO2e
物質 P	含む。吸入時に有害性があるという設定	含まない
通常使用時の曝露条件	P は材料内部に保持され、曝露は小さいという設定	他の物質について十分な曝露資料なし

(1) エネルギー量と温室効果ガス排出量について、X と Y のどちらが小さいか。それぞれ分けて答えよ。また、両方の数値を足して総合点を作ってはいけない理由を説明せよ。

(2) 「Y はバイオマス由来で、P も含まないから、X より安全で環境にも良い」と判断できるか。資料の根拠に基づいて説明せよ。

解答・解説

(1) エネルギー量は Y の 206 MJ のほうが X の 228 MJ より小さい。一方、温室効果ガス排出量は X の 7.10 kg-CO2e のほうが Y の 7.58 kg-CO2e より小さい。

このように、2 つの指標は異なる結果を示している。エネルギー量と温室効果ガス排出量は意味も単位も異なるため、228 と 7.10、206 と 7.58 を単純に足して大小を決めることはできない。

したがって、「エネルギーでは Y が小さい」「温室効果ガスでは X が小さい」と指標ごとに評価するのが適切である。

(2) その判断はできない。

Y についてバイオマス由来であることは、原料の由来に関する情報である。それだけでは生分解性や、ライフサイクル全体の環境負荷が小さいことまでは示さない。

また、X については物質 P に吸入時の有害性があるという資料があるが、同時に通常使用時には P への曝露が小さいという条件も示されている。したがって、P に有害性があることと、通常使用時の曝露が小さいことを分けて読む必要がある。

Y は P を含まないが、P 以外の物質について十分な曝露資料がない。したがって、「P を含まない」だけを根拠に Y の安全性を総合的に判断することはできない。

この資料からは、Y はエネルギー量では小さく、X は温室効果ガス排出量では小さい、と評価できる。安全性については、物質の有害性だけでなく曝露条件までそろった資料が必要である。

©ミライコーチング

演習問題

1

ある製品 A は 1 個を 1 回だけ使用し、製品 B は 1 個を繰り返し使用できる。A と B について「製品 1 個あたりの製造時エネルギー」だけを比較して、A のほうが環境負荷が小さいと判断した。

(1) この比較で、最初にそろえるべき条件は何か。機能と使用回数に触れて説明せよ。

(2) 製造時エネルギーだけで比較することが、ライフサイクル全体の評価として不十分な理由を説明せよ。

©ミライコーチング

2

例題 1 と同じ教材用の仮想データを用いる。以下の式は、n 回使用後の回収・処理までを含む合計値であり、実際の使用時点までに投入された負荷の累積とは別の値である。グラフの $n = 0$ は式を延長した値であり、実際の使用前の状態を表すものではない。方式 B の式の初期値には、1 個の製造時負荷とその 1 個の回収・処理時負荷が含まれる。使用回数を n 回とすると、方式 A と方式 B の累積エネルギー量はそれぞれ

$$E_A = 4.2n$$

$$E_B = 190 + 1.5n$$

で表される。また、温室効果ガス排出量は

$$G_A = 0.168n$$

$$G_B = 7.2 + 0.03n$$

で表される。

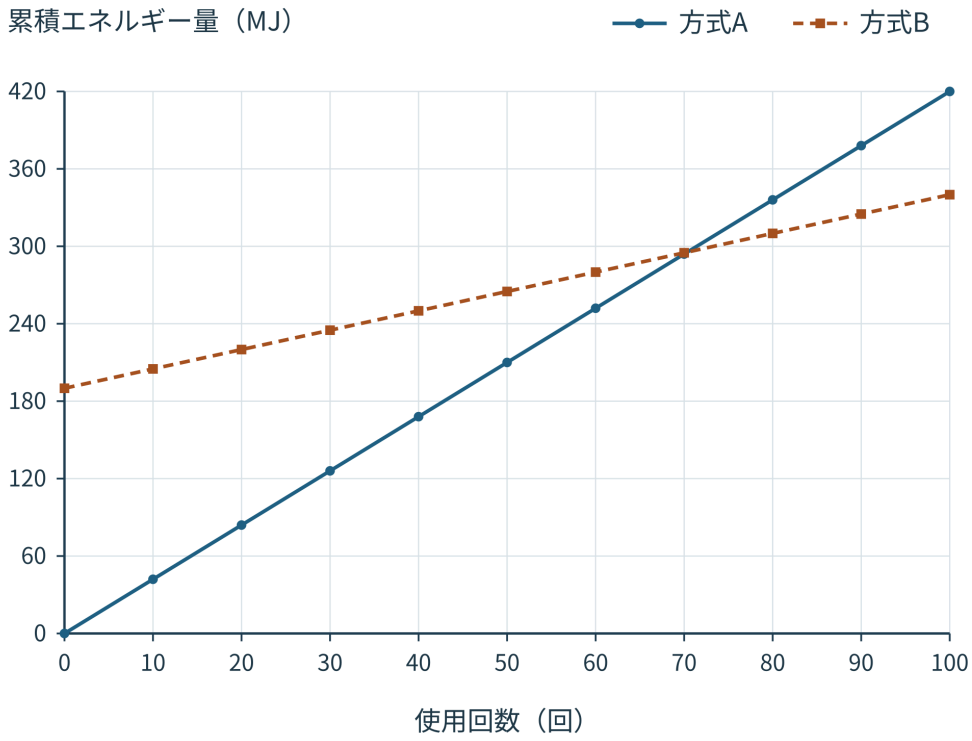

図 5　使用回数と累積エネルギー量の関係（教材用の仮想データ）

(1) 累積エネルギー量について、方式 B が方式 A 以下になる最小の整数使用回数を求めよ。

(2) 温室効果ガス排出量について、方式 B が方式 A 以下になる最小の整数使用回数を求めよ。

3

次の記述について答えよ。

材料 P は植物由来の原料から作られている。また、材料 P に含まれる物質 Q には、吸入した場合に健康影響を生じる可能性があるという資料がある。ただし、通常使用時には Q が材料内部に保持され、曝露も小さいと仮定する。材料 P を破砕するときの作業者の曝露量については資料がない。

(1) 「植物由来だから生分解性があり、環境への負荷も小さい」と判断してよいか。2 つの性質を区別して説明せよ。

(2) 「Q に有害性があるから、材料 P は通常使用時にも危険である」と断定してよいか。有害性と曝露条件を区別して説明せよ。

©ミライコーチング

4

使用後の製品 100 個について、次の資料が得られた。すべて製品個数を基準とし、「材料再資源化された割合」は当該経路で実際に利用された製品個数の割合であり、再生材料の質量歩留りではない。各割合は、直前の段階を基準とする教材用の仮想データである。

項目	方式 A	方式 B
回収率	90%	60%
回収されたもののうち再使用された割合	20%	50%
回収されたもののうち材料再資源化された割合	30%	30%
回収されたもののうち熱回収された割合	50%	20%

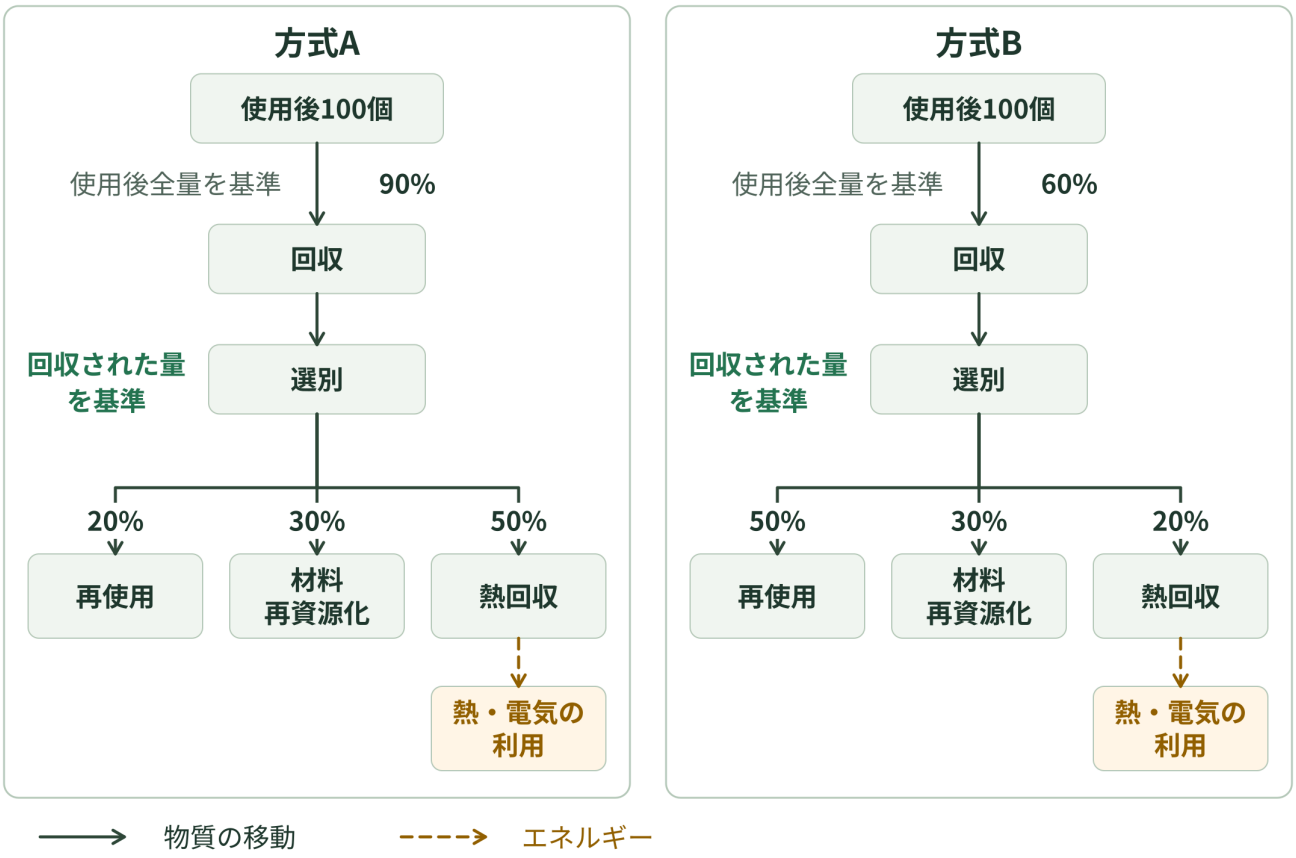

図 6　使用後製品の回収・資源化経路の条件図

(1) 使用後の全 100 個を基準として、実際に再使用された割合を方式 A、方式 B についてそれぞれ求めよ。

(2) 使用後の全 100 個を基準として、実際に材料再資源化された割合を方式 A、方式 B についてそれぞれ求めよ。また、方式 A で熱回収された割合 45% を材料再資源化された割合に加えて「材料としてリサイクルされた割合」としてよいか説明せよ。

演習問題の解答・解説

1

(1) まず、比較する機能の量と使用回数をそろえる必要がある。

製品 A が 1 回の使用で 1 単位の機能を提供し、製品 B が 1 個で複数回の機能を提供するなら、「製品 1 個あたり」の比較では同じ量の機能を比較していない。例えば 100 回分の機能を比べるなら、A は 100 個必要で、B はその 100 回を提供できる使用回数まで使う必要がある。

したがって、「同じ機能量を提供する」という条件を先に決め、その上で使用回数や耐久性をそろえて考える。

(2) 製造時エネルギーだけでは、使用時や洗浄時、回収・処理時に発生する負荷が含まれていないからである。

特に繰返し使用する製品では、製造時の負荷が一度で済む代わりに、使用するたびに洗浄などの負荷が発生する場合がある。また、使用後の回収や処理にも負荷がある。

したがって、製造時だけを比較した結果は「製造工程ではどちらが小さいか」を示す資料にはなるが、ライフサイクル全体の環境評価を直接示すものではない。

©ミライコーチング

2

(1) 方式 B が方式 A 以下になる条件は、

$$190 + 1.5n \leq 4.2n$$

である。

両辺から $1.5n$ を引くと、

$$190 \leq 2.7n$$

となる。したがって、

$$n \geq \frac{190}{2.7} = 70.370...$$

である。

使用回数は整数なので、最小の整数は 71 回である。

実際に 70 回では、方式 A は $4.2 \times 70 = 294$ MJ、方式 B は $190 + 1.5 \times 70 = 295$ MJ となり、B のほうが 1 MJ 大きい。71 回では、方式 A は 298.2 MJ、方式 B は 296.5 MJ となり、B のほうが小さくなる。

したがって、累積エネルギー量について方式 B が方式 A 以下になる最小の整数使用回数は **71 回** である。

(2) 温室効果ガス排出量については、

$$7.2 + 0.03n \leq 0.168n$$

である。

両辺から $0.03n$ を引くと、

$$7.2 \leq 0.138n$$

となる。したがって、

$$n \geq \frac{7.2}{0.138} = 52.1739...$$

である。

使用回数は整数なので、最小の整数は 53 回である。

52 回では、方式 A は $0.168 \times 52 = 8.736$ kg-CO2e、方式 B は $7.2 + 0.03 \times 52 = 8.76$ kg-CO2e となり、B のほうが大きい。53 回では、方式 A は 8.904 kg-CO2e、方式 B は 8.79 kg-CO2e となり、B のほうが小さくなる。

したがって、温室効果ガス排出量について方式 B が方式 A 以下になる最小の整数使用回数は **53 回** である。

ここで、エネルギー量の境界値が 71 回、温室効果ガス排出量の境界値が 53 回と異なることに注目する。同じ 2 方式でも、評価する指標によって有利・不利が逆転する境界が異なる。だからこそ、異なる指標を一つの数字に勝手にまとめず、それぞれについて評価する必要がある。

©ミライコーチング

3

(1) 判断してよいとはいえない。

「植物由来」は原料の由来を表す。一方、「生分解性」は、使用後にどのような条件で分解されるかに関係する性質である。

したがって、植物由来であるという情報だけから、生分解性があるとは判断できない。また、環境負荷についても、原料の採取、加工、製造、輸送、使用、回収・処理などの情報が必要であり、植物由来という一つの情報だけでは評価できない。

(2) 断定してよいとはいえない。

物質 Q に吸入時の有害性があることは、Q がもつ性質についての情報である。一方、通常使用時には Q が材料内部に保持されており、曝露が小さいという条件が示されている。

したがって、資料からは「Q には吸入時の有害性がある」と「通常使用時の曝露は小さい」を同時に読み取る必要がある。

ただし、破砕時の作業者の曝露量について資料がないため、その条件での安全性を資料だけから判断することはできない。

有害性の情報だけで「危険」と断定せず、どの経路から、どの程度、どの時間曝露されるのかという条件を合わせて評価する。

©ミライコーチング

4

(1) 実際に再使用された割合は、「回収率」と「回収されたもののうち再使用された割合」を掛ける。

方式 A では、

$$0.90 \times 0.20 = 0.18$$

なので、使用後の全量に対して **18%** が実際に再使用されたことになる。

方式 B では、

$$0.60 \times 0.50 = 0.30$$

なので、使用後の全量に対して **30%** が実際に再使用されたことになる。

回収率だけを見ると A の 90% が B の 60% より高いが、回収後の経路まで見ると、実際の再使用率は B の 30% が A の 18% より高い。この違いからも、回収率だけで最終的な資源循環の程度を判断できないことが分かる。

(2) 材料再資源化についても同じ考え方を使う。

方式 A では、

$$0.90 \times 0.30 = 0.27$$

なので、使用後の全量に対して **27%** が実際に材料再資源化されたことになる。

方式 B では、

$$0.60 \times 0.30 = 0.18$$

なので、使用後の全量に対して **18%** が実際に材料再資源化されたことになる。

したがって、この資料では材料再資源化率は A の 27% が B の 18% より高い。

一方、方式 A の熱回収は、

$$0.90 \times 0.50 = 0.45$$

なので 45% である。しかし、この 45% を材料再資源化率 27% へ加えて 72% とすることはできない。

熱回収では、主に熱や電気としてエネルギーを利用する。材料再資源化では、使用済み製品を新しい材料として利用する。この 2 つは得られるものが異なるため、別の経路として扱う必要がある。

したがって、この資料からは「A は材料再資源化の割合が高い」「B は実際の再使用率が高い」と、それぞれの指標について評価できる。しかし、これだけで A と B の環境負荷全体の優劣を決めることはできない。エネルギー量、温室効果ガス排出量、資源使用量、耐久性などの他の根拠が必要である。

©ミライコーチング