

リサイクル・リユース の基本

- リサイクル・リユースの二つの意義
- リサイクルとリユース
- リサイクルの種類
- リサイクルの実際
- 解体・分離・抽出

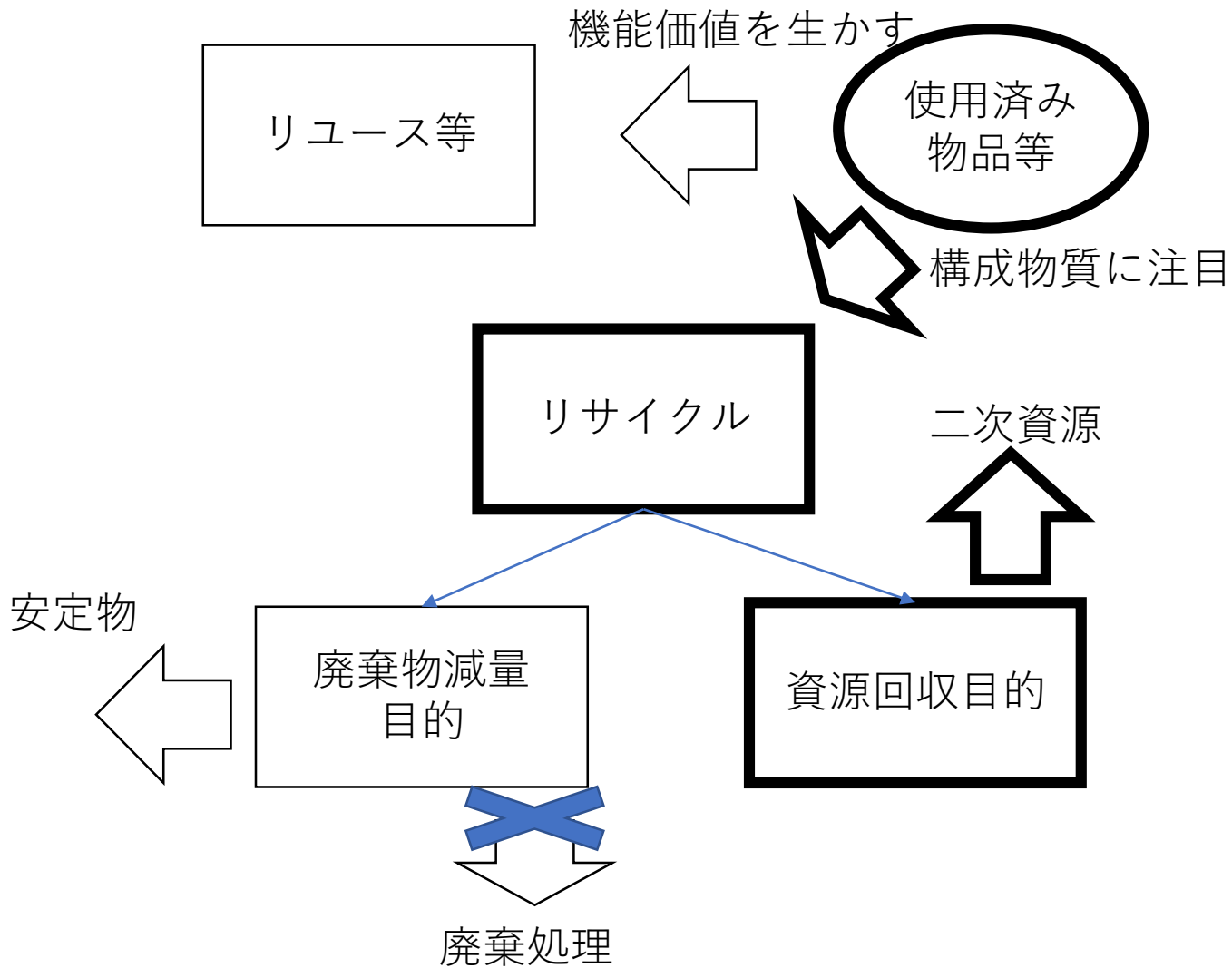
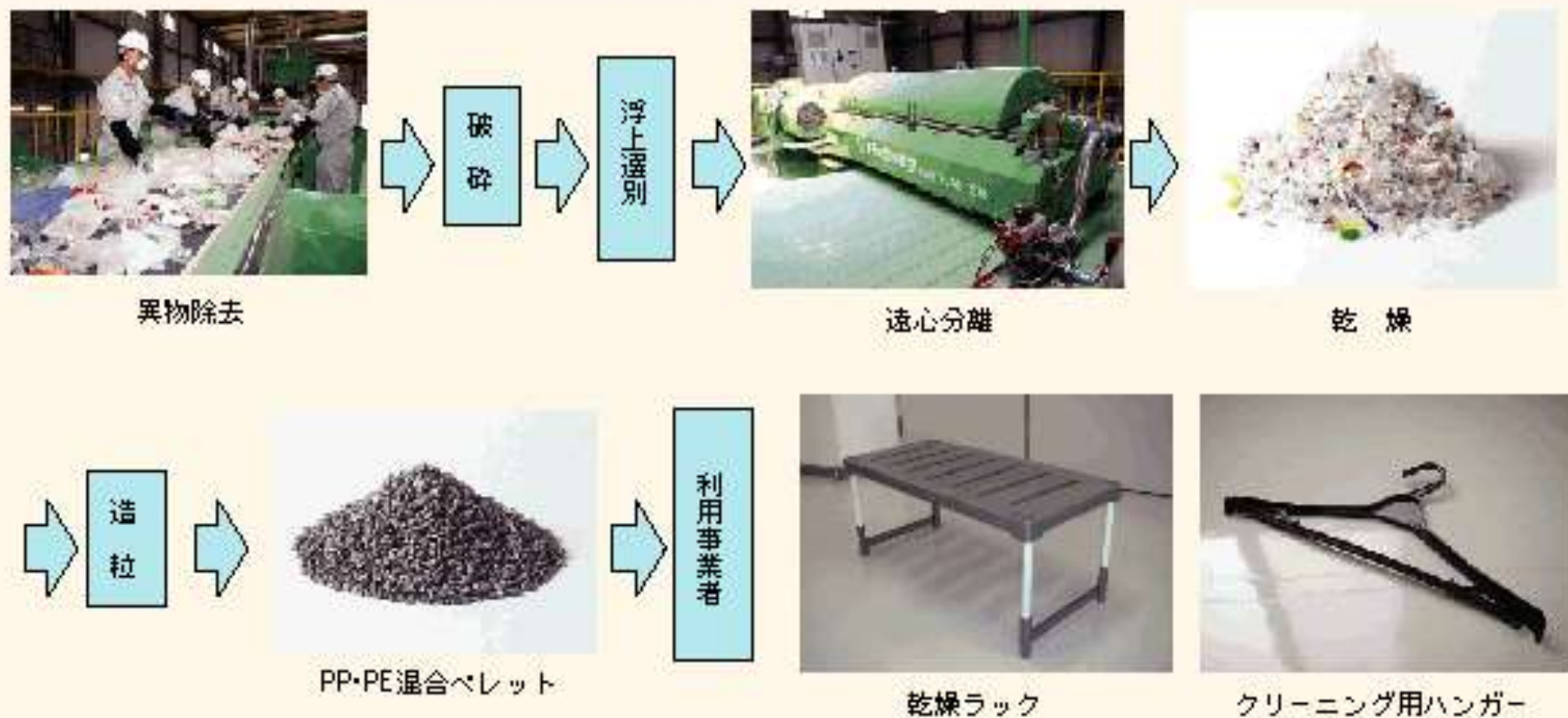


図4-2-25 廃プラスチック類の材料リサイクル



資料：(株)広島リサイクルセンター

圧縮



選別



収集



分別



ベール



選別



粉碎



フレーク

フレーク
ペレット



【アルミ・金属分離】

【風力比重分離】

分離



洗浄

なぜPETボトルの蓋とシートを外すのか



PP:ポリプロピレン
柔らかさで密着性

PS:ポリスチレン
熱収縮性
+ PP
作業性、軽量化

PET:ポリエチレンテレフタレート
強度、透明、加工性、リサイクル性

市町村



分別収集

選別



圧縮



ロール

保管

再商品化事業者

※工程は各工場の設備などによって多少異なりますが、代表的な例を下記に示します。



① 解俵(かいひょう)
圧縮・梱包された
ロールをバラバラに
かたまりが
ないようにします。



② 塩ビボトル・カラーボトルの分離・除去
塩ビボトルはX線で判別して取り除きます。
着色ボトルはカメラで判別して取り除きます。



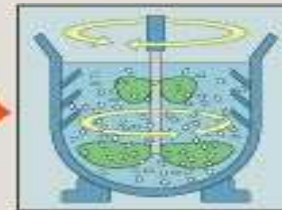
③ 手選別
②で取り除けなかった
ものやさまざまな異物を
人の目でチェックして
除去します。



④ 粉 碎
1次粉碎と2次粉碎の
2段階で粉碎します。



⑤ 風力比重分離・金属分離
ラベル等の軽い異物を
風力で分離したり、
磁気でアルミや鉄等の
金属を分離します。



⑥ フレーク洗浄
フレーク(粉碎された
PETボトル)を
水や温水、薬液洗浄で
きれいにします。

⑦ 脱水・乾燥
きれいにしたフレークを
乾燥させます。



▶ 繊維

▶ シート

▶ ボトル

▶ 射出成形

▶ バンド



回収センター



選別



<http://www.mmc.co.jp/>

裁断



<http://www.mmc.co.jp/>

溶解



再生地金



圧延



スラブ → コイル



アルミ板を打ち抜き、カップ成形／D I
加工／トリミング／洗浄／乾燥／印刷／
内面塗装／ネッキング加工／フランジ
ング加工の工程を経て最終検査

循環型社会に向けた法の整備

循環型社会を形成するための法体系



環境省「循環型社会への新たな挑戦～第2次循環型社会形成推進基本計画がはじまりました～（パンフレット）」から



プラスチック製容器包装の表示。
プラスチック容器包装リサイクル
推進協議会



紙製容器包装の表示。
紙製容器包装リサイクル推進協議会



スチール製容器包装の表示。
スチール缶リサイクル協会



アルミ製容器包装の表示。
アルミ缶リサイクル協会



段ボール製容器包装の自主表示。
段ボールリサイクル協議会



紙パック製容器包装の自主表示。
飲料用紙容器リサイクル協議会



古紙パルプ配合率100%再生紙を使用

再生紙の古紙使用率100%を示す表示
ごみ減量化推進国民会議



古紙再生紙であることを示す表示
古紙再生促進センター

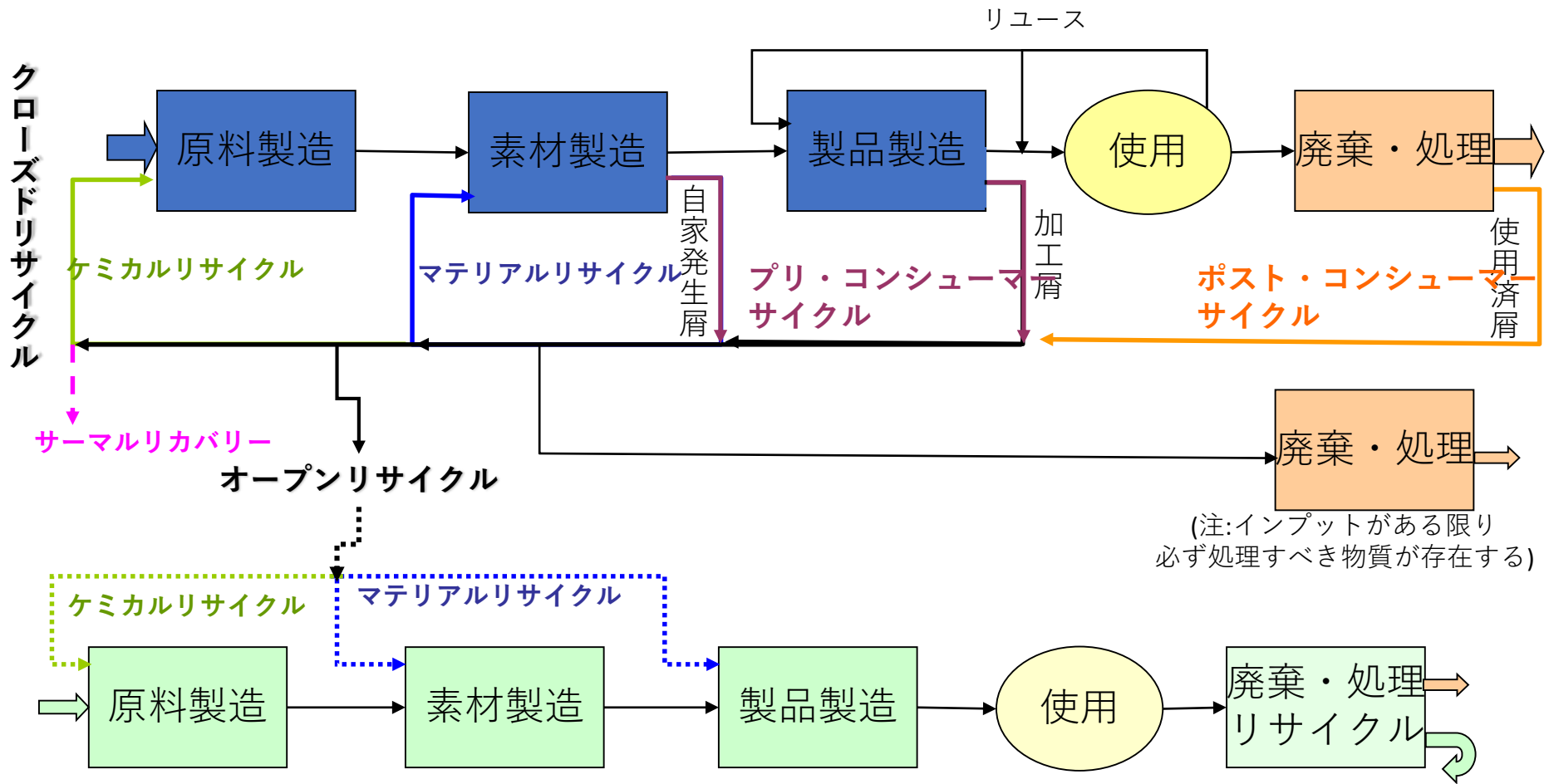


PETボトルをリサイクルした再生製品で
あることを示す表示
PETボトルリサイクル推進協議会



牛乳パックの再利用マーク
全国牛乳パックの再利用を考える連絡会

リサイクルの種類

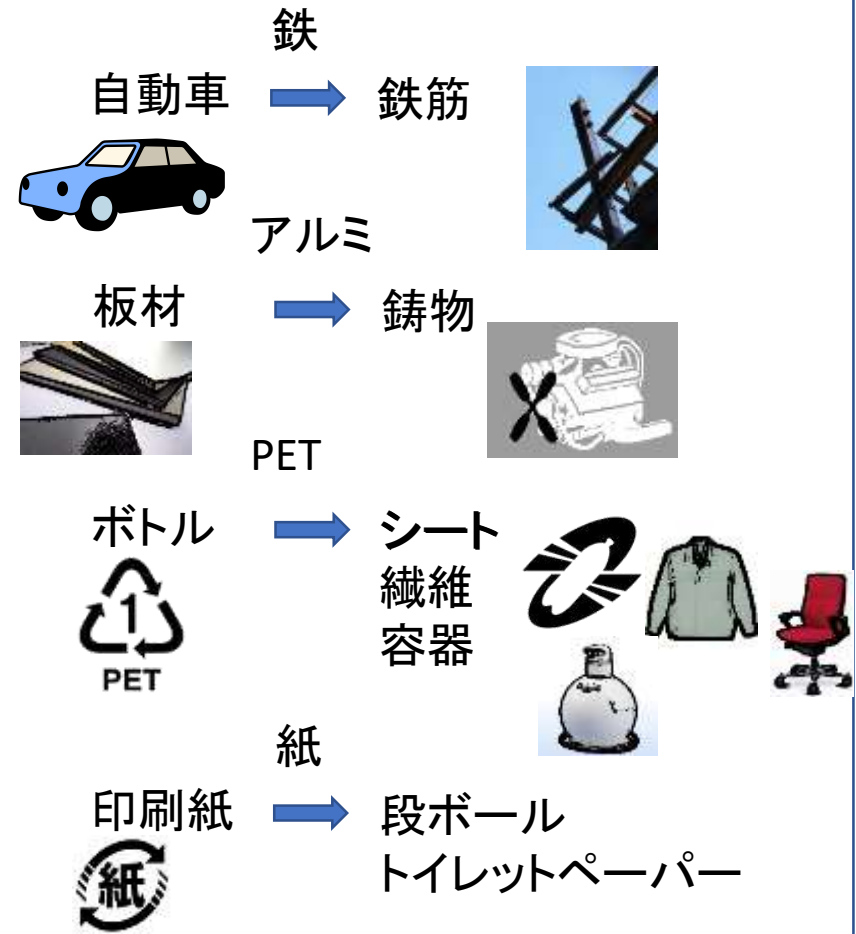


3-5 クローズドリサイクルとオープンリサイクル

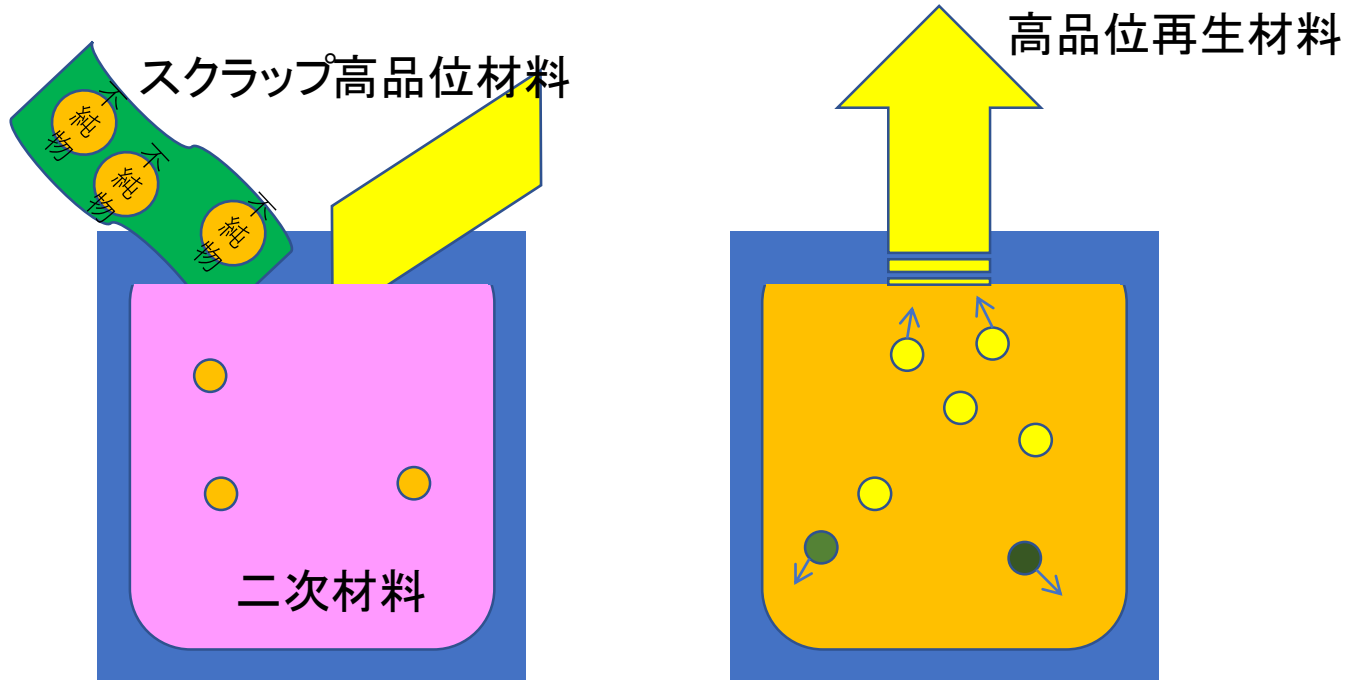
クローズドリサイクル



オープンリサイクル



金のリサイクルと鉄のリサイクルの違い



希釈型: Fe, Al, プラ、紙、ガラス等

バージン材が必要

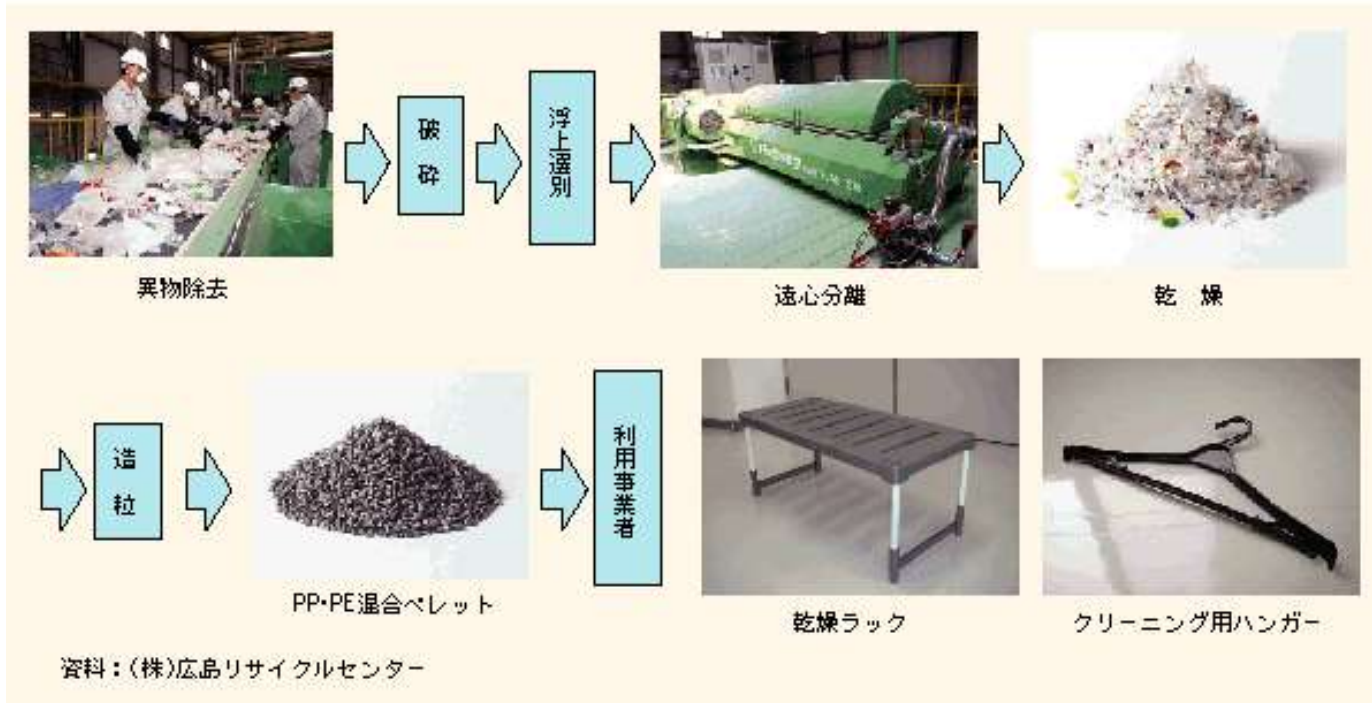
抽出型: レアメタル、貴金属等

抽出物より廃棄物が多い

材料を生かすマテリアルリサイクル

容器包装廃棄物のリサイクル

図4-2-25 廃プラスチック類の材料リサイクル



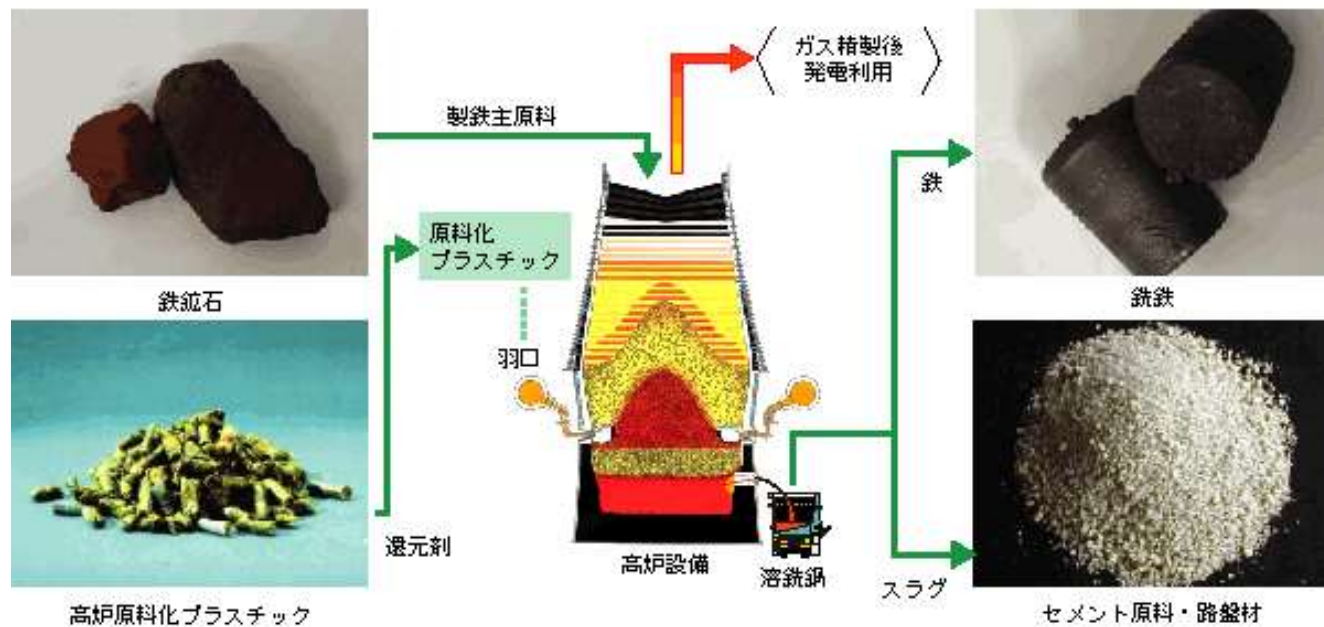
身近なプラスチックはマテリアルリサイクルが多いんだね



原料を生かすケミカルリサイクル

白書P29

図4-2-28 高炉による廃プラスチックのリサイクル図



プラスチックが鉄の原料になるんだ



資料：JFEスチール（株）

ケミカルリサイクル

金属のリサイクル率が高い理由

ポストコンシューマリサイクルとプリコンシューマリサイクル

プリコンシューマ
ー・リサイクル

同じ成分で、それが何かも分かっている

決まったところから、同時に大量に発生

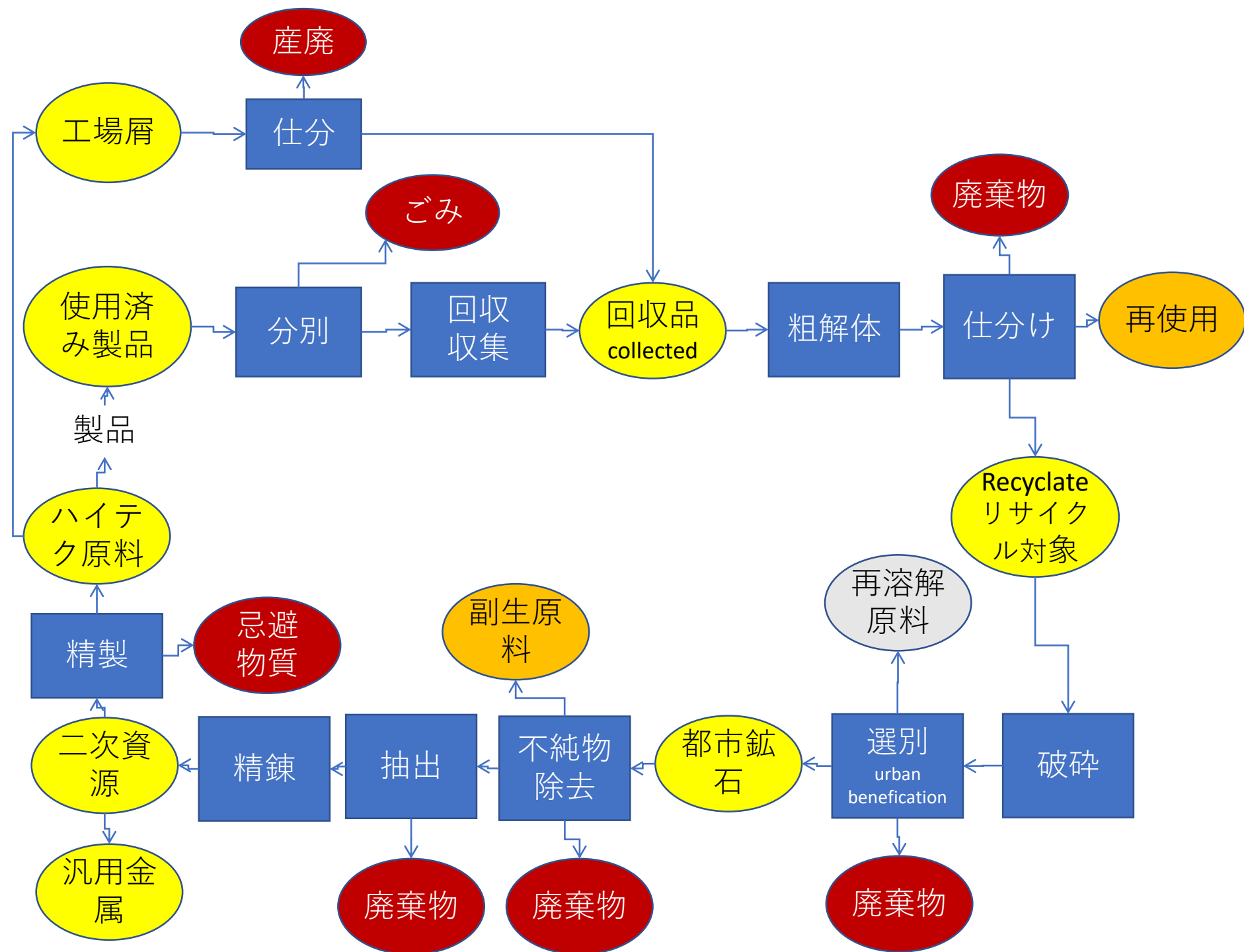
ポストコンシューマ
ー・リサイクル

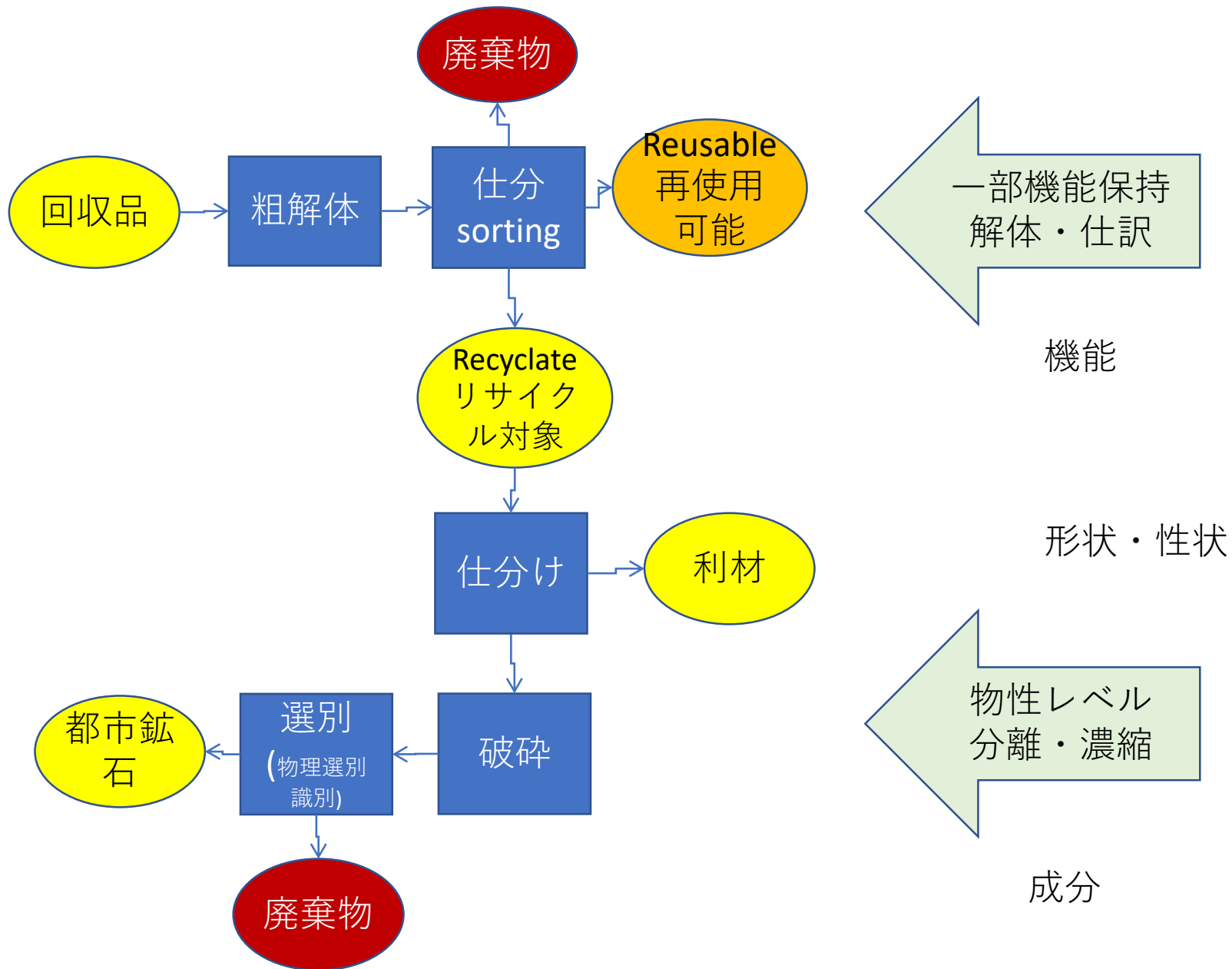
いろいろなものが混ざってくる

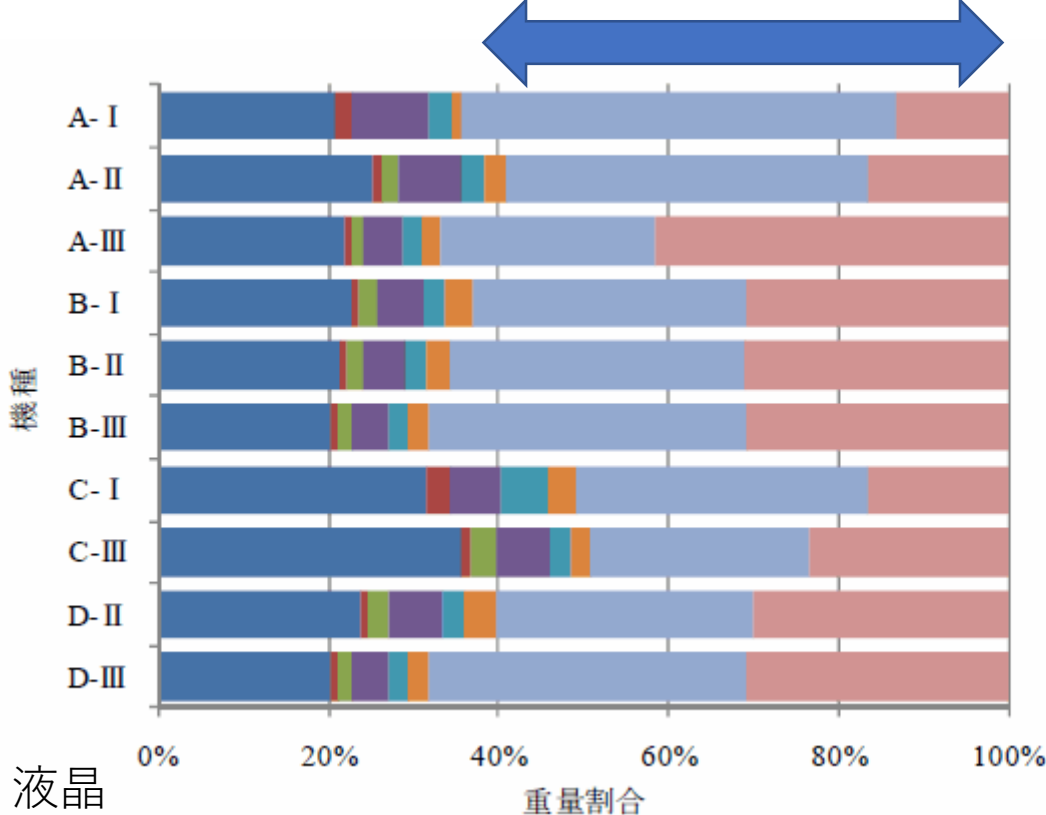
あちこちに分散しており、集める必要



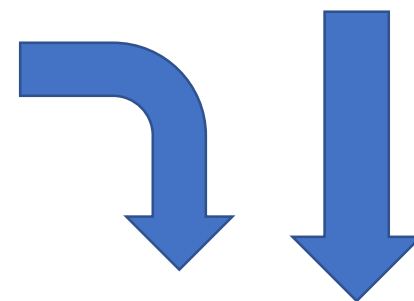
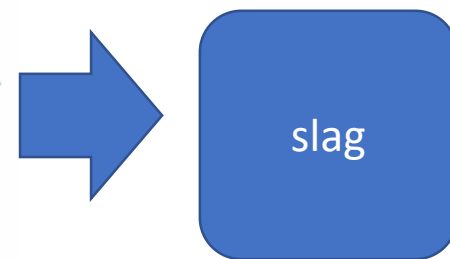
プリコンシューマの加工層がリサイクルしやすいんだ



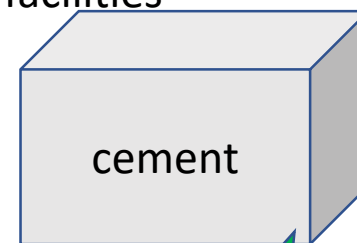




Smelting facilities



Cement industry facilities



| 元素 | 2000-2002年 |
|----|------------|
| Ag | A-I |
| Al | 1~5 |
| As | |
| Au | |
| B | 1~5 |
| Ba | 0.5~3 |
| Ca | 0.5~3 |
| Cr | |
| Cu | 0.01~0.1 |
| Fe | |
| In | 0.01~0.1 |
| Mg | 0.1~1 |
| Mn | |
| Mo | |
| Ni | |
| Sb | |
| Si | 10~30 |
| Sr | |
| Ti | 0.005~0.05 |
| W | |
| Zn | |

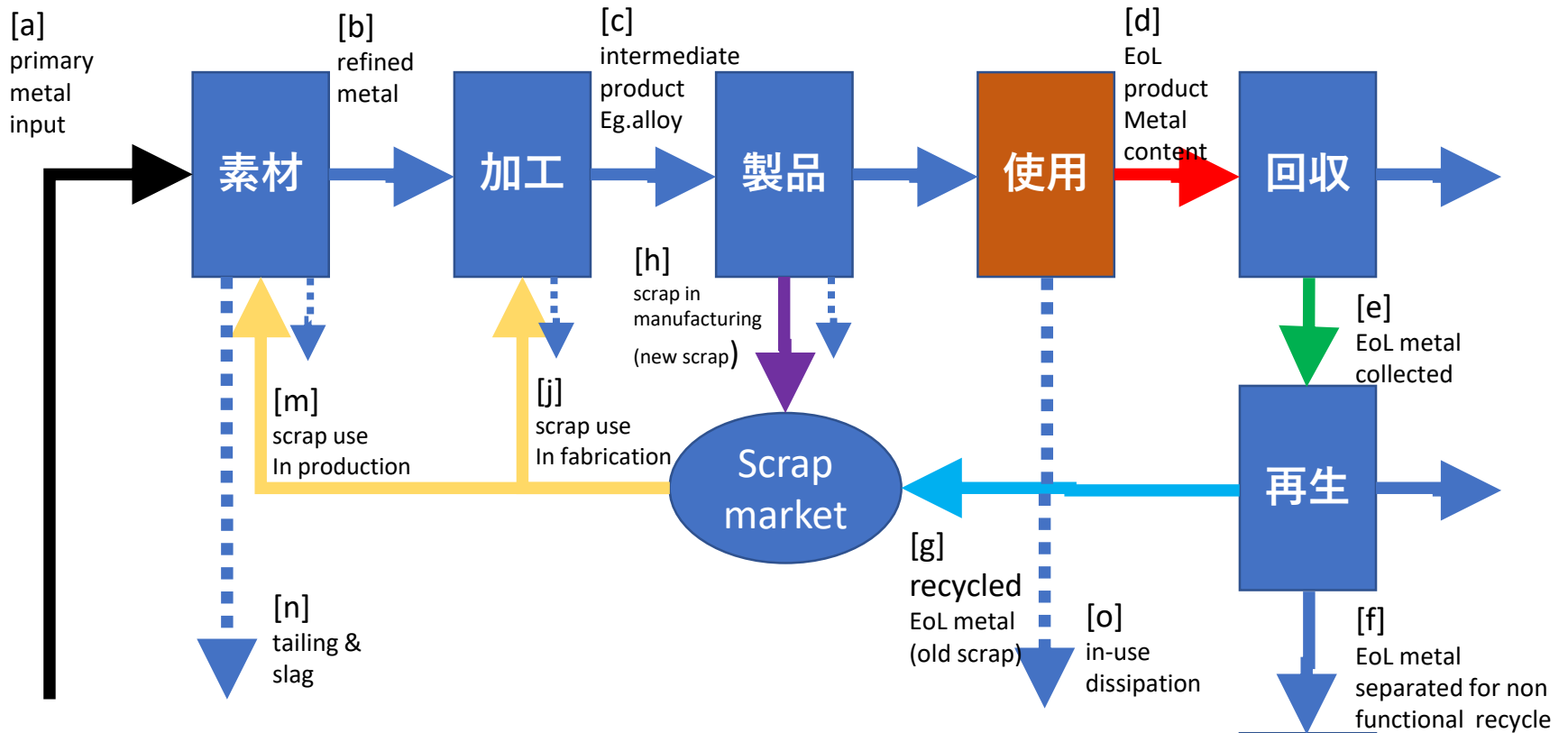
基板

| 基板 | 元素 | 2000-2002年 |
|-----|----|------------|
| A-I | Ag | 0.262 |
| A-I | Au | 0.113 |
| A-I | Co | 0.031 |
| A-I | Cu | 25.7 |
| A-I | Dy | 0.014 |
| A-I | In | 0.008 |
| A-I | Nd | 0.112 |
| A-I | Pd | 0.012 |
| A-I | Sm | <0.01 |
| A-I | Ta | 0.180 |
| A-I | W | 0.132 |

Ag 0.05%
 Au 0.02%
 Co 0.06%
 Cu 5%
 Dy 0.003%
 In 0.0015%
 Nd 0.02%
 Ta 0.04%
 W 0.025%



metal life cycle (by UNEP)



EOL

$CR = e/d$ old scrap recycling rate
 g/e recycling process efficiency
 $EOL-RR = g/d$ functional recycling

Production RIR recycling input rate, straight but RC of imported is available in many countries

$RC = [j+m]/[a+j+m]$ recycling contents, $OSR = g/(g+h)$ old scrap rate

都市鉱山化を天然鉱山と対比してみる

使用: 製品として混合状態で含有

EOL製品

回収: 処理場への移動、処理可能量の確保

回収製品

解体: 資源の取り出し可能な状態に

粗スクラップ

分離: 不要物質の減量・除去

再生原材料

再生: 目的物質の抽出もしくは素材化

メタル

地殻

火山、微生物

鉱床

採掘

鉱石

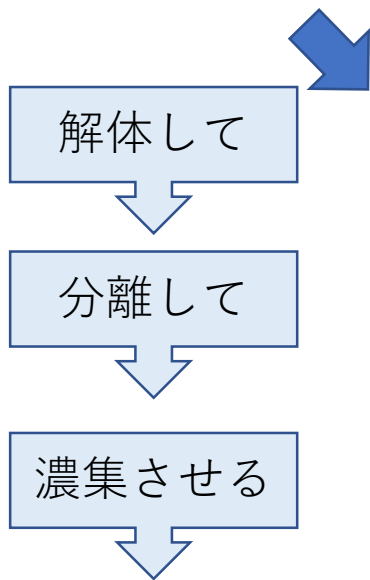
選鉱

精鉱

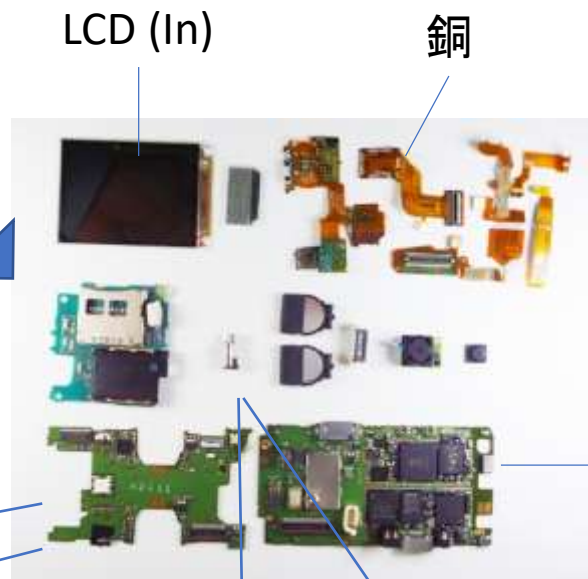
製錬

金属

解体し、分離し、濃縮するほど価値が上がる



(ほとんどプラスチック)



LCD (In)

銅

基板



Au,Pt等



Pd,Ag等



Sn,Ni,Co等



Ta等



W等



Nd等

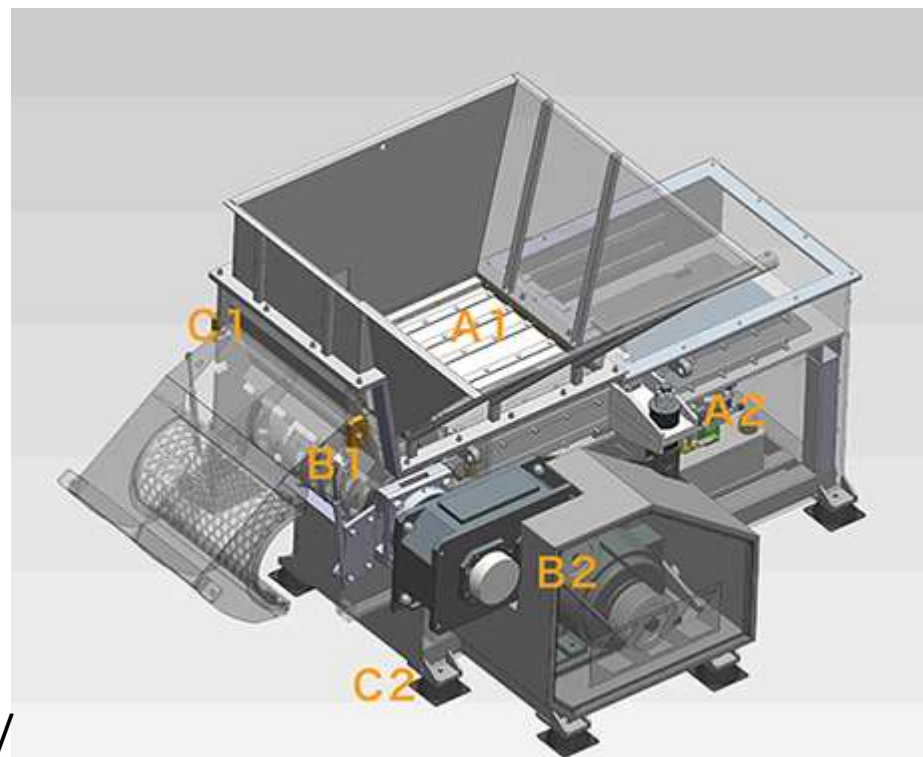
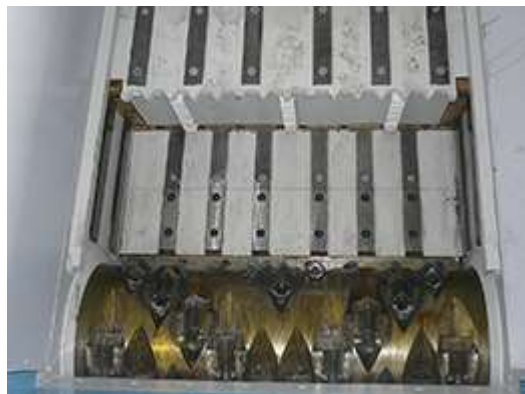
粉碎の目的

- 単体分離性の向上
- 選択粉碎の促進
- 化学反応性の賦与
- 流動性の賦与
- 均一性の賦与
- 連続分布の付与
- 成形性の賦与
- 被覆性の賦与
- 減量化（特に空隙率の高いものに対して）
- メカノケミカル反応の促進

一軸破碎機

一軸破碎機は、回転する刃に対象物を押し付けて削り取っていくように破碎。対象物をプッシャーで回転刃に押し付けて、効率良く細かく砕く。

排出口には、スクリーンが取り付けられている。スクリーンは、穴の開いた鉄板。この穴を通過するサイズまで細かく砕かれると排出され、それよりも大きなサイズの場合、もう一度破碎される。穴の大きさで、処理後の粒度を調整することができる。一般的に穴の直径は20mm～70mm程度のもので使われることが多い。直径が小さいと何度も破碎する必要があるため、時間当たりの処理量は少なくなる。プラスチック、木材、紙類などの破碎でよく使われている。

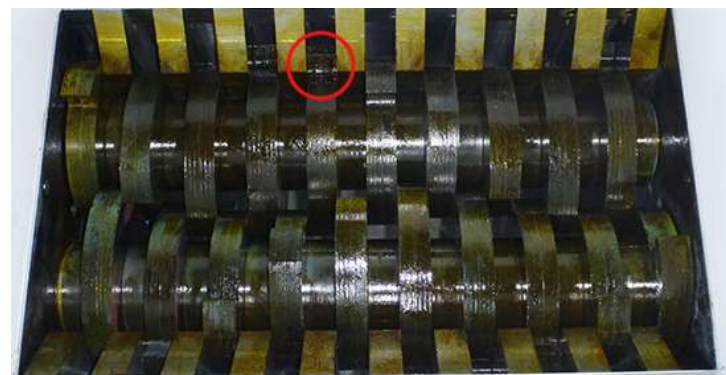
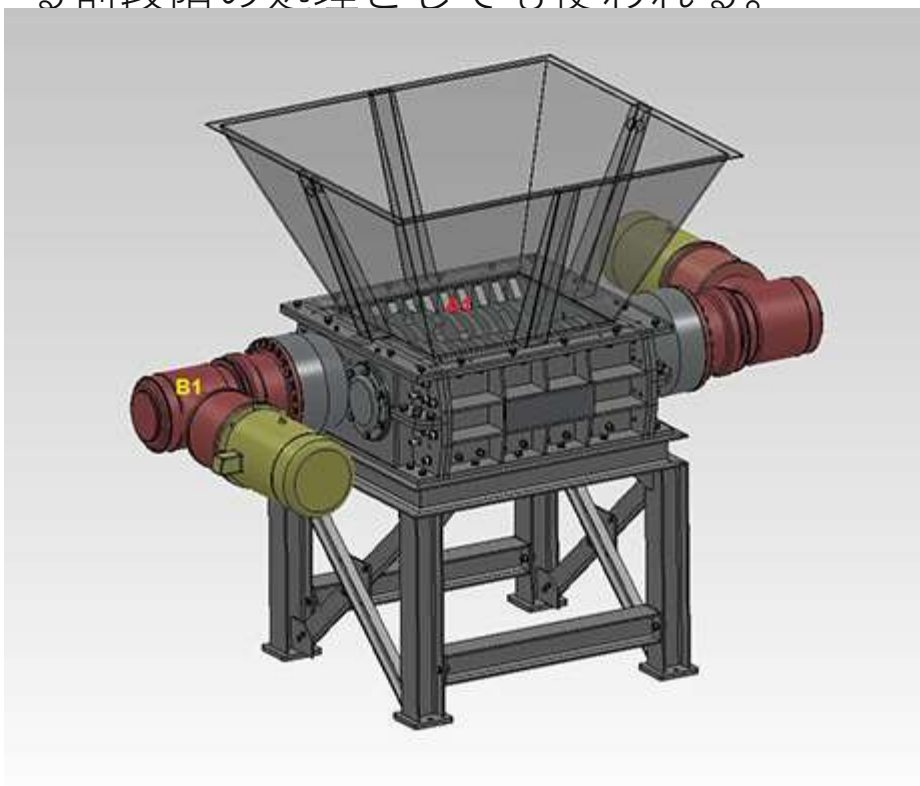
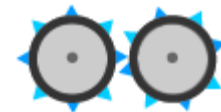


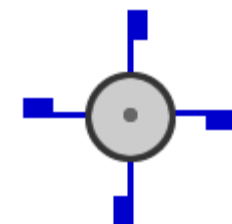
二軸破碎機

二軸破碎機は、2つの回転する刃が対象物を捉えて、ハサミで切るように破碎。構造は、オフィスにある紙用シュレッダーがそのまま大きくなったもの。

通常、破碎機の間を通過するのは、一度だけ。刃の幅、刃についたフックの間隔で破碎後の大きさが決まる。

そのため、大量処理、粗破碎に向いています。家具などの大きな粗大ゴミの減容、最終処分前の減容などに使われる。また、更に細かく破碎する前段階の処理としても使われる。





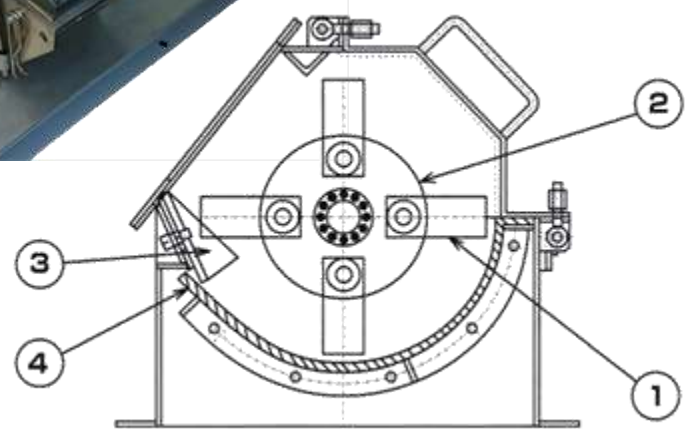
ハンマー式破砕機（ハンマークラッシャー）

ハンマー式破砕機は、高速回転するハンマーで対象物を叩き割る方式。木材、コンクリート、ガラス、瓦、プリント基板などある程度硬い対象物に向いている。ゴムや軟質プラスチックなど柔らかいものには不向き。

また、ハンマーが高速回転し、叩き割るという特徴のため、他の方式よりも騒音、振動、粉塵が多く発生。

スクリーンを設置することで、破砕後の粒度を調整することもできる。

機構がシンプルでメンテナンス性が高く、消耗品が比較的安価なのが特徴。



http://sanshoindy.com/prd_02_01.html

<http://www.mkn.co.jp/mkn/machin/mill/hc.html>

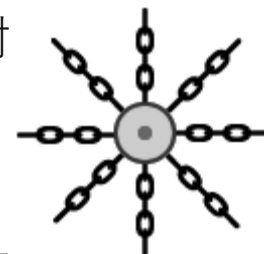
チェーン式破碎機（チェーンクラッシャー）

チェーンクラッシャーは、破碎室で硬くて重たいチェーンが回転して対象物を叩き割る方式。ハンマー式破碎機のハンマー部分がチェーンになったもの。

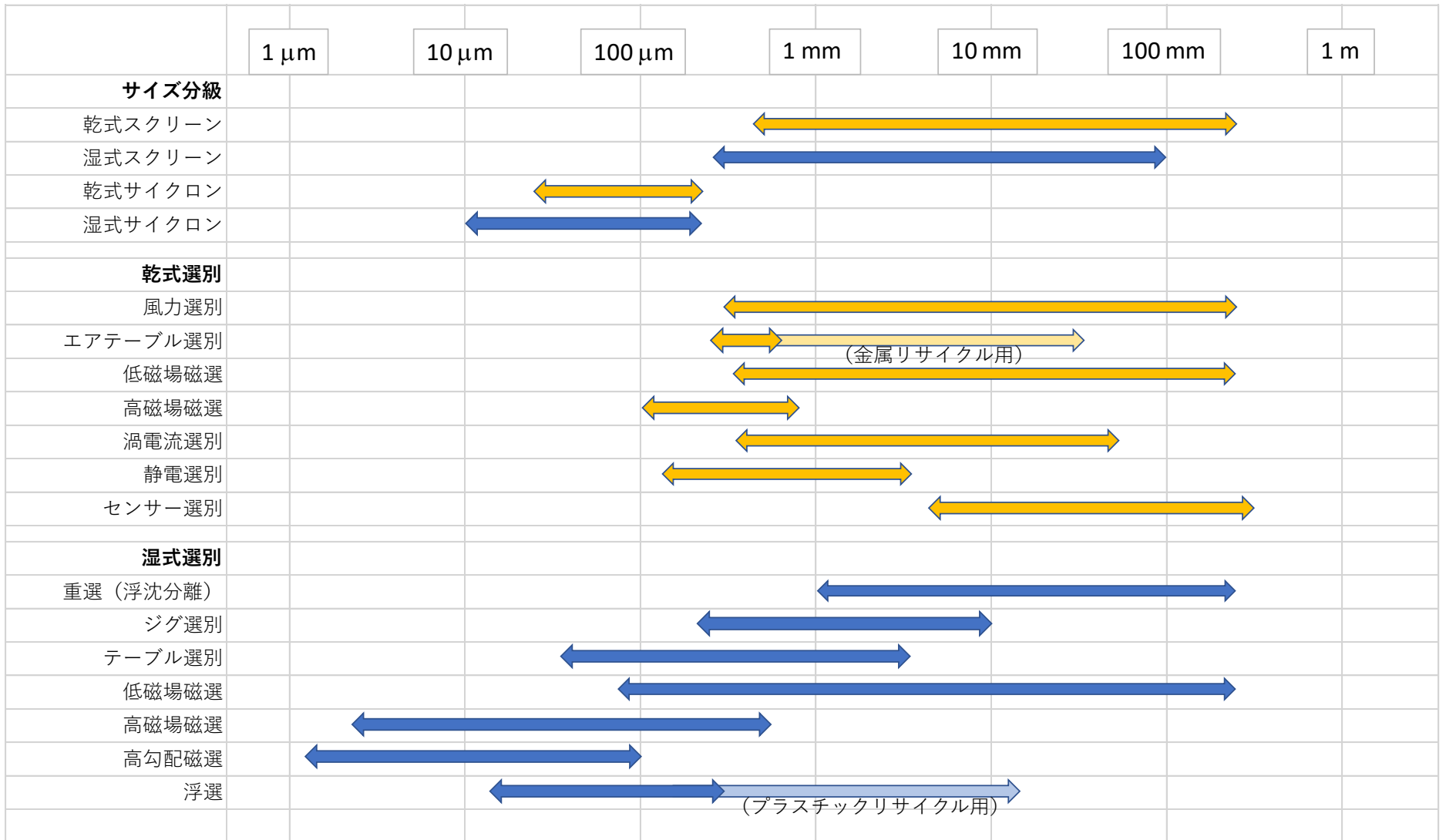
機構がシンプルで、消耗品が比較的安価なのが特徴。

一般的にスクリーンはつけないため、二軸破碎機のように粗破碎が目的になることが多い。

家電をプラスチックとレアメタルに選別回収する前段階として使われている



各種選別技術の適用粒度



形状選別

粉碎したときの大ききで分ける

ふるい分け(トロンメル)

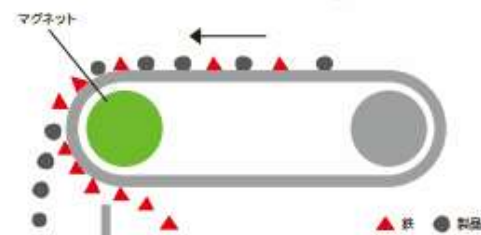


見た目で分ける

目視・人力

磁力選別

強磁性体 (鉄、クロム系ステンレス) と
それ以外 (非金属、銅など) を分ける



流体中での粒子運動の基礎

密度の異なる粒子を主としてのその差を利用して分離すること。

湿式： ジグ選別，薄流選別，スパイラル選別，テーブル選別

乾式： 風力選別（ジグザグ選別，気流選別，等）

粒子の流体中での運動

自由沈降 Free Settling

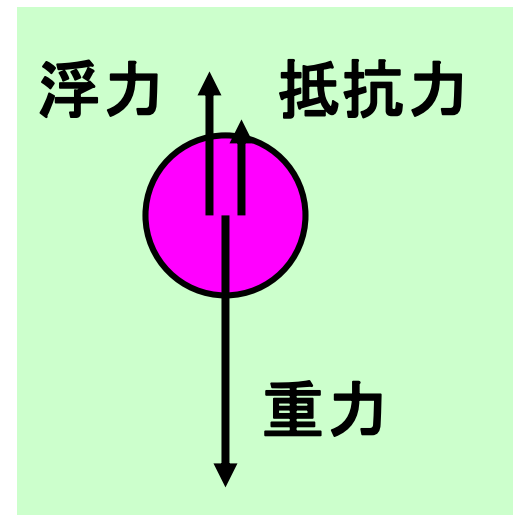
干渉沈降 Hindered Settling

運動方程式

$$\frac{\pi d^3}{6} \rho \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{\pi d^3}{6} (\rho - \rho_0) g - R \dots \dots (1)$$

d : 粒子径, ρ : 粒子密度, ρ_0 : 流体密度

v : 相対速度, t : 時間, g : 重力加速度, R : 抵抗力



流体中の粒子に働く力

ジグ選別, Jigging

水中の粒子群に脈動流を与えて、密度差により上下方向に成層させて選別する方法。

粒子運動方程式

$$\frac{\pi d^3}{6} \rho \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{\pi d^3}{6} (\rho - \rho_0) g - R \dots (1)$$

沈降初期(速度が小さい)では、 $R = 0$ と置くことができる。

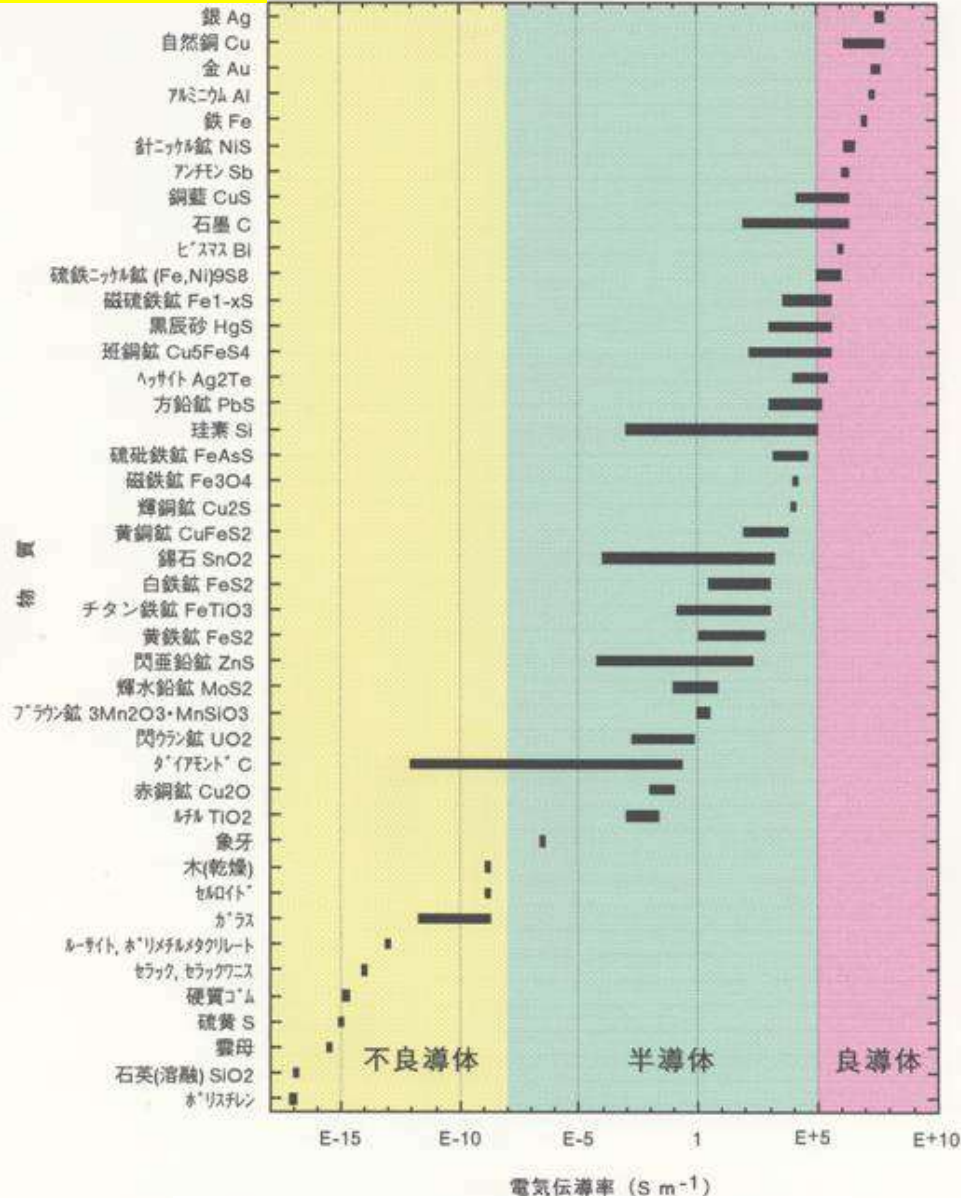
$$\frac{dv}{dt} = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) g \dots (19)$$

$$v = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) g \cdot t \dots (20)$$

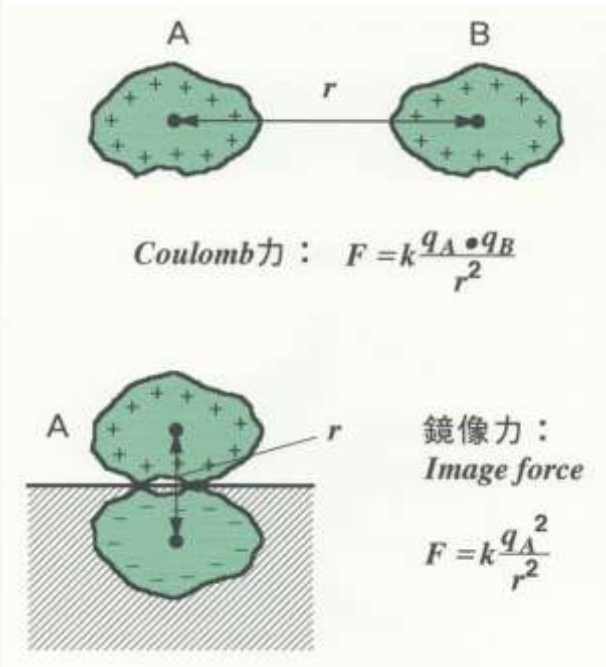
dがない!

- 沈降初期の速度は粒子径に関係ない。
- 沈降時間が短ければ、粒子径に関係なく、密度のみによる分離が期待できる。

静電選別

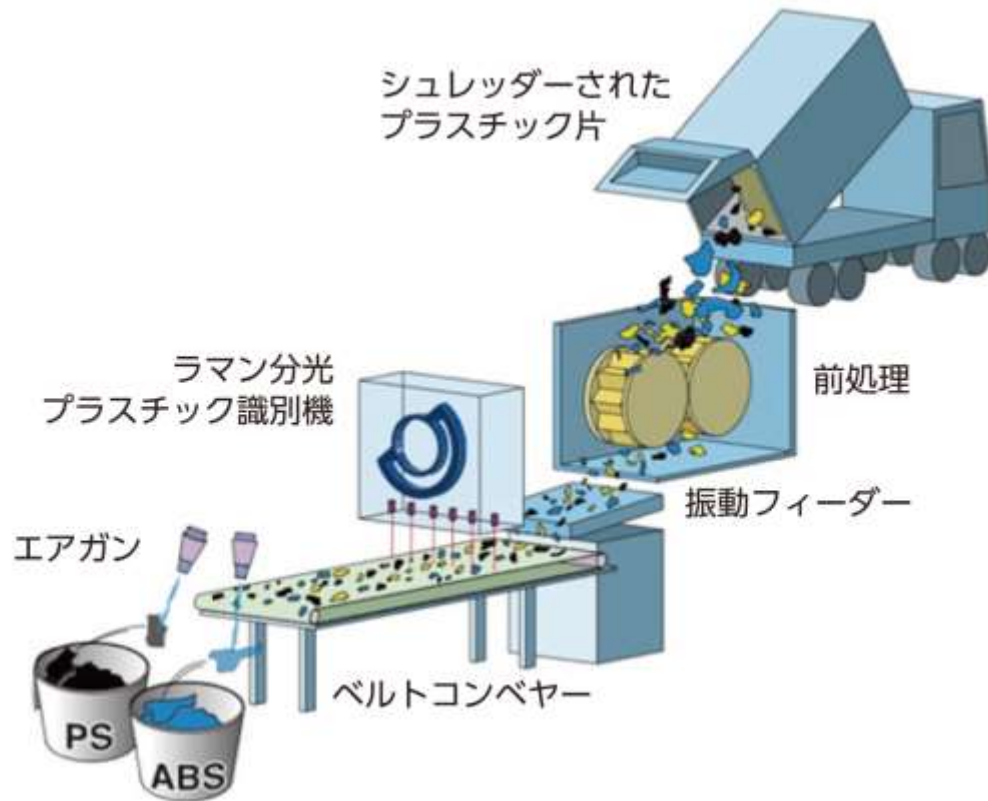


各種物質の電気伝導率



電気的選別で主に働く力

ラマン分光ソータの概念図



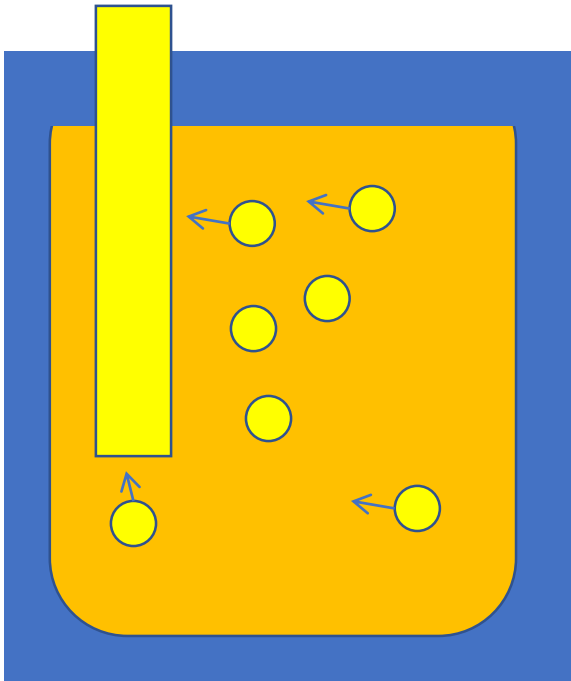
ラマン分光プラスチックソータ
(サイム・モデルRPS-250-R50)

抽出の方法は基本的に相分離



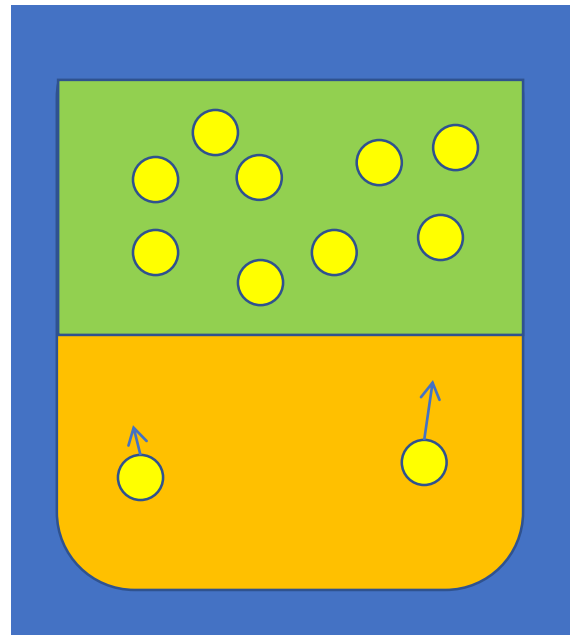
添え字が重要

固液分離



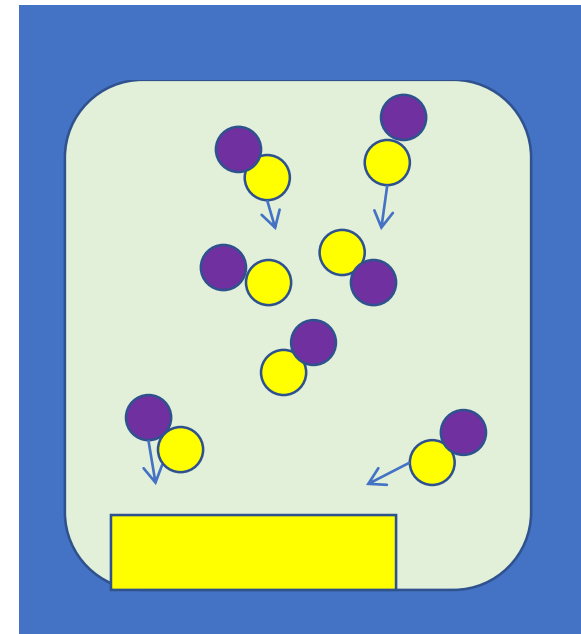
電解製錬、析出、吸着
(電子、イオンの交換利用が多い)

二液相分離



乾式製錬の多く、溶媒抽出
(相互の活量の違いを利用)

気液分離



気相析出、塩化物法など
(液→気 気→液の化学反応)



冶金法

俺たちは
熱く燃え
る仲間さ



僕は入ら
ないほう
がよさそ
うだね



溶媒法

こっちの
みーずは
甘いぞ



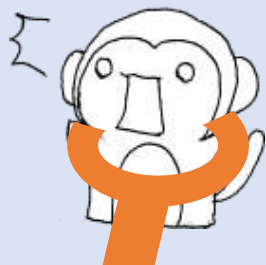
行っ
てみ
よう
かな

僕は
ちょ
っと
遠慮

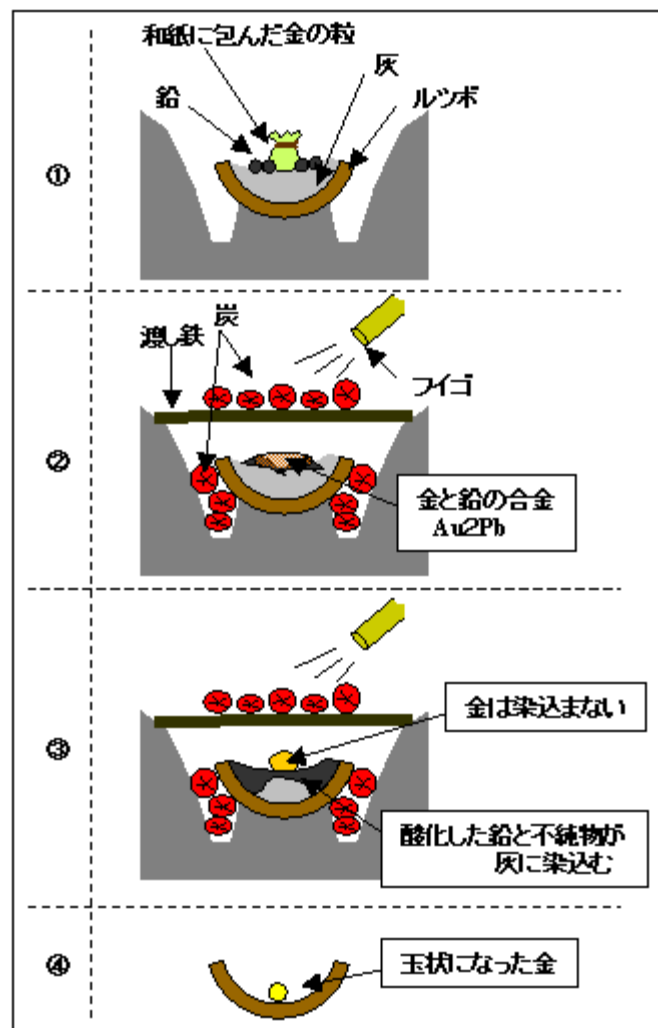
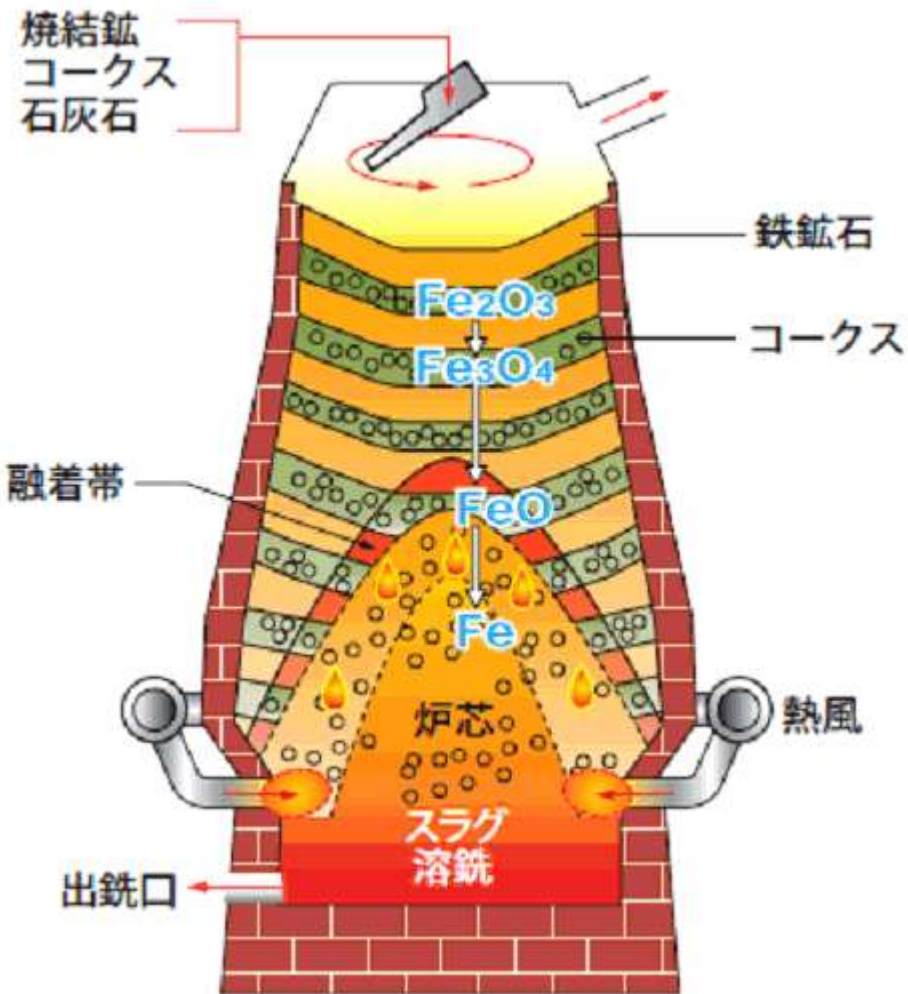


捕獲法

つかま
えら
れたっ



冶金法

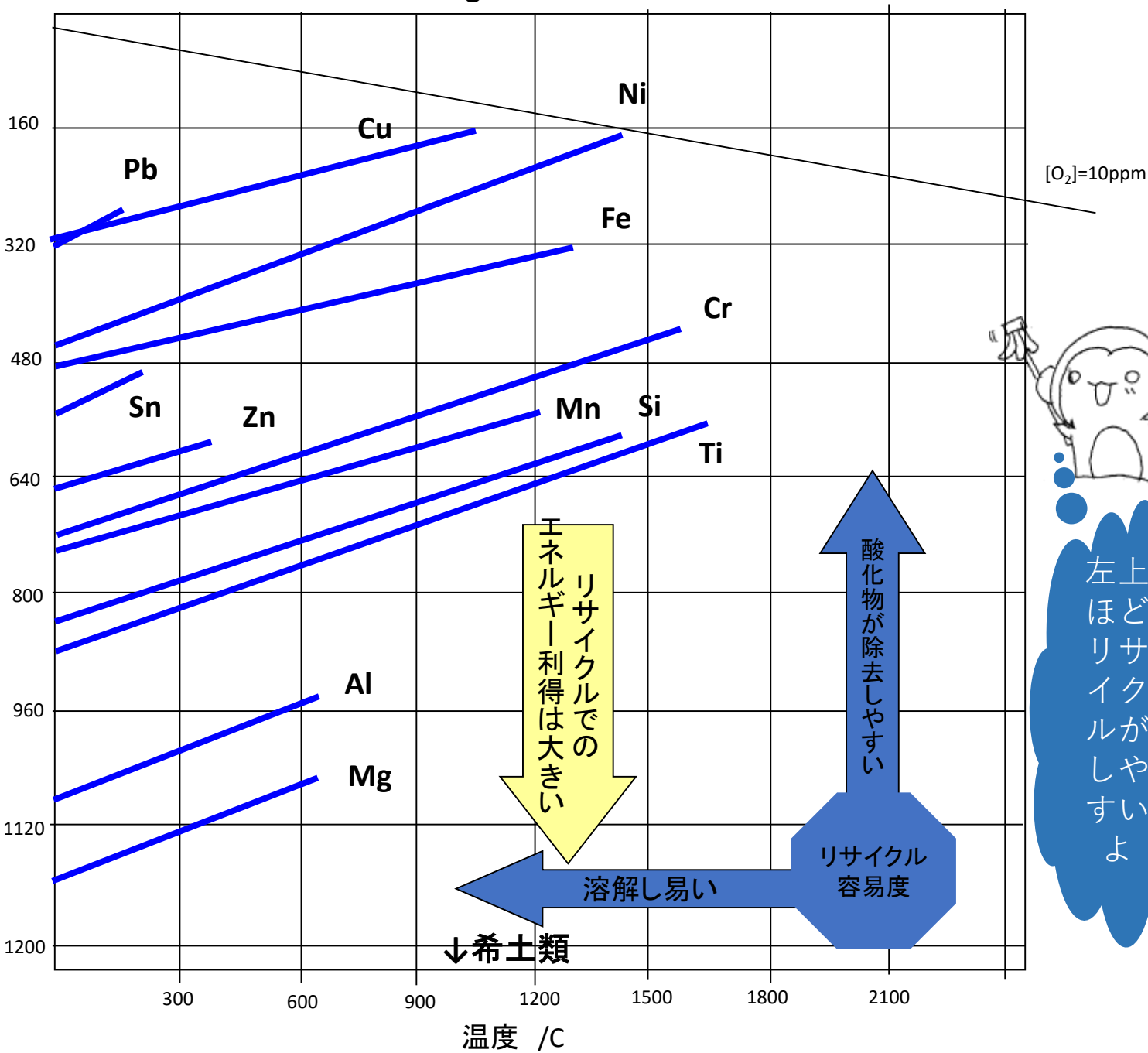


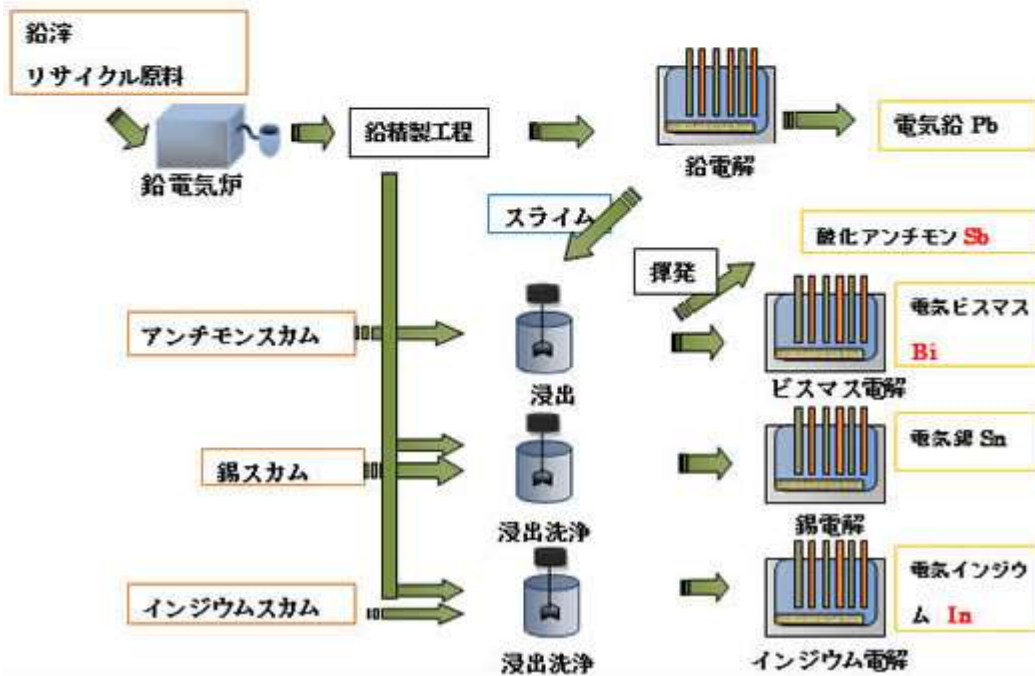
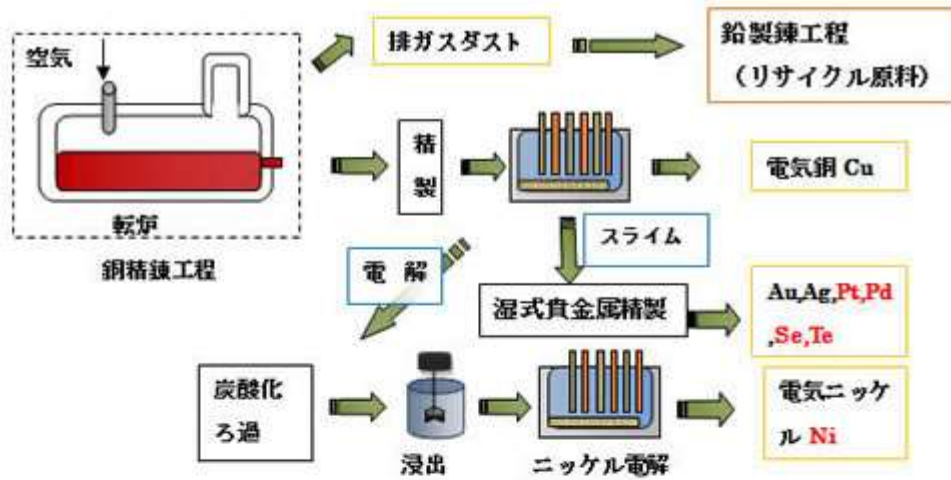
酸素との結びつきの強さと
溶融温度

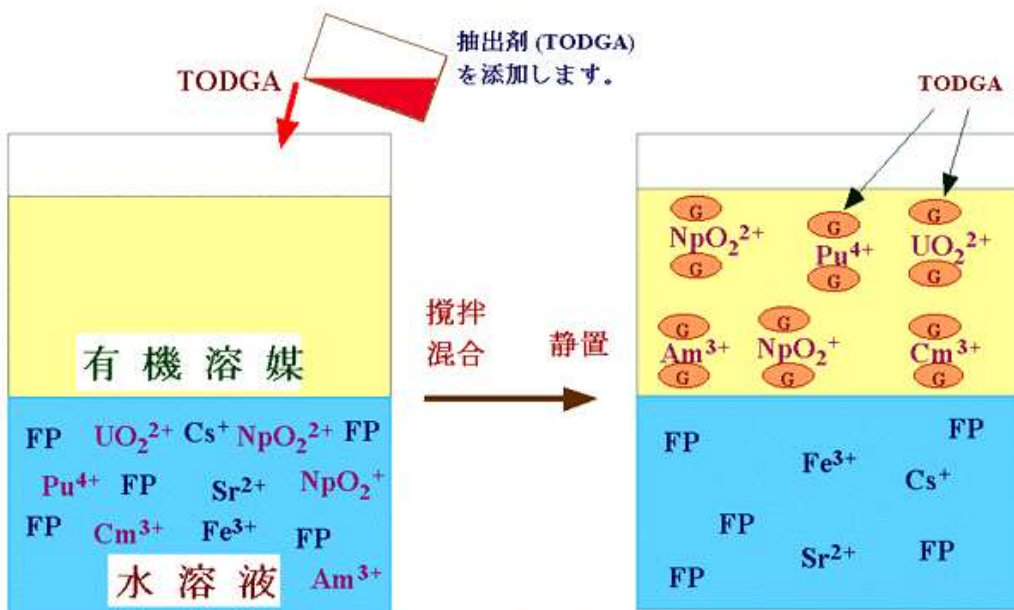
↑Ag ↑Au

↑Pt

← 酸素との親和力 $\Delta G^0 = RT \ln P_{O_2} / KJ \cdot mol^{-1}$







様々な金属イオンを含む硝酸水溶液に水と混ざり合わない有機溶媒を加えると二つの相に分離した状態となります。

激しく撈拌すると、有機溶媒中のTODGAが水溶液中のアクチノイドと反応します。しばらく静置すると溶液はもとの二つの相に分かれますが、アクチノイドだけは、TODGAに捕らえられて有機溶媒に移っております。

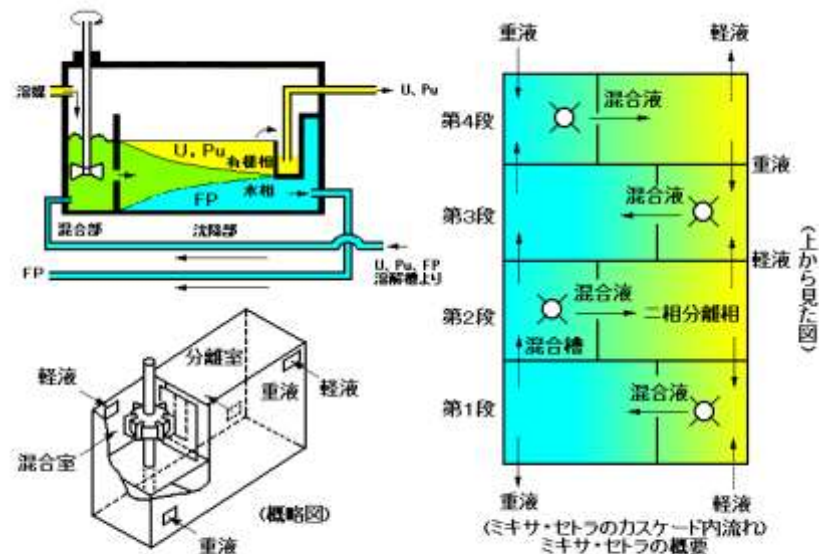
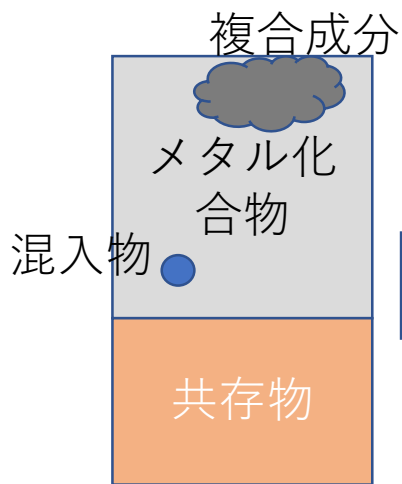
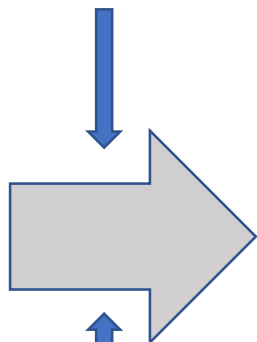


図3 ミキサセトラの概念図

鉍石
都市鉍石

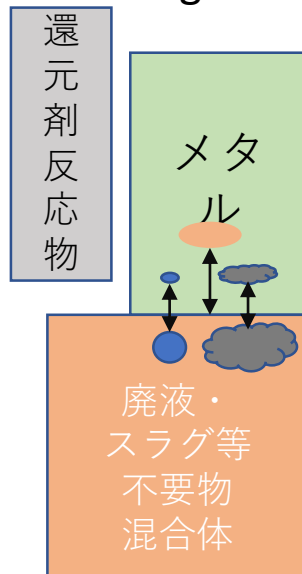


還元剤

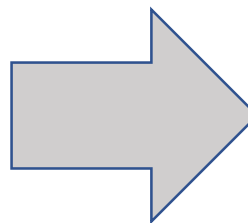


溶液化・
熔滓化
補助剤

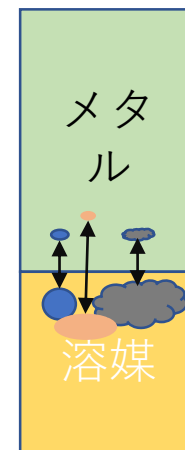
製錬
smelting

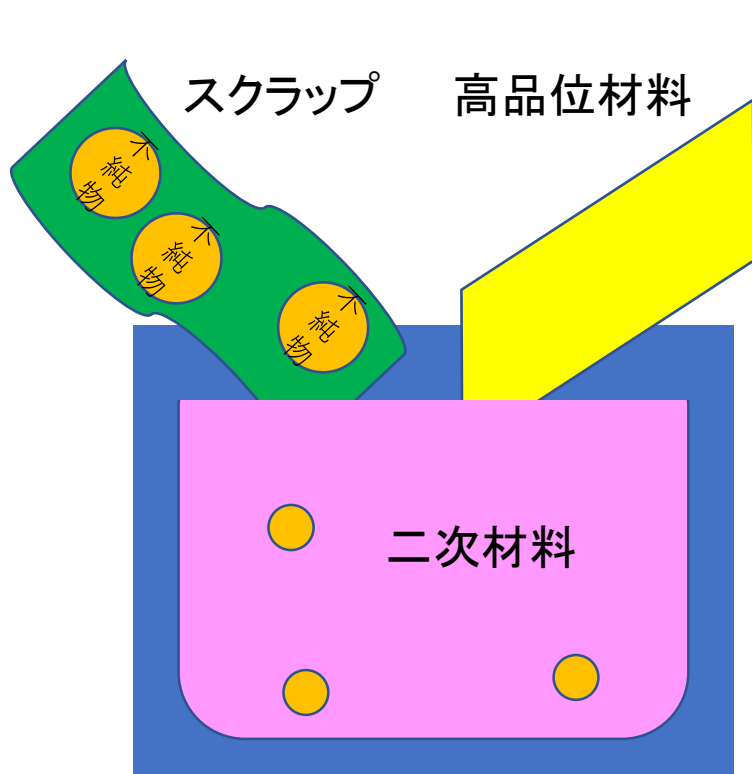


分配



精錬
refining



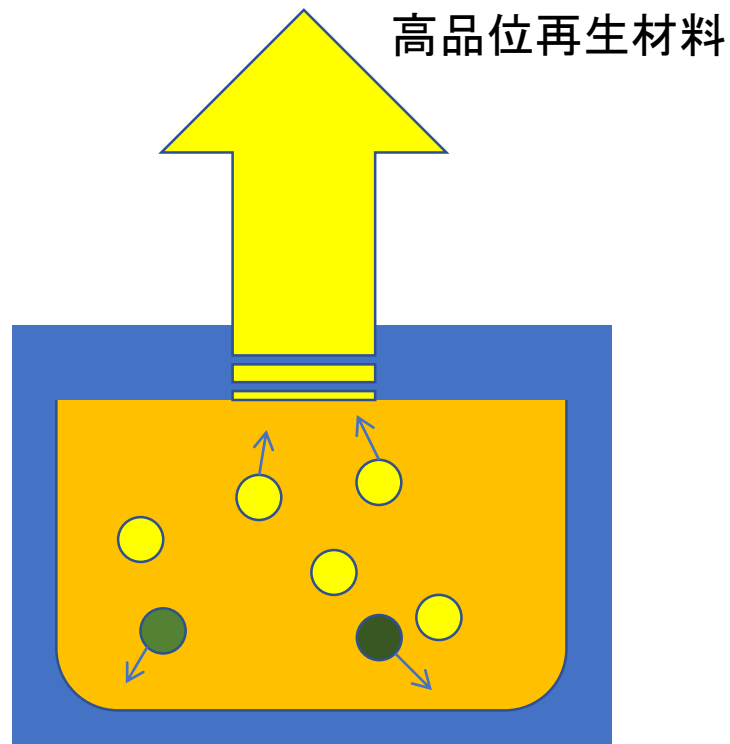


希釈型: Fe, Al, プラ、紙、ガラス等

▽ 不純物が残り性能が落ちる場合も

○ ほぼ全量つかえる

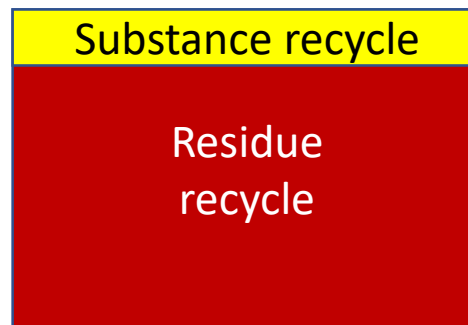
→ 廃棄物が少ない



抽出型: レアメタル、貴金属等

○ 取りだしたものはバージンと同じ

▽ 大量の廃棄物が発生する



発生量

廃棄物
減量効果

$$D \cdot m_R$$

事前処理

対象物

混在物

$$m_R$$

排出物

廃棄物

副産物

$$m_w$$

$$m_s$$

混入物

目的物

前処理

主処理

後処理

投入物

$$m_c$$

投入エネルギー

$$m_E$$

設備

$$m_F = M_F / D$$

M_F : 総投入

D : 処理単位の寿命

$$m_p$$

サブシステム チェックリスト

1. 発生量は十分か
2. どのような事前処理を必要とするか
3. 取り除くべき混在物は何か
4. 排出物とその満たすべき基準
5. 廃棄物の量と種類
6. 利材化可能物の種類と量
7. 発生物中の混入物、特に忌避物質
8. 目的物の回収歩留まり
9. 投入物 (コスト、関与物質総量)
10. 消費量 (CO2発生)
11. 設備、(処理量、ライフサイクル負荷)
12. 需要量に対する量的位置づけ

m_R あたりのコスト評価

$$p(m_p) + p(m_s) >$$

$$p(m_R) + p(m_c) + p(m_E) + p(m_F) + p(m_w)$$

次段処理

資源
供給効果

$$m_p$$

需要量