

# 資源リサイクル学

環境科学系

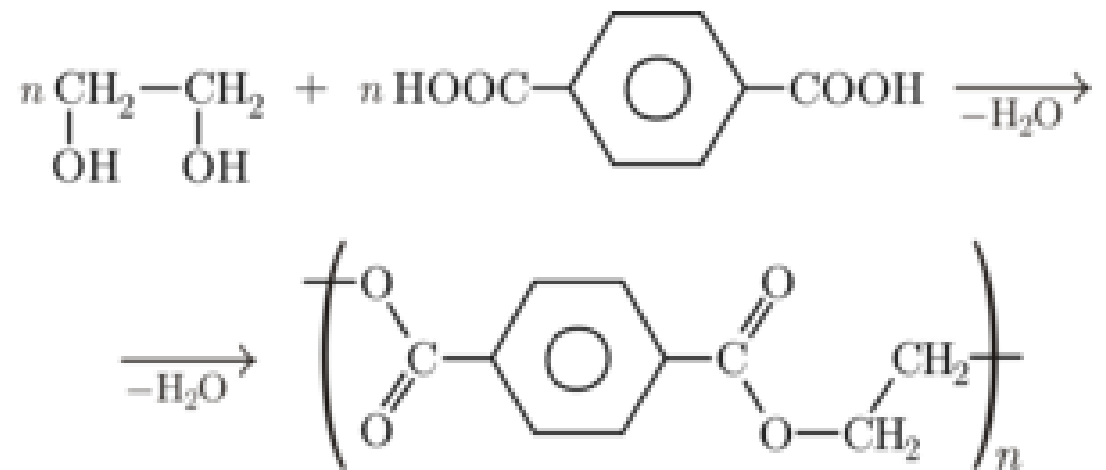
宮脇 健太郎

各種リサイクル技術(1)

容器包装・プラスチックなど

# PET(Poly Ethylene Terephthalate)

- ポリエステルの一種
  - エチレングリコール
  - テレフタル酸
  - 脱水重合



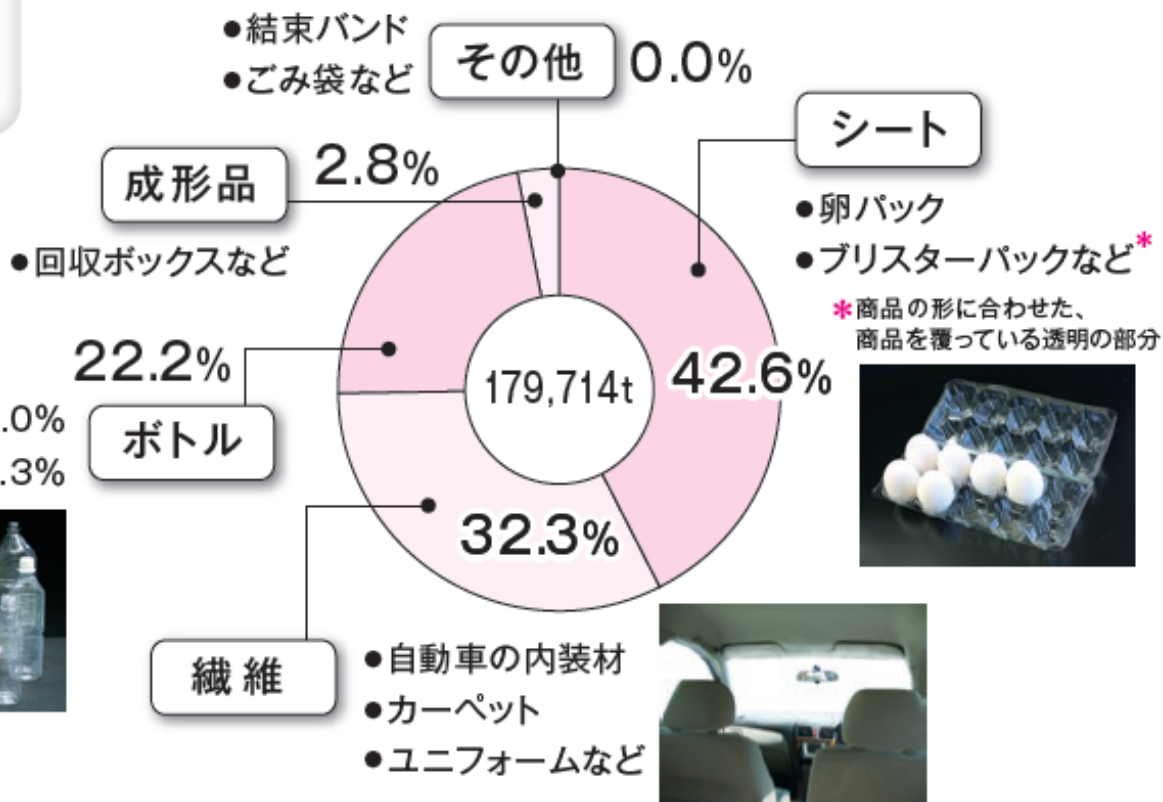
# PETボトル

市町村からの引取量は約21.7万トンで、前年度比約102.6%でした。再商品化製品は、シートが42.6%、繊維が32.3%、ボトルが22.2%の割合で使われています。

協会の引取実績量  
**217,065トン**

再商品化製品販売量  
**179,714トン**

- 飲料用ボトル……22.0%
- 洗剤用ボトルなど……0.3%



# PETのマテリアルリサイクル

## 自治体

- 分別収集，選別，圧縮 → ベール
- 保管

## リサイクル事業者

- 選別，粉碎，洗浄分離
  - フレーク：PETボトルを8mm角に粉碎し，洗浄したもの，作業服，卵パック，成形品などの原料
  - ペレット：フレークを熔融し，小さな粒状に加工したもの，繊維にする場合に使用



フレーク



ペレット

# 減容化

- ベール 例) 60×40×30cm 15～20kg
- 品質ランク
  - A: キャップなし, きれい
  - B: キャップがほとんどない, 少し汚れ
  - C: キャップあり, ボトルが汚い, 異物混入



PETボトルリサイクル推進協議会HPより

# 指定PETボトルの自主設計ガイドライン

- ボトル， ラベル， キャップ， その他
- 材料， 着色， 構造他， 基準が定められている。
- 例えば， 本体であれば， 着色：無色透明， 構造：容易に押しつぶせる構造，  
キャップであれば， プラスチック  
キャップ：PEまたはPPを主材とした比重1.0未満の材質

# 製品

- 繊維
  - 溶融・紡糸, 紡績糸, 製織, 裁断, 縫製 → エプロン, モップ, 布テープなど
- シート
  - シート化, 真空成形, 加工 → 果物用仕切りトレイなど
- ボトル
  - 射出成形, 過熱行程, 延伸吹込成形 → 台所用洗剤ボトルなど
- 成形品
  - 成形, 組み立て → バスケット, 化粧品容器など
- バンド
  - 押出成形, 延伸, 巻き取り → PETバンド

# ボトルtoボトル(ケミカルリサイクル)

- 化学分解・精製 → 重合(モノマーリサイクル)
- 高純度原料が得られる
- エネルギー 石油由来と同等
- 安全衛生性 問題なし

	ボトルtoボトルPET樹脂	石油由来PET樹脂
資源エネルギー	0 (MJ/kg)	35 (MJ/kg)
工程エネルギー	31 (MJ/kg)	28 (MJ/kg)
エネルギー負荷合計	31 (MJ/kg)	63 (MJ/kg)



# 原料・モノマー化

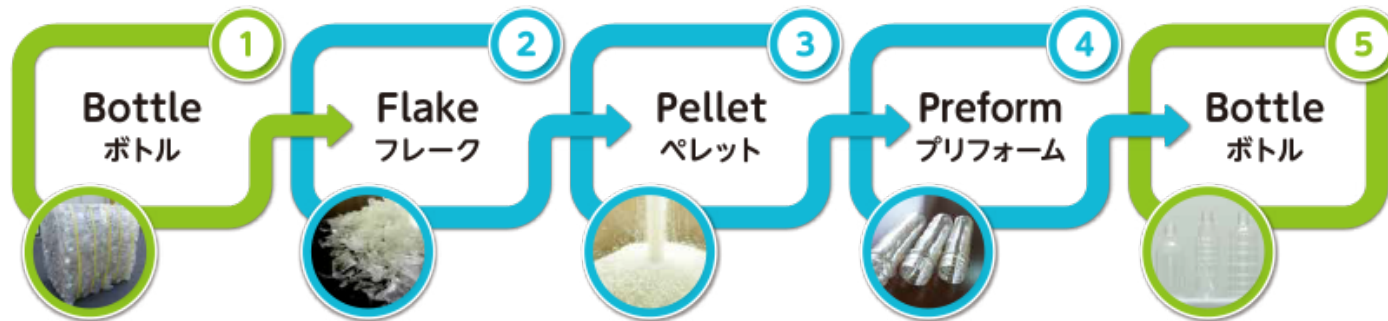
- PETボトルの化学分解（（株）帝人，（株）アイエス）
- PETボトル 粉砕・洗浄
- エチレングリコールを加え，BHET（ビスヒドロキシエチレンテレフタレート）に解重合
- 粗BHETをメタノール中で再結晶
- DMT（ジメチルテレフタレート）蒸留工程 → 高純度DMT
- 加水分解 TPA（テレフタル酸）  
→ PET樹脂
  
- 6万トンのPETボトルから5万トンのPET樹脂
- 消費エネルギー 石油原料に比べ，約8割減
- 2021現在 日本環境設計(株)で実施中

# ボトルtoボトル(メカニカルリサイクル:近年)

- 協栄産業+サントリー (2011~)
  - 再縮合重合, 減圧・加熱処理でのフレーク内部不純物除去
- リペットボトル
  - 再生PET樹脂50%→100%
  - ウーロン茶, 日本茶など (年6万トン程度2017)
- サントリー、協栄産業、SIPA社、EREMA社
  - FtoPダイレクトリサイクル技術
- 再生PET樹脂のラベルも

## B to B から F to P ダイレクトリサイクルへ

Bottle to Bottle Mechanical Recycling B to B メカニカルリサイクル



Flake to Preform Direct Recycling F to P ダイレクト リサイクル



従来のメカニカルサイクルと比較しても  
CO<sub>2</sub>を25%削減する新技術

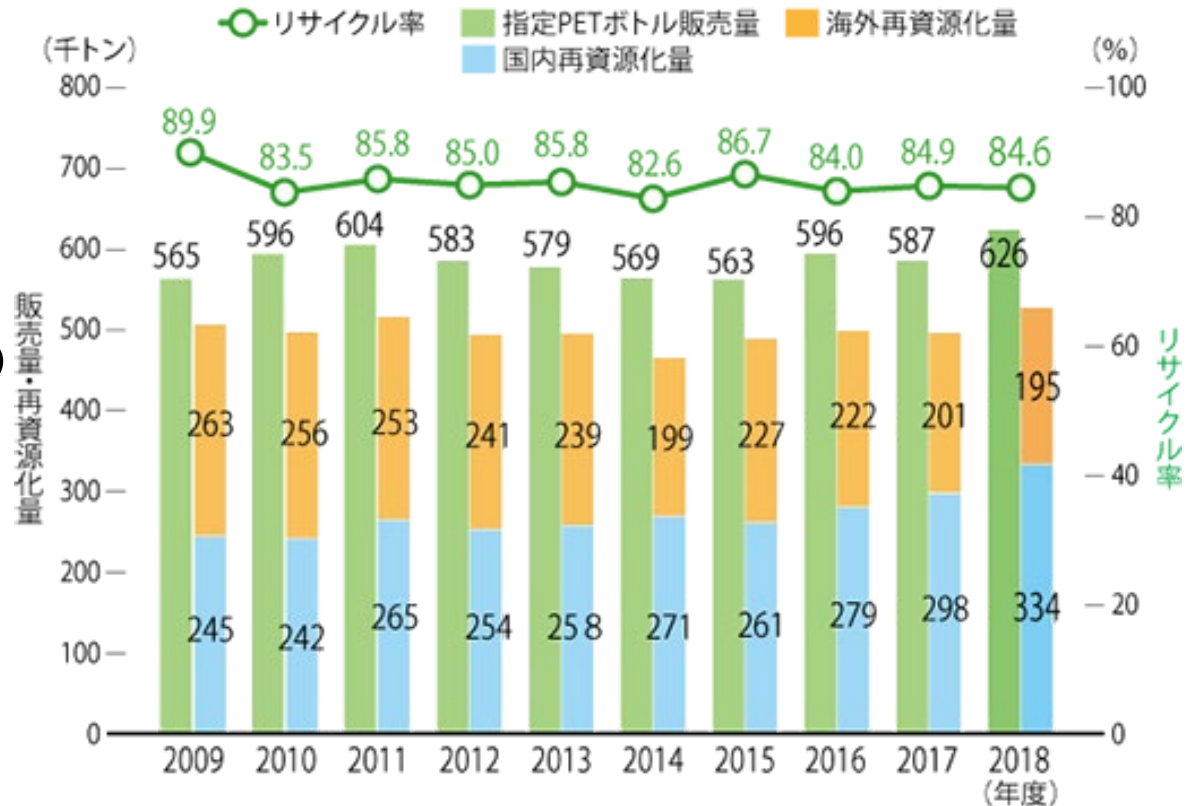


# PETに関する統計データ

- 販売量
    - 約626千トン
  - リサイクル率
    - 84.6%
  - 輸出されるもの
    - PETくず
- 10%以上
- 再生PET(千t)
 

シート	131.8
繊維	58.8
ボトルtoボトル	72.7
成形品・その他	13.1
総計	276.4

図4. 国内再資源化と海外再資源化



PETボトルリサイクル推進協議会：2018

# プラスチックのリサイクル技術

- マテリアルリサイクル
  - 再使用・再生利用(材料)
- ケミカルリサイクル
  - モノマー化
  - 高炉還元剤
  - コークス炉化学原料化
  - ガス化, 油化
- サーマルリサイクル
  - セメントキルン, ごみ発電, RDF

# プラスチックリサイクルの種類

分類(日本)	リサイクルの手法	ヨーロッパでの呼び方
マテリアルリサイクル (材料リサイクル)	再生利用 ・プラ原料化 ・プラ製品化	メカニカルリサイクル (Mechanical Recycle)
ケミカルリサイクル	原料・モノマー化	フィードストックリサイクル (Feedstock Recycle)
	高炉還元剤	
	コークス炉化学原料化	
	ガス化   化学原料化	
サーマルリサイクル (エネルギー回収)	油化   燃料	エネルギーリカバリー (Energy Recovery)
	セメントキルン ごみ発電 RDF *1 RPF *2	

# 廃プラスチック(一般廃棄物+産業廃棄物)

- 850万トン(2019)

- 使用済品783万トン, 生産加工ロス品68万トン

- 埋立 54万トン 6.4%
    - 単純焼却 70万トン 8.3%

} 未利用15%

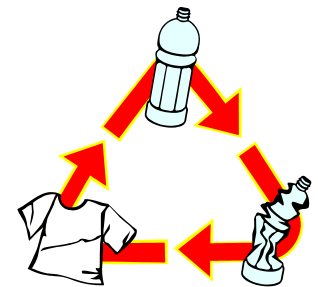
---

- 熱利用焼却 65万トン 8%
    - 発電焼却 262万トン 31%
    - 固形燃料/セメント原燃料 175万トン 21%
    - 高炉・コークス炉原料/ガス化/油化 27万トン 3%
    - 再生利用 (マテリアルリサイクル) 186万トン 22%

有効利用85% ↓

# マテリアルリサイクル(2019) (使用済品146万トン内訳)

- ペットボトル 51万トン
- 包装フィルム 24万トン
- 家電筐体 22万トン
- 農業用プラスチック 8万トン
- 発泡スチロール梱包材 7万トン
- 電線被覆 6万トン
- コンテナ類 5万トン
- 自動車用部品 4万トン
- パイプなど 1万トン
- 発泡スチロールトレイ 1万トン
- その他ボトル 1万トン
- その他 16万トン

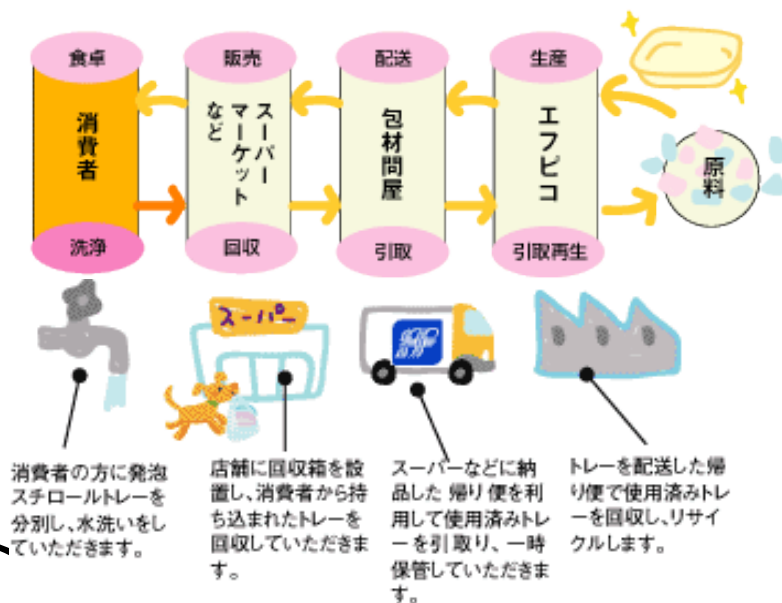




# マテリアルリサイクル例

## (株)エフピコのエコトレー

- 発泡食品トレー
- スーパー等での回収
- トレーtoトレー
- スチロールフィルムでラミネート
- 容器包装リサイクル法の指定法人ルートでの回収
- 再生手順
  - 搬入, 選別, 風力選別・1次破碎, 1次洗淨(水), 2次洗淨(熱水), 脱水, 2次破碎, 溶融・押出, ペレット, エコトレー



# プラスチック油化

- 背景

- 炭素-炭素結合の鎖を切断し，低分子の炭化水素とする技術 1980年ごろ検討された
- 生成油品質，コスト高が問題
- 最近，プラスチック容器包装材の再利用技術

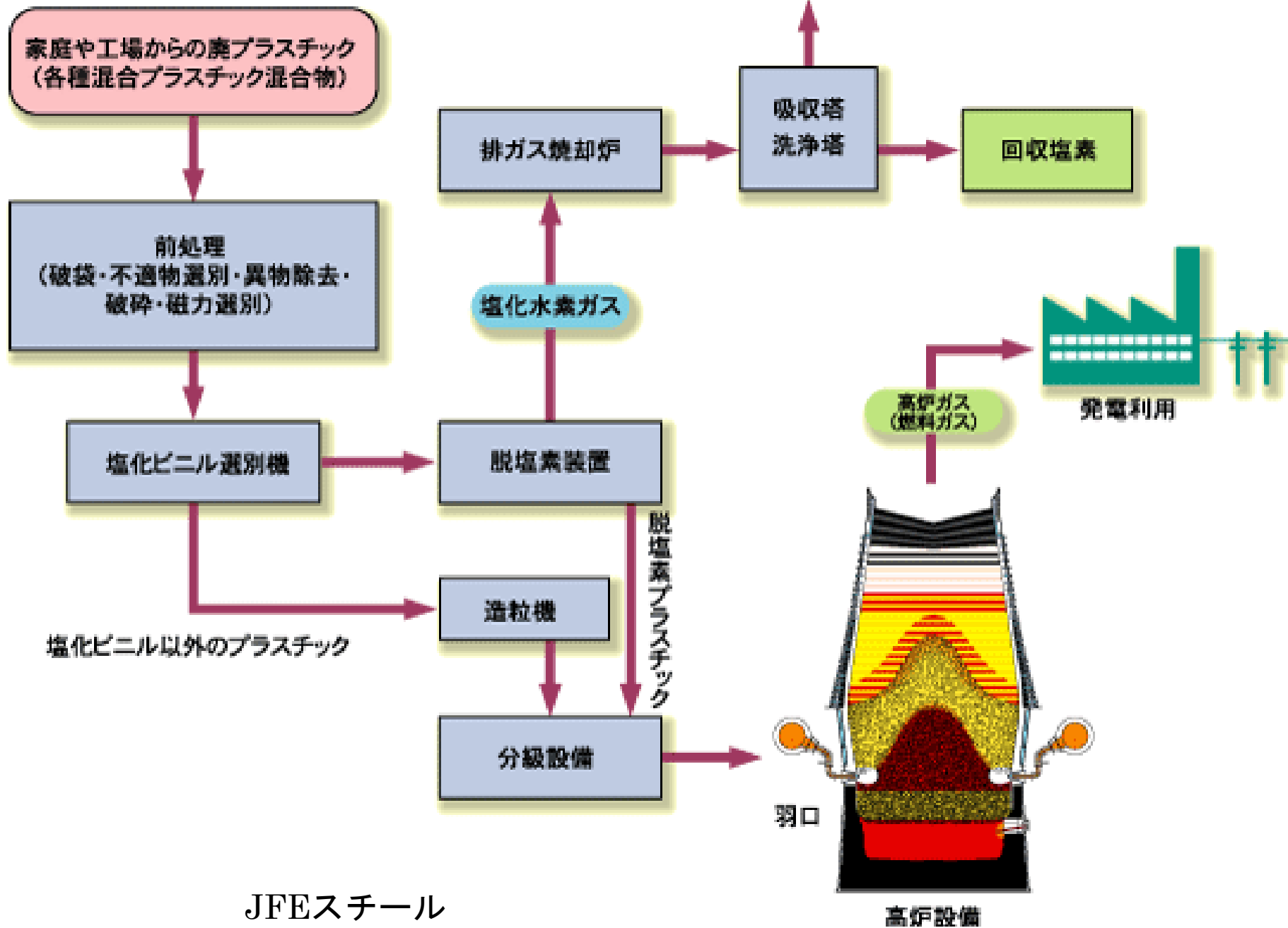
- 課題

- 消費エネルギーと得られる油の熱量
- コスト

- 原理
- 前処理：不純物除去，破碎，減容化
- 脱塩素：廃プラ300～320°Cで加熱溶融
- 熱分解：脱塩素された廃プラ400～500°Cで加熱分解，廃プラ90%がガス化，残りはカーボン（炭化物）
- 分留：熱分解ガスを分留塔で，分留，冷却，低粘度の液状油
- 残渣処理：熱分解槽の底，砂・ガラス・カーボンなど排出，燃料として使用可
- 塩酸回収：塩化水素ガスを水に吸収

# 高炉還元剤利用

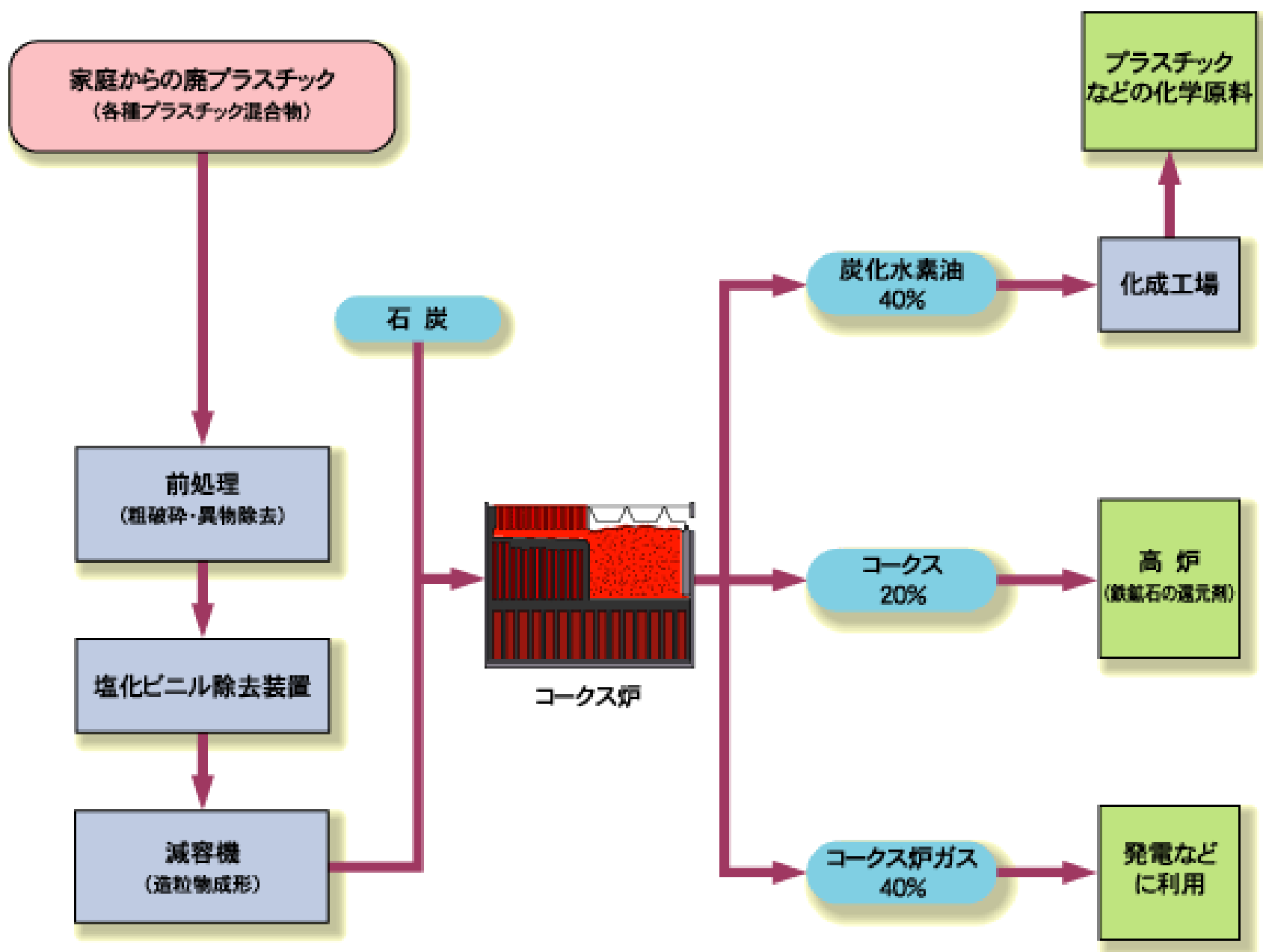
- 鉄鉱石還元用コークス，微粉炭の代替材
- 塩ビを含まないプラスチック
- 熔融造粒機 高速回転刃で切断，摩擦熱で熔融され，粒子
- 粒度調整された廃プラスチックは，高炉の羽口から吹き込み
- $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ の還元ガスとなり鉄鉱石を還元する
- 利用効率 還元利用60%，熱利用20%
- 塩ビも脱塩素化して減量化する場合あり



JFEスチール

# コークス炉化学原料化

- 製鉄所の高炉用コークス炉，石炭の代替物
- 熱分解
- 炭化水素油(40%)
- コークス(20%)
- コークス炉ガス(40%)



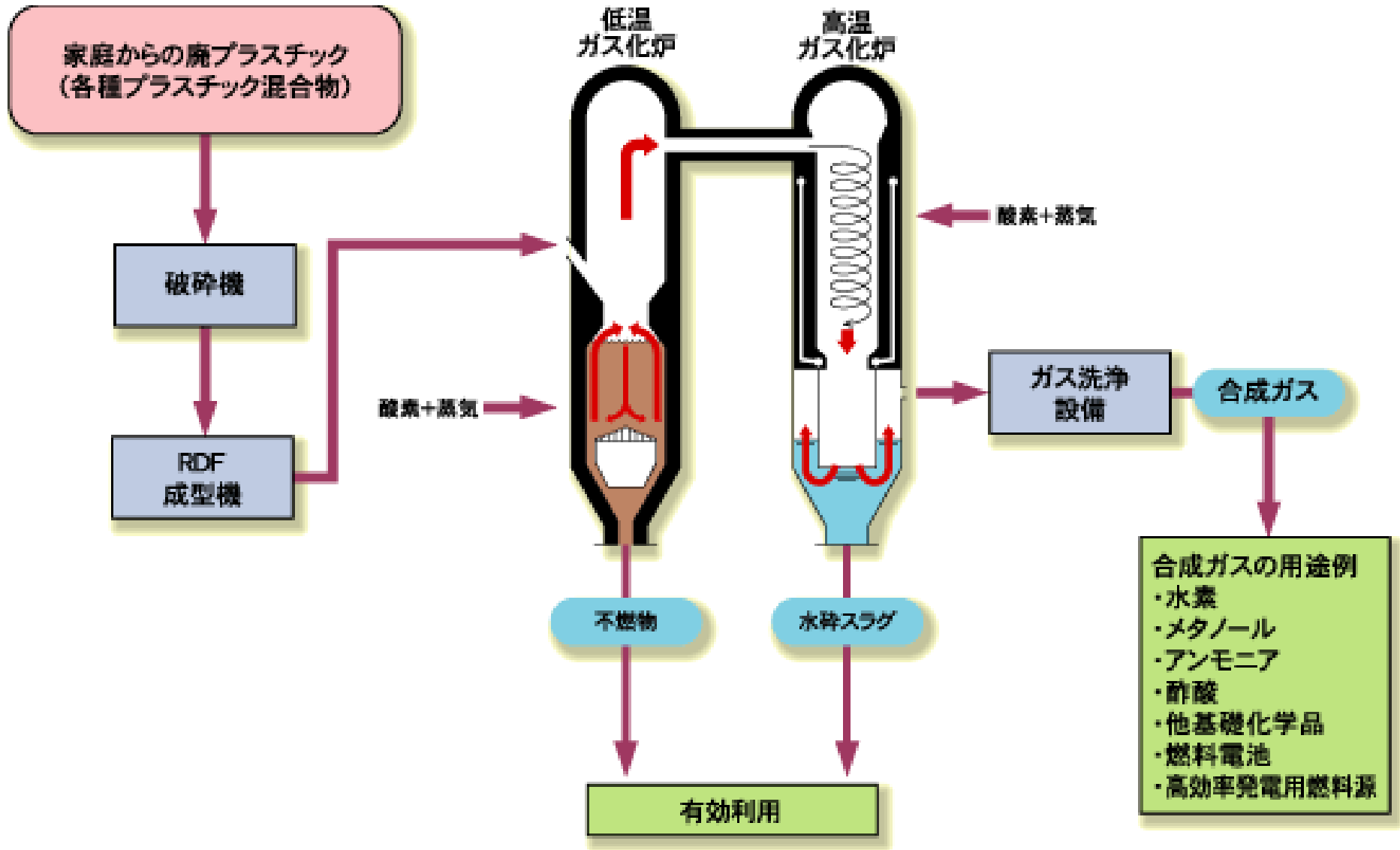
JFEスチール

%:再商品化比率

# ガス化による化学工業原料化

- 廃プラ ガス化 →  $H_2$ ,  $CO$ 
  - ガス化溶融+ガス精製
  - 塩ビ混合可
- 廃プラ 破碎・簡易成形
- 低温ガス化（内部循環型流動床）酸素，蒸気を供給→部分酸化
- 低温ガス化炉で生成された炭化水素， $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ を主成分とするガス → 高温ガス化炉
- 高温ガス化（改質） →  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ガス主成分
- 高温ガス化炉下部 水冷却 → スラグ化，塩化水素除去
- 塩化水素は，塩化アンモニウムとして回収
- 精製ガス $CO+H_2$ →メタノールなど
- $CO$  → 酢酸，ギ酸
- $H_2$  → アンモニア（大気中窒素を利用）





JFEスチール

2021現在：昭和電工で実施 アンモニア製造

# 課題

- 演習（授業内課題：LMS提出）
- プラスチックのリサイクルの種類について簡単に説明してください。