

令和5年度 市民環境大学

日時：2023年11月26日（日） 13:35～15:25

会場：渋川市中央公民館2階講義室

主催：渋川市

無断転載・複製・複写・Web  
上へのアップロード禁止



# プラスチックごみがもたらす環境問題と対策 ～バイオマス・リサイクル・生分解～

群馬大学 大学院理工学府 分子科学部門  
(兼) 群馬大学食健康科学教育研究センター

たちばな ゆや

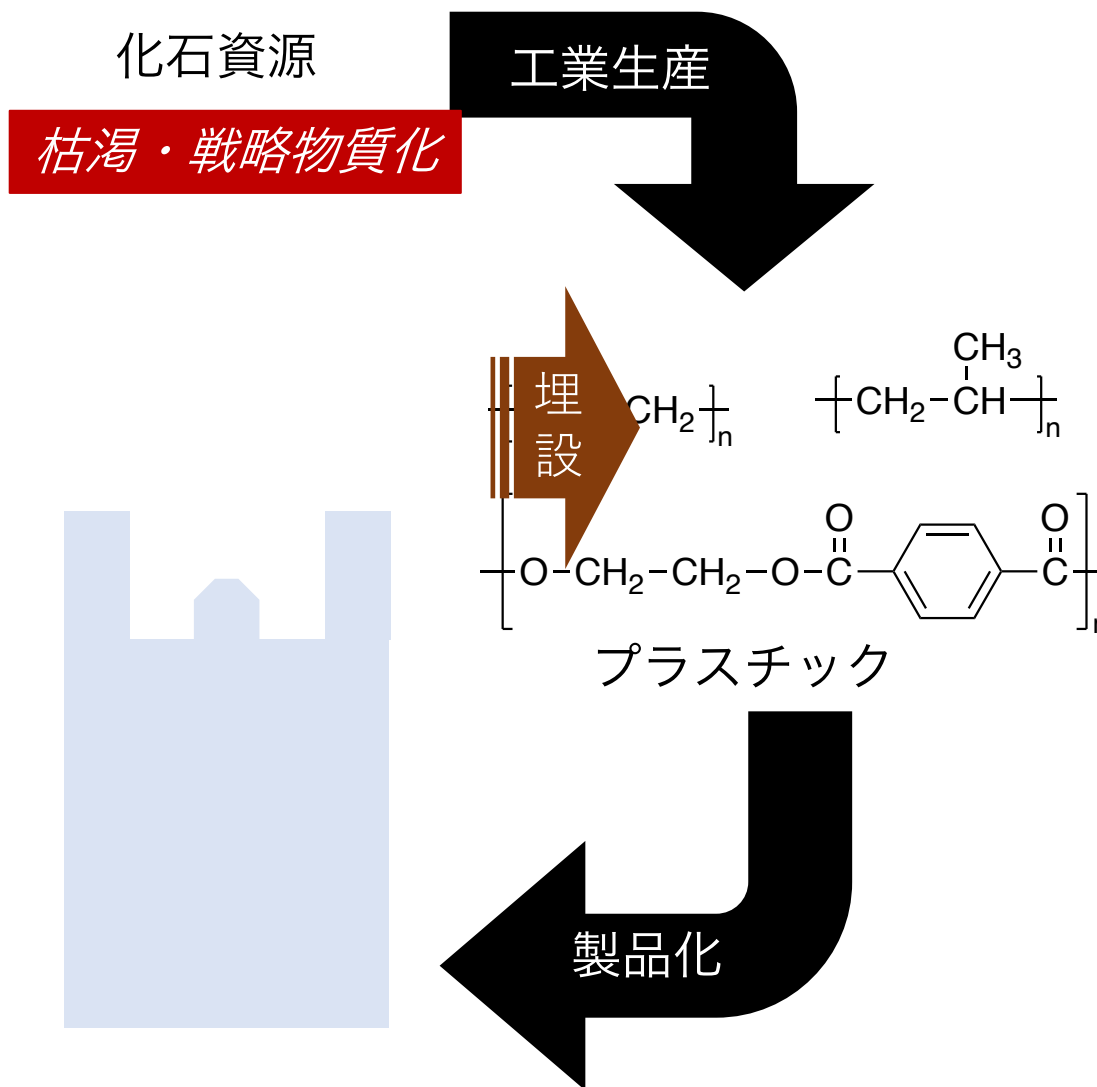
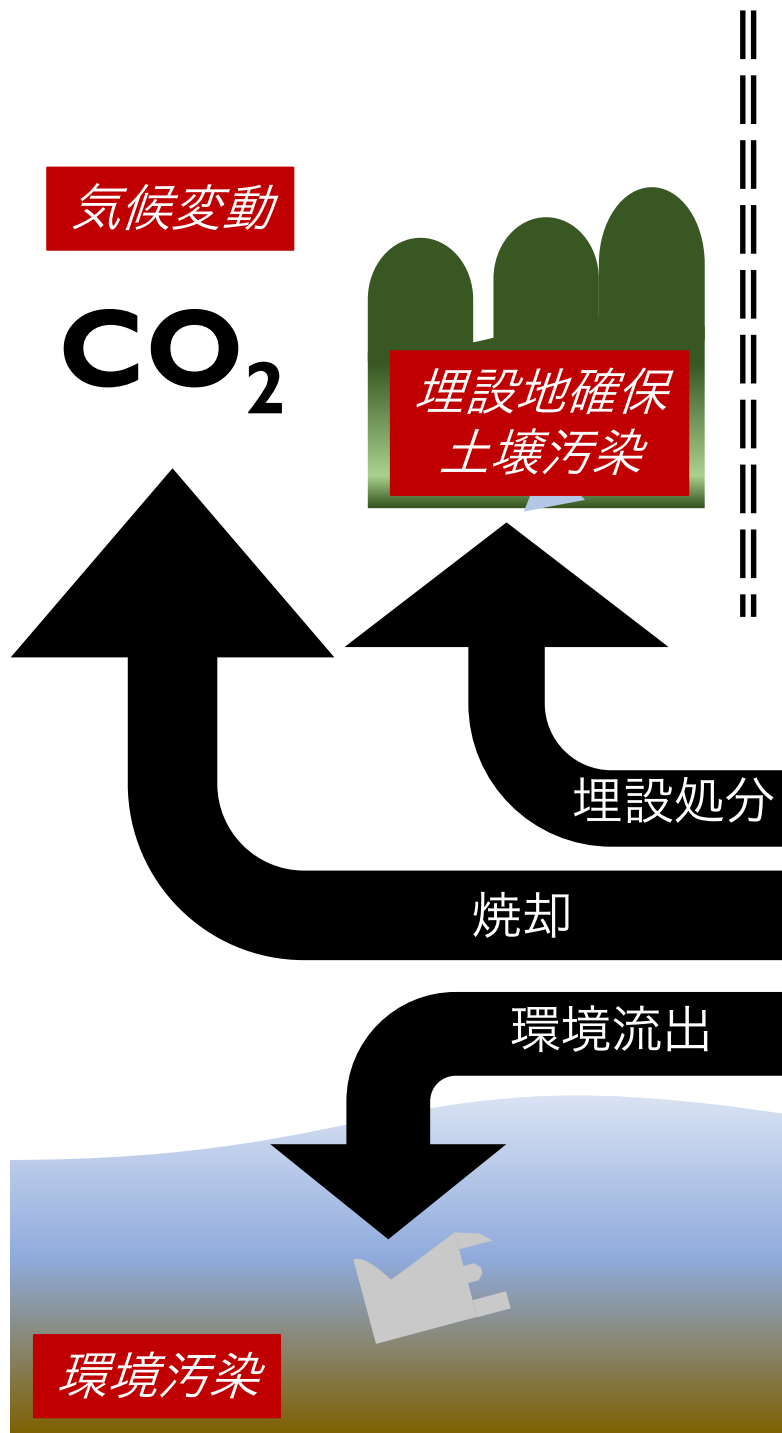
橘 熊野



バイオマス由来プラスチックにつ  
いてはYouTube  
(ChemStation) でも公開中



生分解性プラスチックについて  
はYouTube (NEDO Channel)  
で研究成果を公開中



# STOP PLASTICS!

# NO PLASTICS!

プラスチックを使わない

# まずすべきこと

## 一人一人のモラルの向上

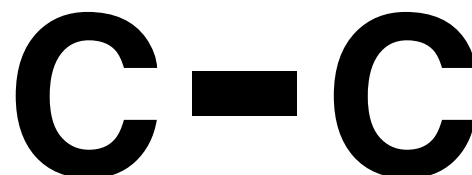
## 科学技術による解決策3本柱

- バイオマス
- 生分解性
- リサイクル

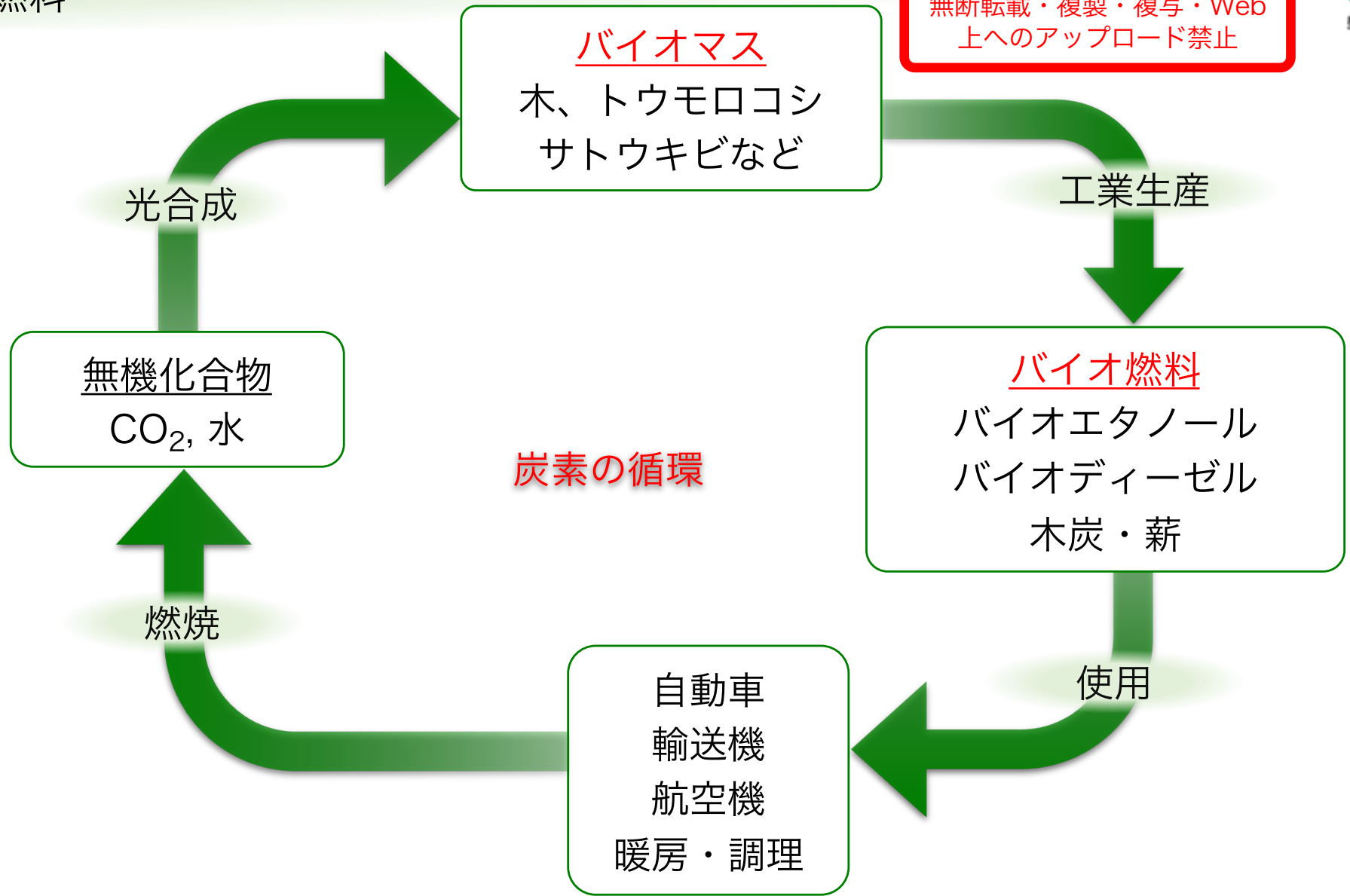
化石資源を使わずに、プラスチックを作るには？



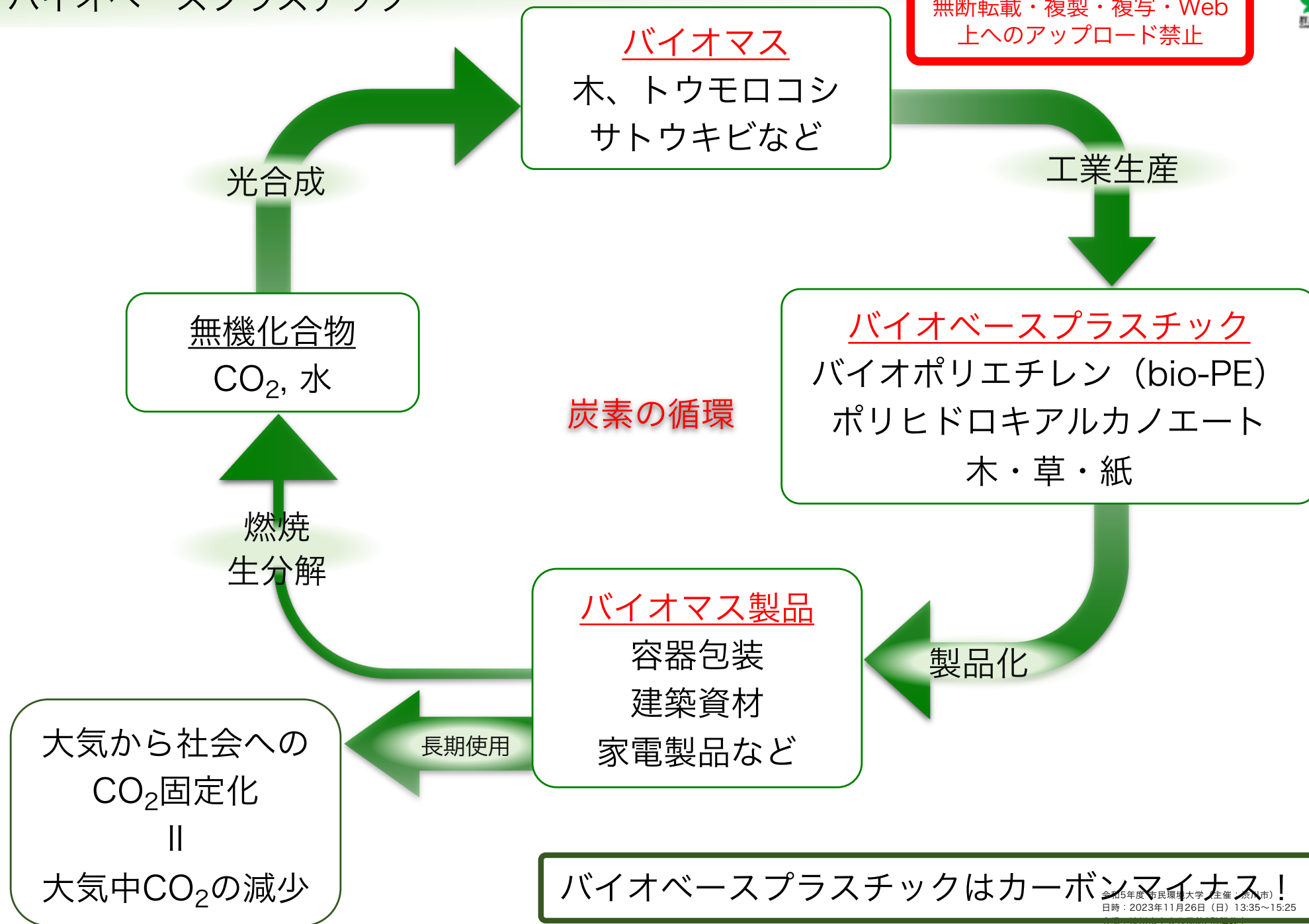
炭素-炭素結合形成がされている有機化合物を使用する



そうだ！  
バイオマス資源を使おう



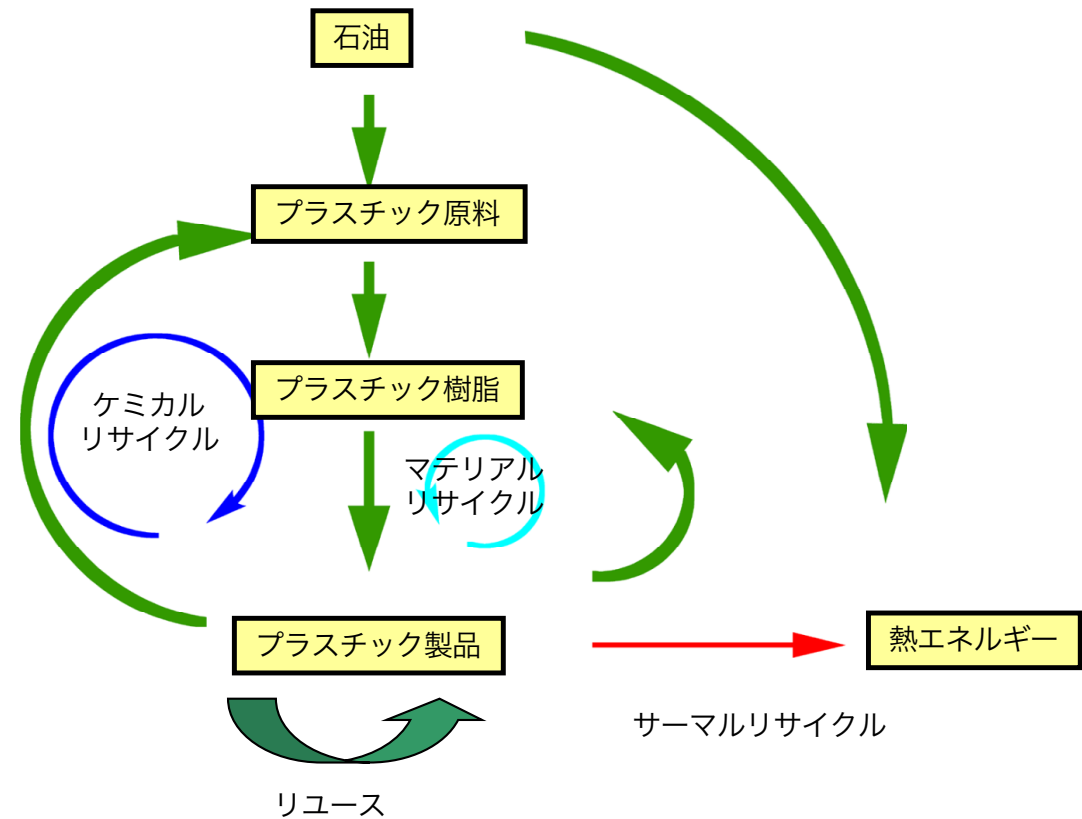
バイオ燃料はカーボンニュートラル！

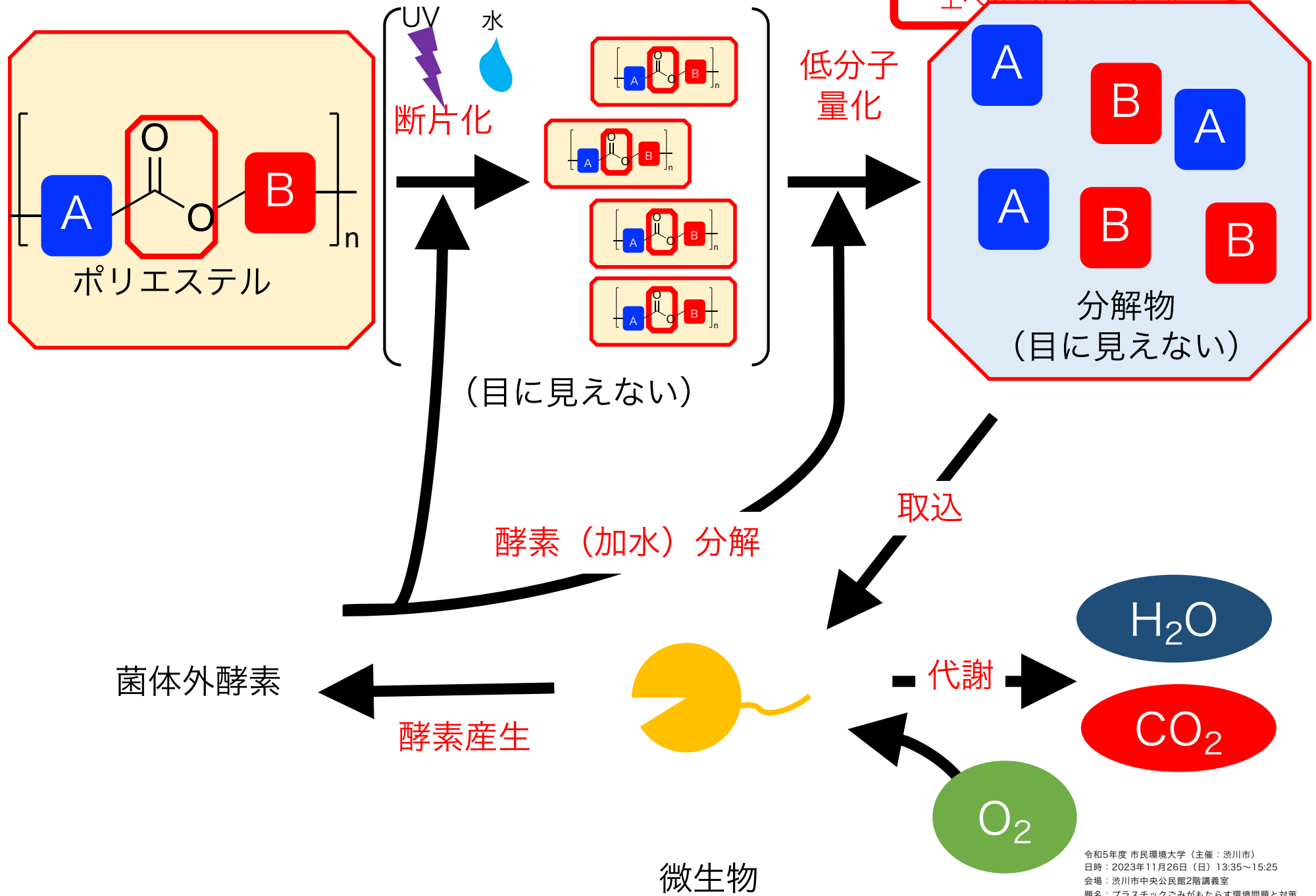




- ・リデュース (不要な使用の削減、修理などによる製品寿命の延長)
- ・リユース (繰り返し使用する)
- ・リサイクル (再資源化する)

- サーマルリサイクル  
(熱に替えて、資源化)
- ケミカルリサイクル  
(化学的に材料に戻す)
- マテリアルリサイクル  
(再度溶かして製品へ)





- **分解場所** : 自然環境 (土壌、河川、海洋)
- **分解機構** : 1. 酵素によって低分子に分解。2. 微生物に吸収。3. 代謝され無機物 (二酸化炭素、水、メタンなど) として排出。
- **安全性** : 分解物は環境に安全
- **用途** : 汎用材料代替

## In compost : コンポスト分解

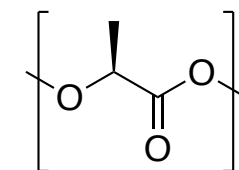
- **分解場所** : コンポスト中 (農業コンポスト、家庭用コンポスト)
- **分解機構** : 1. 高温・多種多様な微生物環境下で、酵素によって低分子に分解。2. 多種多様な微生物に吸収。3. 代謝され無機物 (二酸化炭素、水、メタンなど) として排出。
- **安全性** : 分解物は環境に安全
- **用途** : 汎用材料代替
  - 農業利用・・・農業残渣と一緒にコンポスト化
  - 食品容器・・・食品残渣と一緒にコンポスト化

- **コンポスト中は分解しやすい環境**
- 「コンポスト中で分解する」 = 「環境中で分解する」ではない。

トウモロコシから生産していますが  
自然環境中での生分解は非常に遅い  
コンポスト中での生分解は速い

ポリ乳酸を自然環境分解可能と言うのは適切ではない

開環重合



ポリ (L-乳酸)  
PLLA



バイオベースプラスチックは  
すでに身の回りで使われている  
リサイクルは進んでいる  
生分解性プラスチックも売っている



もう、プラスチックの環境問題対策研究  
いらないんじゃない？

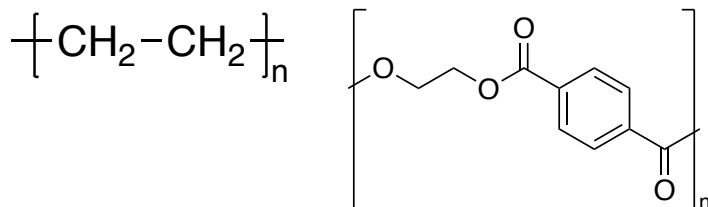
## どのバイオマスを使うか

可食バイオマスと食糧との競合

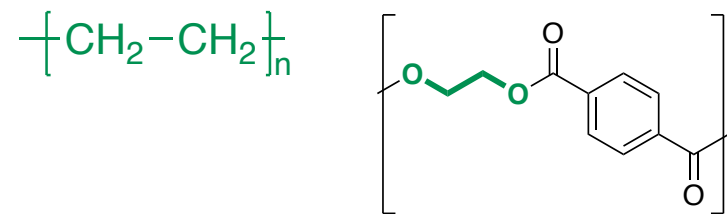


非可食バイオマスへ

## 化石資源由来プラスチックとの価格競争



化石資源由来プラスチック



バイオマス由来プラスチック

- 低コストでの生産方法の開発
- バイオマス独自の機能付与



触媒開発など  
新規構造の材料開発など

## マテリアルリサイクル

- 製品は複数のプラスチックや添加剤で複合化しており、単一材料としてリサイクルが困難
- プラスチックの使用/リサイクル中の劣化・分解のため、物性低下が不可避



- プラスチック/添加剤の分離方法開発
- リサイクルプロセスの改善
- カスケード利用方法の開発 など

## ケミカルリサイクル

- 既存プラスチックは耐久性・安定性が高い = 結合切断にはエネルギーが必要



- 新規分解手法（触媒・反応条件）の開発
- リサイクルを容易にする分子構造の導入 など



## マクロプラスチック

- 最終的にどうなるのか？
- 環境への悪影響は実際はどの程度あるのか？
- すでに流出したプラスチックは回収できるのか？

## マイクロプラスチック

- どれぐらいの量が存在するのか？
- 最終的にどうなるのか？
- 環境・生態系への悪影響は実際はどの程度あるのか？
- すでに流出したマイクロプラスチックは回収できるのか？

## 生分解性プラスチックの物性

- 市販生分解性プラスチックでは汎用樹脂（PE、PP、PVC、PSt、PET、PC、PA、エポキシ樹脂、不飽和ポリエステル樹脂など）の物性を全て代替できない。

- 市販生分解性プラスチックの改質
- 新規生分解性プラスチックの合成 など

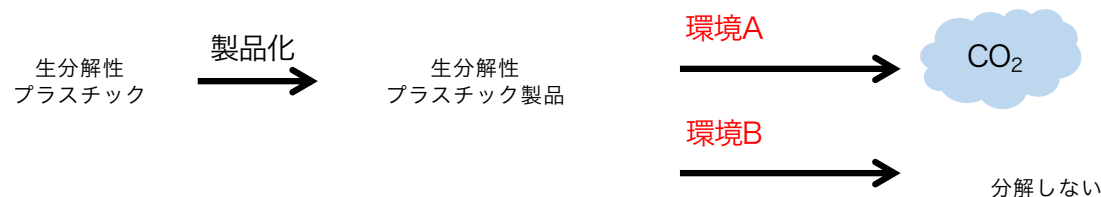
PET  
ボトル

≠

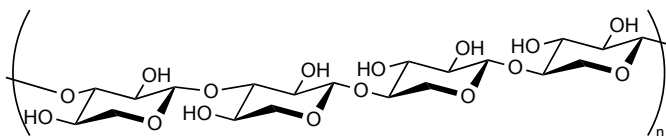
PLA  
ボトル

## 生分解性プラスチックの分解性

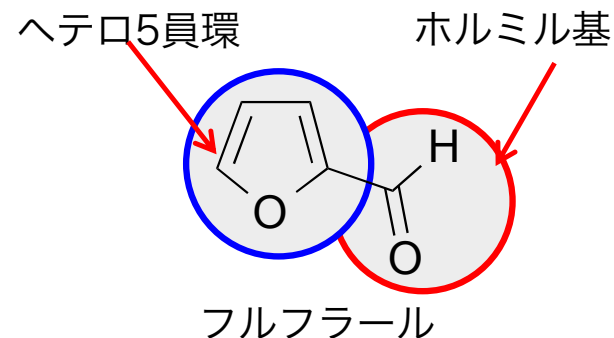
- 市販生分解性プラスチックは、環境中どこでもすぐに分解するわけではない。流出環境の依存性が高い。環境流出しても数ヶ月～数年かかることもある。



- 生分解性の環境依存性要因の解明
- 生分解性促進・制御手法の開発 など



(非可食バイオマス)  
ヘミセルロース



20世紀中盤以降、化成品の原料としての地位はフルフラールから石油へ

原材料 : トウモロコシの芯、サトウキビ搾りかす、パルプ廃液など

生産国 : 中国、タイ、南アフリカ、アメリカ、欧州など

生産量 : 50~100万トン/年                      価格 : 1~2ドル/Kg

利用用途 : 熱硬化性樹脂 (金属鑄造の鑄型バインダー) (約95 %)    その他 : 食品に含有

1. 橘熊野, 林千里, 粕谷健一. 日本接着学会誌., 2017, 53, 276-282.  
2. P. Pal, S. Saravanamurugan, ChemSusChem 2019, 12, 145-163

## フルフラールのみからのテレフタル酸合成

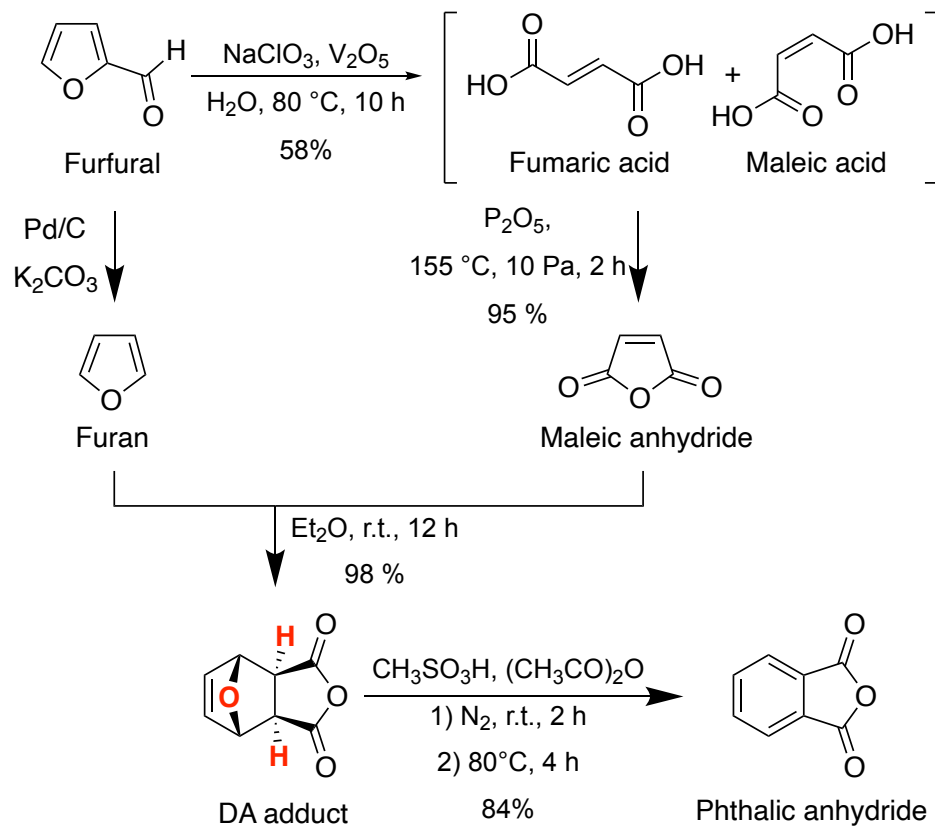
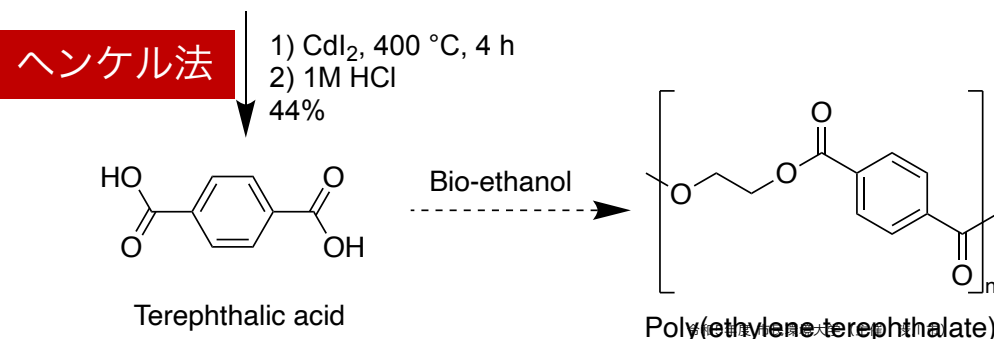


Table 1. Biobased carbon contents of furfural derived compound

Compounds	Theoretical biobased carbon content /%	Measured biobased carbon content /%
Furfural	100	99.2
Furan	100	99.9
Terephthalic acid	100	98.7

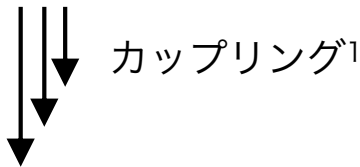
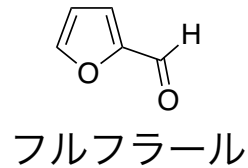


完全バイオマス由来PETへ

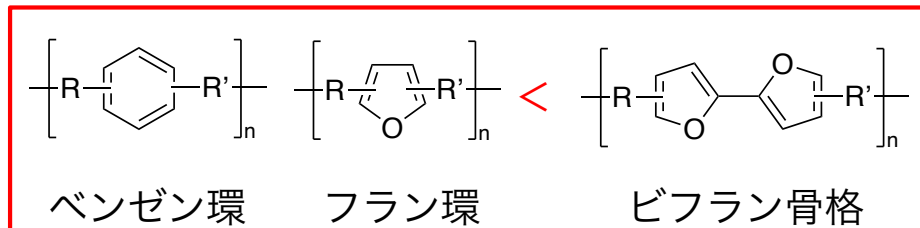
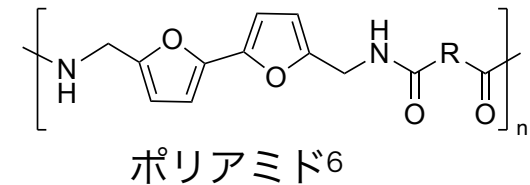
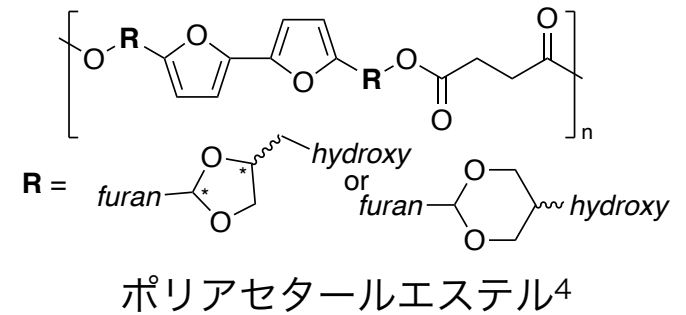
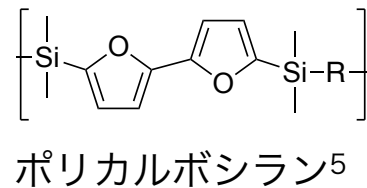
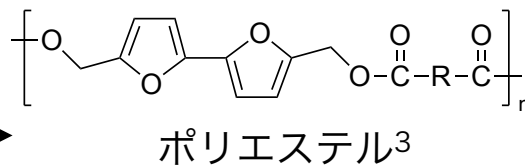
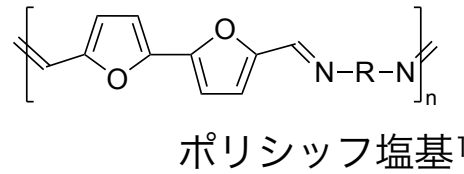
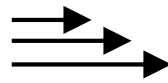
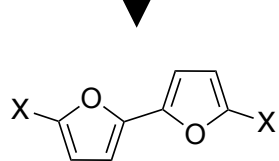
1) Y. Tachibana, S. Kimura, K. Kasuya, Sci. Rep. 2015, 5, 8249.

# 機能性高分子の開発～ビフラン骨格の利用～

無断転載・複製・複写・Web  
上へのアップロード禁止



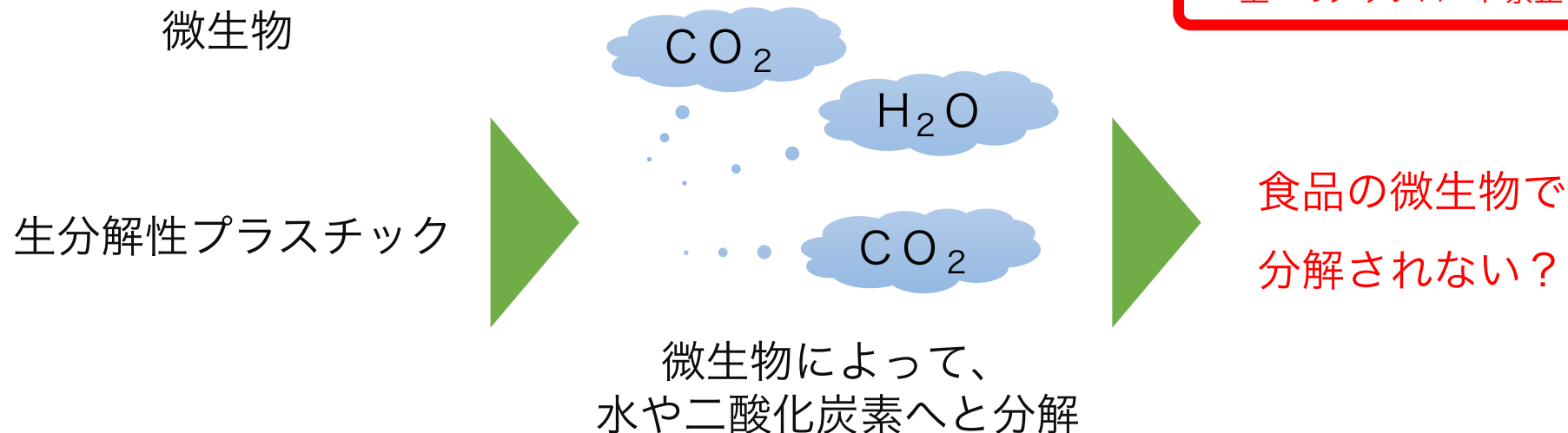
ビフラン骨格含有モノマー



- 1) 特許7168161号, 橘熊野, 和佐野達也, 粕谷健一: 国立大学法人群馬大学
- 2) Yuya Tachibana, Senri Hayashi, Ken-ichi Kasuya, *ACS Omega*, **5**, 5336-5345 (2018).
- 3) Senri Hayashi, Azumi Narita, Tatsuya Wasano, Yuya Tachibana, Ken-ichi Kasuya, *Eur. Polym. J.*, **121**, 109333 (2019).
- 4) Senri Hayashi, Yuya Tachibana, Naoto Tabata, Ken-ichi Kasuya, *Eur. Polym. J.*, **145**, 110242 (2021).
- 5) Shunsuke Beppu, Yuya Tachibana, Ken-ichi Kasuya, *ACS Macro Lett.*, **12**, 536-542 (2023).
- 6) Kota Arai, Toyokazu Tsutsuba, Tatsuya Wasano, Yuka Hirose, Yuya Tachibana, et al., *ACS Appl. Polym. Mater.*, **5**, 3866-3874 (2023).

令和5年度 市民環境大学 (主催: 渋川市)  
日時: 2023年11月26日 (日) 13:35~15:25  
会場: 渋川市中央公民館2階講義室  
題名: プラスチックごみもたらす環境問題と対策  
～バイオマス・リサイクル・生分解～

# 市販生分解性プラスチックは何にでも使える？



特定のチーズの中に生分解性プラスチック (P3HB) を分解する微生物が存在

発酵食品の容器包装に生分解性材料を利用するには注意が必要

- 1) Tachibana, Y., et al., Polym. Degrad. Stab, 2019, 160, 264-272
- 2) Tachibana, Y.; et al., J. Polym. Res., 2017, 24, 159.

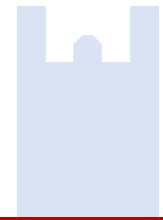
# 理想的な生分解性プラスチックに向けた 生分解性制御技術の開発

## 外部刺激応答性の生分解性プラスチックへの展開



## 理想的な生分解性プラスチック

使用中



耐久材料

環境流出

いかなるところでも、  
速やかに・・・

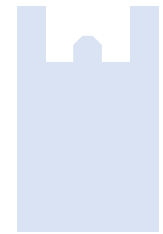
生分解

分解後



## 刺激応答性生分解性プラスチック

使用中



耐久材料

外部刺激

特性・構造変換

使用後



易分解材料

生分解

分解後

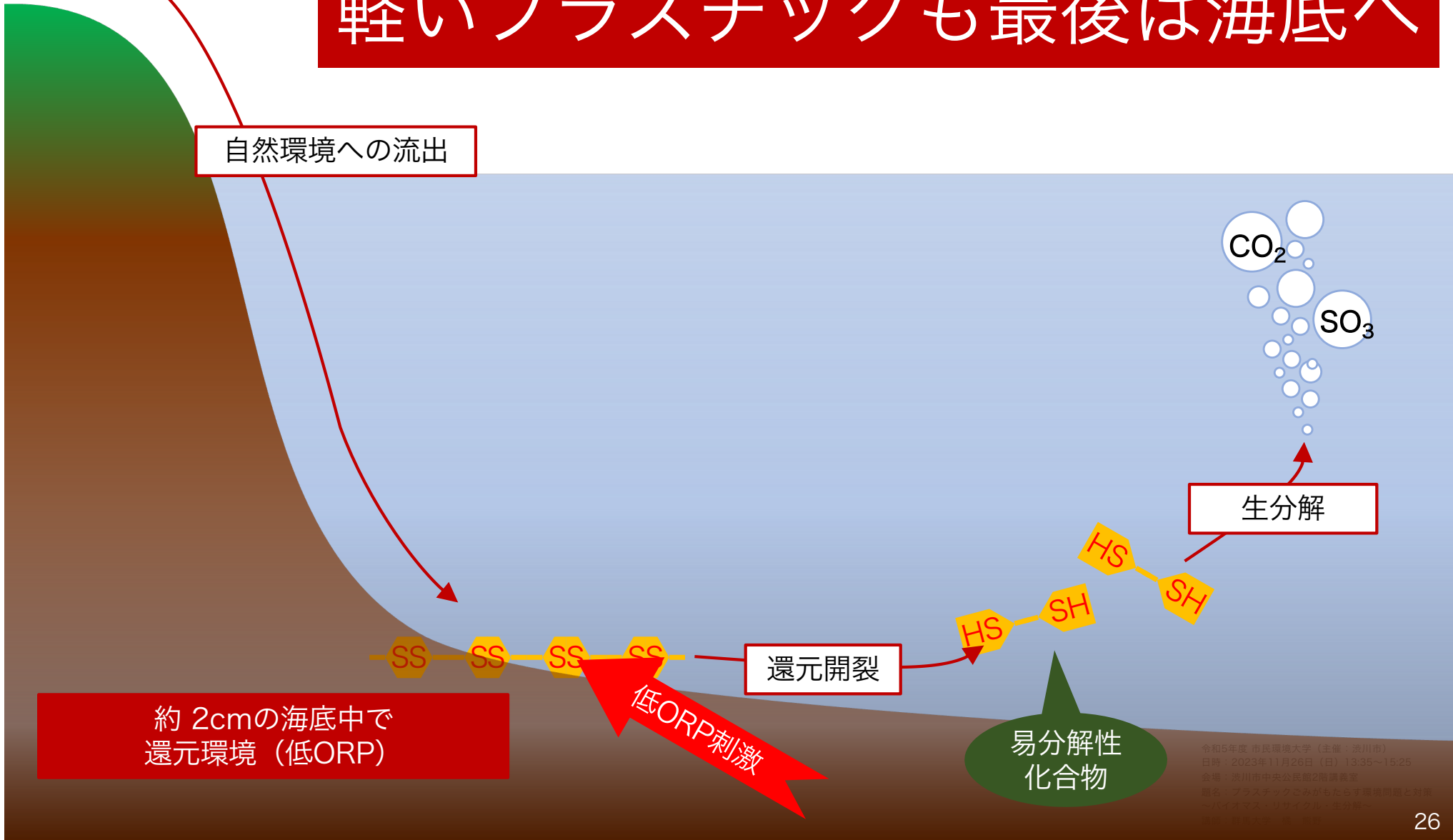


非分解性



# 軽いプラスチックも最後は海底へ

自然環境への流出



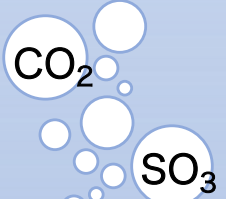
約2cmの海底中で還元環境（低ORP）

還元開裂

低ORP刺激

易分解性化合物

生分解



生分解性プラスチックの分解に地域・場所依存性がある原因は？

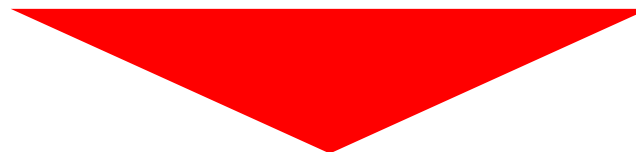


その場所に、  
分解する微生物がないから  
分解する微生物が少ないから

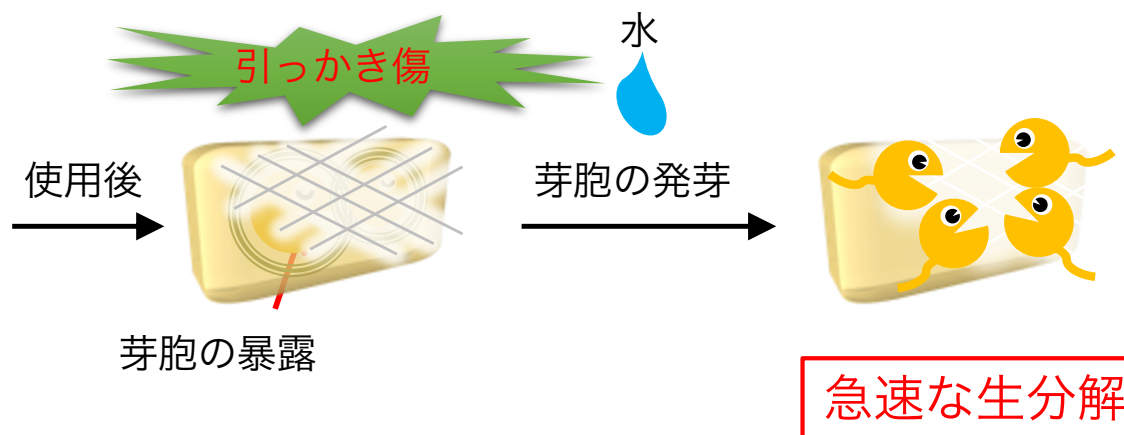
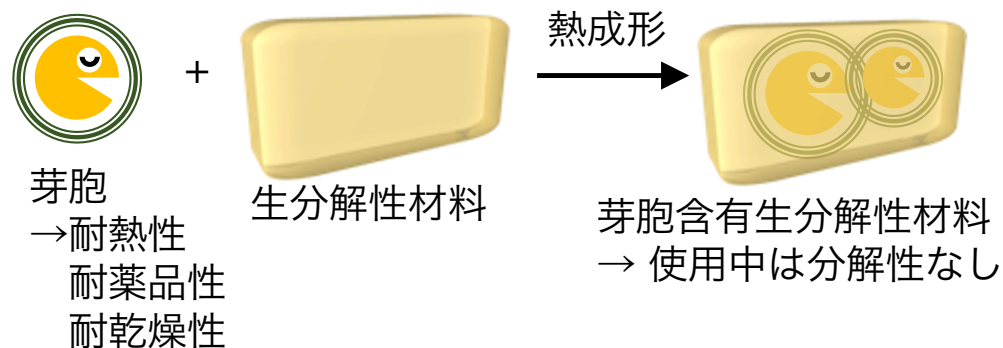


## 解決策

微生物を増やす . . . 海を汚くする？  
微生物（酵素）を撒く . . . 廃棄物処理には使えるが、環境分解に不適



環境流出時に都合よく分解微生物を増やす



## 複合化されたPETの流通

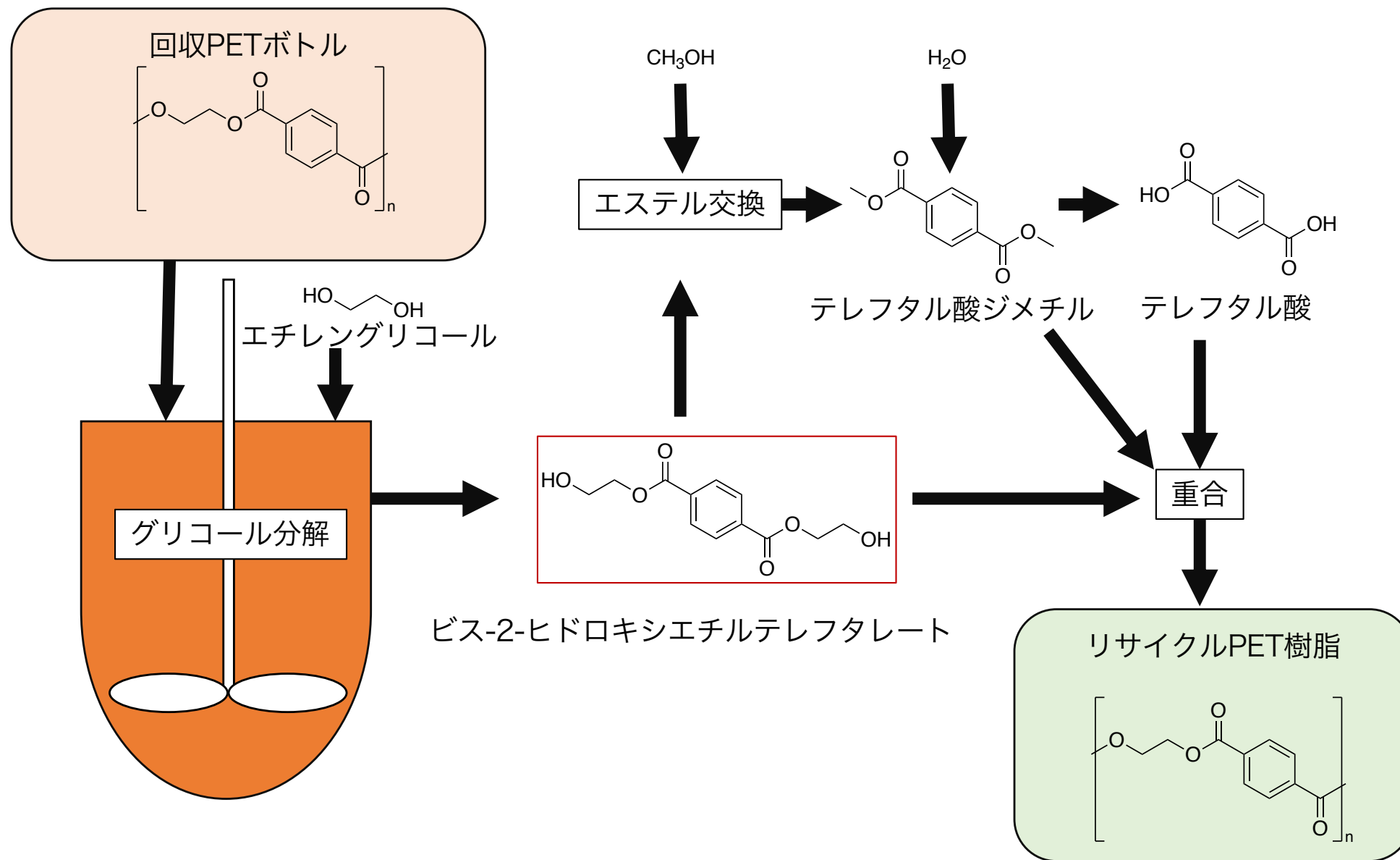
- 耐熱性やガスバリア性付与のために、PET樹脂以外も含まれている。
- 既存の技術で工業的には分離不可能
- リサイクルPETに混合で元のPETとは異なる性質（品質低下）

## PETの劣化

- 使用中の分解と再生過程（熱溶融）における分解
- 未使用PETよりも分子量低下により元のPETとは異なる性質（品質の低下）

## 異物の混入

- 内容していた飲料・食品の混入
- キャップ（ポリプロピレン）の混入
- 着色や品質の低下・衛生面の問題



令和5年度 市民環境大学 (主催: 渋川市)

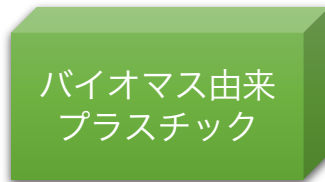
ケミカルリサイクルではモノマーに変換時点で精製され、元の分子量のPETに再生

無断転載・複製・複写・Web  
上のアップロード禁止

### バイオマス由来プラスチック

= Biomass plastic  
= Bio-based plastic

バイオマス資源



バイオマスから合成したプラスチック  
= 原料の定義

### 生分解性プラスチック

= Biodegradable plastic



微生物分解

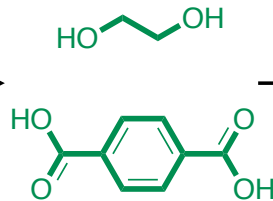
CO<sub>2</sub>  
H<sub>2</sub>O  
無機物

生物的作用によって、無機物にまで分解  
= プラスチックの性質の定義

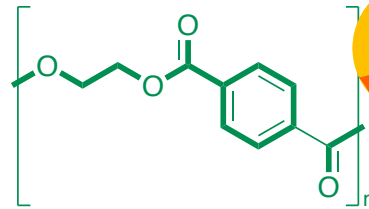
**違う概念です**

### 講演で必ず出る質問

バイオマス資源



バイオマス由来モノマー



バイオマス由来PET



バイオマスから合成しても  
PETはPETなので、  
生分解しません

Biodegradable plastic (生分解性プラスチック)

Bio-plastic (バイオプラスチック)

Bio-based plastic (バイオベースプラスチック)

Biomass-based plastic (バイオマス由来プラスチック)

## Bio-plastic (バイオプラスチック)

Bio-based plastic

(バイオベースプラスチック)

Biomass-based plastic

(バイオマス由来プラスチック)

Biodegradable plastic

(生分解性プラスチック)