

# 炭素循環型のバイオプラスチック バイオプラスチック研究のこれまで、そしてこれから

土肥 義治 東京工業大学、理化学研究所

#### 生体高分子と合成高分子

IUPAC ISO terminology

生体高分子 (生物由来)

ポリヌクレ ポリペプチド オチド 多糖

ポリイソプ レノイド ポリヒドロキ シアルカン酸 リグニン

遣

遺伝子 タンパク質 ポリアミノ酸

天然ゴム

ポリエステル

合成高分子 (20世紀より) ポリアミド ポリエーテル ポリイソプレン

ポリエステル

熱硬化性樹脂

合成ゴム

汎用高分子

ポリ(エチレン), ポリ(プロピレン), ポリ(塩化ビニル), ポリ(スチレン), ポリ(スチレン-co-アクリロニトリル), ポリ(エチレンテレフタル酸) (PET), ナイロン (ポリアミド), フェノール-ホルムアルデヒド樹脂, ポリ(スチレン-co-ブタジエン) (SBR), ポリ(エチレン-co-プロピレン) (EPR), ポリウレタン, アセチル化セルロース, ポリ(アクリル酸)

生分解性高分子

脂肪族ポリエステル (PLA, PHA, PCL, Bionolle, ……), 脂肪族-芳香族ポリエステル,ポリ(エステル-アミド),ポリ(エステル-カーボネート),ポリ(エステル-ウレタン),ポリ(ビニルアルコール) (PVA),ポリ(エチレングリコール) (PEG),低分子量ナイロン,低分子量ポリエチレン,デンプン系-ポリマーブレンド,アセチル化セルロース,ポリ(アスパラギン酸),ポリ(グルタミン酸)

Polymer (Plastic)

Biopolymer (Bioplastic)

Biodegradable polymer

Biobased polymer

### 生分解性高分子とバイオベース高分子

<u>バイオマス資源由来</u> バイオベース高分子 (バイオマスプラスチック)

Biobased polymer (Biomass plastic)

<u>化石資源由来</u> 石油プラスチック (年産3.5億トン)

生分解する 生分解性高分子 ポリ乳酸 デンプン系 微生物産生系(PHA) 脂肪族ポリエステル 脂肪族芳香族 ポリエステル

生分解しない

PE, PTT, PET 大豆ポリオールウレタン 汎用樹脂 PE, PP, PS, PVC, PET

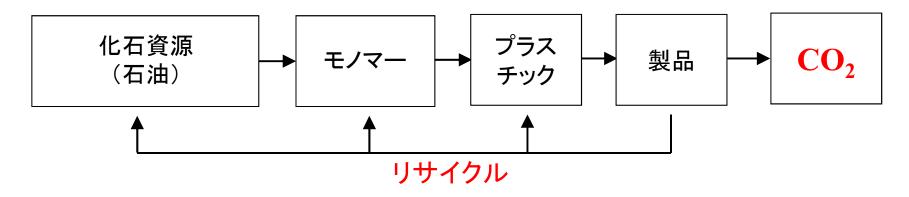
### 生分解性プラスチックの期待される用途

分野		用	途
自然環境中で利用される分野	農林水産用資材	多目的フィルム、農	薬・肥料用の徐放性被覆剤、
		移植用苗ポット、釣	り糸、漁網、ノリ網など
	土木・建設用資材	荒れ地、砂漠の緑化	用保水素材、工事用の保水シート、
		土のう、植生ネット	など
	野外レジャー製品	ゴルフ、釣り、マリ	ンスポーツなどの使い捨て製品
	水処理用資材	沈殿剤、分散剤、洗	剤
	食品容器包装用	食品包装フィルム、	飲食用パックの内部コーティング、
有機廃棄物のコンポスト化に		生鮮食品のトレー、	ファーストフードの容器、
有用な分野		弁当箱など	
	衛生用品	紙オムツ、生理用品	など
	日用品、雑貨類	ゴミ袋、コップなど	

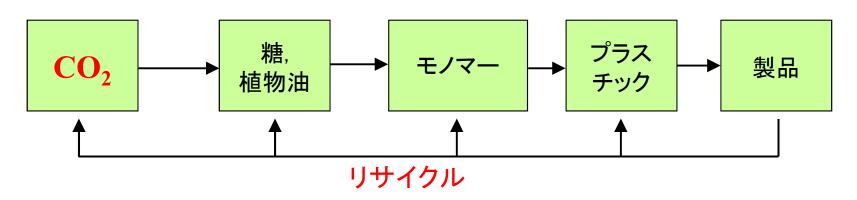
地球環境保全のために全プラスチック製品(年産3.5億トン)の30%程度を生分解性プラスチック製品に置き換えることが期待される

#### 持続可能なプラスチック生産・再利用システムの確立

1. 石油プラスチック(3.5億トン/年)



2. バイオプラスチック(将来1億トン/年の市場)



## バイオポリエステル研究の流れ

ポリエステル生合成系 進化分子工学による 微生物生産プロセス 再生可能な 資源と製品 酵素遺伝子の取得と解析 生合成系酵素の改質 の開発と評価 新規ポリエステル 遺伝子導入 糖類 有用酵素遺伝子 Bioreactor 生合成微生物 植物油 の創造的進化 遺伝子 取得解析 ポリエステル 高性能バイオ ポリエステル 酵素タンパク質の プラスチック の分離・精製 生合成系遺伝子 構造解析と機能評価 WWWWWWWWW

Doi Lab. PHA研究(1984-2013)東工大·理研

#### 微生物を用いて生産される共重合ポリエステルの構造と物性

炭素源

分子構造

物性

糖+プロピオン酸ペンタン酸

ICI (1981)

糖 + 1,4-ブタンジオール γ-ブチロラクトン

Y. Doi (1987)

植物油

Kaneka (1991)

3HV (20モル%)

融 点 (145°C)

破壊強度 (20MPa)

破壊伸び (50%)

4HB (16モル%)

融 点 (150°C)

破壊強度 (26MPa)

破壊伸び (440%)

3HH (6**モル**%)

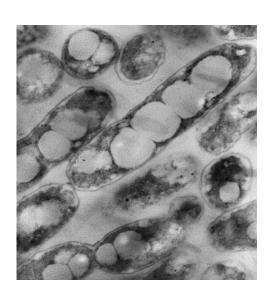
融 点 (135°C)

破壊強度 (31MPa)

破壊伸び (220%)

# バイオプラスチック研究の進展

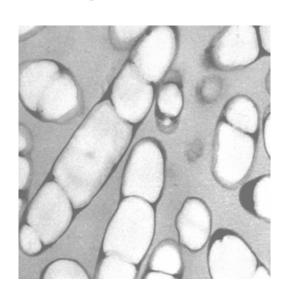
# 第一世代



**天然微生物** Kaneka (1991)

高性能な バイオプラスチック

### 第二世代



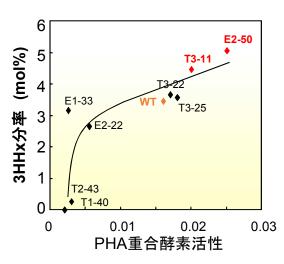
遺伝子組み換え微生物

Fukui & Doi (1997)

<遺伝子工学>

生産性の向上

### 第三世代



#### 酵素改質

Taguchi & Doi (2002)

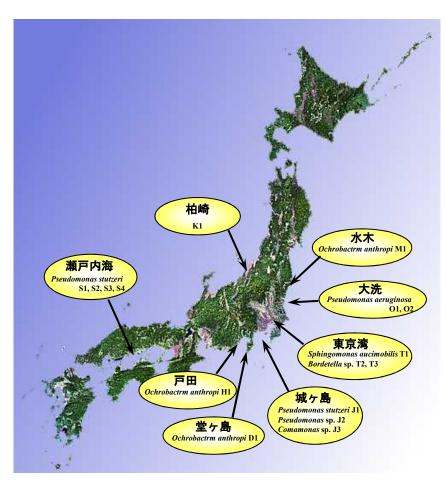
くタンパク質工学>
<進化工学>

共重合組成制御 分子量制御

# PHBH用途例

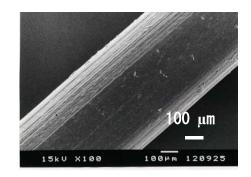


### P(3HB)分解海洋微生物の単離とP(3HB)繊維の微生物分解

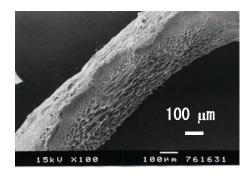


P(3HB) 分解海洋微生物の分布

0 day



21 days (海水中)



微生物分解における繊維の形態 変化

Doi Lab. (1990-1997)

#### バイオプラスチック生産システムの新展開

1. ポリ乳酸 (3ステップ生産法) (1994年実用化)

$$CO_2 + H_2O$$
 横 機生物 化学合成 光リ乳酸 大陽光 発酵 触媒 ポリ乳酸

2. ポリエステルPHBH (2ステップ生産法)

(2011年実用化)

3. ポリエステルPHA (1ステップ生産法) (次世代)

#### バイオマスエンジニアリング研究が目指すグリーンイノベーション

