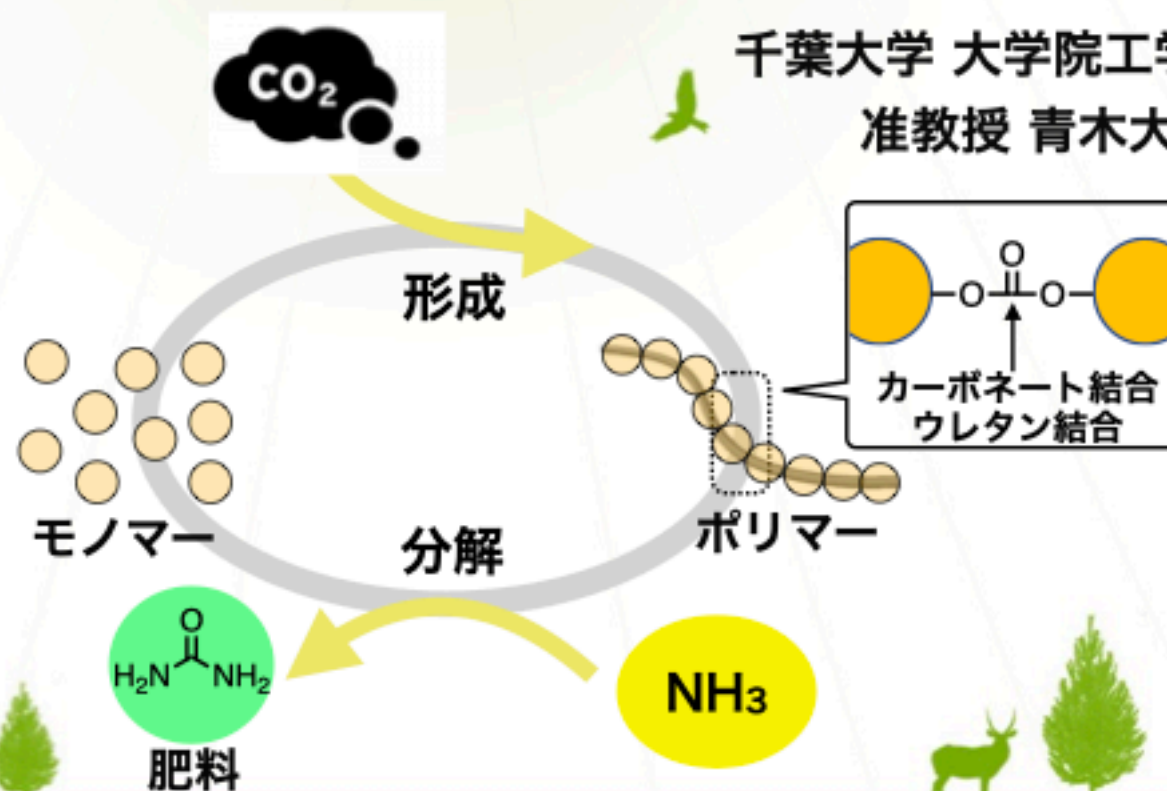


ポリカーボネート、ポリウレタンのケミカルリサイクル

千葉大学 大学院工学研究院
准教授 青木大輔

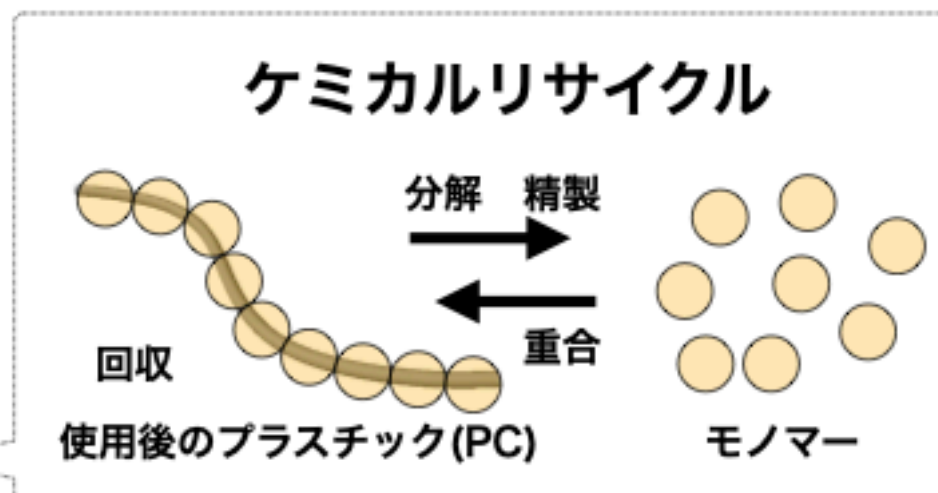
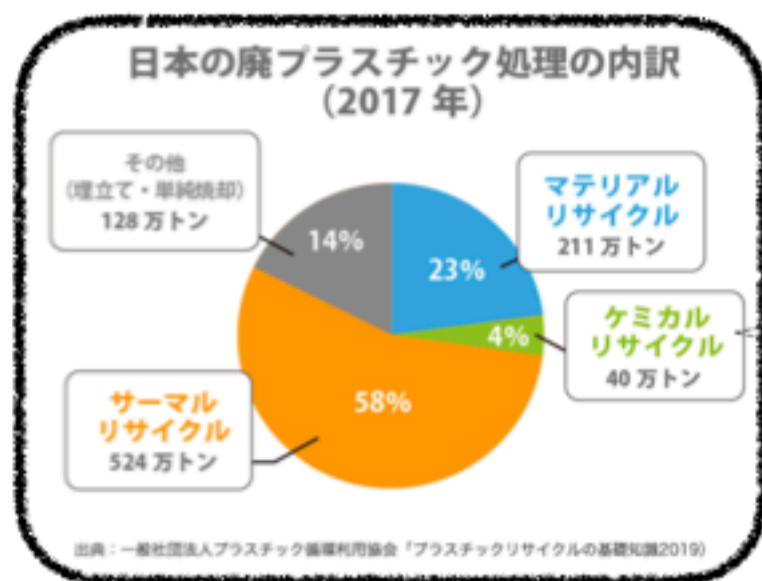


カーボネート結合、ウレタン結合の効率的な「形成・分解」をキーワードとし、
プラスチックを肥料に変換するリサイクルシステムを構築する

研究の背景・目的

解決すべき課題：高分子(プラスチック)のリサイクル

日常生活に欠かせないプラスチックは、現在70%以上が廃棄されている。持続可能な循環型社会の実現が急務である一方で、プラスチックのリサイクル率は10%以下に留まっている。



循環システムへの移行を促進する国際団体がまとめたレポート
GAIA report: 'All talk and no recycling'
Global Initiative for Incinerator Alternatives (GIAI) report investigates chemical recycling projects in the US; advocates against
 none are successfully recovering plastic to produce new plastic.
 エンジニアプラスチックのようなタフな高分子のケミカルリサイクルはない (効率を考慮)

地球環境の保全とプラスチック利用を両立させる革新的なリサイクルシステムの開発が望まれている

研究の背景・目的

解決手段

廃棄プラスチックからケミカルリサイクルで肥料を作る

廃棄問題



大量にある廃棄プラスチック

写真引用 プラスチックゴミの問題解決を責務でなくグローバルな機会に から
by Zoé Bezpalko
<https://redshift.autodesk.co.jp/plastic-problem/>

変換



食料問題の解決



これからますます重要になる肥料

写真引用 文／ 3 and garden から
<https://gardenstory.jp/gardening/2870>

環境問題

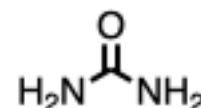
人口問題の解決

CO₂削減

プラスチックから肥料を作る



カーボネート結合がアンモニアと
反応して尿素へと変換可能



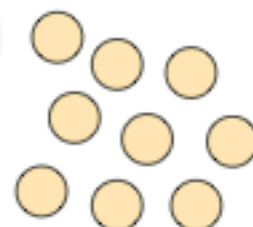
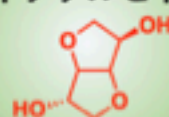
尿素



アルコール



イソソルビド



モノマー

コンセプトの実証

社会的な影響度を評価する指標である

「Altmetric」は152 (Top1%)

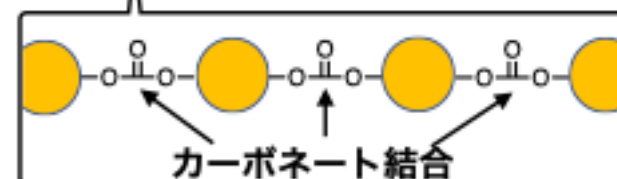
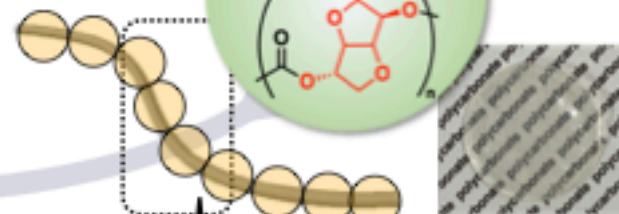
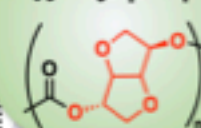
国内・海外ニュース報道

ブレイクスルー

プラスチックを肥料に変換できる

合成

ポリイソソルビド
カーボネート



ポリカーボネート (PC)



シリイヌズナ

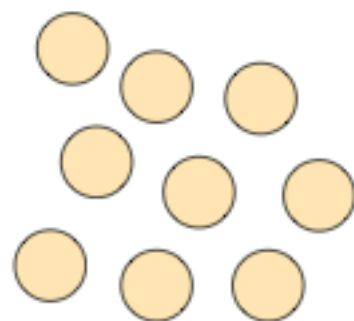
高分子を分解
(肥料へと変換)

分解

100 °C以下
水中

NH₃

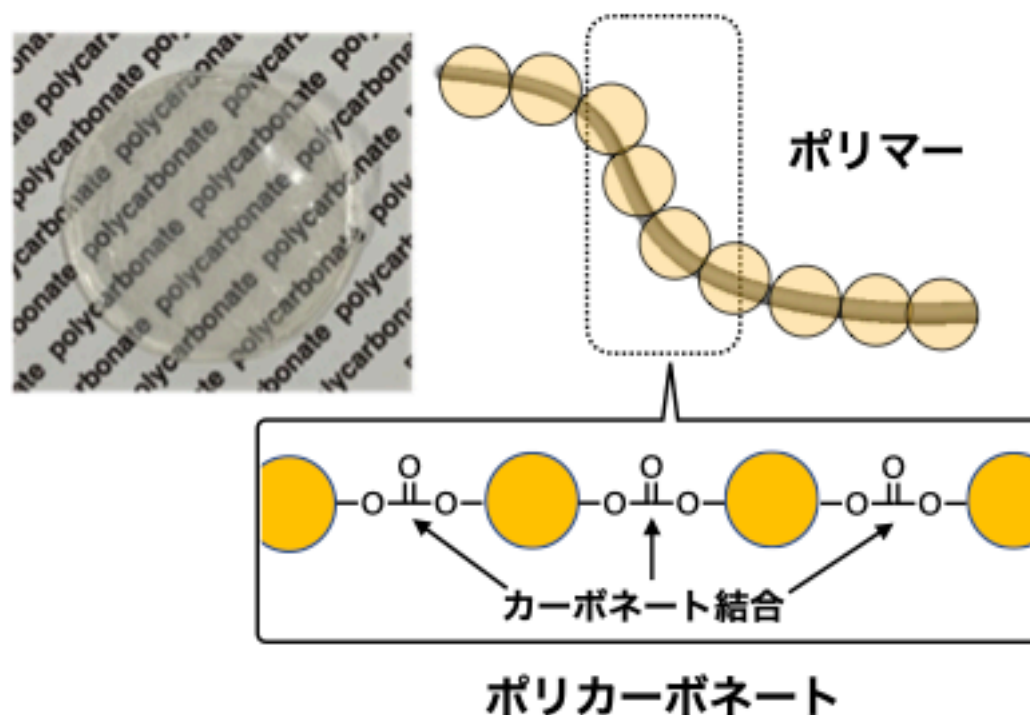
プラスチックから肥料を作る



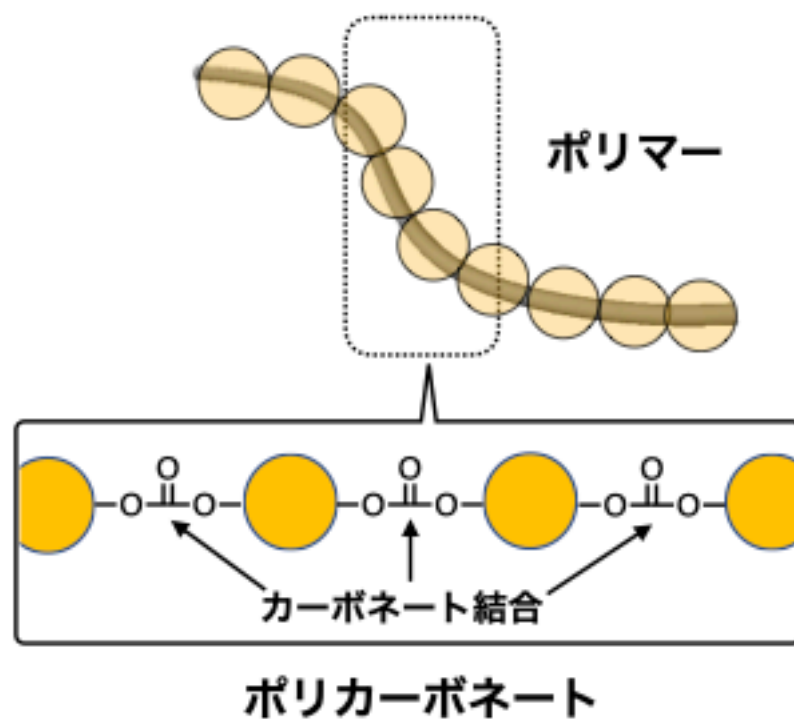
モノマー

重合

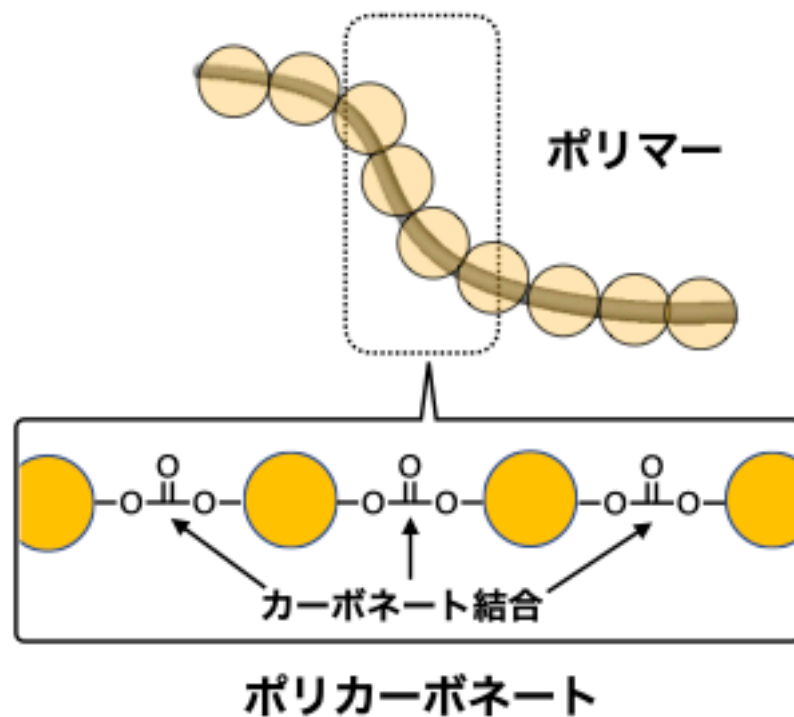
プラスチックから肥料を作る



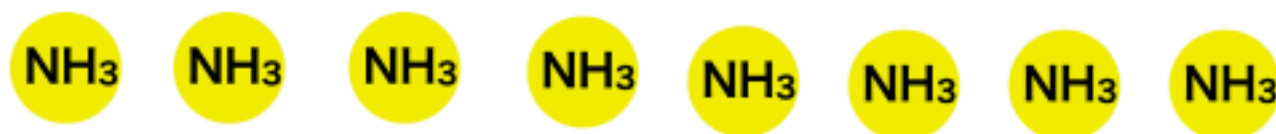
プラスチックから肥料を作る



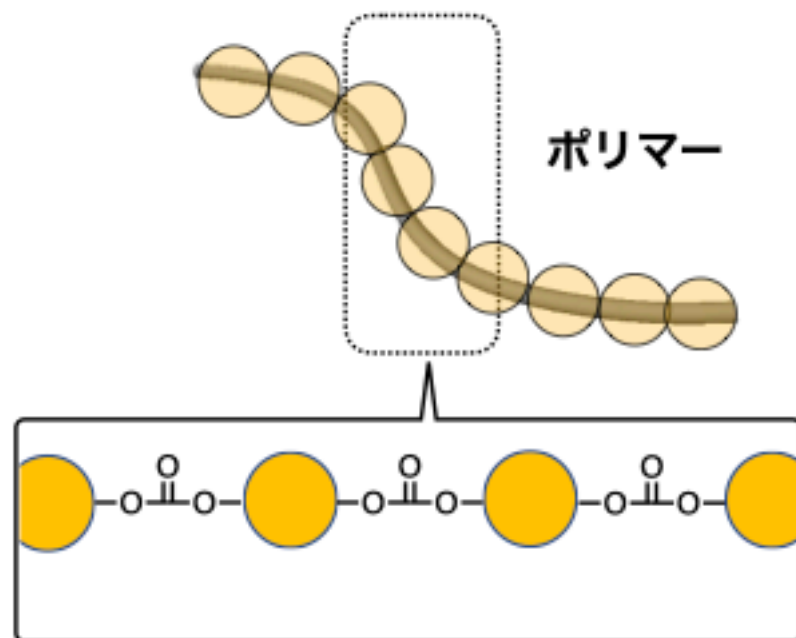
プラスチックから肥料を作る



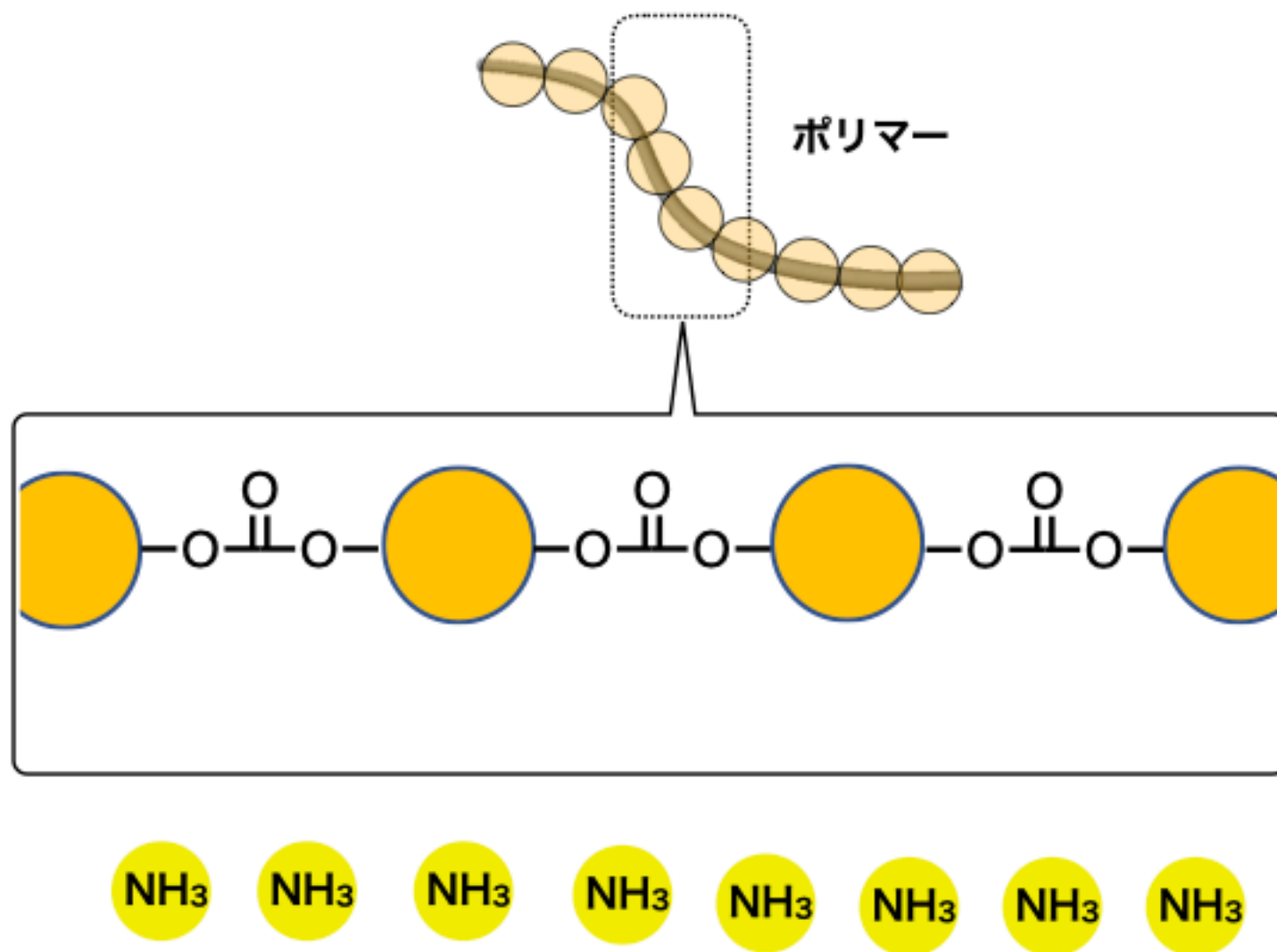
マツモトキヨシオンラインストアより



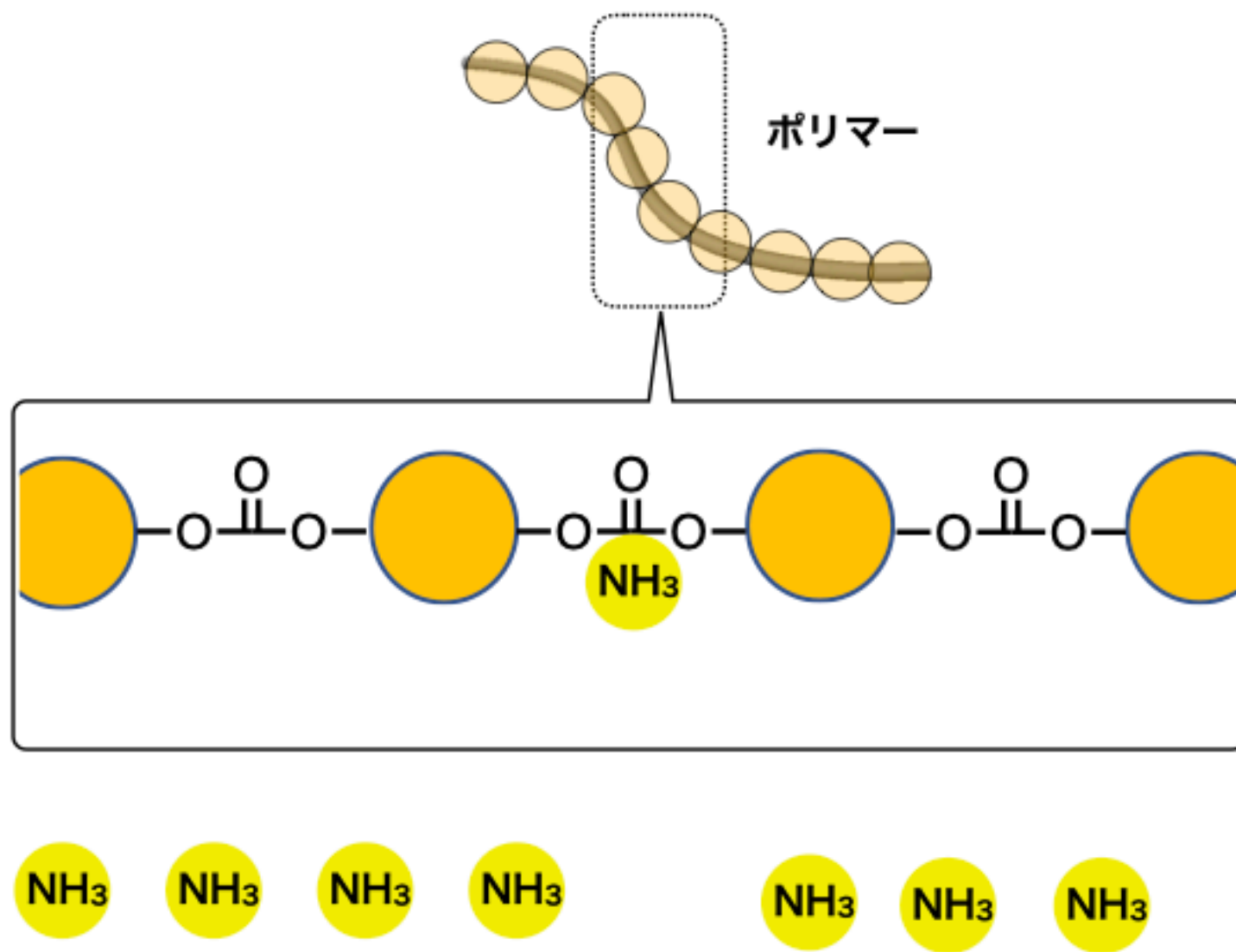
プラスチックから肥料を作る



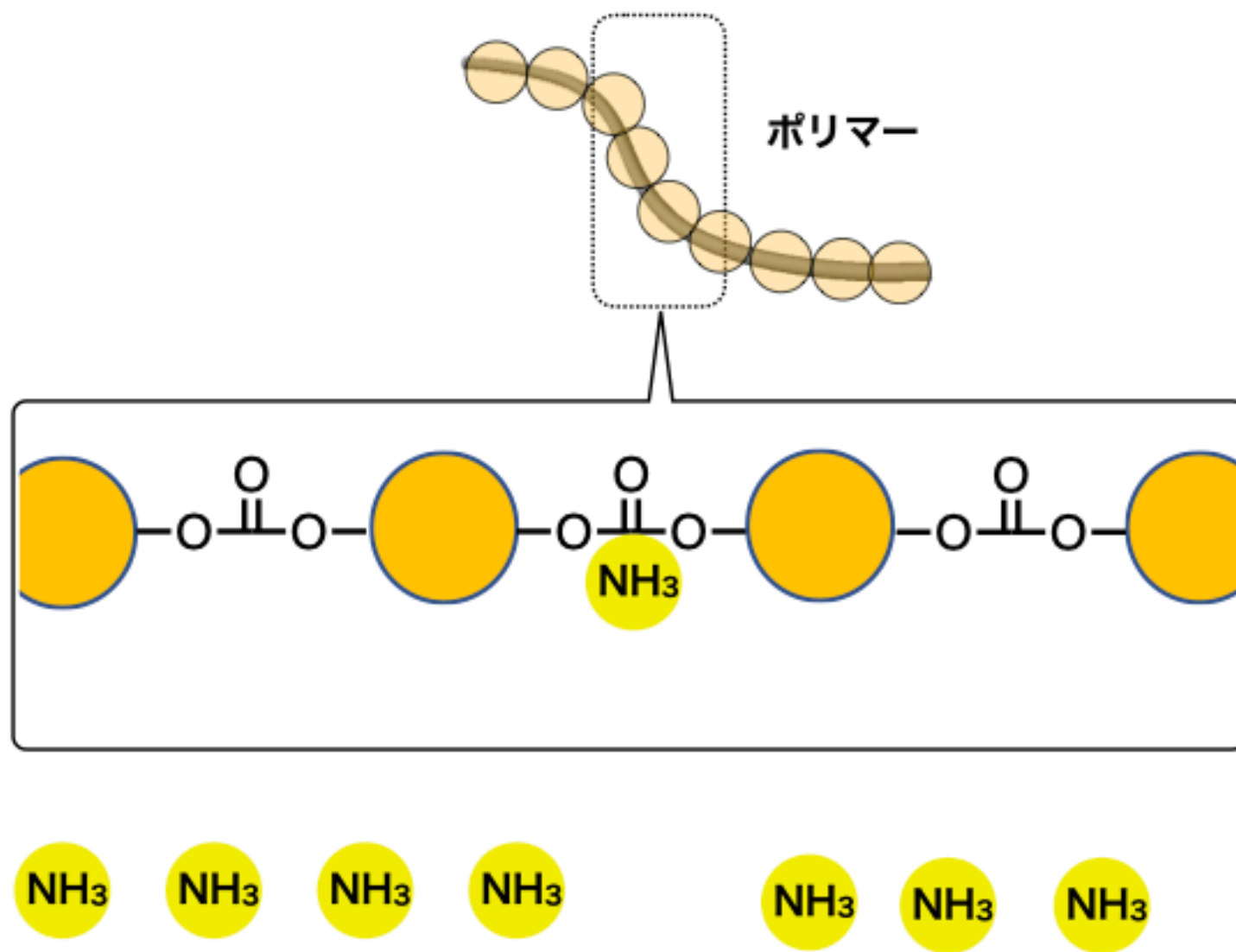
プラスチックから肥料を作る



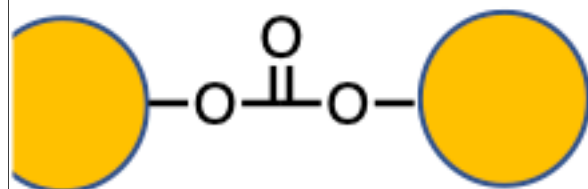
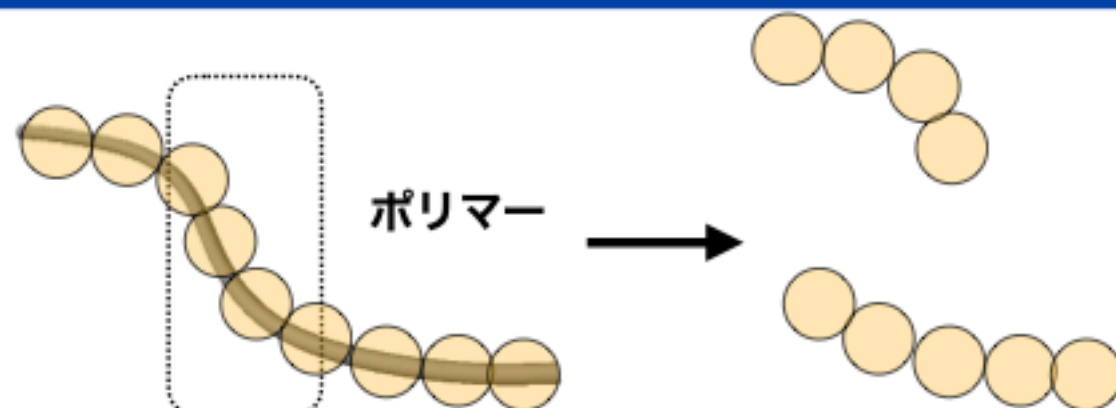
プラスチックから肥料を作る



プラスチックから肥料を作る



プラスチックから肥料を作る



NH_3

NH_3

NH_3

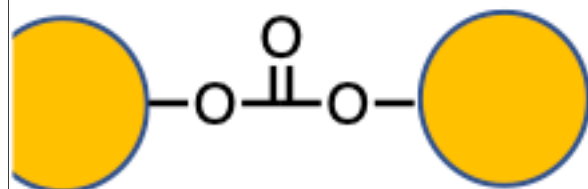
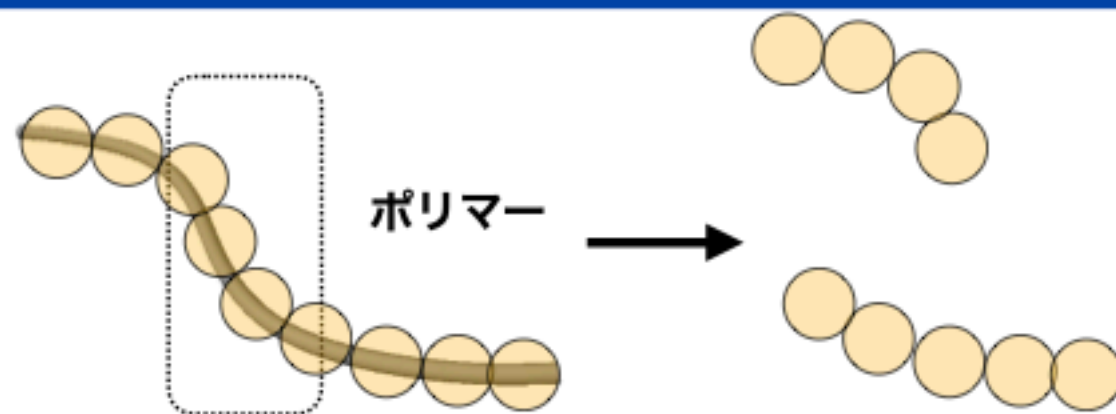
NH_3

NH_3

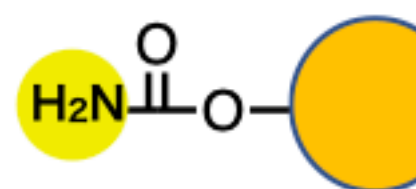
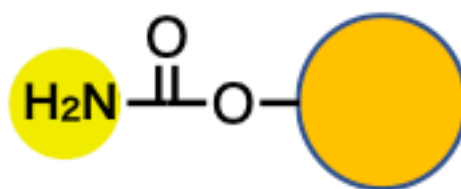
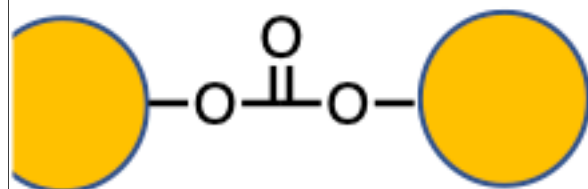
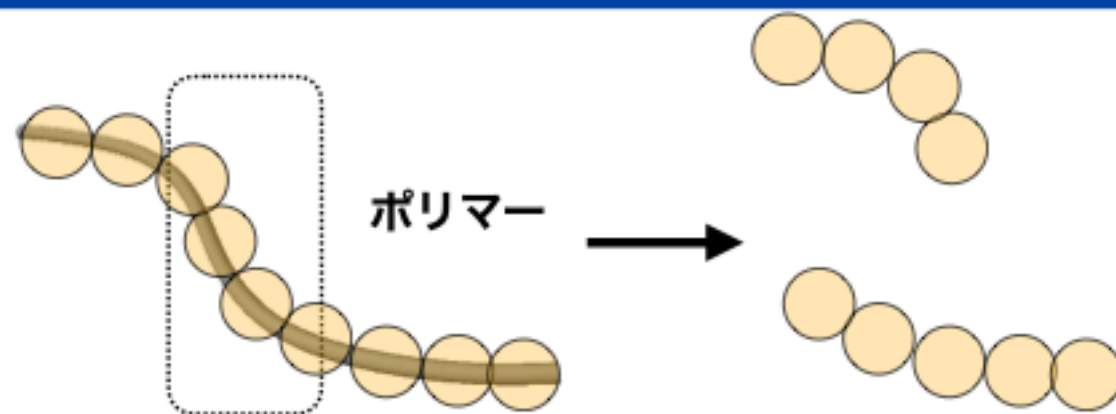
NH_3

NH_3

プラスチックから肥料を作る



プラスチックから肥料を作る



NH_3

NH_3

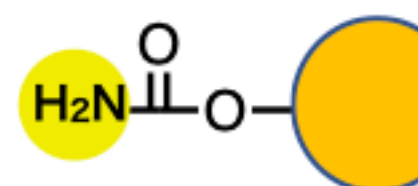
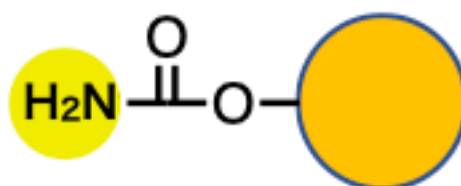
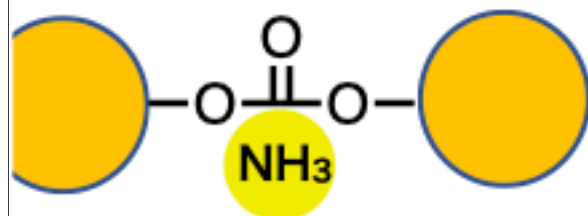
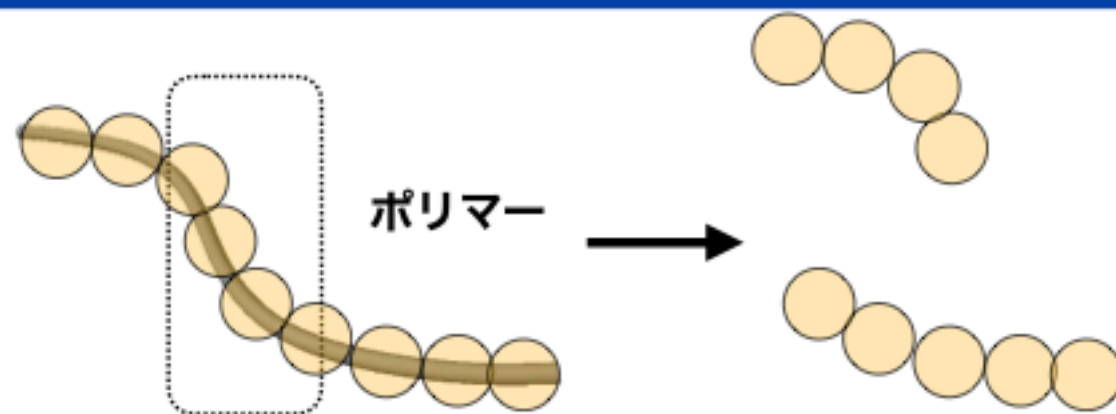
NH_3

NH_3

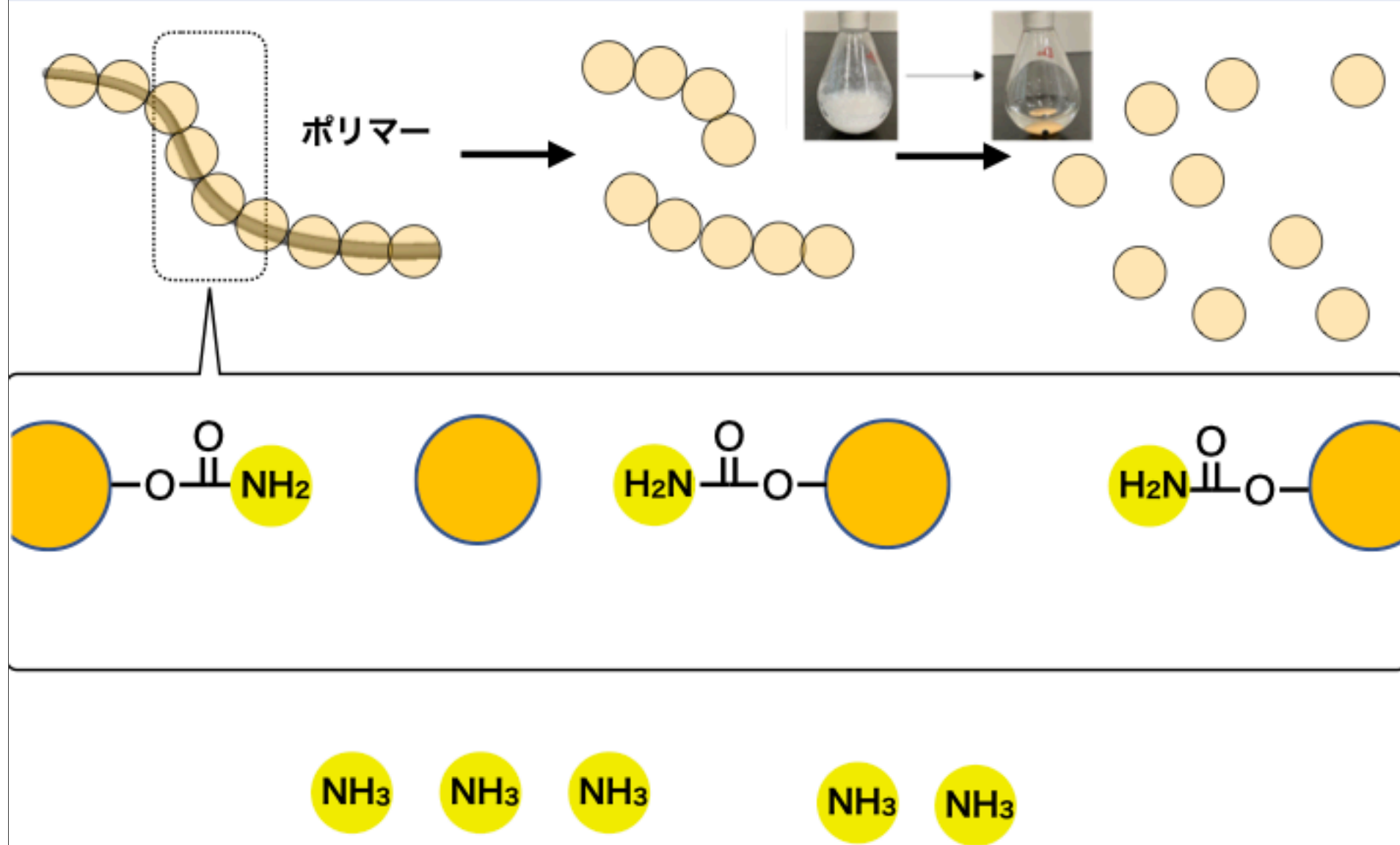
NH_3

NH_3

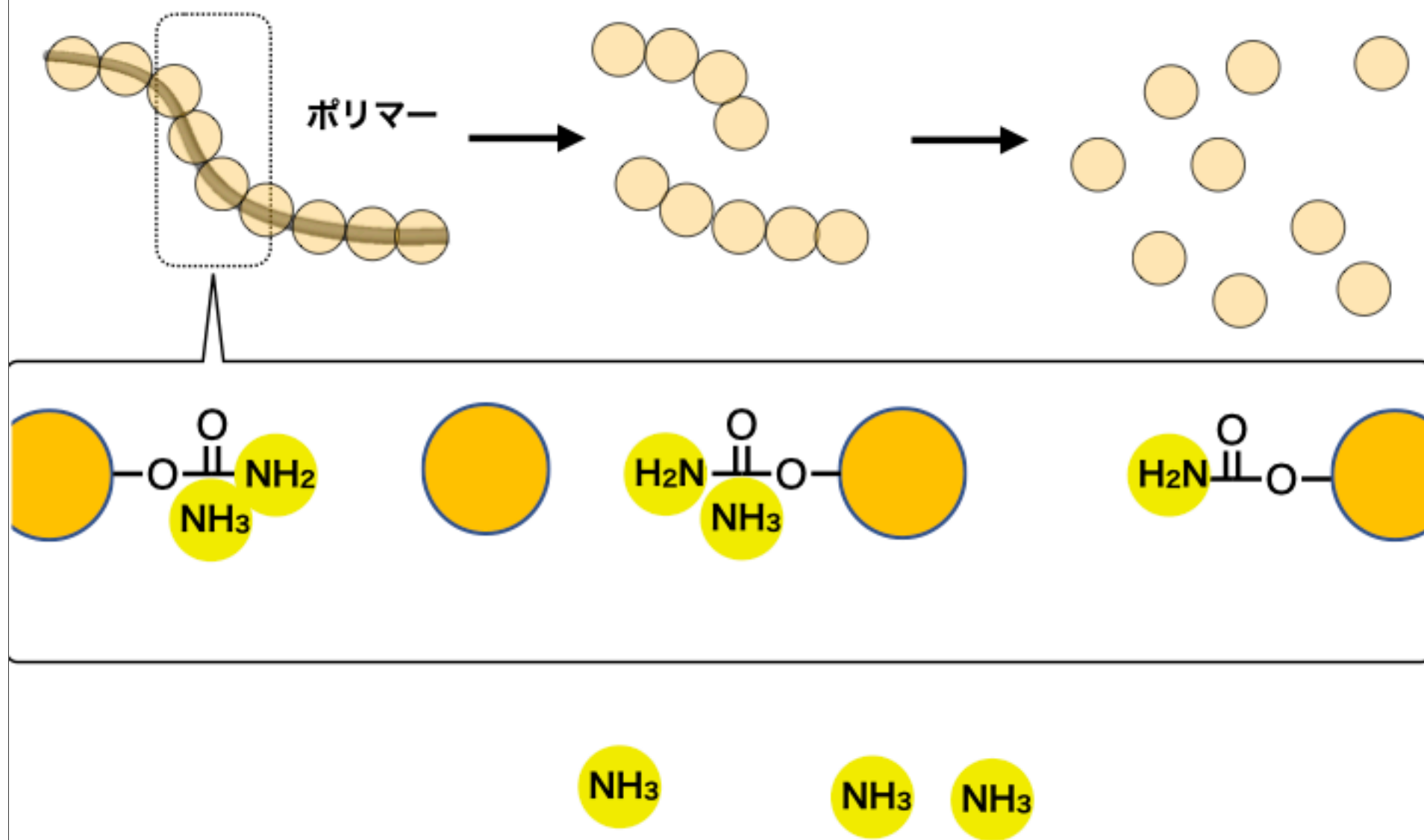
プラスチックから肥料を作る



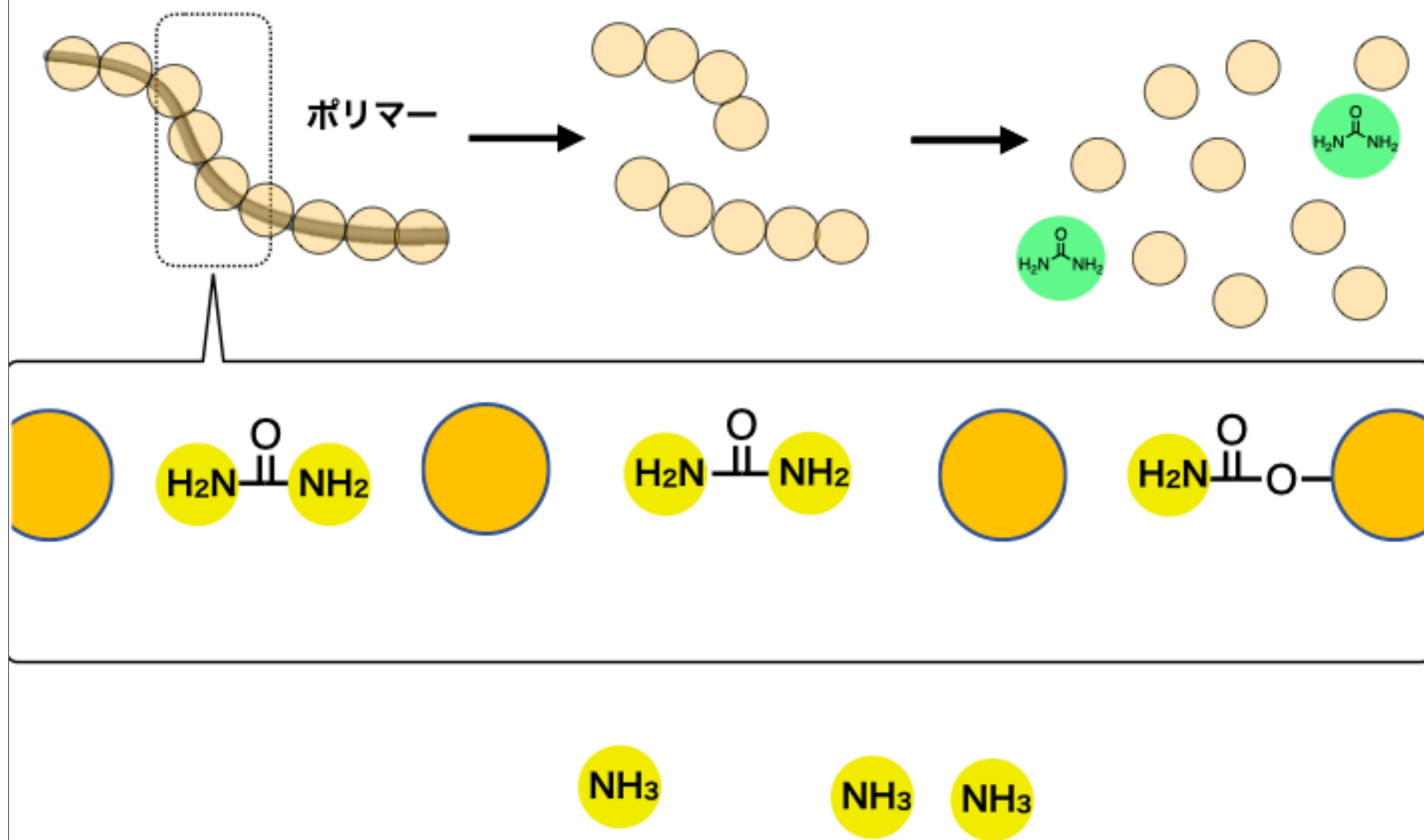
プラスチックから肥料を作る



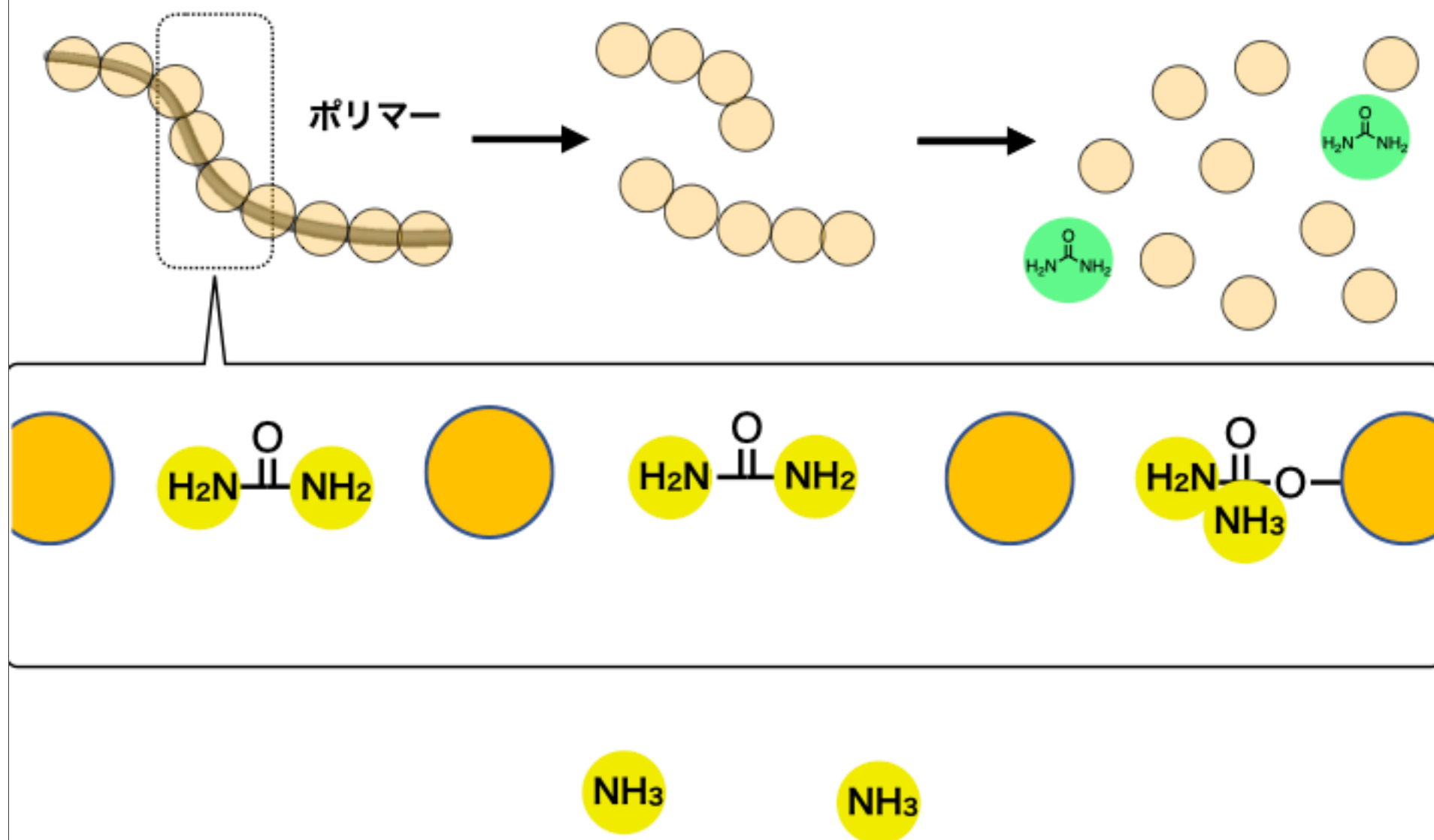
プラスチックから肥料を作る



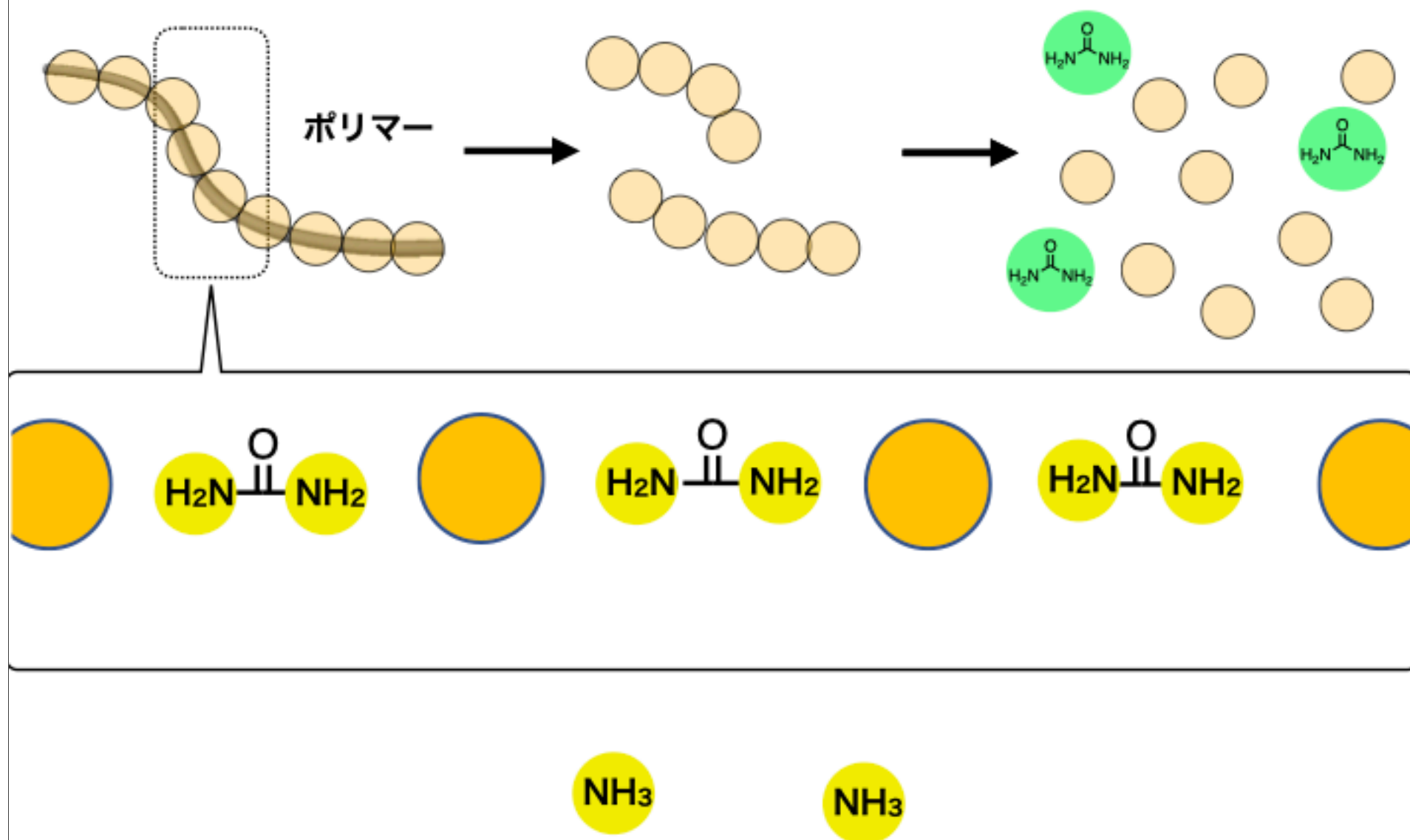
プラスチックから肥料を作る



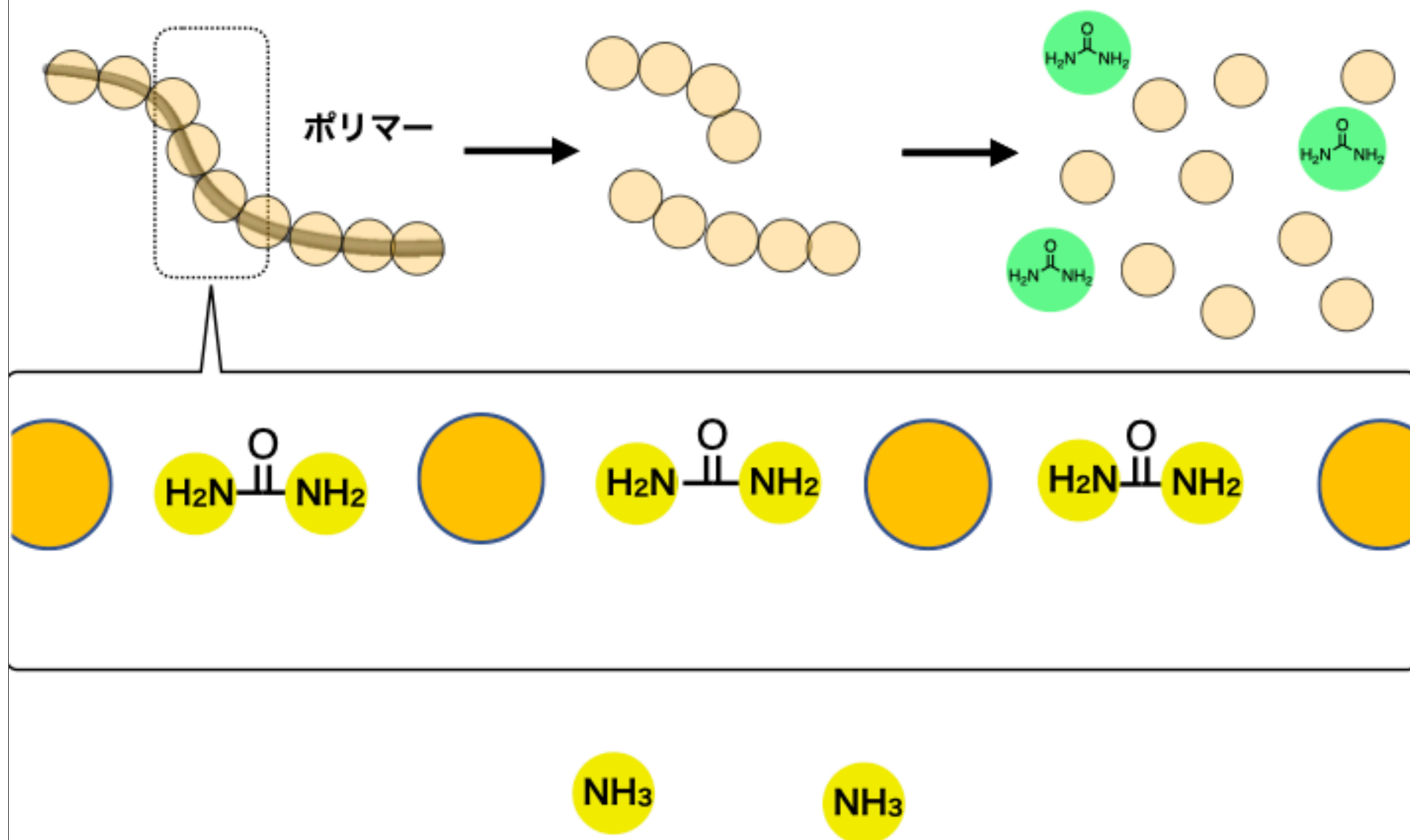
プラスチックから肥料を作る



プラスチックから肥料を作る

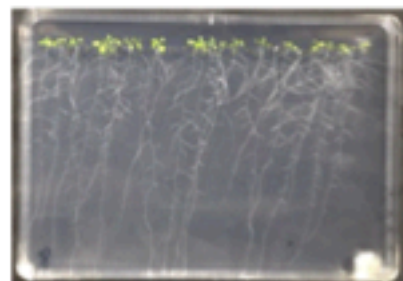


プラスチックから肥料を作る



プラスチックから肥料を作る

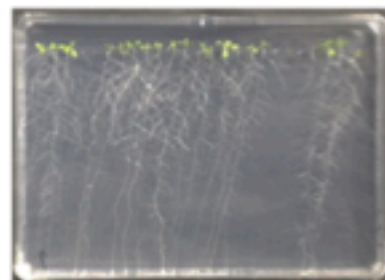
肥料なし



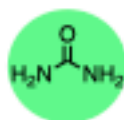
①



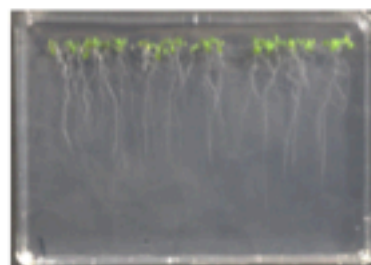
イソソルビドのみ



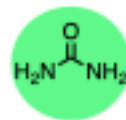
②



尿素のみ



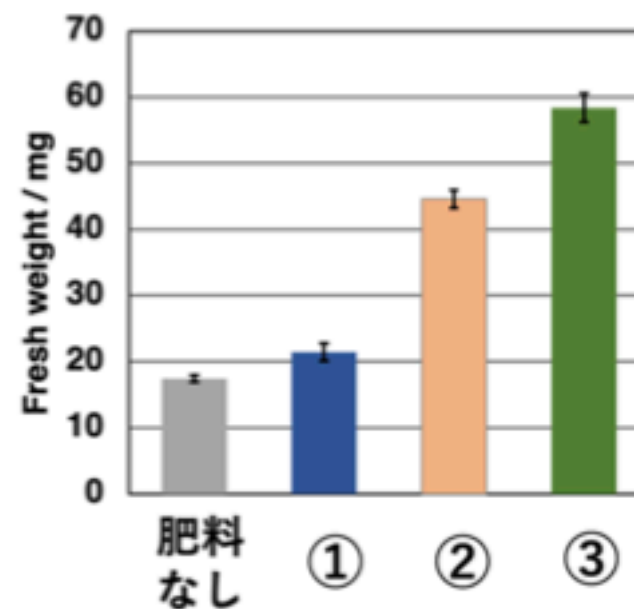
③



イソソルビドと尿素的混合物



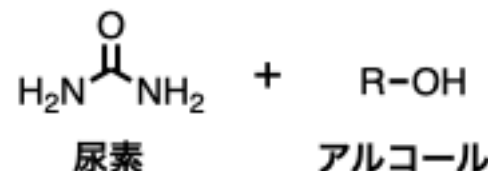
シロイヌナズナ



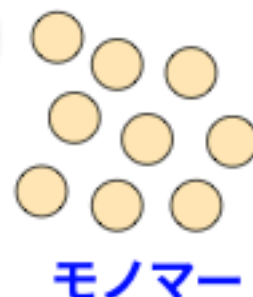
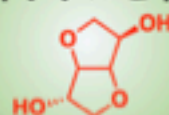
研究の背景・目的



カーボネート結合がアンモニアと
反応して尿素へと変換可能



イソソルビド



コンセプトの実証

社会的な影響度を評価する指標である

「Altmetric」は152 (Top1%)

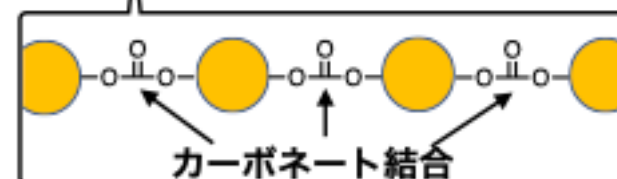
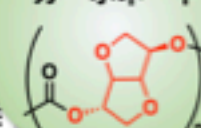
国内・海外ニュース報道

ブレイクスルー

プラスチックを肥料に変換できる

合成

ポリイソソルビド
カーボネート



ポリカーボネート (PC)



シロイヌナズナ

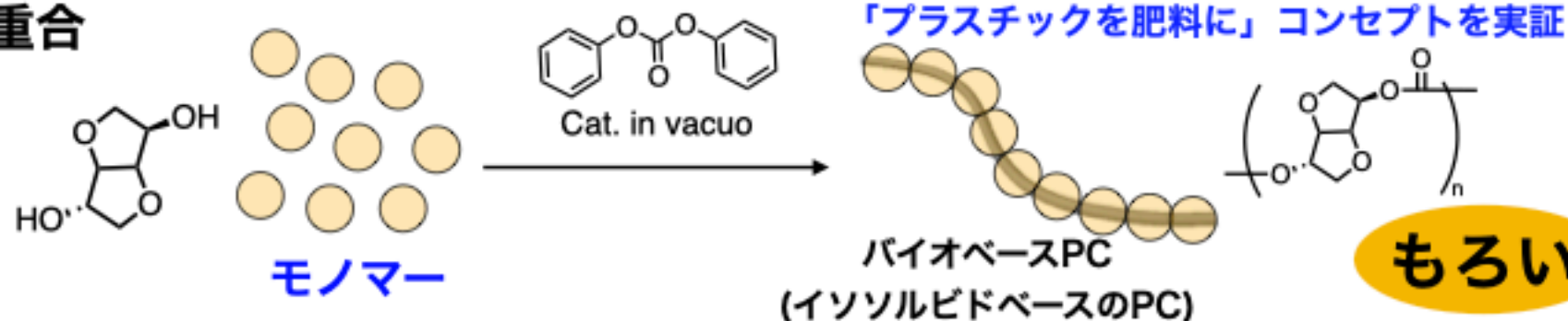
高分子を分解
(肥料へと変換)

分解

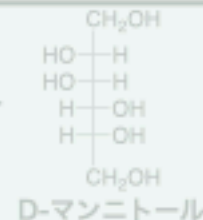
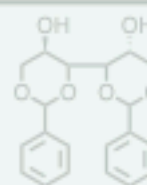
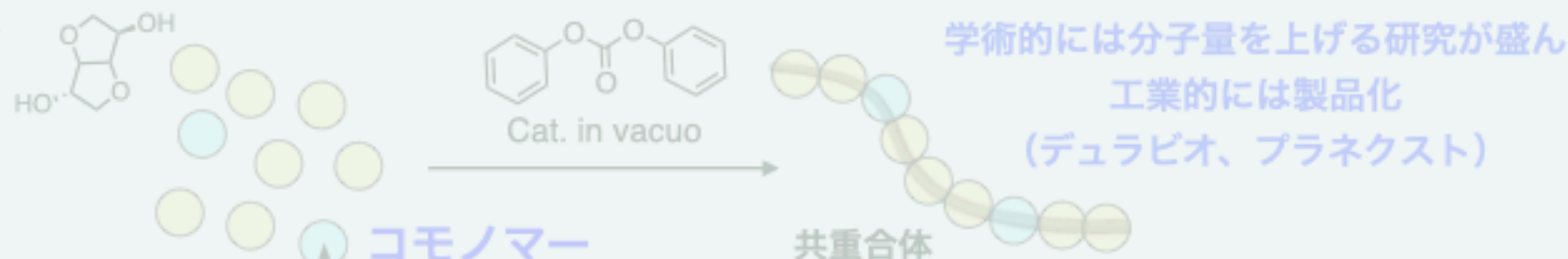
100 °C以下
水中

NH₃

単独重合



共重合



添加剤

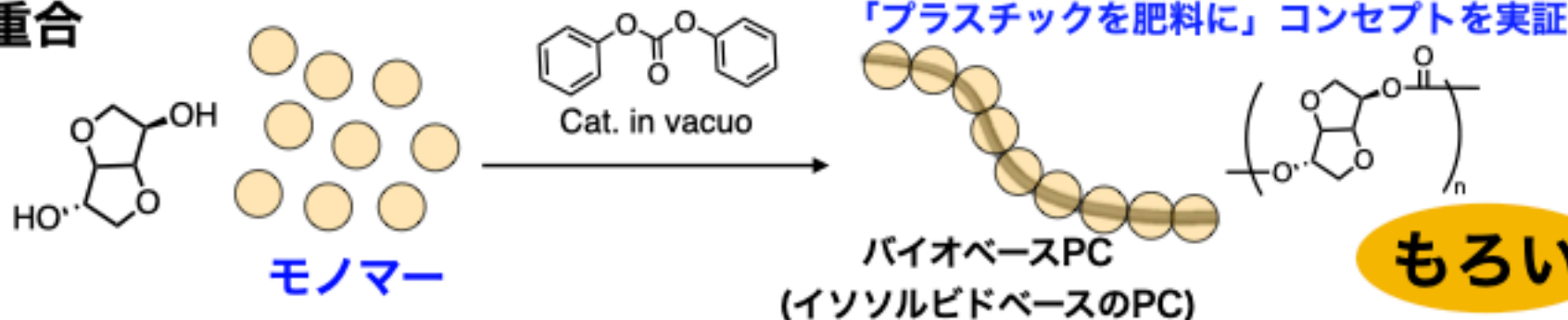
もろい

バイオベースPC

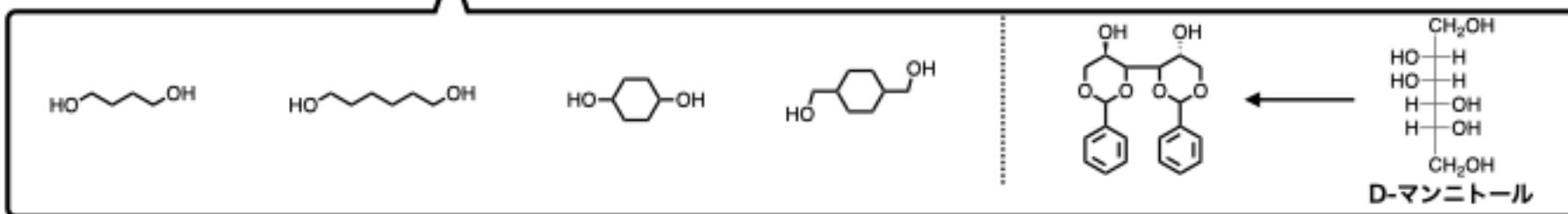
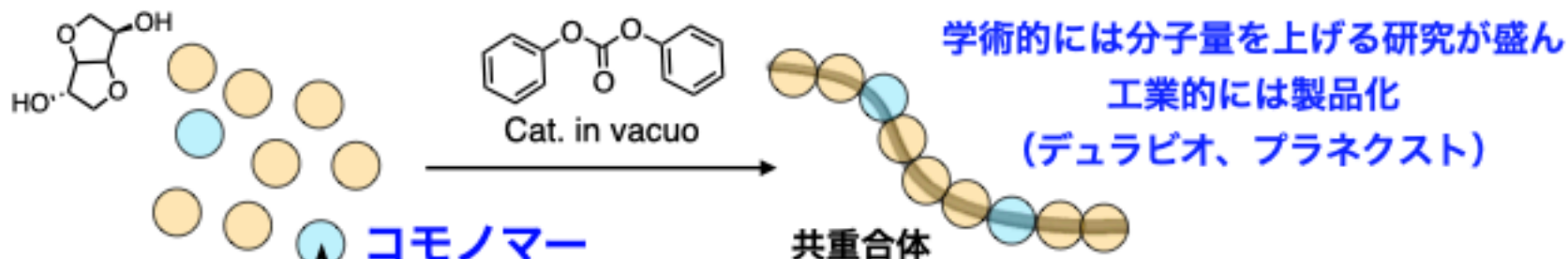
添加剤

学術的にも工業的にも
新規

单独重合

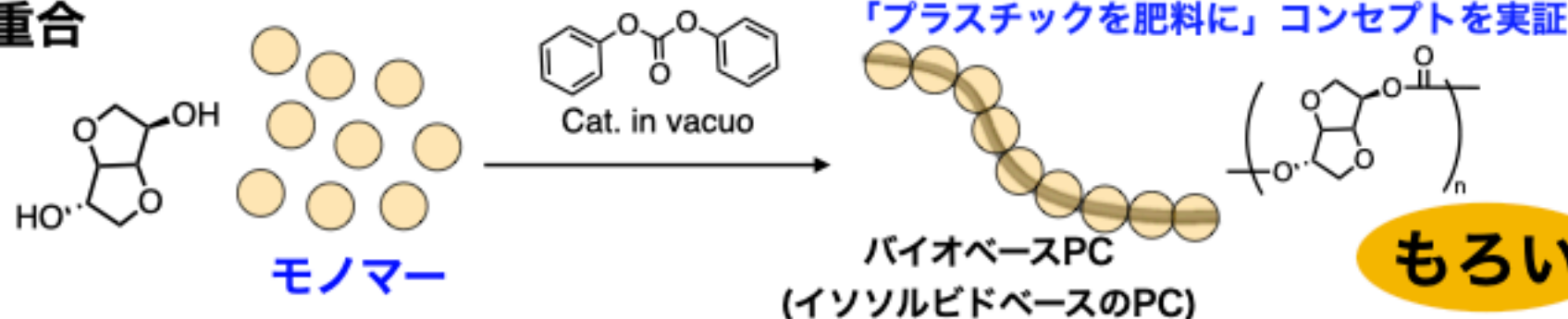


共重合

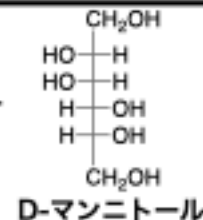
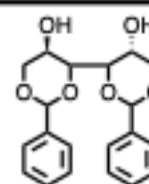
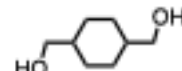
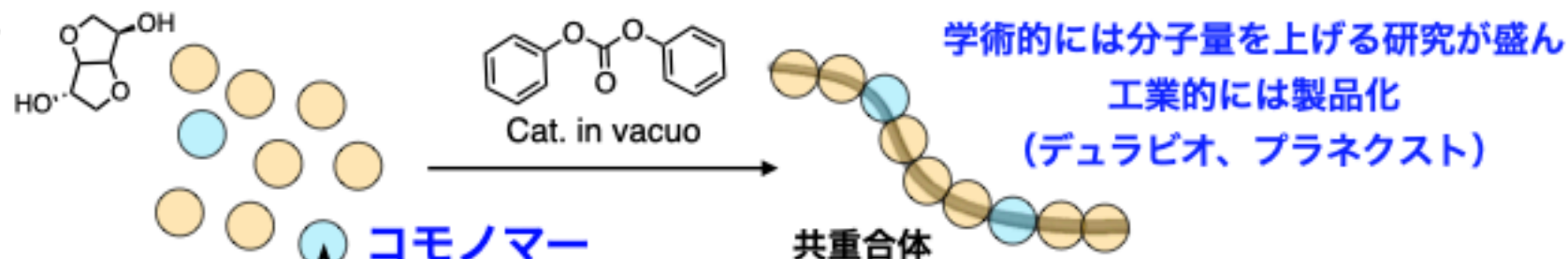


添加劑

単独重合



共重合



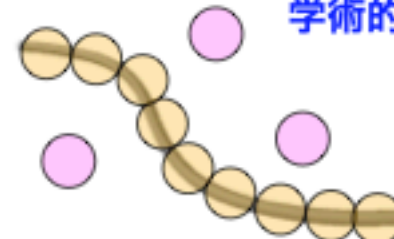
添加剤

もろい

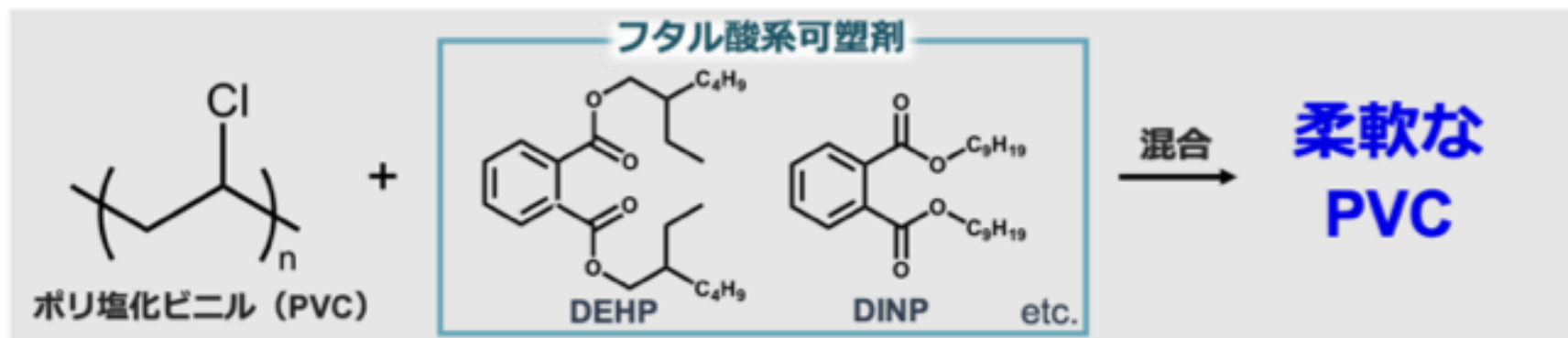
バイオベースPC

添加剤

学術的にも工業的にも
新規



可塑剤の利用例（ポリ塩化ビニル）





Wikipedia, "ポリ塩化ビニル"

ポリ塩化ビニル管（水道管など）

少量の可塑剤 (0～10%程度含有)

▷ 水道管のような**硬い**材料





株式会社トンボ鉛筆

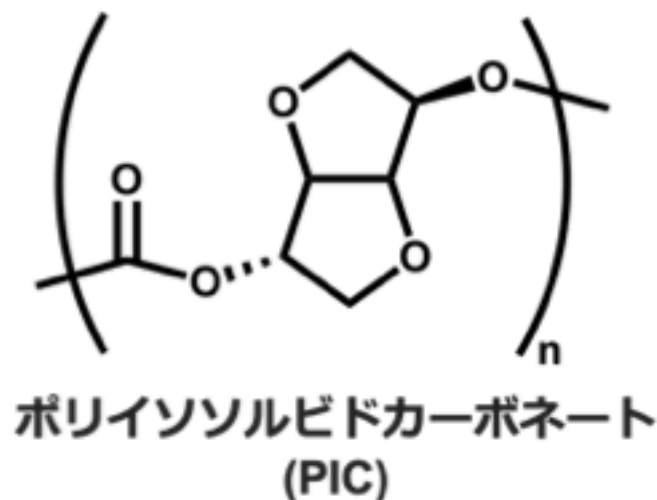
消しゴム

多量の可塑剤 (40～50%程度含有)

▷ 消しゴムのような**柔らかい**材料

可塑剤の添加により硬質材料から軟質材料までの材料特性をカバー

ポリマー

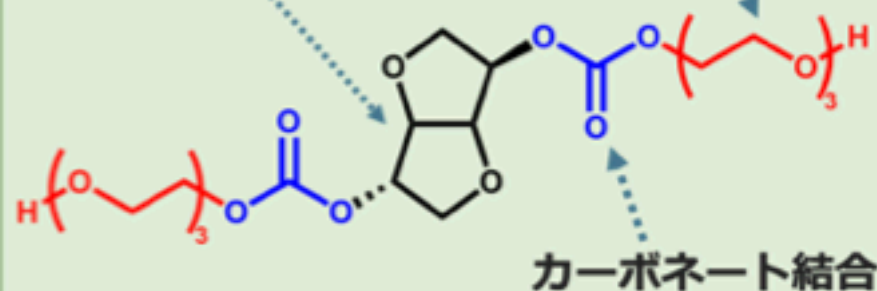


+

新規可塑剤

自由体積の向上と柔軟性付与

イソソルビドユニット



ISB-TEG

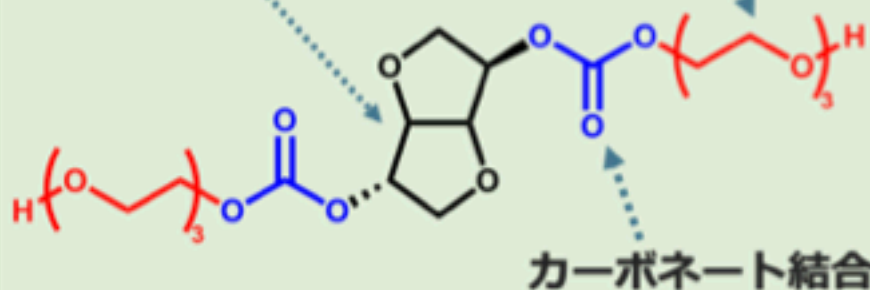
- ✓ PICの基本骨格であるイソソルビドを有する → **ポリマーとの相溶性**
- ✓ アンモニア分解可能 → ISBと**オリゴエチレン**が**カーボネート結合**で連結
- ✓ 生分解性原料の使用 → PIC同様に分解物を**そのまま肥料に利用可能**

糖由来PC(PIC)に対する可塑剤の分子設計

新規可塑剤

自由体積の向上と柔軟性付与

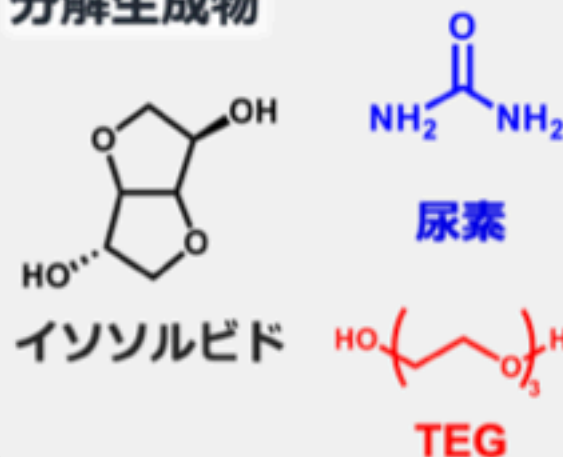
イソソルビドユニット



ISB-TEG

肥料として活用

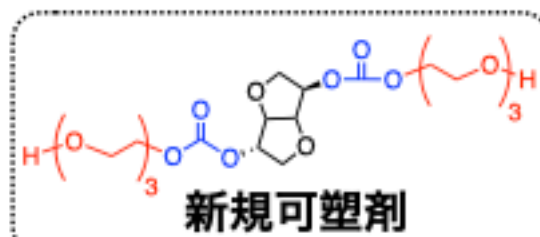
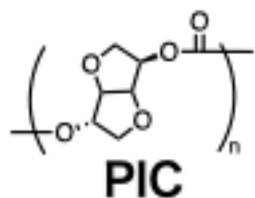
分解生成物



いずれの化合物も生分解性あり

- ✓ PICの基本骨格であるイソソルビドを有する → ポリマーとの相溶性
- ✓ アンモニア分解可能 → ISBとオリゴエチレンがカーボネート結合で連結
- ✓ 生分解性原料の使用 → PIC同様に分解物をそのまま肥料に利用可能

PICの可塑剤による改質



フィルム化

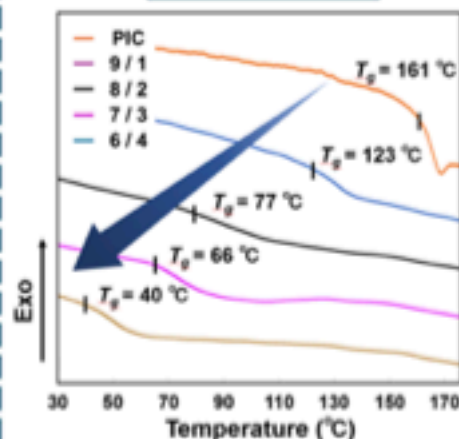


透明で均一なフィルム

良好な相溶性

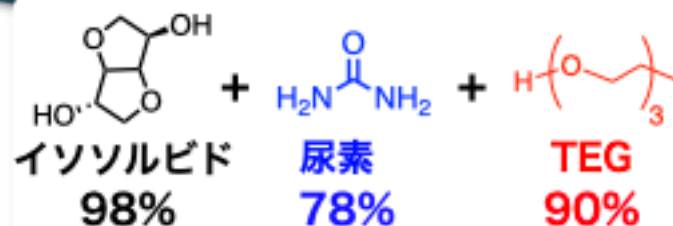
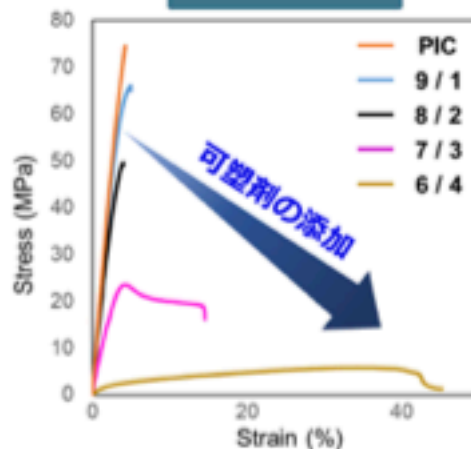
物性評価

アンモニア分解

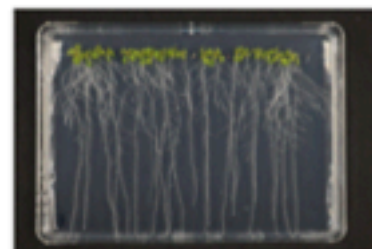


硬くて脆いPICが柔軟な材料に変化

引張試験



PIC/可塑剤のアンモニア分解を確認



分解生成物は
肥料として利用可能
神谷先生ご担当

PICの可塑剤による改質

◆PICへのISB-TEGの添加（薄膜状のフィルム）

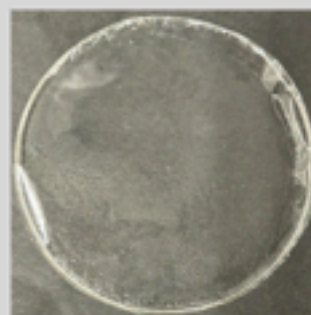
PIC/可塑剤
重量比



PIC



9 / 1



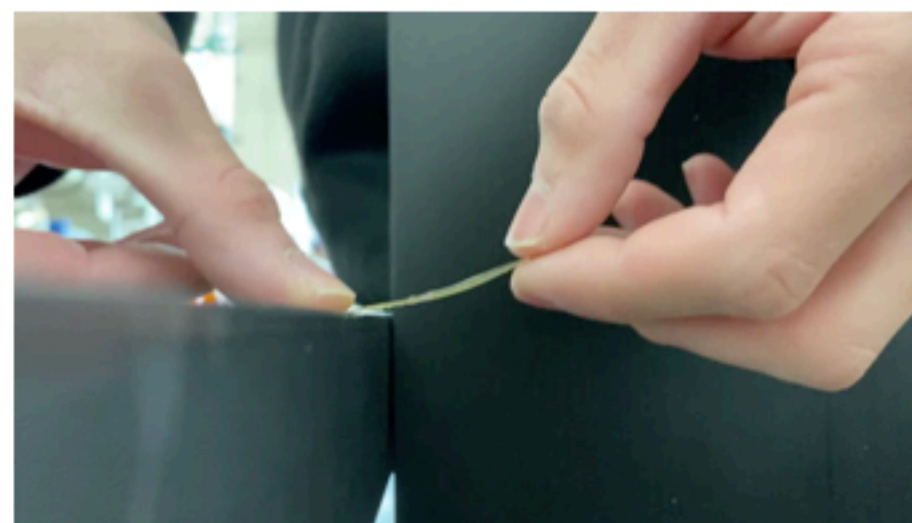
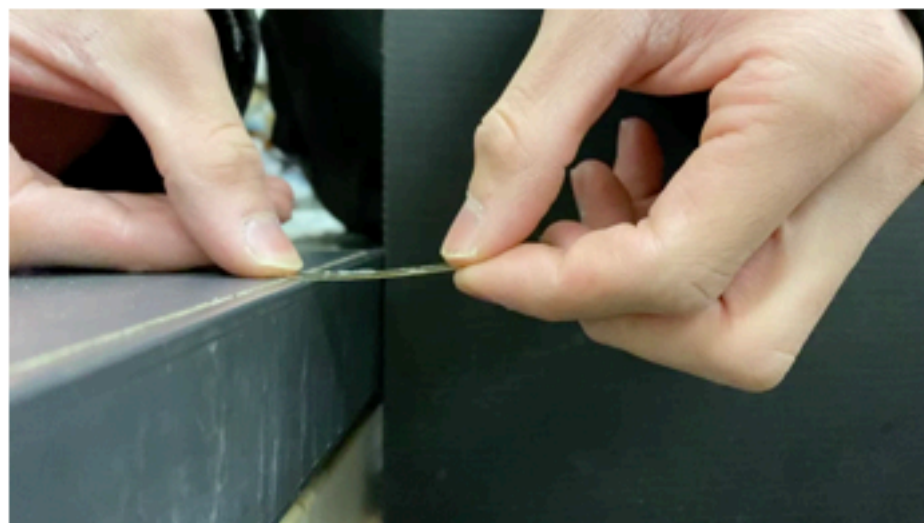
8 / 2



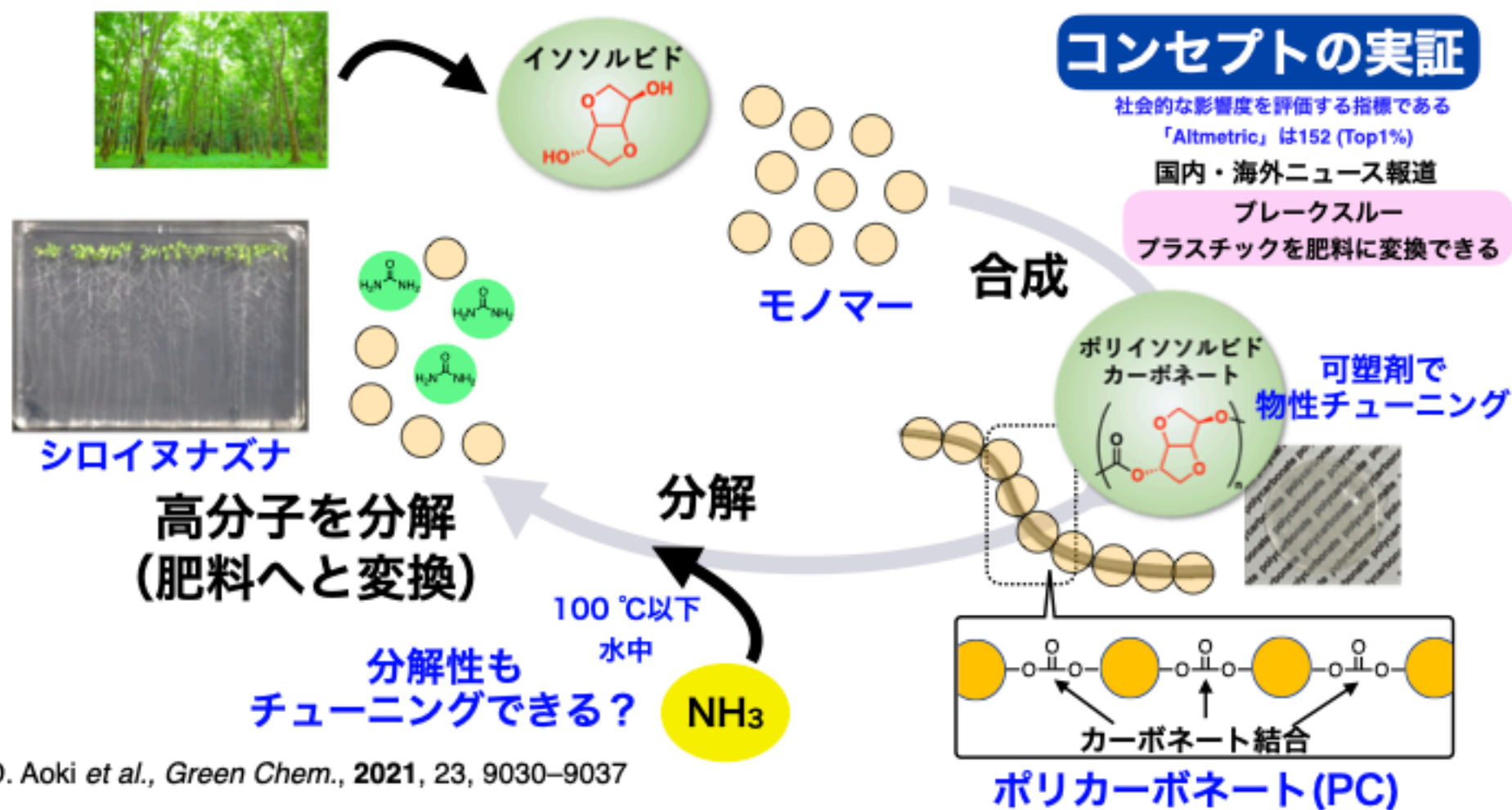
7 / 3



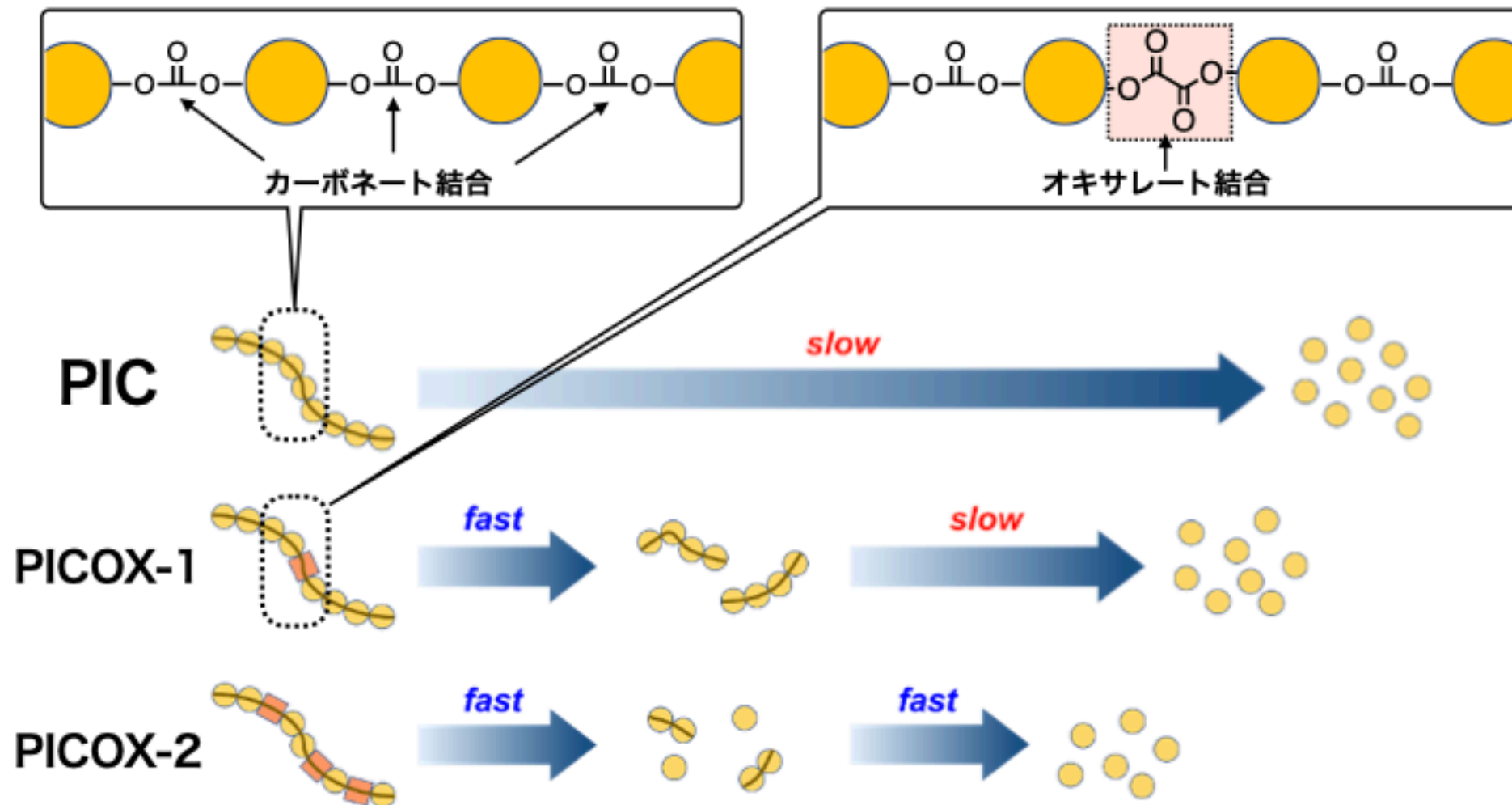
6 / 4



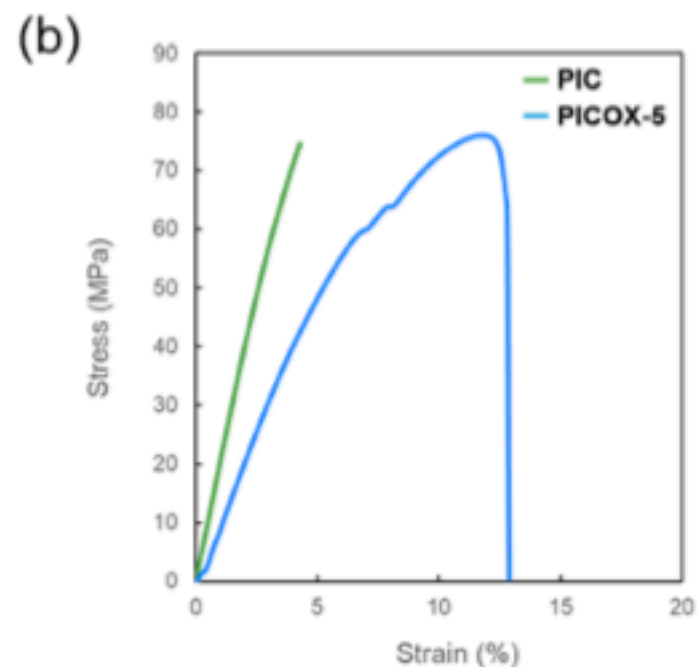
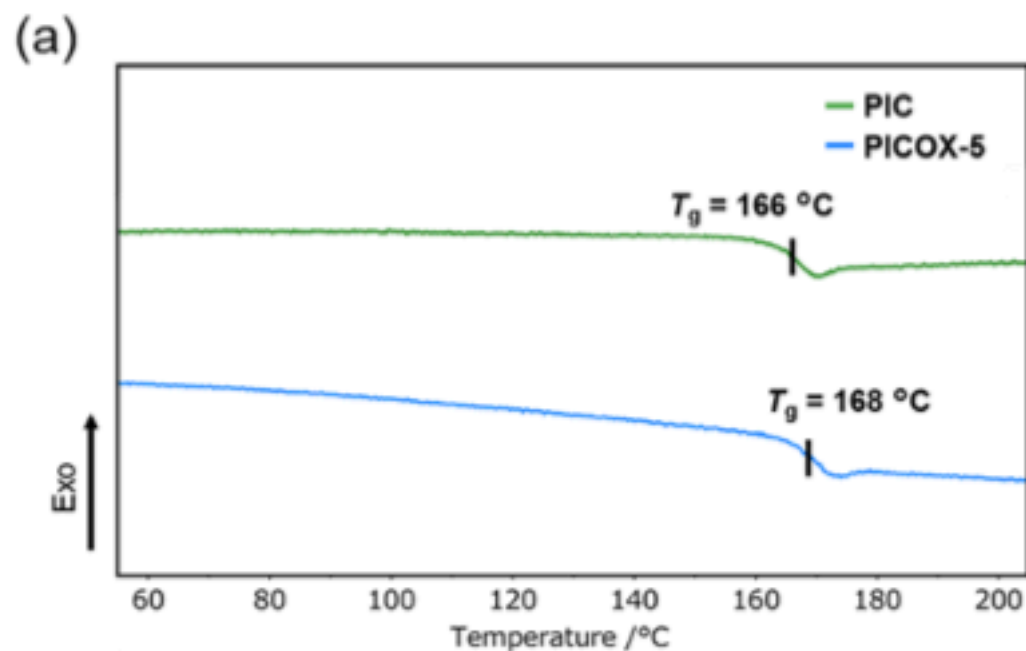
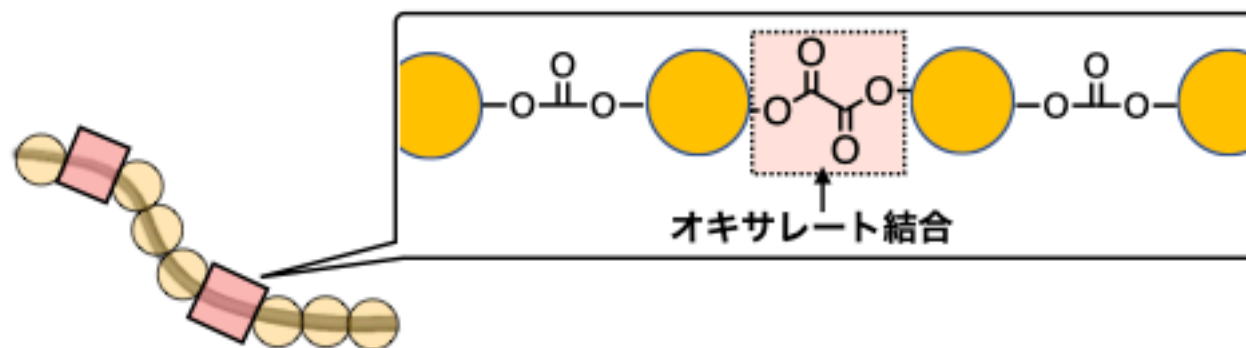
研究の背景・目的



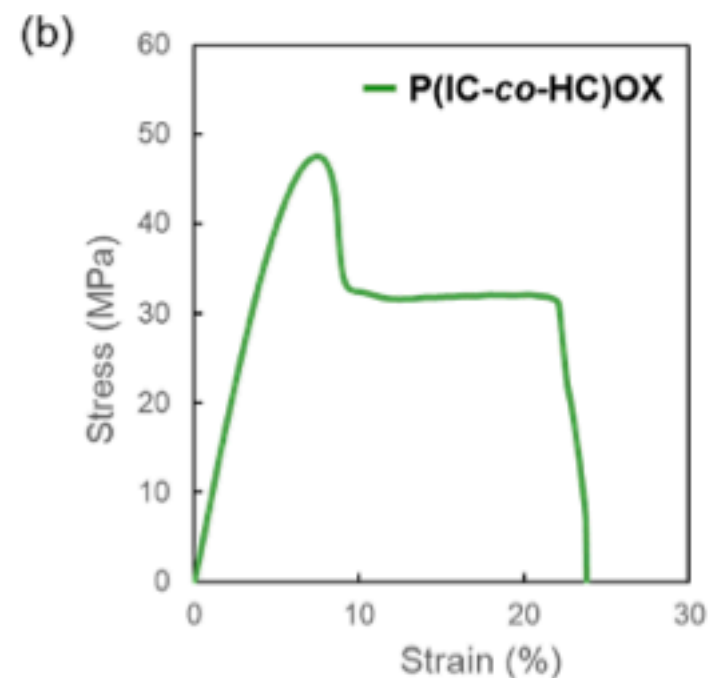
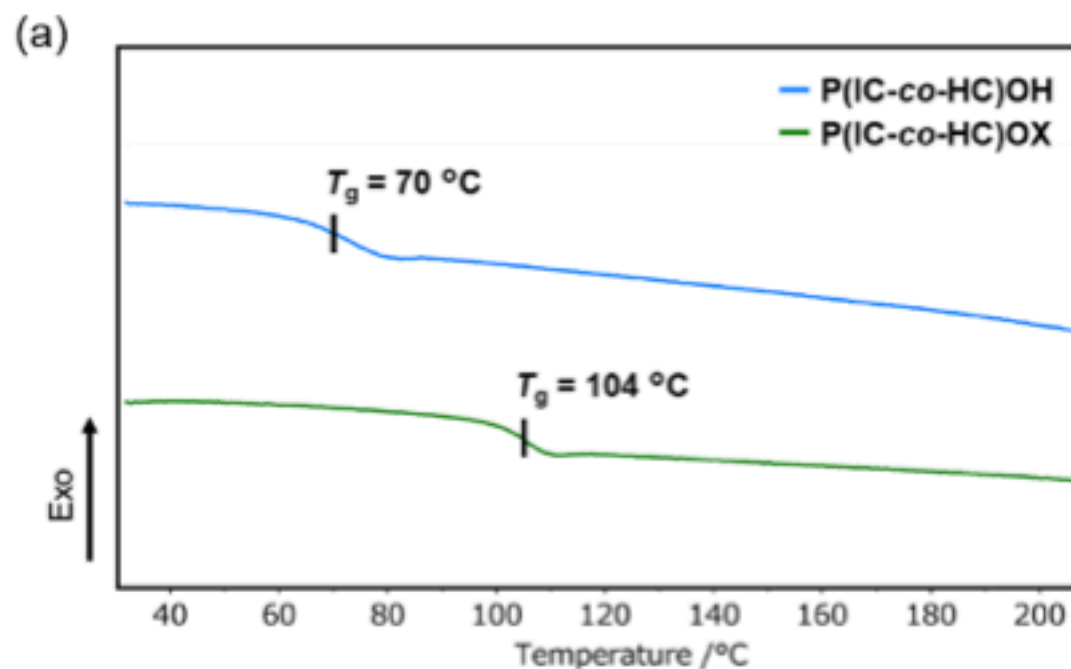
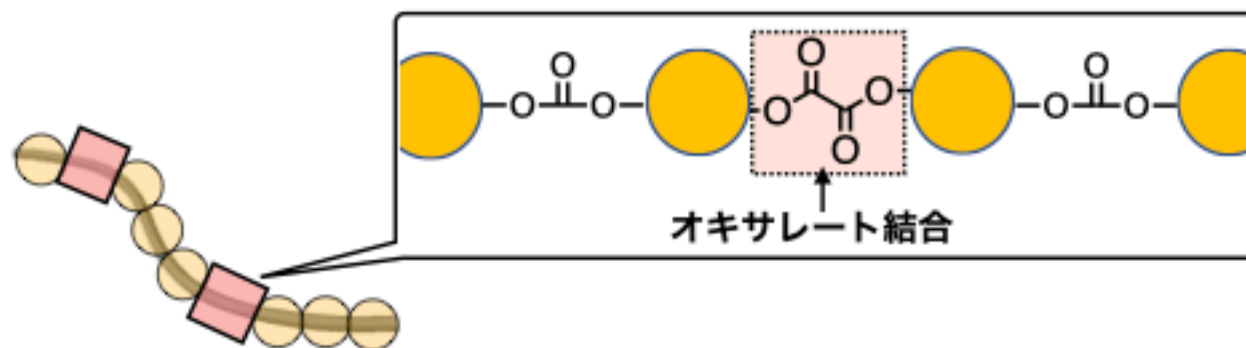
オキサレート結合含有PIC

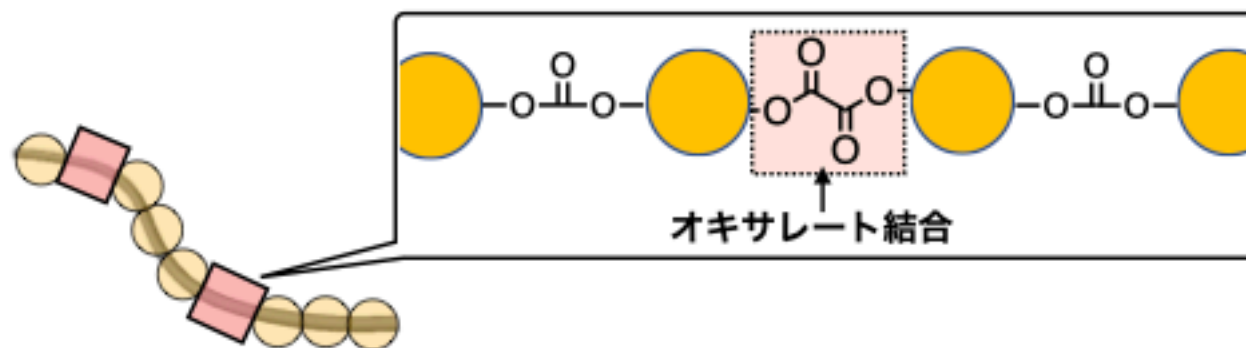


オキサレート結合含有PIC



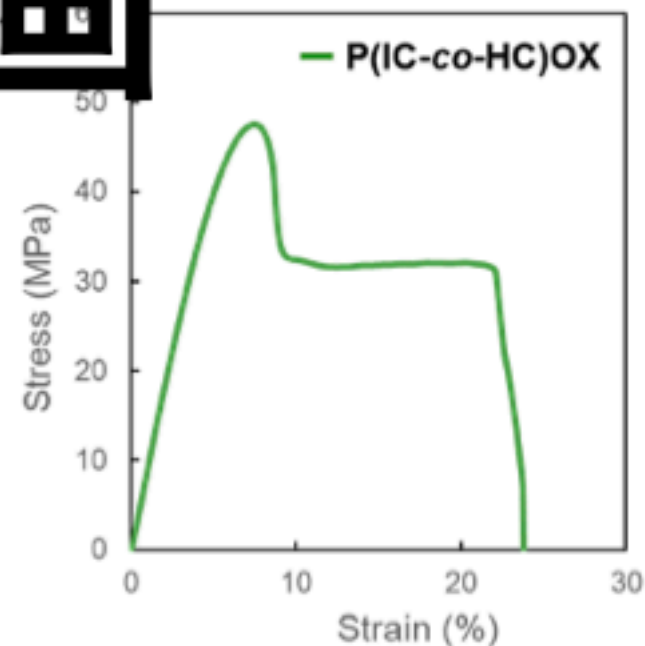
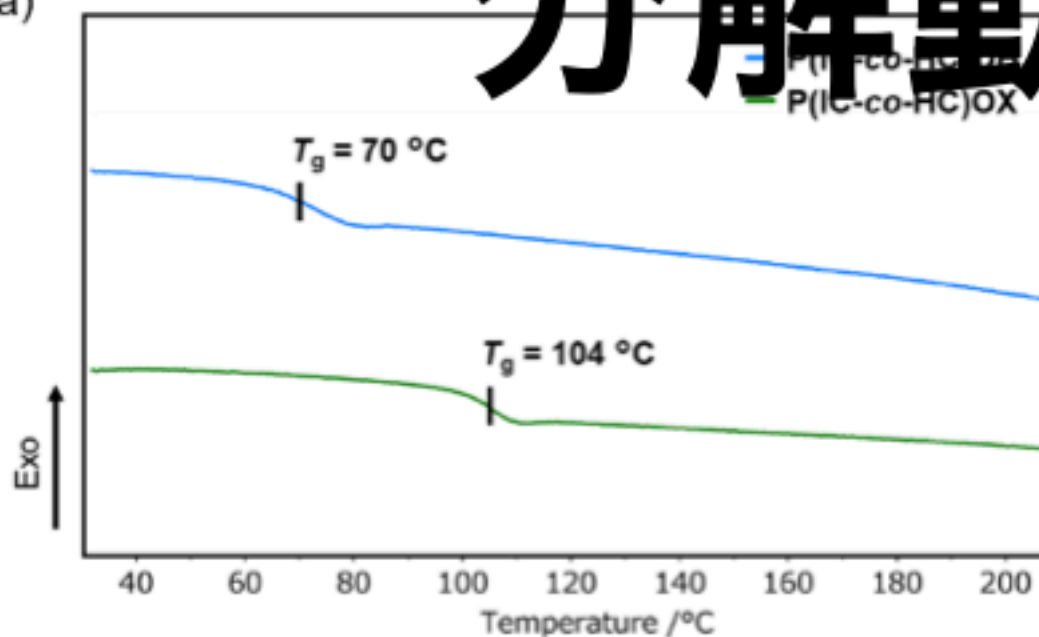
オキサレート結合含有PIC





分解動画

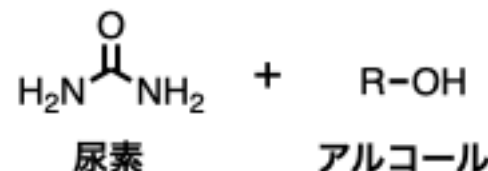
(a)



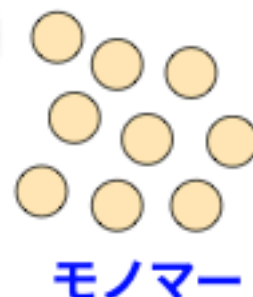
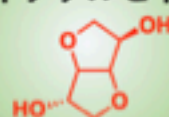
研究の背景・目的



カーボネート結合がアンモニアと
反応して尿素へと変換可能



イソソルビド



コンセプトの実証

社会的な影響度を評価する指標である

「Altmetric」は152 (Top1%)

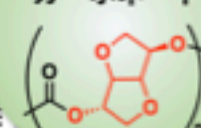
国内・海外ニュース報道

ブレイクスルー

プラスチックを肥料に変換できる

合成

ポリイソソルビド
カーボネート



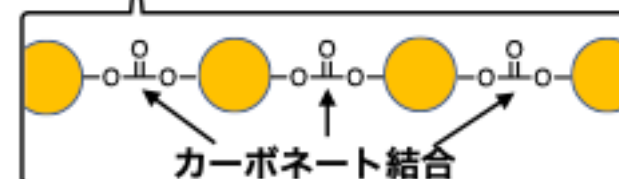
シリイヌズナ

高分子を分解
(肥料へと変換)

分解

100 °C以下
水中

NH₃

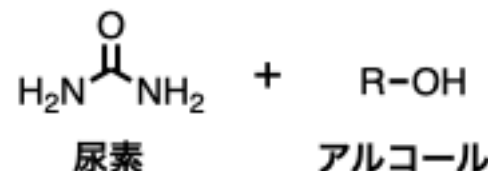


ポリカーボネート (PC)

研究の背景・目的

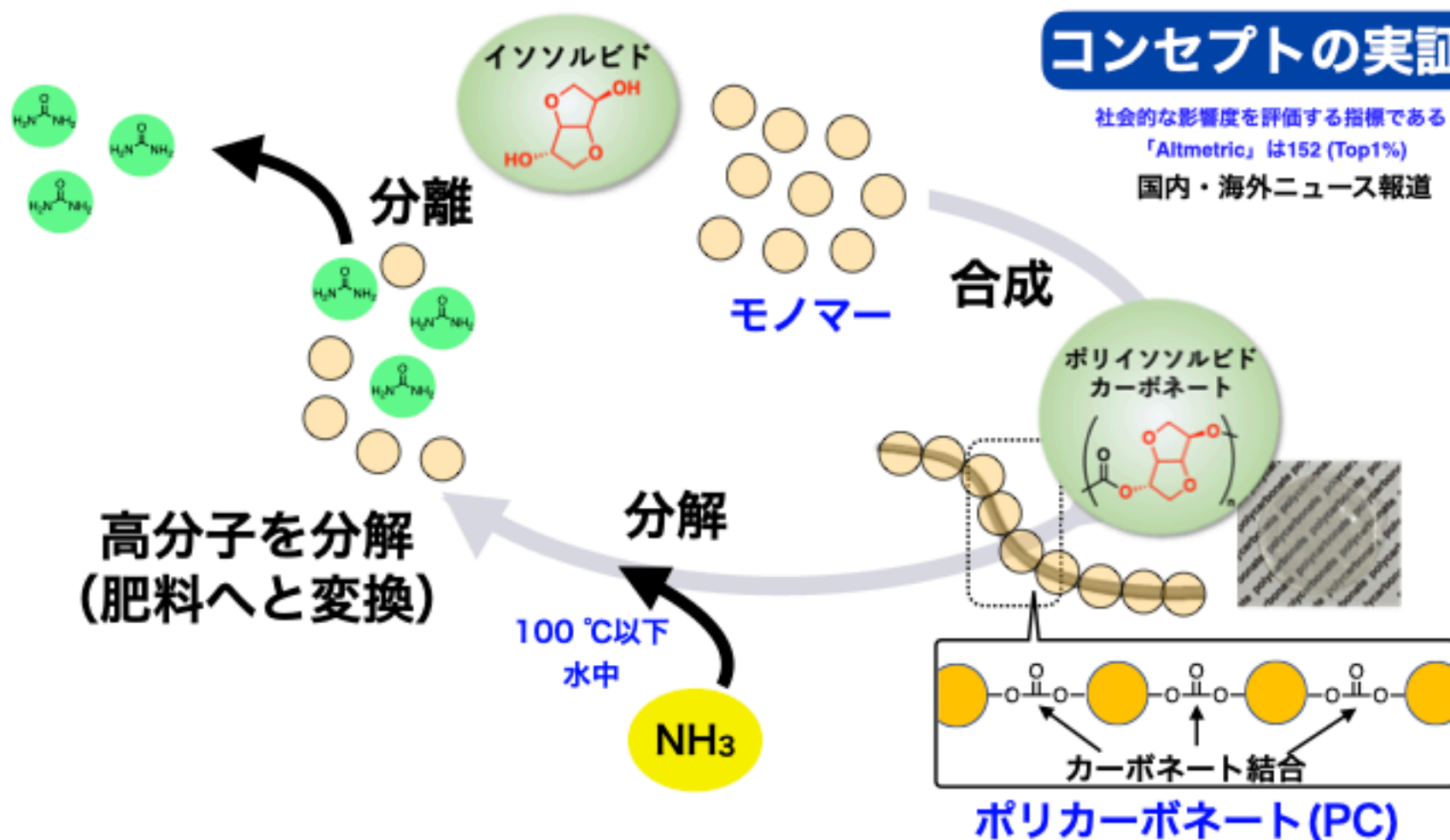


カーボネート結合がアンモニアと
反応して尿素へと変換可能

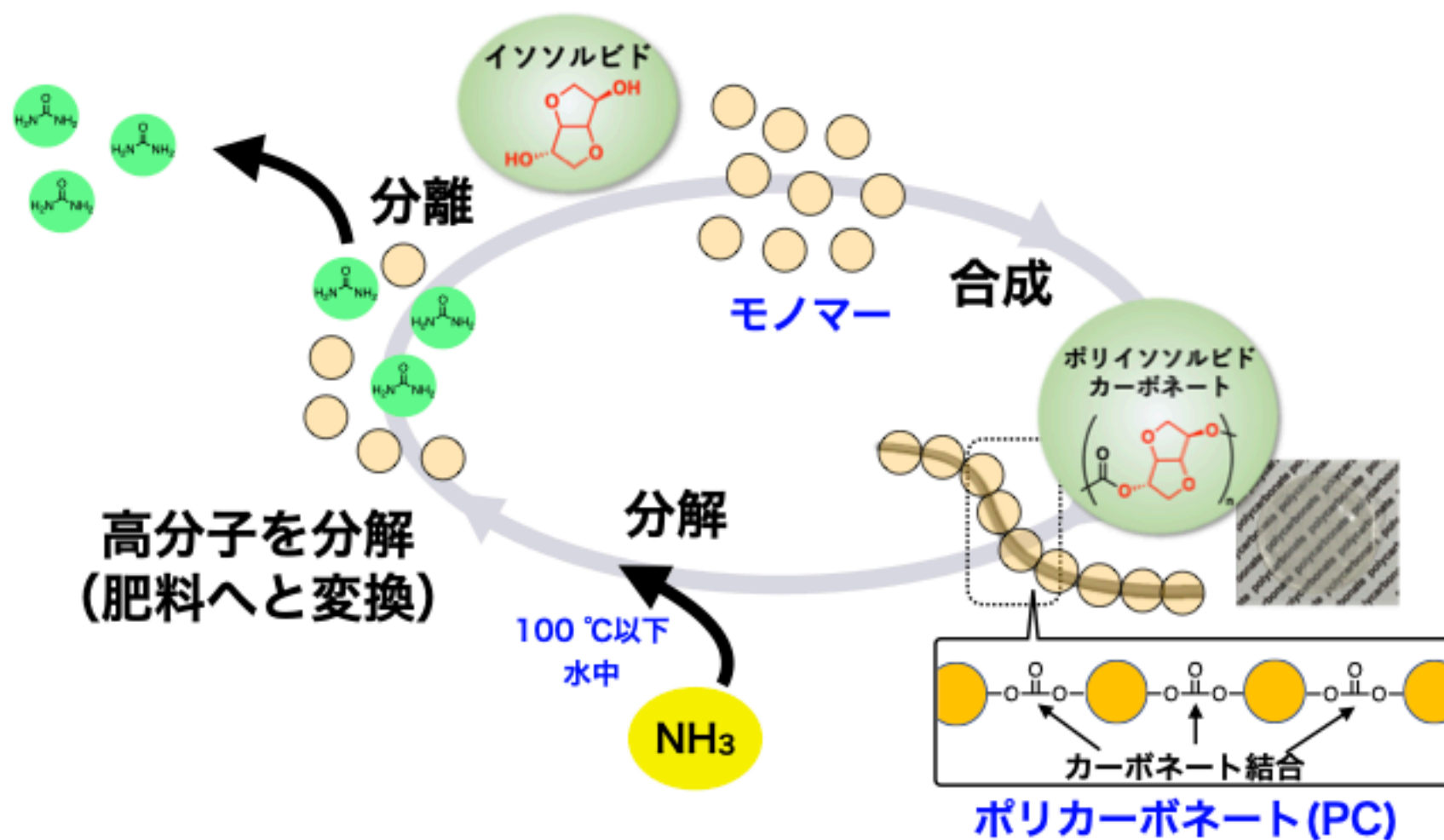


コンセプトの実証

社会的な影響度を評価する指標である
「Altmetric」は152 (Top1%)
国内・海外ニュース報道



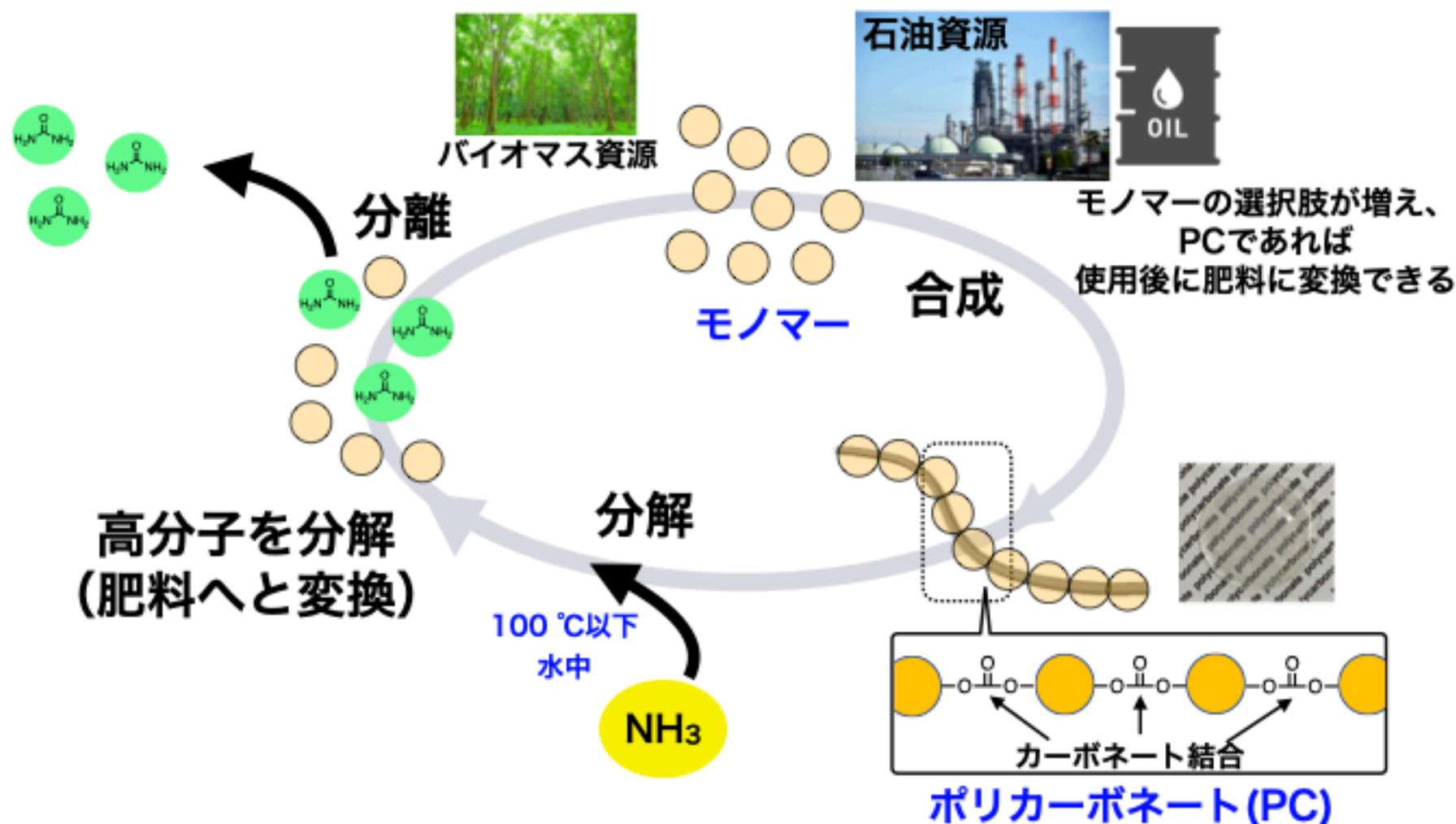
研究の背景・目的



研究の背景・目的

課題

石油由来のPCであれば分解生成物を完全に分離する技術
バイオベース由来のPCであればその物性を改質する手法



産業用途でポテンシャルのある市場



自動車関係
国内市場規模
約53000トン/年



ウォーターサーバーボトル
国内市場規模：
約1000トン/年

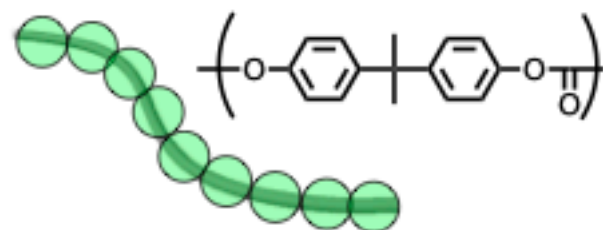


ナミイタ/カーポート/アーケード
国内市場規模
約9,000トン/年



高速道路遮音壁
国内市場規模
約5,000トン/年

石油由来PCは、年間20万トン（発生/国内）廃棄されている
そのうち1/4を回収して変換すると ビスA 4 万t と 尿素. 1.1 万t が得られる
 国内尿素生産量は38万トン



純粋なPC

ヘッドランプ



ハードコート

ガロン

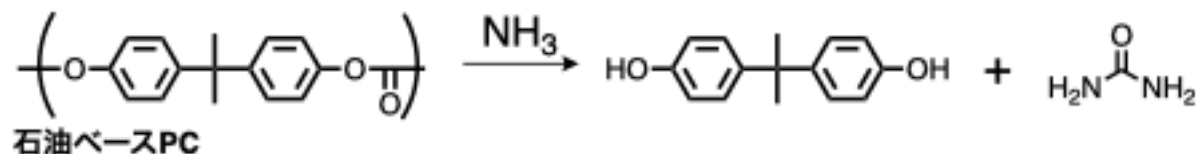


滑剤 ブルーリング剤

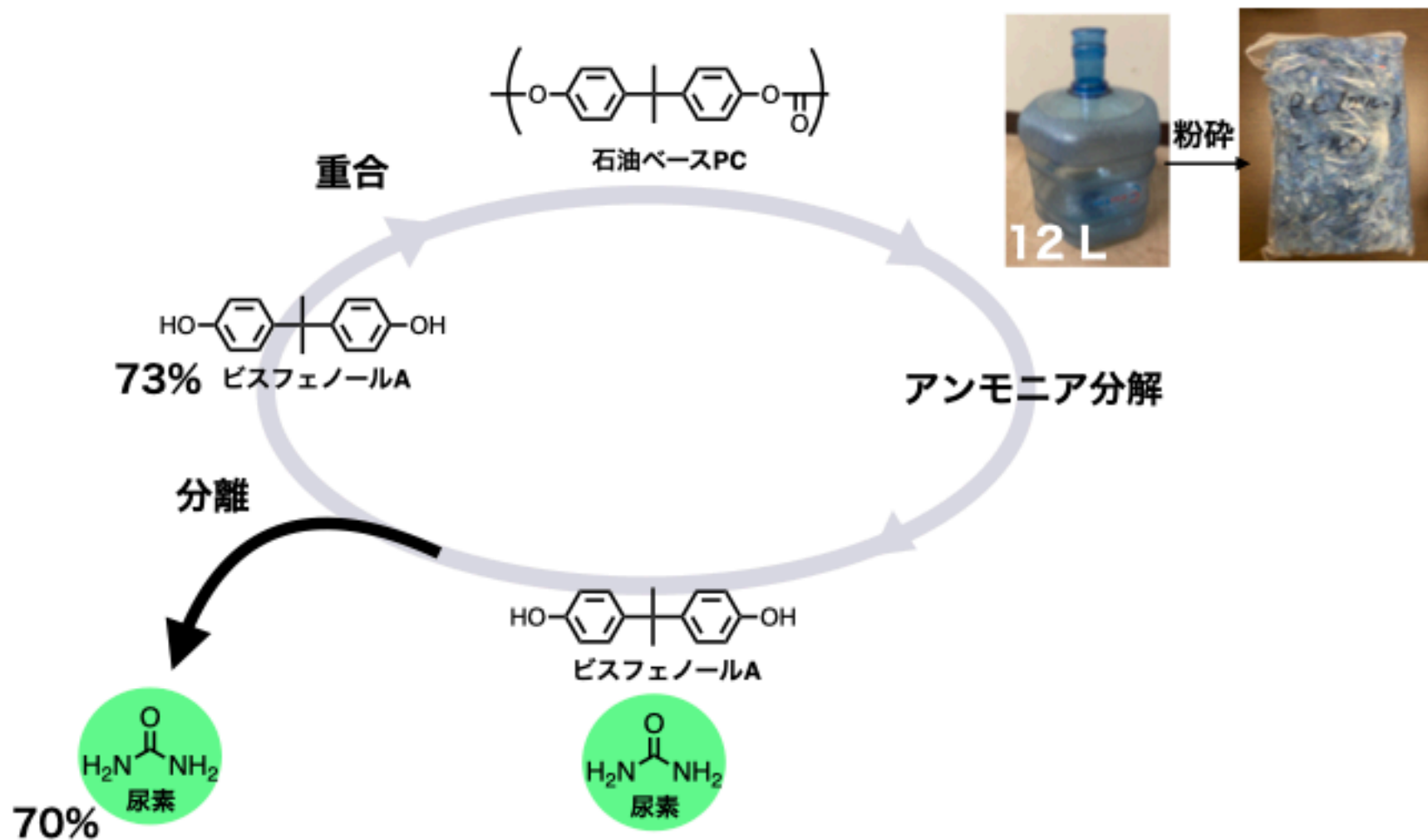
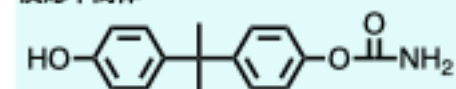
分解・分離の難易度



石油ベースPCの分解と分離



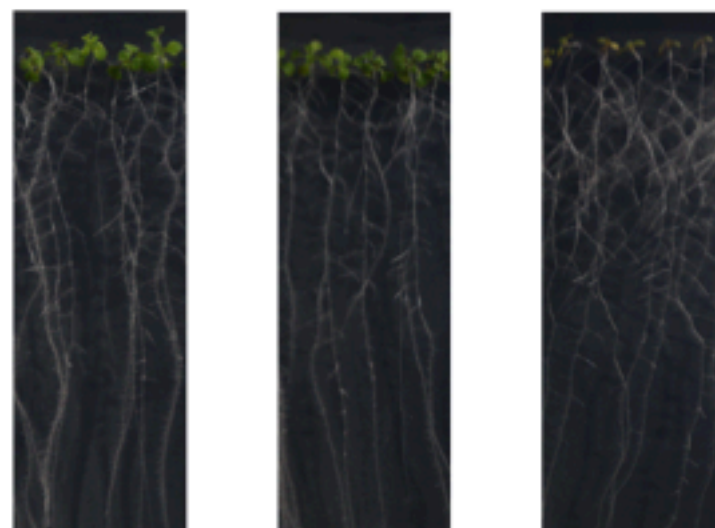
反応中間体



石油ベースPCの分解と分離、リサイクル



✓ 尿素有肥料としての利用価値の検討



尿素
(PC由来)

尿素
(試薬)

肥料なし

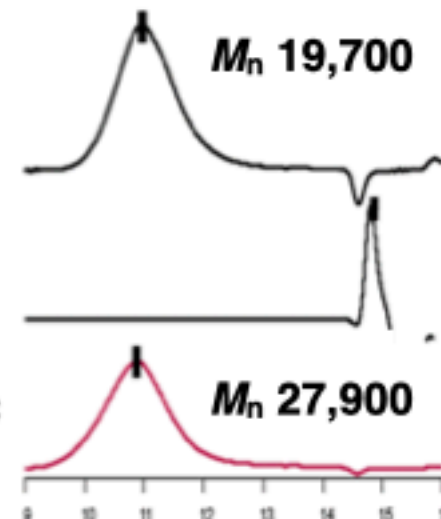
➡ 肥料として利用可能
神谷G、西田Gに依頼

✓ 単離したモノマーを用いたのPC重合

ウォーターサーバーの
断片

アンモニア分解後

ケミカルリサイクルしたPC



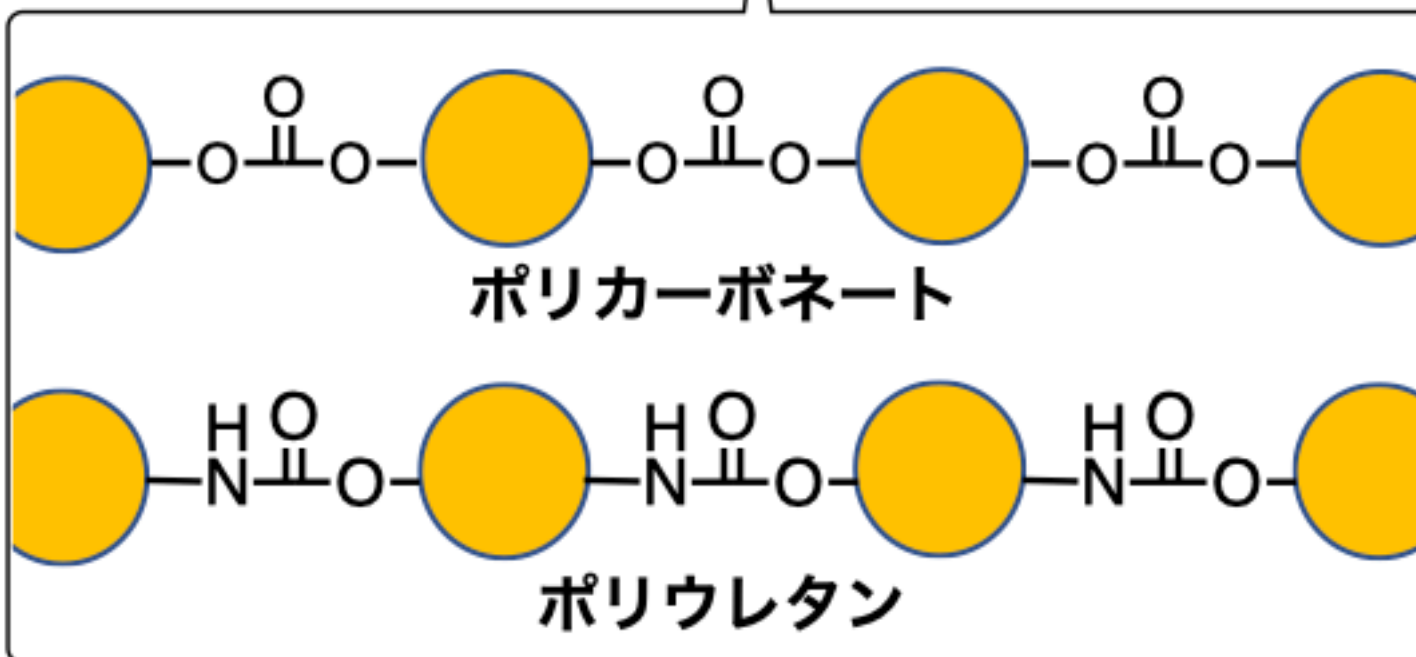
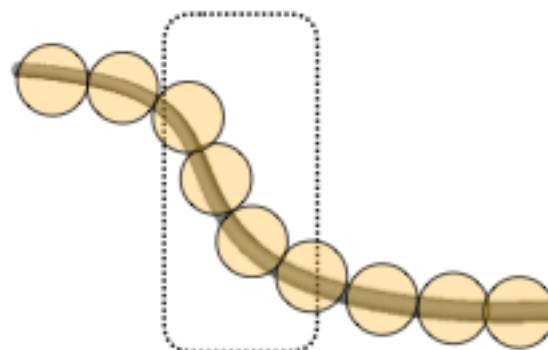
➡ 分子量10,000を超える
ポリマーの重合に成功

収穫日のコマツナ

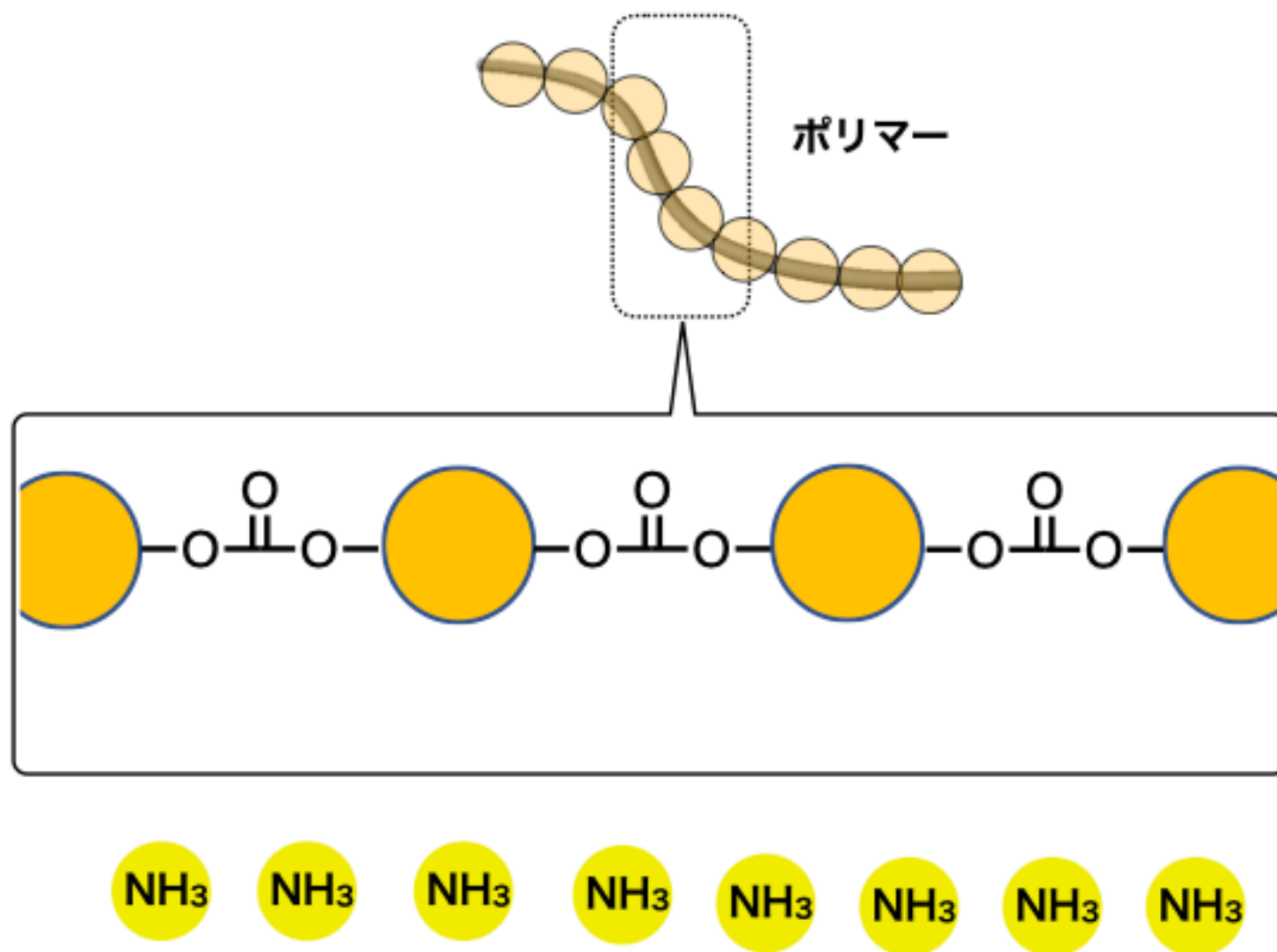
東北大 西田先生



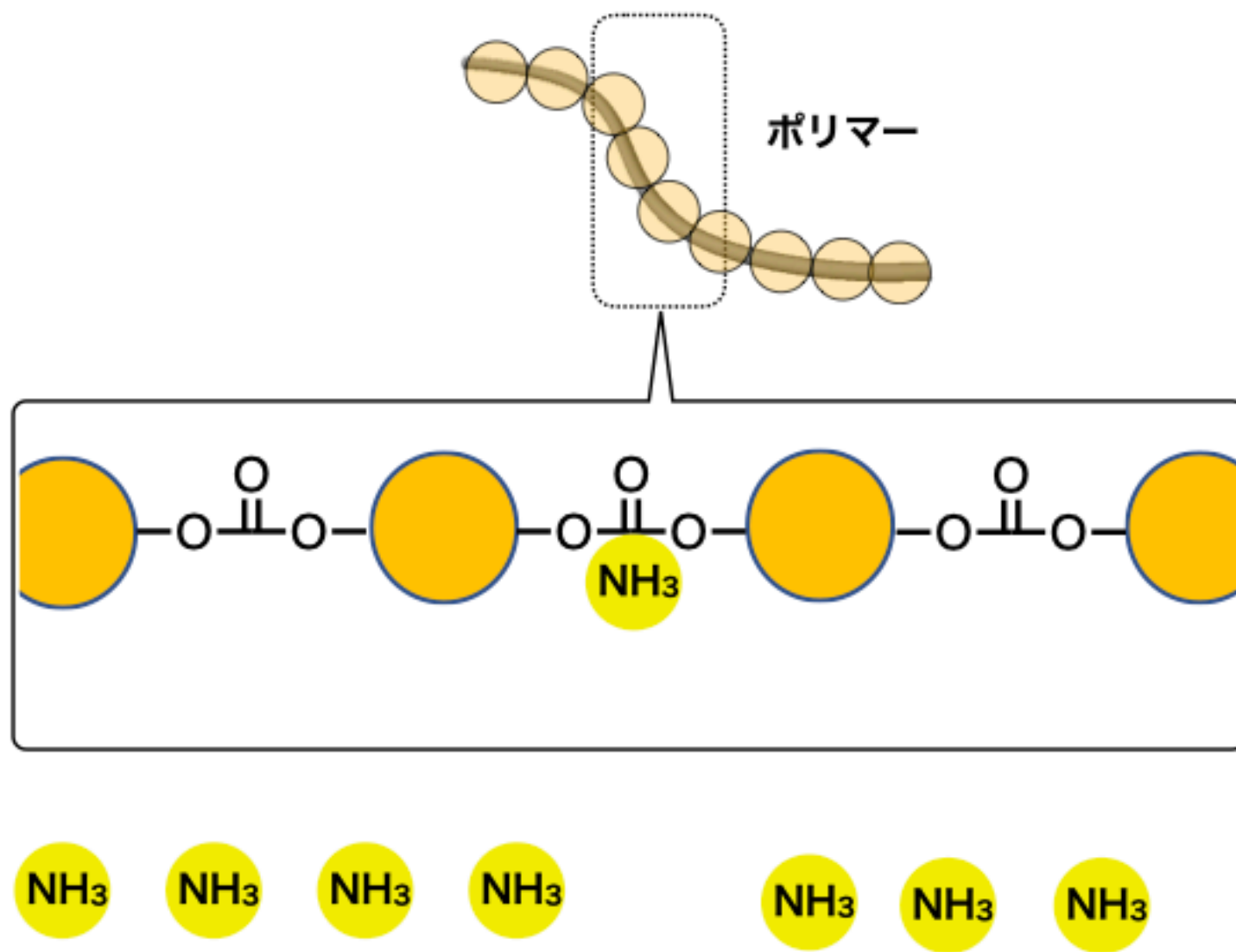
ポリウレタンの話



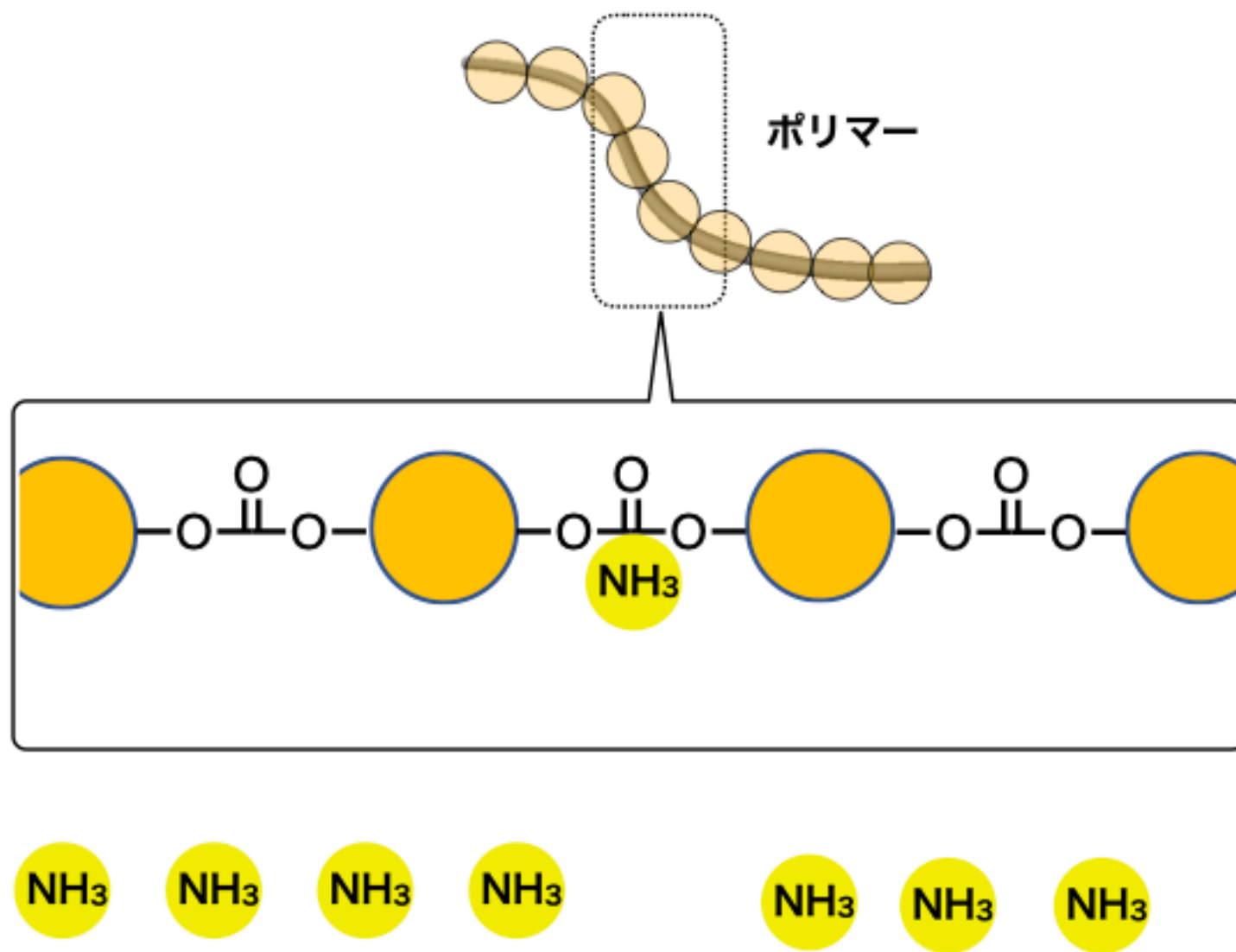
プラスチックから肥料を作る



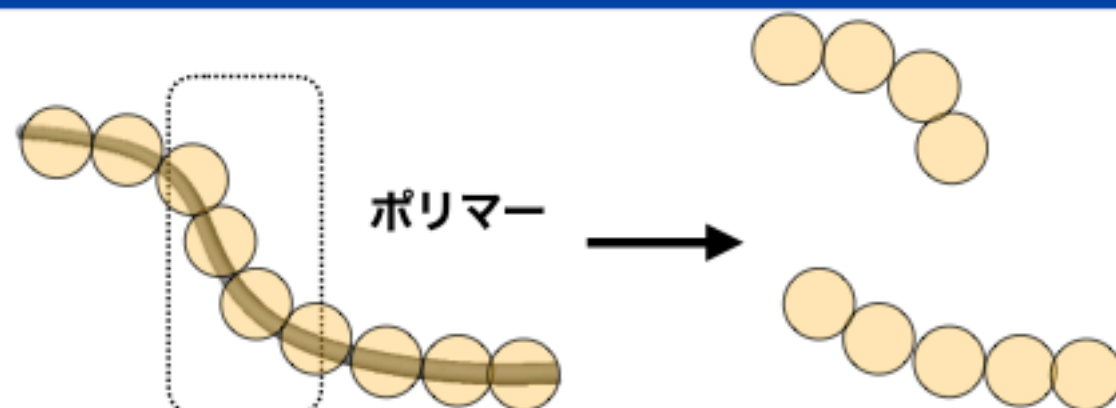
プラスチックから肥料を作る



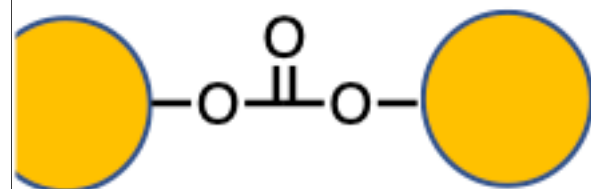
プラスチックから肥料を作る



プラスチックから肥料を作る



ポリマー



NH₃

NH₃

NH₃

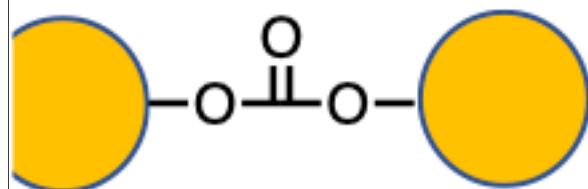
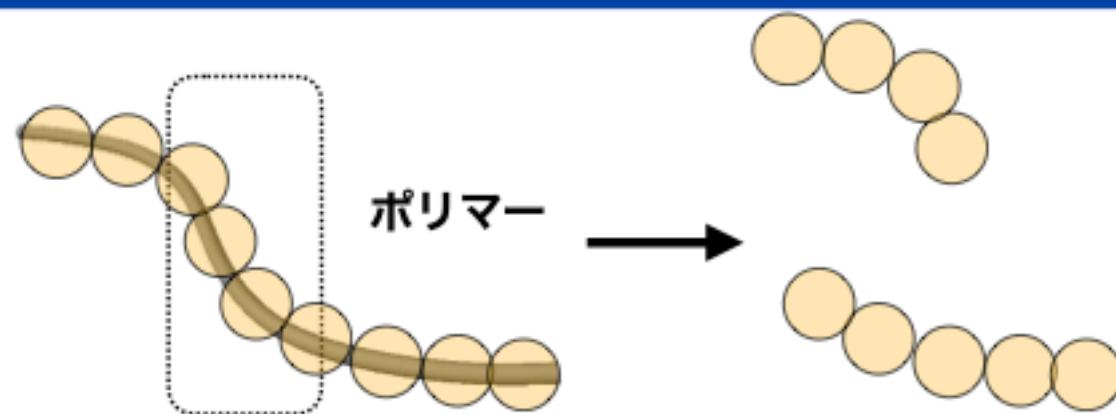
NH₃

NH₃

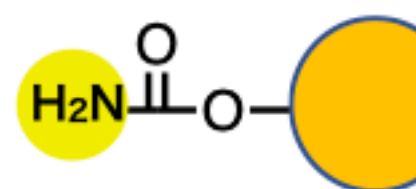
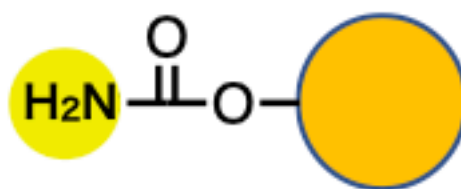
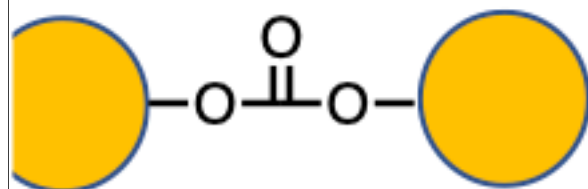
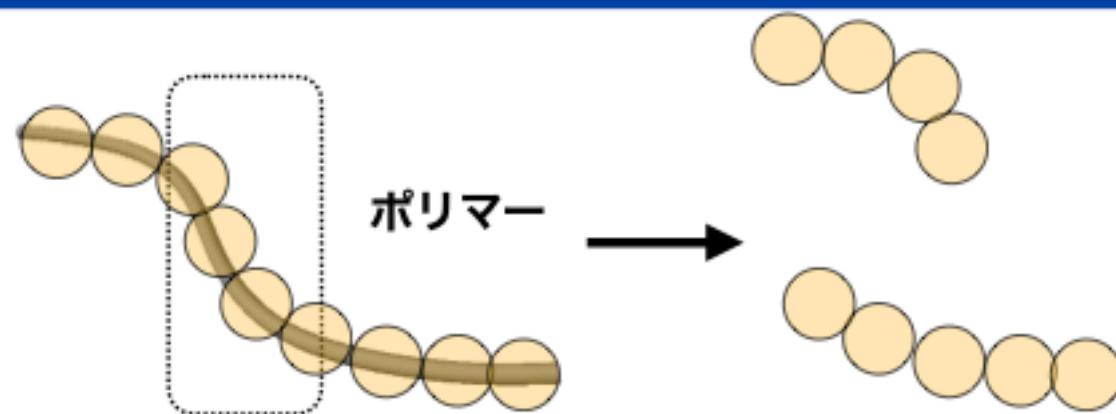
NH₃

NH₃

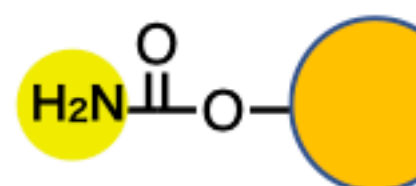
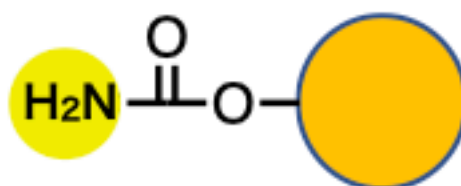
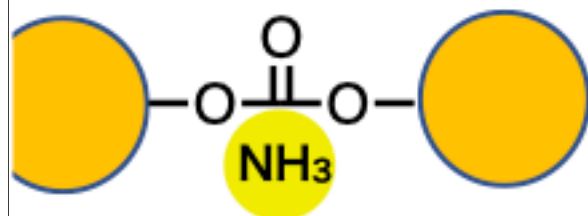
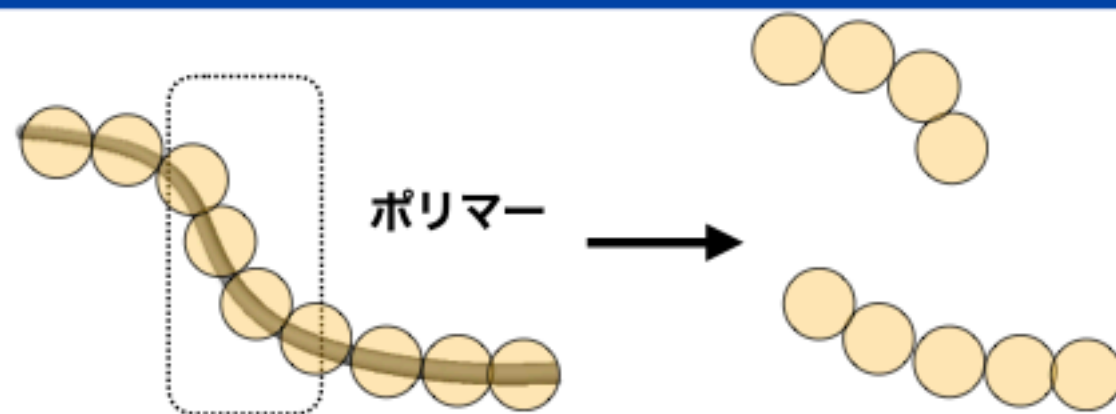
プラスチックから肥料を作る



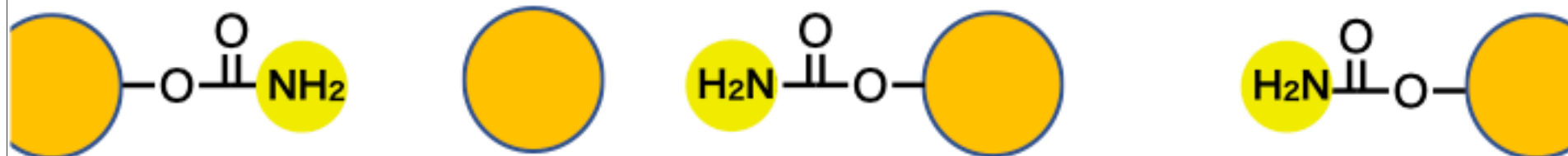
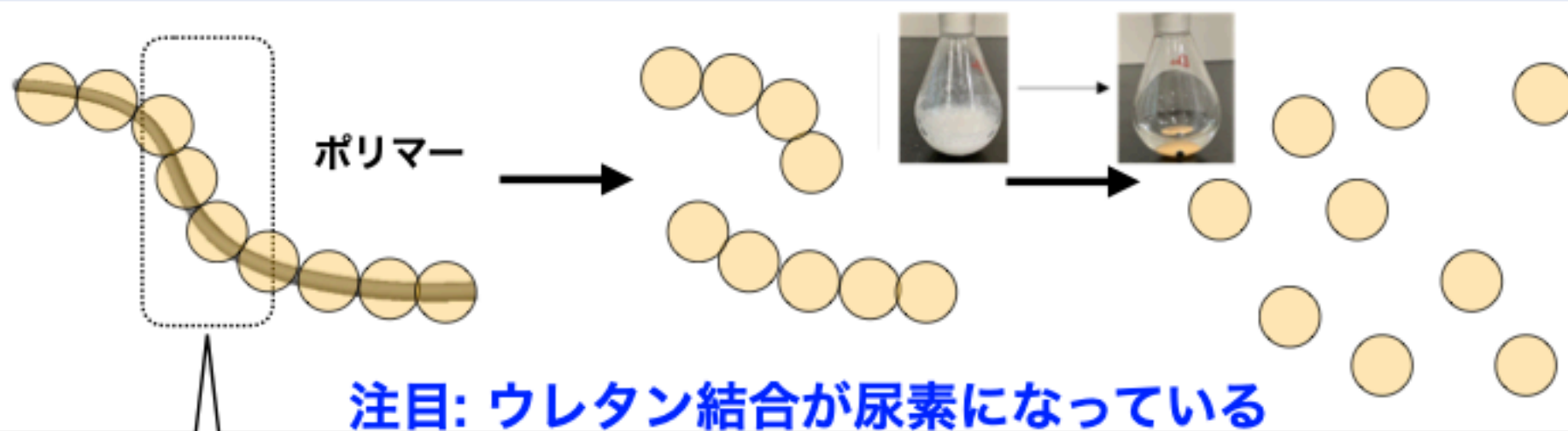
プラスチックから肥料を作る



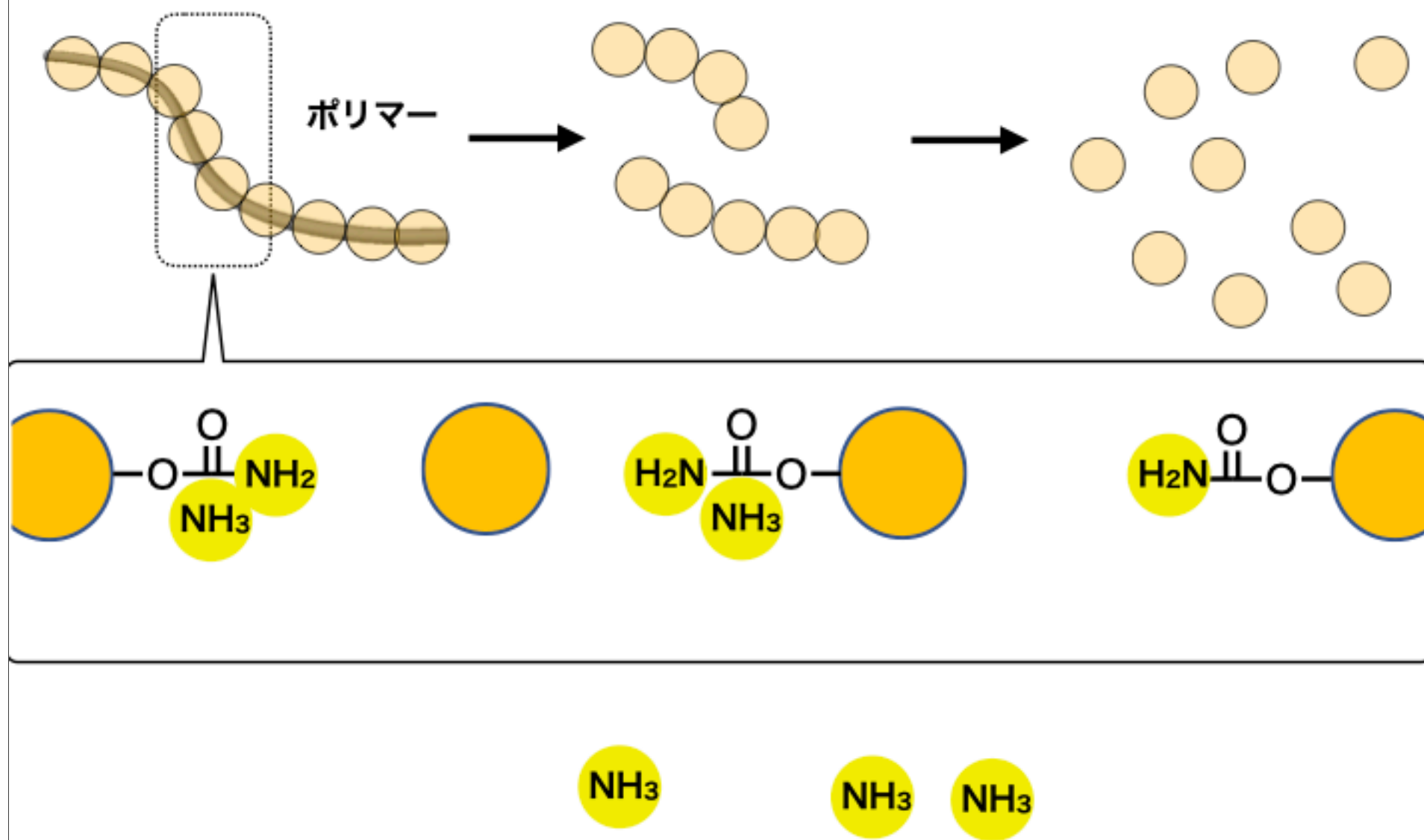
プラスチックから肥料を作る



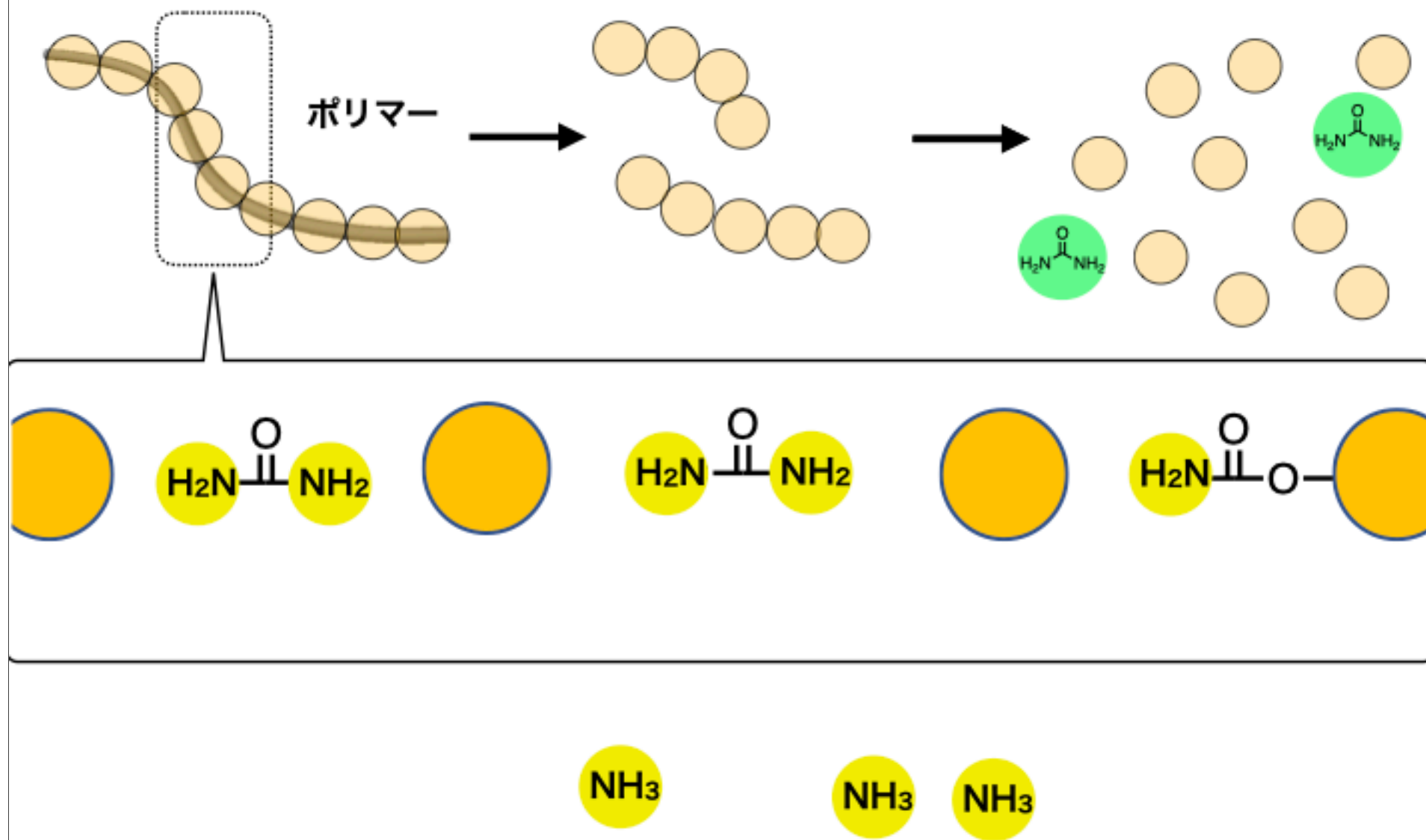
プラスチックから肥料を作る



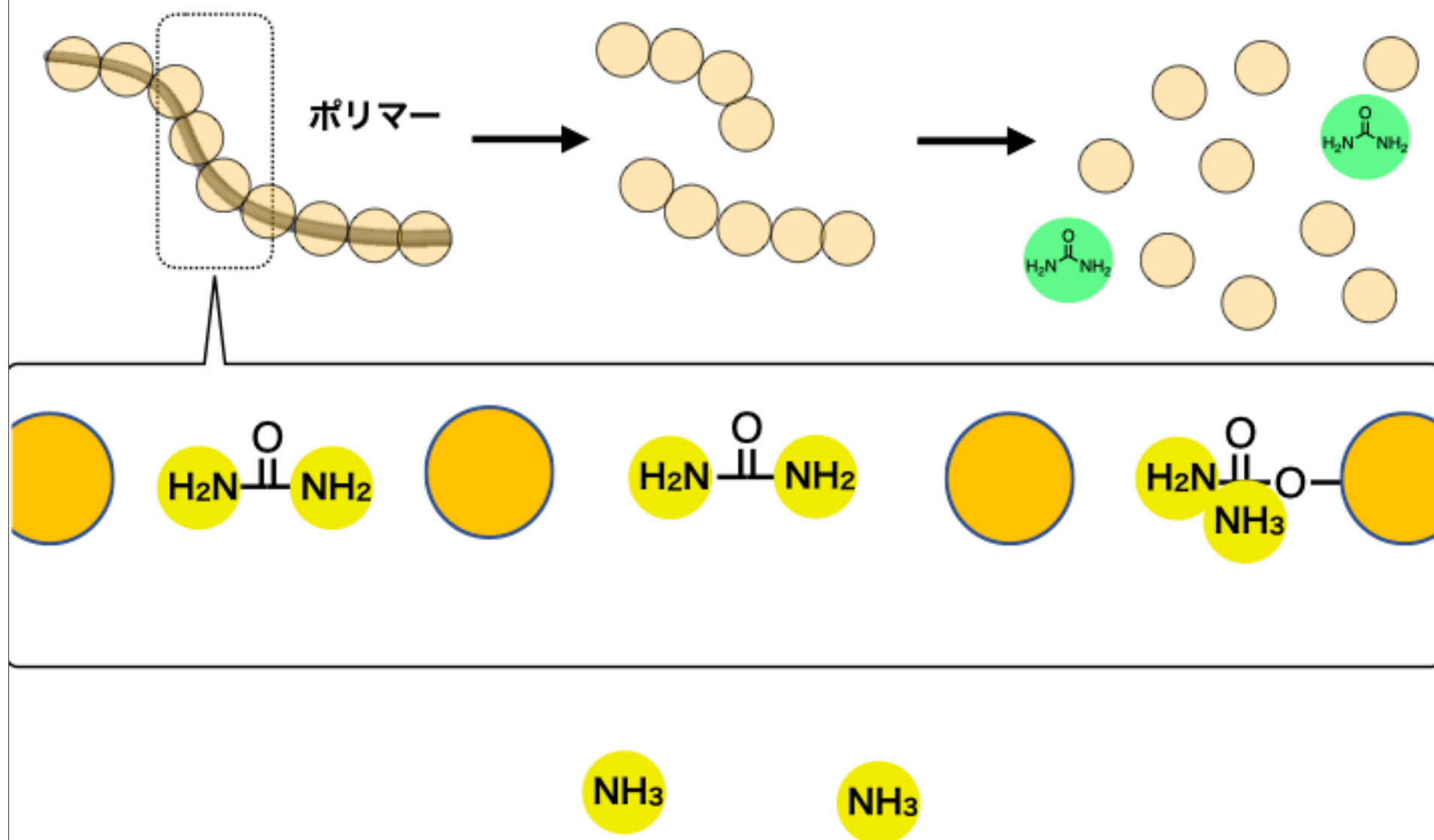
プラスチックから肥料を作る



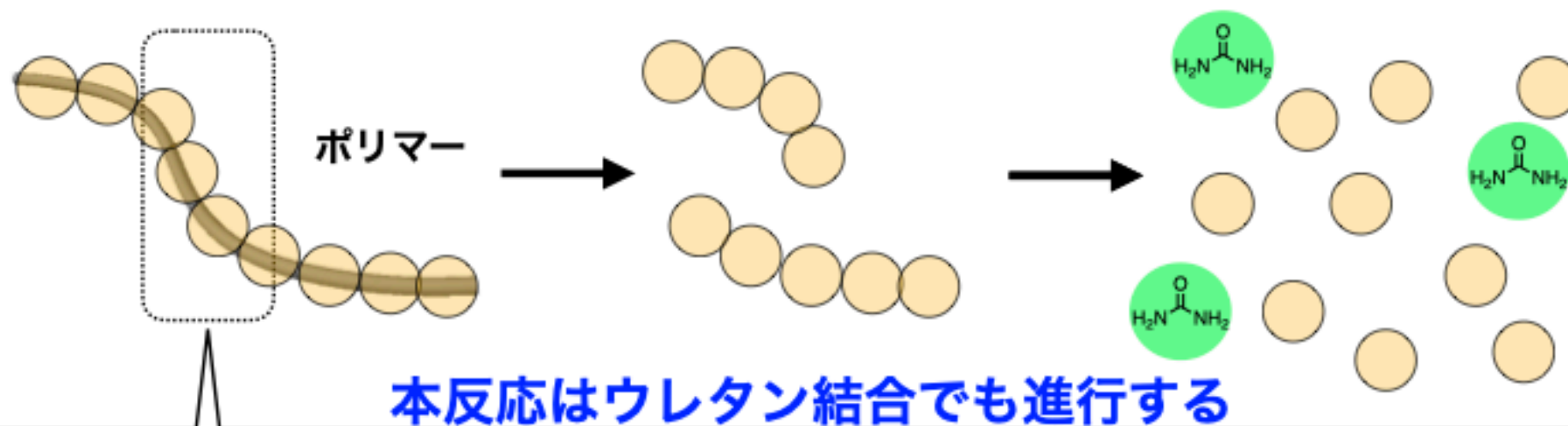
プラスチックから肥料を作る



プラスチックから肥料を作る



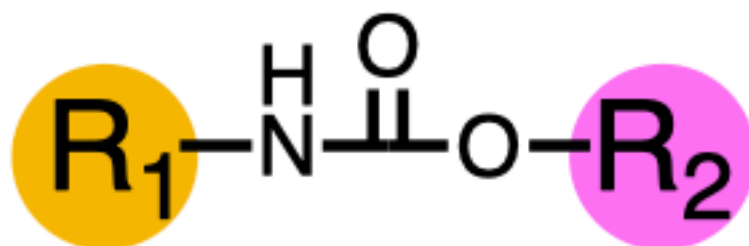
プラスチックから肥料を作る



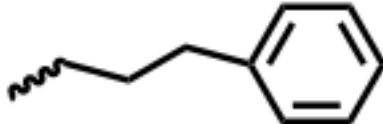
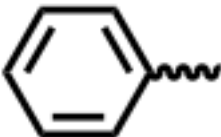
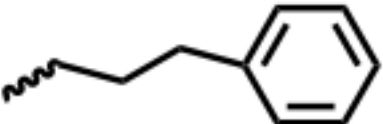
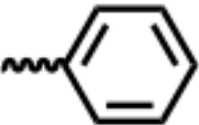
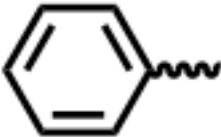
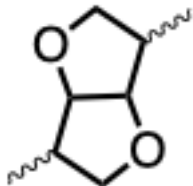
注) 脱離能の高いアルコールであることが重要

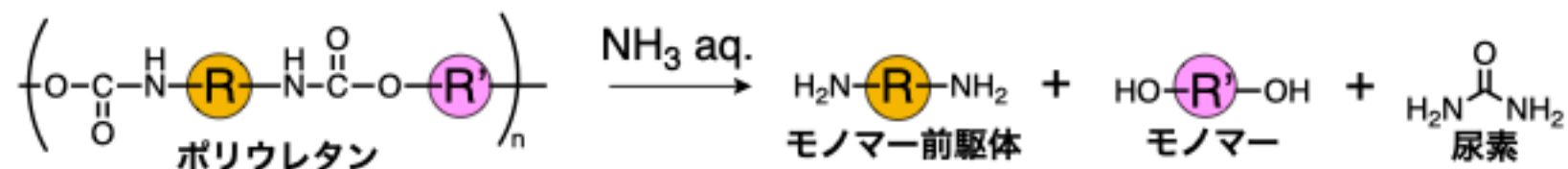


脱離能の高いアルコールとは



ウレタン結合

		分解率
		0%
		< 20%
		100%
		98%



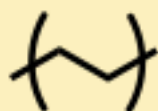
ポリウレタンの動画

先端研究

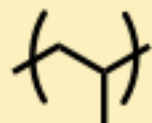
ソフトな材料からハードな材料をPCで賄うことができれば、
現在市場に出回っている「リサイクルできない高分子材料」を
「肥料に変換できるPC、PU」で代替することができる

市場に出回っている分解できない高分子

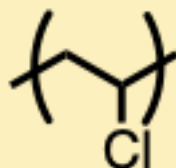
ポリエチレン



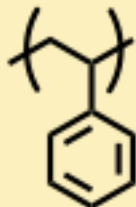
ポリプロピレン



塩化ビニル樹脂

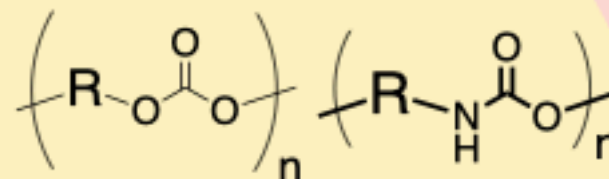


ポリスチレン



肥料に分解できる

ポリカーボネート、ポリウレタン



柔らかい

硬い

強靱

機能性

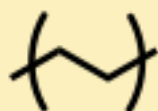
使用後のポリカーボネート、ポリウレタンをアンモニアで処理することで
廃棄プラスチックから肥料を作る

先端研究

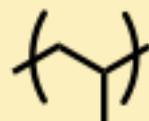
廃棄プラスチックは肥料に変換されるという新しい常識を作る

市場に出回っている分解できない高分子

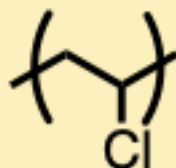
ポリエチレン



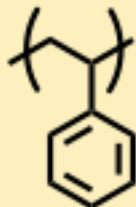
ポリプロピレン



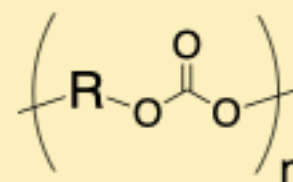
塩化ビニル樹脂



ポリスチレン



肥料に分解できるPC



柔らかいPC

硬いPC

強靱なPC

機能性のPC

“プラスチックからパンをつくる”
プラスチック問題、食料問題を救う

ポリカーボネート、ポリウレタンのケミカルリサイクル 従来技術とその問題点

- ・市場に出回っているプラスチックのほとんどがリサイクルできない。循環型材料ではない。
- ・今後SDGsの観点からプラスチックおよびその添加剤も含め循環型材料が求められる。

ポリカーボネート、ポリウレタンのケミカルリサイクル 新技術の特徴・従来技術との比較

- ・使用後にアンモニアで分解することで、肥料として利用できる。
- ・バイオベースポリカーボネートの物性調整手法は共重合しかなかったが、添加剤によって自在に物性を調整することが可能となった。
- ・本技術の適用により、循環社会に適用できる新しい高分子システムが市場に出ることが期待される。

ポリカーボネート、ポリウレタンのケミカルリサイクル 想定される用途

- ・市場に出回っている樹脂の代替
- ・リサイクル樹脂の使用が求められている
自動車業界への樹脂提供が期待される
- ・また、肥料としての用途に着目すると、
プラスチック由来の肥料から植物を育てる
新しい循環型社会を構築できる

ポリカーボネート、ポリウレタンのケミカルリサイクル

実用化に向けた課題

- ・サンプル提供するためのスケールアップがまだできていない。
- ・一緒に開発を進めていこうという熱意のある企業がない
- ・合成スキームは簡便なので、実用化に向けて、サンプル提供できるスケールまでもっていく。

ポリカーボネート、ポリウレタンのケミカルリサイクル 企業への期待

- ・スケールアップについては、外部受託によってすぐに実施できる
- ・有機合成や高分子合成、高分子成形の技術を持つ、企業との共同研究を希望
- ・また、本可塑剤はバイオベースであり、生分解性も期待できることから、自動車や素材、さらには農業用フィルム分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる

ポリカーボネート、ポリウレタンのケミカルリサイクル

企業への貢献、PRポイント

- ・本技術は従来の高分子材料と可塑剤の使用方式と全く同じ要領で素材の物性チューニングが可能のため、環境循環に則した高分子材料への代替を検討している企業に貢献できると考えている。
- ・バイオベースの材料を扱っている企業とも共同開発の可能性あり

ポリカーボネート、ポリウレタンのケミカルリサイクル

本技術に関する知的財産権

・発明の名称：

ポリイソソルビドカーボネート樹脂の可塑剤として有用な新規イソソルビド誘導体

・出願番号：特願2024-090404

・出願人：千葉大学

・発明者：青木大輔、藤又俊介、力山和晃

ポリカーボネート、ポリウレタンのケミカルリサイクル 産学連携の経歴

- 2022年- JST CREST 事業に採択
- 2023年- JST 起業実証支援 事業に採択

お問い合わせ先

千葉大学 学術研究・イノベーション推進機構（IMO）

TEL 043-290-3048

E-MAIL ccrcu@faculty.chiba-u.jp