



マルチモーダル高機能バイオマスプラスチックの創製 ならびに カーボンネガティブ・高度資源循環社会の構築

広島大学	客員教授	八尾	滋（福岡大学名誉教授）
広島大学	准教授	田中	亮
広島大学	助教	中谷	都志美

本日の発表内容

RFI内容の概要：八尾 滋

ボロン酸を用いた高付加価値化とリサイクル性：田中 亮

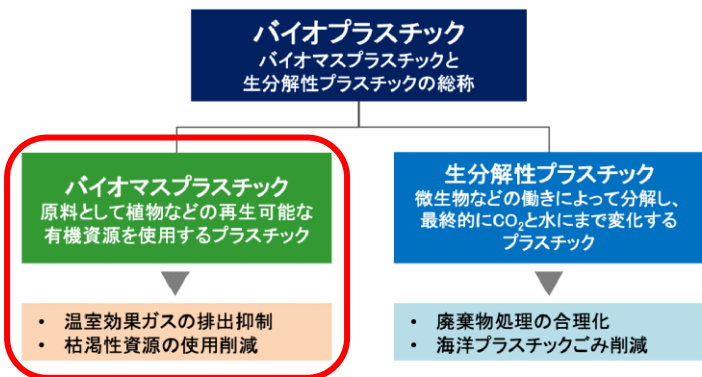
バイオマスフィラーによる高付加価値化とリサイクル性：中谷都志美

絡み合い制御による高付加価値化、バイオマスケミカルによるバイオマテリアル化
および多回リサイクルプロセス：八尾 滋

研究開発体制と研究目標ならびに波及効果：八尾滋

● バイオマスプラスチックの重要性

バイオマスプラスチックの定義と環境特性



バイオマスプラスチックは
カーボンニュートラルであり、
**化石資源の使用削減が
可能**であることから利用促
進が求められている。

(環境省 HPより引用)

これまでの国の方針

➤ プラスチック資源循環戦略（令和元年5月31日）p9~10

「2030年までに、

- ・プラスチック製容器包装の6割をリユース又はリサイクル
- ・プラスチックの再生利用(再生素材の利用)を倍増
- ・バイオマスプラスチックを最大限（約200万トン）導入



バイオプラスチック導入
ロードマップ

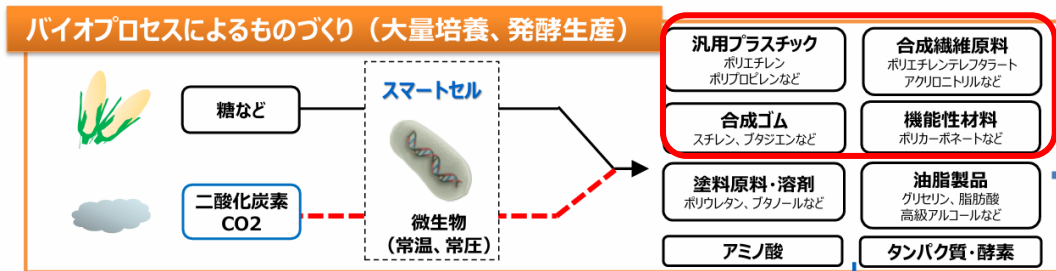
➤ バイオプラスチック導入ロードマップ（令和3年1月）p19

研究開発・生産体制の整備

・バイオプラスチックの高機能化、低コスト化、原料の多様化、リサイクル技術の高度化、リサイクル体制の整備、海洋環境含む自然環境等での生分解機能の向上・評価等に係る研究・開発・実証事業を強力に支援する。とりわけ、国内バイオマス利用、国内でのバイオプラスチック製造を重点的に支援する。

➤ バイオ政策のアクションプラン（令和6年8月）

バイオマスによる汎用プラスチック製品の生産計画



一般社団法人日本自動車工業会においても導入が表明される

◆ 自主目標値の適用条件は、自動車の特性を勘案しつつ以下のとおりとし、**あらゆるリサイクル
段階・素材関連業界の取組促進を図る**

対象車両

2035年以降*¹の国内生産・発売される新型乗用車*²

対象素材

再生プラスチック材(マテリアル・ケミカル品)*、**バイオプラスチック材**
(上記素材をサステナブルプラスチック(サスプラ)と総称)

* 工程内端材/マスマン材も含む

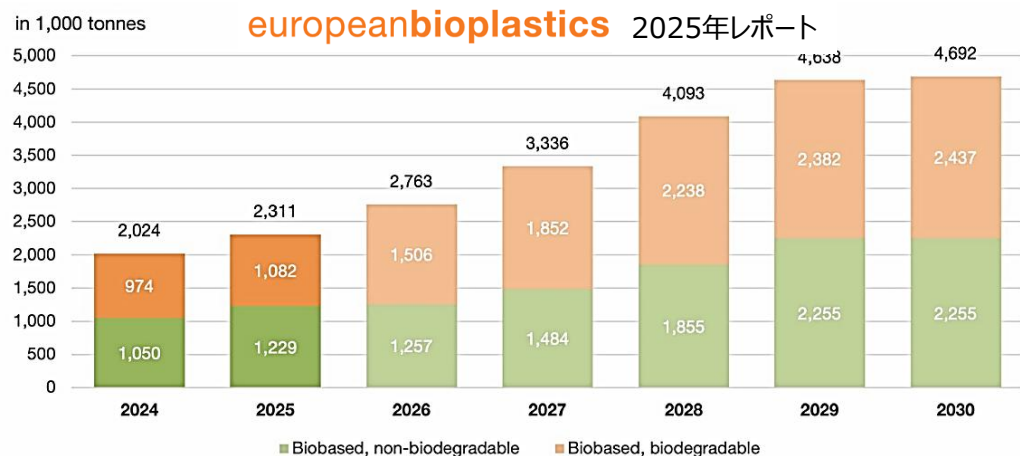
2050年 長期ビジョンと中長期ロードマップ 3

● バイオマスプラスチックの将来像

➤ 全世界での生産量：実績と推定（europeanbioplastics レポートより）

2024年実績：生分解性も含めて約200万トン → 2030年推定：生分解性も含めて約470万トンに増加

Global Production capacities of biobased plastics 2025-2030



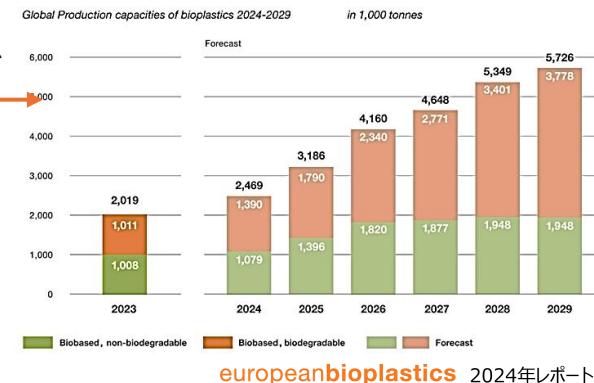
Source: European Bioplastics, nova-institute (2025)

ただし、

➤ 昨年資料は2029年には600万トンを予想

→ 大幅に生産量予想が下方修正
(生分解性予想が380→240に大幅減)

→ 非生分解性は200→225に微増だが、
2028年からほぼ頭打ち状態



2023年 europeanbioplastics レポートからの提言

European Bioplastics considers a sound and well-functioning, source-separated waste collection as one of the essential measures to fight marine litter. All types of waste should find their way to appropriate and controlled forms of waste management and recycling. Bioplastics offer several benefits in well-functioning waste separation systems. **Non-biodegradable materials** like bio-based polyethylene (PE) or polyethylene terephthalate (PET) **can, after multiple uses, be collected together with their fossil counterparts and delivered to suitable recycling or recovery streams.**

非生分解性のバイオマスは繰り返し利用でき、リサイクルや資源化が可能



非生分解性バイオマスの高度用途展開とリサイクル技術構築が重要

バイオマスの課題（１）

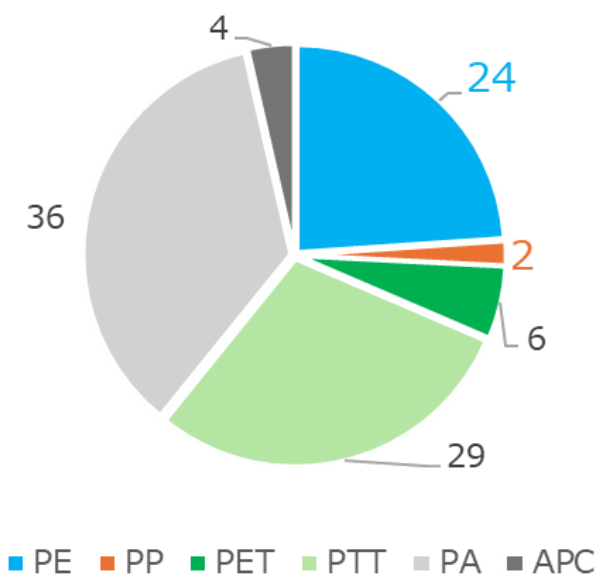
➤ 1. 生産コスト

我が国の利用事業者へのヒアリングによると従来の化石資源由来プラスチックと比した各バイオマスプラスチック（非生分解性）の単価は、**バイオPEが約 3 倍、バイオPET が約 1.5 倍**となっており、バイオマスプラスチック（非生分解性）の需要が増加しない大きな要因となっている。

バイオプラスチック導入ロードマップから引用（令和3年 1 月）

➡ 解決策：高付加価値化、あるいはコストの影響が少ないCN活用分野（医療）へ展開

➤ 2. 生産できるプラスチック種の偏り



汎用プラスチックでバイオ生産が確立しているのはPEのみ
他のバイオマスでは、市場構築から行う必要がある

エチレンの合成（発酵法でのエタノールを酸などで分子内脱水）



発酵法プロピレンも検討されているが、主流はマスバランス法

マスバランス法：バイオマス廃油などを石油精製プラントに投入し
量比でバイオマスと認定する方式
焼却時のみ、CO2排出量がないと認定

➡ 解決策：まずはバイオマスPEで市場確立が重要

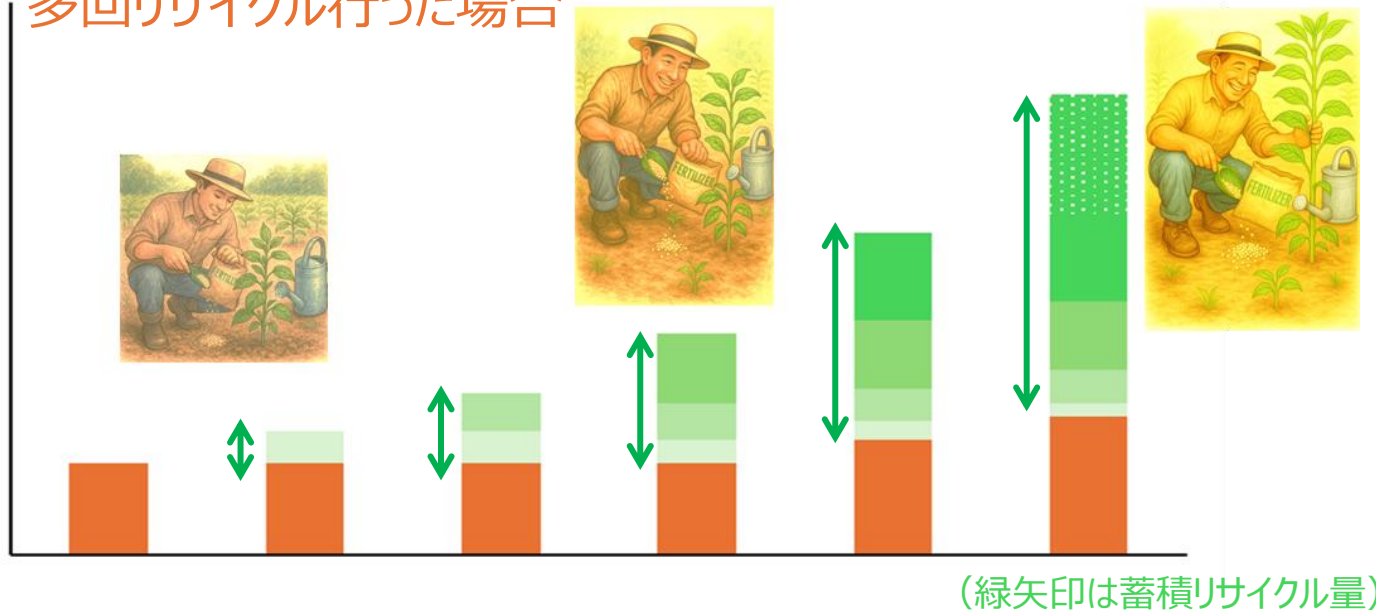
バイオマスの課題（２）

➤ 3. 生産能力の限界

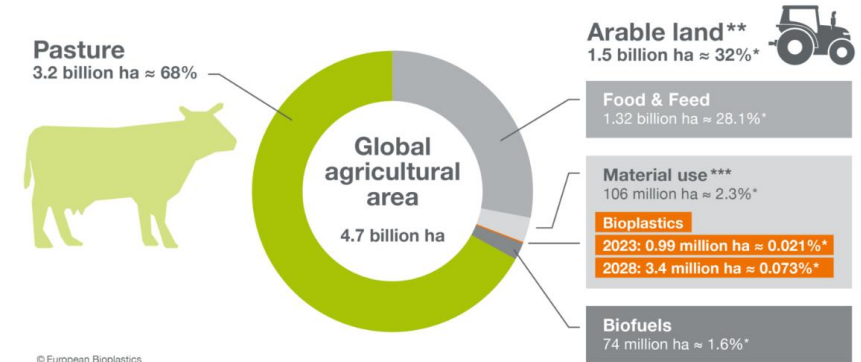
- 生物多様性などによる耕地開拓の限界
- 可食性作物利用の限界（非可食性の限界）
- 他用途（エネルギーなど）とのバッティング

全耕地に対する割合 2023年0.021%→2028年0.073%

多回リサイクル行った場合



Land use estimation for bioplastics 2023 and 2028 Source europeanbioplastics



* compared to the global agricultural area
** including approx. 1% fallow land
*** land use for bioplastics is part of the 2.3% material use

多回リサイクルを行わない場合



炭素源の蓄積が不可なため、需要増に応じて、
培地・肥料・水・労働力などが不足・疲弊する

➡ 解決策：多回リサイクルの実現→ 社会蓄積ができ、将来的な需要増に無理なく対応可能

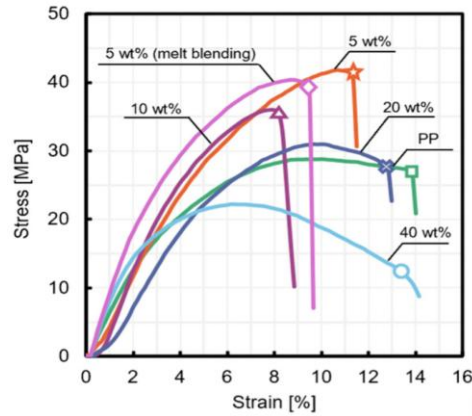
高付加価値化・CNの活用と多回リサイクルを可能とする技術開発が必要

本提案の目標 1

➤ テーマ1：バイオマスプラスチックの高付加価値化・CNの活用

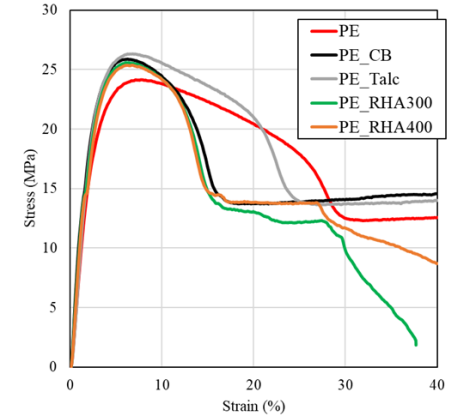
バイオマスPEをモデルケースとして、可逆性動的架橋、新規バイオフィラーコンポジット、絡み合い制御、バイオマテリアル化に関する最新の研究成果を適用し、マルチモーダルに高付加価値化する。

✓ 動的架橋による高性能化（高機能化）



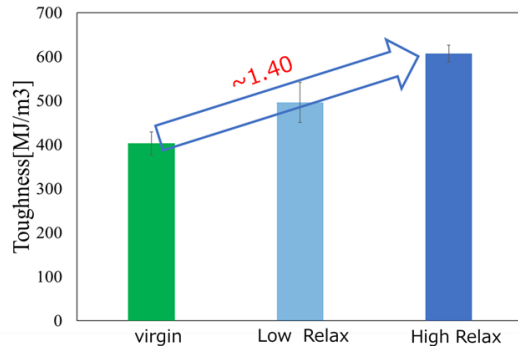
動的架橋物少量
添加による高性能
化事例

✓ バイオマスフィラーによる高強度化（高機能化）



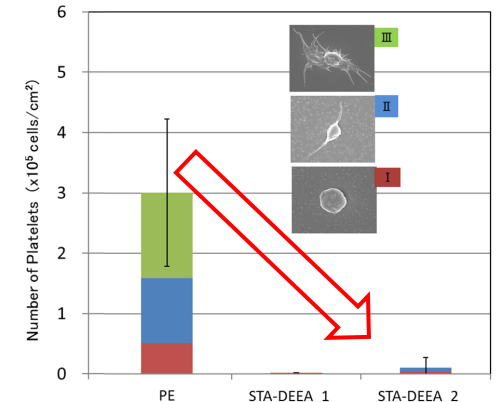
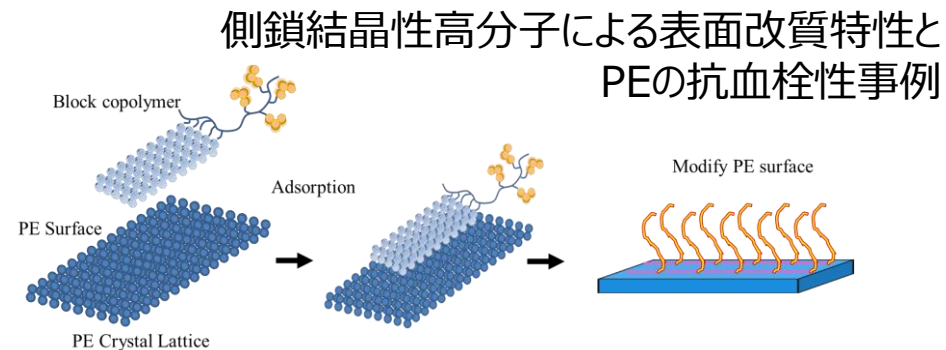
もみ殻灰コンポジット
による高性能化事例
(相溶化剤無添加)

✓ 絡み合い制御による高強度化・長寿命化（高機能化）



せん断履歴緩和による絡み合い数の制御と
高性能化事例

✓ バイオマスケミカルによるバイオマテリアル化（CNの活用）



本提案の目標 2

➤ テーマ2：バイオマスプラスチックの水平・多回マテリアルリサイクル

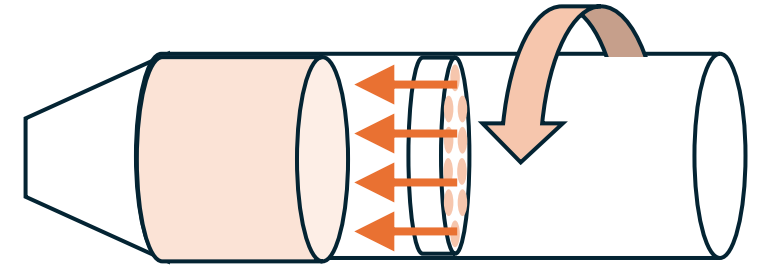
✓ 複合材料再生にも適用できる新規高度マテリアルプロセスの研究開発

✓ リサイクル回数のトレーサビリティシステムの研究開発



高耐熱性蛍光色素を用いたラベリングなど
(英国のPRITHM Projectの事例)

<https://www.nextek.org/project/prism-innovate-uk/>



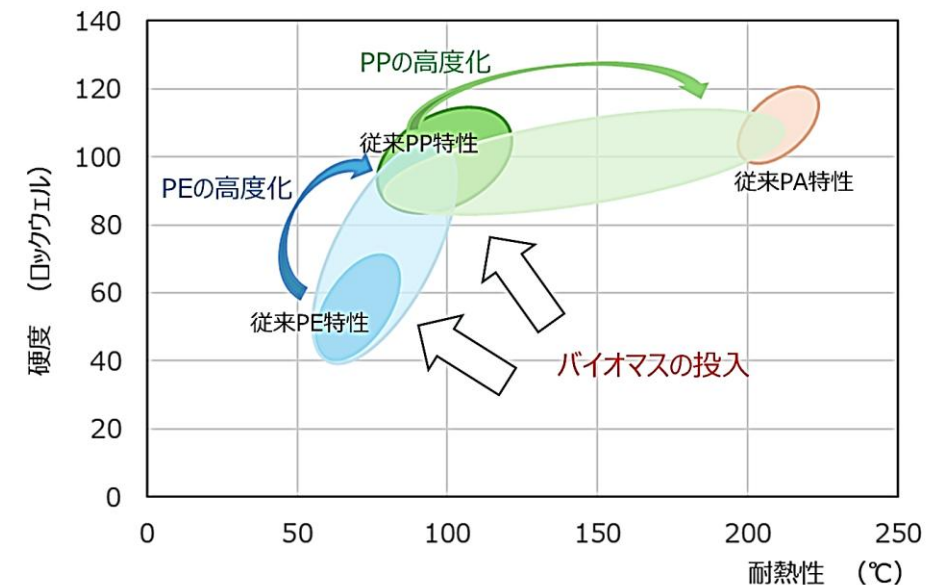
溶融樹脂流動を制御した新規押し出し機
のコンセプト事例

➤ テーマ3：他のバイオマスへ拡張できるノウハウの確立

⇒高性能化バイオマスプラスチックの連鎖拡大

⇒バイオマスプラスチックの適用用途拡大

データベース・AIなどを利用し、バイオマスPE→バイオマス
PP→バイオマスPAと、適用できる用途を拡大



すべてのテーマに対し、計算科学・AIなどを駆使し、理論的に対応する

保有技術
新開発技術説明資料

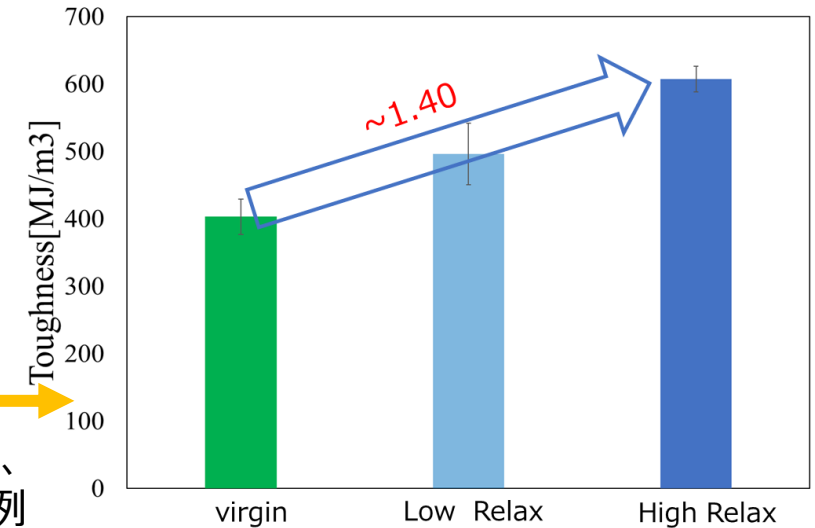
✓絡み合い制御による高強度化・長寿命化

破断エネルギーの違いは初期のタイモレキュール数に依存する。

$$E_B(t) = E_{B0} \cdot N(t) = E_{B0} \cdot N_0 \cdot (1 - p)^t$$

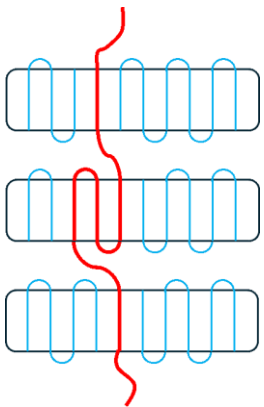
⇒ 熔融状態での絡み合いを増やすことで、タイ分子数が増加し、
靱性・耐久性が増加する

せん断履歴緩和により、絡み合いが増え、
バージンよりも高性能化した事例



ただし、同一種系では、**絡み合い数の増加に限界**がある
(絡み合い点間分子量による制限)

従来のタイ分子数増加のメカニズム



高分子量成分添加により、複数の結晶層を貫くことによる物性の高度化を想定

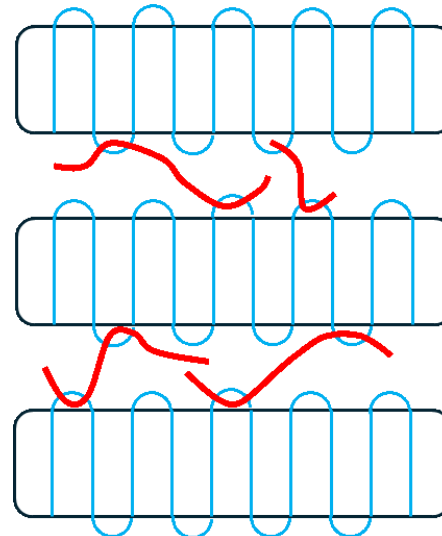
← 高分子量成分が分散し、低分子量成分と相溶することは非常に困難

← 非結晶性には適用不可

← 上記制限条件による限界



低分子量相溶性成分添加による物性高度化



結晶層間の無定形層分子間を動的架橋することにより物性を高度化

← 低分子量であるため、相溶化が非常に容易

← 非晶性高分子にも適用可

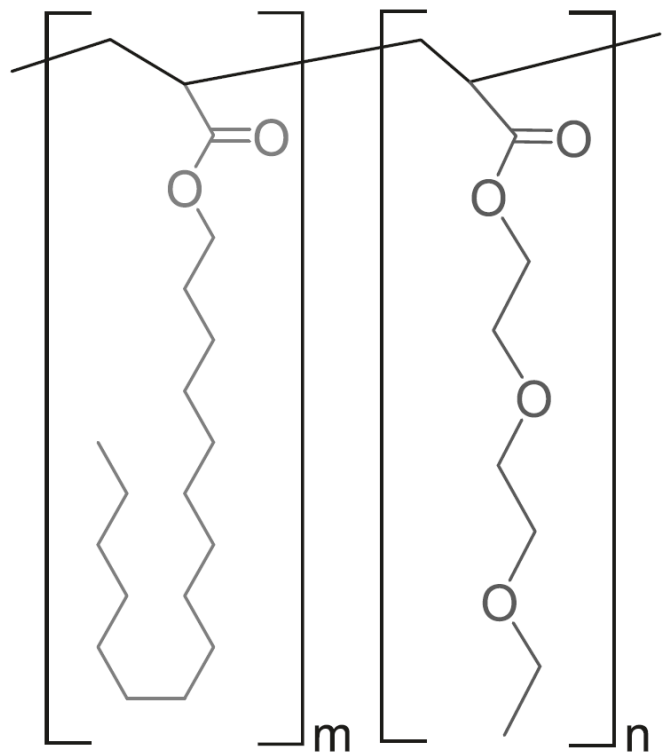
← 絡み合い数制限を回避可能

✓バイオマスケミカルによるバイオマテリアル化

側鎖結晶性ブロック共重合体による化学的表面改質(Side Chain Crystalline Block Co-Polymer:SCCBC)

側鎖に長鎖アルカン鎖を持つ側鎖結晶性モノマーと、種々の機能を持つモノマーからなるブロック共重合体

SCCBCの化学構造例



吸着ユニット

side-chain crystalline
monomer
Stearyl acrylate

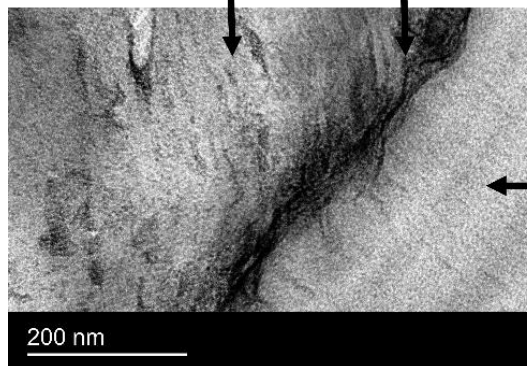
機能ユニット

functional monomer
Di(ethylene glycol)
ethyl ether acrylate

大学発ベンチャーで事業化

接着面のTEM画像

PE layer SCCBC

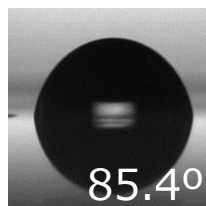


Epoxy
resin

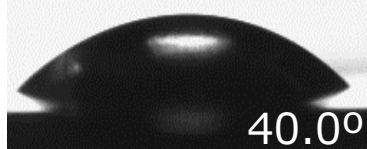
表面親水化



Original PE film



0.3wt% 溶液のコーティング

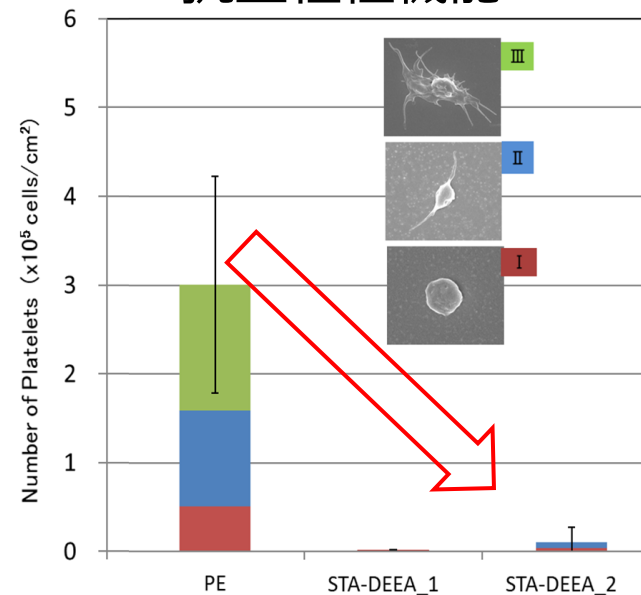


吸着は非常に良好で強固

側鎖結晶性ブロック共重合体は難改質
性PE表面に強固に吸着し表面特性を
任意に改質できる

抗血栓性機能

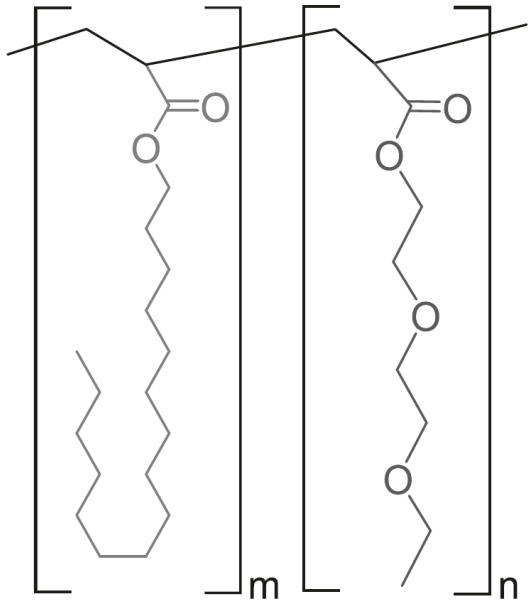
血小板吸着量



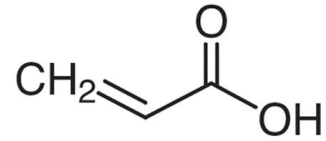
SCCBC改質により
血小板吸着量が
大幅に低下
(九州大との共同
研究事例)

良質な
バイオマテリアル化

ALLバイオマス側鎖結晶性ブロック共重合体の創製：新コンセプトによる開発技術



アクリル酸

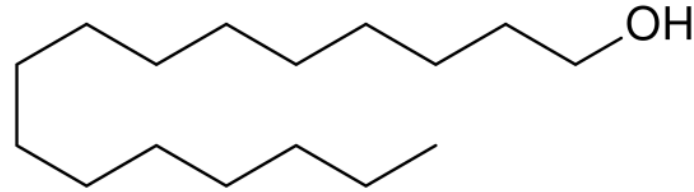


LG Chem¹⁾や日本触媒（NEDOプロ）²⁾により、バイオマスでの製造が開始あるいは実証パイロット化

1) <https://greenproduction.co.jp/archives/28305>

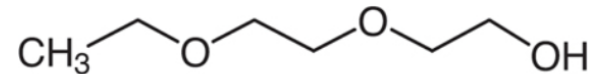
2) https://www.shokubai.co.jp/ja/wpdir/wp-content/uploads/2022/09/20091026_1.pdf

ステアリルアルコール



典型的な植物油脂を原料としたバイオ由来品

ジエチレングリコールモノエチルエーテル



エチレン ⇒ エチレンオキシドのルートで完全バイオ化が可能

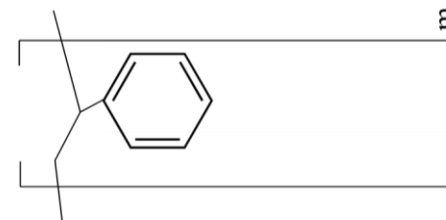


バイオマスPE×バイオマスケミカル = ALLバイオマスバイオマテリアル

焼却処分が不可避の医療用バイオマテリアルへ適用：バイオマスのCNの活用

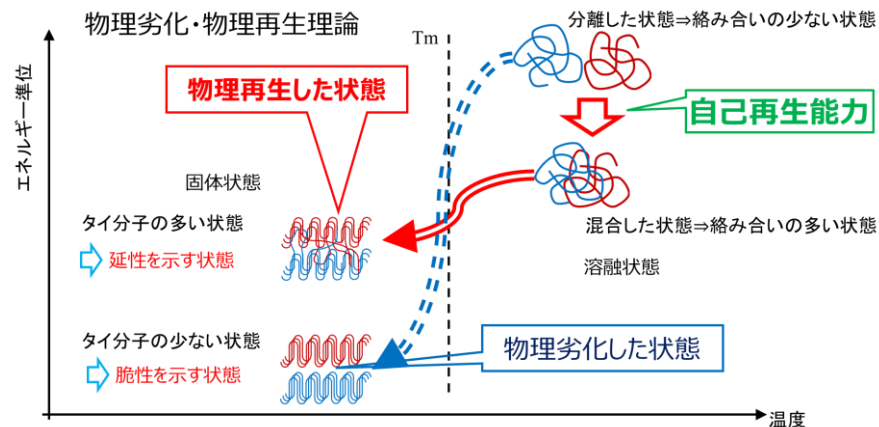
派生研究：機能ユニットにスチレンを適用

PE表面を硬質化 ⇒ PP代替



テーマ2：バイオマスプラスチックの水平・多回マテリアルリサイクル

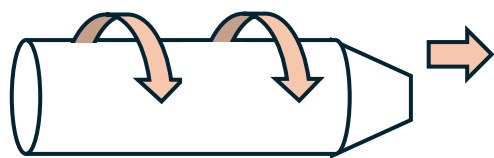
物理劣化・物理再生理論と樹脂溜まり部付き2軸押し出し機での高度再生事例（NEDOプロ成果）



- ◆ モノマテリアルで技術確立
- ◆ メーカーで製品化

✓ 複合材料再生にも適用できる新規高度マテリアルプロセスの研究開発

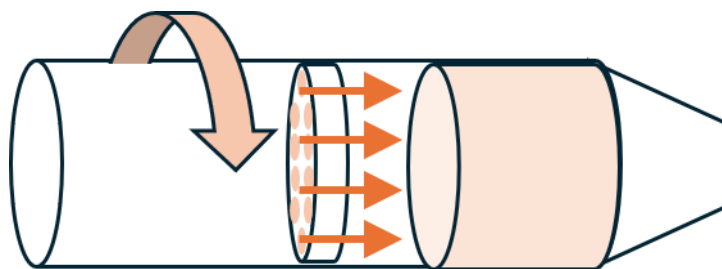
従来技術
2軸押出機での高せん断付与



- ← 回転方向と吐出方向が異なるため充填剤の配向制御が困難
- ← 分散のための高せん断によりマトリックス高分子が劣化し、靱性が低下

新コンセプト

流動制御とせん断応力緩和による再生の高度化・適用範囲の拡大



- ← 流動制御による充填剤の高分散化と配向性向上
- ← 樹脂溜まり部によるマトリックスプラスチックのせん断応力緩和
- ← 複合材料の内部構造保持