

2020/10/29

福岡県リサイクル総合研究事業化センター  
令和2年度研究成果発表会

# プラスチックマテリアルリサイクル手法の 高度化と拡大を目指して

八尾滋

福岡大学 工学部

福岡大学 機能構造マテリアル研究所

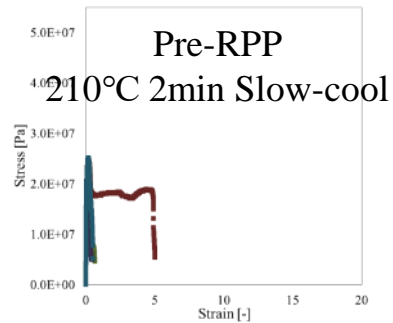
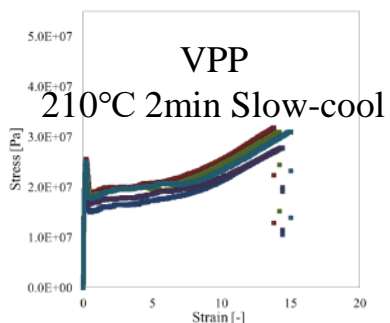
---

## 福岡大学工学部 八尾研究室／機能・構造マテリアル研究所

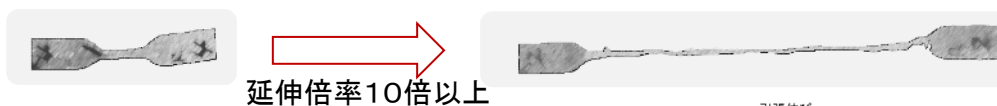
研究基本テーマ：「高分子の自己組織化を活かした機能材料形成メカニズムに関する基礎研究」  
 基本スローガン：「フィールドワーク的基礎研究」

### リサイクルプラスチックの高度再生技術

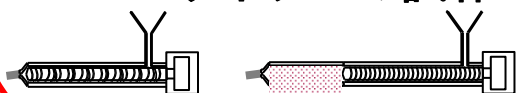
- リサイクルプラスチックの物性低下因子の解明  
 ← 物理劣化



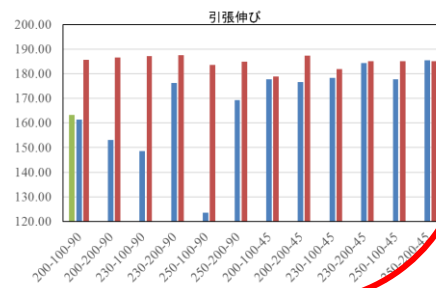
- 物理再生法の提言



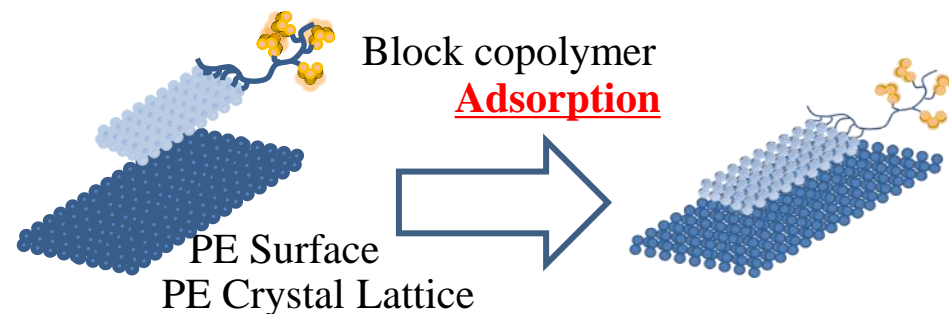
- 新規装置要素を持つペレタイザーの試作



通常のペレタイザー 溶融樹脂溜まりを設けたペレタイザー



- 機能性側鎖結晶性ブロック共重合体の創生とそれを利用した機能性素材の基礎物性研究
- 結晶化超分子間力の発見  
 ← ポリエチレンの化学的改質を可能化



- ポリオレフィンへの接着性の付与



- バイオマテリアルへの応用

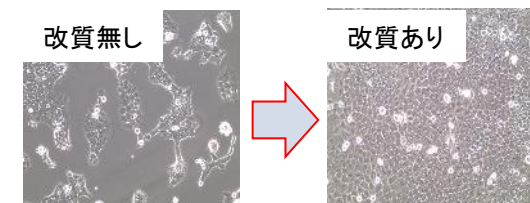
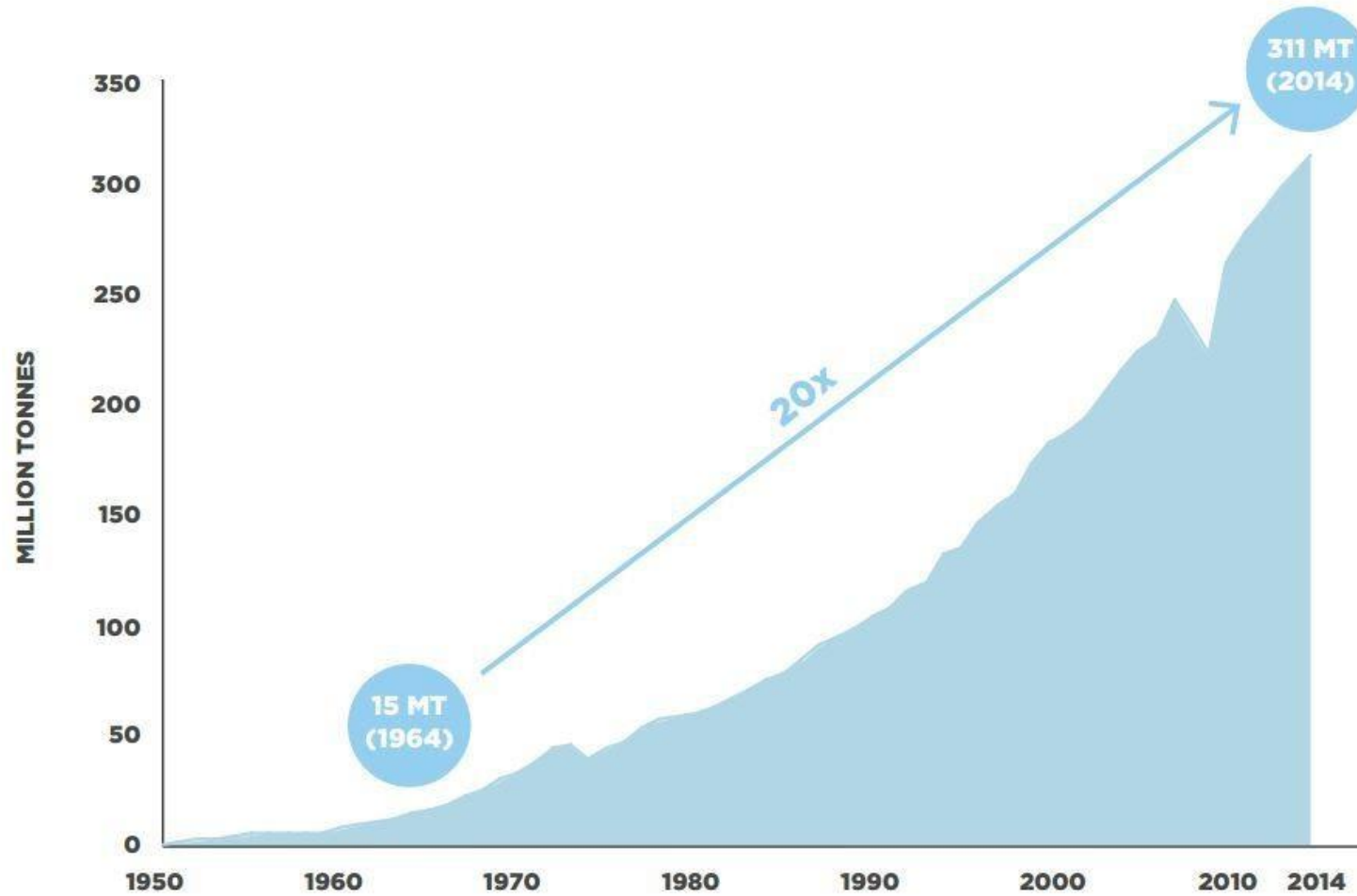


Figure 1: Growth in Global Plastics Production 1950–2014



Note: Production from virgin petroleum-based feedstock only (does not include bio-based, greenhouse gas-based or recycled feedstock)

Source: PI

The most successful industry & still increasing

## These comes another big problem



The screenshot shows the website for the UN Environment Coordinating Unit for the Mediterranean Action Plan. The header includes the UN Environment logo and the text "United Nations Environment Programme" and "Mediterranean Action Plan Barcelona Convention". Navigation links include "Who we are", "What we do", "Action Plans", "Meetings", "Structure", "News", and "Resources". A search bar and language options (English, Français, العربية) are also visible. Below the header is a large photograph of a beach covered in plastic waste with several colorful fishing boats in the foreground.

UN DECLARES WAR ON OCEAN PLASTIC





2000年：循環社会形成推進法等、循環関連法6本が成立

2012年：日本のリサイクル有効利用率が80%以上となる

2017年：中国が廃プラ輸入の全面禁止

その後、アジア各国が追従

2018年：欧州プラスチック戦略発表

2018年：海洋プラスチック憲章発表

2019年：バーゼル条約

日本国内でもプラスチックごみがあふれている状況



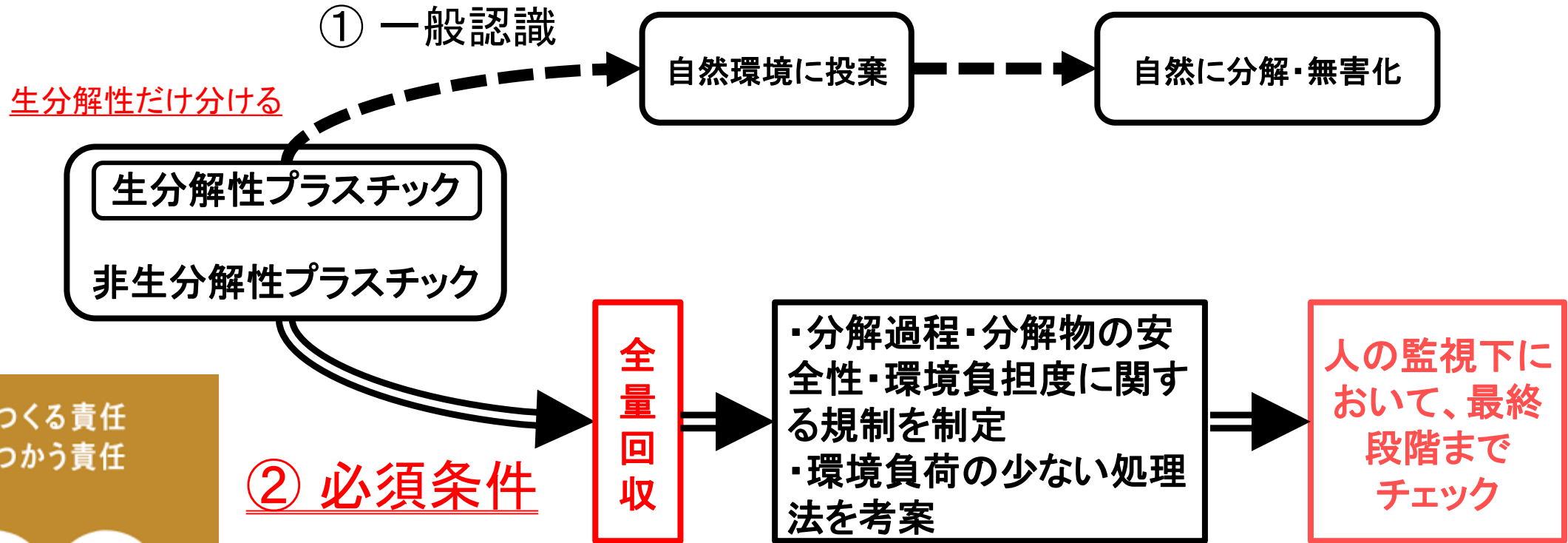
2018年5月以降、NHKのクローズアップ現代で9回取り上げられている

## プラスチックごみを減らすための施策

- |                           |   |                              |
|---------------------------|---|------------------------------|
| Reduce: 使用量を減らす(過剰包装の削減)  | → | 全体量の削減<br>(日本などでは非常に有効)      |
| Reuse: 再使用する(レジ袋をゴミ袋にする)  | → | 余分な製品生産の削減が可能<br>(真面目に考えるべき) |
| Recycle: 再製品化する(使い捨てをなくす) | → | 資源循環の側面から重要<br>(本格的な着手が必要)   |
| Replace: 代替品で置き換える        | → | 感覚的な対応でないかの<br>冷静な判断が求められる   |

# 生分解性プラスチックの環境下での挙動に関する一般認識と適用のための必須条件

モラルハザード:これを理想とはしていない



廃棄物処理をすべて地球に任せてはいけない

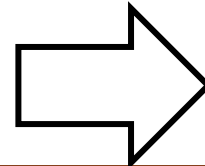
12 つくる責任  
つかう責任



## Remaining a big problem



How to reduce them.

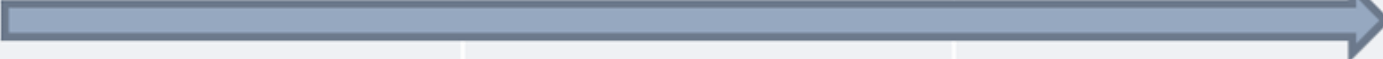
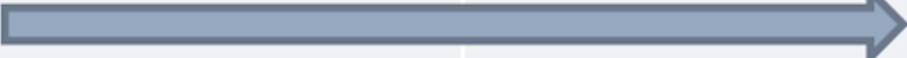
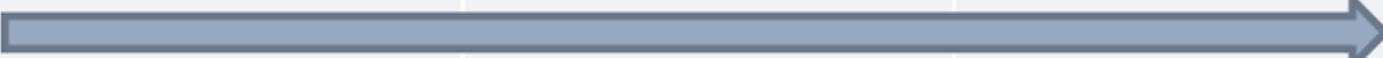

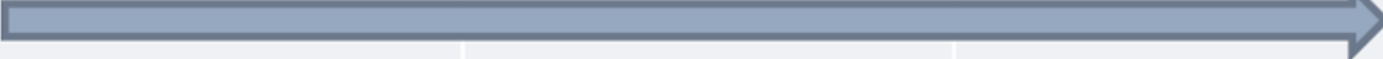
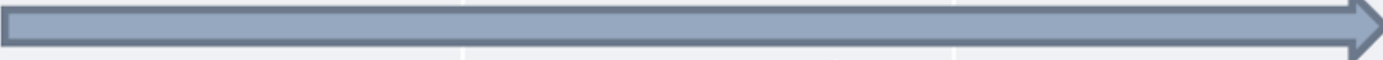


<https://www.bioenergyconsult.com/recycling-waste-to-energy-saudi-arabia/>

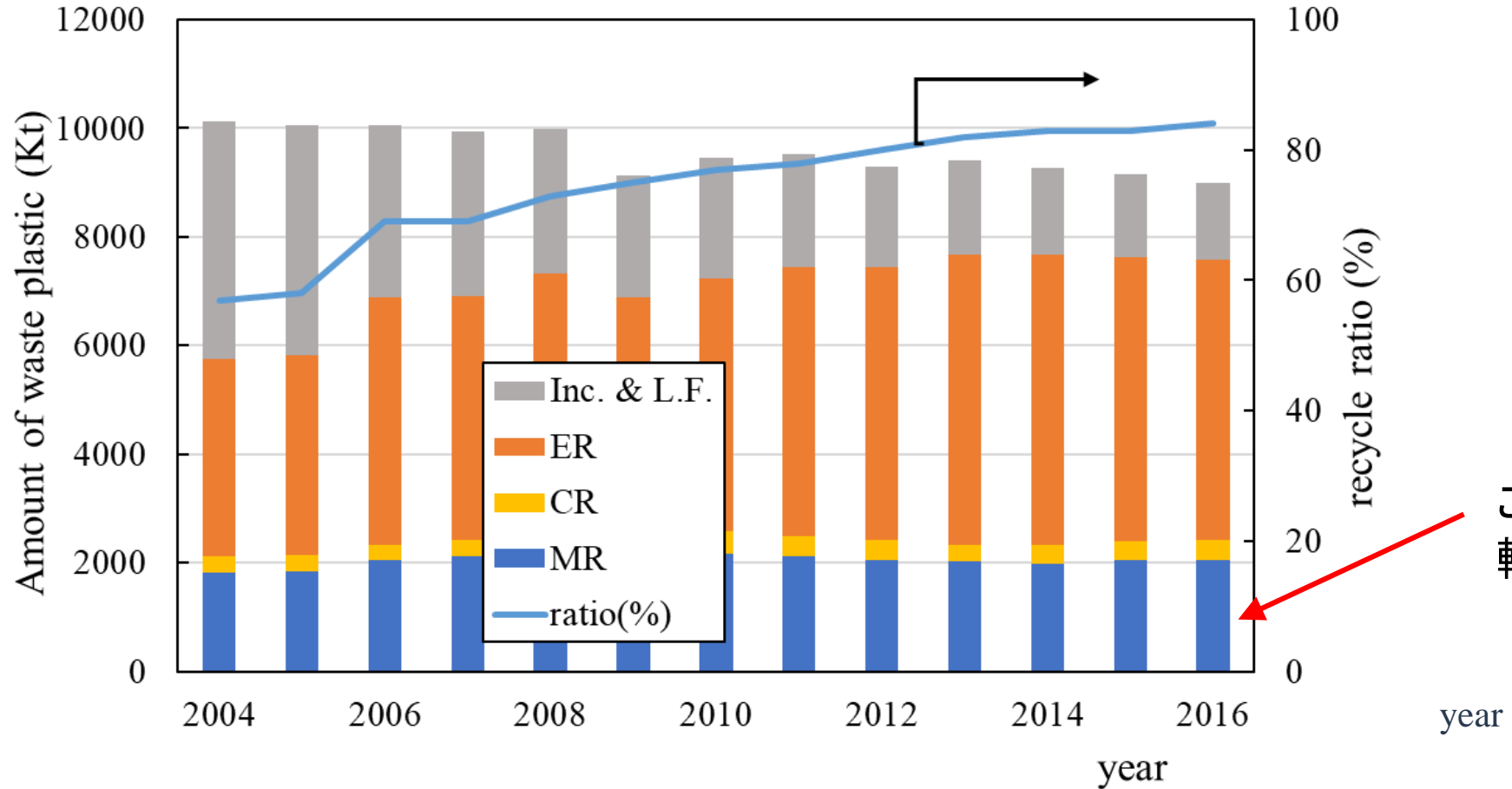
**RECYCLE**



## プラスチック資源循環戦略(マイルストーン)

	2025年	2030年	2035年
リデュース	 2030年までにワンウェイプラスチックを累積25%排出抑制		
リユース・リサイクル	 2025年までにリユース・リサイクル可能なデザインに  <u>2030年までに容器包装の6割をリサイクル・リユース</u>  2035年までに使用済プラスチックを100%有効利用		
再生利用・バイオマスプラスチック	 <u>2030年までに再生利用を倍増</u>  2030年までにバイオマスプラスチックを約200万トン導入		

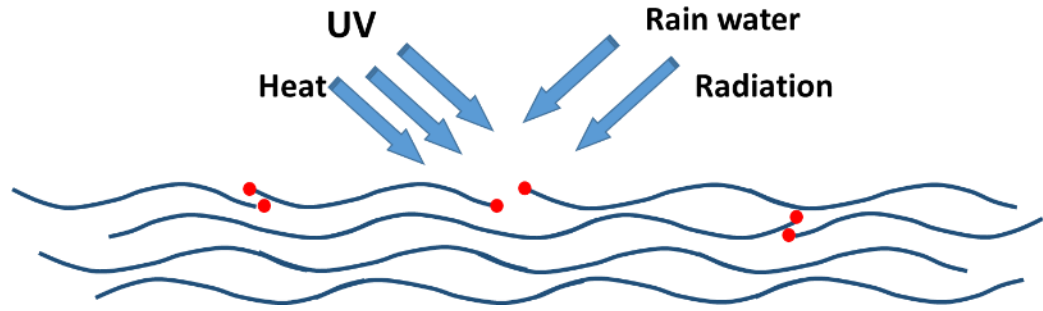
## The ratio of Mechanical, Chemical, and Energy recovery in JAPAN



The ratio of recycle species have not changed from 2000

# なぜリサイクルプラスチックの物性が悪いのか

## 1. 廃棄プラスチックは化学劣化している



- 化学劣化は再生が不可能である
- どうせあまり商品価値がない

## 2. 異種高分子・異物、色が混じってもあまり気にしない

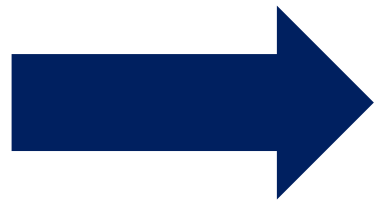


バージンペレット



リサイクルペレット

- 破壊の起点が多数存在する
- 分離・純化は非常に困難
- 色目で商品価値がない



化学劣化という呪縛で諦めが先に立つ

マテリアルリサイクルはダウングレードにしかない

← 現在の常識(都合のよい常識)

## 海中投棄されたプラスチック製品の残存年数



←  
プラスチックはそう簡単には  
化学劣化しない

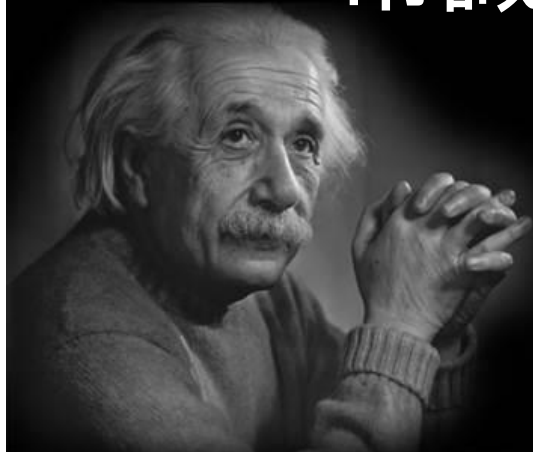
← これも現在の常識

[http://co-ordinates.herokuapp.com/how\\_long](http://co-ordinates.herokuapp.com/how_long)



Common sense is the  
collection of prejudices  
acquired by age  
eighteen.

常識を疑え！



**Albert Einstein**

*German Theoretical-Physicist*

(1879-1955)

QuoteHD.com

- リサイクルプラスチックは化学劣化しておらず、物性低下原因は内部構造変異による物理劣化である
- リサイクルプラスチックは成形法の最適化によりバージン並みの物性再生が可能である

## 分子物性が同じモデルリサイクル樹脂での検討結果

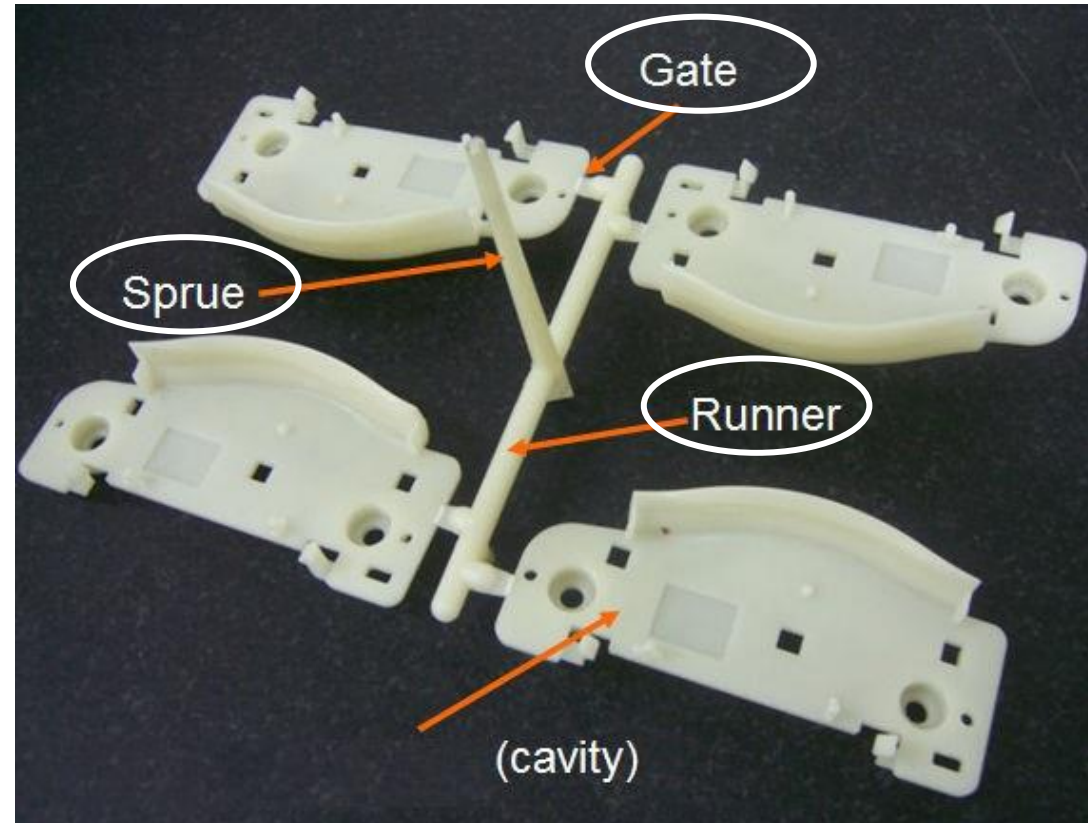
### ● 試料

- バージンPP(VPP): 射出成形・透明グレード
- プレコンシューマリサイクルPP (Pre-RPP): VPPの成形段階の副生物より作成

VPP



Pre-RPP



## 分子物性が同じモデルリサイクル樹脂での検討結果

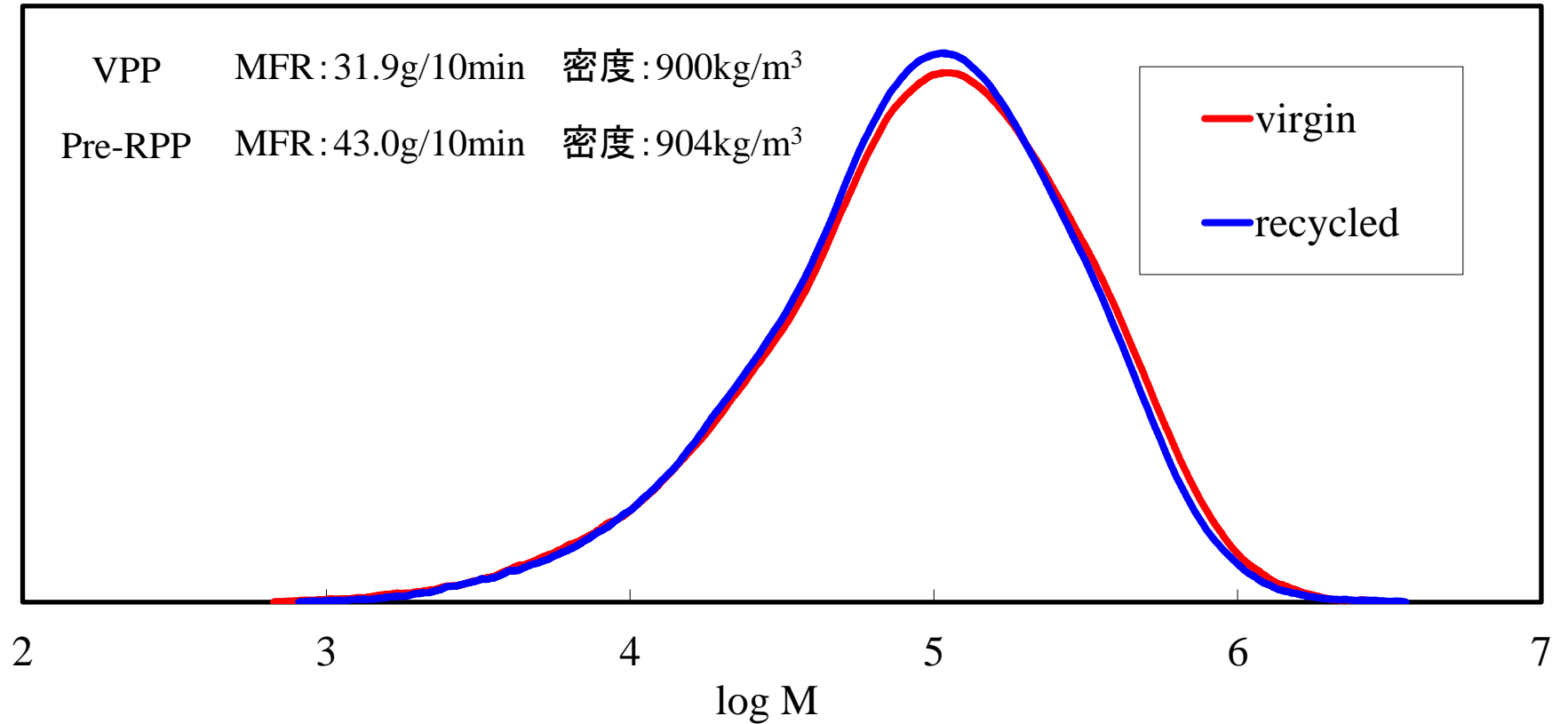
### ● 試料

- バージンPP(VPP): 射出成形・透明グレード
- プレコンシューマリサイクルPP (Pre-RPP): VPPの成形段階の副生物より作成

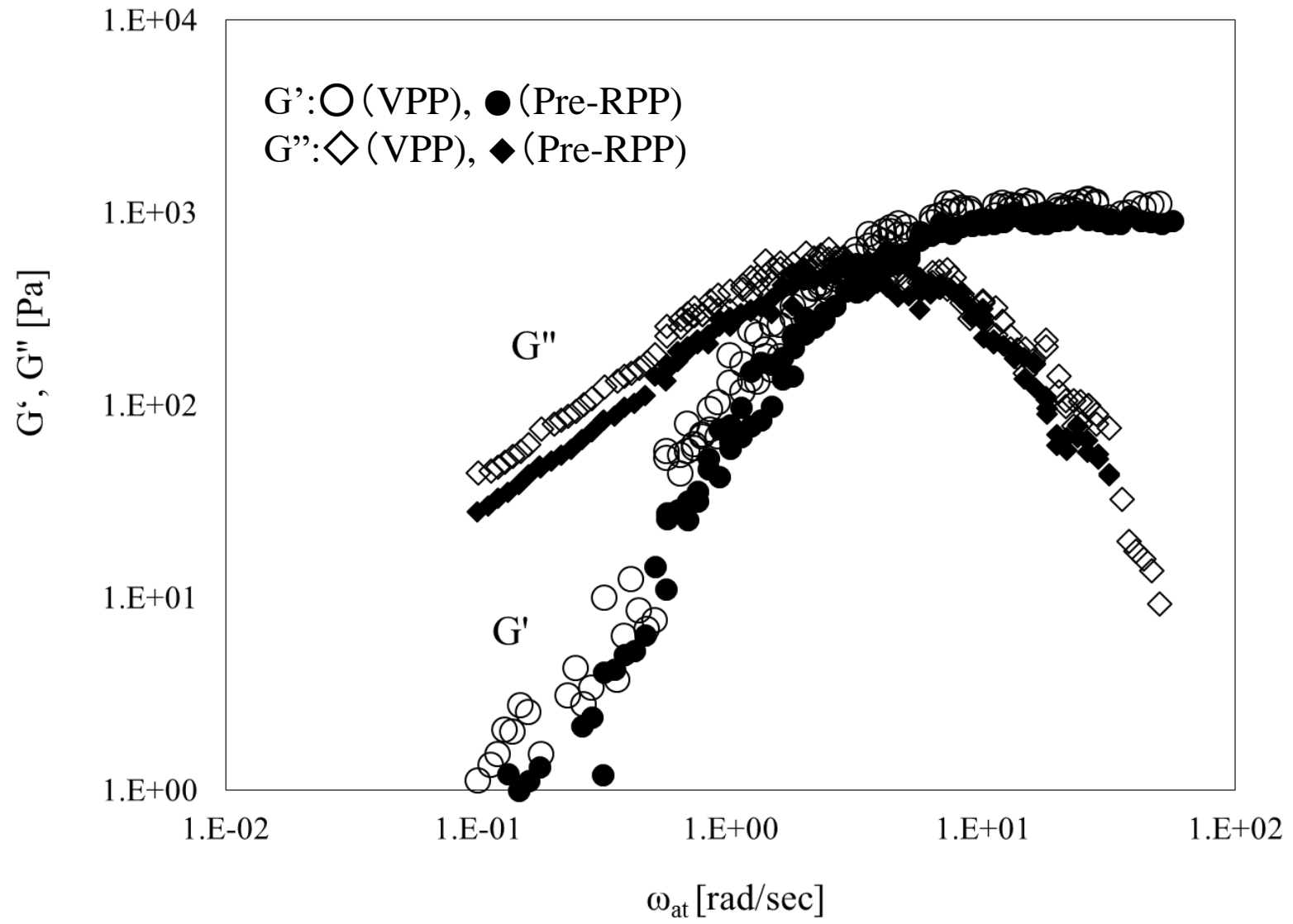
VPP



Pre-RPP



### 粘弾性的性質



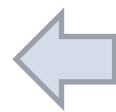
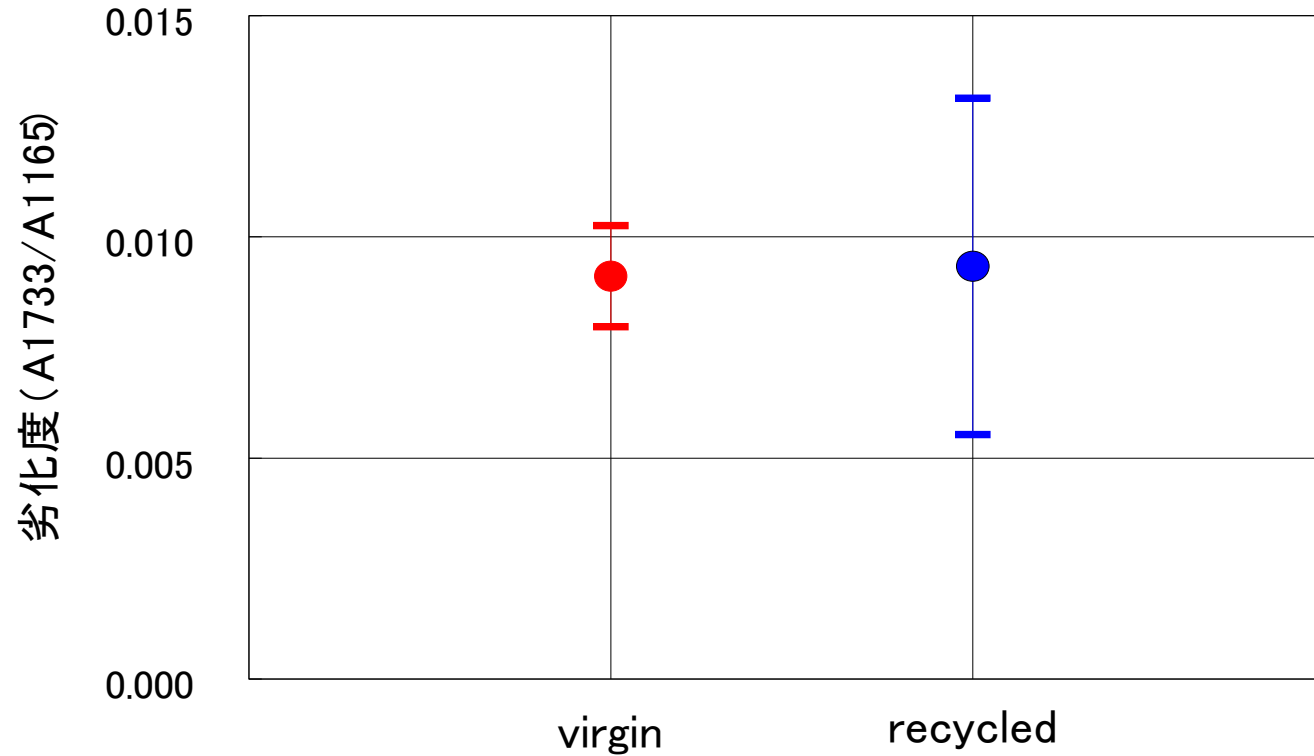
ゲル成分もなく  
全く同一



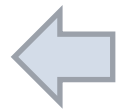
薄膜物性評価



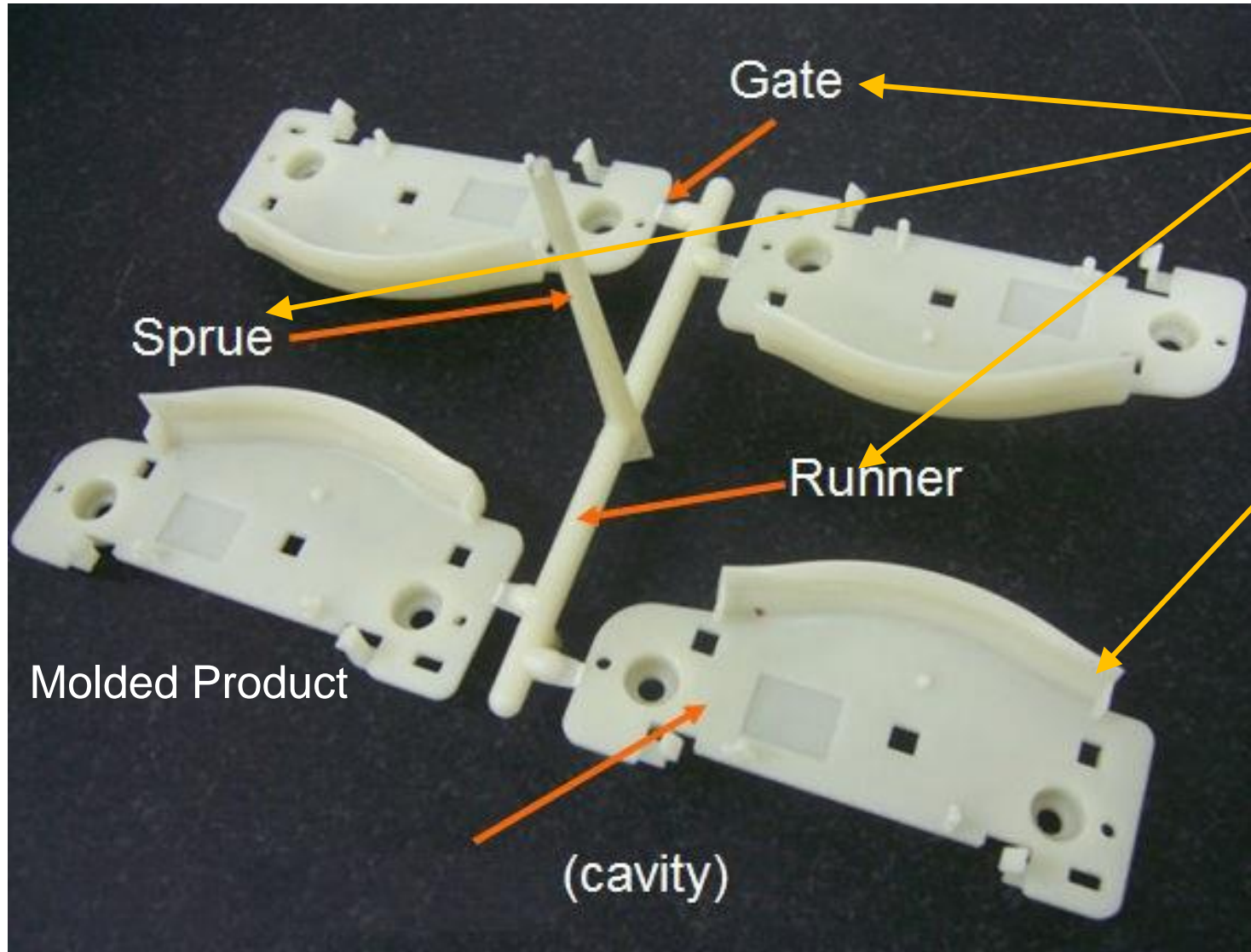
# FT-IR測定結果



VPPとPre-RPPを比較すると、測定値のばらつき大きさに多少差はあるが、絶対値はほぼ同じ



一回程度の成形履歴では、樹脂はほとんど劣化しない。

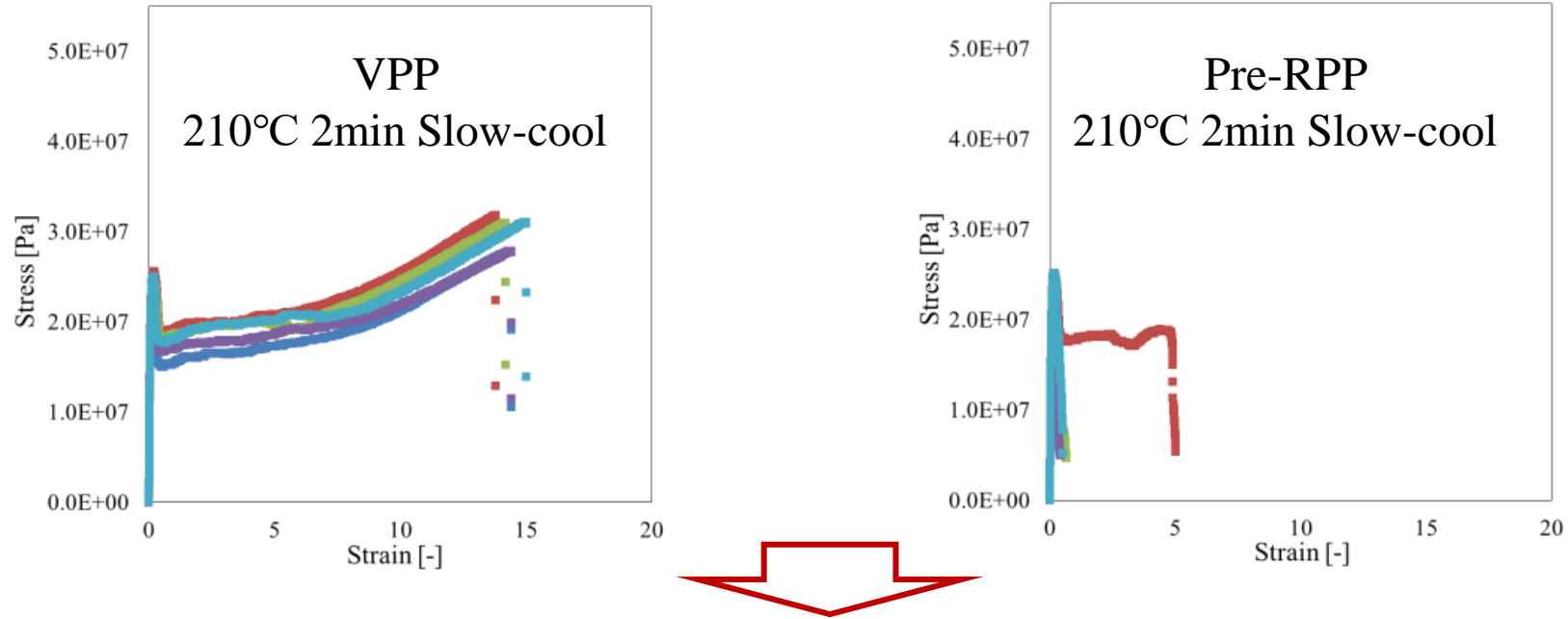


Deteriorated ?



Not Deteriorated ?

## 分子物性が同じモデルリサイクル樹脂での検討結果



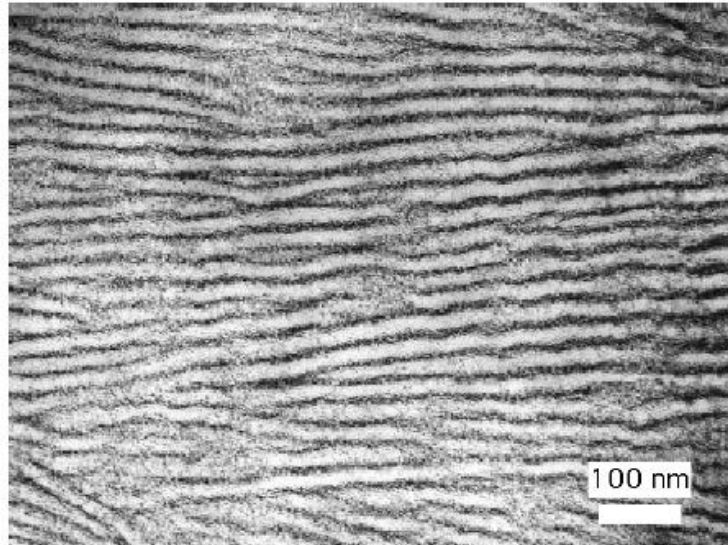
物性低下の主要因は化学劣化ではなく物理劣化である

化学劣化していなくても、成形履歴(熱・せん断)があると物性は悪化する

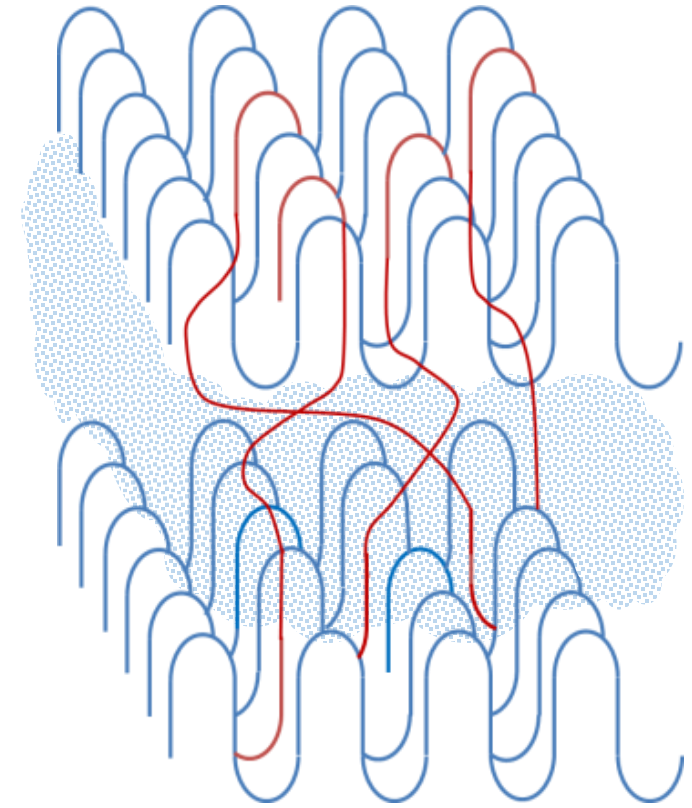
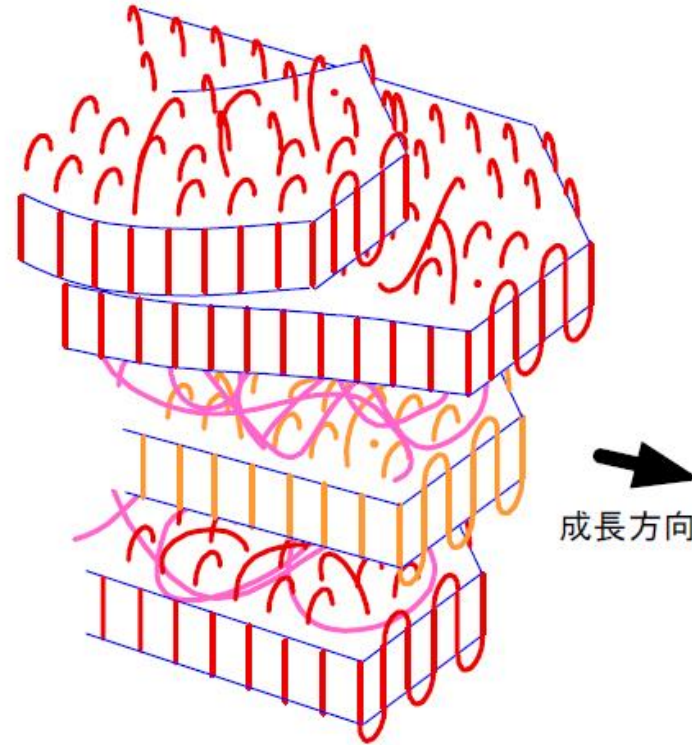
VPP: virgin polypropylene, Pre-RPP: pre-consumer recycle polypropylene

# 結晶性高分子の内部構造

## 結晶・非晶の積層構造



アイソタクティックポリプロピレン  
染色後 透過型電子顕微鏡像  
山田氏提供 (サンアロマー)





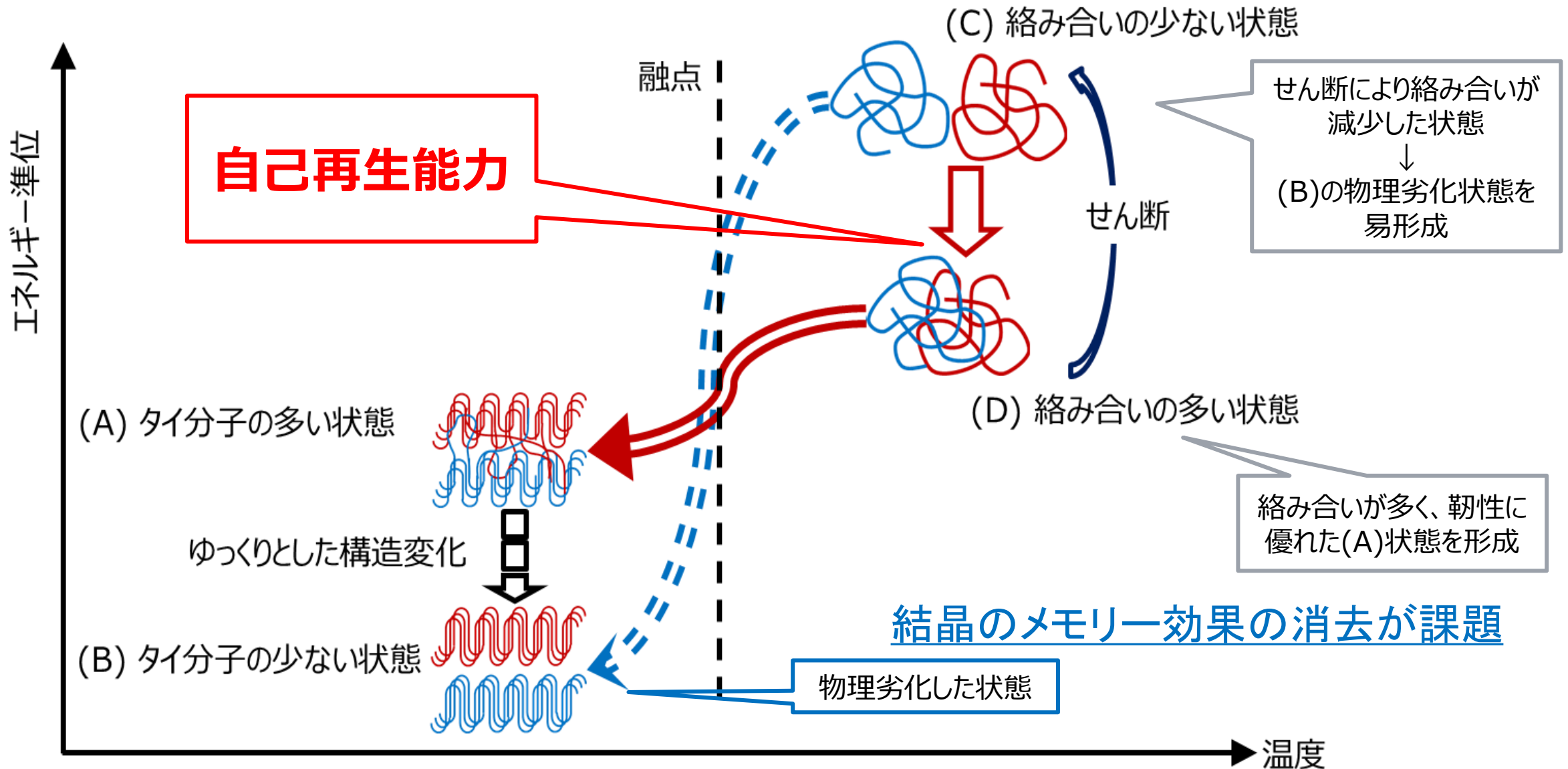
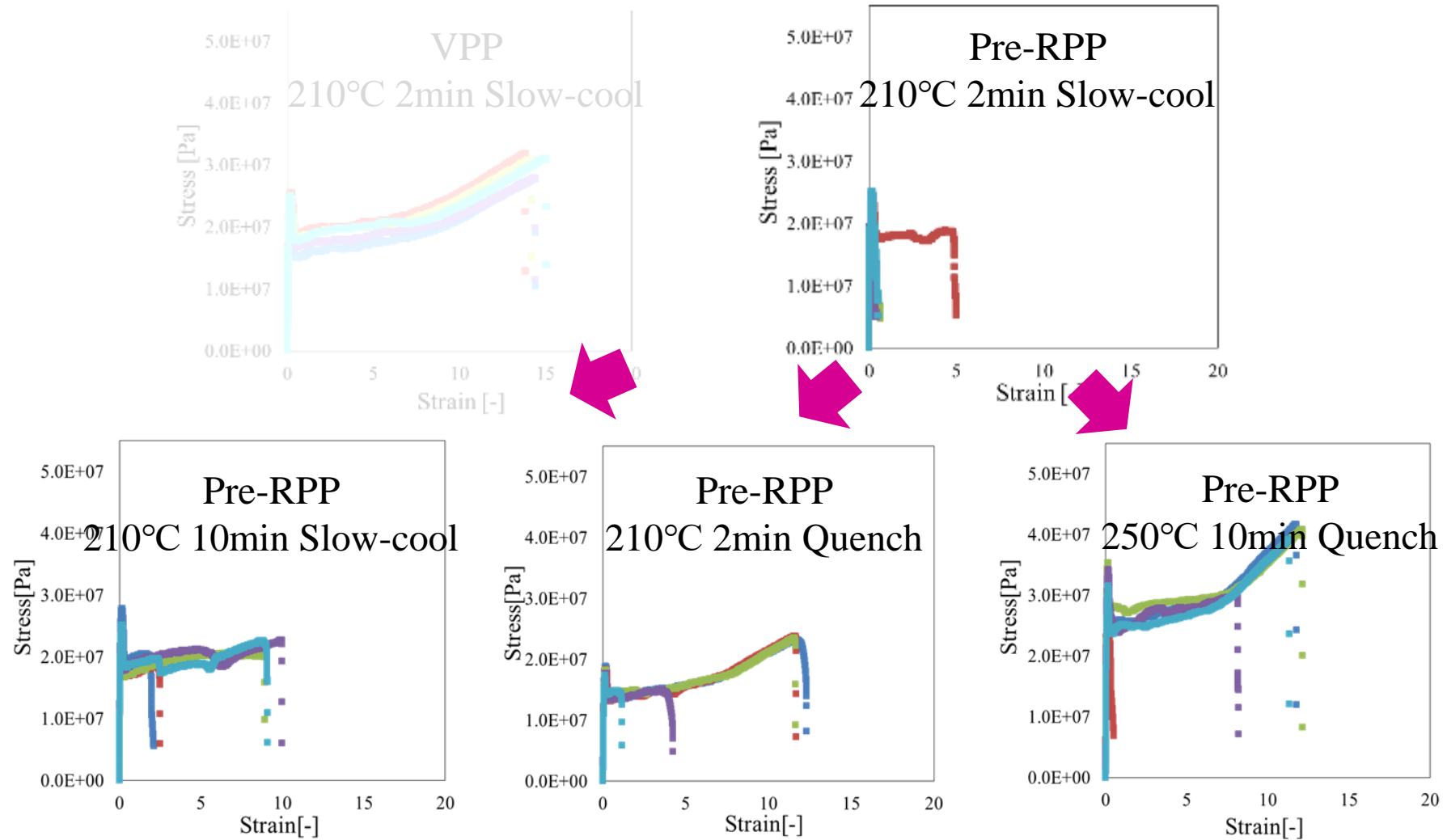


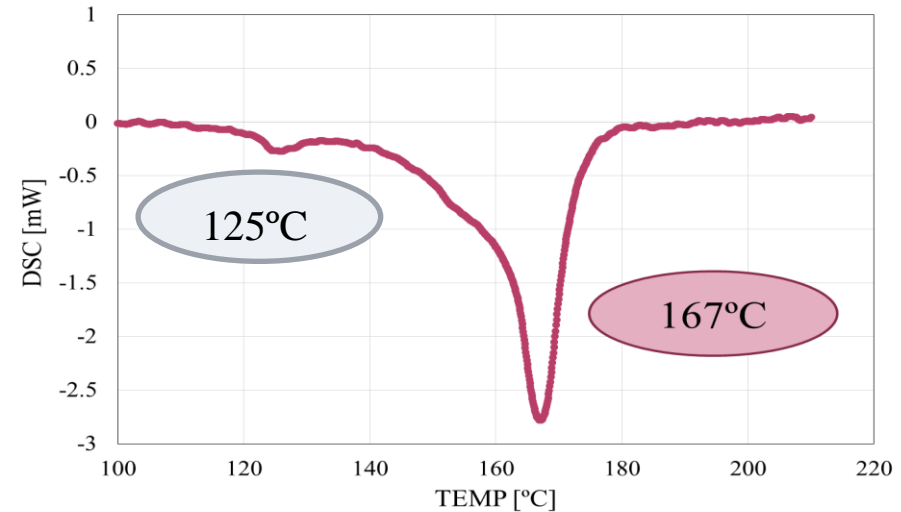
図 高分子の溶融および結晶化状態での内部構造とエネルギー準位

## 分子物性と同じモデルリサイクル樹脂での検討結果



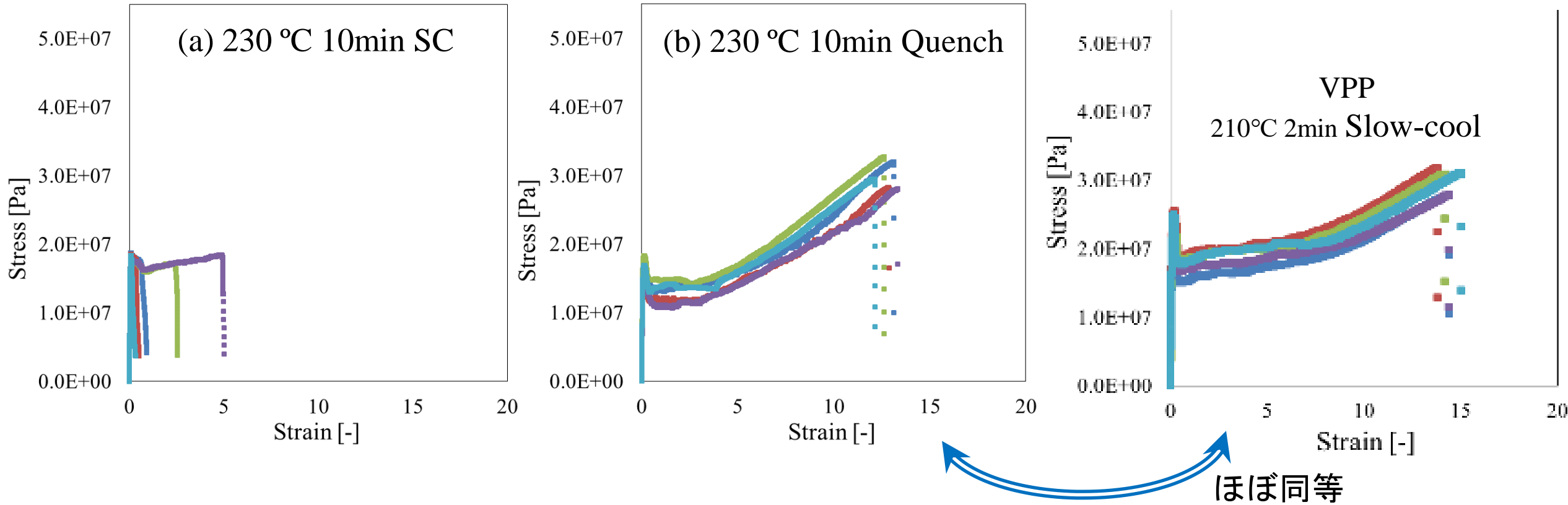
VPP:virgin polypropylene, Pre-RPP:pre-consumer recycle polypropylene

# 実容器包装リサイクル樹脂への応用: 1 PP選別樹脂の場合



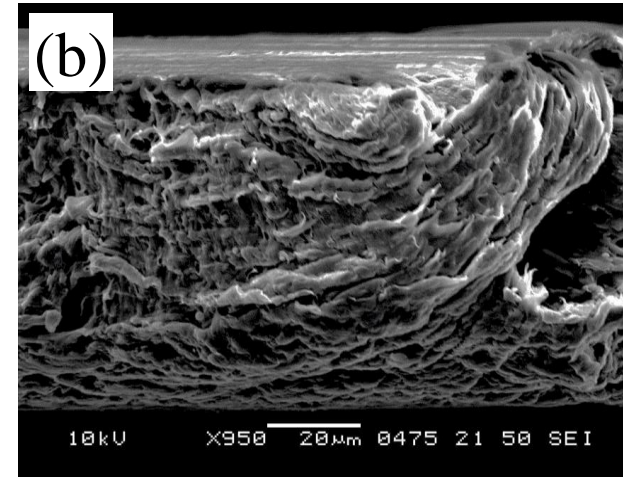
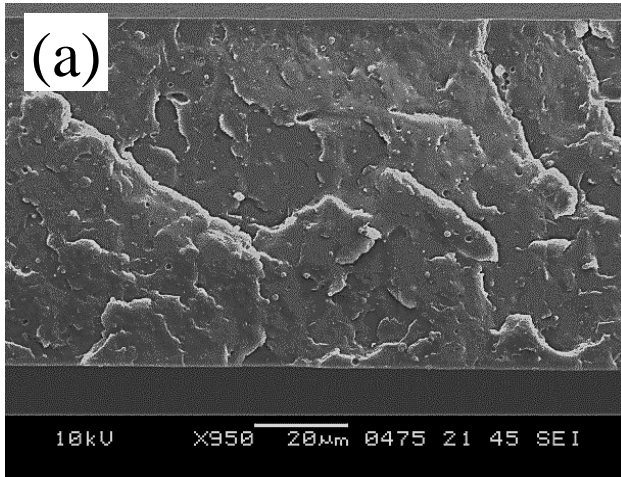
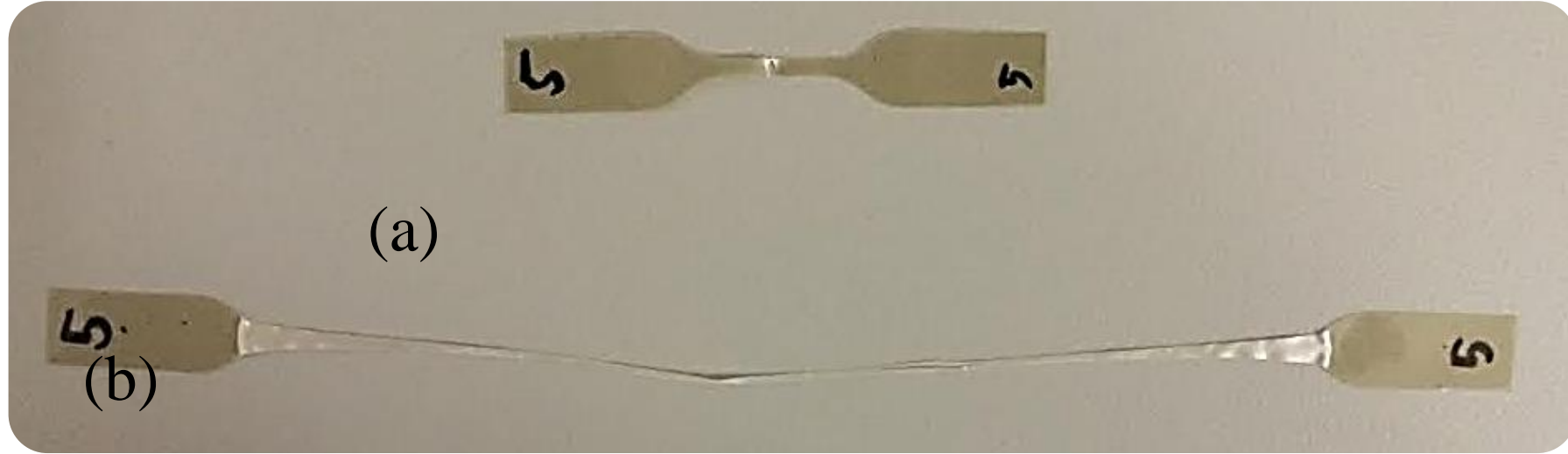
(株)エコスファクトリーにより提供された廃棄容器包装リサイクル樹脂の  
ペレットとそのDSC曲線

### 引張試験によって得られた応力-ひずみ曲線



成形条件最適化により、ほぼバージンPPと同様の  
応力-ひずみ挙動を再現するようになる

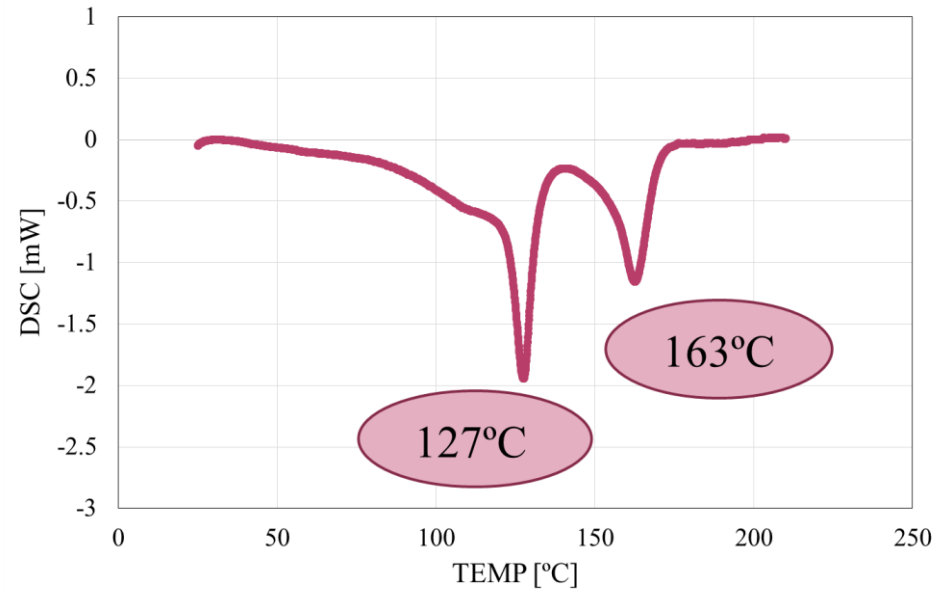
## 引張試験後の試験片の試料写真



(a) 230°C 10min SC、(b) 230°C 10min Quench

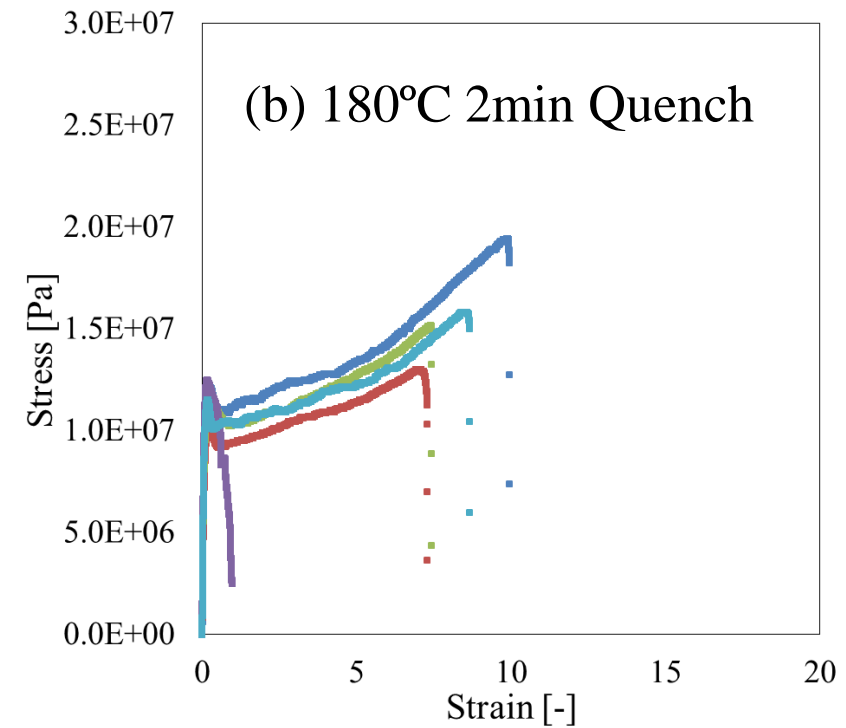
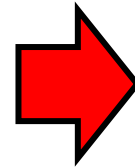
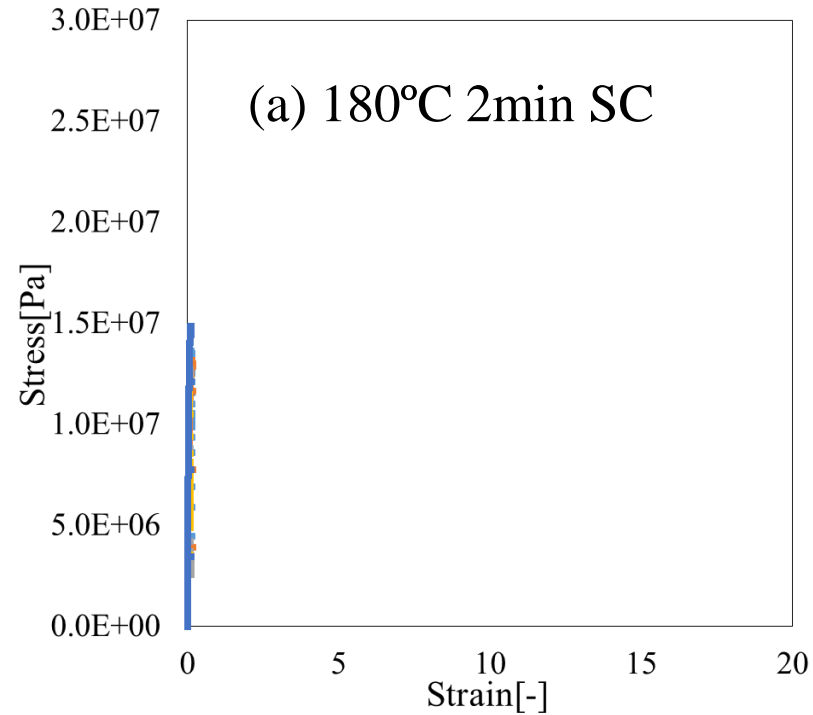


## 実容器包装リサイクル樹脂への応用: 2 非選別樹脂の場合



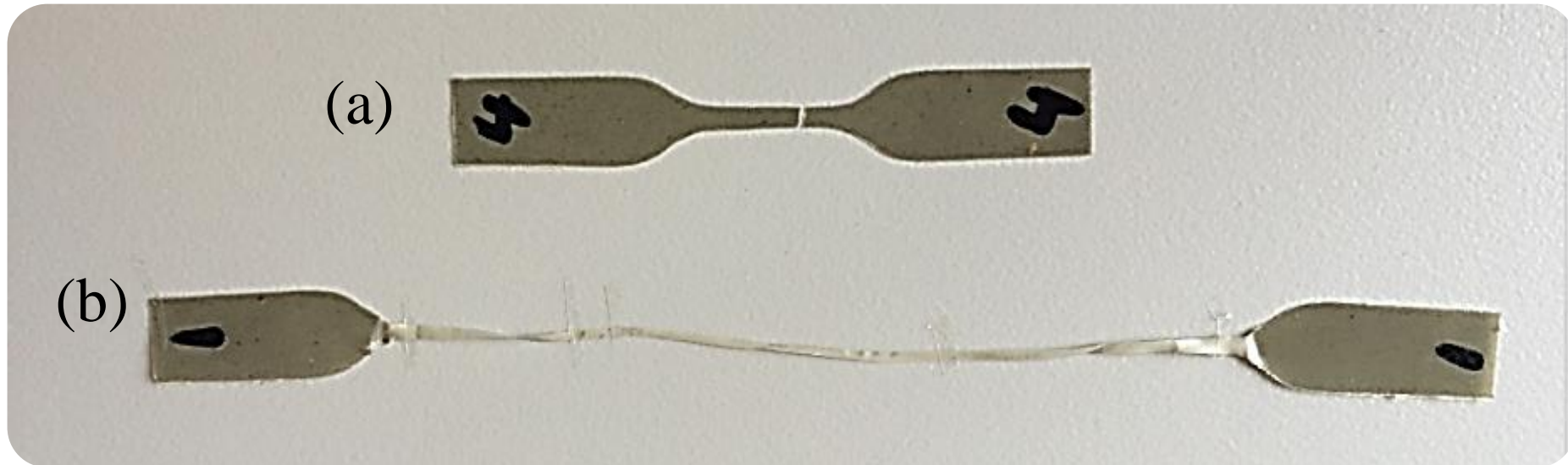
(株)エコフィールにより提供された廃棄容器包装リサイクル樹脂の  
ペレットとそのDSC曲線

### 引張試験によって得られた応力-ひずみ曲線



成形条件最適化により、ほぼ混合比率を再現する  
応力-ひずみ挙動を示すようになる

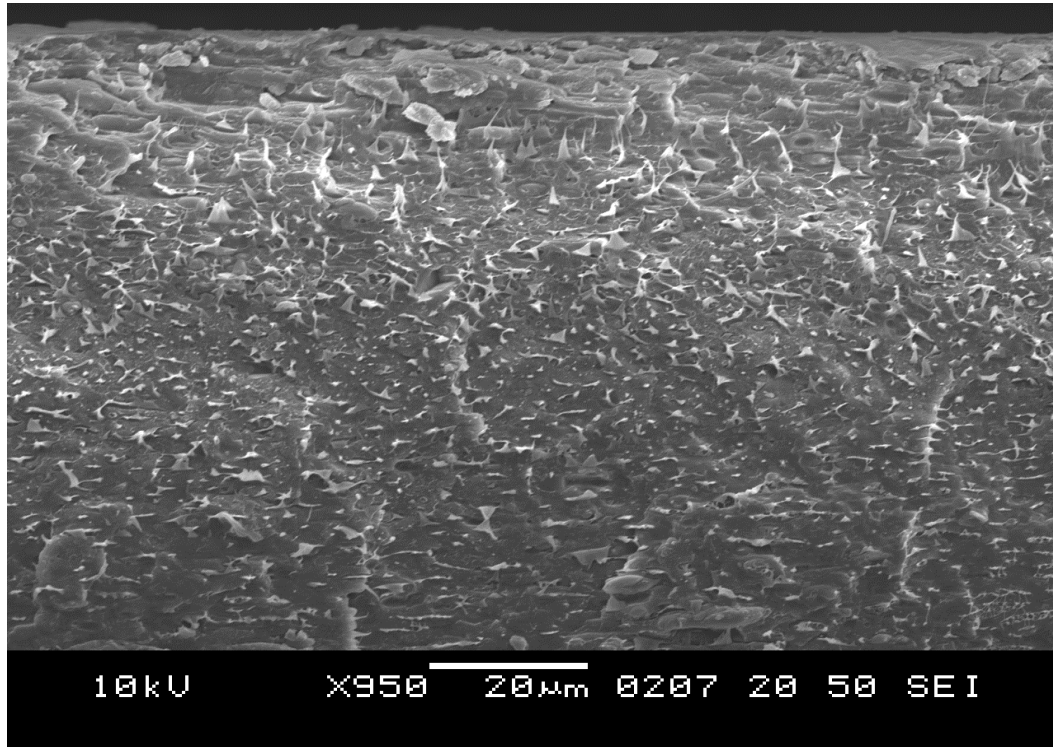
## 引張試験後の試験片の試料写真



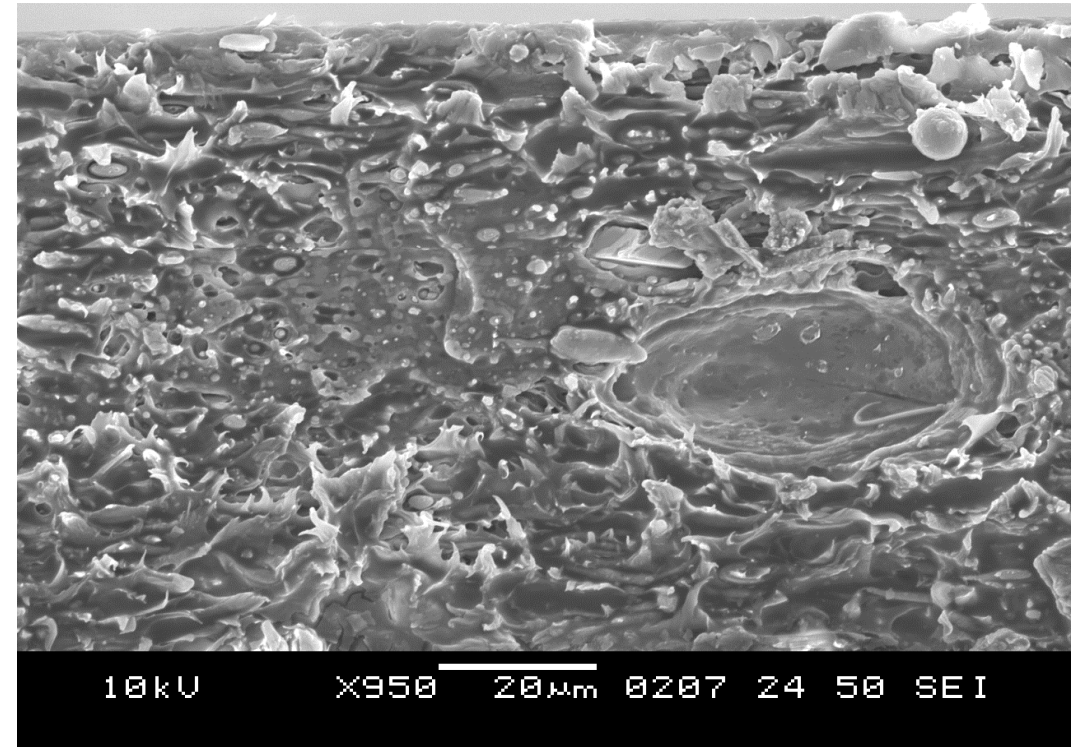
(a) 180°C 2min SC、(b) 180°C 2min Quench

## 破断面のSEM観察結果

(a) 180°C 2min Slow-cool



(b) 180°C 2min Quench



**異物の存在は破断の主要因子ではない**



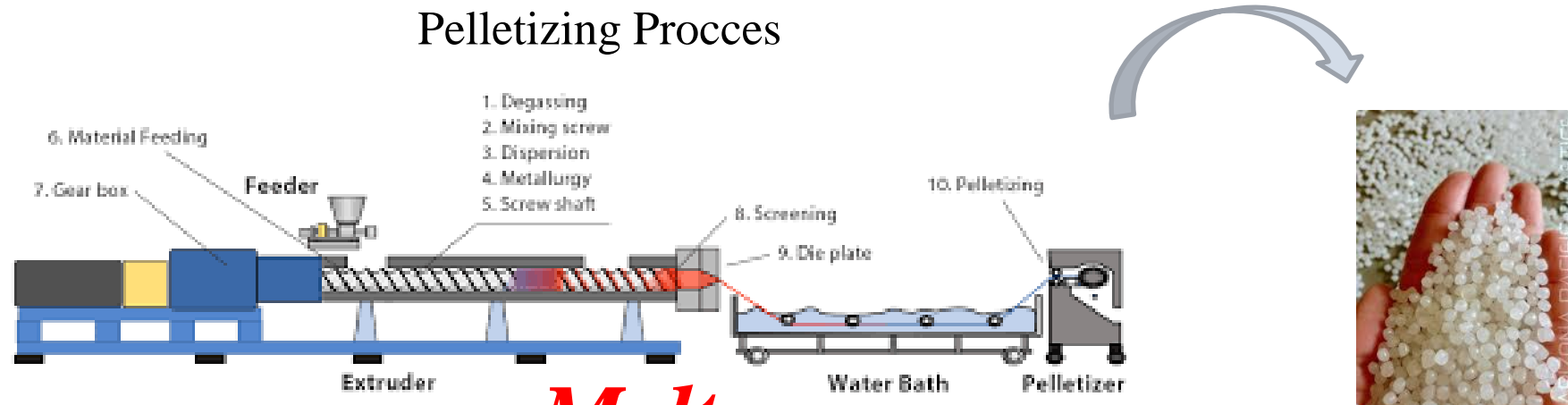
## 適用範囲の拡張への取り組み:ペレット化条件の最適化





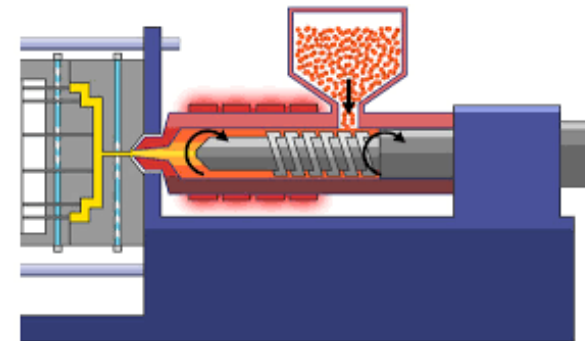


## Pelletizing Procces



*Melt*

*Melt*

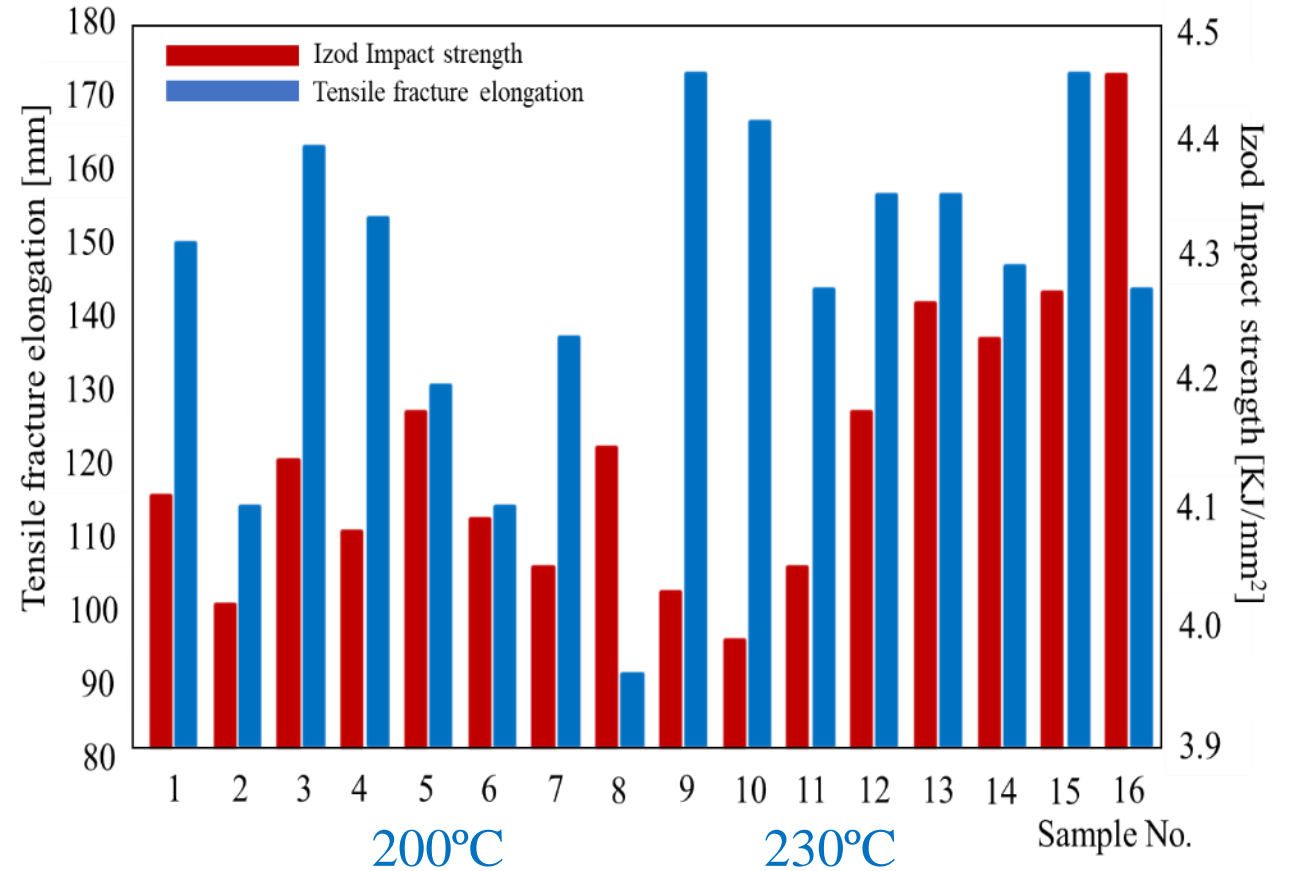


Injection Process

# 再ペレット化 ≪非選別品≫

非選別品の再ペレット化条件

Sample No.	Pelletize Temperature (°C)	Screw rotation speed (rpm)	Strand take-off rotation speed (rpm)	Water bath temperature (°C)
1	200	200	90	16.3
2	200	200	90	9.8
3	200	200	45	18.4
4	200	200	45	10.1
5	200	100	90	14.6
6	200	100	90	2.7
7	200	100	45	16.2
8	200	100	45	6.3
9	230	200	90	17.1
10	230	200	90	7.9
11	230	200	45	16.3
12	230	200	45	13.1
13	230	100	90	14.3
14	230	100	90	4.9
15	230	100	45	15.9
16	230	100	45	6.4



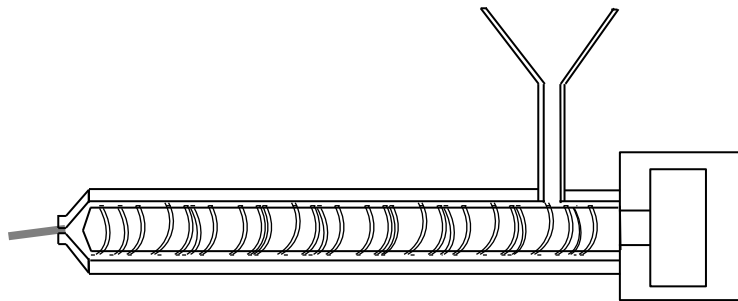
ペレット化条件により、射出成形品の物性が大きく変化することを確認

モデル樹脂および実容器包装リサイクル樹脂での結果から

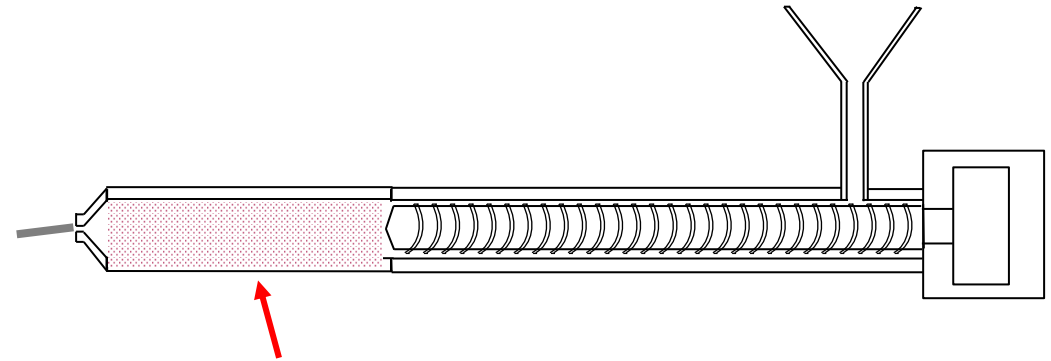
- 長時間溶融状態に保持すること ← ペレタイズにも有効

が、力学的に良好な成形品を作り出すことに有利

## 溶融樹脂溜まりのあるペレタイザーを設計



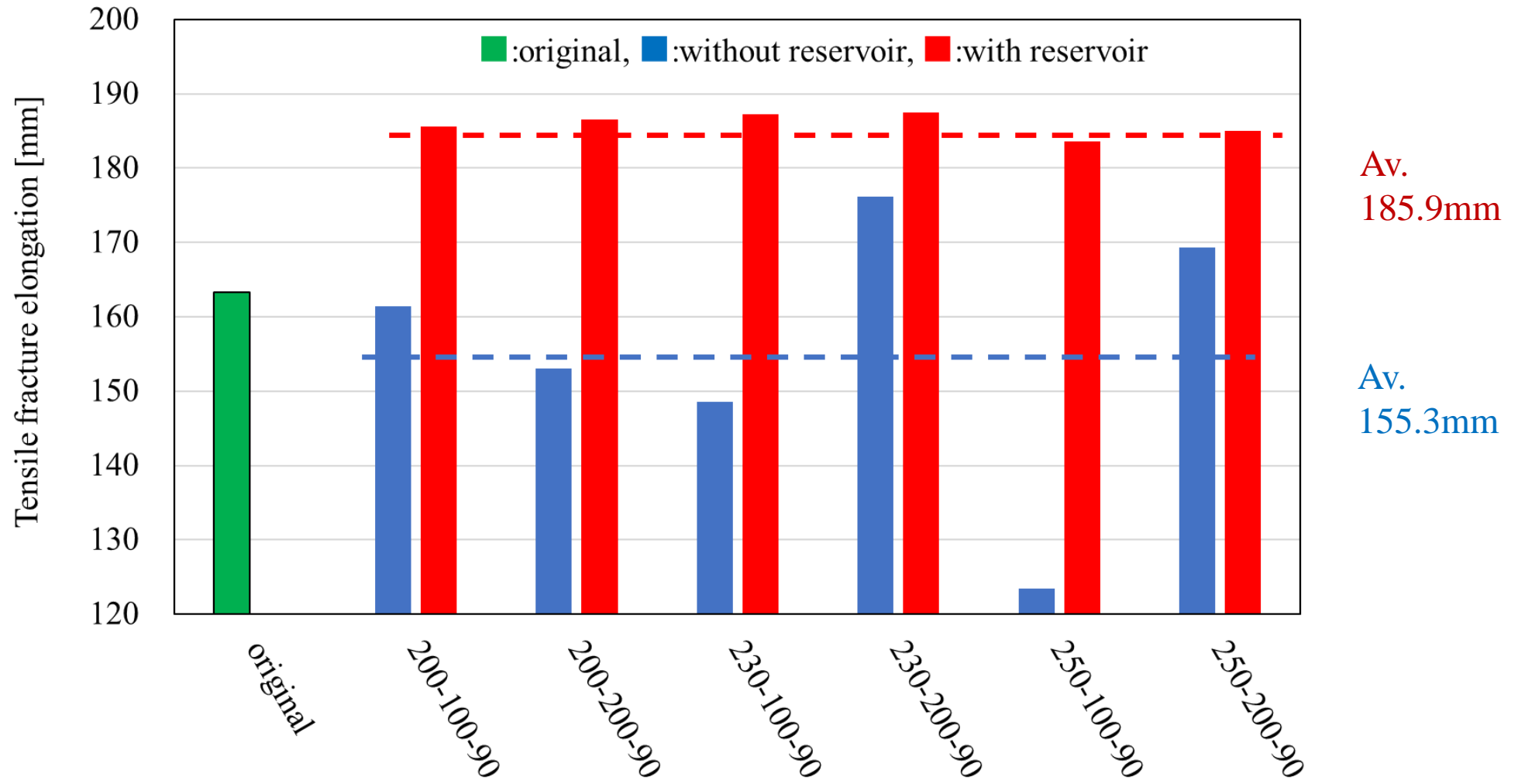
通常のペレタイザー



溶融樹脂溜まりを設けたペレタイザー

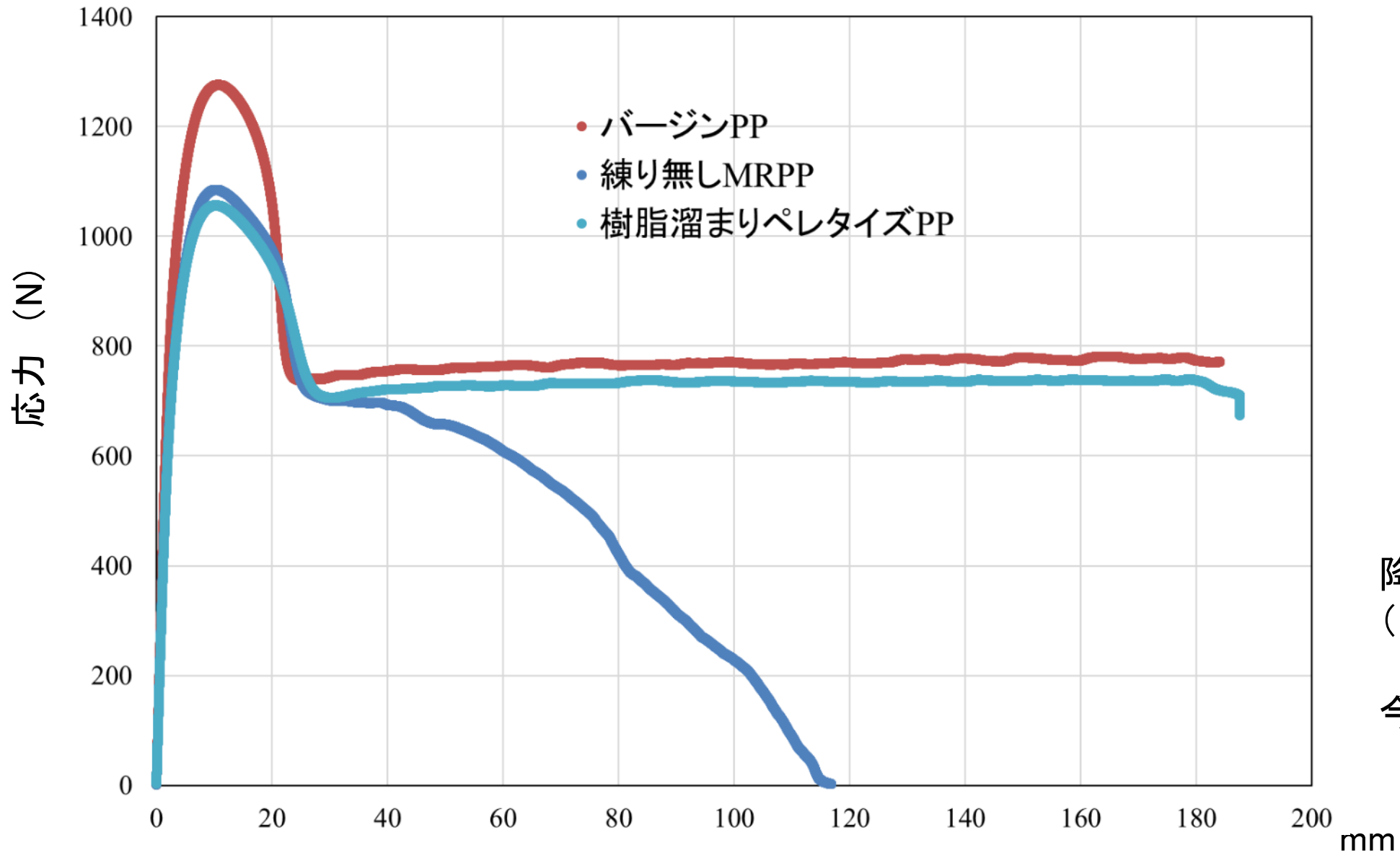


溶融樹脂溜まり部を追加した2軸押し出し機の試作



▶ 樹脂溜まりを用いることにより、高いパフォーマンスのペレットが生産できる





降伏応力が劣る  
(PEの混在のためか)

今後の課題

**Virgin PP**



**Ordinary pelletizer**



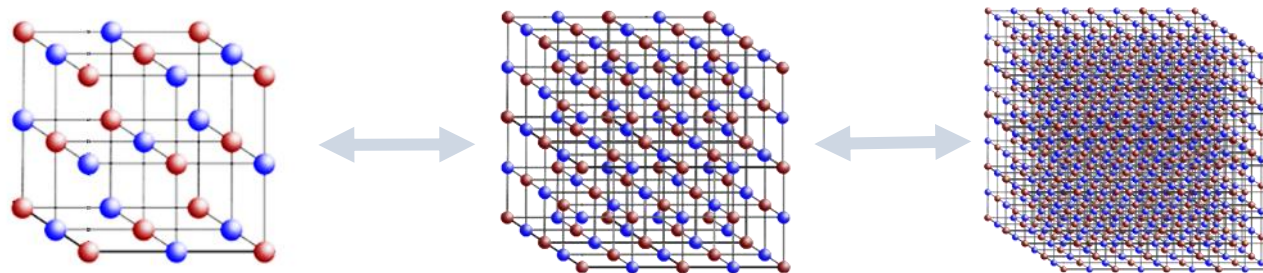
**New type pelletizer**



## 研究成果

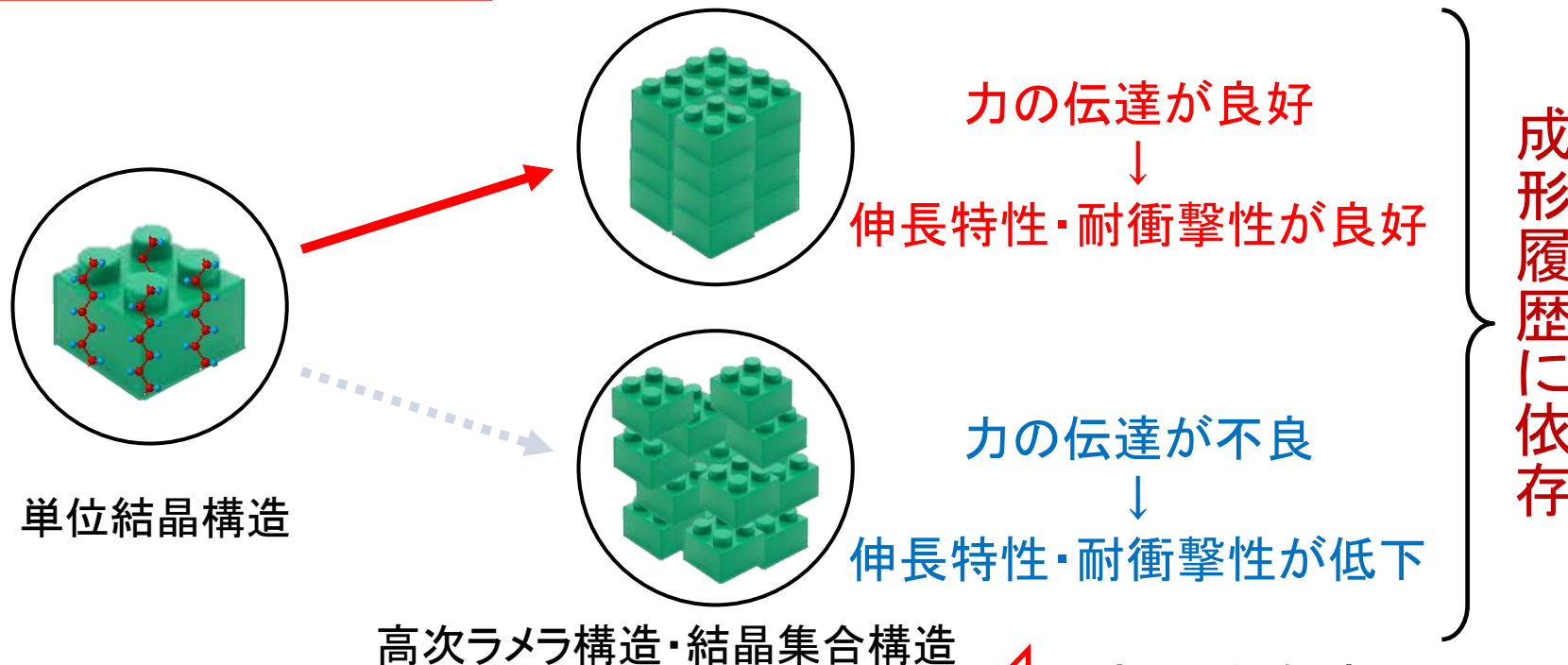
- リサイクルプラスチックの物性低下原因は化学劣化ではなく物理劣化
  - 成形履歴などによるタイムレキユール数の減少が主要因
- 成形法の最適化などにより物理再生が可能である
- 容器包装リサイクル樹脂においても、成形条件の最適化により力学的特性は大幅に改善される
  - 特にPP選別品には効果は著しく、ほぼバージン並みに回復する
  - コンタミネーションや異種高分子の存在は、特に悪影響を与えない
- ペレタイズ条件を最適化することで、射出成形品の特性も大きく向上させることが可能である
  - 混錬温度は高い方が良好に働く
  - 混錬速度は遅い方が良好に働く
  - 樹脂溜まりの設置は、非常に安定的で良好な結果を導く

金属・低分子系材料：連続体 ← 既存の解析法が確立



単位結晶構造：この特性を知ること、全体の特性が把握できる

プラスチック(高分子)材料：非連続体



← 新たな解析手法の確立が必要



これまでの認識（経験と勘）

製品物性・力学特性 ⇔ 成形条件

新たな取り組み





ホーム / [エネルギー・素材](#)

/ [NEDO事業で技術開発着手、マテリアル・ケミカル・エネ回収、プラ再生一段進化手法応じ自動選別](#)

## NEDO事業で技術開発着手、マテリアル・ケミカル・エネ回収、プラ再生一段進化手法応じ自動選別

2020年10月5日

[ツイート](#)

[B!ブックマーク 0](#)

[LINEで送る](#)

新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、プラスチック資源循環社会の構築に向けた研究開発を本格的に始動させた。今回の事業は、廃プラの選別にまで踏み込んで、リサイクルプロセス技術を革新することに特徴がある。人工知能（AI）などを活用し、マテリアルリサイクル（MR）やケミカルリサイクル（CR）など各再資源化技術に適した廃プラを自動選別する技術を開発し、リサイクルシステム全体の最適化を狙う。CRを実プラントに導入するための検証など、実際の再資源化工程における課題の解決も図る。今後2～3年で要素技術を確立、その後ベンチスケールでの実証を行う予定。[続きは本紙で](#)

[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101345.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101345.html)

## Remaining a big problem

「使い捨て」ではなく、「使いまわし」を基本として製品作りを考える

プラスチックの種類はできるだけ少ない方がよい

- ・特殊なプラスチックやコストの高いプラスチックは、  
それではしか対応できない用途に限定すべき

本当のリサイクルを念頭に入れた製品作りを実行する

- ・環境に良いとされる材料も、混ぜられると、分別ができなくなり  
リサイクルできる材料まで焼却以外に処理法がなくなってしまう
- ・感覚ではなく、理詰めの製品作りを

きちんと回収すれば資源循環ができるという原則を

より広く一般的常識として普及に努めるべき

# 御静聴ありがとうございました

<https://www.fukuoka-u.ac.jp/research/column/20/01/14145910.html>

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の結果得られたものです。

プラスチックリサイクルの研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(3-1705)により実施されたものです。

---