

# 小角 X 線散乱によるせん断処理プラスチックの構造解析

Patchiya Phanthong

福岡大学 工学部 化学システム工学科

成形加工はプラスチック製品製造時の主要な技術です。プラスチックは、成形加工時に熱やせん断などの物理的処理を施され、熔融、混練、射出成形して製品となります。我々の最近の研究から、ペレタイズ時の物理的処理と再成形条件が引張特性に影響を及ぼしていることが分かっています。また、小角 X 線散乱 (SAXS) による特性評価は、物理的処理に基づくプラスチックの内部構造変化の評価に使用できます。従ってこれらを組み合わせることで、力学的特性と内部構造の関係を評価できます。図 1 は、ポリプロピレンやポリエチレンなどの半結晶性プラスチックの内部構造の概略図を示しています。 SAXS プロファイルから評価できる長周期 ( $L_0$ ) は、結晶層 ( $L_C$ ) とアモルファス層 ( $L_A$ ) の厚さの組み合わせです。本研究では 50 および 100/s の定常せん断によって処理したバージン HDPE と LDPE を、徐冷 (SC) および急冷 (Q) の成形条件でプレス成形薄膜を作成しました。図から  $L_0$  と  $L_C$  は HDPE と LDPE で同様の傾向にあり、ヤング率と正の相関を示すことがわかりました。特に急冷処理 (Q) では、 $L_0$  や  $L_C$  が減少し、またそれに対応して、ヤング率も減少していることが分かります。 このように、SAXS による特性評価は、物理的処理がどのような内部構造変化をもたらすかを明らかにすることができるとともに、バージンおよびリサイクルプラスチックの力学的性質を改善するためにはどのような内部構造がふさわしいか、またそのための成形法に関する知見を提供できます。

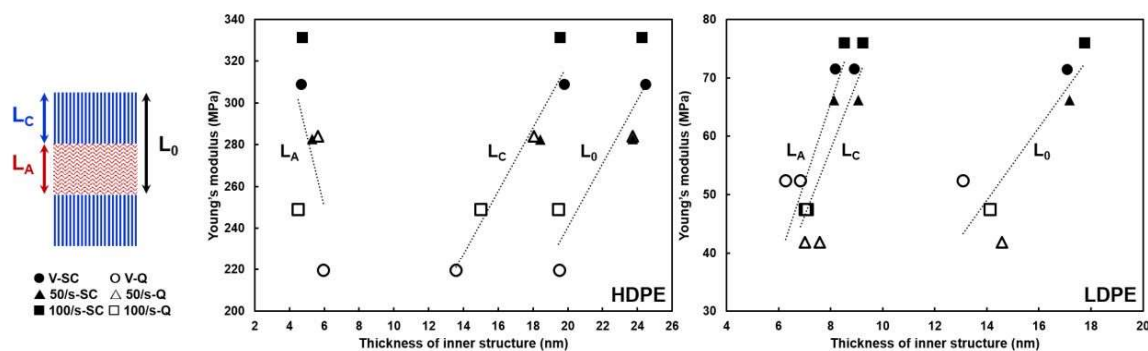


図 1 左：半結晶性プラスチックの内部構造の概略図、右：内部構造の厚さ ( $L_0$ 、 $L_C$ 、 $L_A$ ) と、成形条件が異なる (SC または Q) 未処理およびせん断処理された HDPE および LDPE のヤング率との関係

# 小角X線散乱による せん断処理プラスチックの構造解析

福岡大学 工学部 化学システム工学科

○特命研究助教 パントン パチャ\*  
教授 八尾 滋\*\*

2020年 10月 21日

## 発表内容

- 1 ・はじめに
- 2 ・実験方法
- 3 ・結果および考察
- 4 ・まとめ

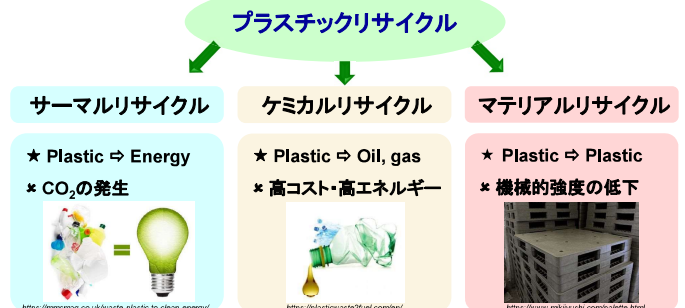
## はじめに

プラスチックは我々の日常生活で幅広く利用されているが、  
大量に廃棄されたプラスチックが世界的な問題になっている



## はじめに

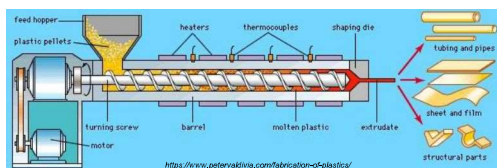
廃棄プラスチックを活用する有効な手段の1つとして  
近年リサイクルが注目されている



## はじめに

### マテリアルリサイクル

回収した廃棄プラスチックから不純物を除去し、樹脂ごとに選別後、洗浄・粉碎した  
フレーク(破砕品)を押し出機で熔融して細断した粒状(ペレット)を原料として再度プラ  
スチック製品を製造する手法

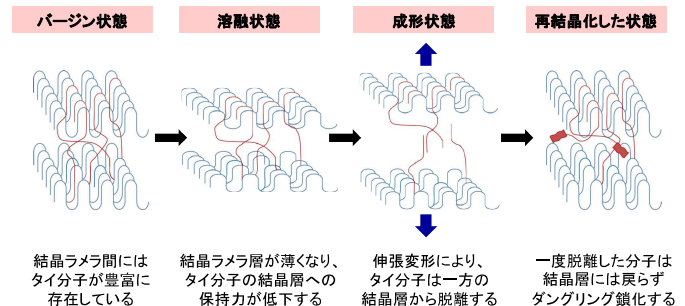


押し出機を用いたペレット作製手順

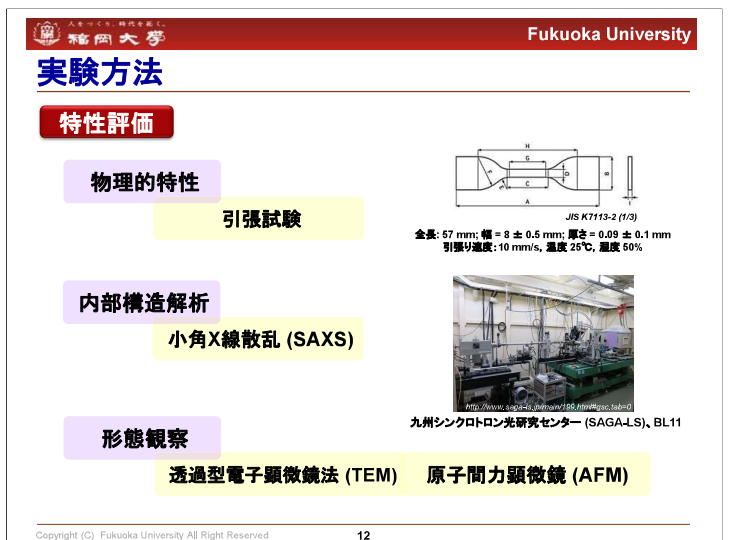
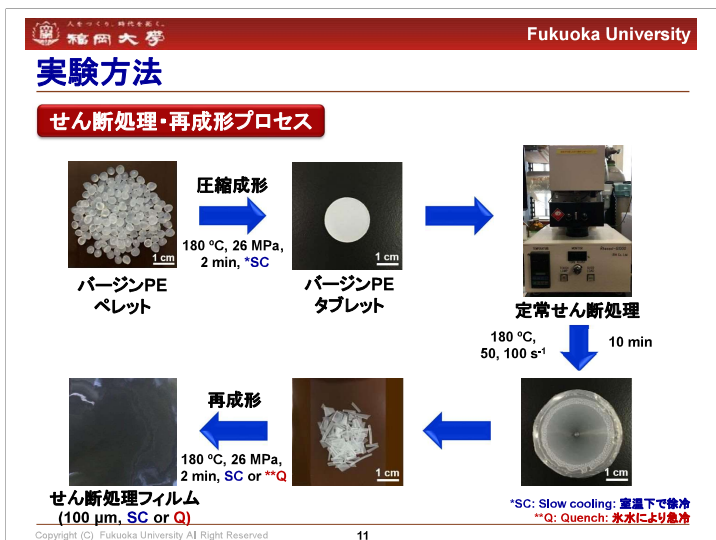
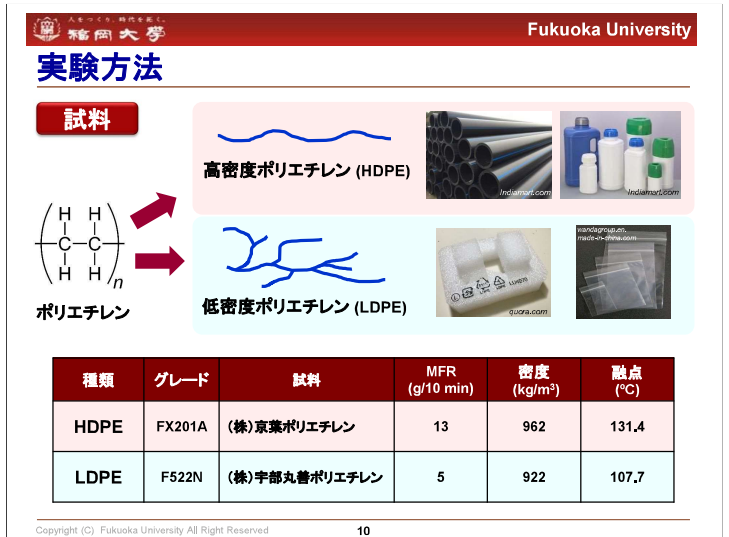
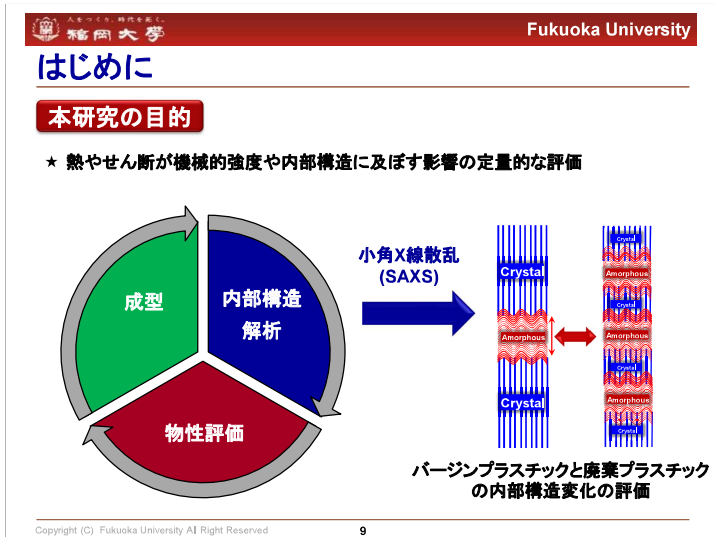
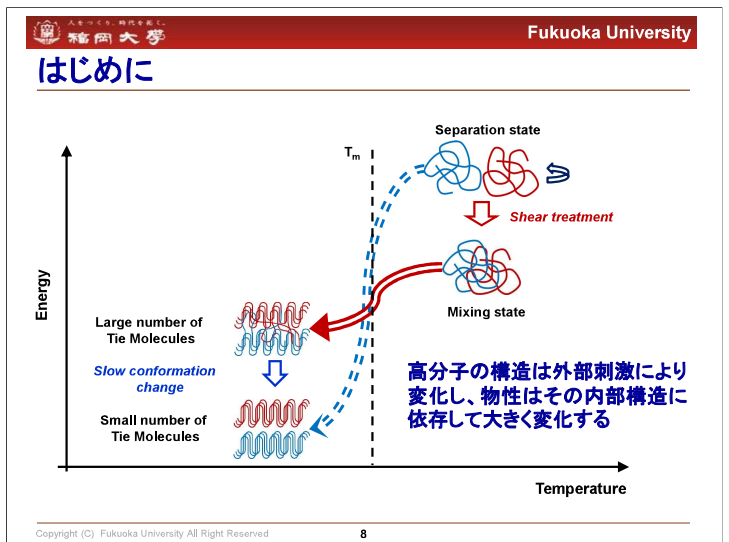
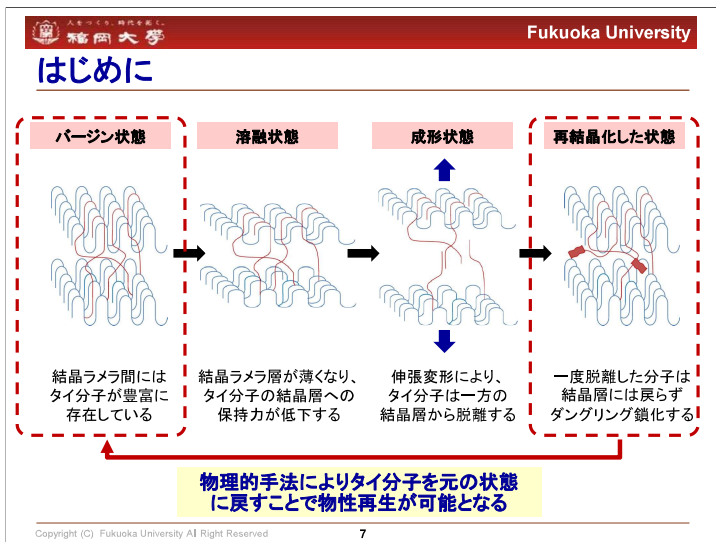
リサイクルプラスチックの  
機械的強度の低下

- × 分子鎖切断による化学劣化
- 成形履歴による物理劣化

## はじめに



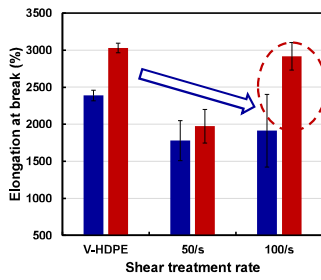
成形履歴を持つ樹脂は  
機械的強度が著しく低下する



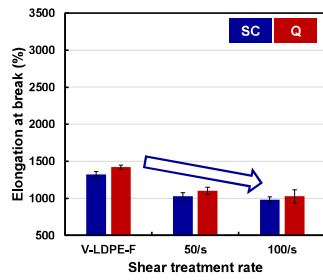
## 結果および考察

### 物理的特性・破断伸び

HDPE



LDPE

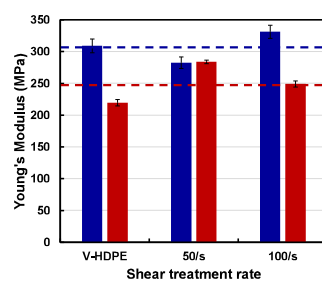


- せん断処理後はパーজন品に比べていずれも破断伸びが減少した
- 再成形条件によって破断伸びは大きく影響を受けることがわかった

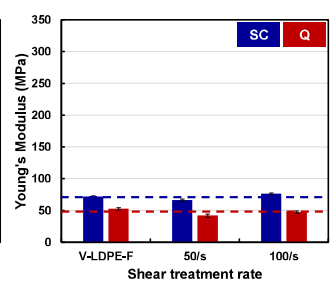
## 結果および考察

### 物理的特性・ヤング率

HDPE



LDPE

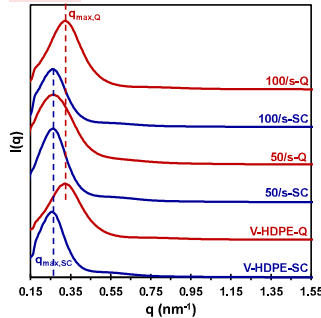


- ヤング率はせん断速度や再成形条件に影響を受けず、パーজন品とほぼ同等の物性を示した

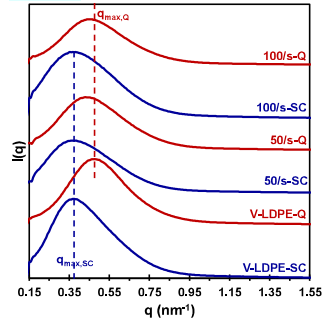
## 結果および考察

### 内部構造解析・SAXS

HDPE



LDPE



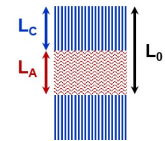
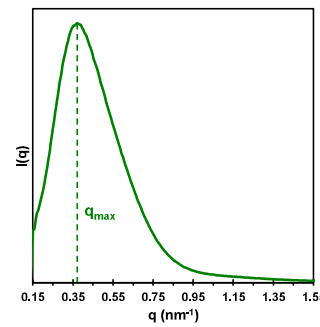
- せん断処理されたサンプルの $q_{max}$ はほとんど変化しなかった
- 再成形条件では急冷(Q)の $q_{max}$ が急冷(SC)と比較して大きくシフトした

$$q = \frac{4\pi \sin \theta}{\lambda}$$

$\theta$  = scattering angle  
 $\lambda$  = wavelength

## 結果および考察

### 内部構造解析・SAXS



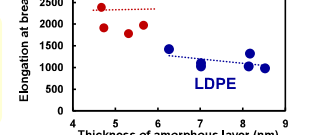
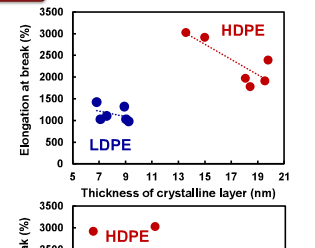
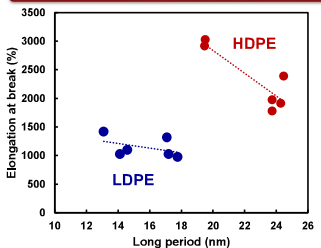
$$2\pi / q_{max} = L_0 = L_C + L_A$$

$$L_C = L_0 * X_C$$

- $L_0$  = 長周期 (nm)
- $L_C$  = 結晶層の厚さ (nm)
- $L_A$  = アモルファス層の厚さ (nm)
- $q_{max}$  = SAXSプロファイルのピーク ( $nm^{-1}$ )
- $X_C$  = 結晶化度 (%)

## 結果および考察

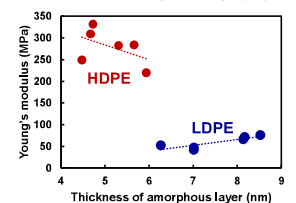
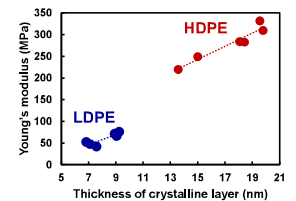
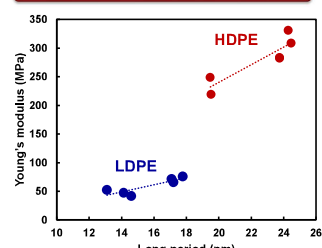
### 内部構造と破断伸び平均値の関係



- 内部構造と破断伸びとの関係は、すべての条件で負の相関がみられた
- 急冷(Q)で再成形することにより、いずれの条件でも内部構造が低下した

## 結果および考察

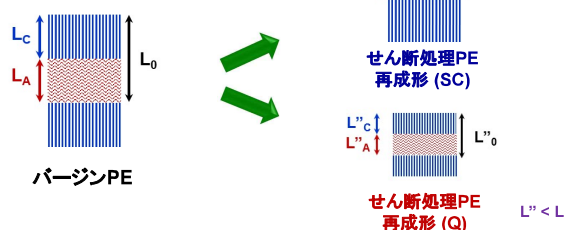
### 内部構造とヤング率の関係



- 内部構造とヤング率との関係は、すべての条件で正の相関がみられた
- 急冷(Q)で再成形することにより、内部構造とヤング率が低下した

## 結果および考察

### 内部構造変化のモデル



- ★ せん断処理により破断伸びは減少したが、内部構造は変化せずバージンとほぼ同じだった
- ★ 再成形の際に急冷することにより内部構造が低下し、それに伴い破断伸びが増加した
- ★ HDPEとLDPEのいずれのポリエチレンに対しても同様の傾向がみられた

## まとめ

- ★ SAXSを用いた評価は、プラスチックの内部構造変化を評価するのに非常に有用な手法であることが示唆された。
- ★ 物理的特性と内部構造の結果から、せん断処理を50および100/sで処理した際に、破断伸びが低下したが、内部構造にはほとんど影響を与えないことがわかった。それに対して、再成形条件は物理的特性、および内部構造に大きく影響を与えることがわかった。
- ★ 今後は、様々な物理的処理により内部構造がどのように変化するのかの系統的な知見を集めることにより、廃棄プラスチックのマテリアルリサイクル技術の確立を図る。

## 謝辞

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。