

脱石油社会に向けた熱可塑性複合材料の基礎的研究

環境海洋工学専攻
安全評価工学研究室
修士課程2年
66349 鈴木大介

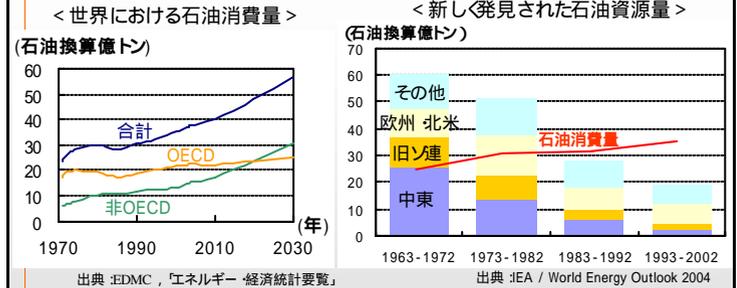
発表の流れ

1. 研究背景 (石油需給の逼迫 植物プラスチックへの転換)
2. ポリ乳酸の優位性とその問題点
3. 実験 (繊維強化による力学特性の向上)
 - 3.1 ケナフ繊維強化ポリ乳酸の物性評価
 - 3.2 ケナフ/アラミドポリ乳酸のハイブリッド材物性評価
4. ケナフ繊維強化ポリ乳酸による持続可能性評価
5. 結論

発表の流れ

1. 研究背景 (石油需給の逼迫 植物プラスチックへの転換)
2. ポリ乳酸の優位性とその問題点
3. 実験 (繊維強化による力学特性の向上)
 - 3.1 ケナフ繊維強化ポリ乳酸の物性評価
 - 3.2 ケナフ/アラミドポリ乳酸のハイブリッド材物性評価
4. ケナフ繊維強化ポリ乳酸による持続可能性評価
5. 結論

研究背景

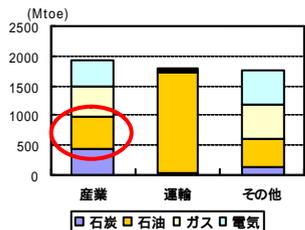


・石油消費量は非OECD諸国を中心に増大している。
 ・中東を中心に新しく発見される石油資源量は減少傾向にある。
 ・新しく発見された石油資源量はここ最近減少しており石油消費量を下回っている。

石油資源枯渇問題の深刻化

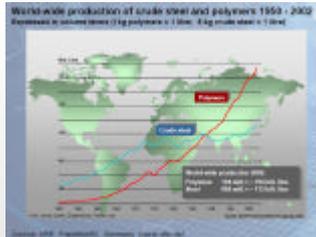
研究背景

< 部門別エネルギー消費量 >



出典 JEA / Energy Balance in 2005

< プラスチック生産量推移 >



出典 :Dutch Polymer Institute

・ < 運輸部門 > では車体の軽量化や電気自動車、< その他部門 > では暖房器具の電化と言った脱石油化対策が進められている。

・プラスチックの生産量は増大し、現在では体積で比較すると鉄鋼の約1.7倍になっている。



プラスチックに対しても脱石油化を図り、産業部門の石油依存度を下げる必要がある。

産業部門における石油資源枯渇問題に対する解決策

リサイクルの促進



(社)プラスチック処理促進協会HP

バイオマスプラスチックへの転換



エコジョーレポートEXPO 2005 AICHI, JAPAN

- プラスチックは種類が多様であるためリサイクルの際の分別が困難
- 日本におけるプラスチックのリサイクルは総排出量の21% (2004年)
- バイオマス・ニッポン総合戦略 (2006) 研究開発 制度設計が進行中
- 増産傾向の途上国でも適用できる

発表の流れ

1. 研究背景

石油需給の逼迫 植物プラスチックへの転換

2. ポリ乳酸の優位性とその問題点

3. 実験 (繊維強化による力学特性の向上)

3.1 ケナフ繊維強化ポリ乳酸の物性評価

3.2 ケナフ/アラミドポリ乳酸のハイブリッド材物性評価

4. ケナフ繊維強化ポリ乳酸による持続可能性評価

5. 結論

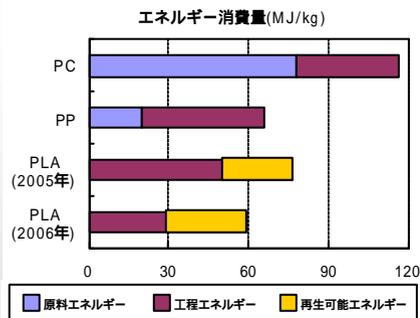
ポリ乳酸 (PLA) とは

- 植物から取り出したデンプンを原料とする、結晶性の熱可塑性樹脂。
- ポリ乳酸を最も多く生産しているのは米Cargill-Dow社で、年産14万トンの生産プラントを持っている。
- 日本ではトヨタ自動車が2004年には年産1000トンの実証プラントを建設している。
- また、トヨタ自動車は将来的に2000万トンの供給体制を構築する構想を発表している。



エコジョーレポートEXPO 2005 AICHI, JAPAN

ポリ乳酸の優位点-エネルギー消費量-



出典:日経ものづくり 2007年10月

- PLAは植物由来プラスチックのため原料エネルギーを消費しない。
- PLAの生産量増加による生産プロセスの効率化。
- 製造工程に風力発電を使用することによる再生可能エネルギーの増加

ポリ乳酸の欠点-物性値-

	ABS	PC	PP	PLA
曲げ弾性率 [GPa]	2.4	2.4	1.4	3.7
曲げ強度 [MPa]	71.8	90	36.2	98
衝撃吸収値 [J/m]	205	830	37	29
荷重たわみ温度[]	89	142	100	55

- 曲げ弾性率・曲げ強度は他の樹脂と同等の値を示している。
- 耐衝撃性・耐熱性が他の樹脂と比較して低い。

天然繊維強化ポリ乳酸

< 代表的な天然繊維の特性 >

	弾性率 [GPa]	強度 [MPa]
ジュート	55	394
麻	25	560
ケナフ	25	448

< ケナフ繊維強化ポリ乳酸の適用事例 >



・第40回東京モーターショー2007にてトヨタ紡織が発表
・トヨタ自動車の乗用車「ラウム」のドアトリム

ケナフの特徴

- 成長が早い(一年草植物)
- 光合成速度が通常の樹木の3~9倍
- 地球温暖化対策として有望



ケナフ繊維強化ポリ乳酸(KE/PLA)における先行研究

	PLA単体	KE/PLA
耐衝撃性	×	×
耐熱性	×	

耐衝撃性の改善のために、耐衝撃性の強い樹脂をブレンドすることが試みられているが、剛性が低く適用分野が限られている。

本研究の目的

脱石油社会の構築に向けたケナフ繊維強化ポリ乳酸の力学特性の向上

力学特性評価

- ポリ乳酸にケナフ繊維を添加させたことによる効果の確認
(汎用性のある樹脂であるポリプロピレンを用いて強化構造の比較)
- アラミド繊維を添加させることによる衝撃吸収値の向上

持続可能性評価

- 既存の石油プラスチックから植物プラスチックへの代替によるCO₂排出量削減効果の算出

発表の流れ

1. 研究背景 (石油需給の逼迫 植物プラスチックへの転換)
2. ポリ乳酸の優位性とその問題点
3. 実験 (繊維強化による力学特性の向上)
 - 3.1 ケナフ繊維強化ポリ乳酸の物性評価
 - 3.2 ケナフ/アラミドポリ乳酸のハイブリッド材物性評価
4. ケナフ繊維強化ポリ乳酸による持続可能性評価
5. 結論

実験に用いた繊維 樹脂の基材

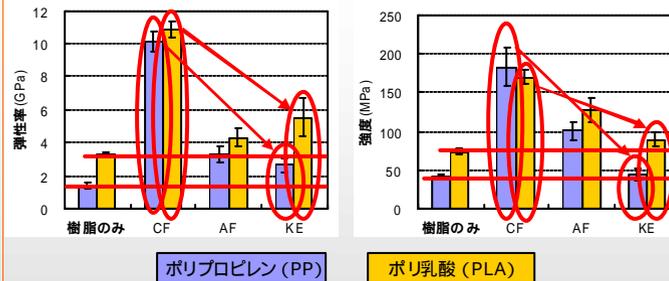


3種類の繊維と2種類の樹脂を用いて計6種類の試験片を作成した。
 曲げ試験・衝撃試験・ヒートサグ試験による物性評価

試験片の作成



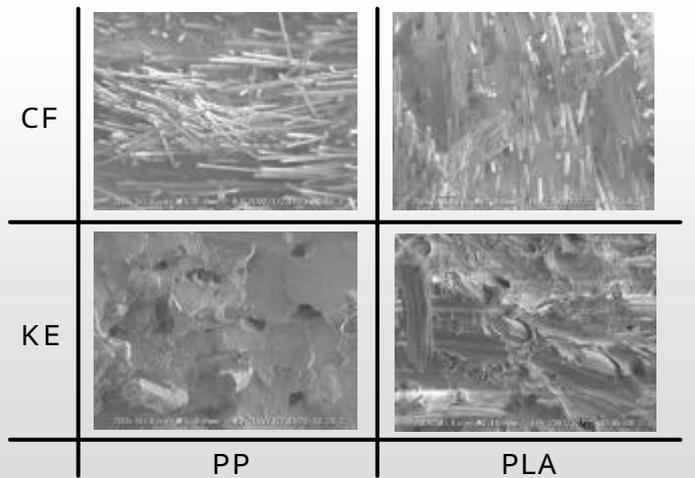
曲げ試験結果



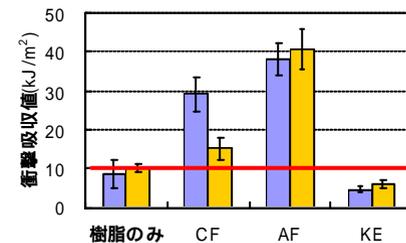
- ・母材としてPPを用いた場合、CF/PPと比較してKE/PPは弾性率、強度共に約4分の1の値を示した。
- ・一方でPLAを用いた場合はCF/PLAと比較してKE/PLAは弾性率、強度共に約半分の値を示した。

これはKE/PLAは繊維、樹脂ともに植物から作られているため相性の良い組み合わせだったと考えることができる。

破断面観察



衝撃試験結果



ポリプロピレン (PP)

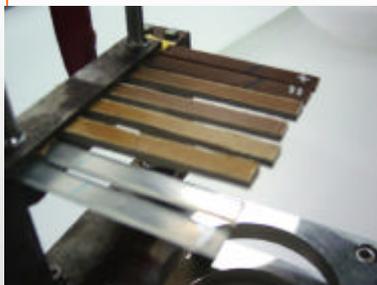
ポリ乳酸 (PLA)

- ・ケナフ繊維を添加することによって樹脂のみよりも低い値になった。
- ・一方で、アラミド繊維を添加すると高い衝撃吸収値が得られた。



植物由来の複合材料にとってこの衝撃吸収値を改善することは重要な課題である。

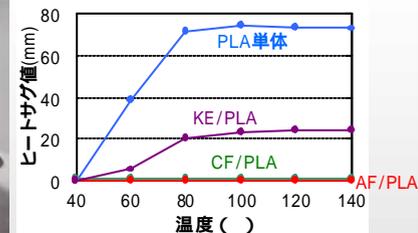
ヒートサグ試験



ヒートサグ試験【IS-K 7195】

- ・耐熱性を検証する試験
- ・片持ち梁の状態恒温槽内に試験片を1時間放置後、たわみ量を計測
- ・試験片 (各温度条件につき2本)
125 mm × 10 mm × 4 mm
- ・試験温度 : 40 ~ 140 (Q0 おき)
- ・ヒートサグ値 (たわみ量) が小さいほど耐熱性に優れていることを表している。

ヒートサグ試験結果



- ・PLA単体に注目すると、炉の温度を60 にした時からたわみが生じてしまった。
- ・PLAにケナフ繊維を添加することによって耐熱性の向上が確認された。
- ・CFとAFに関しては、試験温度内においてたわむことなく極めて優れた耐熱性を示した。

まとめ

- 曲げ試験、衝撃試験、SEM写真よりケナフ繊維とポリ乳酸は共に植物由来の材料であるため接着性に優れており、ポリプロピレンを用いた場合と比べても、優れた力学特性を得ることができた。
- また、ヒートサグ試験を行うことによって繊維の添加による耐熱性の向上が確認された。

	結晶化	成形後の アニーリング処理	生産性
従来の ポリ乳酸	遅い	必要	低い
繊維強化 ポリ乳酸	速い	大幅に短縮	向上



つまり、ポリ乳酸に繊維を添加することによって力学特性・生産性が共に向上するといふ相乗効果があることが分かった。

まとめ

KE/PLAの問題点

耐衝撃性が樹脂単体よりも低いこと。
(耐熱性は向上したもののCFやAFと比較するとまだ低いこと。)

	KE/PLA	AF/PLA	CF/PLA
曲げ弾性率[GPa]	5.5	4.3	10.9
曲げ強度[MPa]	89.3	128.1	169.3
衝撃吸収値[kJ/m ²]	5.9	40.6	15.2
耐熱性			

ハイブリッド材の提案

(植物化率とは原料に占める植物由来原料の割合)

- KE/PLA (植物化率=100%)は耐衝撃性が低く、耐衝撃性能が要求される部材には適用できない。
- 植物化率を90%程度にすること(CFやAFの添加)によって適用分野が広がる可能性がある。



そこで、耐衝撃性や耐熱性に優れているアラミド繊維をKE/PLAに添加することでハイブリッド材を作成し、さらなる力学特性の向上を図ることとした。

発表の流れ

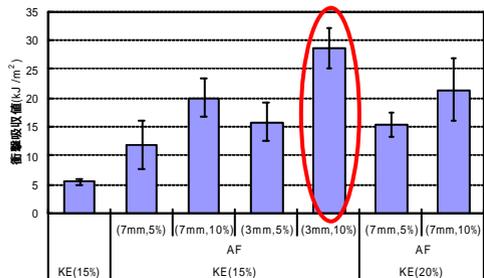
1. 研究背景 (石油需給の逼迫 植物プラスチックへの転換)
2. ポリ乳酸の優位性とその問題点
3. 実験 (繊維強化による力学特性の向上)
 - 3.1 ケナフ繊維強化ポリ乳酸の物性評価
 - 3.2 ケナフ/アラミドポリ乳酸のハイブリッド材物性評価
4. ケナフ繊維強化ポリ乳酸による持続可能性評価
5. 結論

ハイブリッド材の試験片作成

(vol%)	AF	AF	KE	PLA	植物化率
	3mm	7mm			
	0	5	15	80	95
	0	10	15	75	90
	5	0	15	80	95
	10	0	15	75	90
	0	5	20	75	95
	0	10	20	70	90

- アラミド繊維の含有量や繊維長、ケナフ繊維の含有量を変えることによって上記の表のような6種類の試験片を作成した。
- アラミド繊維の添加により植物化率は100%ではなくなっている。

衝撃試験結果



AF(3mm)/PLA



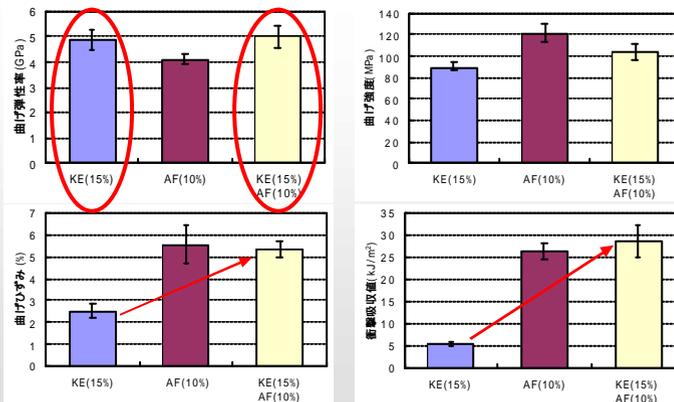
AF(7mm)/PLA

試験片 (AF:3mm,10%、KE:15%) の衝撃吸収値が最も大きな値になった。
 ・これは、アラミド繊維が3mmの方が7mmと比較してプレス成形の際に試験片内における分散性が良いことが関係していると考えられる。



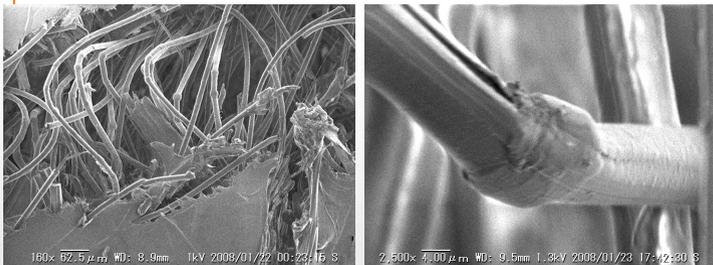
以下では、この試験片 に注目してハイブリッド材の効果を考えていくことにする。

曲げ試験結果の比較



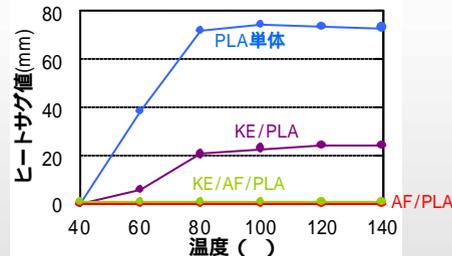
ハイブリッド材の弾性率はKE/PLAと同等の結果が得られた。
 また、ひずみや衝撃吸収値はAF/PLAと同等の値を得ることができた。

破断面観察 (曲げ試験片)



試験片 のみアラミド繊維に複数の丸い“こぶ”のようなものが観察された。
 ・拡大図より、この“こぶ”は繊維破損であることが分かった。
 ・つまりアラミド繊維が樹脂から引抜ける際に、一気に引抜けるのではなく数回繊維が抵抗しながら段階的に破損したと予想される。
 ・このことも優れた衝撃吸収値を得ることができた1つの要因であると考えられる。

ヒートサグ試験結果

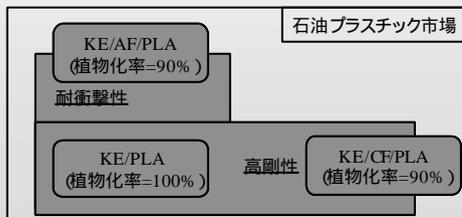


もともと高い耐熱性を示していたAF/PLAと同等の結果を得ることができた。
 ・ハイブリッド材にすることで耐熱性はさらに改善されたことが確認できた。

まとめ

ハイブリッド材にすることで耐衝撃性の大幅な改善と耐熱性の更なる改善が確認された。

	PLA単体	KE/PLA	KE/AF/PLA
曲げ弾性率[GPa]	3.2	4.9	5.0
曲げ強度[MPa]	73.9	89.9	104.3
衝撃吸収値[kJ/m ²]	10.2	5.5	28.7
耐熱性	×		
植物化率	100%	100%	90%



発表の流れ

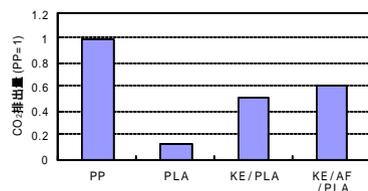
1. 研究背景 (石油需給の逼迫 植物プラスチックへの転換)
2. ポリ乳酸の優位性とその問題点
3. 実験 (繊維強化による力学特性の向上)
 - 3.1 ケナフ繊維強化ポリ乳酸の物性評価
 - 3.2 ケナフ/アミドポリ乳酸のハイブリッド材物性評価
4. ケナフ繊維強化ポリ乳酸による持続可能性評価
5. 結論

各材料のCO₂排出量比較

< 各種材料の力学特性とCO₂排出量 >

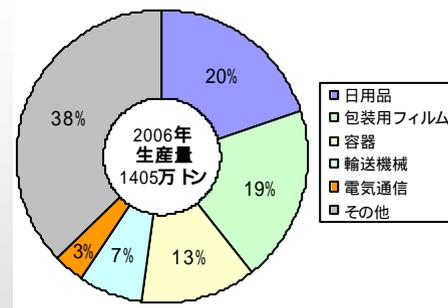
	PP	PLA	KE/PLA	KE/AF/PLA
曲げ弾性率[GPa]	1.4	3.27	4.9	5.0
曲げ強度[MPa]	36.2	73.9	89.9	104.3
衝撃吸収値[kJ/m ²]	37	10.2	5.5	28.7
CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /kg]	2.00	0.30	1.45	1.77

ある厚さを持つPP部材と同じ曲げ弾性率を得ようとしたとき、その部材の製造時に排出されるCO₂の比較 (PPのCO₂排出量を1として基準に用いた。)



植物プラスチックによる代替分野

< プラスチックの用途別生産比率(2006年) >



出典:プラスチック処理促進協会ウェブサイト
- プラスチック関連知識

• 比率が大きい上位5つの分野に注目し本研究の代替分野とした。

各分野において必要とされる品質要件

	剛性	耐衝撃性	耐熱性	PLA	KE/PLA	KE/AF/PLA
日用品						
包装用フィルム						
容器						
輸送機械(内装材)						
電気通信						

出典：日本有機資源協会

<日用品：ネームホルダー>



<輸送機械(内装材)：タイヤカバー>

<電気通信：携帯電話筐体>



ポリ乳酸の供給持続性

植物資源	世界収量(億トン/年)	糖質理論収率(%)	糖質換算両量(億トン/年)
小麦	5.6	60	3.36
トウモロコシ	5.3	60	3.18
米	5.3	60	3.18
馬鈴薯	2.7	15	0.14
キャッサバ	1.5	20	0.30
サツマイモ	1.3	25	0.33
サトウキビ	11.0	15	1.56
ビート	2.8	15	0.42
合計	35.5		12.8

出典：科学技術動向研究センター

糖質1トンから680kgのポリ乳酸を製作可能

最大で約8.7億トン/年のポリ乳酸が生産可能

・代替量を750万トンと仮定したポリ乳酸は約0.9%に値する。
 ・この概算は可食部分だけの値であり、ポリ乳酸は残渣からも糖質を抽出可能。
 ・バイオエタノールは2025年には約1億3000万t生産することが予測されている。



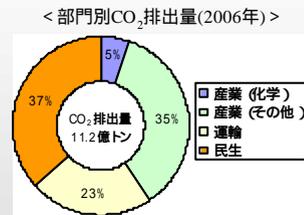
植物プラスチックによる代替が直ちに食糧問題に影響を及ぼすとは考えにくい。

CO₂排出量削減効果

以上の仮定を用いて植物プラスチック代替によるCO₂削減効果を算出すると約37%(1500万t-CO₂)の省エネルギー効果があることが分かった。

京都議定書目標達成計画

2006年から2012年までに約1億5000万t-CO₂の二酸化炭素を削減しなければならない。



・今回の仮定では代替に必要なポリ乳酸は約750万トンに及ぶ。
 ・そのため短期的に考えると代替が進む可能性はきわめて低い。
 ・中長期的な視野を持って既存の石油由来プラスチックを植物由来プラスチックに代替していくことはCO₂排出量削減に対して十分な効果を示すことが確認された。

発表の流れ

1. 研究背景(石油需給の逼迫 植物プラスチックへの転換)
2. ポリ乳酸の優位性とその問題点
3. 実験(繊維強化による力学特性の向上)
 - 3.1 ケナフ繊維強化ポリ乳酸の物性評価
 - 3.2 ケナフ/アラミドポリ乳酸のハイブリッド材物性評価
4. ケナフ繊維強化ポリ乳酸による持続可能性評価
5. 結論

結論

耐熱性や耐衝撃性が問題となっていたポリ乳酸単体やケナフ繊維強化ポリ乳酸において、アラミ繊維を添加しハイブリッド材にすることでこれらの問題は一掃されることが分かった。

・このことから植物化率を100%にこだわるのではなく、まずは90%付近の材料を製作することによって、植物由来プラスチックの適用分野が大きく広がることが期待される。

・これらの植物プラスチックへ代替することによってCO₂排出量の削減効果を試算すると、約37% (1500万t-CO₂) の省エネルギー効果を見込めることが分かった。

・以上より、植物プラスチックを用いて代替可能性を示すことができたことは、脱石油社会の構築という本研究における大目的に向かって十分な足がかりを得ることができたと言えるだろう。

終わり

ご清聴ありがとうございました。