

ケナフ繊維束強化ポリ乳酸の力学特性 評価と持続可能社会への貢献度評価

Mechanical Property and Contribution to Sustainable Society
of Kenaf Fiber Reinforced Polylactic acid

東京大学工学部システム創成学科
環境・エネルギーシステムコース4年
30748 中村美帆子

発表の流れ

研究の背景

力学的特性

貢献度評価

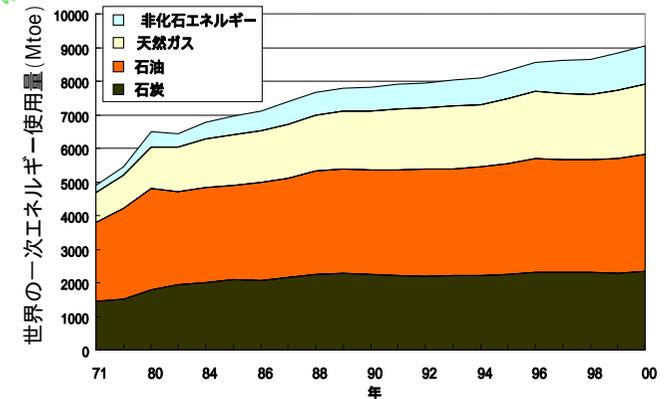
既存の材料を見直す必要性

枯渇性資源を原料に使用しないケナフPLAの力学特性を明らかにする

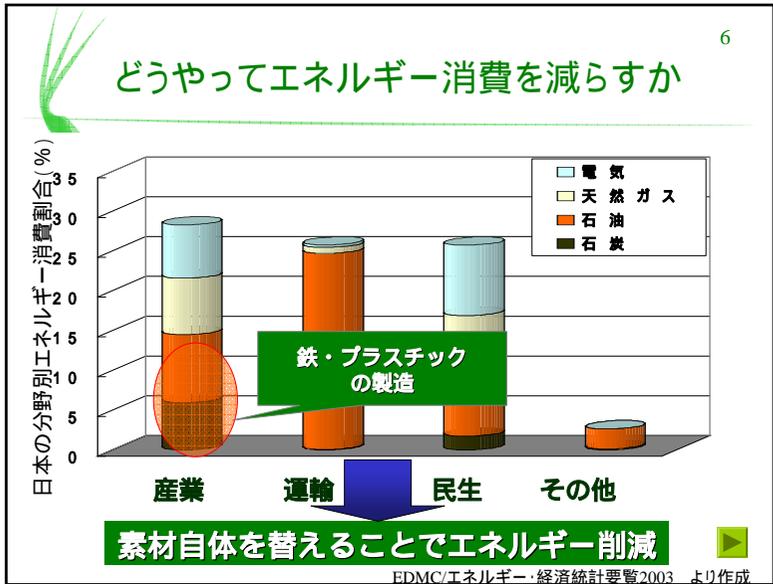
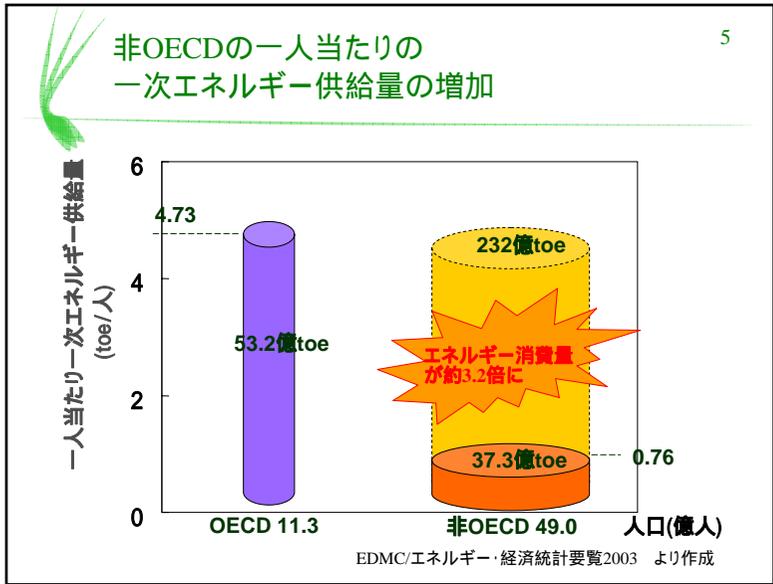
持続可能社会への貢献度の指標として化石燃料の削減量を予測

研究の背景

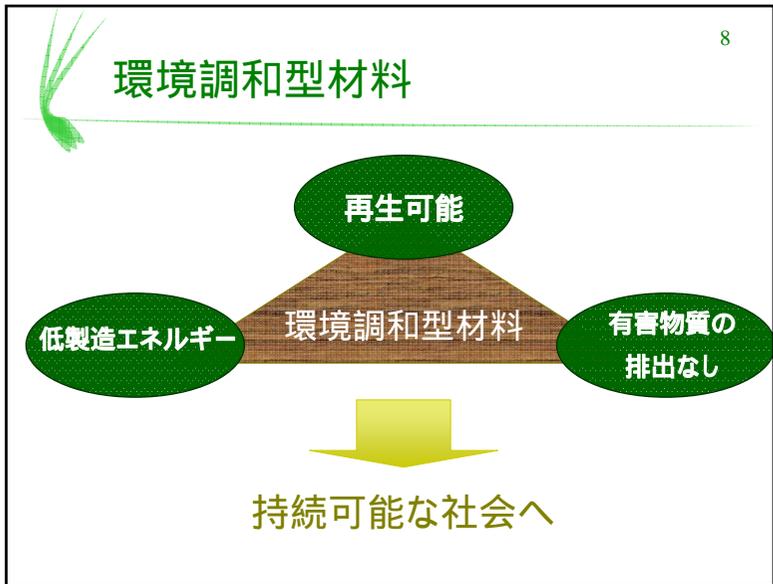
エネルギー使用量の増加



EDMC/エネルギー・経済統計要覧2003 より作成



- ### 7 究極的なエネルギー使用の形態
- 民生**
最終的には再生可能エネルギー起源の電力による電化
 - 運輸**
最終的には燃料電池、脱石油化に
 - 産業**
素材部門の原料に使用するための化石燃料は減らすことができない



9

ケナフ



3号館中庭にて栽培中

- 麻に似た繊維
- 播種後4-5ヶ月で高さ4-5mまで成長
- 世界各地で生産可能
- 非木材紙の原料として近年注目
- 光合成能力に優れ二酸化炭素の吸収量が多い

10

ポリ乳酸



植物でんぷん

酵素分解 → 糖質

乳酸発酵 → 乳酸

化学的に重合 →



ポリ乳酸

利点

- 成形加工性
- 透明性
- 高剛性
- 生体安全性
- 原材料
- 生分解性

欠点

- 耐衝撃性
- 耐熱性

11

コストについて(1)

- 現状ではポリ乳酸の価格は約300円/kg (ポリプロピレンの価格は150円/kg程度)
- ケナフの価格は約600円/kg (麻の価格は120円/kg程度)

現状ではケナフPLAのコストは鉄鋼・プラスチックより高い導入のためには価格がプラスチックや鉄と同等になることが必要

12

ケナフ繊維束強化ポリ乳酸




- PLAの欠点である耐熱性・耐衝撃性が向上
- 構造部材として使える強度を実現

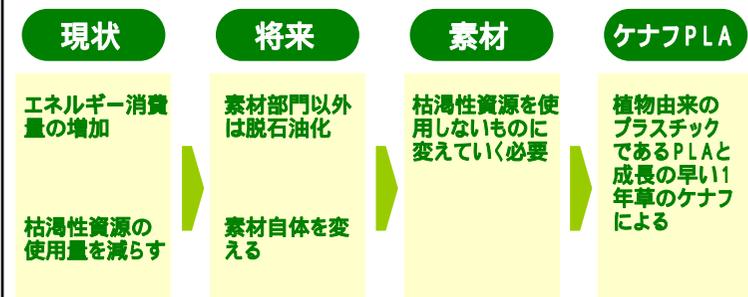





既存材料の代替

研究の背景 まとめ

13

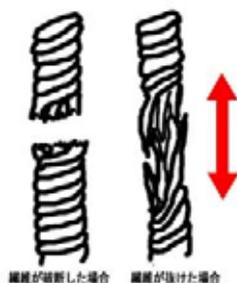


ケナフ繊維束強化プラスチックの力学的特性

ケナフ繊維束の引張試験(1)

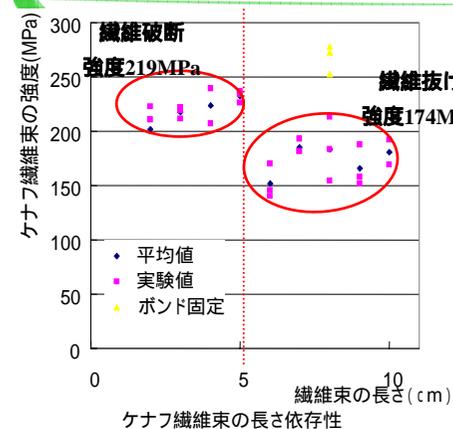
15

- ケナフ短繊維の長さは4-6cm
- 繊維自体が破断した場合と繊維が抜けた場合で強度に差が出ると予想
- 正確なケナフ繊維束の強度を知るため、ケナフ繊維束の長さを変えて測定



ケナフ繊維束の引張試験(2)

16



- 5cmのところ傾向分かれる
- 短い方が強度が大きい
- 平均219MPa

17

ケナフ繊維束強化ポリ乳酸の作成 (1)

鉄板
アルミ板
ポリ乳酸ペレット
アルミ板
鉄板

圧力調節によるポイド抜き

- ペレットから厚さ約0.5mmのシートを作成
- 薄型、圧力調節によりポイドはほとんどない
- 圧力2MPa、成形温度180

18

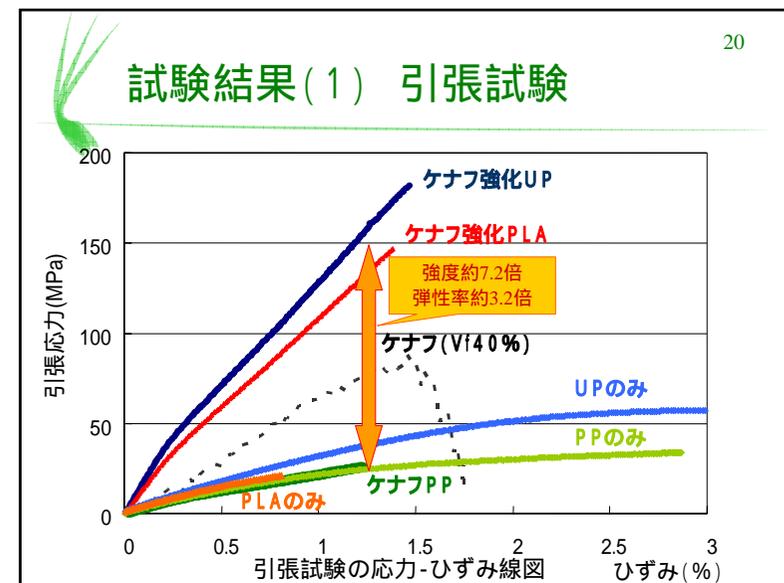
ケナフ繊維束強化ポリ乳酸の作成 (2)

金型による成形 幅120mm × 厚さ2mmの板が成形される
巻き数480回 体積含有率は40%
徐冷により結晶化 圧力2MPa、成形温度180

19

力学的特性試験

- 引張、圧縮、曲げについて強度、弾性率を測定
- 比較のため熱硬化性樹脂であるUP(不飽和ポリエステル)と熱可塑性樹脂であるPP(ポリプロピレン)をケナフで強化したものも試験



引張試験 考察(1)

通常複合材料の強度と弾性率は繊維とマトリックスの中間
繊維の断面積 $A \times V_f$ マトリックスの断面積 $A \times (1-V_f)$

繊維が負担する荷重 $(A \times V_f) \times f$

マトリックスが負担する荷重 $A \times (1-V_f) \times m$

この合計が複合材料にかかる荷重 A に等しいので、

$$A = f \times A \times V_f + m \times A \times (1-V_f)$$

$$= f \times V_f + m \times (1-V_f)$$

ひずみが一定になるはずであるので、

$$= f = f/E_f = m = m/E_m$$

弾性率 $E = \sigma / \epsilon$ であること、及び前記二式より

$$E = \sigma / \epsilon = \{ f \times V_f + m \times (1-V_f) \} / (f / f)$$

$$= E_f \{ V_f + m \times (1-V_f) / f \}$$

$$= E_f \times V_f + E_m \times (1-V_f)$$

引張試験 考察(2)

- 複合則から理論値を求めるとケナフPLAの弾性率の理論値は3.6GPaと実験値15.8GPaと大きく離れている。
- ケナフ単繊維の文献値を用いると強度220MPa弾性率9.4GPaで弾性率に関しては強度の発現率が100%を超える。
- 樹脂で固めることが効果上げる
- 撚った繊維の場合、複合則に補正定数kが付くのではないか。

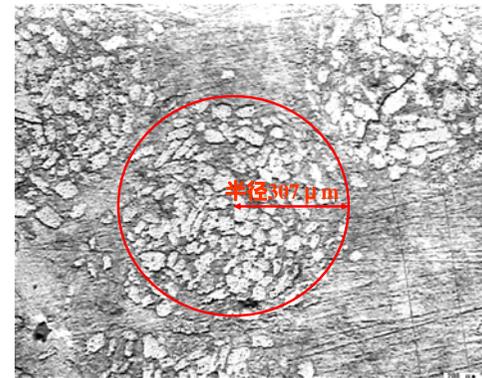
$$E = k E_f \times V_f + E_m \times (1-V_f) \quad k = 2 \text{ (今回の実験の場合)}$$

試験結果(2) 結果表

		UP		PP		PLA	
		ケナフ強化	強化率(%)	ケナフ強化	強化率(%)	ケナフ強化	強化率(%)
引張	強度 MPa	183	317	26.2	81	151	723
	弾性率 GPa	17.3	516	2.64	100	15.8	326
圧縮	強度 MPa	96.6	116	95.5	145	93.7	83
	弾性率 GPa	14.2	451	13.1	498	15.0	305
曲げ	強度 MPa	175	186	119	184	135	422
	弾性率 GPa	13.2	208	8.86	159	11.3	301

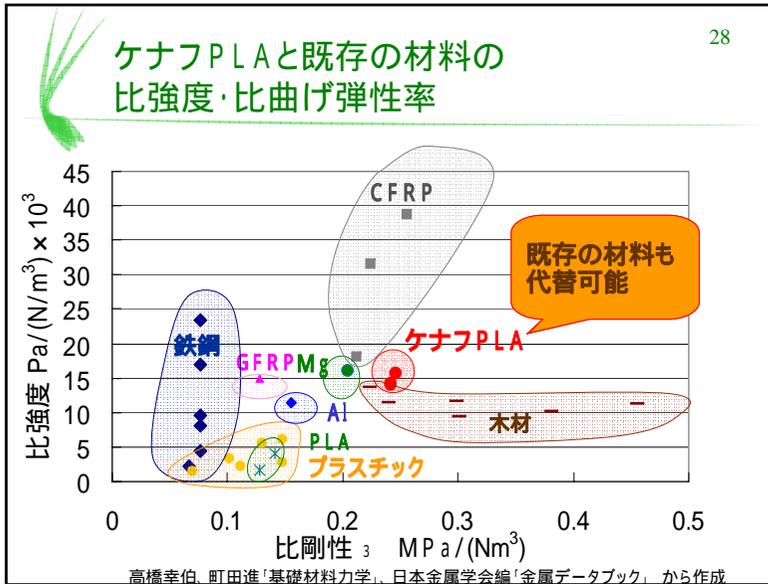
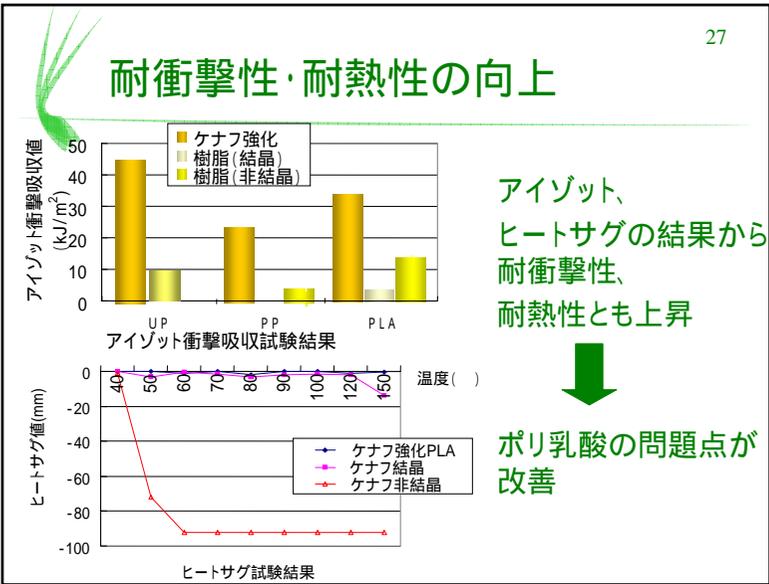
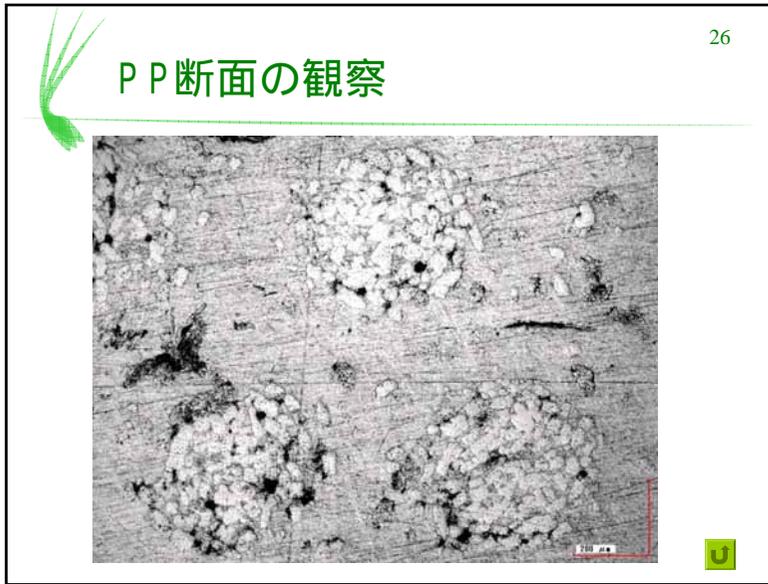
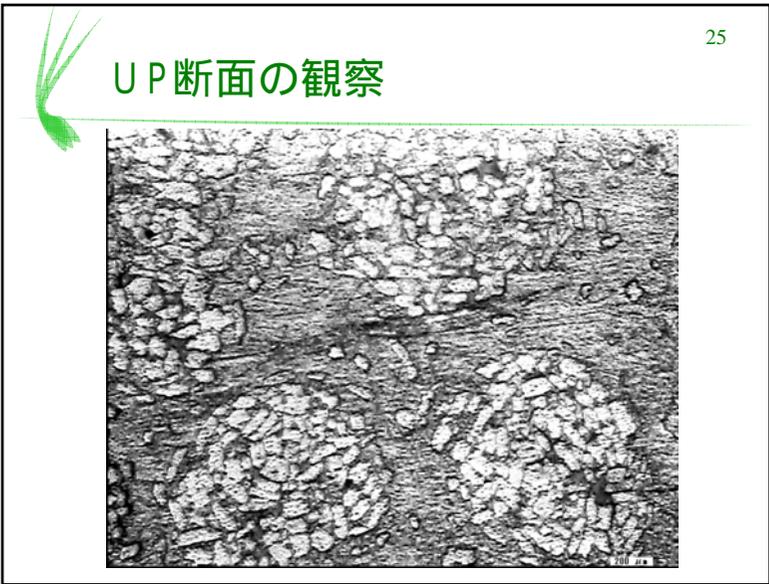
- ケナフ繊維束を入れることによる強度の上昇率大
- 特にPLAの曲げ強度は大きく上昇

繊維断面の観察 PLA



- ボイドは特になし
- 断面積は0.21mm²
- 含浸が十分
- 繊維束の間に隙間
- 樹脂が良く入り込んでいる
- PPは周辺部にボイド
- UPは中央部にボイド

レーザー顕微鏡による画像 倍率 400倍



力学的特性 まとめ

29



ケナフ繊維束強化ポリ乳酸の持続可能性社会への貢献度

持続可能な社会に必要な要素

31

枯渇性資源の使用量が少ない
製造にかかるエネルギー消費が少ない
原料が枯渇しない

今回はこの部分でケナフPLAの貢献度を評価

有害な排出物を社会に蓄積しない
温室効果ガス(CO₂、CH₄)
NO_x、SO_xなどの大気汚染物質
分解されない廃棄物

現在社会における材料使用について³²の疑問

現在鉄鋼やプラスチックが使われている箇所は本当にその性能が必要とされているのか？

成形性という作り手の便利さから使用されているだけのものも多いのではないだろうか？
(木材で十分なものが鉄鋼に)

ケナフPLAによる鉄の代替

33



普通鋼鋼材国内需要概況
社団法人日本鉄鋼連盟ホームページより作成

分野	用途	現在の鉄鋼使用量に占める割合	ケナフPLAによって代替できると考えられる割合
建築	主に鉄骨に使われる	32%	45%
土木	道路・港湾・ダムなど	17%	10%
造船	船体部・動力部など	5%	-
自動車	ボディなど	16%	-
機械	産業用機械・電気機械	9%	5%
その他	容器・家具・雑貨など	21%	20%

- 従来木でも問題なかった分野ではケナフPLAで代替可能
- 従来木が使用されていた分野に鉄が使われているのは強度より成型性が求められている場合が多い
- ケナフPLAによって全体の約20%は代替可能

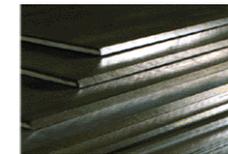


木 鉄 環境調和型材料

34



木材
構造物の多くが木によって作られていた



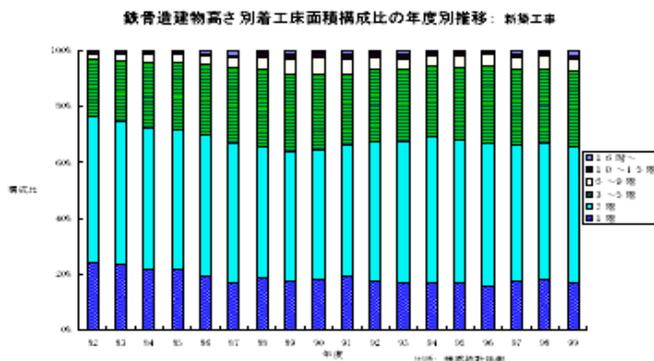
鉄鋼
成形性の良さ、大量生産性から木に取って変わった



環境調和型材料
枯渇性資源を使用しない、成形性がよい

建設分野の鉄鋼の代替

35



- 鉄骨造りの建築の65%が1-2階建て鉄鋼としての強度それほど必要でない



ケナフPLAによるプラスチックの代替

36

用途 代替量の単位%	現在のプラスチック使用量に占める割合	PLAによる代替量	ケナフPLAによる代替量
容器・包装	31.2	50	5
自動車・車両	6.8	40	15
電気・電子	9.4	55	10
一般・精密機器	6.3	50	5
建築・土木	11.3	5	35
雑貨・その他	18.8	50	15
塗料・接着剤	8	-	-
繊維類	8.2	30	-

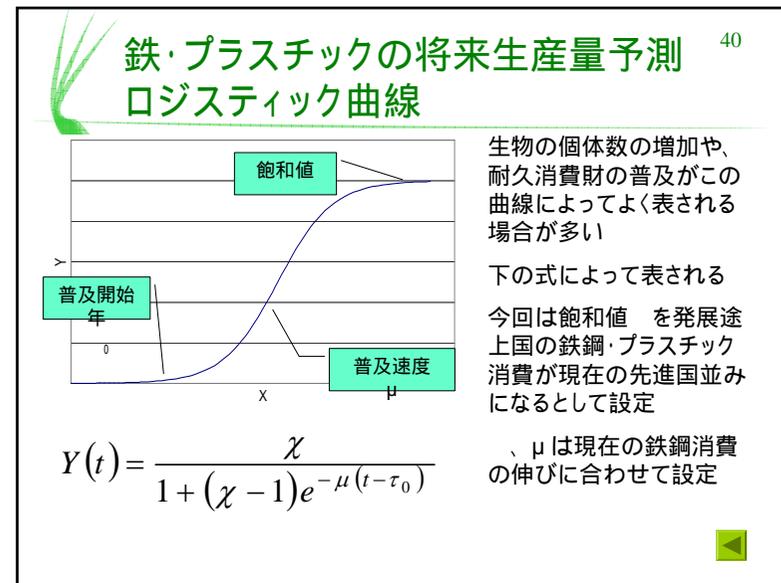
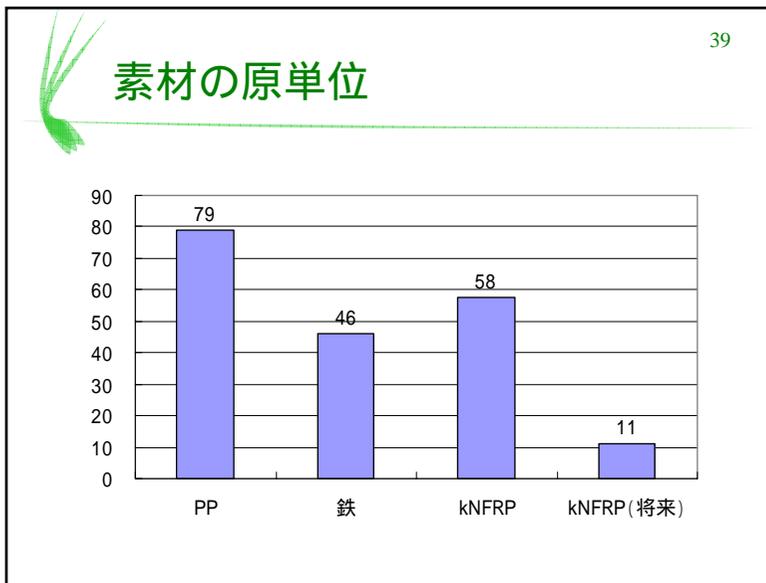
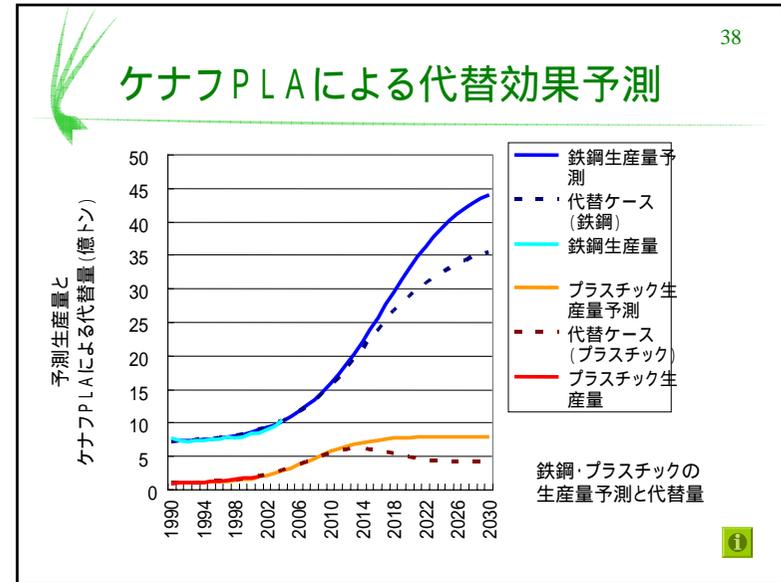
- 強度的には十分代替可能
- 薄さや透明性が求められる分野ではPLA単体による代替も可能
- PLA単体の代替ポテンシャルは平成15年度バイオ生分解素材開発・利用評価事業報告書による
- ケナフ繊維束強化を含めると50%は代替可能

割合・PLA代替量については平成15年度バイオ生分解素材開発・利用評価事業報告書より作成

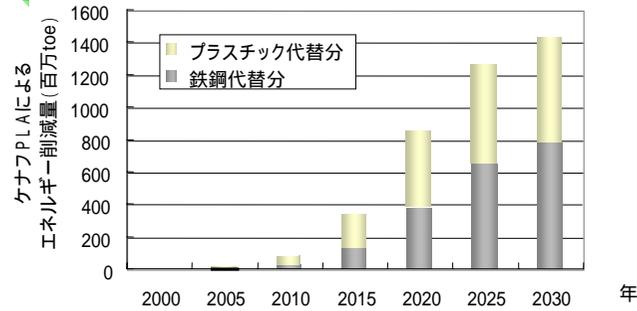


樹脂名	容器・包装	自動車・車両	電気・電子	一般・精密	建築・土木	雑貨・他	接着・塗料	繊維	合計
ポリエチレンテレフタレート	570	28	228	16		61		609	1512
ポリ塩化ビニル	100	100	67	184	952	267			1670
ポリスチレン	561		150	105	49	121			986
ABS樹脂		65	91	83	41	133			413
AS樹脂		8	13			22			43
低密度ポリエチレン	1300		80		52	200		8	1640
高密度ポリエチレン	447	15	10	10	91	350		102	1025
エチレン酢酸ビニル	82					45	21		148
ポリプロピレン	858	259	240	240		898		245	2740
石油樹脂								107	107
ポリビニルアルコール			10				81	49	140
エチレンビニルアルコール	11								11
ポリ塩化ビニリデン	55						11	0.3	66.3
メタクリル樹脂		21	43		33	27			124
可塑性エラストマー	5	44	12	6	5	21	45		138
フェノール樹脂		18	37			62	92		209
ウリア樹脂			9			11	190		210
メラミン樹脂	4		2		4	6	135		151
不飽和ポリエステル樹脂		17		42	90	17	32		198
エポキシ樹脂			65				89		154
ポリウレタン樹脂		112		38	109	91	228	26	604
エンジニアリングプラスチック	46.6	187	158	88	43	101	7	24.4	655
合計	4040	874	1213	812	1496	2433	1038	1064	12970

平成15年度バイオ生分解素材開発・利用評価事業報告書より引用



ケナフPLAによるエネルギー削減効果



- 代替効果は2030年には14億toeを超える
- 非導入時のエネルギー使用量の4分の1を削減

社会貢献度 まとめ

ケナフとPLAによりプラスチックの50%、鉄鋼の20%が代替可能と予測

最終エネルギー消費の約12%を占める基礎素材の製造エネルギーはケナフとPLAにより4分の1を削減出来るポテンシャルがある

枯渇性資源の節約の面で
持続可能社会へ貢献度大

結論

ケナフ繊維束によるPLAの強化

力学的特性

引張強度が7倍、弾性率が3倍向上

耐熱性・耐衝撃性の改善

比強度・比剛性では既存の材料に劣らない性能

社会貢献度

代替ポテンシャルは既存の鉄鋼の20%、プラスチックの50%

将来素材部門のエネルギー消費を4分の3に削減