

グリーンコンポジットによる 既存材料の代替可能性

2007 年 2 月 6 日
担当教官：高橋 淳 助教授
56301 上迫 大介

本発表の流れ

1. 序論
2. ポリ乳酸とグリーンコンポジット
3. グリーンコンポジットの物性評価
4. グリーンコンポジットの役割と課題
5. 結論

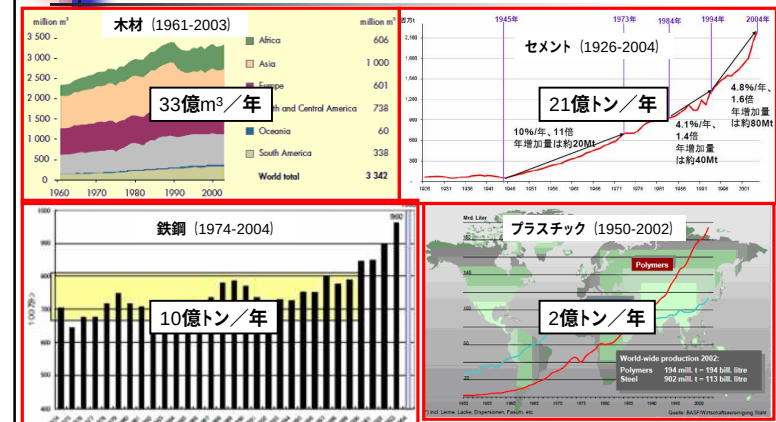
本発表の流れ

1. 序論
2. ポリ乳酸とグリーンコンポジット
3. グリーンコンポジットの物性評価
4. グリーンコンポジットの役割と課題
5. 結論

[第 1 章のテーマ]

人類の生活に不可欠な材料。
しかし、今の材料生産は、果たして持続可能だろうか？

1-1. 各材料生産の現状（世界全体）



1-2. 各材料の持続可能性評価

	持続的生産への課題	主な解決策	総合評価
木材	農地などへの転用による森林面積の減少	違法伐採の禁止など森林の適切な管理	
コンクリート(セメント)	CO2 排出量の増大／廃棄コンクリート	CO2 隔離／有用なりサイクル技術の確立	
鉄鋼	エネルギー消費量・CO2 排出量の増大	グローバルな循環・再利用システムの構築	
プラスチック	主原料である石油資源の枯渇	??? (石油依存の生産を脱しなければ...)	

1-3. プラスチックの持続的利用の方策

① 廃プラ・リサイクルの促進



(社)プラスチック処理促進協会HP

- マテリアル／ケミカルリサイクルは総排出量の21% (国内・2004年)
- 成熟した市場でしか通用しない

② バイオマスプラスチックへの転換



エコロジーレポート EXPO 2005 AICHI, JAPAN

- 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

本発表の流れ

1. 序論
2. **ポリ乳酸とグリーンコンポジット**
3. **グリーンコンポジットの物性評価**
4. **グリーンコンポジットの役割と課題**
5. **結論**

[第2章のテーマ]

バイオマスプラスチックの「代表選手」の真相とは？
そして、その欠点を乗り越えるグリーンコンポジットとは？

2-1. ポリ乳酸 (PLA [Polylactic Acid]) 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
- 米Cargill-Dow社が、トウモロコシを原料とした、年産14万トンの生産プラントを持っている
- 既存の石油系ポリマーに対抗する品質や性能を持っている

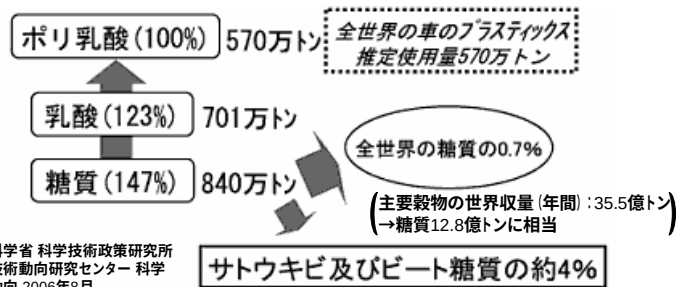


エコロジーレポート EXPO 2005 AICHI, JAPAN

2-2. ポリ乳酸の製造と食糧需給

自動車用ポリ乳酸の糖質需要量の試算

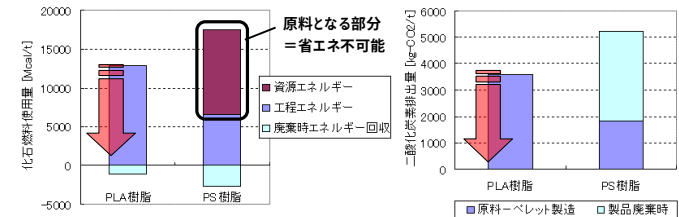
(世界の自動車用プラスチックをすべてポリ乳酸で代替すると仮定)



文部科学省 科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター 科学
技術動向 2006年8月

2-3. ポリ乳酸の優位性

窓付き封筒のLCAの検討 - ポリ乳酸 (PLA) とポリスチレン (PS) (環境省 資料)



- 資源エネルギー (フィードストック) として化石燃料を消費しないため、ライフサイクルでの環境負荷が小さいことが最大の特徴。再生可能エネルギーの利用など (PLA B/WP 工程) により、**さらなる省エネルギー化も期待できる。**
- その他の特徴: 生分解性を持つ / 余剰なバイオマス資源からも製造可能

2-4. ポリ乳酸の欠点

	ABS	PP	PS	PLA
曲げ弾性率 [GPa]	2.4	1.4	2.8	2.7
曲げ強度 [MPa]	71.8	36.2	84.2	79.5
アイゾット衝撃強度 (ノッチなし) [kJ/m ²]	128.3	71.7	8.7	10.2
荷重たわみ温度 (0.46 MPa) [°C]	96.2	100	90.9	55 (非結晶)

赤字は "MatWeb - The Online Materials Information Resource" による値
青字は筆者らによる実験データ

2-5. グリーンコンポジット

天然繊維とポリ乳酸との複合材料

[強化の目的]
耐衝撃性・耐熱性の向上
(プラスチックの代替品として)

[代表的な天然繊維]
亜麻 (flax)、ジュート (jute)
麻 (hemp)、ケナフ (kenaf)

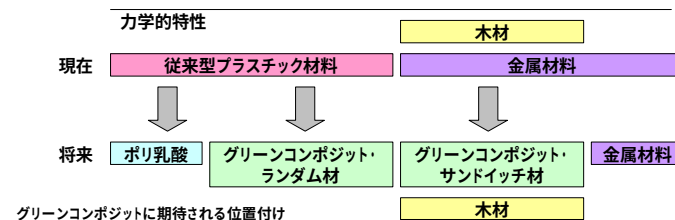
[さらに...]
弾性率や強度の向上により、金属材料などをも代替することが可能



ケナフ繊維強化ポリ乳酸を筐体全体に採用した「FOMA N701iECO」
日本電気株式会社 (NEC)

2-6. 本研究のねらい

- 従来型プラスチック材料の代替品として、比較的成形の容易な **グリーンコンポジット・ランダム材**を提案。
- 金属材料の代替品として、表面付近に長い繊維束を張って強化した **グリーンコンポジット・サンドイッチ材**を提案。
(曲げ部材の場合、厚みを持たせることで鉄鋼などと競合できる)



本発表の流れ

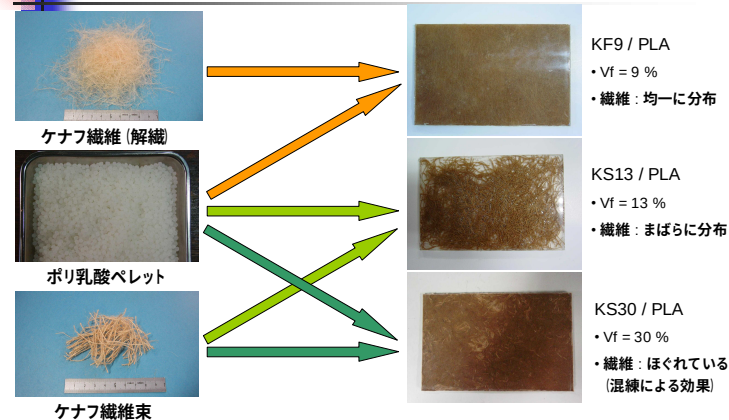
1. 序論
2. ポリ乳酸とグリーンコンポジット
3. **グリーンコンポジットの物性評価**
4. グリーンコンポジットの役割と課題
5. 結論

[第3章のテーマ]

グリーンコンポジット(ここでは、ケナフ繊維強化ポリ乳酸)
の実力とはいかほどのものか？

(ランダム材)

3-1. 材料の製作 (ランダム材)



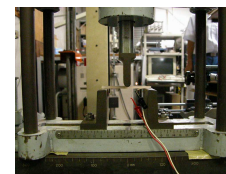
(ランダム材・サンドイッチ材共通)

3-2. 曲げ試験 (1) – 試験条件

曲げ試験

[JIS - K 7017]

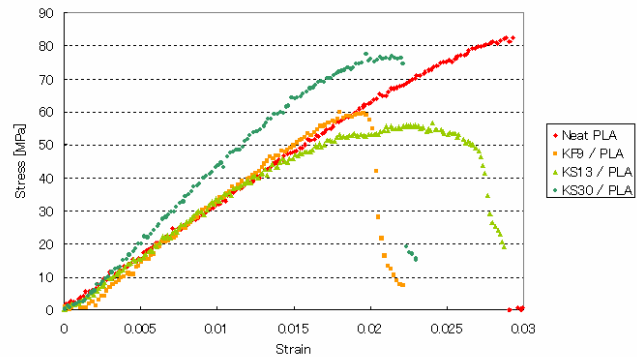
- 3点曲げ (Span: 64 mm)
- 試験片 (各6本)
80 mm x 15 mm x 4 mm
- Head Speed : 2 mm/min.
- ロードセル : 50 kgf
(Sand 30、Sand 50 のみ 100kgf)
- 曲げ試験機 : 島津製作所製電子万能試験 DCS-10T



(左から)
Neat PLA 試験片
KS13 / PLA 試験片
KF9 / PLA 試験片

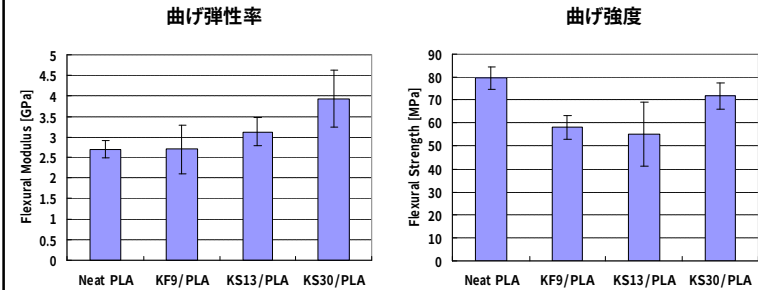
(ランダム材)

3-2. 曲げ試験 (2) – 応力・ひずみ線図



(ランダム材)

3-2. 曲げ試験 (3) – 弾性率・強度



(ランダム材・サフトイッチ材共通)

3-3. アイゾット衝撃試験 (1) – 試験条件

アイゾット衝撃試験 (ノッチなし)

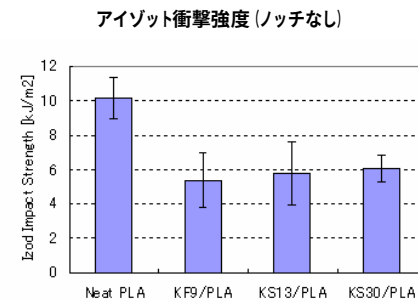
[JIS - K 7110]

- 試験片 (各8~10本)
80 mm x 10 mm x 4 mm
- W = 2.7 kgf
- R = 15.6 cm
- アイゾット衝撃試験機:
東洋精機製作所製アイゾット衝撃吸収試験器



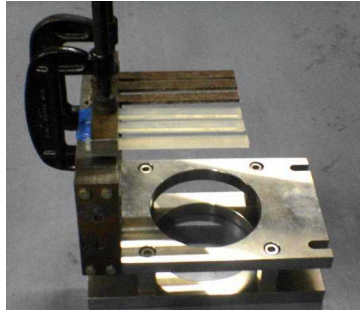
(ランダム材)

3-3. アイゾット衝撃試験 (2) – 試験結果



(ランダム材)

3-4. ヒートサグ試験 – 試験条件



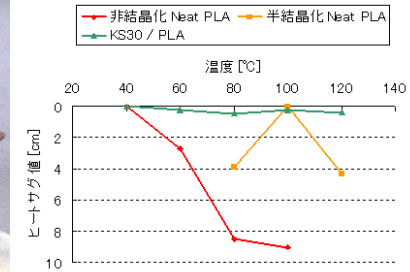
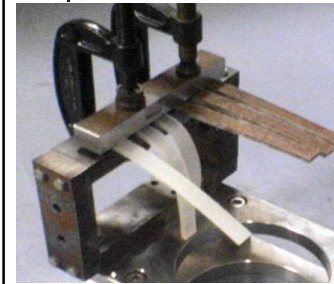
ヒートサグ試験

[JIS - K 7195]

- 耐熱性を見る試験
- 恒温槽内にて片持ち梁の試験片を1時間放置後、たわみ量を計測
- 試験片 (各温度条件につき3本)
125 mm x 10 mm x 4 mm
(張り出し部: 100 mm)
- 試験温度: 40°C ~ 120°C
(20°Cおき)

(ランダム材)

3-4. ヒートサグ試験 – 試験結果



- 結晶化したポリ乳酸は、そうでないポリ乳酸に比べて熱変形が小さい
- ケナフ／ポリ乳酸 (KS30 / PLA) は、120°Cまで、ほとんど熱変形がない

(ランダム材)

3-5. 各種試験結果のまとめ

[ランダム材は、ポリ乳酸単体に比べて...]

- 曲げ強度および耐衝撃性は若干低下
(繊維の引抜きが起こらず／樹脂の可とう性の低下)
- 曲げ弾性率はやや向上
- 耐熱性が大幅に向上
(繊維添加による結晶化促進効果によるものと見られる)

(サンドイッチ材)

3-6. 材料の製作 (サンドイッチ材)

表面板 (厚さ 各 1 mm)
 $V_f = 30\%$ または 50%
一方向材
水溶性ポリ乳酸を使用

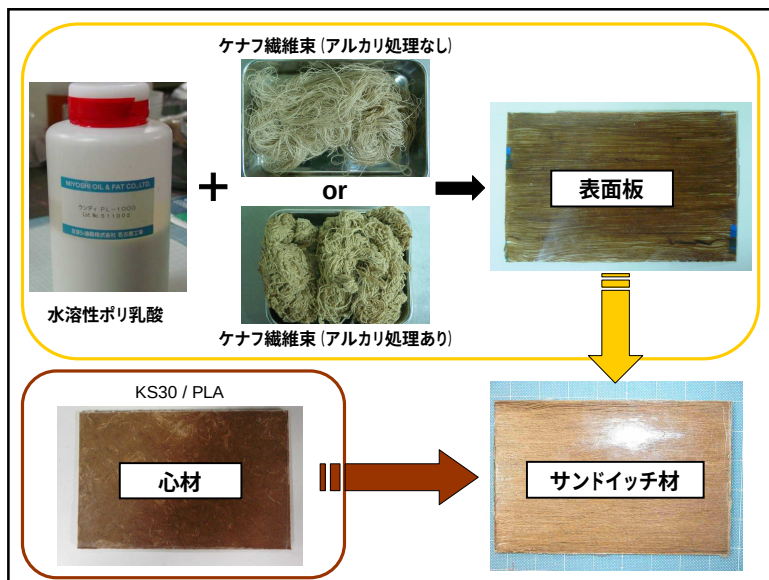


心材 (厚さ 2 mm)
 $V_f = 30\%$
ランダム材
通常のポリ乳酸を使用



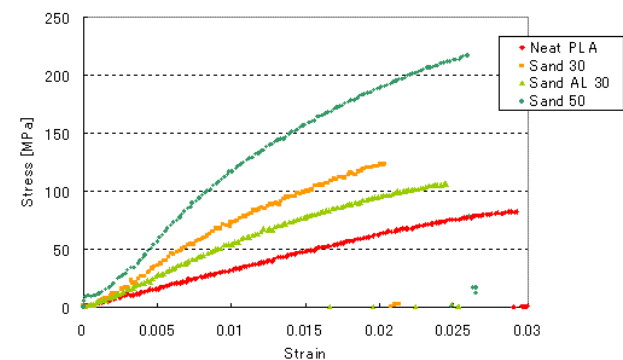
サンドイッチ材 断面の様子

	表面板 (上下各1 mm)		心材 (2 mm)
	繊維へのアルカリ処理	繊維体積含有率	
Sand 30	なし	30 %	KS30 / PLA
Sand AL 30	あり	30 %	KS30 / PLA
Sand 50	なし	50 %	KS30 / PLA



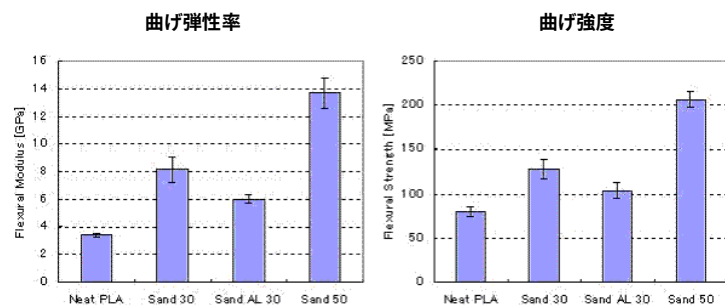
(サンドイッチ材)

3-7. 曲げ試験 (1) – 応力・ひずみ線図



(サンドイッチ材)

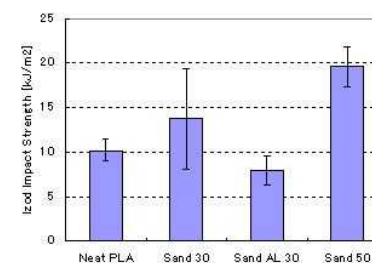
3-7. 曲げ試験 (2) – 弾性率・強度



(サンドイッチ材)

3-8. アイゾット衝撃試験 – 試験結果

アイゾット衝撃強度 (ノッチなし)

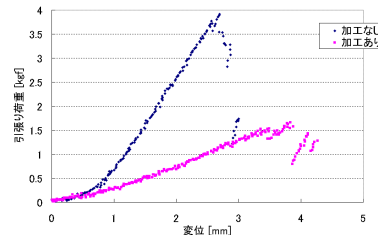


(サンドイッチ材)

3-9. 各種試験結果のまとめ

[サンドイッチ材は、ポリ乳酸単体に比べて...]

- 表面板の長繊維束の存在により曲げ特性が大幅に向上
- 耐衝撃性もある程度の向上
- 表面板の繊維含有率が大きいほど優れた力学的特性
- 文献に記されていた、アルカリ処理による強度向上の効果は確認できず



繊維束 (単独) の引張り荷重－変位線図

本発表の流れ

1. 序論
2. ポリ乳酸とグリーンコンポジット
3. グリーンコンポジットの物性評価
4. **グリーンコンポジットの役割と課題**
5. 結論

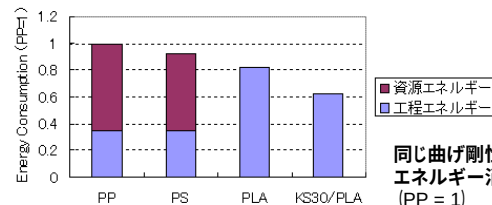
[第4章のテーマ]

グリーンコンポジットは材料の持続的な利用を助けるか？

4-1. 従来型プラスチック材料の代替 (1)

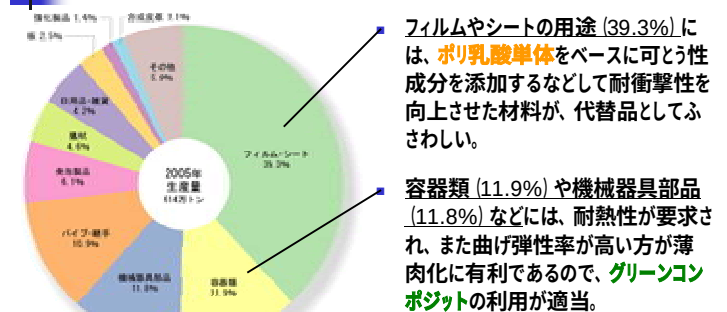
[ポリ乳酸をケナフ繊維 (あるいは他の天然繊維) で強化すると...]

- 曲げ弾性率の向上により、同じ曲げ剛性を得る場合の化石エネルギー消費量が低減 (下図参照)
- 耐衝撃性は低下するが、PHAの添加など、他の方策で対応可能
- 耐熱性の大幅な向上により、適用可能な用途が拡大



同じ曲げ剛性を得る場合のエネルギー消費量の比較 (PP = 1)

4-1. 従来型プラスチック材料の代替 (2)



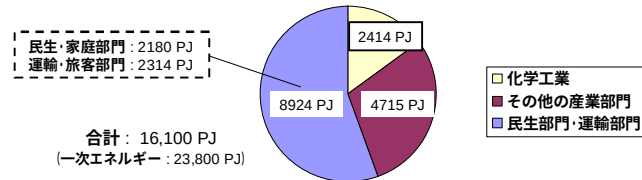
フィルムやシートの用途 (39.3%) には、**ポリ乳酸単体**をベースに可とう性成分を添加するなどして耐衝撃性を向上させた材料が、代替品としてふさわしい。

容器類 (11.9%) や機械器具部品 (11.8%) などには、耐熱性が要求され、また曲げ弾性率が高い方が薄肉化に有利であるので、**グリーンコンポジット**の利用が適当。

プラスチックの用途別生産比率 (2005年) (社)プラスチック処理促進協会HP

4-1. 従来型プラスチック材料の代替 (3)

国内最終エネルギー消費量の内訳 (2005年度)



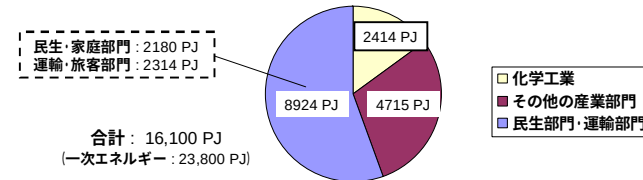
- 年間プラスチック生産量1400万トンのうち、**4割をポリ乳酸単体で、3割をグリーンコンポジットで代替する** (グリーンコンポジットには1割の軽量化効果を仮定する)

- 化石エネルギー原単位 (シナリオ I)
 - 従来型プラスチック : 75 GJ / tonne
 - ポリ乳酸単体 : 54 GJ / tonne
 - グリーンコンポジット : 48 GJ / tonne

年間 251 PJ の削減効果
一次エネルギー消費量の 1.1%
(石油消費量の 2.2%) に相当

4-1. 従来型プラスチック材料の代替 (3)

国内最終エネルギー消費量の内訳 (2005年度)



- 年間プラスチック生産量1400万トンのうち、**4割をポリ乳酸単体で、3割をグリーンコンポジットで代替する** (グリーンコンポジットには1割の軽量化効果を仮定する)

- 化石エネルギー原単位 (シナリオ II)
 - 従来型プラスチック : 75 GJ / tonne
 - ポリ乳酸単体 : 7.4 GJ / tonne
 - グリーンコンポジット : 14 GJ / tonne

年間 641 PJ の削減効果
一次エネルギー消費量の 2.7%
(石油消費量の 5.5%) に相当

4-2. 金属材料の代替 (1)

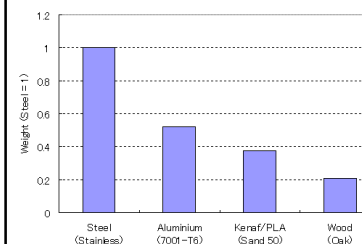
鉄鋼、アルミニウム、グリーンコンポジットおよび木材の特性比較

	Steel (Stainless)	Aluminium (7001-T6)	Kenaf/PLA (Sand 50)	Wood (Oak)
エネルギー原単位 [MJ/kg]	(*1) 30.9	(*3) 162.7	48.4	???
密度 [g/cm ³]	7.67	2.84	1.18	0.63
曲げ弾性率 [GPa]	(*2) 200	(*2) 71	13.9	12.56
曲げ強度 [MPa]	(*2) 1910	(*2) 625	207	(*4) 47

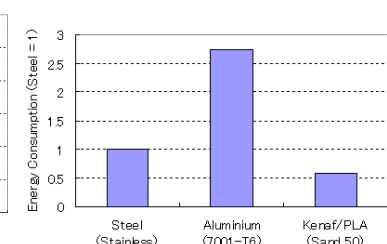
(*1) 冷延鋼帯までのインベントリデータ (高炉) (*3) 圧延品までのインベントリデータ
(*2) 引張り特性で代用 (強度は降伏強度) (*4) 圧縮降伏強度で代用

4-2. 金属材料の代替 (2)

同じ曲げ剛性を得る場合の
重量の比較 (鉄鋼 = 1)



同じ曲げ剛性を得る場合のエネルギー消費量の比較 (鉄鋼 = 1)



4-2. 金属材料の代替 (3)

- 強度をそれほど必要としないものについては、可能ならば木材またはグリーンコンポジットで代替するのが望ましい
⇒ 部材の軽量化・省エネルギー化
- 鉄鋼の世界生産量 (年間約10億トン) の1割、すなわち1億トンを木材で代替すると仮定
→ 必要な木材は年間約2000万トン (体積にして約3000万m³)
→ 原木の世界生産量は年間33億m³であるため、十分に可能
- 一方、複雑な形状のものはグリーンコンポジットによる代替が期待されるが、供給可能か? (次のページへ)

4-3. グリーンコンポジットの課題

[課題は、大量生産・生産技術の確立]

- 現在のプラスチックの世界生産量が年間2億トンであるのに対して、ポリ乳酸の生産量は、最大手・Cargill-Dow社でも年間14万トン
- 長期的には余剰なバイオマス資源を主な原料とすることも念頭に置き、生産量を大きく拡大することが求められる
(大量生産による価格低下の期待も)
- 同様に、天然繊維の生産量も年間数10万～数100万トン程度であり、強化繊維として本格的に利用するにはあまりに少ない

本発表の流れ

1. 序論
2. ポリ乳酸とグリーンコンポジット
3. グリーンコンポジットの物性評価
4. グリーンコンポジットの役割と課題
5. 結論

[第5章のテーマ]

この研究を通して何が分かったのか?

5-1. 結論

- 人類にとって、材料は不可欠であるが、**持続的に生産・利用することができるか**
- **プラスチックの生産は**、石油資源の枯渇に対応するのが困難であり、**もっとも早急に対策を打つべき**
- **植物由来のポリ乳酸**の生産が既に始まっており、環境負荷が小さいことから従来型プラスチックの代替品として期待されているが、**耐衝撃性と耐熱性が小さい**という弱点がある。
- それを克服する手段の一つとして、**天然繊維との複合化 (グリーンコンポジット)**がある。本研究では、従来型プラスチック材料のみならず、金属材料をも代替する材料になるとして、グリーンコンポジットの作成・評価を行った。

5-1. 結論（続き）

- 従来型プラスチック材料の代替をねらうグリーンコンポジット・ランダム材については、ポリ乳酸単体に比べ、**曲げ弾性率と耐熱性が向上した。容器類や機械器具部品などへの適用が期待され、化石燃料消費量を大幅に削減することが可能となる。**
- 金属材料の代替をねらうグリーンコンポジット・サンドイッチ材は優れた力学特性を示した。あまり強度を要求されない金属材料部材を**木材やグリーンコンポジットで代替することにより、大幅な軽量化、および製造エネルギー低減を達成することができる。**
- 本格的な普及のためには、**ポリ乳酸および天然繊維の大幅な増産が不可欠**である。特に食糧需給の問題も絡む前者については、**余剰なバイオマス資源をいかに大量生産に利用するか**がカギ。

Thank You for Your Attention !

Special Thanks to:

Jun TAKAHASHI & Isamu OHSAWA

【補足】 各天然繊維の特徴

プラスチックの強化材として代表的な天然繊維

	世界生産量 [tonne / year]	主な生産国・地域	主な特徴・用途
亜麻 (flax)	(ca.)1,850,000 (2004)	カナダ、中国、 アメリカ、インド	リネン（亜麻布）として衣服に利用
ジュート (jute)	2,443,800 (2003/04)	インド、 バングラデシュ	カーペット、トートバッグ、ロープ 乗用車内装で一般によく用いられる
麻 (hemp)	66,300 (2004)	中国、スペイン	幅広い気候帯で生育可能 4ヶ月で2～4メートルまで生育
ケナフ (kenaf)	474,600 (2003/04)	インド、中国	茎の40%を繊維として利用可能 5,6ヶ月で4メートル程度まで生育

【質疑】 作物生産時のエネルギー等

Applications of life cycle assessment to NatureWorks™
polylactide(PLA) production (Erwin T.H.)

【概要】

- カーギル・ダウ社によるPLAの環境負荷が求められている。

【調査範囲・対象】

- 1kgPLAのライフサイクルエネルギー必要量とCO2排出量を調査範囲としている。システム境界はトウモロコシ栽培からPLA生産までで、輸送段階も含まれている。ただし、トウモロコシ澱式ミル、乳酸、およびPLAプラントは同じ工場内に配置されている。

【結果】

- トウモロコシ栽培段階からPLA製造段階までのCO2発生量は1.8kg-CO2/kg polymerである。
- トウモロコシ生産段階ではトウモロコシ種子、肥料、電気、農業者によって使用された肥料、光合成のための大気中の二酸化炭素、灌漑用水、殺虫剤、除草剤が投入されている。収穫時に使用されるトラクタとコンバインを調査した結果、それらの影響は微量だった。
- 1kgのPLAを生産すると28.4MJのフィードストックエネルギーを得ることができる。
- PLA生産工場内に風力発電所を設立し、トウモロコシの残渣をバイオマス発電することで、CO2量が約-1.8kgCO2/kg polymerになる。また、技術改善による環境負荷削減も期待されている。

	必要エネルギー量
全体 (カーボンニュートラル を含めた場合)	82.5MJ/kg PLA (54.1MJ/kg PLA)
トウモロコシ栽培段階	4.9MJ/kg PLA
輸送段階	0.4MJ/kg PLA
グルコース製造段階	9.4MJ/kg PLA
乳酸生産段階	26.3MJ/kg PLA
PLA生産段階	13.2MJ/kg PLA
カーボンニュートラル	-28.4MJ/kg PLA

生分解性プラスチックのLCA分析
～2005年度 事例研究最終報告書～
武蔵工業大学環境情報学部
環境情報学科 伊坪研究室