

グリーンコンポジットによる既存材料の代替可能性

Substitution of conventional materials by green composites

2007年1月30日提出

指導教官：高橋 淳 助教授
工学系研究科 環境海洋工学専攻 修士課程2年
30729 上迫 大介

1. 序論

木材、コンクリート、鉄鋼およびプラスチックという、世界的に広く用いられている4種類の材料を俯瞰し、「資源賦存量」「エネルギー消費」「気候変動リスク(温室効果ガス排出)」「資源循環型社会(廃棄物処理)」の観点からその生産の持続可能性を評価したとき、化石燃料を原料とするプラスチックの資源枯渇に対応することが急務であることが分かる。しかしながら、化石燃料を原料とするがゆえに、従来型プラスチックの生産において、化石燃料使用量を大幅に削減するのは困難である。

従来型プラスチックの生産量を抑制する方法として、一つにマテリアルリサイクルの促進が挙げられるが、不純物の混入などの問題から難しく、少なくとも我が国では、マテリアルリサイクルに回される廃プラスチックは、総量の約18%に過ぎない。[1] もう一つの方法は、石油以外の原料からプラスチックを製造することであり、特に植物由来プラスチックが「バイオマス・ニッポン総合戦略」などの追い風を受け、昨今注目を集めている。

2. ポリ乳酸

ポリ乳酸(PLA)は、植物のデンプンから製造可能な熱可塑性樹脂であり、米国のCargill Dow社によって、トウモロコシを原料とした大量生産がすでに始まっている。

食糧需給への影響も懸念されているが、例えば世界の自動車用プラスチック年間使用量(570万トン)をポリ乳酸で代替する場合、消費量は全世界の総糖質収量の約0.7%程度であると試算されている。[2]

ポリ乳酸には、原料として化石燃料を使用しないという特長があり、ライフサイクルでの環境負荷が小さい(Fig.1参照)ことが知られている。[3] 植物由来プラスチックの中でも力学的特性は優れており、工業材料としての多くの実績が上げられている。

しかしながら、Table 1に示されるように、ポリ乳酸には耐衝撃性・耐熱性が小さいという欠点がある。

Table 1: 熱可塑性プラスチックの力学的特性 [4]

	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) []	96.2	100	90.9	55

このため、石油系のエンジニアリングプラスチックや、ケナフなどの天然繊維を複合化させて、耐熱性と耐衝撃性を向上させようという取り組みが活発化している。

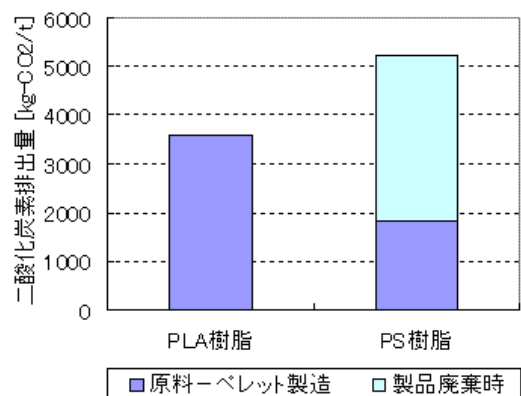
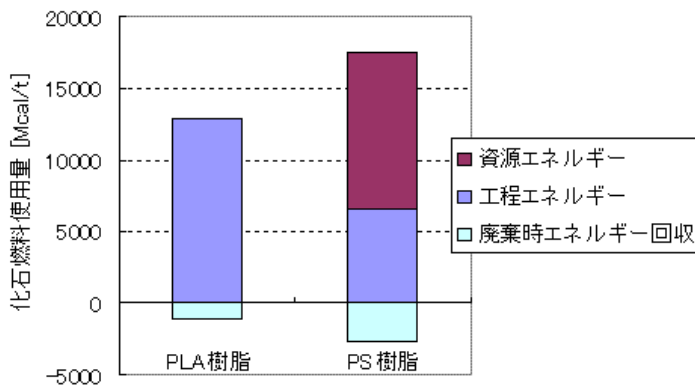


Fig.1: 窓付き封筒のLCA的検討 [3]

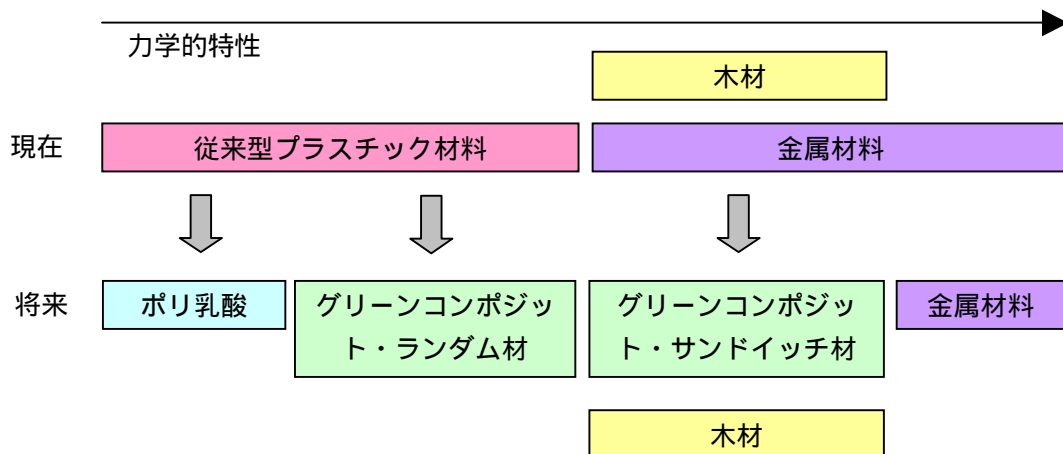


Fig.2: グリーンコンポジットの位置付け

天然繊維によるポリ乳酸の強化（グリーンコンポジット）は、ポリ乳酸の弱点補完による従来型プラスチックの代替に留まらず、さらなる力学的特性の向上により金属材料などをも代替する可能性を有している。（Fig.2 参照）

本研究では、前者の代替候補としてグリーンコンポジットのランダム材（繊維長の短い天然繊維を強化材として用いたもの）を、後者の代替候補としてサンドイッチ材（表面付近に長い繊維束を張って強化したもの）を提案し、その物性評価を行った。

3. ケナフ強化ポリ乳酸の物性評価

3-1. ランダム材の物性評価

PLA 単体のもの（Neat PLA）のほか、ケナフ/PLA ランダム材・厚さ 4 mm のプレートを 3 種類（Table 2 参照）すべてプレス成形で作成した。

Table 2: 作成したランダム材の特徴

	繊維体積含有率	繊維の初期形態	中間材の形態	完成材料の繊維の様子
KF9/PLA	9%	フィラメント	KF/PLA シート	ほぼ均一に分布
KS13/PLA	13%	繊維束	KS/PLA シート	まばらに分布
KS30/PLA	30%	繊維束	KS/PLA 混練物	束がほぐれている

曲げ特性および耐衝撃性を把握するため、これらの材料を用いて、三点曲げ試験、およびアイゾット衝撃試験（ノッチなし）を行った。（Figs. 3～5 参照）

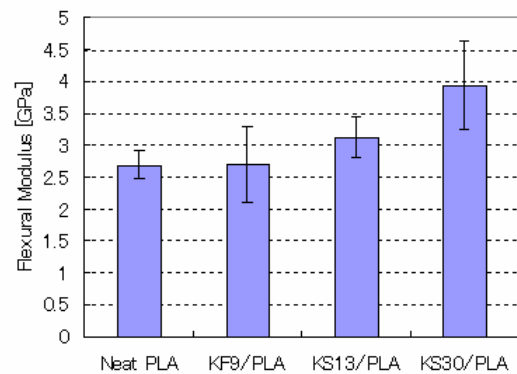


Fig.3: 曲げ弾性率の比較

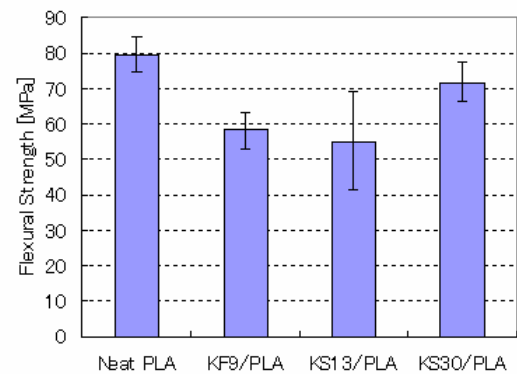


Fig.4: 曲げ強度の比較

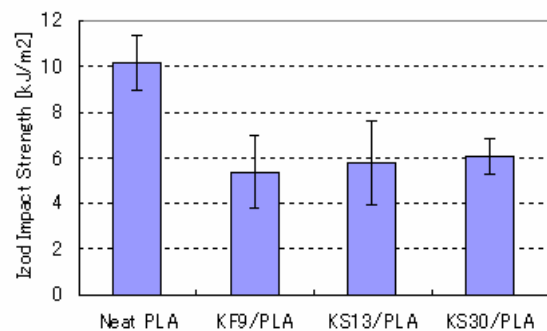


Fig.5: アイゾット衝撃強度の比較

曲げ弾性率が若干向上する一方で、曲げ強度およびアイゾット衝撃強度は低下している。これらは、繊維の存在による可とう性の低下が原因ではないかと考えられる。Fig.6からも、破断面付近のケナフ繊維束の引抜きによる破壊仕事の増加（= 衝撃強度の増加）がほとんど起こっていないことが伺える。



Fig.6: GFRP と KS30/PLA の曲げ試験片

続いて、耐熱性の変化を調べるため、Neat PLA と KS30/PLA に関してヒートサグ試験を行った。

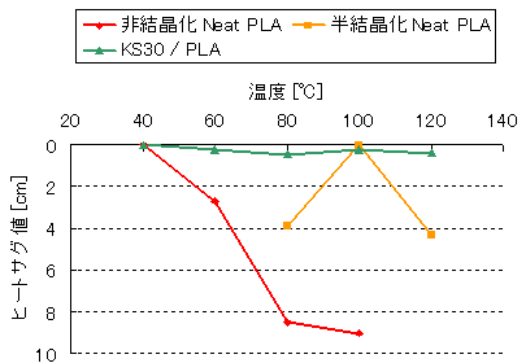


Fig.7: ヒートサグ試験結果

KS30/PLA は成形時に、繊維により樹脂の結晶化が促進されたことで、耐熱性が向上したと見られる。

3-2. サンドイッチ材の物性評価

ケナフ/PLA サンドイッチ材・厚さ 4 mm のプレートを 3 種類 (Table 3 参照) すべてプレス成形で作成した。表面板は一方向強化とした。積層構成は、表面材が上下各 1 mm、心材が 2 mm である。

なお、一部のケナフ繊維を 15 wt % の水酸化ナトリウム水溶液に 1 時間浸し、Sand AL 30 に利用した。これはシルケット加工と呼ばれ、一般に綿などの繊維を濃厚アルカリで処理することにより、光沢や寸法安定性、強度向上などの効果を得る加工である。

Table 3: 作成したサンドイッチ材の特徴

	表面板 (上下各 1 mm)		心材 (2 mm)
	繊維へのシルケット加工	繊維体積含有率	
Sand 30	なし	30 %	KS30/PLA と同じ
Sand AL 30	あり	30 %	KS30/PLA と同じ
Sand 50	なし	50 %	KS30/PLA と同じ



Fig.8: サンドイッチ材 (Sand 50) の断面

ランダム材と同様、三点曲げ試験、およびアイゾット衝撃試験 (ノッチなし) を行った。(Figs. 9 ~ 11 参照) なお、繊維束と平行な方向の特性を見ている。

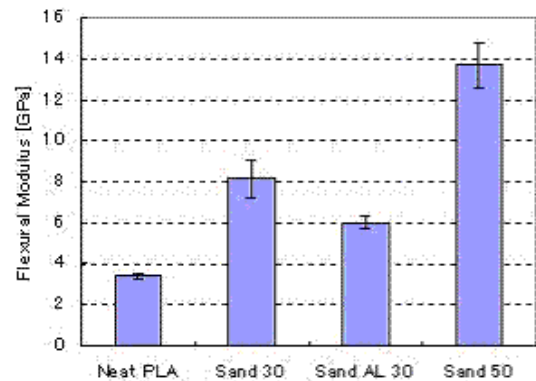


Fig.9: 曲げ弾性率の比較

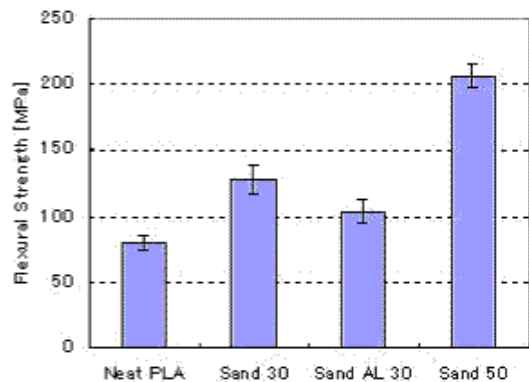


Fig.10: 曲げ強度の比較

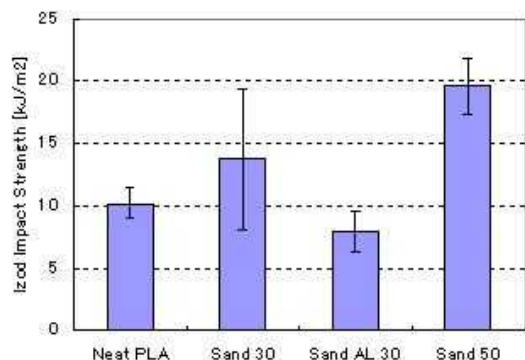


Fig.11: アイゾット衝撃強度の比較

表面を一方向材で強化することで、曲げ特性や耐衝撃性は大幅に向上した。しかも、繊維含有率の増加による効果は大きい。

しかしながら、シルケット加工は逆効果であり、繊維単独の引張り試験においても、シルケット加工を施していない繊維束にくらべて、明らかに力学的特性が低かった。(Fig.12 参照) アルカリ処理時に繊維に張力をかけていなかったため、加工の効果が現れなかった可能性がある。

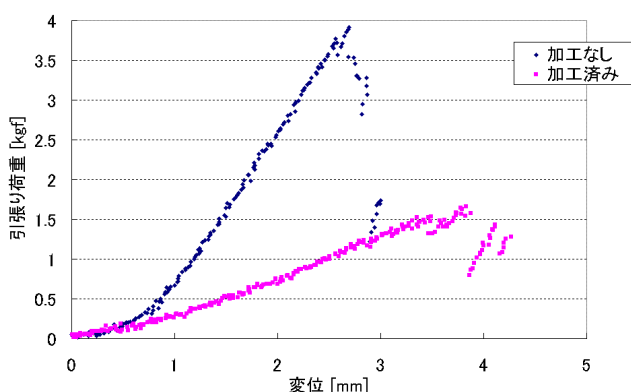


Fig.12: 繊維束の引張り試験チャート

4. グリーンコンポジットの役割と課題

4-1. 従来型プラスチック材料の代替

従来型プラスチック材料の代替として、ランダム材 KS30/PLA を取り上げる。

KS30/PLA は、ポリ乳酸単体のものよりも衝撃強度が下がってしまった。ポリ乳酸の衝撃強度を補強するには、他の処理法、たとえば繊維による強化の代わりに、微生物由来系の生分解プラスチックであり、可とう性の高いポリヒドロキシアルカノエート (PHA) など可とう性成分を添加する、などという処理法も考えられる。

Table 4: 他の熱可塑性樹脂との特性比較 [4][5]

	PP	PS	PLA	KS30/PLA
エネルギー 原単位 [MJ/kg]	70.5	73.4	54.1	48.4
曲げ弾性率 [GPa]	1.4	2.8	2.7	3.9
曲げ強度 [MPa]	36.2	84.2	79.5	71.8
アイゾット衝撃 強度 [kJ/m ²]	71.7	8.7	10.2	6.0

それでも、天然繊維の添加による剛性の向上が認められたことから、同じ曲げ剛性を得る際に必要な材料の厚さ (= 体積) を、ポリ乳酸単独、および従来型プラスチックと比べて小さくすることが可能であり、したがって原料および製造に伴うエネルギー消費量も削減可能である。(Fig.13 参照)

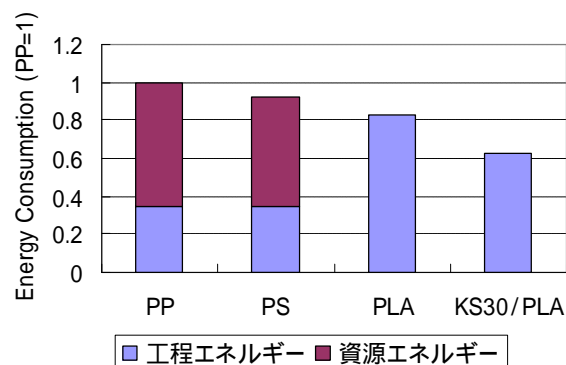


Fig.13: 同じ曲げ剛性を得る場合のエネルギー消費量の比較 (PP のエネルギー消費量 = 1)

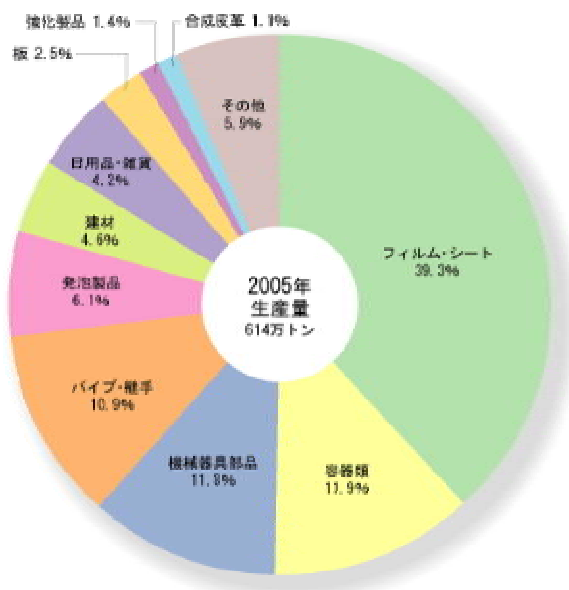


Fig.14: プラスチック用途別生産比率 (2005 年) [1]

ランダム材にすることによって、曲げ弾性率のみならず、耐熱性も向上したことから、Fig.14 における容器類や機械器具部品などへの適用が期待できる。

4-2. 金属材料の代替

金属材料の代替として、サンドイッチ材 Sand 50 を取り上げる。Fig.13 と同様の計算により、同じ曲げ剛性を得る際に必要な重量を比較したところ、グリーンコンポジットや木材を用いることで軽量化が可能となり、製造に要するエネルギー消費量も大きく削減できることが分かった。(Figs.15, 16 参照)

Table 5: 鉄鋼、アルミ、木材との特性比較 [4][6][7]

	Steel	Aluminium	Kenaf/PLA	Wood
エネルギー原単位 [MJ/kg]	30.9	162.7	48.4	???
密度 [g/cm ³]	7.67	2.84	1.18	0.63
曲げ弾性率 [GPa]	200	71	13.9	12.56
曲げ強度 [MPa]	1910	625	207	47

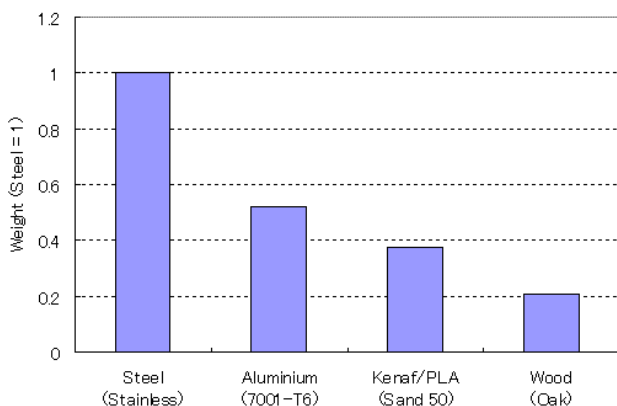


Fig.15: 同じ曲げ剛性を得る場合の重量の比較 (鉄鋼の重量 = 1)

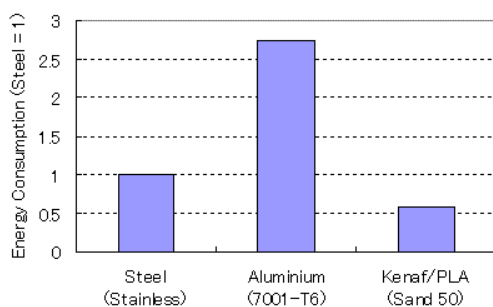


Fig.16: 同じ曲げ剛性を得る場合のエネルギー消費量の比較 (鉄鋼のエネルギー消費量 = 1)

グリーンコンポジットのサンドイッチ材が、木材に匹敵する(あるいは上回る)優れた曲げ特性を示すことが、実験により分かった。つまりグリーンコンポジットは構造材料として十分適応可能である。一方で木材は、あらゆる材料の中でも圧倒的に密度が小さいことが最大の特徴であり、とくに比剛性(単位重量あたり得られる曲げ剛性)は炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の一方向材をも上回る。そしてこれらの材料は、いずれも環境負荷が小さい。

そこで、これまで鉄鋼で作られてきたような部材のうち、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。

5. 結論

プラスチック材料の持続的な利用のために、植物由来のポリ乳酸が果たすことのできる役割は大きい。

ポリ乳酸と天然繊維との複合化(グリーンコンポジット)により、ランダム材では曲げ弾性率や、ポリ乳酸の弱点であった耐熱性が向上することが分かった。これにより、従来型プラスチックのうち何割かを効果的に代替し、プラスチック生産に要するエネルギー消費量を大きく削減することが可能となる。

また、サンドイッチ材に関しては、曲げ特性が大幅に向上した。したがって、グリーンコンポジットは木材とともに、金属材料の代替として利用可能であり、曲げ部材の軽量化や、生産に要するエネルギー消費量の削減に寄与することができる。

ただし、本格的な導入のためには、ポリ乳酸や天然繊維の大量生産技術の早期確立が前提となる。

[参考文献]

- [1] (社)プラスチック処理促進協会ウェブページ
- [2] 「植物由来プラスチックの研究開発動向 自動車用ナノ複合ポリ乳酸の視点から」 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
- [3] 窓付き封筒のLCA的検討について、環境省
- [4] MatWeb - The Online Materials Information Resource
- [5] 「プラスチック廃棄物の処理・処分に関するLCA調査研究報告書」(社)プラスチック処理促進協会
- [6] IISI, World Steel Life Cycle Inventory, Methodology Report
- [7] 「アルミニウム新地金および展伸材用再生地金のLCIデータの概要」(社)日本アルミニウム協会