

環境調和型複合材料の社会受容性評価

Public Acceptance Assessment of Environmental-conscious Composite Materials

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 20722 浅井 聡子
指導教官 高橋 淳 助教授

本研究では、持続可能な社会を実現する方法のひとつとして、鉄や石油系プラスチックなどの既存構造材料の代替として再生可能資源から作られた複合材料を普及させることを提案する。複合材料としては、ケナフ繊維束とポリ乳酸からなる KNFRP (ケナフ繊維束強化ポリ乳酸樹脂) を取り上げる。ケナフは植物、ポリ乳酸は植物由来樹脂である。KNFRP が既存構造材料の代替となりうる力学的特性を持つことの確認および持続可能な素材であることの検証を行い、普及への方策を提案する。

キーワード: 持続可能社会、産業部門の省エネ、ライフサイクルアセスメント、社会受容性、ケナフ、ポリ乳酸

1. 緒言

産業革命以降、人類は大量の化石資源を消費することで発展してきた。しかし化石資源は有限である。非 OECD 諸国の一人当たりの消費エネルギーが増加し、かつ人口も増加することを考えると、化石資源に依存する社会は持続可能ではないことがわかる。では、どう化石資源消費量を減らせばよいか。現在、日本ではエネルギーの約 30% は基礎素材製造分野で消費されている。鉄や石油系プラスチックを作る限り、基礎素材分野での化石資源消費量の大幅な削減は望めない。そこで本研究では、既存の素材を再生可能資源からできた複合材料 KNFRP で代替することで化石資源消費量を減らし、持続可能な社会を築くことを提言する。

2. ケナフ繊維束強化ポリ乳酸樹脂

本研究では V_f (繊維体積含有率) 40% の KNFRP を用いた。ケナフは環境適応性の高い一年生の植物で成長段階での二酸化炭素吸収速度が速く、繊維にした時に高強度である。PLA (ポリ乳酸) はデンプンを原料とし、生分解性を有する植物由来樹脂である。

複合材料は成形性に優れ、設計の自由度が高い。ガラス繊維のチョップドストランドマットで強化した不飽和ポリエステル樹脂 ($V_f=19.2\%$, GFRP マットと略す)、ガラス繊維の織物で強化した不飽和ポリエステル樹脂 ($V_f=42.1\%$, GFRP 平織りと略す)、炭素鋼と KNFRP の比強度・比剛性を比べたものが図 1 である。KNFRP の比強度・比剛性は他の素材の中間辺りにあり、用量・形状の工夫次第で他の素材の代替となり得ることがわかる。

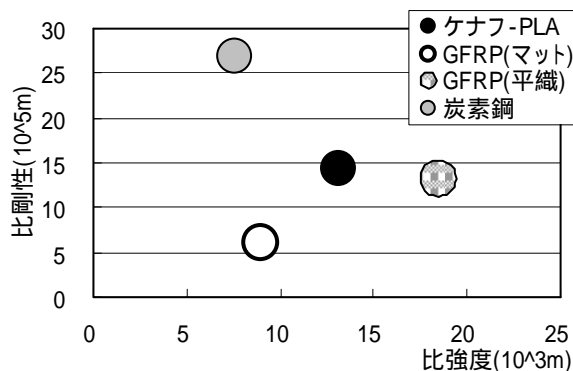


図 1 KNFRP の素材としての特性

3. ケナフ繊維束強化ポリ乳酸樹脂の持続可能性の検証

KNFRP が真に持続可能な素材なのか、主に 化石資源使用量、CO₂ 排出量、供給持続性、廃棄処理の 4 点から検証した。

3.1 化石資源使用量 KNFRP と既存素材の原料調達から部品製造までの単位重量あたりの化石資源消費量を比較したものが図 2 である。KNFRP は現状値と将来予測値を示した。現状では KNFRP は鉄よりも化石資源消費が多い。KNFRP の化石資源消費の大半は PLA 製造時のものである。しかし PLA は原料が植物なため、製造工程の電力を自然エネルギーで賄うと化石資源消費は大きく削減される。対して、鉄は還元の為にコークス、PP (ポリプロピレン) は原料にナフサを消費する為、これ以上の大幅削減は望めない。PLA 製造世界最大手のカーギル・ダウ社は既に風力発電導入計画を立てている。よって、将来的に KNFRP は枯渇性資源消費が少なくなり得る。

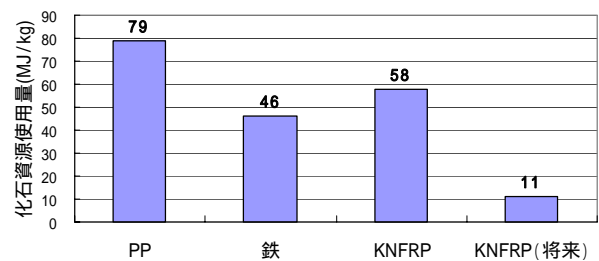


図 2 各素材の化石資源消費量

3.2 二酸化炭素排出量 KNFRP で重さ 5kg (うち KNFRP 4kg) の事務用機一台を製造した際の LCA (ライフサイクルアセスメント) を行った。環境負荷項目は CO₂ 排出量のみとした。システム境界を図 3 に示す。結果、CO₂ 排出量は約 48kg-CO₂/台であった。

同サイズの金属製機一台あたりの CO₂ 排出量は約 163kg-CO₂ であるので、金属製機を KNFRP 機で代替すると CO₂ 排出量は約 1/3 となる (図 4)。KNFRP は一体成型が可能で大量生産で効率化されることを考慮し、機組立段階の排出原単位は半減されると仮定すると、CO₂ 排出量は約 3 割削減される。さらに PLA 製造に風力発電が導入されたと仮定すると、機の CO₂ 排出量はその 1 割が削減され、一台あたり約 27 kg-CO₂ となる。

KNFRP が普及した場合の環境効果を測る為、国内普通鉄鋼材年間生産量の 1 割 (800 万 t) を KNFRP で代替した場合の CO₂ 削減効

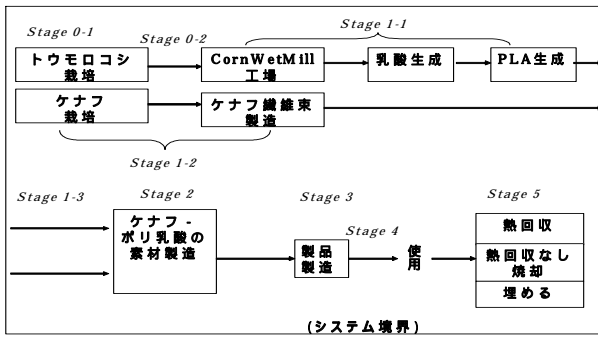


図3 システム境界

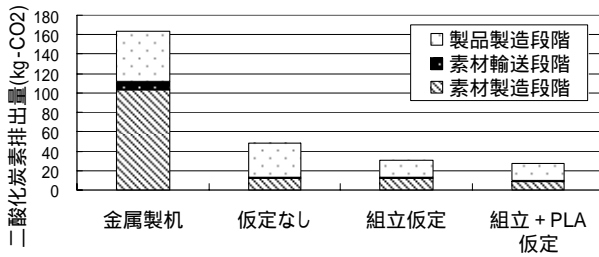


図4 従来製品とのCO₂排出量比較

果を試算した。比強度は KNFRP:鉄=1:0.6、比剛性は KNFRP:鉄=1:1.8 である(図1)。PLA 製造工程に風力が導入されていない場合(現在)の削減効果を図5、導入された場合(将来)を図6に示す。図6より、将来的には鉄を KNFRP で代替することで、約14~21百万tのCO₂が削減可能である事がわかる。これは、2000年の日本のCO₂総排出量の約1.2~1.7%に相当する量である。

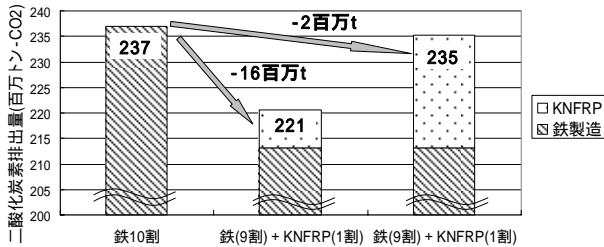


図5 CO₂削減効果 (現在)

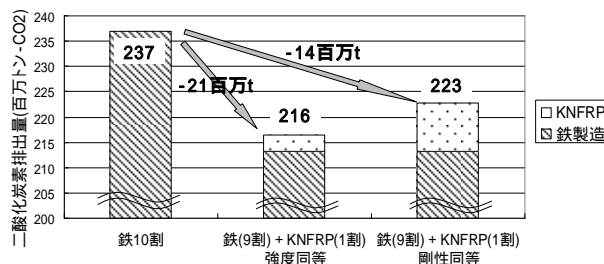


図6 CO₂削減効果 (将来)

3.3 供給持続性

PLA は植物から得られる糖質を乳酸発酵させることで製造される。可食部を生産するときに同時に作り出される残渣からも糖質は抽出できる。現在世界で発生しているトウモロコシと米の残渣から、理論上世界のプラスチック生産量約1億5千万tの2.5倍以上のPLAを製造することが可能である。また、生ゴミから乳酸を生産した例もある為、PLAは供給持続性のある素材と言える。ケナフについても同様のことが言える。

3.4 廃棄処理

PLA は生分解性樹脂の為、コンポスト化す

れば廃棄物処理場をひっ迫しない。また、焼却処理した場合も、排出するCO₂は元来大気中にあったものなので、ライフサイクルを通しては大気中のCO₂を増加させることにはならない。よって、KNFRPは、廃棄処理時に問題は生じない。

4. ケナフ繊維束強化ポリ乳酸樹脂の消費者受容性

KNFRPは既存の素材に匹敵する強さを持ち、かつ持続可能性のある素材だとわかった。本章ではKNFRP普及の条件を導く。

4.1 支払意思額調査

KNFRP製品を4種(ボールペン、机、PC、ハンガー)挙げ、比較となる従来製品の価格も提示した上で、いくらならKNFRP製品を購入するかを585人にアンケート調査した。同時に環境知識についても調査し、知識の量に応じて4層にサンプルを分けた。回答価格は、知識のある層ほど高い結果となった。しかし、全体平均としては従来価格比で約94~107%の価格となり、価格が従来製品とほぼ同等でなければ環境調和型製品の需要は少ないことがわかった。

4.2 環境ラベルタイプの有効性に関する調査

4.1の調査時に、3.2の机のLCA結果を製品環境情報として提示する班と、しない班に分け、価格の変化を調査した。LCAを提示した班は、しなかった班に比べ、約15%高い価格を回答した。よって、環境ラベルタイプは環境配慮型製品の購入を促すのに有効だと考えられる。ただし、環境ラベルタイプの内容が理解・判断できない、との意見もあった。

5. ケナフ繊維束強化ポリ乳酸樹脂普及への方策

調査の結果、環境調和型製品が普及する為の条件は、価格が既存製品と同等であること、その製品を買うことが持続可能社会に繋がることを消費者がきちんと理解すること、だとわかった。そこで満たす為の方策として次のことが考えられる。

- **環境教育** 「持続可能性」「環境にいい」といったことが具体的にはどのようなことなのかを消費者がきちんと理解できるようにする。
- **環境ラベルタイプ** 消費者が理解しやすいように項目を工夫し、早期規格化を目指す。
- **助成金** 量産体制になるまで、既存製品との価格差を考慮して助成金を出せば効果的にKNFRPの普及を促すことが出来る。財源は、炭素関連税収(ガソリン税、温暖化対策税、持続可能税など)の一部で賄えるであろう。
- **炭素関連税** 現在考えられている温暖化対策税では、産業保護の為に原料としての化石燃料使用が実質非課税となるような仕組みであるが、これでは原料に再生可能資源を用いるインセンティブにはならないため好ましくない。市場原理を活用して持続可能社会に誘導する税制度が望まれる。

6. 結論

KNFRPは従来素材の代替となりうる機能を持ち、持続可能な素材である。素材の価格は、将来的に量産化が進めば従来素材と同等になると予想される。助成金や炭素関連税により生産量が伸び量産体制になれば、ケナフ繊維束強化ポリ乳酸樹脂は市場競争力を持つであろう。また同時に、環境配慮型製品の普及の為に環境ラベルの改良・規格化を進め、また環境教育を徹底することが重要である。(紙面の都合上参考文献は省略する。)