

(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)
自動車の脱化石資源化に向けた複合材料部材の環境負荷分析
Environmental impact analysis of composite materials for automobile
to reduce consumption of fossil resources

学籍番号 60813 山内 美穂
 指導教員 高橋 淳

(平成 20 年 2 月 5 日提出)

Keywords: 自動車, 省エネルギー, 化石資源, ライフサイクルアセスメント, 複合材料

1 . 序論

近年, 地球温暖化と化石資源の枯渇という環境・エネルギー問題がますます深刻化している. 特に運輸部門のエネルギー消費量が増加しており, そのほとんどが石油に依存している. その中でも自動車による消費が多いため, 車体の軽量化や電気自動車化が脱化石資源社会に向けて抜本的な効果があると考えられる. また, 産業部門における素材製造においても化石資源に依存したエネルギー消費構造となっている.

そこで本研究では, 車体の軽量化素材自体の脱化石資源化も視野に入れた素材選択に資すべく, 現行のガソリン車と電気自動車という両極端において複合材料の環境負荷の比較分析を行う.

2 . 自動車の軽量化素材の環境負荷

まず, 複合材料の樹脂をポリプロピレン(PP)とポリ乳酸(PLA)とし, 炭素繊維(CF), ガラス繊維(GF), アラミド繊維(AF), ケナフ繊維(KNF), セルロース繊維の体積含有率(V_f)を変化させて, 曲げ剛性が鋼板と同じになる複合材料板の対鋼板重量比(Fig.1)と, この複合材料板の製造に要する消費エネルギー(Fig.2)を計算した.

Fig.1 より, 最も軽量化率が高いのは CF/PP 板であること, また, 価格上昇と成形性低下の原因となる V_f がこの軽量化率にあまり寄与しないこと, すなわち航空機用 CFRP で見られた高 V_f 化がここでは不要であることがわかる.

一方, Fig.2 から, CF の高い製造エネルギー原単位に起因して, CF/PP 板は高い軽量化率にもかかわらず製造に要するエネルギーが比較的大きく, $V_f=0.2$ 以上では同じ曲げ剛性の鋼板部材の製造エネルギー(約 50 MJ)よりも上回っている.

3 . ガソリン車と電気自動車の LCA

Fig.3 はガソリン車(1380 kg)と電気自動車について, 鋼板部材のうち 730kg を CF/PP で代替した場合の LCA であり, ガソリン車では走行時のエネルギー消費量が圧倒的に大きいため, 車体製造時のエネルギー消費量(Fig.2)に関係なく, 軽量化率(Fig.1)が高い素材を使用するほうが省エネルギー効果が大きくなることがわかる.

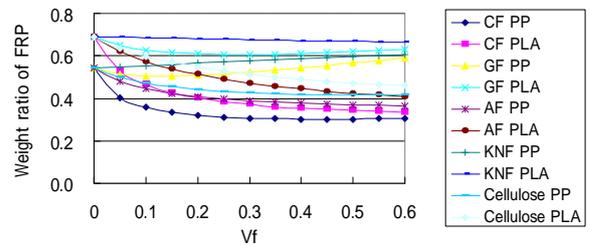


Fig.1 Weight ratio of FRP panel and steel panel.

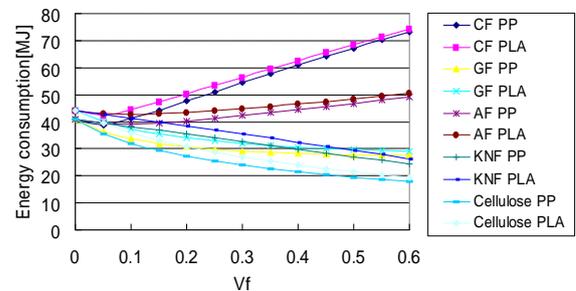


Fig.2 Energy consumption of FRP panel production.

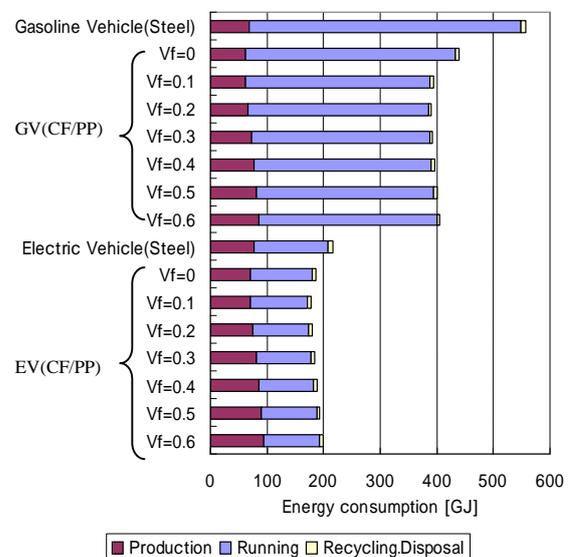


Fig.3 Life cycle energy consumption of gasoline and electric vehicle.

一方、電気自動車では走行時の環境負荷(電気製造時の環境負荷はここに含まれる)がガソリン車に比べて大幅に小さくなるため、車体製造段階の環境負荷の占める割合が大きくなる。Fig.3 はエネルギー消費量であるが、CO₂ 排出量や化石資源使用量ならば走行時の割合はさらに小さくなる。このため電気自動車においては素材の脱化石資源化も含めた車体製造時の環境負荷低減が重要になってくると言えよう。

4. 複合材料の環境負荷低減ポテンシャル

基礎素材の環境負荷は原料の環境負荷と製造工程の環境負荷からなり、後者は工程改善や電源・熱源を非化石資源由来のエネルギーに移行することで極めて小さくできる可能性がある。一方、高性能な基礎素材の多くは原料に化石資源を使用しており、原料削減のためにリサイクルを行ったり、原料を植物などの非化石資源に求める検討が進められているが、性能が低下するなどの難点がある。以下では、複合材料の環境負荷低減のポテンシャルと開発が必要な技術を明らかにする。

4.1 ポリ乳酸の化石資源使用量低減の可能性

現在の樹脂は製造原単位のうち大半が化石資源由来であるため、原単位の大幅低下はできないが、植物が原料の PLA は製造工程の改善により原単位を大きく低下できる可能性がある。例えば、Cargill-Dow 社は PLA B/WP (B: バイオマス, WP: 風力) という次世代型ポリ乳酸製造プロセスを数年以内に実用化し、現在のポリ乳酸の化石資源使用量の 54.1 MJ/kg から 7.4 MJ/kg (半理論値) に減少させる目標を提示している。

Figs.4, 5 は鋼板 1 kg を代替する現在と将来の CF/PLA の化石資源使用量の内訳であり、樹脂の原単位が低下することである程度の低減効果は見られるが、CF の製造工程部分に改善の余地が大きく残されていることが分かる。

また、CF の原料を植物に求める研究も盛んであるが、Figs.4, 5 に見られるように、CF は樹脂と異なり、原料の環境負荷よりも製造工程の環境負荷が圧倒的に大きいので、まずは製造工程の環境負荷低減技術の開発が不可欠であろう。

4.2 リサイクル CF による製造原単位の低下

樹脂の場合、リサイクル時のコストや化石資源消費量がバージン材よりも多くなるか否かが争点となることが多いが、CF の場合は Figs.6, 7 に示されるように、リサイクルによる環境負荷低減効果が非常に大きいので、繊維の機能を有効に再利用する再成形技術の開発が重要である。

5. 結論

現在はコストや成形のしやすさなどで基礎素材の選択がなされているが、本研究では、自動車における脱化石資源を進めていくために重要と

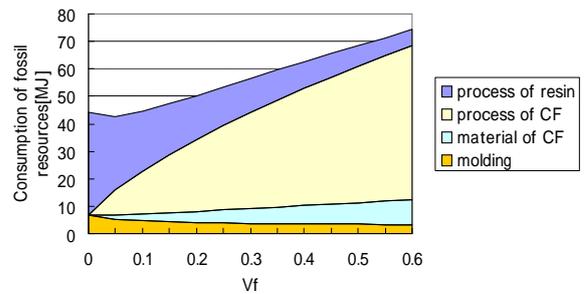


Fig.4 Consumption of fossil resources of CF/PLA.

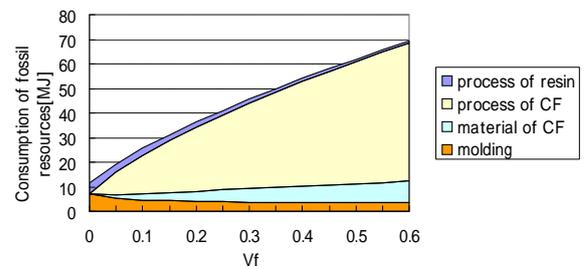


Fig.5 Consumption of fossil resources of CF/PLA(B/WP).

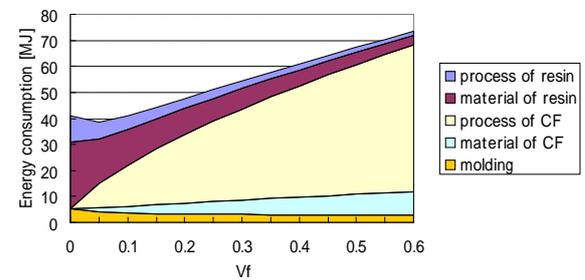


Fig.6 Energy consumption of CF/PP.

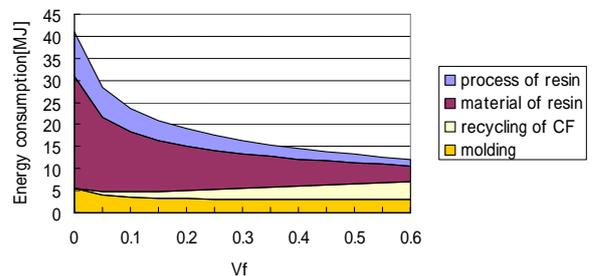


Fig.7 Energy consumption of recycled CF/PP.

なる基礎素材関連技術を開発し、LCA により明らかにした。

すなわち、まず CF/PP などの軽量化ポテンシャルの高い素材を量産車向けに開発することが喫緊の課題であることが示された。また、将来的には基礎素材の脱化石資源化も重要となり、CFRP においては CF の高度再利用、CF 製造工程の環境負荷低減、CF 原料の脱化石資源化の順に効果が高いことが示された。