

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

指導教員 高橋 淳 准教授
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
60813 山内 美穂

発表構成

- 研究背景
 - 脱石油資源の考え方
- 軽量新素材の環境負荷比較
 - 1kgの鉄鋼を置き換えたときの新素材の環境負荷
- ガソリン自動車と電気自動車のLCA
 - 走行中の石油資源消費割合による違い
- 複合材料の環境負荷低減の可能性
 - 新素材開発の方向性について
- 結論

発表構成

- 研究背景
 - 脱石油資源の考え方
- 軽量新素材の環境負荷比較
 - 1kgの鉄鋼を置き換えたときの新素材の環境負荷
- ガソリン自動車と電気自動車のLCA
 - 走行中の石油資源消費割合による違い
- 複合材料の環境負荷低減の可能性
 - 新素材開発の方向性について
- 結論

環境・エネルギー問題



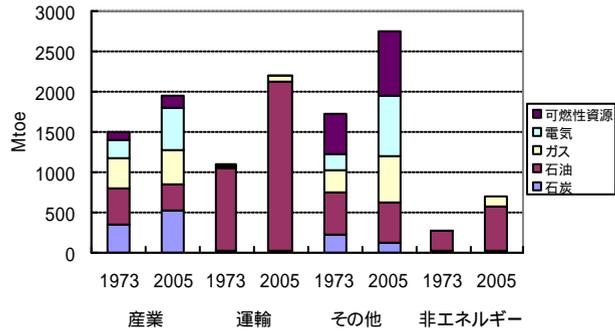
地球温暖化

可採年数

- 石油・・・41年
- 石炭・・・155年
- 天然ガス・・・65年
- ウラン・・・65年

化石資源の枯渇

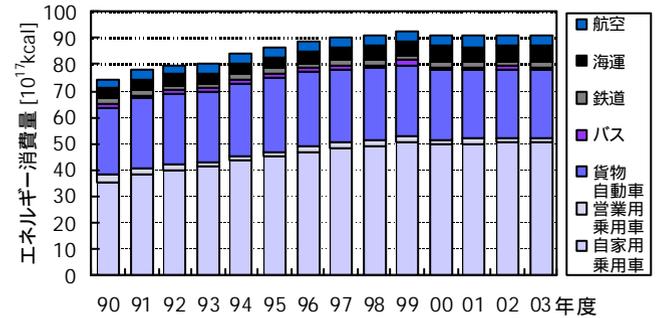
世界の部門別最終エネルギー消費



運輸部門はほとんど石油のみに依存

Source : IEA, KEY WORLD ENERGY STATISTICS 2007

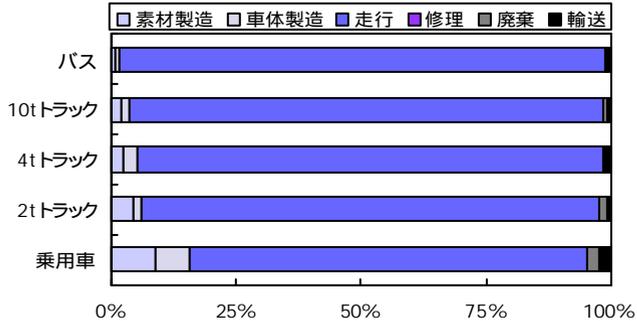
輸送機関別エネルギー消費量の推移



特に自動車による消費が多い

Source : EDMC, 「エネルギー 経済統計要覧」

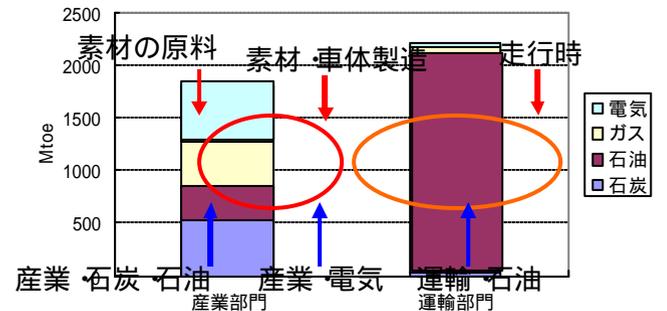
自動車のライフサイクルにおけるエネルギー消費量



走行時のエネルギー消費量が大部分を占める

Source : J. Kasal, The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol.5, No.5, p.316 (2000)

産業・運輸部門の最終エネルギー消費 自動車のエネルギー消費構造

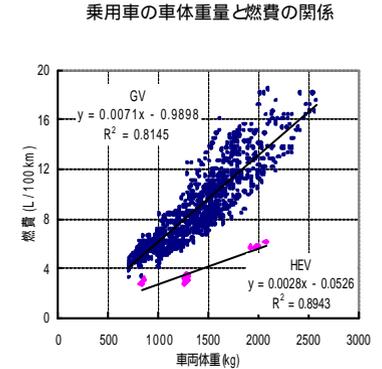


発表構成

- 研究背景
 - 脱石油資源の考え方
- 軽量新素材の環境負荷比較
 - 1kgの鉄鋼を置き換えたときの新素材の環境負荷
- ガソリン自動車と電気自動車のLCA
 - 走行中の石油資源消費割合による違い
- 複合材料の環境負荷低減の可能性
 - 新素材開発の方向性について
- 結論

自動車の省エネ技術

- 燃費向上技術
 - 車体の軽量化
- 動力源形式の変更
 - 電気自動車



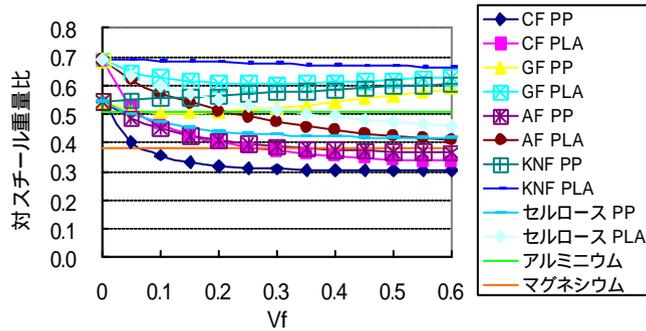
複合材料による車体の軽量化

- FRP (Fiber Reinforced Plastics)とはプラスチックに繊維を混ぜ弾性率と強度を向上させた材料で、 V_f は繊維の体積含有率を表す
- 樹脂
 - ポリプロピレン(PP)・・・石油
 - ポリ乳酸(PLA)・・・植物
- 繊維
 - 炭素繊維(CF)・・・石油
 - ガラス繊維(GF)・・・鉱物資源
 - アラミド繊維(AF)・・・石油
 - ケナフ繊維(KNF)・・・植物
 - セルロース繊維・・・植物

パネル材の軽量化と密度と弾性率の関係

- 板厚 t 、深さ B 、長さ L のパネル材の板厚方向の変形は
 - 曲げ荷重に対して $= ML^2/EI$ 、集中荷重に対して $= PL^3/EI$
 - すなわちパネル材の板厚方向の変形は E (弾性率)ではなく EI (曲げ剛性)で決まる
- パネル材の重量は $W = LBt$ (t は密度)であるから
 - スチール(下付 s)に対する複合材(下付 c)の重量比は $W_c/W_s = cLBt_c / sLBt_s = c t_c / s t_s$
 - スチールパネルと複合材パネルの EI が同じとき $E_c I_c / E_s I_s = E_c t_c^3 / E_s t_s^3 = 1$
 - よって $W_c/W_s = c t_c / s t_s = (c / s^3 E_c) / (s / E_s)$
 - ここで E / t^3 は構造効率 (パネル材の軽量化指標)で、大きいほど軽くてできる
 - 鋼板 ($E=210\text{GPa}$, $t=7.8\text{g/cm}^3$)では0.76
 - アルミニウム ($E=70\text{GPa}$, $t=2.7\text{g/cm}^3$)では1.49なので鋼板を約半分
 - マグネシウム ($E=40\text{GPa}$, $t=1.8\text{g/cm}^3$)では2.01なので鋼板を60%

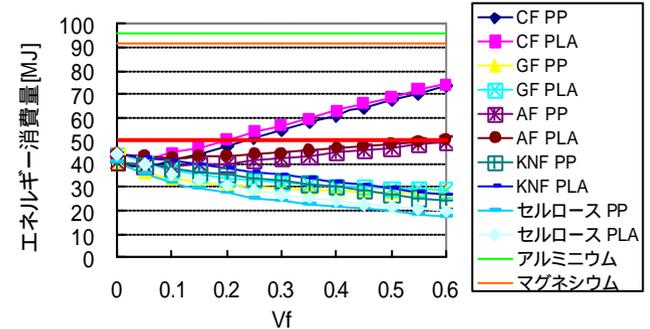
複合材料部材の対スチール重量比



CF/PPによる軽量化率が最も高い

複合材料部材の環境負荷

鋼板の製造原単位は33MJ/kg
部品加工に15MJ/kgで計48MJ/kg



多くの材料が鋼板部材よりも環境負荷が小さくなるが、VfによりCF/PPとCF/PLAは鋼板を上回る

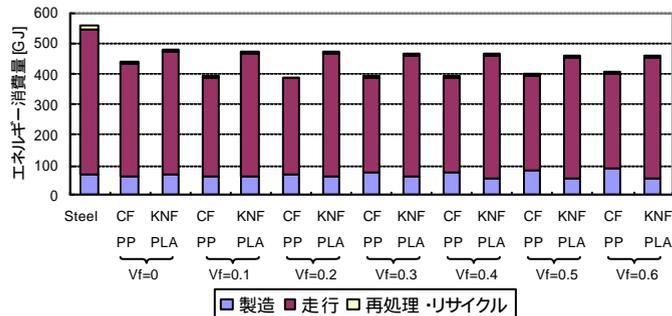
発表構成

- 研究背景
 - 脱石油資源の考え方
- 軽量新素材の環境負荷比較
 - 1kgの鉄鋼を置き換えたときの新素材の環境負荷
- **ガソリン自動車と電気自動車のLCA**
 - **走行中の石油資源消費割合による違い**
- 複合材料の環境負荷低減の可能性
 - 新素材開発の方向性について
- 結論

自動車のLCA

- **ガソリン自動車(1380kg)**
 - 鋼板部材のうち、ボディ シャーシ 内外装品系の730kgを軽量化率の高いCF/PPと植物由来のKNF/PLAで置き換える
- 生涯走行距離は10万 km

CF/PPとKNF/PLAによる軽量化ガソリン車のLCA

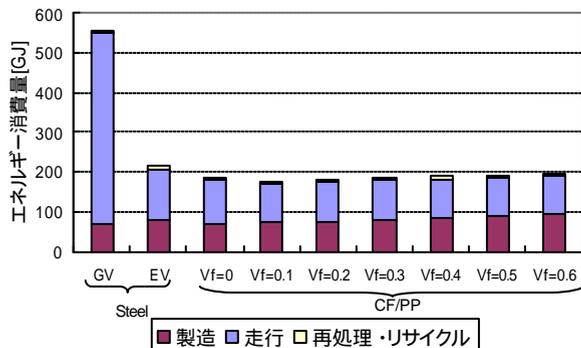


軽量化率が高い方が省エネに有効である

自動車のLCA

- 電気自動車(1550kg)
 - ガソリン車と同様に鋼板部材のうち、ボディシャーシ 内外装品系の730kgを軽量化率の高いICF/PPで置き換える
- 生涯走行距離は10万 km

CF/PPによる軽量化電気自動車のLCA



電気自動車では軽量化による省エネ効果が小さい

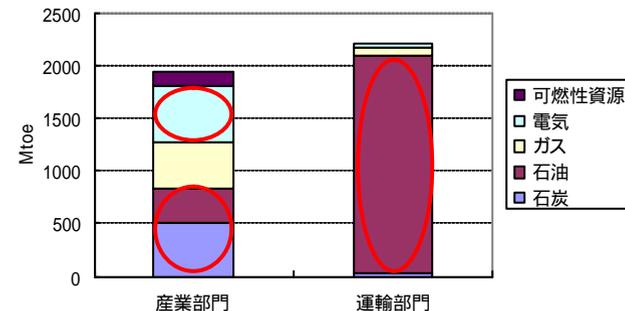
まとめ

- ガソリン車では走行時の環境負荷が大きいいため、車体製造時の環境負荷が若干大きくなってても、軽量化率の高い素材の方が省エネの効果が大きい
- 電気自動車では走行時の環境負荷が小さくなり、製造時の環境負荷が占める割合が大きくなるため、素材の脱化石資源化も含めた製造時の環境負荷低下が重要となる

発表構成

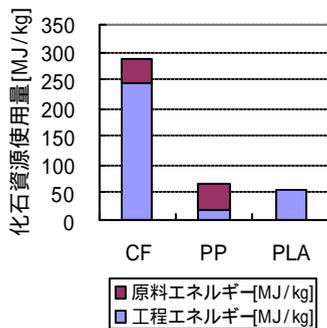
- 研究背景
 - 脱石油資源の考え方
- 軽量新素材の環境負荷比較
 - 1kgの鉄鋼を置き換えたときの新素材の環境負荷
- ガソリン自動車と電気自動車のLCA
 - 走行中の石油資源消費割合による違い
- 複合材料の環境負荷低減の可能性
 - 新素材開発の方向性について
- 結論

産業・運輸部門の最終エネルギー消費割合

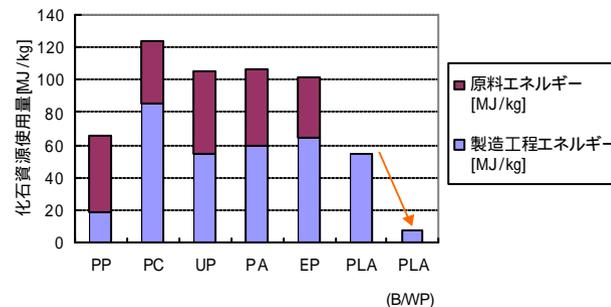


基礎素材の環境負荷低減の可能性

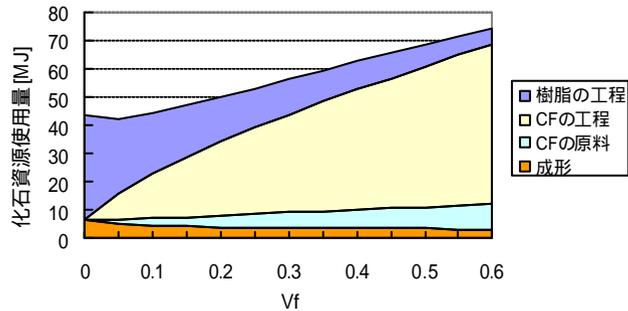
- 原料
 - 原料を植物などの非化石資源に
 - リサイクル
- 製造工程
 - 工程改善
 - 電源 熱源を非化石資源由来のエネルギーに移行



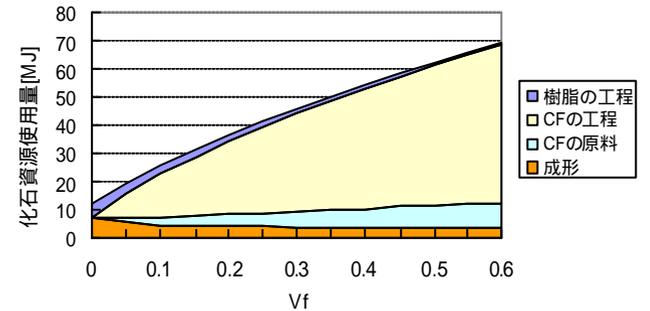
基礎素材の化石資源使用量低減の可能性



CF/PLAの環境負荷

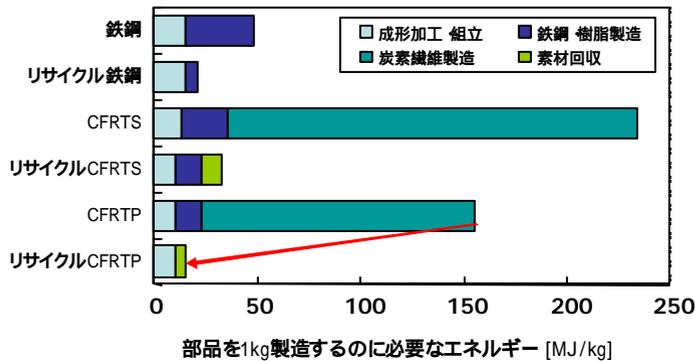


CF/PLA(B/WP)の環境負荷



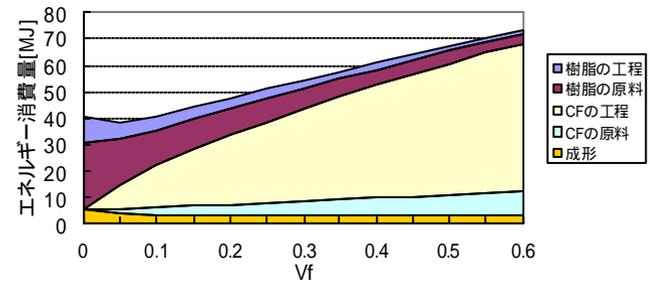
CFの工程エネルギーに改善の余地がある

自動車部品を1kg作る時に必要となるエネルギーの比較

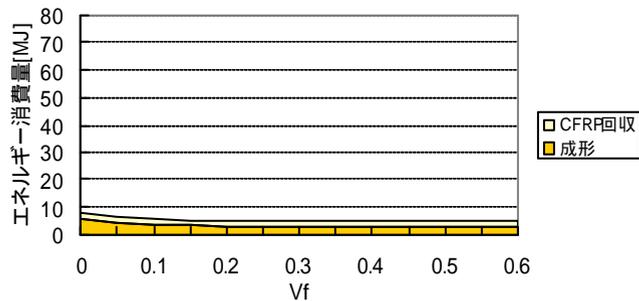


リサイクルすることで素材回収と 成形のエネルギーだけになる

CF/PPの環境負荷



リサイクルCF/PPの環境負荷



リサイクルにより、大幅に環境負荷を小さくできる

発表構成

- 研究背景
 - 脱石油資源の考え方
- 軽量新素材の環境負荷比較
 - 1kgの鉄鋼を置き換えたときの新素材の環境負荷
- ガソリン自動車と電気自動車のLCA
 - 走行中の石油資源消費割合による違い
- 複合材料の環境負荷低減の可能性
 - 新素材開発の方向性について
- 結論

結論

- ガソリン車では (基礎素材の環境負荷を気にするよりも)CF/PPなどの軽量化ポテンシャルの高い素材が省化石資源に有効である
- 将来、電気自動車が導入された場合は基礎素材の脱化石資源化も重要となる

Bの例として、CFRPにおいては次の順に脱化石資源の効果が高い

- リサイクル
- CFの製造工程 (原料 CF)の改善
- 樹脂の工程改善、CFと樹脂原料の脱化石資源化
- 成形方法 (CF 樹脂 CFRP)の改善

END

課題の現状

リサイクル

現状では熱可塑性樹脂のCFRPはほとんど使われていないため、リサイクルもされていない

熱可塑性のリサイクルの研究は始まっている

CFの製造工程 (原料 CF) の改善

電力を再生可能エネルギーにする、大量生産

樹脂の工程改善、CFと樹脂原料の脱化石資源化

CFをセルロース、竹から製造する。しかし性能は落ちる

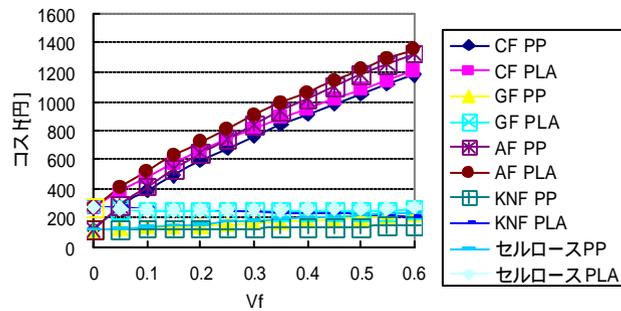
成形方法 (CF 樹脂 CFRP) の改善

大量生産

繊維・樹脂の物性と原単位

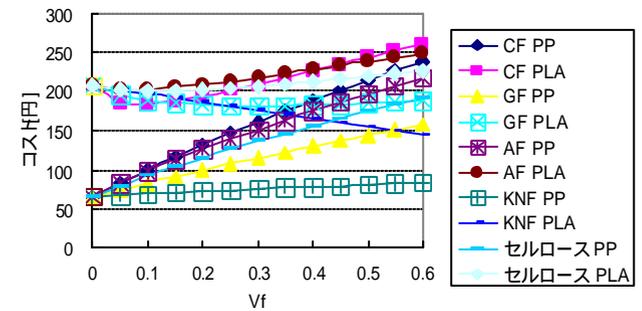
	比重 [g/cm ³]	剛性 [GPa]	製造原単位 [MJ/kg]
CF	1.8	230	286
GF	2.6	72.5	30
AF	1.39	73	150
KNF	1.24	9.4	10
セルロース	1.5	58	20
PP	0.9	2.7	65
PLA	1.2	2.7	54

コスト (CFのコスト ¥5000円)



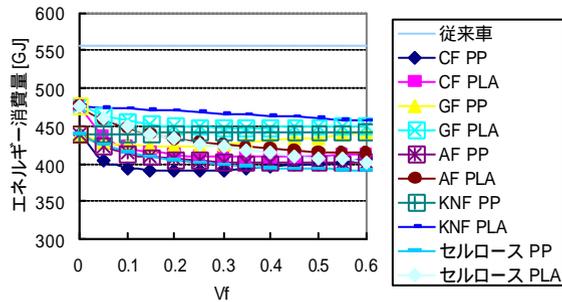
さまざまな鉄鋼部品の加重平均をとったコストは約240円/kg

コスト (CFのコスト ¥1000円)

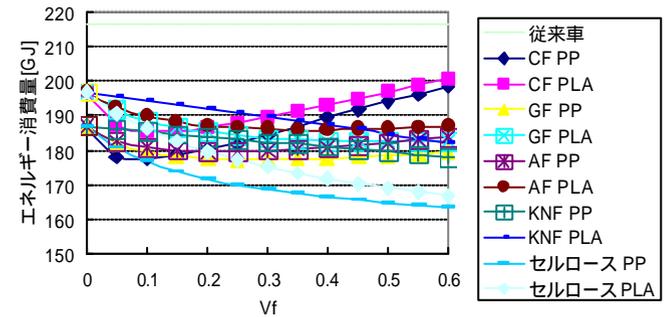


CFのコストが1000円以下になれば鉄鋼部品の代替可能

複合材料による軽量化ガソリン車のLCA



複合材料による軽量化電気自動車のLCA

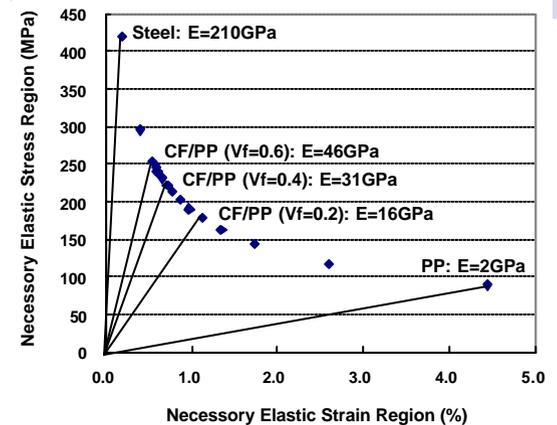


ケナフやセルロース、ガラス繊維の方がエネルギー消費量は小さいが、電気自動車は軽量化しないと、一回充電走行距離が短すぎて普及しない

参考

- 次に強度面の制約から必要となるVfを考える
- パネル材全面に面内方向の強度を期待するとは思えないため、本来ならば接合部等のみを補強することで足りると思われるが、汎用性と信頼性を考えた上での材料設計のために、強度面での制約も考える。
- すなわち、鉄鋼において応力で420MPa、歪で0.2%の範囲で線形弾性であることを求めるのは疲労対策と考え、それと同等の条件を満たすようにする
 - これまでの実験から、Vf=0~0.3では歪で約1%程度から非線形性を示すので、今後も特に樹脂リッチなVfが小さい所では線形弾性挙動をする歪範囲を1%以上とすることは困難と考えられる。

Necessary Elastic Stress-Strain Region of CF/PP Panel



CF/PPの問題点

- CFと熱可塑性樹脂の接着は極めて悪い
 - 十分な性能が発現できるような界面制御の研究が進められている
- 再成形時に繊維長が短くなる
 - 部材によってはフレッシュの炭素繊維をたしてリサイクルする必要がある

天然繊維の問題点

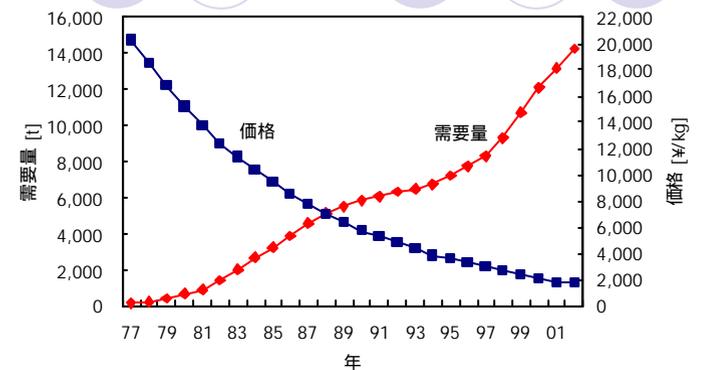
- 温度敏感性の問題があり、溶融時に高温にさらすと 燃焼するか、色が褐色に変化し、複合材料の溶融局面ではバラバラに破断する傾向がある
- 安定供給が不確か
- 新素材であるため、強度・剛性の性能はまだ未知数

部位別重量構成

部位	合計 [kg]	鉄 [kg]	非鉄金属 [kg]	その他 [kg]
ボディ	475.0	453.4	6.6	15.0
シャーシ	239.3	197.8	2.8	38.8
内外装品	223.5	66.6	0.0	156.9
エンジン	194.4	142.1	40.4	11.9
その他	247.7	98.9	70.9	77.9
合計	1380.0	958.8	120.7	300.5

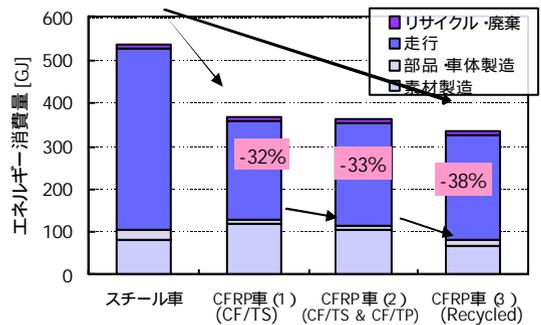
- ボディ、シャーシ、内外装品のスチールをCFRPに置き換えた

PAN系炭素繊維の需要量(世界)と価格の推移



資料:菅健司,炭素繊維協会第16回複合材料セミナー(2003)

乗用車のライフサイクルでのエネルギー消費量



鈴木徹也 運輸部門のエネルギー消費構造分析に基づく材料関連省エネルギー備償に関する研究