

LCAにより導かれるCFRP適用分野における リサイクルの必要性

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

桐原貴大
指導教員 高橋淳 教授

平成22年2月

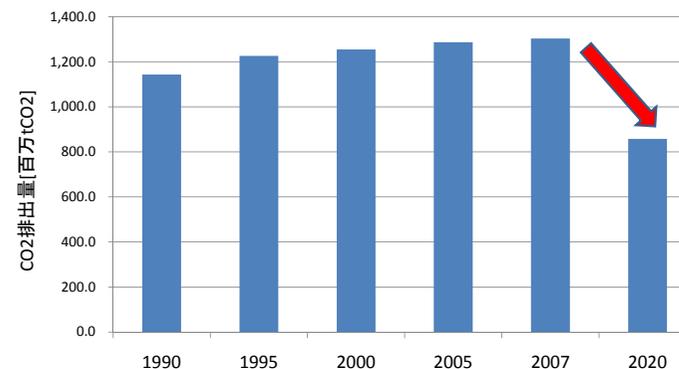
目次

- ▶ 研究背景
- ▶ 研究の着眼点
- ▶ 自動車LCA
- ▶ 風力発電LCA
- ▶ CFRP廃棄物ポテンシャル量
- ▶ 結論

目次

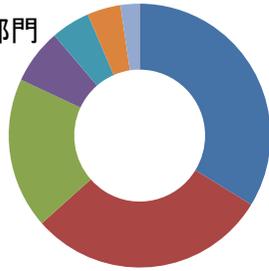
- ▶ **研究背景**
- ▶ 研究の着眼点
- ▶ 自動車LCA
- ▶ 風力発電LCA
- ▶ CFRP廃棄物ポテンシャル量
- ▶ 結論

日本の二酸化炭素排出量推移



CO₂直接排出量の内訳(2007年)

- ▶ エネルギー転換部門
33.8%
- ▶ 産業部門
29.7%
- ▶ 運輸部門
18.5%
- ▶ その他
18%



- エネルギー転換
- 産業
- 運輸
- 業務その他
- 家庭
- 工業プロセス
- 廃棄物
- その他

エネルギー転換部門と運輸部門での
CO₂排出量の削減を目指す

目次

- ▶ 研究背景
- ▶ **本研究の着眼点**
- ▶ 自動車LCA
- ▶ 風力発電LCA
- ▶ CFRP廃棄物ポテンシャル量
- ▶ 結論

Composite Solutions Applied Throughout the 787

CFRP

Carbon Reinforced Plastics (プラスチック)

を混ぜ、弾性率などを向上

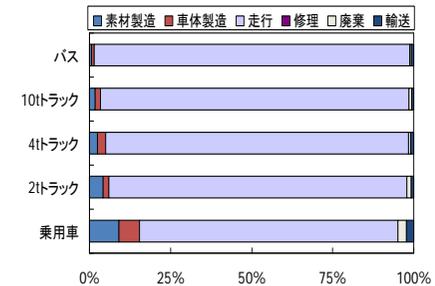
Vf(=繊維含有率)

- ▶ 比強度が鉄やアルミより高い
- ▶ 軽量で強い材料
- ▶ ただし、加工性が悪いため、設計に注意が必要

比強度(パネル材の軽量化指標)で、大きいほど軽量化が容易である。鉄(ρ=7.8g/cm³)では0.76、アルミ(ρ=2.7g/cm³)では1.49なので、CFRP(ρ=1.8g/cm³)では2.01なので、CFRPは鉄やアルミよりも軽量化が容易である。

本研究の着眼点①

- ▶ 自動車走行時のCO₂排出量の削減



- ▶ 走行時のエネルギー消費が大きい
→ 燃費向上対策が必要である！

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

本研究の着眼点②

- ▶ 風力発電分野での原単位の向上
- ▶ 風車を取り出すことのできるエネルギーは風の運動エネルギー(T)であり、風車ブレードが受ける風の面積に比例する。

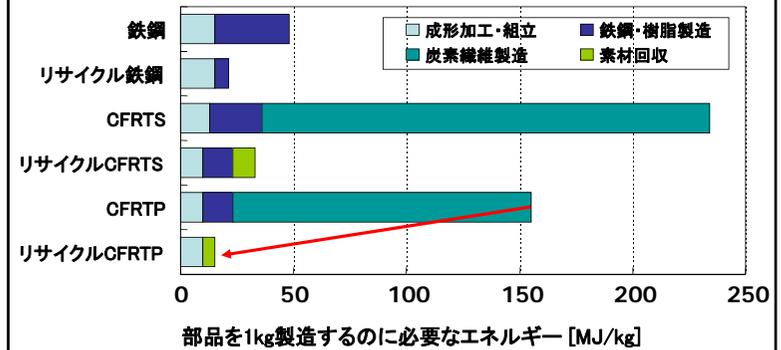
→ **ブレード長の2乗に比例する。**

- ▶ CFRPを用いてブレード長の**伸長**を目指す

$$T = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}(\rho AV)V^2 = \frac{1}{2}\rho AV^3 = \frac{1}{2}\rho V^3 \pi r^2$$

本研究の着眼点③

- ▶ リサイクル炭素繊維を用いた製造原単位の改善



研究目的

- ▶ 世界中でCFRPの有する即効性に着目し、複合材の研究が盛んに行われている。
- ▶ 需要増加につれてCFRPゴミ量は増加し、リサイクルに対する要求、必要性も高まっている。
- ▶ **実際の需要とそれにより生み出されるCFRP廃棄物を質的なもの、量的なものの観点から整理し、今後どのような技術が必要となるか、リサイクルの形態はどうあるべきなのかを検討したものが本研究である。**

目次

- ▶ 研究背景
- ▶ 研究の着眼点
- ▶ **自動車LCA**
- ▶ 風力発電LCA
- ▶ CFRP廃棄物ポテンシャル量
- ▶ 結論

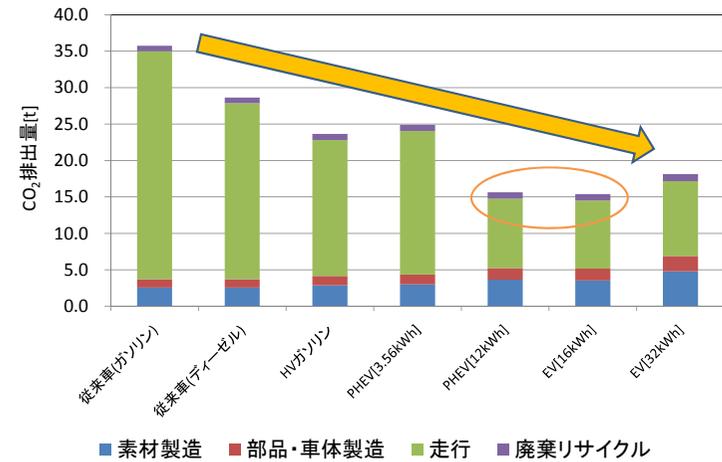
自動車のLCA(軽量化前)

▶ 前提条件

- 10年間の使用を仮定し、部品交換は行わないものとする
- ▶ 走行距離 100,000km
- ▶ 対象車 車重一覧

動力源	従来車 (ガソリン)	従来車 (ディーゼル)	HV ガソリン	PHEV [3.56kWh]	PHEV [12kWh]	EV [16kWh]	EV [32kWh]
車重[kg]	1380	1380	1540	1548	1632	1602	1762
排気量[cc]	2000	2000	2000	2000	2000		

自動車のLCA(軽量化前)

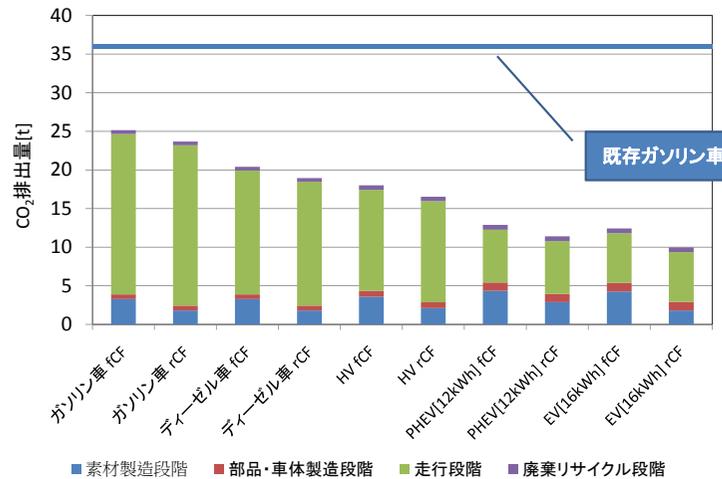


自動車のLCA(軽量化後)

▶ 計算方法

- ▶ シャーシ、ボディ、内外装部品に用いられる鉄鋼部品をCF/PP・Vf=0.2のCFRPを用いて、曲げ剛性EIが等しくなるように代替した。
- ▶ エンジン・オイル・電装系部分は軽量化されないものとする。

自動車のLCA(軽量化後、f;fresh r;recycled)



自動車LCA(軽量化とバイオ燃料比較)



自動車用CFRP廃棄ポテンシャル量

- ▶ 本研究での既存ガソリン車1台に対し、約230kgのCFRPを利用している。
- ▶ 2010年に軽量車が市場投入され、TOYOTAプリウスと同じ速度で市場に出回ると仮定した時、CFRPIは2010年~2050年までの間に**~850,000t**廃棄される

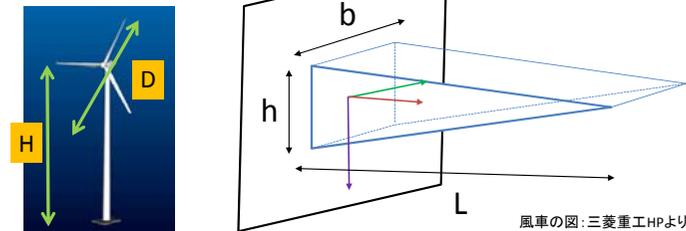


目次

- ▶ 研究背景
- ▶ 研究の着眼点
- ▶ 自動車LCA
- ▶ **風力発電LCA**
- ▶ CFRP廃棄物ポテンシャル量
- ▶ 結論

風力発電LCA

- ▶ **前提条件**
- ▶ 風速5.5m/s(地上50m地点)
- ▶ 国内製造・陸上風車・20年使用
- ▶ 耐風速70m/s
- ▶ 風車ブレードの中心位置H=ブレード直径D
- ▶ ブレードに加わる主な荷重: 自重(死荷重)・風荷重
- ▶ L:b=1:0.1、b:h=1:0.25。中空長方形断面を有する相似形のブレード形状を仮定



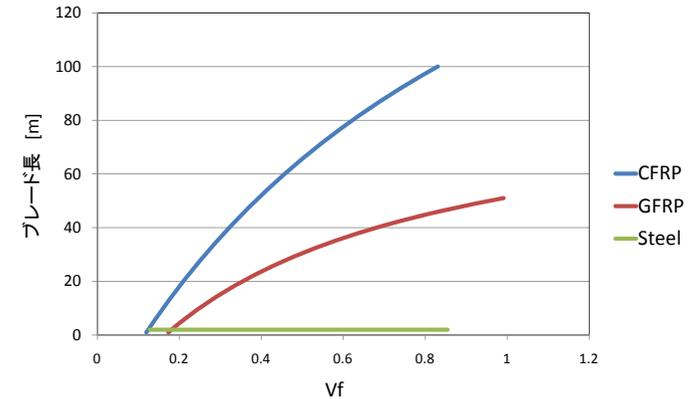
風車の図: 三菱重工HPより

風力発電LCA計算手法

▶ 計算手法

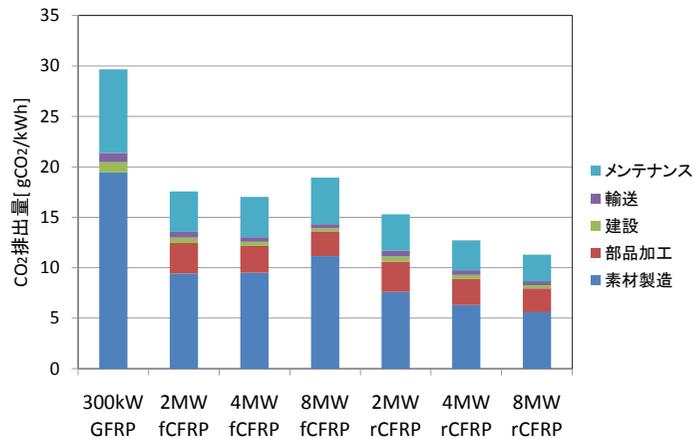
- ▶ ナセル、タワー、基礎部分について
 - ・ 既存風車のデータから、出力別の重量を推測(線形回帰)
- ▶ ブレードについて
 - ・ 既存GFRP製風車に加えられる死荷重、風荷重による曲げ応力①を計算。
 - ・ 既存GFRP製風車の引張り強度②を計算
 - ・ ①/②を一種の安全係数と捉え、CFRP製風車においてもその安全係数を超えない範囲で設計が行われると仮定
 - ・ Vfによるブレード長を推測

Vfとブレード長



※根元から先端まで一定の板厚として、板厚値を固定した場合のブレード長を表している。

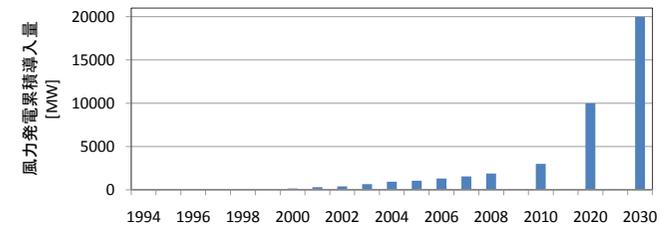
風力発電LCA結果



300kWの値は電中研の参照値

風車用CFRPの廃棄ポテンシャル量

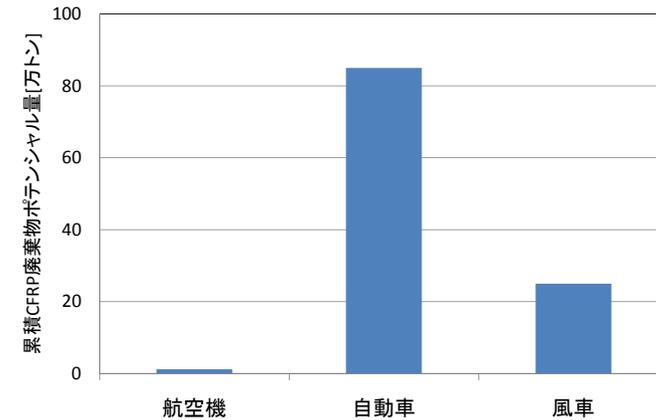
- ▶ 本研究での8MW級風車には、1基当たり(=ブレード3本分)で約110tのCFRPを使用している。
- ▶ 2030年までの日本国内風力発電導入目標が2000万kWなので、2010年以降、すべての風車を8MW級CFRP製の風車で製造した場合、CFRPは2010年~2050年までの間に**~250,000t**廃棄される



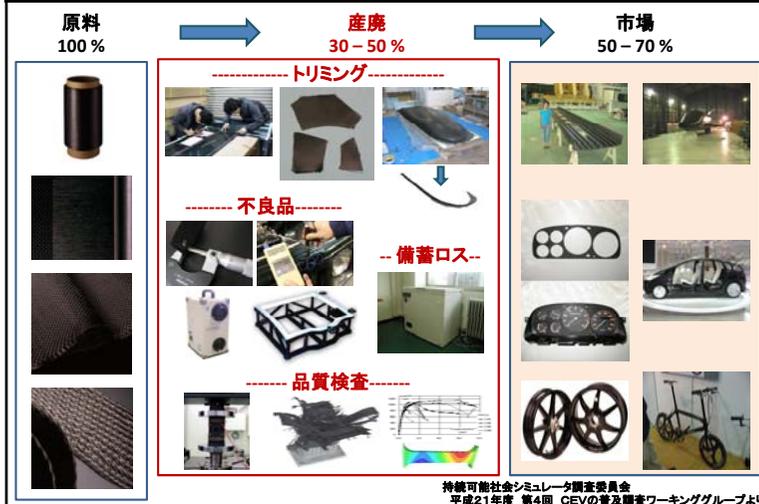
目次

- ▶ 研究背景
- ▶ 研究の着眼点
- ▶ 自動車LCA
- ▶ 風力発電LCA
- ▶ **CFRP廃棄物ポテンシャル量**
- ▶ 結論

CFRP国内廃棄ポテンシャル量(2010~2050)



炭素繊維の有効利用率



各CFRP適用分野リサイクルの在り方

▶ 航空機分野: 強度設計

- 退役を迎えた飛行機の廃棄物の量は問題ない
- 生産量の約半分が工場内で出るゴミ(インプラントゴミ)であり、そのゴミを管理して減らすことがコスト低減につながる。
- 航空機用に使われた高品位のCFRPをまとめて低グレードにカスケード利用する方が良い。

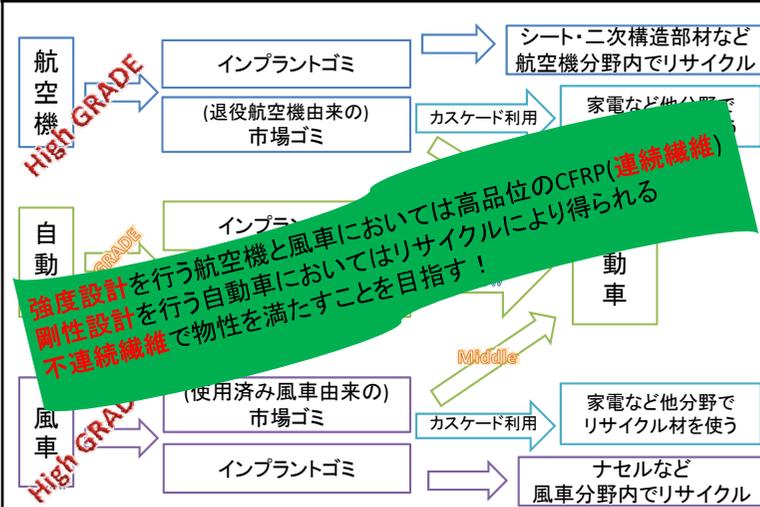
▶ 自動車分野: 剛性設計

- 廃棄物量のポテンシャルが非常に大きい。自動車で用いた材料を再び自動車分野で使わなければ、処分場不足の問題へ発展する。
- 自動車に求められる機械的特性を満たすような、高性能リサイクル材の開発が必要

▶ 風力発電分野: 強度設計

- フレッシュ材を用いた大型風車よりも、リサイクル炭素繊維を用いた超大型風車の方が環境負荷は小さい。
- 風車ブレードには強度が求められ、飛行機と同様に高品位なCFRPが必要である。→ 使用済み大型風車のカスケード利用

リサイクル概念図



結論

- ▶ LCAにより、航空機・自動車・風力発電分野における即効的環境負荷低減技術としてのCFRPIによる軽量化の有効性と同時に、CFRPのリサイクルがさらなる環境負荷低減に有効であることを定量的に明らかにした。
- ▶ 軽量化自動車と従来車を比較することで、軽量車は約3割の環境負荷低減が望まれる。
- ▶ (コストの面を考慮せずに)環境負荷の面のみから見ればバイオ燃料よりも車体軽量化の方が有効である。
- ▶ CFRP製風車は、火力発電と比すれば約40分の1の環境負荷で、既存CFRP製風車と比すれば約半分である。
- ▶ リサイクルが素材コスト低減と市場ゴミから製品を作ることによる廃棄物処分場問題解決にも寄与するが、そのためには不連続炭素繊維から高性能な成型品を製造する技術が必要となり、フレッシュ材の段階から炭素繊維が再利用しやすい樹脂の選定や繊維形態の採用などの工夫も必要となる。

▶ Thank you for your Attention!