

CFRPによる超軽量トラックの検討とその省エネルギー効果予測

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

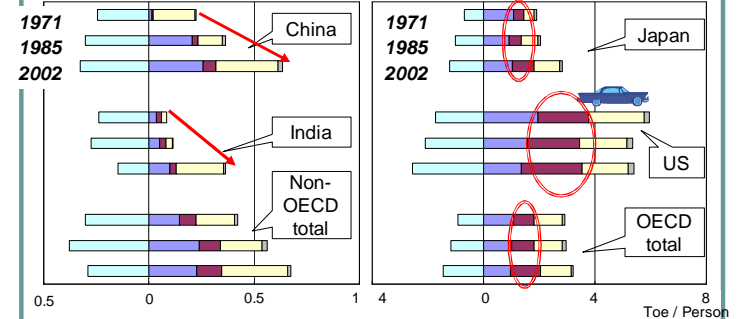
30740 志田 龍亮

発表構成

1. 研究背景
2. トラックFEM解析
3. LCAによる軽量化評価
4. 中国における省エネルギー効果予測
5. 結論

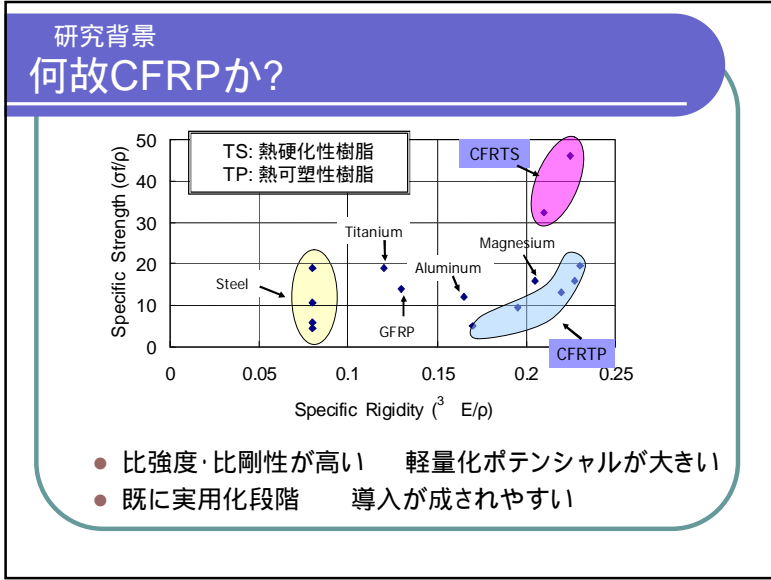
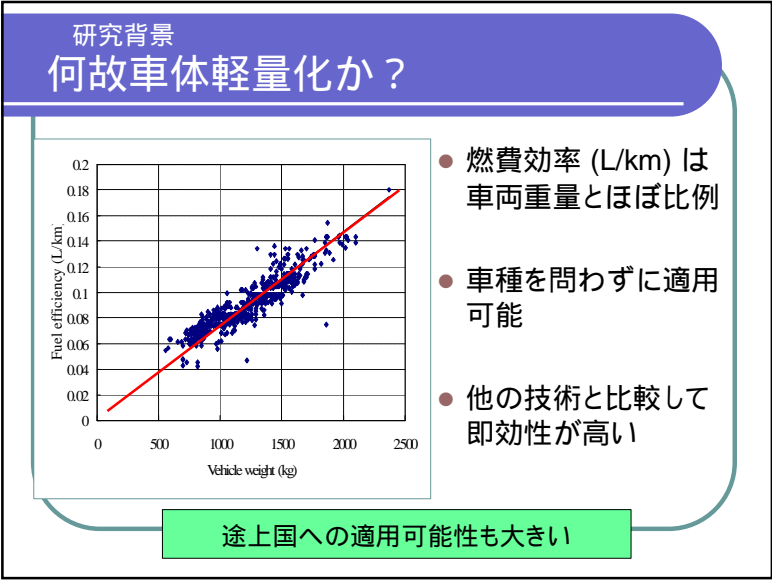
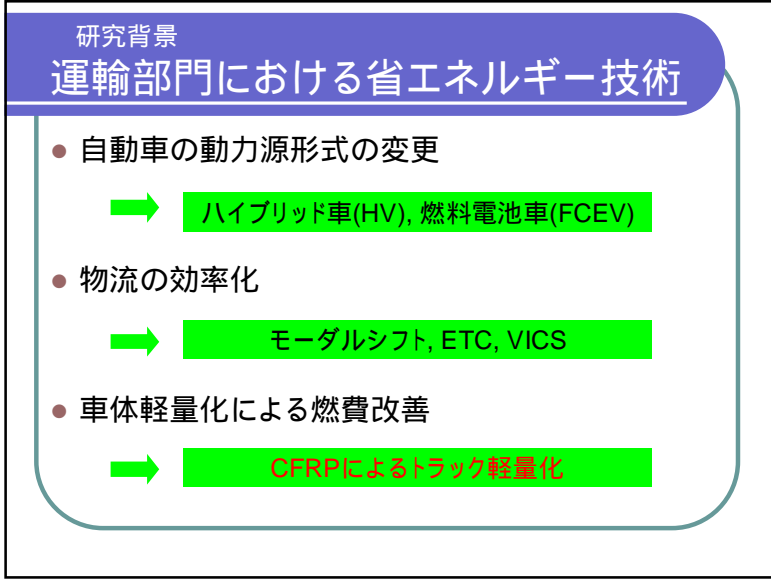
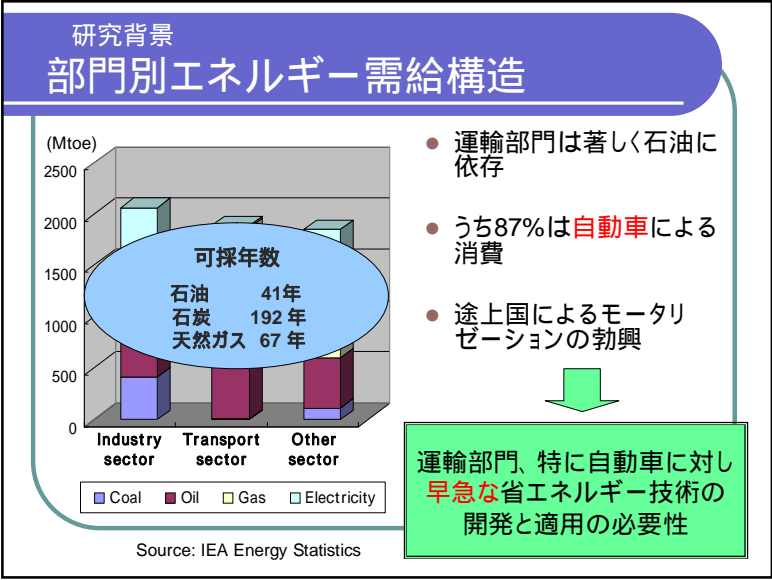
1. 研究背景

研究背景 各国別エネルギー需給構造



- Non-OECD諸国に比べてOECD諸国は運輸部門のエネルギー消費割合が大きい
- BRICs諸国である中国、インドが著しくエネルギー消費を伸ばしている

Source: IEA energy statistic



研究背景
何故CFRPトラックか？

● 環境・エネルギー面

- ➡ 1. エネルギー消費・CO₂排出原単位が大きい
- ➡ 2. 生涯走行距離が長い

● 経済面

- ➡ 3. 初期投資増分に対する価格の影響が小さい
- ➡ 4. 軽量化によるコストベネフィットが大きい

● 技術面

- ➡ 5. 多種少量生産である

研究背景
本研究の目的

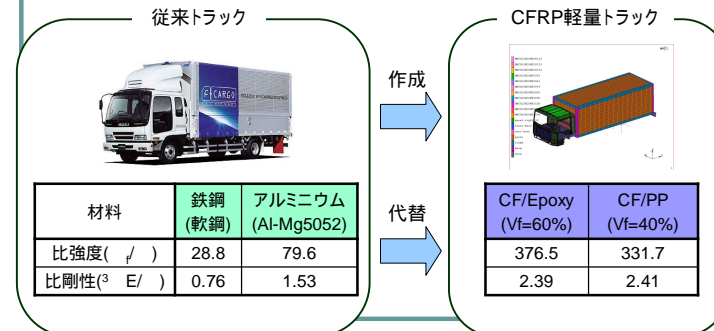
1. FEM解析によるトラック車体軽量化率の算定
2. LCAによる省エネルギー性・経済性評価
3. 時系列分析によるモータリゼーション予測とCFRPトラックによる省エネルギー効果試算

CFRPによる超軽量トラックを多方面から定量的に評価し、その有用性を明らかにする

2. トラックFEM解析

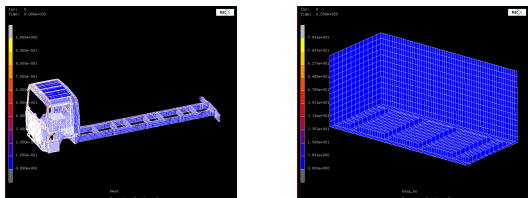
トラックFEM解析
解析手法・設定条件1

- いすゞから提供されたデータを基にFEM解析モデル作成
- 従来の鉄鋼・アルミからCFRP擬似等方材へ代替



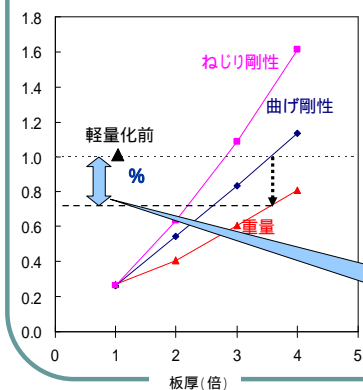
トラックFEM解析 解析手法・設定条件2

- 評価基準
 - キャブ・シャーシ部
 - 曲げ剛性 ねじり剛性 強度
 - 従来車と同等の基準を満たすことを条件とする
 - ボディ部
 - JIS規格Z1618「国際一般貨物コンテナ」の強度・剛性基準



トラックFEM解析 単純代替による軽量化率

(軽量化前 = 1のときの比率)



- 軽量化前の剛性・強度基準を全て満たすときの板厚を決定
- それを重量換算し、軽量化率を求める
- 以上の手法でCF/Epoxy、CF/PPにそれぞれ代替した際の軽量化率を求める

トラックFEM解析 単純代替による解析結果

キャブ・シャーシ部

[曲げ剛性基準]

- CF/Epoxyによる代替 29.5%の軽量化
- CF/PPによる代替 **7.7%の重量増**

ボディ部

[下方向変位基準]

- CF/Epoxyによる代替 24.7%の軽量化
- CF/PPによる代替 25.1%の軽量化

トラックFEM解析 単純代替の問題点

- 熱硬化性樹脂を用いたCF/Epoxyは軽量化率は高いが、高価・リサイクルが難しい・製造エネルギーが大きい



安価・高リサイクル性・低エネルギー消費の熱可塑性のCF/PPの積極的利用

- 軽量化前と同じ板厚比では部位により無駄が生まれる

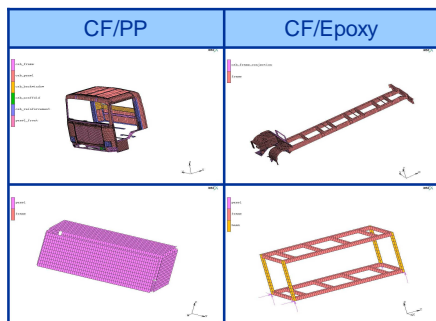


感度解析により剛性・強度を受け持たない部位の薄肉化

材料に合わせての最適化が必要

トラックFEM解析 CF/PP代替箇所を選定

- FEM解析による剛性寄与率からCF/PP代替箇所を選定



トラックFEM解析 感度解析による最適板厚の設定

$$\text{感度} = \frac{1\text{kgあたりの剛性向上率}}{1\text{kgあたりのエネルギー消費量}}$$

エネルギー消費量	
CF/Epoxy	234.3(MJ/kg)
CF/PP	155.0(MJ/kg)

- 感度が大きい 少ないエネルギーで高い剛性向上
- 感度が小さい 大きいエネルギーを使わなければ剛性が向上しない
- 感度の高い部位を抽出して板厚を増加させる
全ての部位の感度が等しくなるときが最適解

トラックFEM解析 最適化結果

- キャブ・シャーシ部
 - 曲げ剛性に寄与しているフレーム部のみ板厚を増加、他の部位は最低板厚で保持

41.8%の軽量化
- ボディ部
 - 変位に大きく寄与するパネル部のみ板厚を増加、同様に他の部位は最低板厚で保持

35.7%の軽量化
- その他
 - トラックにおいては軽量化分だけ積載量が増加するため、エンジン・トランスミッション等を小型化することは出来ない

軽量化なし

車両重量では17.5%の軽量化

3. LCAによる軽量化評価

LCAによる軽量化評価 LCA (Life Cycle Assessment)とは

- 走行段階におけるエネルギー消費減少が製造段階のエネルギー消費増加を上回れなければ意味がない
 → 製品のライフサイクルを対象とした包括的評価(LCA)が必要
- CFRPトラックにおけるLCAの設定

実施目的	CFRPトラックの省エネルギー性を従来車と比較検討する
機能単位	総走行距離40000km, 使用年数11年, 車両総重量7955kg, 人員重量110kg, 積載率50%である中型ディーゼルトラック
基準フロー	機能単位を満たすトラック
システム境界	素材製造・車体組立製造・走行
環境負荷項目	エネルギー消費量

LCAによる軽量化評価 トラック単体におけるLCA比較

4.4% reduced

180
160
140
120
100
80
60
40
20
0

Before Lightening After Lightening

Material Production Assembly Use

しかし最大積載量の増加によって全体の台数の減少が考えられる

LCAによる軽量化評価 トラック全体におけるLCA比較

17.2% reduced

100%
80%
60%
40%
20%
0%

Before Lightening After Lightening

Material Production Assembly Use

車体軽量化率とほぼ等しい値の省エネルギー効果

LCAによる軽量化評価 経済性評価

C_{use} : 燃費向上による軽油削減効果 (円/台)

$$\Delta C_{use} = \frac{79520x - 73217(0.866x)}{x} \times p_{oil} = \frac{79520x - 63406x}{x} \times p_{oil}$$

$$= 16114 \times 95 = 1530830$$

x: トラック台数
p_{oil}: 軽油価格(円/L)

$C_{production}$: CFRP代替によるコスト上昇 (円/台)

	鉄鋼	アルミ	CF/Epoxy	CF/PP
代替による増減(kg)	-1388.0	-262.2	646.6	383.3
価格(円/kg)	170	350	p _{cf}	0.38 p _{cf}

$$\Delta C_{production} = -13880 \times 170 - 2622 \times 350 + 6466 \times p_{cf} + 3833 \times 0.38 p_{cf}$$

$$= 327730 - 792.3 p_{cf}$$

p_{cf}: CF/Epoxy価格 (円/kg)

C_{use} $C_{production}$ のとき採算性が確保
p_{cf} 2345.8(円/kg) → 可能ライン

4. 中国における省エネルギー効果予測

中国における省エネルギー効果予測 中国におけるモータリゼーション

- 世界最大の人口
- 急激な経済成長
- 政府によるトラック輸送奨励



急激な保有台数の増加により
石油需給逼迫が引き起こされる可能性が強い

早期対策の必要性

中国における省エネルギー効果予測 トラック・モータリゼーション予測モデル

一般に輸送トンキロは実質GDPと強い相関を持つが、近年ではその相関乖離が指摘されている

↓ 変動要因の抽出: よりの確なモデル化

- 産業構造の変化を考慮し、第一次産業実質GDP, 第二次産業実質GDP, 第三次産業実質GDPに説明変数を分割
- 原油価格(US\$/barrel)の影響を説明変数に加味

↓ 時系列分析により最適なモデル選定:
AIC(赤池情報量基準)を指標

中国におけるトラック普及モデル

$$\ln(y) = \beta_1 + \beta_2 (\ln(x)) + \beta_3 (\ln(x))^2 + \beta_4 (\ln(x))^3 + u_t$$

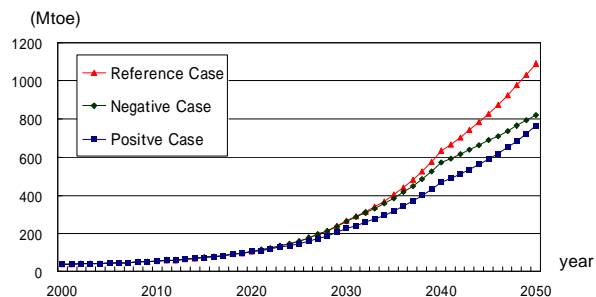
y: トラック保有率
x: 第二次産業GDP

中国における省エネルギー効果予測 CFRPトラックによる導入シミュレーション

- Referenceケースを無体策としてCFRPトラックを用いた際の省エネルギー効果を予測する
- LCAによる結果を踏まえ、最大軽量化率を設定
- Positive case とNegative Caseを設定
導入開始年度による差異を明らかにする

	導入開始年度	新規保有台数におけるCFRPトラックの割合	CFRPトラック車体軽量化率 (=エネルギー削減率)	最大軽量化率
Positive Case	2010年	10% から始まり 毎年10% 増加	5% から始まり 毎年5%増加	30%
Negative Case	2020年	10% から始まり 毎年10%増加	5% から始まり 毎年5% 増加	30%

中国における省エネルギー効果予測 シミュレーション結果



- CFRPトラックによる省エネ効果は2050年までに Positive case:3642(Mtoe)、Negative case:1861(Mtoe)に上る
- 導入時期による差異も大きい

中国における省エネルギー効果予測 乗用車への適用可能性

- 前半はトラックの保有台数が増えるが、中長期的には乗用車の保有台数がそれを抜くと考えられる
- CFRPの適用はトラックの方が成されやすいが将来的には一般乗用車への適用も視野に入れるべき
- 乗用車は軽量化が直接的に影響するため燃費向上効果が高い

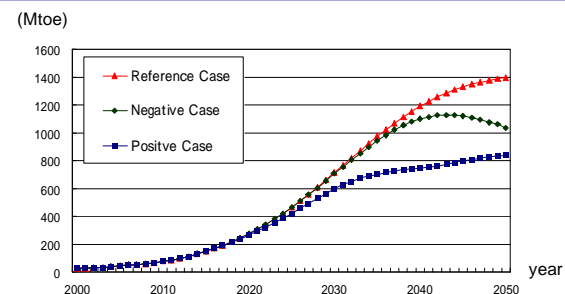


中国における省エネルギー効果予測 乗用車におけるCFRP導入シミュレーション

- 乗用車においてもPositive case、Negative caseを設定
- 都市部、農村部における乗用車普及率の差異を考慮する

		導入開始年度	新規保有台数におけるCFRPトラックの割合	CFRPトラック車体軽量化率 (=エネルギー削減率)	最大軽量化率
Positive	都市部	2015	10% から始まり 毎年10% 増加	5% から始まり 毎年5% 増加	40%
	農村部	2025	10% から始まり 毎年10% 増加	5% から始まり 毎年5% 増加	40%
Negative	都市部	2025	5% から始まり 毎年5% 増加	5% から始まり 毎年5% 増加	40%
	農村部	2035	5% から始まり 毎年5% 増加	5% から始まり 毎年5% 増加	40%

中国における省エネルギー効果予測 乗用車シミュレーション結果



- 乗用車はより顕著にPositive case、Negative caseの差が表れ、その差は6022(Mtoe)にも及ぶ

結論

- CFRPのトラックへの応用は最適化によってキャブ・シャーシ部においては41.8%, ボディ部においては35.7%, 車両重量では17.5%の軽量化となった。
- CFRPによるトラックの軽量化をLCAで評価した場合は、単体では効果が薄いですが、全体において見た場合は17.2%のエネルギー削減効果を持ち、経済的にも採算性を持つ。
- 中国のモータリゼーションへの対策技術としてCFRPによる超軽量トラックは有効であり、将来的には乗用車においても適用が望まれる。また導入時期による差が大きく、早期対策の重要性が明らかとなった。

END