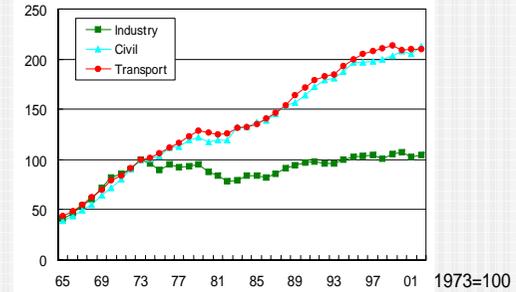


平成16年度修士論文発表資料(2005.02.09)

コミュータバスへの 複合材料の適用に関する研究

環境海洋工学専攻修士2年
36260 菅満春
指導教官 高橋淳助教授
吉成仁志客員教授

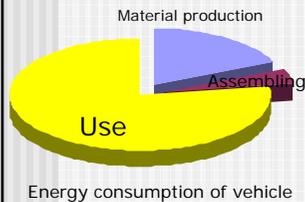
背景 部門別エネルギー消費量の推移



運輸部門が増加 { 特に自動車(87%を占める)
マイカー世代の高齢化

➡ 自動車の省エネが重要

背景 自動車の省エネのために

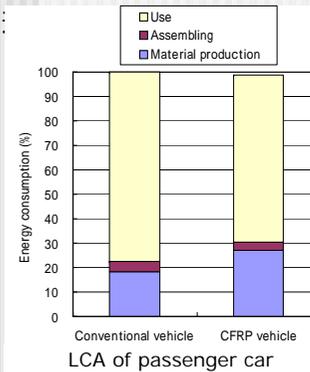


自動車の燃費向上が有効

- 軽量化
- エンジンの効率化
- 走行抵抗の低減

CFRP (炭素繊維強化プラスチック)の適用
軽量
比剛性、比強度に優れる

背景 自動車のCFRP化(乗用車)



高級車、部品代替どまり

- 生産速度が遅い
- コストが高い
- 製造エネルギー原単位が大きい



導入が困難



カレラ 出典:ポルシェジャパンHP

NSX-R 出典:ホンダHP

背景 自動車のCFRP化(バス)

生産速度、コスト

多種少量生産
設計の自由度が高い
設備投資が少ない

製造原単位

生涯走行距離が長い
ゴーアンドストップが多い

乗用車よりも導入が容易

コミュニティバスの普及

コミュニティバスとは
地域循環型のバス、地方自治体が運行
利便性が高い、高齢者の足



武蔵野市が運営するムーバス
出典：東京都内の市民バス

5

本研究の構成

コミュニティバスにCFRPを適用するにあたって

部品代替によるCFRP適用の効果

問題点の抽出

新しいバスの提案

バスにCFRPを適用した際の軽量化効果 FEM解析

軽量化による環境負荷低減効果 LCA

6

評価方法 FEM解析(基準)

ソルバーにMARC プリポストにMentatを使用

バスの設計基準

曲げ剛性

ねじり剛性

強度

すべての基準を満たすのに必要な重量

剛性はSteel製大型バスを基準とする

7

評価方法 FEM解析(曲げ剛性)

ホイールベース中央付近に分布荷重をかける

解析条件

W : 荷重

L : ホイールベース

b : 荷重点位置

FEM解析

解析結果

δ : 最大たわみ量

x : 最大たわみ位置

$$\frac{EI}{L^3} = \frac{Wbx}{6L^4\delta} (L^2 - b^2 - x^2)$$



評価方法 FEM解析(ねじり剛性)

フロントアクスル部に下向き集中荷重をかける

解析条件

W:荷重

L:ホイールベース

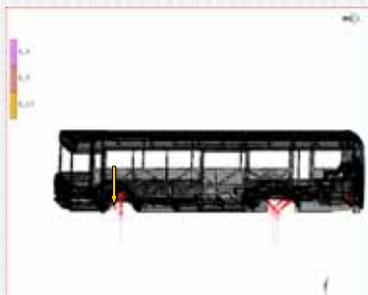
R:タイヤから荷重点までの車両幅方向距離

$$\frac{GJ}{L^3} = \frac{WR^2}{L^2\delta}$$

FEM解析

解析結果

:荷重点でのたわみ量

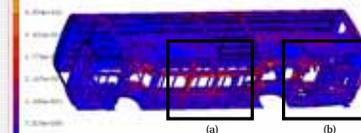


評価方法 FEM解析(強度)

バスの床全体に車両総重量を分布荷重として負荷する

FEM解析

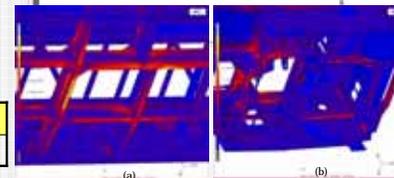
相当応力が基準値に対して安全率4.5を確保するようにする。



基準値

Steel:降伏応力 CFRP:強度

	Steel	CFRP
Critical stress (MPa)	225	500



評価方法 LCA

目的

FEM解析で実証された軽量化効果によりどれだけ環境負荷を削減できるかを評価する。

機能単位および基準フロー

乗車率30%、15年使用、43万キロ走行可能なバス1台

システム境界

素材製造段階、車体組立段階、走行段階

環境負荷項目

エネルギー消費量

素材製造原単位

燃費

Steel製大型バス 2.34km/L を基準に車両重量から求めた

	Energy intensity(MJ/kg)
Steel	33
CFRP	232

11

サイズの検討 軽量化効果(条件)



大型バス88人乗り



小型バス20人乗り



中型バス55人乗り



マイクロバス15人乗り

Material properties

CFRPの適用はどのサイズのバスをターゲットにするべきかを検討する

	Steel	CFRP
Density(g/cm ³)	7.8	1.58
Young's modulus(GPa)	206	54

評価内容: 構造部材(フレーム、パネル)をCFRPで代替

形状は変更せず、部品の厚みのみを考慮する

4種類のサイズについて検討

12

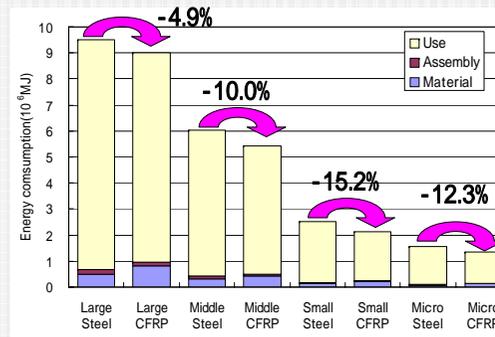
サイズの検討 軽量化効果(結果)

Size	Material	Structural member(kg)	Total(kg)	Rate(%)	Criterion
Large	Steel	2719	9980	-	All
	CFRP	1760	9021	-9.6	Torsional rigidity
Middle	Steel	1459	6371	-	Strength
	CFRP	599	5511	-13.5	Flexural rigidity
Small	Steel	1072	2700	-	Flexural rigidity
	CFRP	493	2121	-21.4	Flexural rigidity
Micro	Steel	609	1630	-	Flexural rigidity
	CFRP	306	1327	-18.6	Flexural rigidity

小型バス、マイクロバスの効果大きい
SteelとCFRPでは剛性と強度の比率が違う

13

サイズの検討 LCA(結果)



CFRP適用の効果大きい
今後地方都市を中心に普及
少ない人口、せまい道路 } ターゲットは小型バス

14

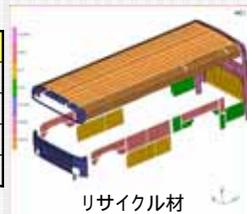
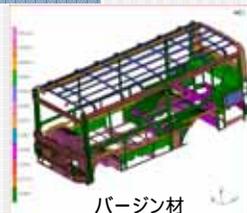
部品代替最適化 材料選択

バージンCFRP

高品質、高性能、高価、原単位が大きい

リサイクルCFRP

廃棄CFRPからCFを回収
ポリカーボネートで再成形
品質は劣るものの、
価格、原単位が大幅に低減される



	Virgin CFRP	Recycle CFRP
Fiber volume fraction(%)	60	30
Density(g/cm ³)	1.58	1.38
Young's modulus(GPa)	54	15
Energy intensity(MJ/kg)	232	79

15

部品代替最適化 感度解析

FEMによる感度解析

最低限の板厚から解析スタート

感度の大きい部材のみ板厚を大きく

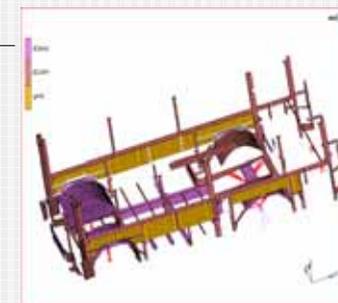
$$\text{感度} = \frac{\text{剛性向上量}}{\text{エネルギー消費増加量}}$$

最適化の結果

構造部材の重量

Steel : 1072kg

最適化後 : 416kg



16

部品代替最適化 各部品の最適化

構造部材の軽量化によって副次的にその他の部品も軽量化される

Parts	Steel bus Weight (kg)	CFRP bus Weight (kg)	Weight reduction rate(%)
Structural member	1,072	416	-61.2
Engine	352	309	-12.2
Transmission	376	367	-2.4
Brake, Steering, Suspension	300	243	-19.0
Others	600	600	0
Vehicle weight	2,700	1,935	-28.3
Vehicle total weight	3,800	3,035	

FEM解析より

車両総重量に対して
線形と仮定

軽量化なし

17

部品代替最適化 結果

現行のバスに部品代替によってCFRPを適用した場合

軽量化効果 : -28.3%

環境負荷低減効果 : -22.7%

問題点

構造や形状が変更できない

Steelのための設計ではCFRPを有効に利用できない

衝突安全性

普及への対策

18

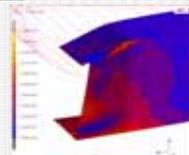
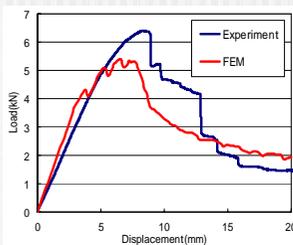
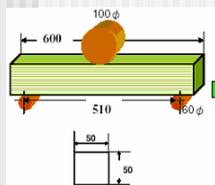
問題 衝突安全性(シミュレーション手法)

CFRPは損傷後の挙動が複雑であることから、衝突のシミュレーションは非常に困難

CFRP角パイプの三点曲げ試験

マクロな挙動を再現できるシミュレーション手法を検討

実車解析に適用



損傷後の挙動

応力を保持

ひずみ5%で破断と判定

破断後要素を消去

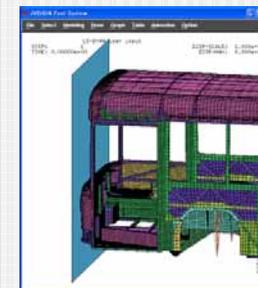
19

問題 衝突安全性(実車解析)

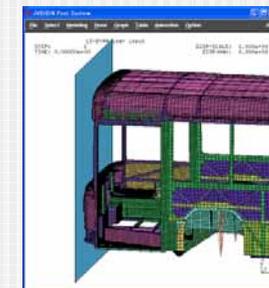
前面フルラップ衝突 乗務員の生存空間の確保

前面の剛体壁に55km/hで衝突(同重量) 進入量で評価

ソルバにLS-DYNA、プリポストにJVISIONを用いた。



(a) Steel
433.8mm



(b) CFRP
進入量 538.0mm

20

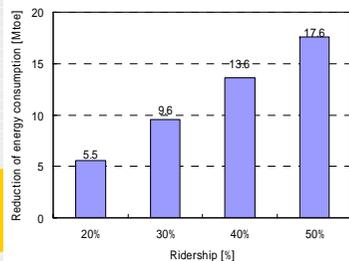
問題 普及への対策

新たに普及する 同じ交通量を乗用車からバスに移行できる

通勤バス50万台を想定

運輸部門のエネルギー消費量
91Mtoeと比べると大きな効果

乗車率をUPさせてより多くの人に
利用してもらうことが重要



そのためには
乗降性が良い
バスが必要

現行バスの乗降性 { ワンステップ
ノンステップ、室内段差
高齢者や車椅子利用者にとって不便

21

新しいバスの提案

適切な構造、形状 }
衝突安全性の確保 } 現行のバスでは改善されない
乗降性の向上 }

これらを改善すべく構造から設計しなおして、
新しいバスを提案する

名称 **JUN-KANバス**
(地域循環、高橋淳・菅清春に由来)

22

JUN-KANバス

ボンネットバス

前方に衝撃吸収領域を設ける
(衝突安全性を確保)
動力、駆動系部品をボンネットへ
(超低床、ノンステップ、フルフラット)

モノコック構造

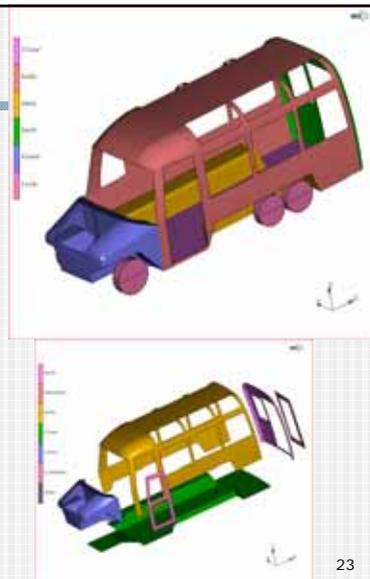
CFRPを効率よく適用できる

客室

最適化により効率の良い形状
開放感のある大きな窓

一体成形

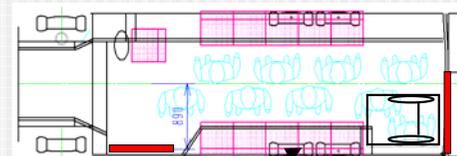
構造部材の部品点数わずか6点
(Steel製約1,900点)



23

レイアウト

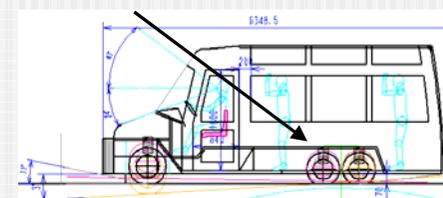
定員20人に対して、十分な座席と室内空間を確保



車椅子用バックドア
車椅子スペースも確保

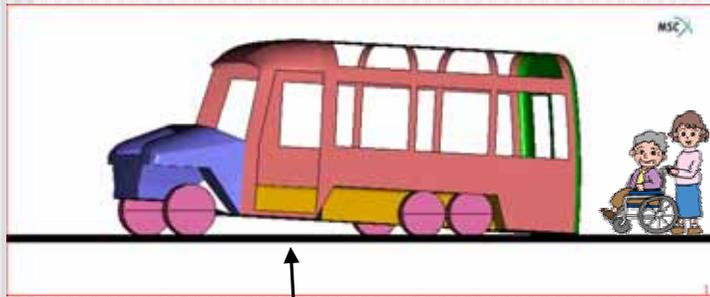
座席の下にタイヤ

超低床、ノンステップ、フルフラット実現



24

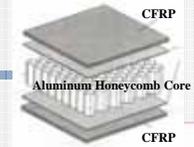
乗降性



通常時 (サイドニーリング) 車椅子乗降時 (バックニーリング)
床面高さ160mm (世界最高水準) 完全に接地

25

材料選択



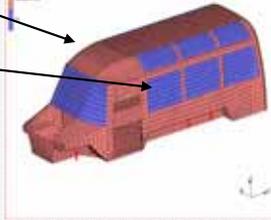
CFRPとアルミニウムコアのサンドイッチ材

超軽量、モノコックに適している

ポリカーボネートによるはめ込み窓

透明性が高い、剛性の確保

FEM解析



	Sandwich(CFRP/Core/CFRP)	PC
Floor	74 (2/70/2)	
Others	32 (1/30/1)	
Window		4

Unit : mm

26

JUN-KANバスの適用効果

構造部材がわずか 221kg となった。

(Steel製が 1,072kg にくらべて -79.4% 軽量化)

フロアパネル、座席が構造部材となっている

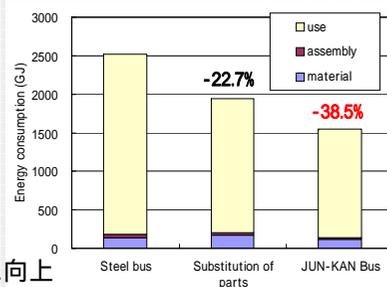
内装、艤装品の大幅な軽量化



車両重量 1,500kg

(軽量化率 -44.5%)

環境負荷低減効果も大幅に向上



27

結論

CFRPの適用パターン **部品代替** **構造の見直し**

- より効率の良いCFRPの適用
軽量化効果、環境負荷低減効果の大幅な向上
- 一体成形による部品点数の大幅な削減
コストダウン
- 超低床、ノンステップ、フルフラットを実現
乗降性の向上 (乗車率アップにつながる)

CFRPをバスに適用するには、適切な構造の見直しからアプローチすることが重要である。

今後、乗用車に普及させていく場合にもその適用方法を見直すことが望まれる。

28