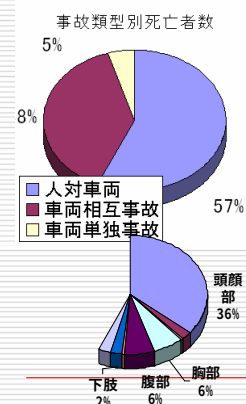


安全と環境対策のための CFRP乗用車ボディに関する研究

東京大学大学院
環境海洋専攻 修士二年
46298 山本道隆

車両を取りまく問題①

日本における 交通事故死者状態別割合

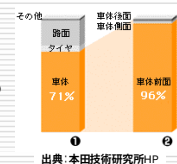


・半数以上が歩行中の事故により命を落としている。

→ 先進国の中では高い割合、
道路が複雑、狭い、日本に特徴的な現象

・頭部の損傷が主な死亡原因

→ ボンネットによる衝撃、
地面に叩きつけられる



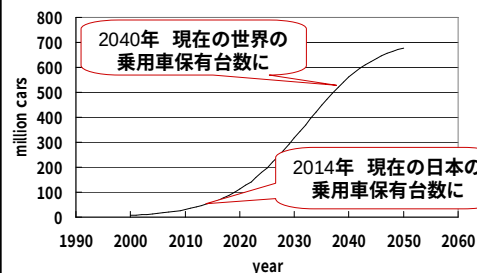
出典：本田技術研究所・IP

車両乗員の安全性は確保されてきている
対人安全性技術は改善の必要性あり

車両を取りまく問題②

車両による二酸化炭素排出量増加

～中国の乗用車保有台数予測～



出典：中塚史紀 2004年度東京大学修士論文

□ 今後数年で、日本を大きく
上回る乗用車による二酸化
炭素排出国の誕生

□ 二酸化炭素排出量削減
のための車両効率化技術
の早期導入が必要。

車両を取りまく問題③

車両走行抵抗の内訳

□ 車両抵抗内の原因

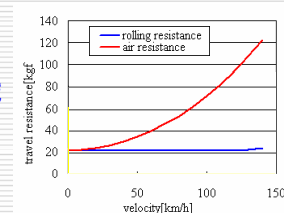
～平坦、加速なし～

・空力抵抗 高速域
・転がり抵抗 低速・中速域
・勾配抵抗 値が大きい
・加速抵抗

車両重量に比例

車両効率化技術
車両軽量化の必要性

(傾き5%の場合)



・車両平均車速：約30km/h

転がり抵抗の低減が重要

車両を取りまく問題④

現在の取り組み

車両対人安全性 ……頭部衝撃部分の補強材を省く
頭部衝撃実験・シミュレーション

→ **頭部衝撃時の最大荷重の低減**

車両軽量化 ……軽金属類、CFRPによるボディ軽量化の取り組み
モノコック構造などの高効率構造

→ **新材料の導入、構造の改善**

問題点

現状の鉄鋼材料を用いると…

車両軽量化

軽い衝撃にも変形

対人安全性

壊れにくく、
かつ柔軟な材料が必要



出典：本田技術研究所・HP

車両を取りまく問題⑤

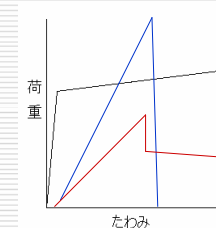
CFRTPの可能性

現状の問題点（ボンネット）

・簡単に塑性変形しない様に
板厚を厚くし、重くなっている

弾性変形域が小さい **金属の特徴**
ヤング率が高い

材料特性概念図



材料としての挙動が全く違う

METAL

CFRTS
(熱硬化性樹脂)

CFRTP
(熱可塑性樹脂)

CFRTS
CFRTPの可能性

本研究の構成

CFRTPの材料特性評価

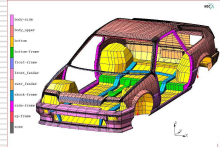
CFRTPを成型し、評価

鉄鋼・軽金属・CFRTPを車両に導入
車両構造の特徴を把握

CFRTPの特長を生かした
安全、環境に優しい車両の提案



有限要素法により解析



CFRTPの成型①

樹脂の選択

～優先した項目～

・樹脂単体で衝撃吸収能力に優れる
・成型時に特殊な加工過程が無い
・樹脂自体が安い

現在の使用例

・車両のヘッドライト
・CD等



樹脂単体の性質

PC(ポリカーボネート)

・樹脂単体で衝撃吸収力が最も高い
・汎用エンジニアリングプラスチック
・成型後収縮、成型時の制約はない。

	PC	PP	epoxy
曲げ弾性率[GPa]	2.25	1.2	4
密度[g/cc]	1.2	0.9	1.2
ガラス遷移点[°C]	150	175	—
アイゾッド衝撃値	13	2.8	—

CFRTPの成型②

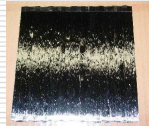
材料作成の流れ

樹脂予備乾燥 → 樹脂シート作成 → プリプレグシート作成

110°Cにて三時間以上乾燥
0.3MPaで成形
0.1mmのシートを作成
成形圧力: 1.86MPa
成形温度: 310°C

→ 一方向積層材完成

成形圧力: 1.86MPa
成形温度: 310°C
目標Vf: 40%



CF/epoxyも成型した。材料物性比較のため、VfはCF/PCと同じ44.2%で試験を行った。

	Vf	Density
CF/PC	44.2%	1.44
CF/epoxy	44.2%	1.44

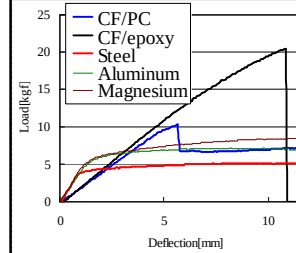
CFRTPの物性検証①

静的三点曲げ試験



目的
・曲げ弾性率、強度、それらの発現率を求める
・CF/epoxy、金属類と比較し、その破壊挙動の違いを調べる

比較方法
・鉄鋼以外の金属として、軽量化が期待されているアルミニウム、マグネシウム



	E [GPa]	Strength [MPa]	Elastic Limit[%]	Manifestation ratio[%]
CF/PC	87.2	908	1.04%	85.8%
CF/epoxy	99.5	1840	1.85%	97.9%

破壊挙動

・CF/epoxyは脆性的破壊→衝突時に不安
CF/PCは破壊後も約六割程度の荷重を保持
・金属類と比較し、柔らかくても塑性変形が始まりにくいことが分かる。

グラフは、金属は同剛性に、CF/PCは等方性に結果を修正した。

CFRTPの物性検証②

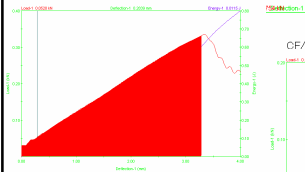
衝撃三点曲げ試験

目的
・弾性変形内での吸収エネルギーを調べる。
・衝撃荷重に対し、異常な破壊を起こさないかを調べる

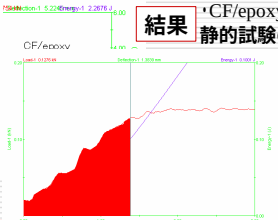
方法

重量: 4.93kg
衝撃速度: 1.25m/sec
衝突エネルギー: 4.00J

を加え、その反力から荷重たわみ線図が得られる



CF/PC弾性吸収エネルギー



CF/epoxy弾性吸収エネルギー

結果
・CF/epoxyもCF/PCも静的試験の時と同じような結果を得る

・赤色の弾性変形内吸収エネルギー量を軽衝撃吸収力とした。

CFRTPの物性検証③

重量あたり各物性値比較

目的
・軽量化の可能性として、重量あたりの各物性値を調べる
・鉄鋼を1とした場合の各物性値の比を求める

結果

	Flexural stiffness	Compression stiffness	Elastic Energy Absorption [J]
CF/PC	25.6	0.86	6.58
CF/epoxy	29.3	0.99	26.2
Steel	1.00	1.00	1.00
Aluminum	8.50	1.01	1.29
Magnesium	18.0	0.94	1.58

考察

・両CFRPは曲げ剛性が高いことから、車両軽量化の可能性はある。
・金属に比べ、両CFRPは弾性エネルギー吸収が高いため、弾性エネルギー吸収向上のために鉄鋼を厚くしている部材にCF/PCを代替すると、軽量化、また最大荷重の低下の可能性はある。

車両の特徴を把握

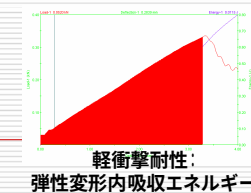
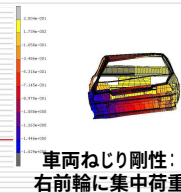
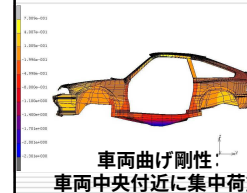
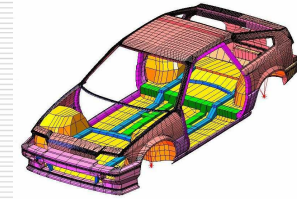
車両設計手法
部品総代替モデル
車両構造の特徴把握

現車両への導入①

車両設計手法

・本田技術研究所『インサイト』を参考に
モデルを作成
車両重量:850kg、乗車定員:2人
～車両設計基準～

・車両曲げ剛性
・車両ねじり剛性 → ホワイトボディの設計
・軽衝撃耐性
・外板張り剛性 → ボンネット・ドアの設計



現車両への導入②

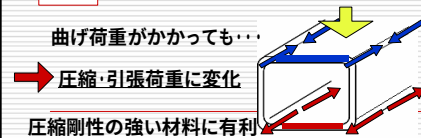
現状車両ボディへの部品総代替

代替した材料:鉄鋼、アルミニウム、CF/PC

Material	Thickness ratio	EI/L ³	GJ/L ³	Weight [kg]	Weight reduction ratio[%]
Steel	1.00	79.3	215	199	
Aluminum	2.51	79.3	237	181	9.03%
CF/PC	5.99	79.3	264	220	-10.5%

CF/PCを用いた場合、逆に重量増となる

原因 構造上の問題...従来の車両は鉄に効率的な構造 → 例:フレーム構造



車両構造は...

圧縮が曲げか、
支配的な剛性が混在

現車両への導入③

部品一部代替モデル

目的 曲げ剛性が支配的な部位を求める。
部位別に効率のよい材料を代替しより軽量化

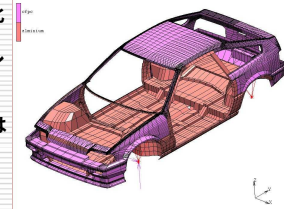
方法 基本モデル:アルミニウム総代替モデル
→ 圧縮剛性に優れる

解析結果をもとに、曲げ剛性が支配的な部位には
曲げ剛性に優れるCF/PCを代替。

→ 適材適所により、より軽量化を促進

結果 ボディ上部が、曲げ剛性が支配的
感度解析によると、それらの部位は車両ねじり剛性に寄与

アルミニウム・CF/PCハイブリッドモデル



Material	Thickness ratio	Weight [kg]	Weight reduction ratio
Steel	1.00	199	
Aluminum	2.51	181	9.03%
Aluminum-CF/PC	-	169	15.08%

これまでのまとめ

- 車両は圧縮剛性とねじり剛性の支配的な部位が混在
- ボディ上部は曲げ剛性が支配的な部位
- フレーム、ボディ下部は圧縮剛性が支配的な部位
- ➡ ボディ上部へのCF/PCの導入は可能
- 感度解析の結果、ボディ上部は車両ねじり剛性に貢献
- ➡ ボディ上部をねじり剛性に強い構造にすることが必要

CFRTPの特長を生かした 安全、環境に優しい車両の提案

車両形状・材料設計
軽量化効果試算
衝突シミュレーション
対人安全性の検証

車両コンセプト 安全かつ環境にやさしい車両

歩行者に対して安全

A:ボンネットに柔軟な材料を導入

頭部への衝撃を低減させる。

B:車両フロント部を低床化

人間に伝わる運動エネルギーを低減させるため、衝突後、人を車両上部に移動させる

C:車両軽量化による運動エネルギー削減

車両軽量化により、車両の持つ運動エネルギーを低減させる。

環境にやさしい

D:乗車人数

車両の平均乗車人数は1.7人。
よって乗車定員は二名とする。

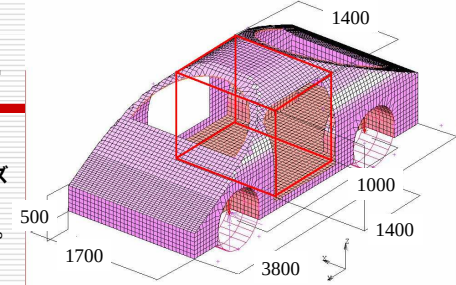
E:異方性特性

CFRTPの特長を生かすため、異方性を生かした車両設計を行う。

車両外板設計

～車両サイズ～

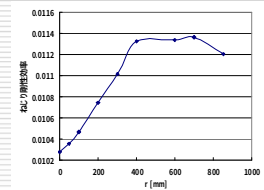
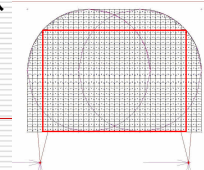
- ・本田技術研究所インサイトと同サイズ
- ・乗員の快適のために、車内に1400×1400×1000mmの空間を保持。
- ・フロント部は地面から500mm



～ボディ上部のねじり剛性向上～

- ・車両上部の丸み
- ・車両フロント部の形状
- ・車両リア部の傾き

例: 車両上部の丸みの
ねじり剛性効率の検討



縦軸: Δ ねじり剛性 / Δ 重量

車両材料

～採用材料～

車両上部 : CF/PC

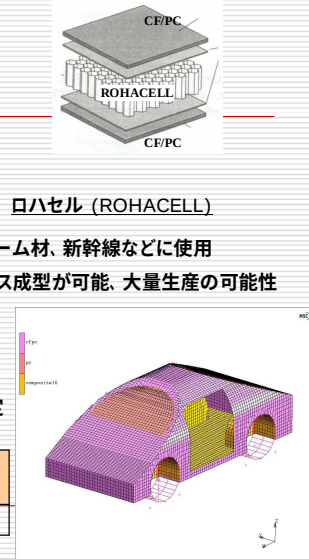
車両底面 : CF/PC-ロハセル
サンドイッチ構造材

窓 : PC はめ込み窓として使用

～板厚～

これらの材料を用いて、感度解析を行い、板厚を決定

Body thickness	Window Thickness	Floor thickness	Weight
10mm	4mm	2-16-2 [mm]	208kg



ロハセル (ROHACELL)
フォーム材、新幹線などに使用
プレス成型が可能、大量生産の可能性

必要最低限のフレーム構造

目的
・効率的な車両剛性の向上
・横転、衝突事故の際の人命保護のため

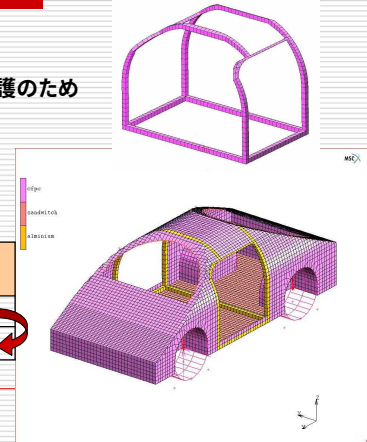
～材料～

フレーム : CF/PC

～板厚～

	Body thickness	Frame thickness	Weight
Frameless	10mm	—	208kg
Frame	5mm	2mm	151kg

重量が約25%軽量化!



異方性特性の導入

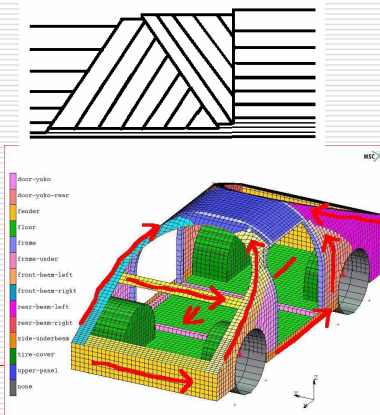
材料
・CF/PC-UD材を四枚積層
方向は0—60—120—0
とし、0°方向を強化。

方向性
・現車両のフレームの方向を
参考に決定(右下図参照)。

結果 同板厚にて解析

	Flexural stiffness	Torsional stiffness	Weight
Isotropic	152	210	151kg
Anisotropic	200	286	151kg

両剛性が約、1.4倍に増加!



ボンネット、ドア部の設計

材料
・CF/PC擬似等方材

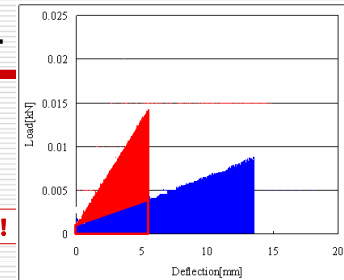
板厚
・軽衝撃吸収力が鉄鋼と
同じになるように決定

軽量化、最大荷重の低下を実現!

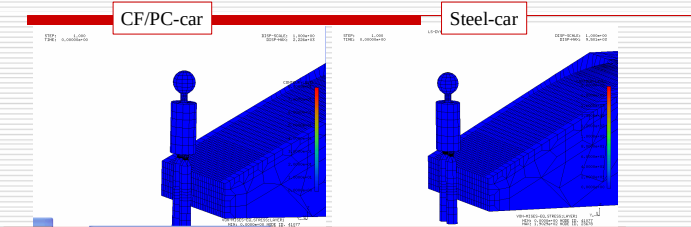
軽量化効果

	Flexural stiffness	Torsional stiffness	Weight	Weight reduction ratio
Steel car	79.3	215	217kg	—
CF/PC-car	203	216	102kg	

ボディ部で約54%の軽量化に成功!



衝突シミュレーション

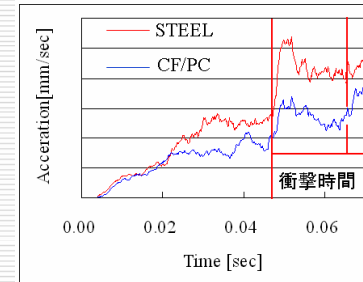


人間モデル: 138cm、約40kg、Shell要素により解析
材料特性: 骨の弾性率...21GPaと身体の間、10GPaを代入
膝関節...ゴム要素、腰関節...特殊な機構

車両モデル: 計算用簡易モデル、
車両重量: 550kg(CF/PC-car)、550kg(Steel-car)
状況: 車両正面にいる人間を初速55km/hではねる。

損傷判断基準: 頭部の全方向加速度で損傷を評価。

対人安全性評価



この時ボンネットにかかった最大荷重は
鉄鋼: 190MPa、CF/PC: 60.2MPa

- ・衝撃がかかる時間は長い
- ・Steel-carと比較し、CF/PC-carの方が頭部への最大加速度が約60%に抑えられている。

↓

頭部への最大荷重の低減

↓

歩行者への衝突安全性向上

総括

(材料面)

- ・CF/PCを85%の理論発現率で成型に成功
- ・降伏後も六割の荷重を保持し、構造物として信頼性
- ・軽衝撃による修理頻度が減り、環境負荷低減に貢献

(車両解析面)

- ・同性能を維持しながら、車両ボディの約54%軽量化に成功
- ・CF/PCを用いることにより、人身事故時に頭部に与える最大荷重を四割低減した