

CFRP による軽量化乗用車の社会受容性評価

Public Acceptance Assessment of Lightened Automobiles by CFRP

指導教官 高橋淳助教授 吉成仁志助教授
東京大学大学院 工学系研究科
環境海洋工学専攻 安全評価工学研究室
16289 長岡 悟

1. はじめに

近年、地球規模での環境破壊が問題になっており、環境を保全しながらエネルギーの安定供給を図ることが求められている。そのためには、私たちの意識や行動を変えていくことはもとより、技術開発によって環境負荷を低減させることが必要である。環境・エネルギー対策の新技术には、産業部門の省エネ技術や太陽光発電・風力・バイオマスなどのエネルギー変換技術があげられるが、本研究では対策が遅れている運輸部門の省エネ技術（自動車の軽量化）を例にとり、新技术が社会に受け入れられるためには、どういったことを考慮し、分析すべきなのかを検討する。

2. 背景

2002年5月31日にEUが京都議定書に批准したのに引き続き、6月4日我が国も同議定書に批准した。2008～2012年の温室効果ガス削減目標達成に向けて、日本でも地球温暖化対策が具体的に動き始めている。平成12年度の我が国の部門別CO₂排出量をみると、産業部門が全体の40%、民生（家庭・業務）部門が25%、運輸部門が21%である。平成2年度と比較すると、産業部門におけるCO₂排出量はほとんど変化していないのに対し、運輸部門は23%も増え、依然として増加傾向にある。そのため、運輸部門での早急な対策が望まれている。

運輸部門でのCO₂排出量の内訳をみると、自動車起因のものが88%に及び、その中でも特に自家用乗用車が多く排出している。また、自動車のライフサイクルにおけるCO₂排出量をみると、走行段階でその大部分を占めている。この走行段階のCO₂排出量を削減するためには燃費の向上が効果的である。

輸送機関の燃費向上の技術には、エンジン効率の改善、摩擦損失の低減、空気抵抗や転がり抵抗の低減などがあるが、中でも車体重量の軽減が最も効果が高い。また、軽量材料の開発により、すべての車種における省エネやCO₂削減が同時に実現可能となる点で、費用対効果も極めて高いといえる。

そこで本研究では、超軽量材 CFRP（炭素繊維強化プラスチック、Carbon Fiber Reinforced Plastics）を用いて車体を軽量化することを考える。現行の乗用車の車体重量を1350kg、燃費を13.8km（平成12年度の平均値）とし、軽量化率は10,20,30,40%のケースを考える。また10年サイクルで買い換えると、生涯走行距離は10万kmとする。

3. 社会受容性

企業が製品やサービスを提供する際、従来はコストと品質のバランス（トレードオフ）を考えれば良かったが、最近では地域環境と地球環境に対する多面的な影響度も問われ始めている。しかし、企業はどのような情報を提示し、総合的な目標設定をすべきなのか頭を悩ませている。なぜなら、環境問題は不確実性を伴っているからである。ここで検討すべき項目とは次のようなものである。

- 生産ポテンシャル（原料残存量、生産インフラ・技術、等）
- コスト関連：素材、部品製造設備投資、燃料費、等
- 品質関連：基本性能、快適性、安全性、意匠性、メンテナンス性（修理、非破壊検査能力）、等
- 環境負荷関連：地域環境問題（公害、埋立地の逼迫、3R（リデュース、リユース、リサイクル）、等）、地球環境問題（資源枯渇、酸性雨、オゾン層破壊、地球温暖化、等）

すなわち、CFRPによる軽量化乗用車が社会に受け入れられるには、上記の個々の項目ごとに従来材料（または従来部品・製品）と同等以上となるのが理想である。しかし、軽量化に伴う衝突安全性の低下など不可避な機能低下もあるため、トレードオフの観点から解決を図る必要もある。

以下、CFRP車導入のメリットと問題点を検討し、今後の技術開発の方向性を示す。最後に、CFRP車の市場参入可能性をグリーン税を含め定量的に検討する。

3.1 CFRP車導入のメリット

CFRPを自動車に使用することによって様々なメリットが得られる。以下、代表的なものについて述べていく。

3.1.1 軽量化のポテンシャル

自動車を構成するあらゆる構造部材に対して、高比剛性が要求されている。剛性は、一般的に走行中のきしみ音や操縦性、乗り心地などに影響を与えるため、車を設計する上で最も重要なファクターの一つである。

表1に、鉄鋼、CFRP、アルミニウム合金、マグネシウム合金、GFRPの力学的性質と鉄鋼に対する軽量化率の比較を示す。CFRP、アルミ、マグネ、GFRPはその低比重のメリットを活かし、種々の部品の軽量化に用いられるが、鉄鋼に比べ低剛性である。そのため、鉄鋼との材料置換を考える際には、剛性を確保するために肉厚を増す必要がある。板材をモデルに曲げ剛性EIを鉄鋼と等価とすると、表1に示されるようにCFRPは板厚が1.52倍で70%の軽量化、アルミは1.44倍で49%、マグネは1.67倍で61%、GFRPは2.15倍で50%の軽量化が可能となる⁽¹⁾⁽²⁾。これは理想的な設計の場合ではあるが、CFRPによる軽量化のポテンシャルが他の軽量材に比べて高いことがわかる。

3.1.2 燃費の向上

実走行燃費と10.15モード燃費は、走行パターン、冷房等の補機の利用によって一般に乖離している。ガソリン車の10.15モード燃費と実燃費の回帰式⁽³⁾を用いて、各軽量化率における生涯燃料費を求めたものを表2に示す。この燃料費の節約額はとても大きく、40%軽量化車では30万円にもなる。ガソリン価格（表2では100円/L）は今後高騰することはあっても安くなることは考えられないので、表2に示される以上に軽量化車所有時の利得が期待できる。

次に、現行車一台の走行時のCO₂排出量を0.59t-C/y（炭素換算年間0.59トン）として、生涯走行で排出するCO₂量とそれに炭素税（3000円/t-C）がかかった場合の税額を求めた（表2）。仮に炭素税が3万円/t-Cとしても、ガソリン代による利得に比べると小さいものであることがわかる。

具体的には、3千~3万円/t-Cの炭素税はそれぞれ2~20円/Lのガソリン税に相当するので、ガソリン代の変動に比べてもその影響度は小さいと結論できる。

3.1.3 排出ガス、石油使用量削減効果

自動車の軽量化は排出ガスと石油使用量の削減につながる。乗用車は国内CO₂排出量の10% (30Mt-C)、石油使用量の17% (5000万kL)も占めるので、40%軽量車のCO₂削減ポテンシャル量は12MtC (日本の総排出量の約4%)、石油削減量のポテンシャルは2000万kL (日本の年間石油使用量の約7%)となる。ただし、この値は我が国の保有する普通乗用車500万台すべてが40%軽量化した場合の値である。毎年更新される500万台中の何%に軽量化技術が投入されるかにもよるが、技術導入から削減ポテンシャルの発現までは15~20年かかる⁽⁴⁾。

3.1.4 運動性能、耐久性の向上

自動車が軽くなることにより、走る・曲がる・止まる等の性能が格段に上昇する。例えば、定員5名の1500kg乗用車で、10%の軽量化ができたとすると、8%ほどの加速性能の上昇が見込まれることが知られている⁽⁵⁾。

また軽量化により、車体への負荷荷重が減少するため、耐久性も向上することが期待される。入力が0.9倍になれば、寿命が1.7倍伸びると予想されている。

3.1.5 意匠性、快適性の向上

CFRPの利点に形状自由度の大きさと一体成形による部品点数減があげられ、鉄鋼やアルミなどの金属ボディではなしえなかった形状が可能となる。近年はユーザー要求の多様化のため迅速なモデルチェンジが求められているが、意匠的、設備投資的にCFRP車はその対応が可能であり、より个性的で広い車内空間の実現や空力特性の向上等の様々な利点が期待できる。

3.1.6 構造物への負荷低減

車体重量が軽くなることにより、橋梁や道路への負荷が低減される。負荷が減ることにより、インフラの耐久性が向上し、路面のメンテナンス費用や建設費用等の削減が期待できる。

3.2 CFRP車導入の問題点と技術開発の方向性

3.2.1 素材調達コストのマクロ分析

CFRPによる車体の部分的軽量化例は散見されるが、CFの価格が高く(約2000~3000円/kg)、量産車への全体的な適用はこれまで真剣に考えられていなかった。しかし自動車への大量採用とそれに応じた生産の合理化等によりCFの価格が下がる(1400円/kg、Zoltek社)と見込まれており、CFRP量産車実現の可能性が高まっている。

とはいえ、具体的な開発目標を考えると非常に厳しいことがわかる。すなわち、鉄鋼部品100kg(450円/kg)がCFRP45kgで代替できると仮定すると、鉄鋼部品と同等のコストでCFRP部品を作るためには、CFRP部品の価格目標値は1000円/kgとなる。仮に1400円/kgのCFと200円/kgの樹脂を半々に用いたとしても、成形費等に充てることのできるのは200円/kgしかない。

一方、自動車は2015年までにリサイクル率95%(うちサーマルリサイクル10%まで)を求められており、当然CFRPも3R(ここでは、リユース、マテリアルリサイクル、サーマルリサイクルを想定)が必要となる⁽⁶⁾。現在のリサイクルは、ほとんどが同じ素材に戻らない「カスケードリサイクル」であるが、ここでは同じ素材に戻る「クローズドリサイクル」を考える。そこで、CFRP車導入から10年後にCFRPのリサイクル材が出てくると考え、バージン材(15%:C_V円/kg)とリサイクル材(85%:C_R円/kg)を混

ぜて使うと想定する。式(1)にCFRP部品が鉄鋼部品C_{ST}(円/kg)と同じコストとなる条件を示す。

$$45(0.15C_V + 0.85C_R) = 100C_{ST} \quad (1)$$

図1は式(1)から得られるC_VとC_Rの目標値を示したものである。バージン材が3000円/kgならばリサイクル材は647円/kg、C_Vが1400円/kgならばC_Rは929円/kgとなり、十分実現可能な値である。

しかし、クローズドリサイクルで85%の達成は現実的には厳しいといえる。そこで図2にクローズドリサイクルの達成率が20%、30%、40%の時のC_VとC_Rの開発目標値を示す。クローズドリサイクルの達成率が20%ならば、目標値はC_Vが1200円/kg、C_Rは200円/kgであるが、達成率が40%にもなるとC_Vが1400円/kg、C_Rが400円/kgで目標達成ができる。コストの問題を解決するには、生産の合理化を進めてバージン材の価格を下げると共に、クローズドリサイクルの達成率を増やす技術開発が必要である。

3.2.2 部品製造設備投資

CFRPは加工圧や温度が鉄鋼よりも低いことから、製造設備投資額が鉄鋼よりも高くなるとは考えにくい。また、年間数万個生産される部品であれば、部品価格に占める設備費の割合も小さくなく、新たな負担にはならないと考えられる。

3.2.3 生産ポテンシャル

世界の自動車の生産台数は約500万台であるのに対し、CFの世界生産設備は2万トン以下である。年間10万台生産される車1台にCFを100kg使用する(1350kgの車では20%軽量化にあたる)とCF需要量が年1万トンに達し、現有の生産能力では明らかに不足する。今後、車の更なる軽量化や増産を考えると、CF生産能力の強化は不可欠である。PAN系CF国内メーカーのプリカーサー生産設備から推定されるCF生産ポテンシャルは約10万トンであり、短期的には問題ないが、可能性としては国内だけでも年間500万台の自動車更新(CFで50万トンの需要)があるので、生産設備を段階的に増やさなければならない。

図3は2005年からCFRPによる20%軽量車が20万台ずつ500万台まで増産された場合の国内の年間CF需要量を示したものである。リサイクルを考慮する場合としない場合では必要となるCF生産量に大きな差がつく。10年先の話ではあるがクローズドリサイクルの達成率により、CFの需要量に大きな差が出るため、生産能力の強化には注意が必要である。

3.2.4 衝突安全性

軽量化を考える上で、唯一不可避な物理的リスクとして衝突安全性の問題がある。以下、評価指標に衝撃加速度を用いて、現行の乗用車(m₁=1350kg)と軽量化した乗用車(m₂)が等速度V=55kmで正面衝突した場合を考える。運動量保存則と反発係数eの関係より以下の式が得られる。

$$m_1V - m_2V = m_1V_1 + m_2V_2 \quad (2)$$

$$e = (V_2 - V_1) / (V + V) \quad (3)$$

V₁、V₂はそれぞれ衝突後の普通乗用車の速度、軽量化した乗用車の速度である。また、普通乗用車の衝撃加速度の大きさg₁と軽量乗用車のg₂は以下のように表される。

$$g_1 = \frac{|V_1 - V|}{\Delta t}, g_2 = \frac{|V_2 - V|}{\Delta t} \quad (4)$$

ここでは、簡易的に考えているので、衝突時間tは同じと考え、便宜上1とし、(2)(3)(4)式を用いて、e=0、1における普通乗用車と各軽量化率の軽量乗用車が受ける衝撃加速度の大きさを求めた。

図4は、反発係数e=0(衝突時に衝撃を完全に吸収した

後、一体となって運動する場合)と $e=1$ (衝撃を一切吸収せずに反発する場合)における普通乗用車(図中 0%)と軽量乗用車(図中 10, 20, 30, 40%)が受ける衝撃加速度の大きさを示したものである。同図より、軽量化により衝撃加速度の増加は避けがたいものであることがわかるが、同時にこのリスク緩和について次のことがわかる。

すなわち、まず衝撃加速度は反発係数に最も大きな影響を受けることから、衝撃時に自らの運動エネルギー以上の衝撃エネルギーを吸収できる構造(すなわち $e=0$)であることが極めて重要であるといえる。CFRP の理論上の衝撃吸収エネルギーは極めて高く、実験的にも鉄鋼以上の衝撃吸収能力が確認されているが、板状の形状でそのポテンシャルを発揮できるかなど今後の検討課題も多い⁽⁷⁾。ただし、(もちろん CFRP による衝撃吸収部材の実用化に期待は寄せられるものの)当面は現行の衝撃吸収部位を活用する形でも、目的とする超軽量化の支障にはならないと考えられる。

さて、 $e=0$ が実現しても、やはり図 4 に示されるように軽量化により衝撃加速度は上昇する。ただし、これは例えば 20%軽量車で高々 11%の上昇であるから、20% (すなわち 270kg) 軽量化したうちのごく一部の重量をエアバックや ABS 等の安全装置の強化に戻して安全性を高めることにより、軽量化と衝撃時の安全性確保が両立すると考えられる。

なお、以上の議論は平均的な車体重量の車を考えて行ったが、省エネと排出 CO2 削減への軽量化の効果としては、より重い車の方が高いことから、この種の軽量化は重量車から順に手を付けるべきといえる。そしてこの場合、段階的に平均車体重量は減ってくるので、図 4 における事実上の軽量化率は低くなり、衝突安全性に関するリスクは軽減するといえる。

4. CFRP 車の市場参入可能性とグリーン税

対環境性に優れる CFRP 車が実現しても、それらが購入されなければ温暖化対策や省エネルギー対策につながらない。したがって、技術的問題点と合わせて CFRP 車の市場参入可能性を定量的に分析する必要がある。

前提として、3.2 で説明した CFRP 車のすべての技術的問題点(リサイクル、衝突安全性など)が解決され、実現したとする。ただし、コストの問題はリサイクル後でなければ解決しないため、リサイクル材がない最初の 10 年は現行車よりも 20 万ほど高いことが想定される。そこでここでは、現行車よりも 20 万ほど高い CFRP 車が社会に受容されるのか、グリーン税を含めてケーススタディを行う。

4.1 分析手法

本研究では消費者の車種選好行動を分析するために、効用と選択の関係を扱う確率効用モデルの多項ロジットモデルを使用する。

f_k を対象 k の(確定的)効用とすると、選択の基準となる確率的効用 S_k は次式のように規定される。

$$S_k = f_k + e_k \quad (5)$$

k は状況依存的な「気まぐれ要因」、 f_k に含まれていない要因の効果、選好が同質的な複数の人を考える場合の個人差の凝縮などと解釈される。

確率変数 k の分布を定めることにより各対象 k が選択される確率 S_k が求まる。そこで k に対し、ある分散の第一種極値分布を仮定すると、 S_k は次式のようになる。

$$S_k = \exp(f_k) / \sum_{k=1}^n \exp(f_k) \quad (6)$$

(6) 式を「ロジットシェア関数」という。 f_k を説明する要素 $\ln z_{j,k}$ が n 個あるとし a_j をその係数とすると f_k は次の式で表される。

$$f_k = \sum_{j=1}^n a_j \ln z_{j,k} \quad (7)$$

(6) 式において S_k と S_{k+1} で比をとり(7)式を代入すると

$$\ln \frac{S_k}{S_{k+1}} = a_1 \ln \frac{z_{1,k}}{z_{1,k+1}} + \dots + a_n \ln \frac{z_{n,k}}{z_{n,k+1}} \quad (8)$$

となり、(8)式を重回帰分析することによって a_1, \dots, a_n を決定することができる。

4.2 車種選好モデルの構築

本分析では、まず消費者の選好行動を分析することによって消費者の選好モデルを決定した⁽⁸⁾。次にそのモデルにしたがって自動車の需要量(シェア)が決まると仮定し、CFRP 車のシェアを予測する。またグリーン税を導入することによるシェアの変化を考察し、CFRP 車の市場参入可能性をみていく。

塚田ら⁽⁹⁾の論文を参考にして、3つの価格帯に区切り、各排気量帯ごとの車種選好モデルを決定する。

- A) 80 万以上 200 万未満
- B) 200 万以上 300 万未満
- C) 300 万以上 400 万未満

データは過去 5 年間(1997-2001 年)の販売台数、排気量、価格を使った⁽¹⁰⁻¹⁴⁾。

価格帯 l における排気量クラス k の自動車のシェアは

$$S_{k,l} = \exp(f_{k,l}) / \sum_{k=1}^n \exp(f_{k,l}) \quad (9)$$

と表される。

$f_{k,l}$ は自動車の効用 $S_{k,l}$ の確定的効用の項である。本研究では $f_{k,l}$ を次のように表した。

$$f_{k,l} = a_l \ln(ED_{k,l}) + b_l \ln(OPT_{k,l}) + g_l \ln(COST_{k,l}) \quad (10)$$

$ED_{k,l}$: 排気量, $OPT_{k,l}$: 装備の評価値, $COST_{k,l}$: 年間費用
ここで、それぞれの要素について説明する。

- (ア) 排気量: 一般に、高い排気量の乗用車ほど馬力があり、車体が大きいので乗り心地が良い。よってこの効用を表現するために、排気量を説明変数の一つとした。
- (イ) 装備の評価値: 同一排気量帯の中に違う価格の乗用車が存在するという事は、同じ排気量帯の高価格の乗用車は低価格の乗用車よりも、装備が充実していると考えられる。
- (ウ) 年間費用: 自動車税と自動車重量税の和に燃料費を加えたものを用いた。自動車税は排気量に応じて、自動車重量税は車体の重量に応じてかかる税金であり、毎年徴収される。

(ア)(イ)(ウ)を考慮して、80-200 万の価格帯の回帰分析の結果を表 3 に示す。

4.3 CFRP 車の市場参入可能性

ここでは 80-200 万の価格帯のみを考えて CFRP 車(20%軽量化)のシェアを予測した。ちなみに現行車の 80-200 万の価格帯のシェアは 56.0%、200-300 万の価格帯は 27.4%、300-400 万の価格帯は 12.7%だった。

CFRP 車は現行車と比較して、対環境性能に優れているものの、購入価格が 20 万ほど高くなると見込まれている。CFRP の部品価格がそのまま購入価格に反映されたと考え、重量ごとの購入価格の上昇を計算した。例えば CFRP の部

品価格が 2000 円/kg の場合、車重 1350kg の現行車を 20% 軽量化したときの購入価格は 22 万円上昇する。

次に CFRP 車を車種選好モデルに組み込むために、現行車の装備値から価格上昇分を差し引いた値を CFRP 車の装備値と仮定した。一方、CFRP 車の購入価格は上昇するものの、年間費用（燃料費と重量税）の軽減が期待できる。これらを考慮して CFRP 車の装備値と年間費用を算出すれば、CFRP 車のシェアを予測することができる。

図 5 に CFRP 車（購入価格が 22 万高い）のシェアの予測を示す。現行車と同等の需要量が見込まれるのはシェア 50% である。しかし、CFRP 車全体のシェアは 42% であり、現行車に及ばない。

そこで注目されるのがグリーン税と補助金である。CFRP 車は 3.1.3 で述べたように、優れた環境・エネルギー対策技術であり、グリーン税や補助金を受けるに値する。以下グリーン税、補助金が交付された場合の CFRP 車のシェアをみていく。

(Case 1) グリーン税

自動車税のグリーン化は CFRP 車の導入を促進する。図 6 に自動車税で年間 1 万円の優遇を行った場合の CFRP 車のシェアを示す。CFRP 車全体のシェアは 42% から 49% に上がり、現行車とほぼ同等の需要量が見込まれる。

(Case 2) 補助金

電気自動車やハイブリッド車を参考にすると、現行車との価格差の半分が補助されている。そこで、現行車との価格差の半分の補助金が出たと仮定し、CFRP 車のシェアを求めた（図 7）。CFRP 車全体のシェアは 52% となり、現行車と対等な市場競争力があることがわかる。ということは、CFRP 車の価格が現行車より 10 万円高くても（CFRP 部品価格 1500 円/kg に相当）、現行車と同等の需要量が見込まれる。

4.4 考察

以上のことから、現状の CFRP のコストでは、CFRP 車のシェアは現行車に及ばないが、自動車税なら年間 1 万円の優遇、もしくは現行車との価格差の半分の補助金が出れば、現行車と対等な市場競争力を持つようになるといえる。そのため、あくまで CFRP 自体の低コスト化に限度があると仮定した場合ではあるが、CFRP 車の普及には税のグリーン化によるインセンティブ効果の視点も重要であり、現実的な公的補助の範囲で CFRP 車の普及の促進ができることが明らかになった。

5. 結 言

本研究では、CFRP 車の社会受容性を大きく 3 つに分けて評価した。まず、CFRP 車が導入された場合のメリットを示し、次に CFRP 車実現のための問題点と技術開発の方向性を考察し、最後に CFRP 車の市場参入可能性をグリーン税を含めて定量的に検討した。以下に結論を述べる。

(1) CFRP 車導入のメリット

- 燃料費の利得が大きい。
- 運動性能や快適性など様々な性能が向上する。
- CO₂ 削減効果と石油使用量削減効果が大きく、環境・エネルギー対策技術として非常に優れる。

(2) CFRP 車実現のための問題点と技術開発の方向性

- 素材調達コスト：リサイクル材が出まわる前は、鉄鋼と同等となる目標達成は厳しいが、リサイクル後なら同等となることが可能。ただし、クローズドリサイクルの達成率を増やす技術開発が不可欠である。解体しやすい車両構造や解体設備の開発などの技術開発を

組み合わせなければ現状では厳しいといえる。

- 生産ポテンシャル：現状の生産ポテンシャルで短期的には供給可能であるが、年間 100 万台規模になると段階的に設備投資が必要となる。ただし、素材調達コストと同様にクローズドリサイクルの達成率により、CF の需要量に差がでることに注意が必要である。
 - 衝突安全性：軽量化による衝突安全性の低下は避けられない。これを補うために以下の方法が考えられる。技術開発により CFRP の衝撃吸収特性を生かすという方法、軽量化したうちのごく一部の重量をエアバックや ABS 等の安全装置の強化に戻して安全性を高めるという方法、そして重量車側から軽量化を行うことで車社会全体の安全性を高めるという方法である。
- (3) CFRP 車の市場参入可能性
- 現状の CFRP 部品価格では、CFRP 車のシェアは現行車に及ばない。しかし仮に自動車税で年間 1 万円の優遇、もしくは現行車との価格差の半分の補助金が出れば、現行車とほぼ対等な競争力を持つ。
 - CFRP 車の普及には税のグリーン化も有効であることが明らかになったが、税の負担の公平性、走行距離へのマイナスのインパクトもあり、慎重な議論を経なければならない。

参考文献

- (1) 青山公彦：商用車の軽量化技術，自動車技術，Vol.55，No.4，p.23-28（2001）
- (2) 八木光哉：トラックにおけるアルミ，マグネの応用，自動車技術，Vol.55，No.4，p.29-34（2001）
- (3) 佐川直人：低燃費車の普及の可能性と自家用乗用車の燃料消費の動向，エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集（2000）
- (4) 圖子博昭：CFRP による自動車軽量化の長期的 CO₂ 削減効果，東京大学修士論文（2002）
- (5) 自動車工学：各社の軽量化最先端技術を見る，p.76-79（2002）
- (6) 山根祥司：CFRP リサイクルと標準化の検討，日本機械学会 2002 年度年次大会講演論文集，p.277-278
- (7) 中谷有：FRP 構造強度部材のエネルギー吸収特性，自動車技術，Vol.55，No.10，p.54-59（2001）
- (8) 松橋隆治：自動車用燃料の長期的選択とその評価手法，自動車技術，Vol.56，No.7，p.32-38（2002）
- (9) 塚田路治：ロジックモデルを用いた運輸部門での CO₂ 排出量低減策の分析，シミュレーション，第 15 巻，第 2 号，p.47-54（1996）
- (10) 財団法人自動車検査登録協力会：自動車保有車両数（1997-2001）
- (11) 社団法人自動車工業振興会：自動車ハンドブック（1997-2001）
- (12) 日刊自動車新聞社：自動車ハンドブック（1997-2001）
- (13) JAF USER HANDBOOK：クルマ選び購入ガイド（1997-1999）
- (14) JAF USER HANDBOOK：新国産 & 輸入車全モデル購入ガイド（2000,2001）

Table 1 Comparison of mechanical properties and weight reduction effect

	*** (kN/m ³)	E/ (10 ⁶ m)	Board thickness rate to steel	Weight reduction effect (%)
Steel	76.0	2.8	1	100
CFRP*	15.2	3.9	1.52	70
Al	27.0	2.6	1.44	49
Mg	17.8	2.5	1.67	61
GFRP**	17.6	1.2	2.15	50

* T800 (60%) / EP [0/±45/90]s ** Satin weave (66%) / SMC

*** : Specific gravity

Table 2 Comparison of total fuel cost, CO2 emission and carbon tax

Weight reduction rate (%)	0	10	20	30	40
Fuel cost (10 ⁴ yen)	93.4	85.8	77.8	69.5	60.9
CO2 emission (t-C)	5.9	5.4	4.9	4.4	3.8
Carbon tax (10 ⁴ yen)	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1

Table 3 Estimates of the coefficient of logit-shear function

	1	1	1	R square
Estimation	8.27	9.85	-3.19	0.87
t statistics	5.31	24.66	-5.87	

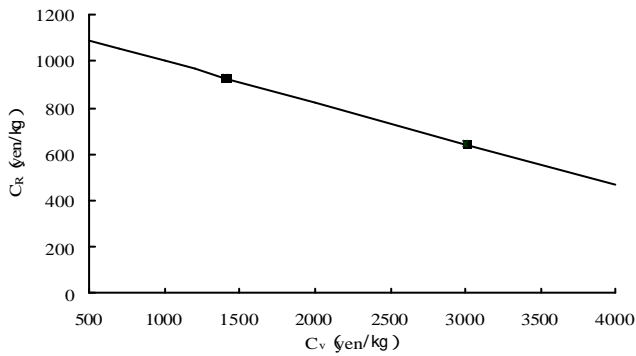


Fig.1 Target cost of recycled (Cr) and virgin (Cv) CFRP

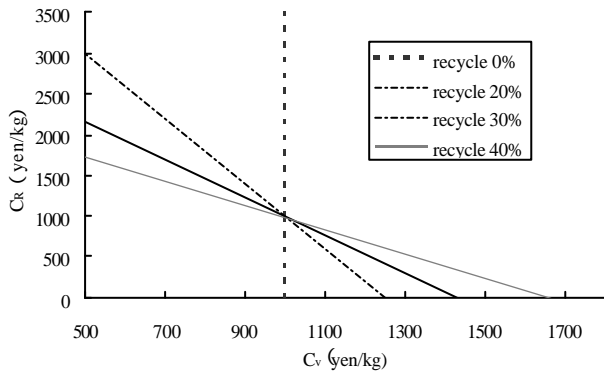


Fig.2 Target cost of Cr and Cv CFRP

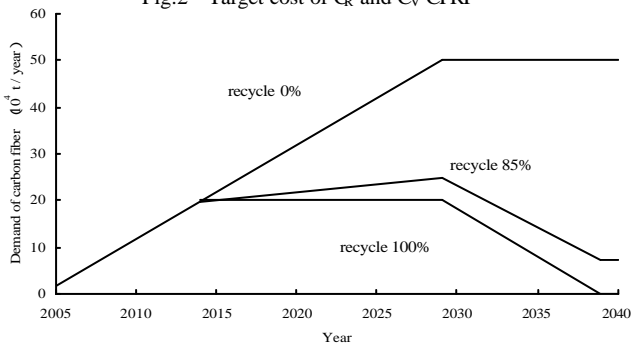


Fig.3 Prediction of the annual carbon fiber demand

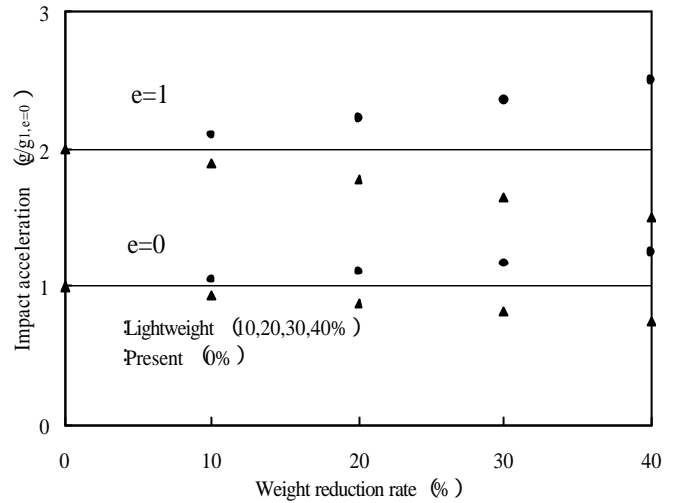


Fig.4 Influence of weight reduction rate on impact acceleration

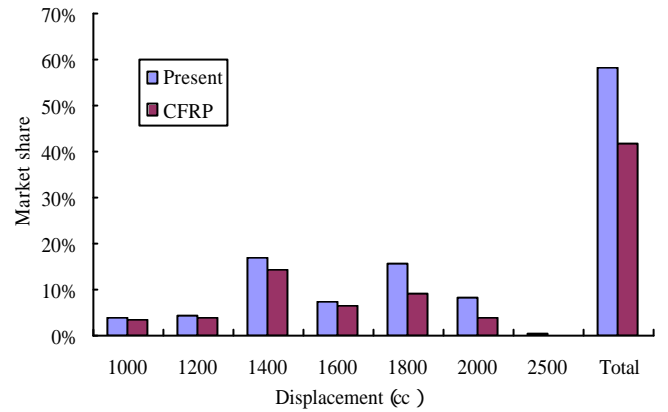


Fig.5 Market share prediction of CFRP vehicles

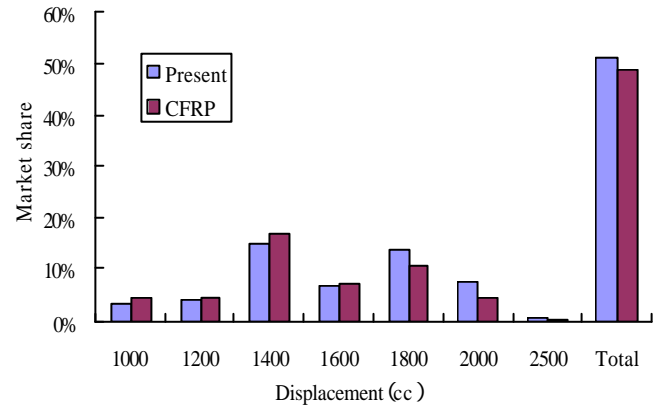


Fig.6 Market share prediction of CFRP vehicles (Case 1)

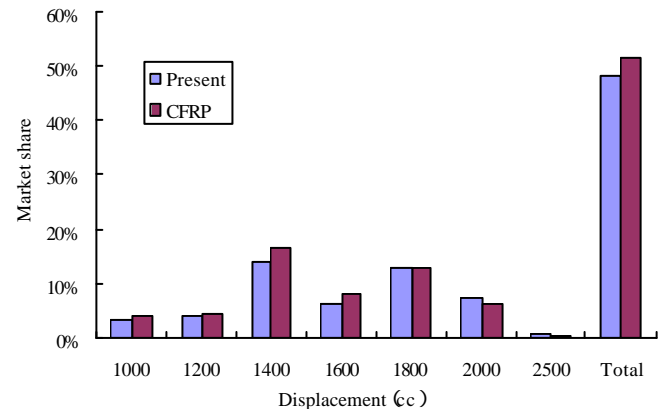


Fig.7 Market share prediction of CFRP vehicles(Case 2)