

# CFRP による軽量化乗用車の長期的環境エネルギー問題対策効果

Long term effect of lightened automobiles by CFRP as a measure for environmental and energy problem

指導教官 高橋淳助教授

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

10762 澤田真一

## 1. はじめに

我が国は1年間に約3億4000万tCのCO<sub>2</sub>を排出し、約3億kLの石油を消費する。このうち自動車は全体の約2割のCO<sub>2</sub>を排出し<sup>(1)</sup>、約1/3の石油を消費する<sup>(2)</sup>ため、地球温暖化およびエネルギーセキュリティ対策として自動車の省エネ化が有効である。本研究では、自動車の省エネ技術の1つであるCFRPによる車体の軽量化技術に注目し、日本と今後モータリゼーションの到来が予想される中国における、本技術の環境エネルギー問題対策効果の予測を目的とする。

## 2. 日本における環境エネルギー問題対策効果

### 2.1 シミュレーションの概要

本シミュレーションの概要図をFig.1に示す。

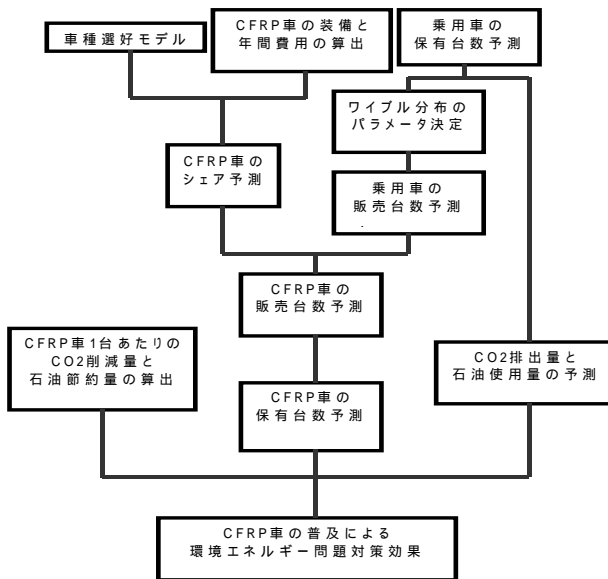


Fig. 1 Estimation procedure of the effect of lightened automobiles by CFRP on Japanese CO<sub>2</sub> emission and oil consumption

### 2.2 シミュレーションに使用するデータの推定方法

以下、概要図に沿い、データ推定方法を順に説明する。

#### 2.2.1 車種選好モデル

車種選好モデルの構築に際して多項ロジットモデルを用いた。すなわち、 $n$ 種類の形式の中からある特定の形式  $k$  の乗用車が選択される確率は、

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

となる。ここで  $f_k$  は形式  $k$  の効用の非確率項であり、

$$f_k = \sum_{j=1}^m \beta_j \ln Z_{kj} \quad (2)$$

で与えられ、本研究では以下のように定めた<sup>(3)</sup>。

$$f_{kl} = \log ED_k + \log OPT_{kl} + \log COST_k \quad (3)$$

( $ED_k$ : 排気量、 $OPT_{kl}$ : 装備、 $COST_k$ : 年間費用)

塚田ら<sup>(4)</sup>の論文を参考に小型・普通乗用車を販売価格に応じて分類し、各価格帯ごとに、 $\beta_j$  を求めて車種選好モデルを構築した<sup>(5)~(9)</sup>。結果をTable1に示す。

Table 1 The result of regression analysis

価格帯					決定係数	F 値
80~200万	回帰係数	5.83	8.46	-1.72	0.89	6.13
	t 値	1.94	10.66	-1.05		
200~300万	回帰係数	13.96	10.29	-2.33	0.62	7.11
	t 値	3.13	6.47	-1.12		

2つの価格帯を比べると、 $\beta_j$  の値が大きく異なることがわかる。排気量は車両容積と相関があるが、200万円以下の車を購入する人々は車の大きさにはそれほど拘らず、200万円以上の車を購入する人々は車の大きさを特に重視することが読み取れ、直感と符合する。

#### 2.2.2 CFRP車の装備値と年間費用の算出

CFRP車は現行車と比較して、鉄に代替するCFRPが高価なために購入価格は高くなるが、燃費の良さゆえにガソリン代は大幅に下がる。購入価格が上昇した分だけ装備値を下げ、ガソリン代の低下を考慮に入れて年間費用を計算した。また、CFRPの価格は2500円/Kg、2000円/Kg、1500円/Kgの3通りに場合分けした。

#### 2.2.3 CFRP車のシェア予測

2.2.1の車種選好モデルと2.2.2のCFRP車の装備値と年間費用の算出結果を用い、CFRP車のシェア予測ができる。

#### 2.2.4 乗用車の保有台数予測

日本における成人人口1000人あたり乗用車保有台数の推移<sup>(10),(11)</sup>をロジスティック関数で近似し、得られたロジスティックカーブと日本の将来人口<sup>(10)</sup>から乗用車の保有台数予測を行った。結果はFig.2である。

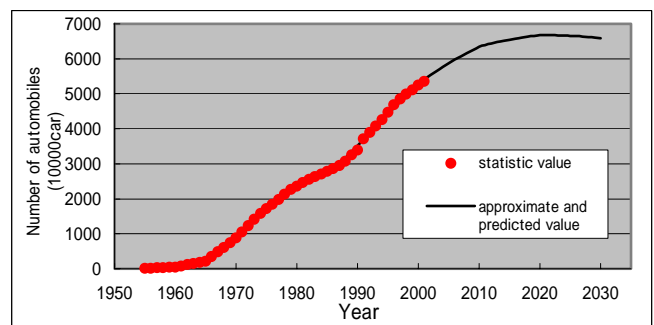


Fig.2 Prediction of the number of automobiles in Japan

#### 2.2.5 ワイブル分布のパラメータ決定

保有台数は、それまでに販売された車の残存数の総和と見なせる。時刻  $t$  の販売台数を  $S_t$  とすると、時刻  $T$  の保有台数  $P(T)$  は、ワイブル分布の生存関数を用いて

$$P(T) = \sum_{t=T_0}^T S_t \times \exp\left[-\left(\frac{T-t}{\lambda}\right)\right] \quad (4)$$

と書ける。、 を決定すれば、(4)式を用いて販売台数から保有台数へ、またその逆の転換をすることができる。

過去の販売・保有台数の統計値を元にした結果、将来予測においては  $\lambda = 3.828$ 、  $\lambda = 12.37$  を用いることにした。

### 2.2.6 乗用車の販売台数予測

2.2.5で求めたワイブル分布のパラメータを(4)式に代入し、2.2.4の保有台数予測に最も近づくよう、最小二乗法によって販売台数を予測した。結果はFig.3である。

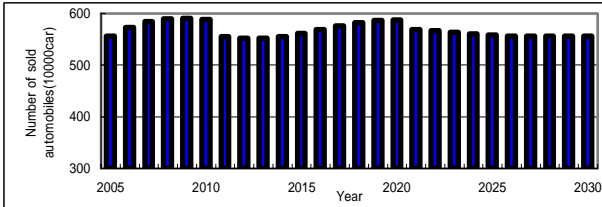


Fig.3 Prediction of the number of annual selling automobiles in Japan

この販売台数予測と2.2.3のCFRP車シェア予測からCFRP車の販売台数がわかり、(4)式を用いてCFRP車の保有台数を予測することができる。

### 2.2.7 CO2排出量と石油使用量の予測

2000年度において乗用車は1台あたり0.77tCのCO2を排出している<sup>(1)</sup>。この数値と2.2.4の乗用車保有台数予測を用いて乗用車からのCO2排出量を予測した。また、CO2排出量と石油使用量は比例関係にあるため、石油使用量の将来予測も行った。結果はFig.4である。

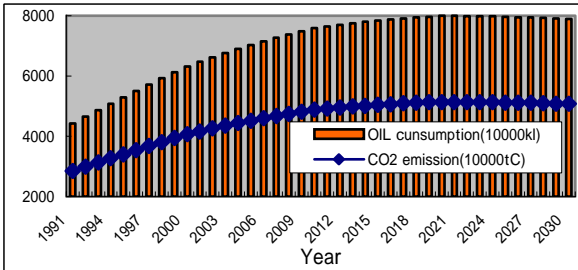


Fig.4 Prediction of Japanese CO2 emission and oil consumption by automobiles

### 2.2.8 CFRP車1台あたりのCO2削減量・石油節約量

軽量化率と燃費は比例する<sup>(12)</sup>とし、現行乗用車のデータをもとにCFRP車の年間CO2削減量と石油節約量を、排気量・軽量化率ごとに求めた。CO2削減量の算出結果をTable 2に示す。

Table 2 CO2 reduction by CFRP automobile (Unit:tC/year)

displacement	Weight reduction rate					
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
1000cc	0	0.055	0.111	0.166	0.221	0.276
1200cc	0	0.062	0.125	0.187	0.250	0.312
1400cc	0	0.069	0.139	0.209	0.278	0.348
1600cc	0	0.077	0.153	0.230	0.307	0.386
1800cc	0	0.084	0.168	0.251	0.335	0.419
2000cc	0	0.091	0.182	0.273	0.364	0.455
2300cc	0	0.102	0.203	0.305	0.406	0.508
2750cc	0	0.118	0.235	0.353	0.471	0.589
3500cc	0	0.144	0.289	0.433	0.578	0.722

### 2.3 環境エネルギー問題対策効果の予測

CFRP価格2500円/Kg、1500円/Kgの時のCO2排出量予測を、軽量化率ごとにFig.5の上図と下図に示す。ただし軽量化率0%は現行車を意味し、何ら対策が講じられなかった場合であり、2.2.7のCO2排出量予測と一致する。

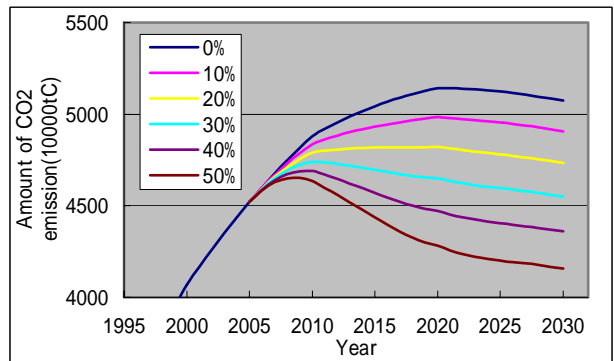
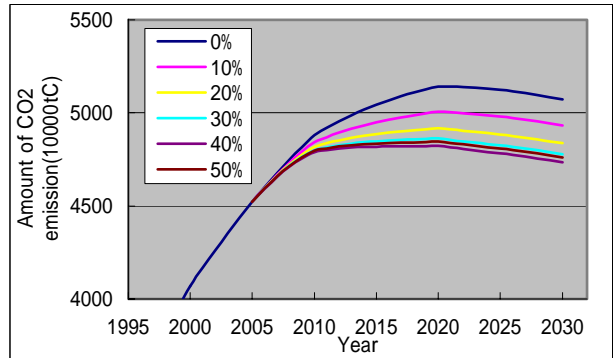


Fig.5 Prediction of Japanese CO2 emission from automobiles and the effect of lightening by CFRP

### 2.4 考察

環境エネルギー問題対策効果を決める因子はCFRP車の軽量化率と保有台数であるが、CFRP価格が2500円/Kgのとき、この2つは強い相反関係にある。車を軽くするほど多くの高価なCFRPを使用するため、車両の値段が上がって普及が進まないためである。軽量化率40%のCFRP車が普及したときにCO2削減量は最大となるものの、軽量化率によるCO2排出量の違いは少ない。

また、現状のCF生産力の限界と衝突安全性の低下といった問題<sup>(13)</sup>を考慮すれば、はじめに導入するCFRP車は軽量化率を低く設定した方が望ましいと言える。

リサイクルやCFRP車の量産技術が確立されるようになれば、CFRP価格は下がるため、前述の相反関係は崩れていく。CFRP価格が1500円/Kgまで低下すると、軽量化率に関わらずCFRP車のシェアはほぼ等しくなる。その結果、軽量化率の違いがそのままCO2排出量の違いに直結することになり、当然だが軽量化率50%のCFRP車が普及したとき、CO2削減量は最大となった。

また、CFRPの価格低下による影響を、政府からの補助金による効果と解釈することもできる。CFRPの価格が下がるにしろ、政府から補助金が出るにしろ、その影響は、説明変数として用いた装備値のみに表れるためである。

### 2.5 結論

本技術の導入の方針として、始めは軽量化率の設定を低くしてCFRP車を販売し、やがてCFRPの価格が低下するに伴い軽量化率を上げるという方が適切だろう。

本技術は即効性は低いなが長期的な効果は大きい。本技術が最大の効果を発揮した場合、2030年において日本全体の2.72%のCO2削減と4.69%の石油節約が可能であると

見積もられた。

また、補助金などの優遇措置があれば、さらに CFRP 車の普及は進み、より大きな効果が得られるはずである。

### 3. 中国における環境エネルギー問題対策効果

#### 3.1 シミュレーションの概要

本シミュレーションの概要図を Fig.6 に示す。

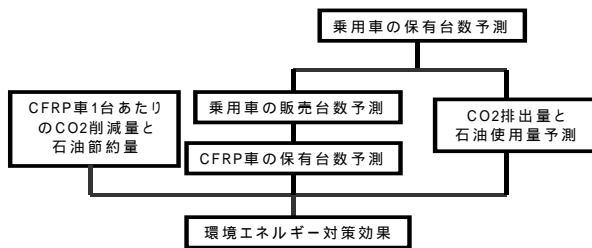


Fig.6 Estimation procedure of the effect of lightened automobiles by CFRP on Chinese CO2 emission and oil consumption

#### 3.2 シミュレーションに使用するデータの推定方法

以下、概要図に沿い、データ推定方法を順に説明する。

##### 3.2.1 乗用車の保有台数予測

2.2.4 と同様の手法を用い、中国の乗用車保有台数を予測した。結果は Fig.7 である。

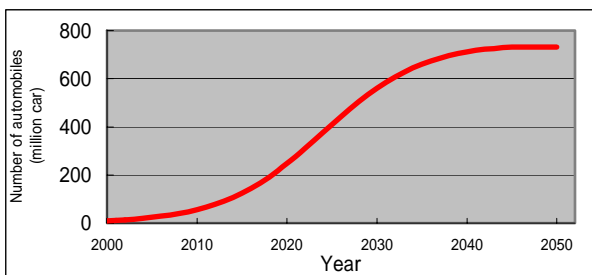


Fig.7 Prediction of the number of automobiles in China

現在の世界の乗用車保有台数が5.5億台(米国1.3億台、日本0.5億台)であることを考えると、Fig.7 から、今後の中国で起こり得るモータリゼーションの激しさが理解できよう。この結果と2.2.7 で用いた原単位を使って、CO2 排出量と石油使用量を予測する。

##### 3.2.2 乗用車の販売台数予測

t 年の乗用車保有台数を  $P(t)$ 、販売台数を  $S(t)$ 、廃棄台数を  $W(t)$  とすると、以下の式が成り立つ。

$$P(t+1) - P(t) = S(t) - W(t) \quad (5)$$

ここで乗用車の寿命を一律 10 年とすると、販売されてから 10 年後に廃棄されるので、

$$W(t) = S(t-10) \quad (6)$$

と言える。

(6) 式を (5) 式に代入すると、保有台数  $P(t)$  は 3.2.1 で求めて既知であるので、販売台数  $S(t)$  についての漸化式が得られ、将来の販売台数を算出できる。

##### 3.2.3 CFRP 車の保有台数予測

CFRP 車は導入初年度はシェア 1 割、以後 1 年ごとにシェアを 1 割ずつ増していき、導入から 10 年後に販売される乗用車は全て CFRP 車になると仮定し、また CFRP 車の寿命も一律 10 年とした。

CFRP 車の保有台数は、その時点までの累積販売台数から累積廃棄台数を引き算して求めた。

#### 3.3 環境エネルギー問題対策効果の予測

軽量化率 30%、50% の CFRP 車が 2010 年と 2030 年からそれぞれ導入された時の CO2 排出量予測を Fig.8 に示す。なお、CFRP 車 1 台あたりの CO2 削減量は 2.2.8 と同じ値を用いた。

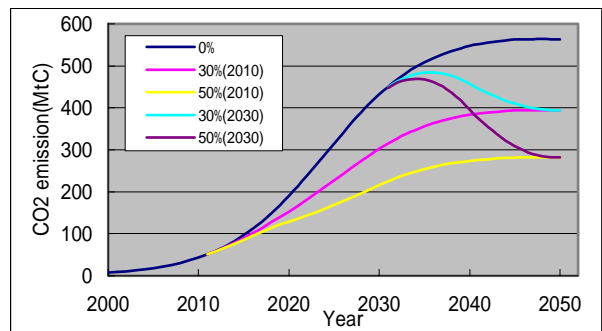


Fig.8 Prediction of Chinese CO2 emission by automobiles

#### 3.4 結論

中国は今後、経済発展と共に遅かれ早かれ大規模なモータリゼーションが起こると予想されるが、本軽量化技術が最大の効果を発揮した場合、2050 年において中国全体の 5.5% (すなわち乗用車軽量化だけで、現在の日本の総排出量と同等の 281Mt-C) の CO2 削減と 9.5% の石油節約が可能であると予測された。

また、CFRP 車の導入開始時期が早く、軽量化率が高いほど年間の CO2 削減量は大きい。長期的には、軽量化率に応じた同じ排出量に落ち着くが、それまでの期間に排出される CO2 の総量と消費される化石燃料の量を考えると、中国への低燃費車の早期導入開始の重要性が読みとれる。

### 4. まとめ

以上本論文では、日本と中国において CFRP による軽量化乗用車が普及することで、大幅な CO2 削減と石油節約が可能であることを示した。今回のシミュレーションで用いたデータやシミュレーション手法自体にも改善すべき点は多々あり、より精度の高い予測を目指すことが今後の課題ではあるものの、自動車低燃費化技術の早期確立と早期普及が地球温暖化およびエネルギーセキュリティ対策として有力な手段であるという結論に変わりはない。

#### 参考文献

- (1) 国土交通省ホームページ [http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kankyuu/ondanka1\\_.html](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kankyuu/ondanka1_.html)
- (2) 財団法人京都産業 21 ホームページ <http://www.joho-kyoto.or.jp/~energie/Mean13.html>
- (3) 鈴木郁美, 運輸部門における省エネルギーの可能性評価, 東京大学卒業論文, (1993)
- (4) 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 pp.45-54, (1996)
- (5) 財団法人自動車検査登録協会: 自動車保有車両数 (1997-2001)
- (6) 社団法人自動車工業振興会: 自動車ハンドブック (1997-2001)
- (7) 日刊自動車新聞社: 自動車ハンドブック (1997-2001)
- (8) JAF USER HANDBOOK: クルマ選び購入ガイド (1997-1999)
- (9) JAF USER HANDBOOK: 新国産 & 輸入車全モデル購入ガイド (2000, 2001)
- (10) 人口問題研究所ホームページ <http://www.ipss.go.jp/Japanese/newest02/newest02.html>
- (11) 自動車工業会ホームページ <http://www.jama.or.jp/>
- (12) 園子博昭, 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)
- (13) 長岡悟, CFRP による軽量乗用車の社会受容性評価, 東京大学修士論文, (2003)