

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

指導教官 高橋 淳 助教授
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

本研究の背景

自動車は全体の約2割のCO₂を排出、
約1/3の石油を消費

地球温暖化対策およびエネルギーセキュリティ
対策のために、自動車の省エネ化が有効

自動車の省エネ技術の1つとしての、
CFRPによる車体軽量化技術

CFRPによる車体の軽量化

車体の軽量化 燃費の向上 省エネルギー



CFRPの特徴

鉄に代替できる材料としては、CFRPが有力候補

本研究の内容と目的

CFRP車の
実現
前提

市場への
普及

CO₂削減量
石油節約量

シミュレーションにより予測

1. 日本におけるシミュレーション
2. 中国におけるシミュレーション

本研究の目的

CFRP車の導入による環境エネルギー問題対策効果を評価すること

日本におけるシミュレーションの概要



多項ロジットモデルを使用

多項ロジットモデル

多項ロジットモデルとは… **人々の選択行動を表すモデル**

このモデルを仮定すると、
n通りの選択肢の中から、ある行動kを選択する確率は

$$S_k = \frac{\exp(f_k)}{\sum_{k=1}^n \exp(f_k)} \text{ と表せる。}$$

またここで、 f_k は形式kの効用の確定項

効用 満足度

車種選好モデルの構築

2つの価格帯に区切り、価格帯ごとに車種選好モデルを構築

- (A) 80万円以上、200万円未満
- (B) 200万円以上、300万円未満

価格帯*l*における排気量クラス*k*の自動車のシェア

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

効用の非確定率項 f_{kl}

$$f_{k,l} = \log ED_k + \log OPT_{k,l} + \log COST_k$$

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

説明変数

消費者が車を買う際に重視すること

排気量

排気量が高い 車内容積が広い。

装備値

同一価格で排気量の異なる車が存在 低い排気量の車ほど装備が充実
各排気量帯の平均価格を求めた。
各価格帯の中心価格から 求めた値を減算した。

年間費用

自動車税 + 自動車重量税 + 年間のガソリン代

重回帰分析の結果

$$f_{k,l} = \log ED_k + \log OPT_{k,l} + \log COST_k$$

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

重回帰分析、を決定

80 ~ 200万円	5.83	8.46	-1.72
200 ~ 300万円	13.96	10.29	-2.33

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、

1. CFRPの高価ゆえに車両価格が上昇
2. 燃費の良さゆえにガソリン代が低下

$$\text{CFRP車の装備値} = \text{現行車の装備値} - \text{上昇価格}$$

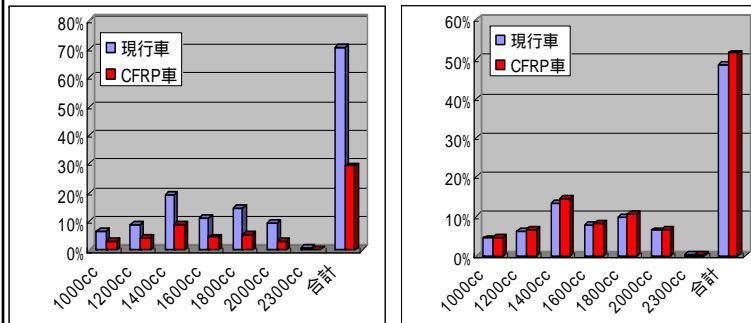
CFRPの価格は2500円/Kg、2000円/Kg、1500円/Kgの3通りに場合分け

$$\text{CFRP車の年間費用} = \text{現行車の年間費用} - \text{ガソリン代の節約分}$$

CFRP車の装備値と年間費用 CFRP車のシェア予測

CFRP車のシェア予測

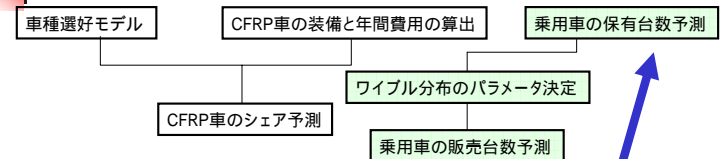
80 ~ 200万の価格帯、軽量化率30%のCFRP車のシェア



CFRP価格2500円/Kgのとき

CFRP価格1500円/Kgのとき

日本におけるシミュレーションの概要

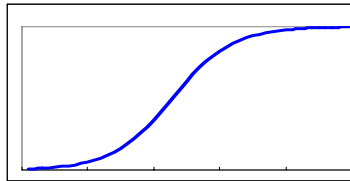


ロジスティック関数の適用

ロジスティック関数

$$\text{ロジスティック関数 } Y(t) = \frac{Y(0)}{1 + \left\{ \frac{Y(0)}{Y(0)} - 1 \right\} \times e^{-\mu(t-t(0))}}$$

新製品などが社会に受け入れられていき、このロジスティック関数に従って普及する。



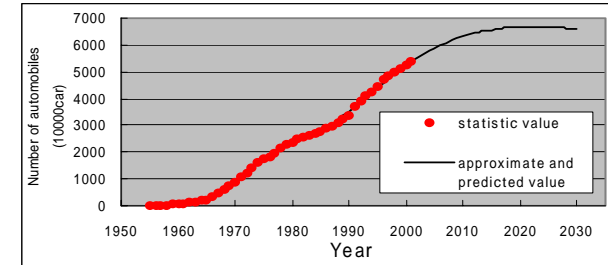
ロジスティック関数のイメージ図

乗用車保有台数の予測

人口1000人あたり乗用車保有台数の推移

ロジスティック関数のパラメータ決定

ロジスティックカーブと将来人口予測より、乗用車保有台数を予測



乗用車保有台数予測

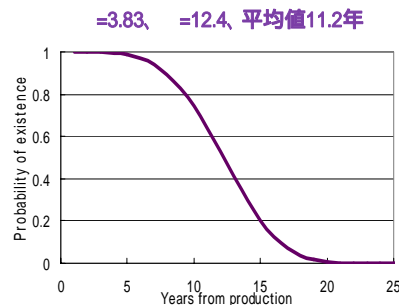
ワイブル分布のパラメータ決定

乗用車の寿命がワイブル分布に従うと仮定。

保有台数P(T)と販売台数S(t)は下の式で表せる。

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

保有台数P(t)、販売台数S(t)の統計量より、パラメータ、を決定



使用するワイブル分布の生存関数

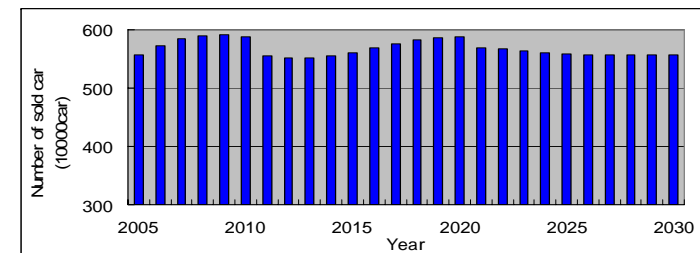
乗用車の販売台数予測

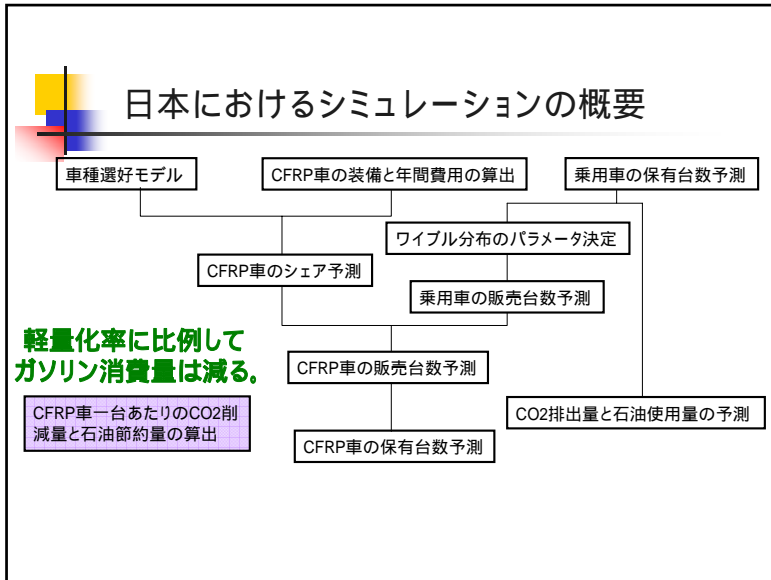
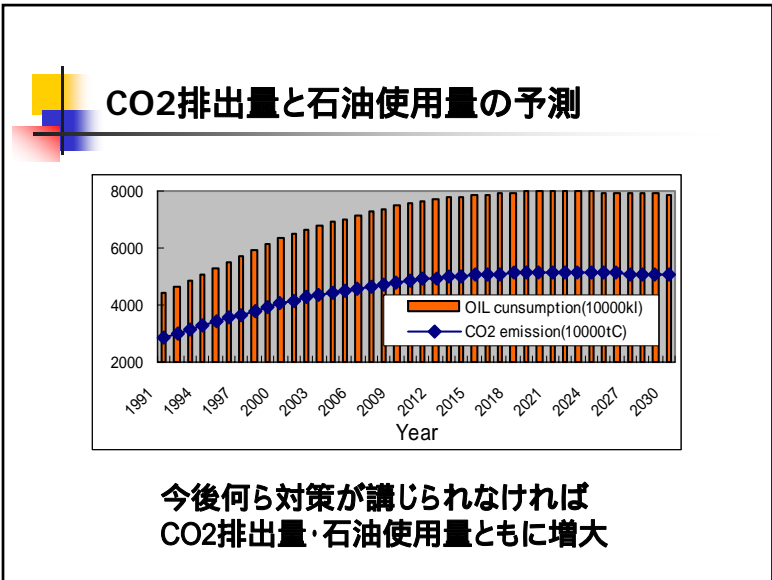
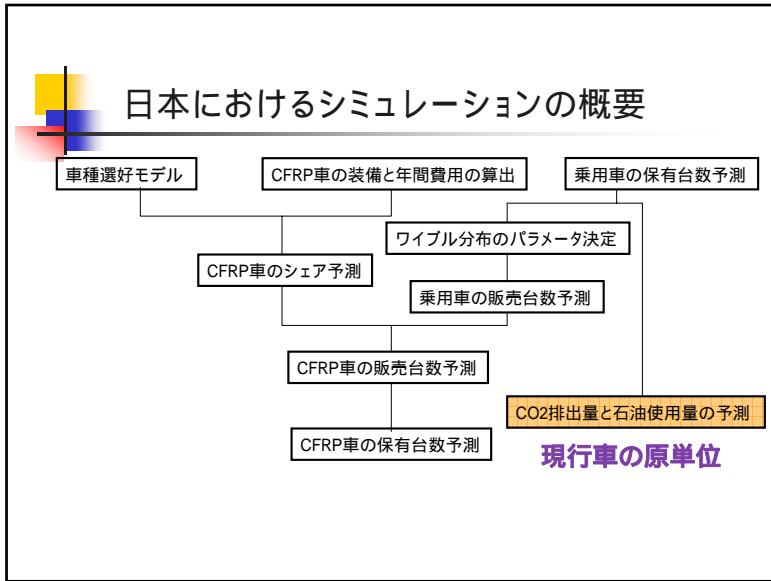
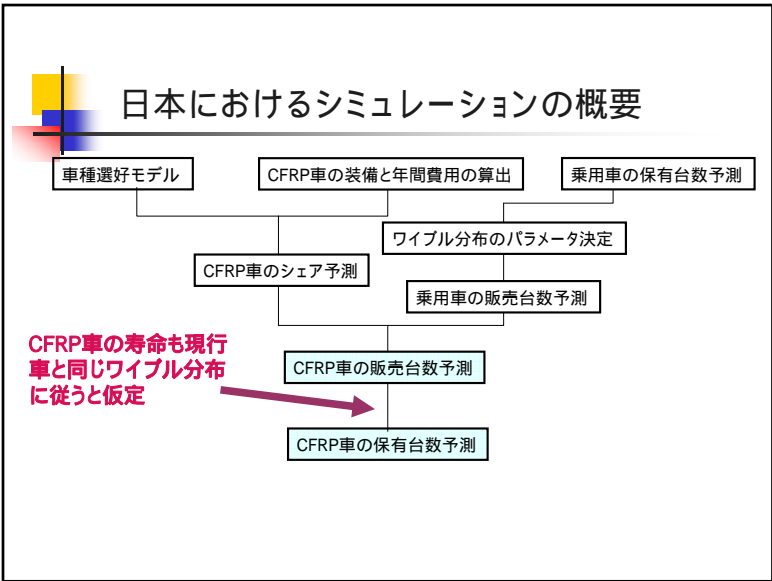
P(t)とS(t)の関係式

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

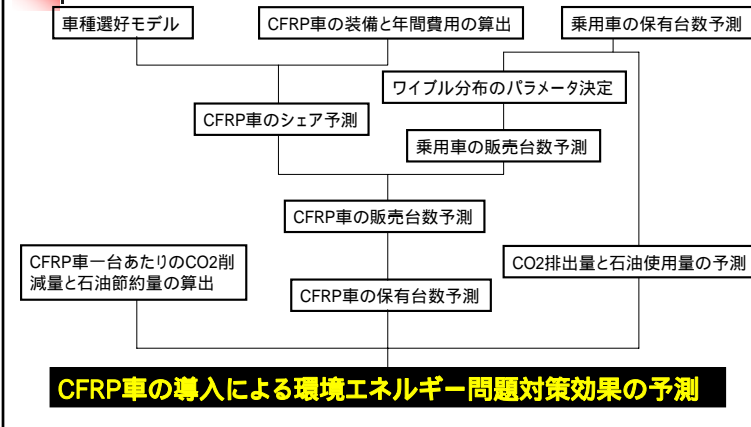
乗用車保有台数P(t)、ワイブル分布のパラメータ、は既知

乗用車の販売台数予測

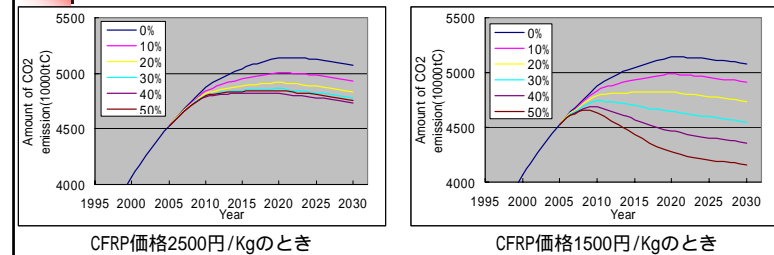




日本におけるシミュレーションの概要



環境エネルギー問題対策効果の予測結果



- ・CFRP価格2500円/Kgのとき、軽量化率が違ってもCO2排出量の違いは少ない。
- ・CFRP価格1500円/Kgのとき、軽量化率の違いがCO2排出量の違いに直結する。
- ・CFRP価格低下による影響を、補助金などによる効果とも解釈できる。

結果の結論

- ◆ 本技術が最大の効果を発揮した場合、2030年において、2000年比で日本全体の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、より大きな効果を得られるはずである

中国におけるシミュレーション概要

乗用車の保有台数予測

ロジスティック関数と中国の将来人口より、
乗用車保有台数予測

ロジスティック関数の パラメータ μ 、について

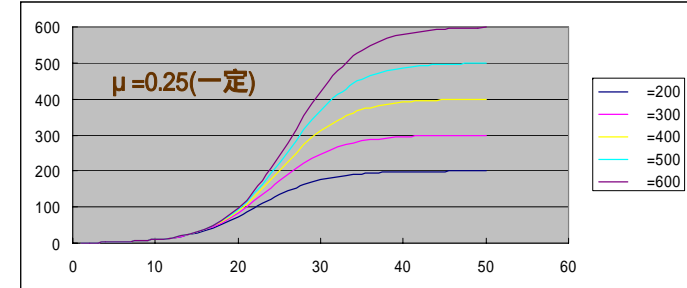
$$Y(t) = \frac{Y(0)}{1 + \left\{ \frac{1}{Y(0)} - 1 \right\} \times e^{-\mu(t-t(0))}}$$

飽和値

μ 飽和値に至るまでの相対普及速度
普及の激しさを表す指標

ロジスティック関数の パラメータ μ 、について

μ の値を一定にし、 $Y(0)$ の値を変えて数パターン
のロジスティックカーブを描いた。



カーブの初期の期間では、
どのパターンも大差なし

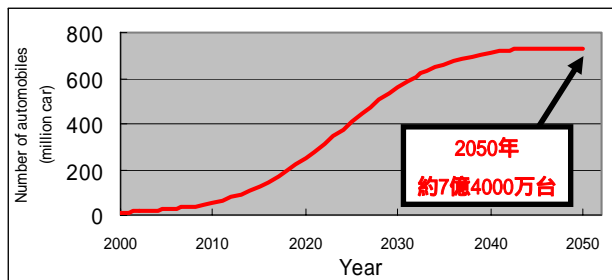
将来予測のためには、前
もって の決定が必要

中国の乗用車保有台数予測

中国は乗用車の普及がはじまる前段階

中国: $\mu=500$ と仮定

欧米各国は約500台(1000人あたり)で飽和



現在の世界の総乗用車保有台数は5億5000万台であり、中国における
モータリゼーションの激しさがわかる。

乗用車販売台数予測

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、

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

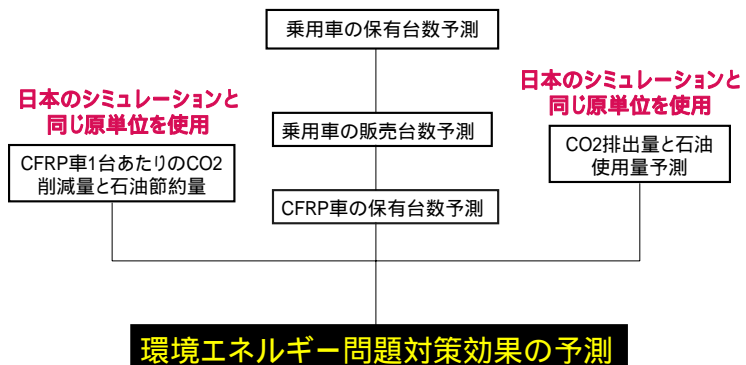
(6)式を(5)式へ代入 $S(t)$ の漸化式 販売台数予測

CFRP車保有台数予測

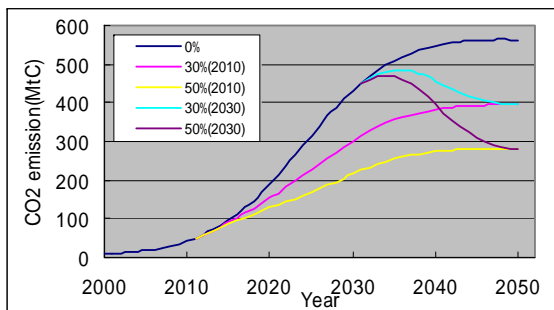
CFRP車は導入初年度はシェア1割、以後1年ごとにシェアを1割ずつ増していき、導入から10年後に販売される乗用車は全てCFRP車になると仮定し、またCFRP車の寿命も一律10年とした。

$$\text{CFRP車の保有台数} = \text{累積販売台数} - \text{累積廃棄台数}$$

中国におけるシミュレーション概要




環境エネルギー問題対策効果の予測結果



結果の結論

- ◆ CFRP車の導入開始時期はなるべく早く、また軽量化率が高いほどCO2削減量は大きい。
- ◆ 本技術が最大の効果を発揮した場合、2050年において282MtCのCO2を削減し、4380億リットルの石油節約が可能であると予測された。2000年度において日本のCO2の総排出量は312MtC、石油消費量は3000億リットルであることを考えると、これは膨大な量である。



まとめ

CFRPによる軽量化乗用車が普及することで、大幅なCO2削減・石油節約が可能である。本技術は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結論できた。