

平成13年度 修士論文

## CFRPによる自動車軽量化の 長期的CO2削減効果

指導教官 吉成仁志 助教授  
高橋 淳 助教授

06286 圖子博昭



CO2 Reduction  
In the Future World

### 本研究の背景

- ・ 地球温暖化対策
- ・ COPの公約対策

どうやってCO2を削減するか

- ・ CFの価格破壊 2000年 3000円/kg      1400円/kg
- ・ 輸送機器の超低燃費化

本技術適用に先立ち、  
削減効果をシミュレーション

### 発表項目

第1章	研究背景	経緯 目標
第2章	日本におけるシミュレーション	オイル問題 シミュレーション条件 車種別CO2削減効果(運転時)
第3章	世界におけるシミュレーション	IPCCの予測 シミュレーション条件 CO2削減効果(エネルギー起源)
	シミュレーションの総合評価	削減効果 CO2削減戦略の策定
第4章	本研究の成果	
	今後の研究の方向性	

### 運輸部門の環境負荷対策の内訳

貨物	モーダルシフト (トラック輸送 原単位の小さい手段で輸送)
旅客	自動車交通の円滑化(ITSなど) 原単位の小さい移動手段の利用促進 輸送機器のエネルギー消費効率の向上 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 推進効率の向上</li> <li>- 軽量化</li> </ul>

## 従来の研究レビュー

米国 PNGV

- ・ 2004年までに、新素材でリッター34kmのクルマ
- ・ 40%超軽量化必要
- ・ 燃料電池、ハイブリッド 重い

普及を見込んだ効果予測などは行われていない

- アウディA12コンセプト
  - ・ アルミフレーム 20%軽量化



- フォード P2000 LSR
  - ・ アルミ、マグネシウム、CFRP 40%軽量化

## 本研究の目的

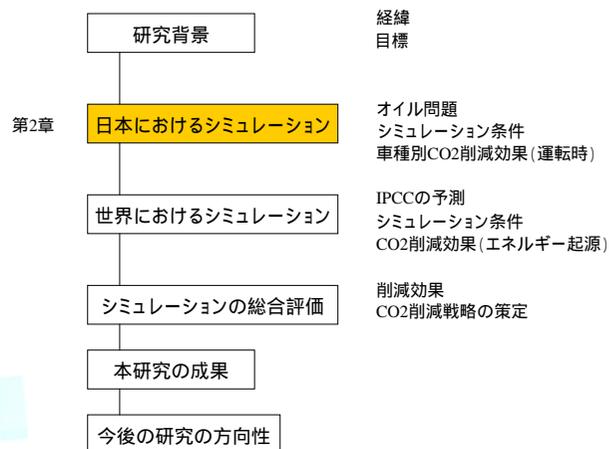
長期的CO2削減効果のシミュレーションを通して  
CFRP利用による、25%、40%軽量化の

- ・ 普及速度の影響
  - ・ CO2削減ポテンシャル(限界値)
- を日本と世界についてそれぞれ明らかにし、
- ・ 最適な普及戦略

を提案する

6/31

## 発表項目



7/31

## 石油資源枯渇問題 と 石油の自動車への寄与

Table 1 Annual Oil Consumption and annual CO2 emission in USA and JAPAN

	米	日
石油使用量	10 億 k L / 年	3.00億 k L / 年
自動車	6.6億 k L / 年 (66%)	1.00億 k L / 年 (33.2%)
	米	日
CO2排出量	14 億トン/年 (一人約5.2トン/年)	3.00 億トン/年 (一人約2.5トン/年)
自動車	3.5億トン/年 (25%)	0.61 億トン/年 (20%)

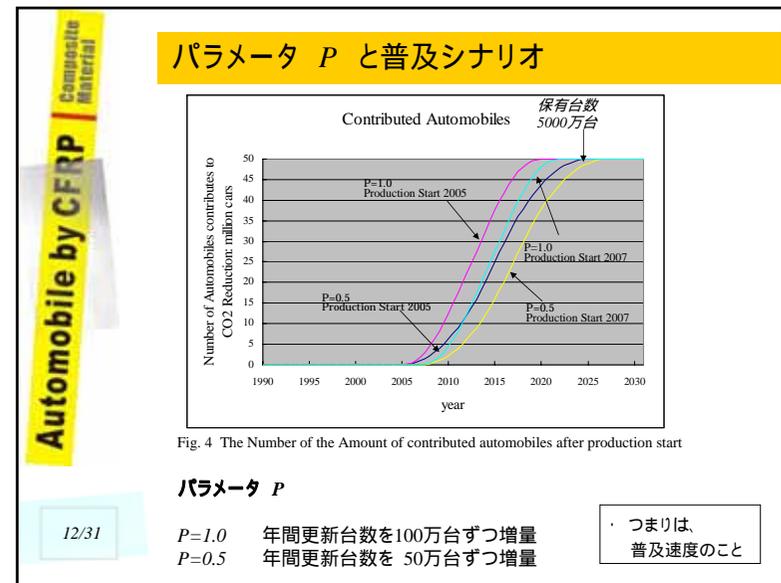
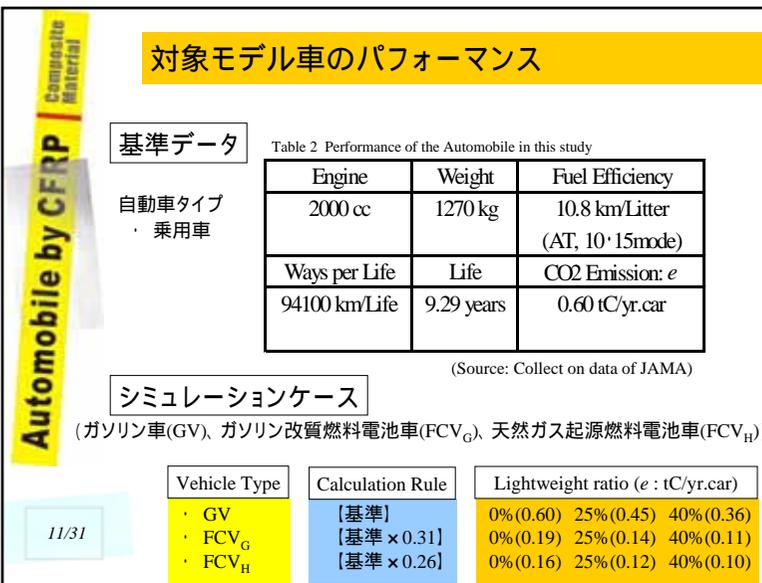
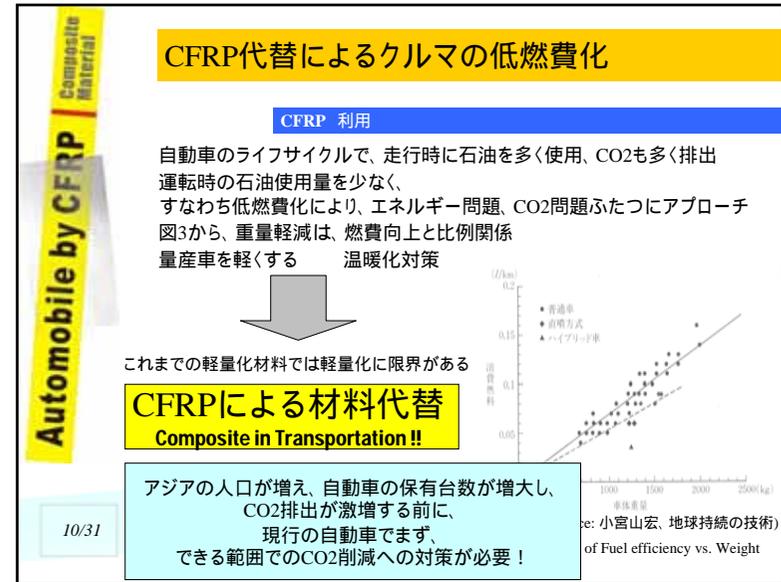
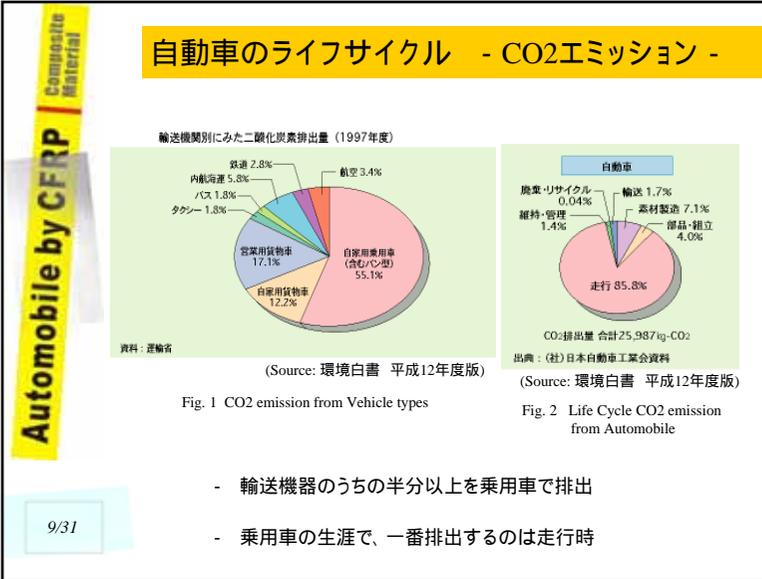
世界の石油使用量 年間35億kL

このままのエネルギー需要でいけば、石油は2045年で枯渇

- ・ 石油は使いやすいエネルギー資源 発展途上国使用開始  
オイルショックの懸念

輸送部門の発展が、石油需要を増やす要因

8/31



## FCV<sub>G</sub>のシミュレーション結果

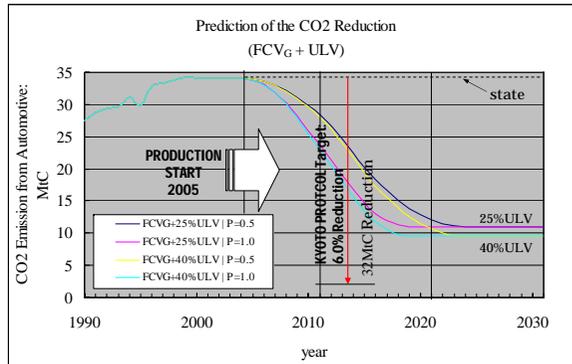


Fig. 5 Prediction of the CO2 emission from FCV<sub>G</sub> + ULV type Automobiles

13/31

## 日本におけるCO2削減効果

量産開始年が及ぼす影響 (代表例: GV+ULVの場合)

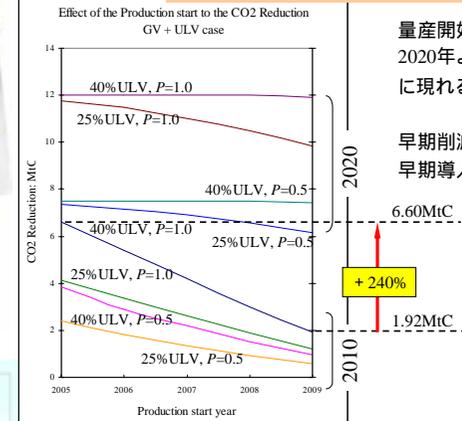


Fig. 6 Effect of the production start year

14/31

量産開始年による影響は、  
2020年よりも、早期の2010年  
に現れる  
早期削減効果を狙うためには、  
早期導入が絶対条件

## 日本におけるCO2削減効果

軽量化率(*lv*)が及ぼす影響 (代表例: GV+ULVの場合)

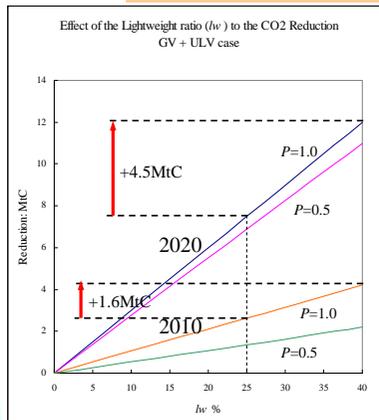


Fig. 7 Effect of the Lightweight ratio

15/31

軽量化率による影響は、  
2010年よりも、2020年の方が  
大きい

後半になったら、軽量化率を  
あげる方向で技術開発

## 日本におけるCO2削減効果

まとめ (CO2削減と石油節約の評価)

- 次のような削減ポテンシャルがあることを確認  
(すべてのシナリオで、普及飽和までにかかる年数、  
100万台導入 17年、50万台導入 23年)

Vehicle Type	Reduction Potential	Oil Saving
GV	7.5 - 12.0 MtC	1,000 - 1,700 万kL
FCV <sub>G</sub>	24.0 - 25.0 MtC	3,400 - 3,570 万kL
FCV <sub>H</sub>	23.0 - 24.5 MtC	3,200 - 3,500 万kL

(現状から、8%削減 (最大で日本が使用する1990年排出レベルまで削減)) (最大で日本が使用する石油の1割を節約)

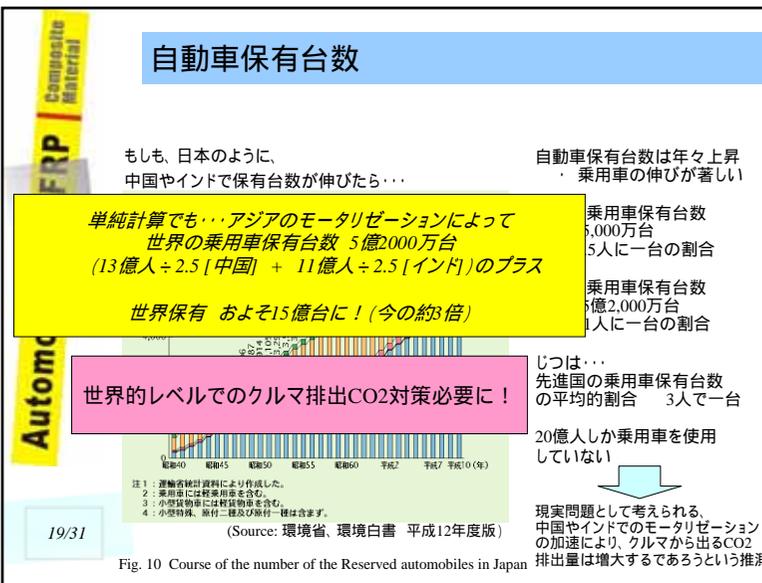
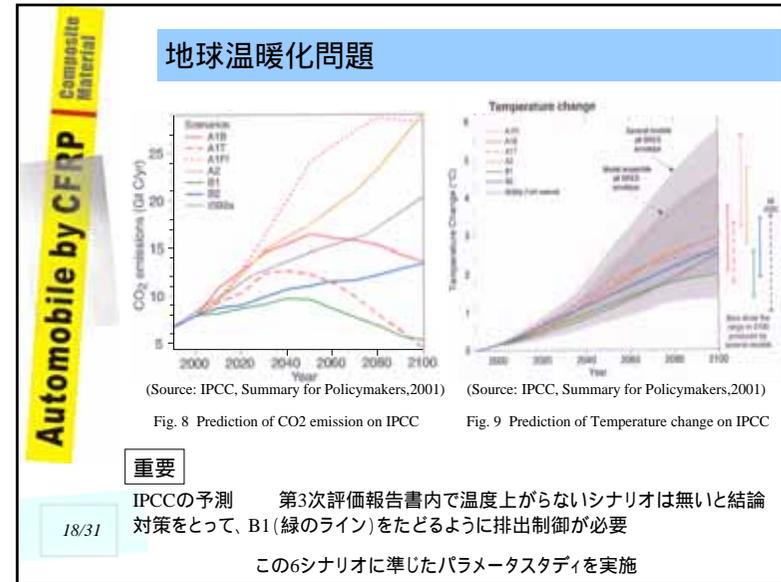
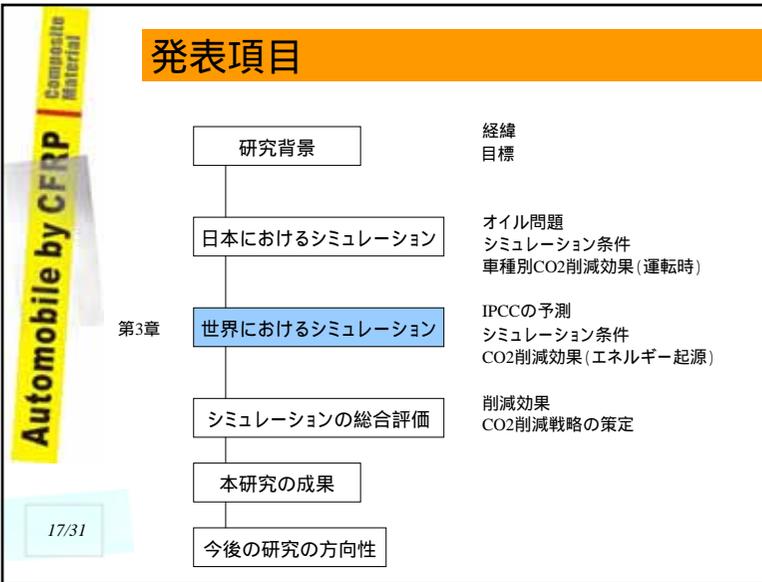
(2010年効果)

- 2010年で効果を出すような即効性に富んでいるのは、FCVとの組み合わせ
- ただし、GV+ULVでも、導入時期を早めてやれば、2010年効果の期待大

16/31

(2020年、2030年効果)

- 2020年、2030年効果では、削減ポテンシャルでの効果



**シナリオの説明**

考えた排出シナリオは3つ

- [1] 中国のモータリゼーションが興らない安全ケース
- [2] 中国における国民ひとり当りのCO<sub>2</sub>排出量が、日本と同等(2.5MtC/年)
- [3] 中国の自動車普及速度が日本と同じ(30年間で2.5人に一台にまで成長)  
- インドもこの3つに準ずる

上のシナリオ下で軽量車普及6パターン

- ・ IPCCに準じて考察
- ・ 普及率で、それぞれのケース分け

シミュレーションの手順

3シナリオにおける自動車保有台数の推移予測  
保有台数予測から得られた値を、普及率として整理  
3シナリオの普及率と、技術的、志向的判断から、IPCCのシナリオに対応

20/31

## アジアンの脅威 シナリオ[3]

中国・インドにおける自動車普及速度が日本と同じ

Table 7 Reserved automobiles change on Scenario [3]

number of automobile in 1998 [million cars]				
	CHINA	INDIA	JAPAN	WORLD
reserve	6.6	4.8	50	520

CHINA: depend on production rate 15.3% increase  
INDIA: depend on production rate 15.3% increase

number of automobile in 2030 [million cars]				
	CHINA	INDIA	JAPAN	WORLD
reserve	623	459	50	1602

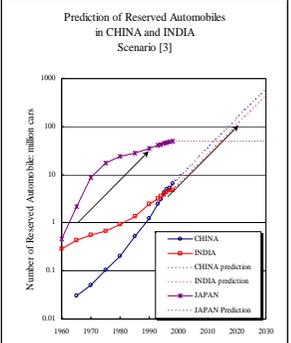


Fig. 11 Prediction of Reserved automobile on scenario[3]

21/31

・ 30年の間に自動車保有率が、2.5人に一人になったのと等価

## 世界におけるCO2削減効果

無対策ケース(中国、インド・運輸部門篇)

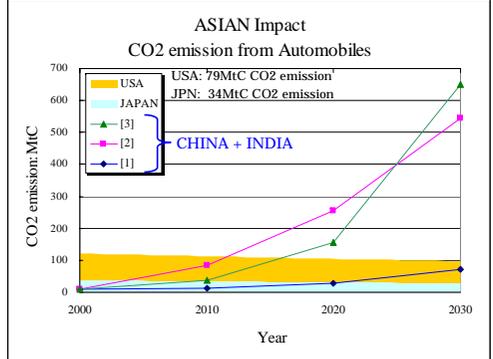


Fig. 12 Prediction of CO2 emission increase from automobile only on ASIAN Impact

シナリオ[3] 2010年で日本を越えて、2020年で日本 + アメリカを越えて... 2030年には、ナント! 乗用車だけで、日本のエネルギー起源の2倍排出!

22/31

## 世界におけるCO2削減効果

GV  
 $e=0.6$

OECDが京都プロトコルルールオーダーの削減をしたケース

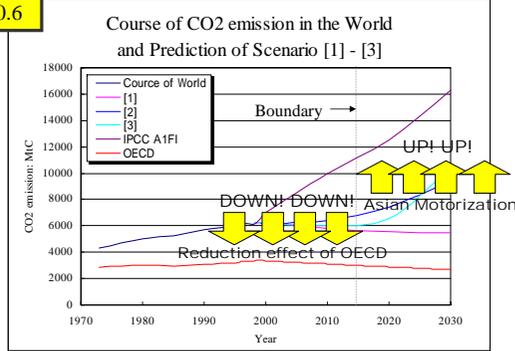
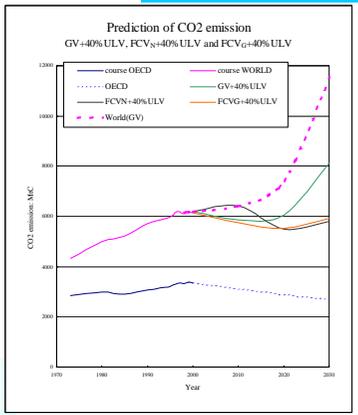


Fig. 13 Course and Prediction of CO2 emission from human activities scenario[1] - [3] in the World within OECD effect

23/31

## 世界におけるCO2削減効果

普及率0.5の場合



- = 導入条件 =
- GV+40% ULV 2005年導入
  - FCV<sub>G</sub>+40% ULV 2007年導入
  - FCV<sub>N</sub>+40% ULV 2010年導入
- = 無対策 =
- 2010年頃から急激に排出増大
  - 2030年には11,500MtCに到達
- = OECD + ULV の効果 =
- FCV+ULVで現状レベルに抑えることが可能
  - 普及率0.5の場合には、FCVの導入必須
  - GV+ULVでも8,000MtCで抑制(増分5,000MtCを半分にできる)

Fig. 14 Simulation result of the diffusion ratio 0.5 case

24/31

## 世界におけるCO2削減効果

アジアインパクトによる石油の埋蔵量の推移

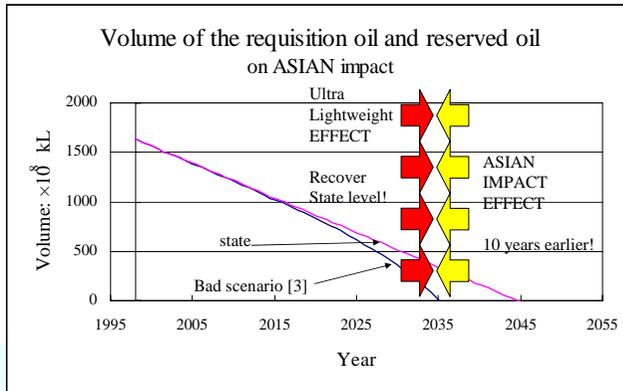
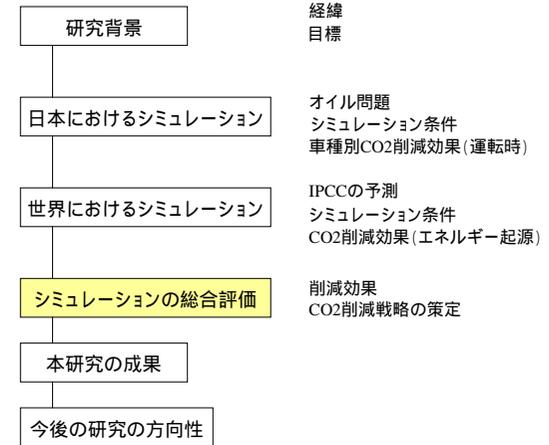


Fig. 15 Change of the volume of the requisition oil and reserved oil

25/31

## 発表項目



26/31

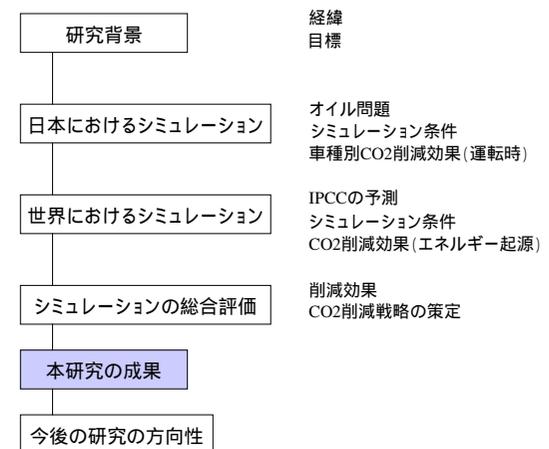
## シミュレーションの総合評価

総まとめ

- 【日本】**
  - ・ 早期導入により、2010年効果大
  - ・ 2020年効果では、40%軽量化の方が期待大
- 【世界】**
  - ・ アジアンインパクト(アジアモータリゼーション)による影響は、2020年から顕著
  - ・ 石油は、乗用車増分だけで最悪シナリオで寿命が10年縮まり、2035年で枯渇
- 【戦略】**
  - ・ 2020年までは、国内で技術の習熟を目的とした導入  
理想のCF、マトリックスのマッチング、CFRPクルマで世界一の技術(国益)
  - ・ 2020年以降は、中国やインドに技術を流出
  - ・ 世界レベルで石油を節約し、自然エネルギー-水素社会までもたせるのが狙い

27/31

## 発表項目



28/31

## 本研究の成果

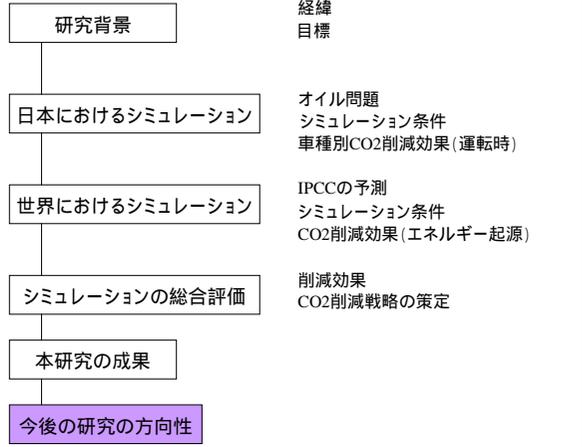
本研究では、以下のことを明らかにした  
(日本におけるシミュレーション)

- ・ ガソリン車、燃料電池車(共に乗用車)に超軽量化技術を導入した場合のCO2削減ポテンシャルおよび、石油節約量の見積もり  
GV+ULV は、最短17年で、最大12.0MtC/年の削減 (1,700万kL石油節約)  
FCV+ULVは、最短17年で、最大25.0MtC/年の削減 (3,570万kL石油節約)
- ・ 2010年効果と2020年効果両方でいい成果を期待するためには、軽量化率小さく、導入量多くで、早期量産開始をして、技術が成熟するにつれ、軽量化率を大きくしていくのが好ましい

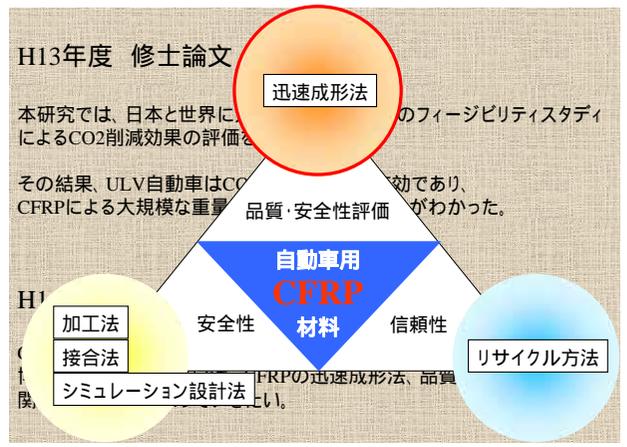
(世界におけるシミュレーション)

- ・ アジアンインバクトの脅威を明らかにし、それに対抗する戦略を考察した  
先進国の京都削減ルールで削減が行われていけば、CO2排出は2020年まで激増しない  
2020年まで日本国内で技術を成熟させ、2020年以降に対抗勢力として流出  
本技術を用いた世界的な戦略で、石油は自然エネルギー社会までもたせることが可能

## 発表項目



## 今後の研究の方向性



## 本研究テーマにたどり着くまで

自動車の軽量化は燃費改善につながる技術である

日本における運輸部門の温暖化対策の中で、クルマの大規模な軽量化は重要な対策としての位置付けになっている

アルミニウム合金では、7%程度の軽量化しか見込めない(限界)  
マグネシウム合金を利用すると、成形時のリスクが伴う(危険)

\* (成形法) マグネ 液体マグネ(大気中で燃えやすい性質) 型に流し込んで成形

そんな中、CFRPを利用した技術は、F1やコンセプトカーに導入されてきており、最近になって特に注目されるようになった

## 平成13年度は温暖化問題 変化の年

本研究テーマ遂行の幾つかのきっかけ

2001年1月～3月

90年、95年、と温暖化を予測してきたIPCC(気候変動に関する政府間パネル)の温暖化最新予測報告書『第三次評価報告書』が発表された

2001年10月29日～11月9日 モロッコ国マラケシュ

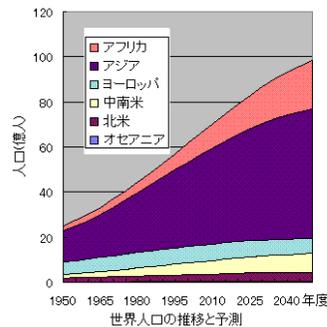
COP7で京都プロトコルで採択された「温室効果ガスの削減ルール」が概ね合意された 6%削減の国内対策に向けての準備が加速

CFの価格破壊が起こった年 3,000円/kg 1,400円/kg(半値以下)

来年度以降での大ブームを見込んで、早急なフィージビリティスタディが必要であると考えた

## 研究背景 世界の状況

### 人口増加問題



(Source: 資源・エネルギー庁)

Fig. 3 Course and Prediction of World Population

増えるアジアにおけるモータリゼーションの脅威  
化石資源の大量利用

35/31

## 日本におけるCO2削減効果

### 排出原単位

GV + ULV

$$e = 0.60 \times (1 - lw)$$

FCV + ULV

$$e = 0.60 \times gv \cdot (1 - lw)$$

[記号の説明]

gv ガソリン車を1としたときの

排出割合

lw CFRP代替による軽量化率

e 本パラメータスタディにおける

排出原単位

GV: 現行のガソリン車

ULV: 超軽量化技術

FCV: 燃料電池車

(N: 天然ガス起源型,

G: ガソリン改質型)

Table 3 value of gv, lw and e

Automobile type	gv	lw	e
GV			0.60
GV+25%ULV		25	0.45
GV+40%ULV		40	0.36
FCV <sub>G</sub>	31		0.19
FCV <sub>H</sub>	26		0.16
FCV <sub>G</sub> +25%ULV	31	25	0.14
FCV <sub>G</sub> +40%ULV	31	40	0.11
FCV <sub>H</sub> +25%ULV	26	25	0.12
FCV <sub>H</sub> +40%ULV	26	40	0.10
	%	%	tC/yr.car

軽量化率は、25%軽量化、40%軽量化に設定

36/31

## 日本におけるCO2削減効果

IPCCに準じた、削減シナリオ(軽量化の位置付け)

Table 4 CO2 Reduction scenario in this study

IPCC's SRES scenario (the WORLD base)		in techniques	
population	increase and decrease	innovations	states
		A1FI	B1
		A1T	
A1B			
increase		A2	B2

IPCCのA1, B1シナリオに準じた  
A1とは、環境志向で技術が発展  
B1とは、省エネ志向で技術が停滞

FIとは、化石資源重視  
Tとは、自然エネルギーへシフト  
Bとは、化石資源と自然エネの  
バランス利用

present scenario (JAPAN base)		in techniques	
reserved automobile	constant	innovations	states
		GV +40% ULV	GV +25% ULV
		FCV <sub>N</sub> +40% ULV	FCV <sub>N</sub> +25% ULV
increase		FCV <sub>G</sub> +40% ULV	FCV <sub>G</sub> +25% ULV
		A2	B2

技術力 - 現状維持(B1)  
25%軽量化

技術力 - 革新的な進展(A1)  
40%軽量化

37/31

## 世界におけるCO2削減効果

普及率に整理

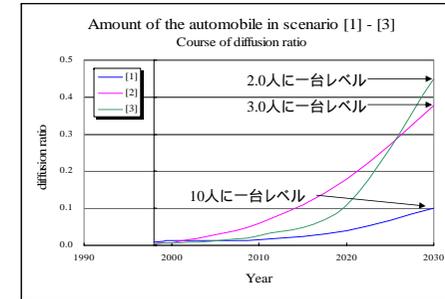


Fig. 16 Diffusion ratio

38/31

## 世界におけるCO2削減効果

GV  
e=0.6

無対策ケース(世界・エネルギー起源篇)

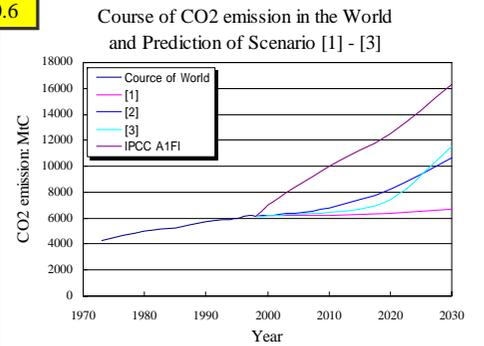


Fig. 18 Course and Prediction of CO2 emission from human activities scenario[1] - [3] in the World

39/31

## 世界におけるCO2削減効果

普及率と対策技術のIPCCシナリオとの対応

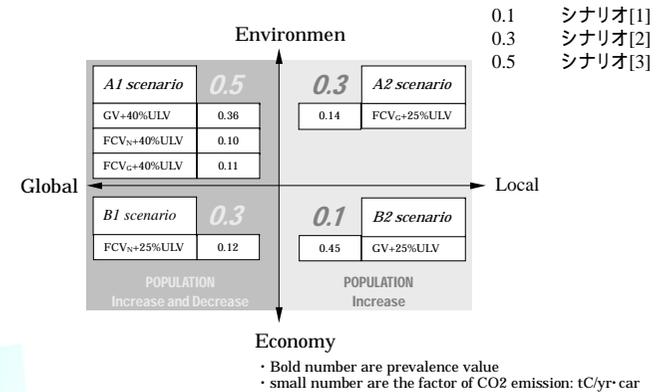
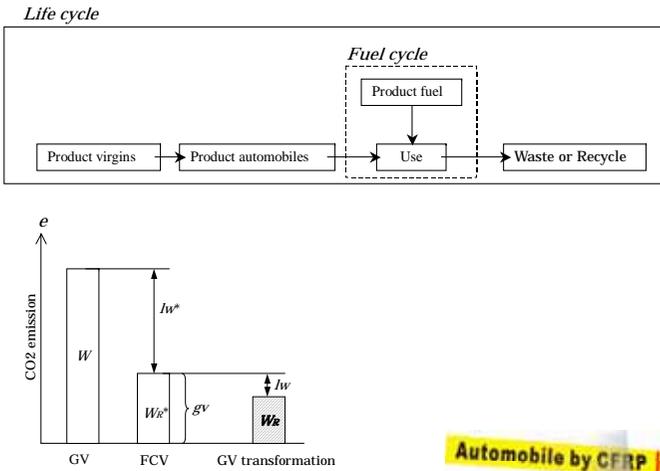


Fig. 20 IPCC's SRES scenario matching

40/31

Appendix 1 : 相当軽量化率  $gv$  の定義



Automobile by CFRP Composite Material

研究背景 国内の状況

日本における運輸部門と京都プロトコルで交わした約束



削減の可能性と、効果のポテンシャルを思えば、  
運輸部門における温暖化対策が有効！

しかも、クルマ！ まずは保有台数の多い自家用乗用車から！！

(Source: 環境省、環境白書 平成12年度版) (Source: 環境省、環境白書 平成12年度版)  
Fig. 5 Course of CO2 emission on the individual sessions Fig. 6 CO2 emission from Vehicle types

運輸部門は1990年に比べて、2割近くも排出が増えている (図6)  
しかも、総排出量では部門第2位

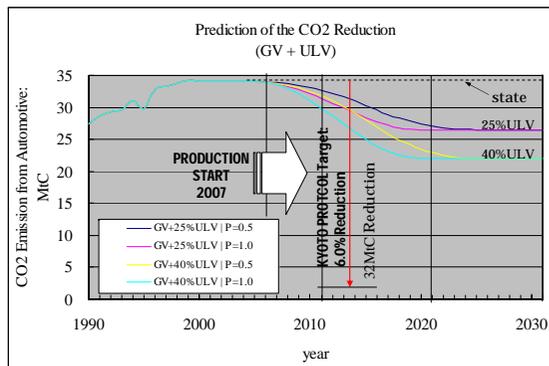
クルマの中で、自家用乗用車の排出量が多い (図6)

42/42

京都プロトコルルール 日本は、1990年比で温室効果ガスを2.2% (森林吸収分3.8%) 削減

日本におけるCO2削減効果

GVのシミュレーション結果

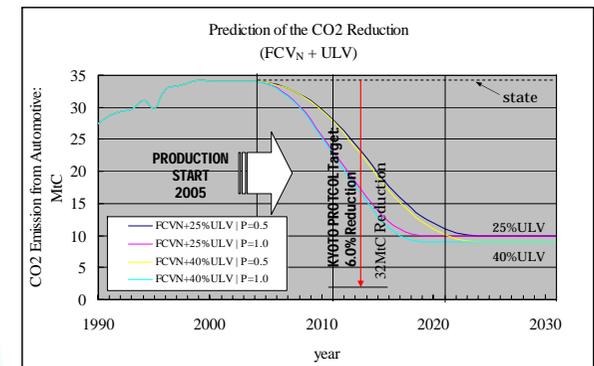


43/42

Fig. 11 Prediction of the CO2 emission from GV + ULV type Automobiles

日本におけるCO2削減効果

FCV<sub>N</sub>のシミュレーション結果



44/42

Fig. 12 Prediction of the CO2 emission from FCV<sub>N</sub> + ULV type Automobiles

## 世界におけるCO2削減効果

アジア・インパクトの脅威(人口増加)

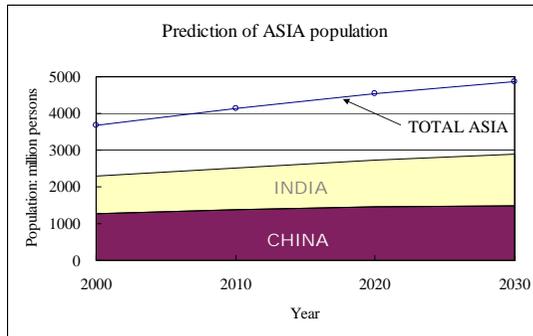


Fig. 15 Prediction of the Asia Population

45/42

- アジアの人口増加の半分以上を、中国とインドが占める
- 世界レベルでも、アジアの人口増加は大きい

## 世界におけるCO2削減効果

アジア・インパクトの脅威 シナリオ[1]

Table 5 Reserved automobiles change on Scenario [1]

number of automobile in 1998 [million cars]				
	CHINA	INDIA	JAPAN	WORLD
reserve	6.6	4.8	50	520

CHINA: 5 million car production project for 2010 - 2020  
INDIA: depend on CHINA impact

number of automobile in 2030 [million cars]				
	CHINA	INDIA	JAPAN	WORLD
reserve	65	55	50	640

・実現性の高い、第9次5ヵ年計画を参考

46/42

- ・インドのデータは、中国と同じ発展速度とし、人口の割合から中国のデータに11/13を乗じて得た

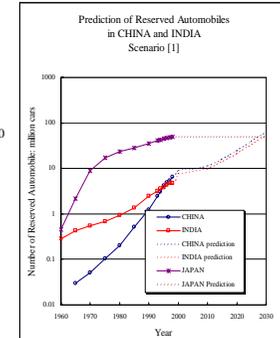


Fig. 16 Prediction of Reserved automobile on scenario[1]

## 世界におけるCO2削減効果

アジア・インパクトの脅威 シナリオ[2]

Table 6 Reserved automobiles change on Scenario [2]

number of automobile in 1998 [million cars]				
	CHINA	INDIA	JAPAN	WORLD
reserve	6.6	4.8	50	520

CHINA: CO2 emission on human activities is Japan level  
INDIA: CO2 emission on human activities is Japan level

number of automobile in 2030 [million cars]				
	CHINA	INDIA	JAPAN	WORLD
reserve	575	330	50	1425

- ・中国、インドにおける、ひとりあたりのCO2排出量が日本と同じレベル(2.5tC/年)まで上昇したと仮定

47/42

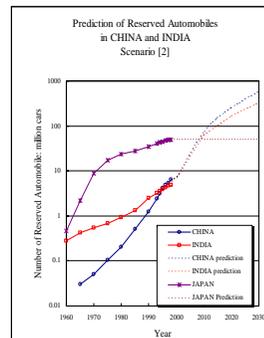


Fig. 17 Prediction of Reserved automobile on scenario[2]

## 世界におけるCO2削減効果

普及率0.1の場合

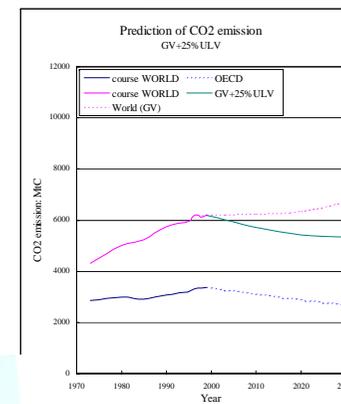


Fig. 21 Simulation result of the diffusion ratio 0.1 case

= 無対策 =

- いまのGVが普及し続けても2020年までは現状維持

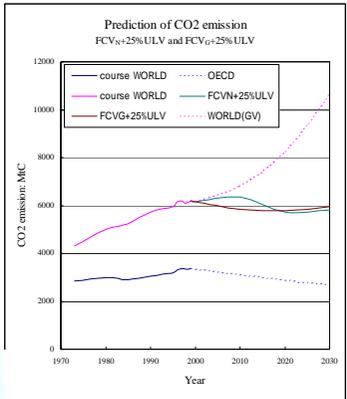
= OECD + ULV の効果 =

- OECDの削減効果との相乗効果で、
- 現状の6,400MtCから、5,400MtCまで排出抑制(1,000MtC削減)

48/31

## 世界におけるCO2削減効果

普及率0.3の場合



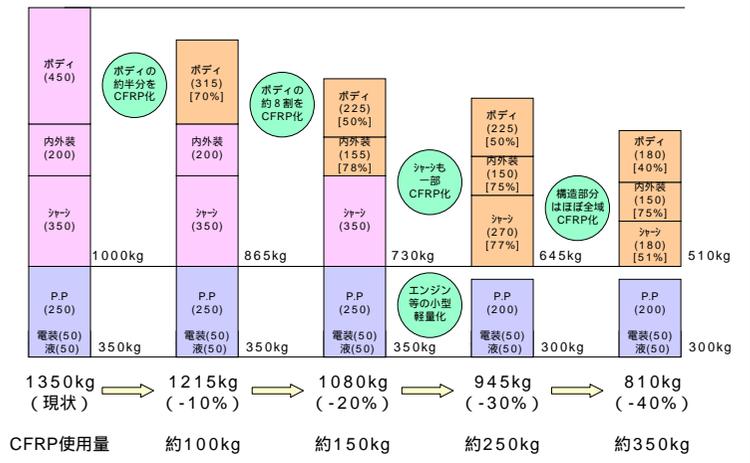
= 無対策 =  
 - 2010年頃から急激に排出増大  
 - 2030年には10,600MtCに到達

= OECD + ULVの効果 =  
 - 現状レベルに抑えることが可能  
 - 普及率0.3の場合には、FCVの導入必須

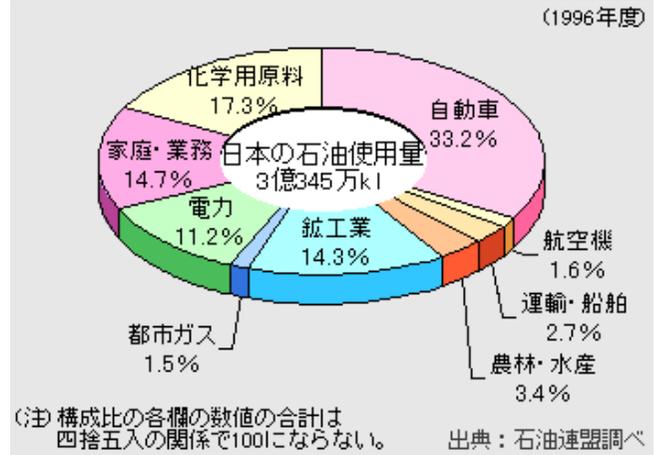
49/31

Fig. 22 Simulation result of the diffusion ratio 0.3 case

## 車体軽量化目標値・CFRP適用箇所・CFRP必要量の概算



## 日本の石油の用途



## CFRP利用の環境負荷

素材製造時における消費エネルギー増分、CO2排出量増分 (鉄鋼材料との比較)

