

持続可能な自動車使用に向けて —買い替えサイクルと環境—

卒業論文

慶應義塾大学経済学部 大沼あゆみ研究会

江尻 真穂

Be faithful in small things

because it is in them that your strength lies.

—Mother Teresa—

目次

序章

第一章 自動車市場の現状

- 1-1 自動車産業の重要性
- 1-2 生産台数
- 1-3 販売台数
- 1-4 販売台数低迷の要因

第二章 各メーカーの対応

- 2-1 対策方法
- 2-2 各メーカーの実行例

第三章 買い替えサイクルの長期化による環境への影響

- 3-1 古い車の増加による影響
- 3-2 環境白書
- 3-3 問題提起

第四章 自動車と環境問題

- 4-1 地球温暖化問題
- 4-2 廃棄物問題
- 4-3 資源の利用

第五章 分析

- 5-1 前提
- 5-2 シミュレーション
- 5-3 考察

第六章 持続可能な自動車使用に向けて

- 6-1 燃費改善
- 6-2 ASR リサイクル
- 6-3 資源の再利用

終章

参考文献

ワークシート

序章

現在日本の自動車市場を取り巻く状況は非常に厳しいものとなっている。特に自動車に関連する環境問題は地球温暖化、酸性雨問題、エネルギー問題、廃棄物問題、リサイクルなど多岐に渡る。こうした中でマイカーから公共交通機関へのモーダルシフトをすすめる動きもあり、自動車市場は今転換の時期を迎えている。実際海外、特に中国やインドなどの発展著しい国々では自動車の販売台数は伸びているが、使用期間の長期化などにより国内でのそれは頭打ちとなっているのが現状である。

車というものは人によって価値が異なる。行きたい場所へドア to ドアで連れていってくれる移動手段、外にいながら私的な空間を保てる場所、趣味、仕事のパートナーなど実に多様である。これ程身近で様々な価値を備えている消費財を私は他に知らない。この論文では自動車販売台数低迷の 1 つの要因となっている「買い替えサイクルの長期化」に注目する。モノをより長く使うことは環境にやさしい行動として推奨されているが、自動車においてもそのことは言えるのだろうか。買い替えサイクルの長さによって環境への影響にどのような変化が見られるのか分析・考察する。近年、自動車の負の部分ばかりが強調されているが、環境負荷を最小限抑えながら自動車を使い続ける方法はきっとあるはずであるし、消費者の一人として自動車とのより良い付き合い方をこの論文を通して考えていきたい。

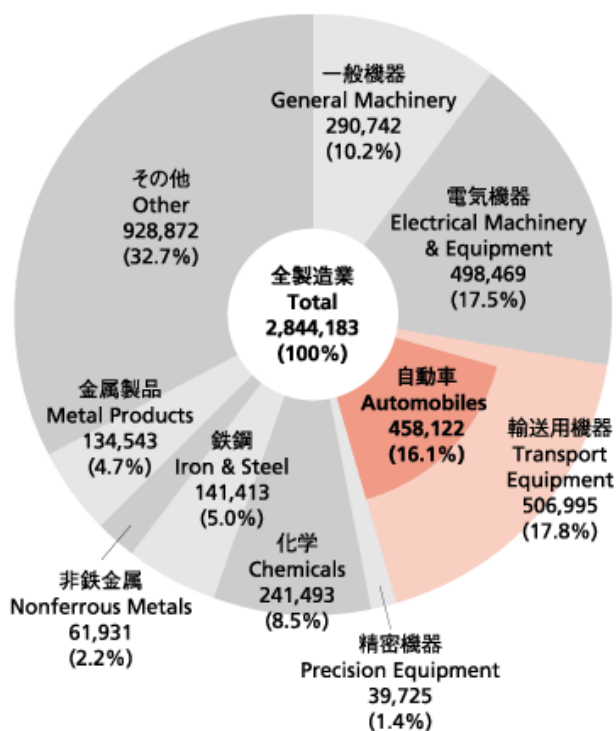
第一章 自動車市場の現状

1-1 自動車産業の重要性

自動車産業は製造・販売をはじめ整備・資材など各分野にわたる広範な関連産業を持つ総合産業で、これら自動車関連産業に直接・間接に従事する就業人口は約 486 万人（全就業人口の 7.7%）にのぼり、大きな雇用機会を創出しているといえる。また、2004 年の自動車製造業（二輪自動車、車体・付随車、部分品・付属品を含む）の製造品出荷額等は、前年より 1.7%増の 45 兆 8,122 億円であった。全製造業の製造品出荷額等に占める自動車製造業の比率は 16.1%となり、機械工業全体に占める自動車製造業は、34.3%であった。自動車産業は、日本経済を支える重要な基幹産業としての地位を占めていると言える。自動車産業には CO2 排出や廃棄物など様々な環境問題を抱えているが、自動車産業は日本にとって欠かす事の出来ない最も重要な産業の一つであることを前提としてこれから論文を進めていく。

2004 年の主要産業の製造出荷額

単位:億円 x 100 million yen



自動車製造業製造品出荷額等の内訳 Breakdown of Automotive Shipments:

- ・自動車製造業（二輪自動車を含む）Automobiles (including motorcycles) 223,912
- ・自動車車体・付随車製造業 Auto bodies and trailers 21,313
- ・自動車部分品・付属品製造業 Automotive parts and accessories 212,897

出典：社団法人日本自動車工業会

1-2 生産台数

日本の乗用車生産台数は年々増加しており、全体に占める日本の割合は約 20%にも及んでいる。最近では特にトヨタ自動車の成長が目覚ましく、ダイハツ工業と日野自動車を含めたグループの 2007 年の世界生産台数を 2006 年見込み（904 万台）に比べ 4%増の 942 万台とする計画を発表し、販売台数は、6%増の 934 万台を見込んでいる。現在、世界トップの米ゼネラルモーターズを抜き、生産と販売の両面でトヨタが世界一に立つことがほぼ確実となっている。

■主要自動車生産国の乗用車生産台数

(単位：千台)



注)生産台数は2006年3月現在の公表値。フランスは1998年から生産台数の算出方法を変更(1997年までさかのぼって修正)。2004年より中国を追加。2005年の「その他」は推計。2005年の乗用車生産合計値はVDA(Verband der Automobilindustrie)推計およびWard'sによる。

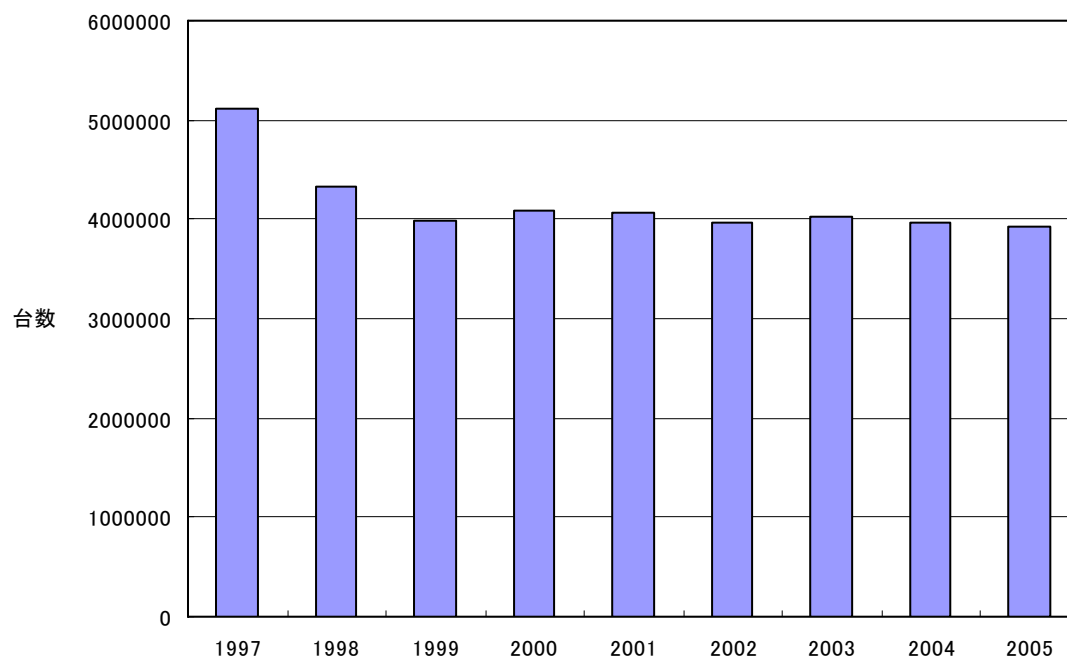
資料：各国自工会

出典：トヨタ自動車 HP

1-3 販売台数

国内の新車販売台数（軽自動車を除く）は、1990年の約 590 万台をピークに減少傾向にあり、2005 年度は 391 万 3184 台と前年比マイナス 0.7%となっている。3 年連続で前年度実績を下回っている。上で述べたように、日本の乗用車生産台数は年々増加している一方、国内の販売台数は 1999 年以降頭打ちになっており、増加した乗用車生産の行方は海外へ向かっていると言える。

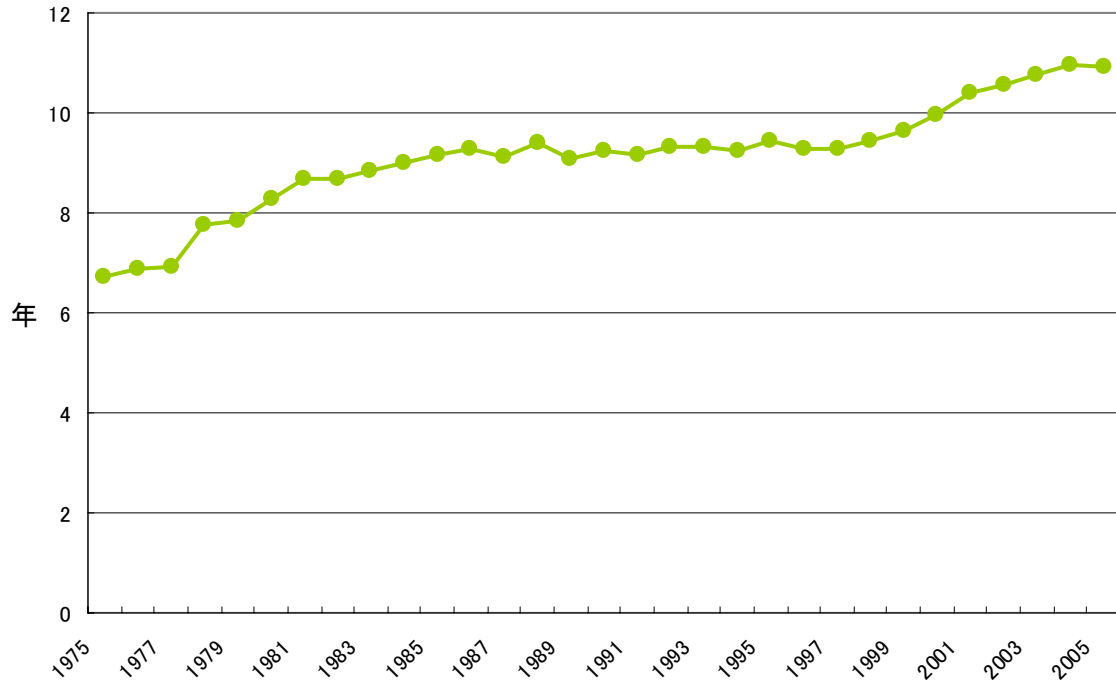
国内販売台数の推移



出典：社団法人日本自動車販売協会連合会

このような国内販売台数の低迷を顕著に表していることとして、ユーザーが乗用車をより長く使用する傾向がある。乗用車の平均使用年数は年々増加しており、2005年には10.93年となっている。これは、1975年の1.6倍にあたる。前保有車の平均使用期間平均6.8年を10年前（1995年）の調査との比較で詳しく見ると、「使用期間4年以内」は全体の24%だったものが13%に大きく減少。「6年以内」も29%から24%に減少した。「8年以内」は10年前の調査も今回も20%だったが、「使用期間10年以内」は15%から26%に大躍進した。14%を占めた10年以上使っていたというユーザーを含めて、代替したユーザーの40%が8年以上経過した車に乗り続けている。このように、乗用車の買い替えサイクルが延び、一台を長く使用する傾向にある。

平均使用年数推移



出典：財団法人自動車検査登録協力会

1-4 販売台数低迷の要因

なぜ国内の乗用車販売が頭打ちとなっているのか。原因は4つ考えられる。

(1) 景気の停滞

日本経済はバブルをきっかけとして長期の不振に陥り、それに伴い個人消費も落ち込み、乗用車の買い替えを控えたと考えられる。2006年7-9月期（第3四半期）の日本の国内総生産（GDP）は年率2.0%の伸びを記録、7四半期連続の成長になり、いざなぎ景気を抜く戦後最長の景気拡大と言われている。しかしながら、景気の回復という状況においても賃金の減少などの影響を受け、個人消費は振るわないままである。

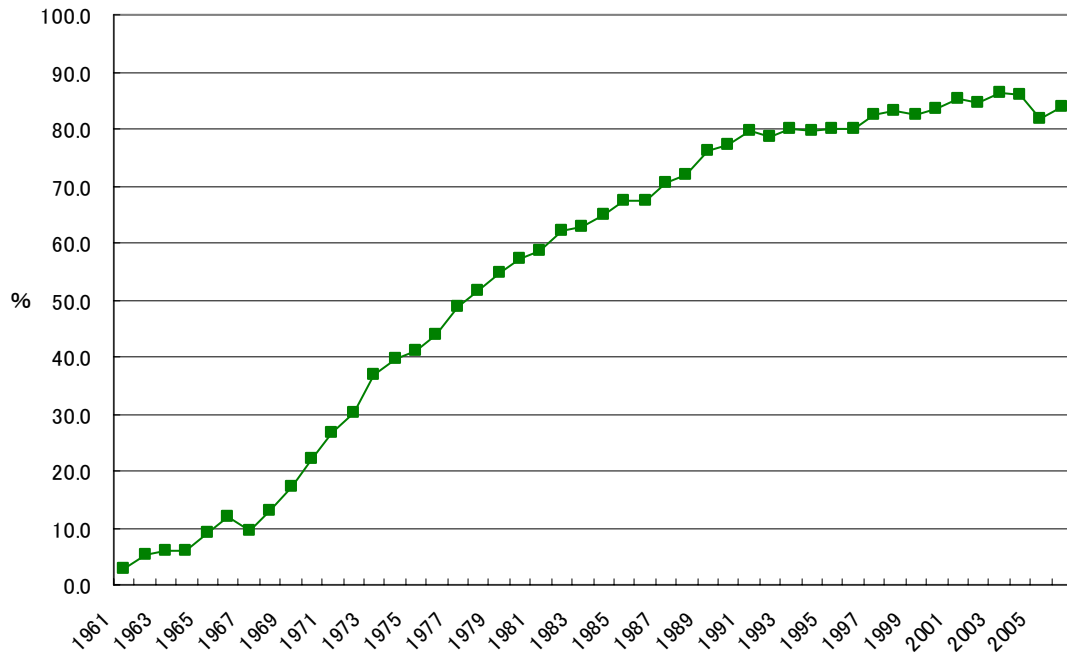
(2) 車検制度の改正

1995年7月に車検制度が変更になり、初度登録から10年経過した乗用車の車検が1年ごとから2年ごとに延長された。購入のきっかけの上位にある「車検到来」が、制度変更により延びたことで10年を超えて保有している車の買い替え動機が減退したと考えられる。

(3) 普及率の上昇

1980年代の乗用車普及率の上昇と比較して、1990年代の伸びは緩やかとなっていて、このまま頭打ちの状態は続くと言われる。

わが国の乗用車普及率



出典：内閣府「消費者動向調査」

(4) 人口構成の変化

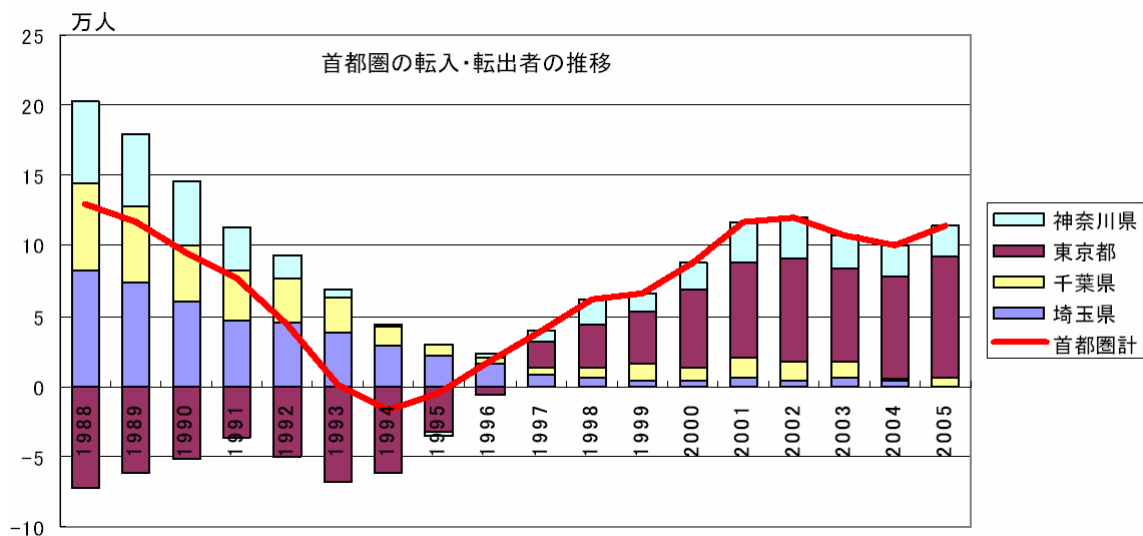
乗用車の新規購入層に当たる15歳～29歳人口の伸び率が、少子化を背景に94年以降マイナスがつづいており、自動車免許保有者全体の伸びも1985年以降ほぼ一貫して鈍化している。15歳～29歳人口は、2001年で2525.4万人であったが2020年には1810.7万人にまで減少する見込みであり、乗用車の販売台数は停滞するものと考えられる。

(5) 品質の向上

意識調査で、「従来よりも買い替えサイクルが長くなる」と答えたユーザーの中で保有が長期化する最大の理由は「今の車のいたみが少ない」という答えで、51%がそう答えた。品質向上を果たした日本車はユーザーの「もったいない」意識を触発し、代替期間を引き延ばしているといえる。

(6) 都心部への人口集中

首都圏特に交通機関の発達した都心部に住んでいれば、車を保有する必要性はさらに薄くなる。加えて駐車料金の高騰など金銭的なデメリットが生じる。下のグラフのとおり、1990年代からの首都圏への人口流入はバブル崩壊後に一旦落ち込んだものの、1995年以降は再び10万人前後の流入が続いている。すなわち、自動車を買う必要性のない人口が増えてきていると言える。



出典：総務省

(7) 車の家電化

車を趣味の一つとして乗っている人が多かった時代では、買い替えサイクルは短かった。ガリバー自動車流通研究所の調べによると、現在では車を「単なる移動手段」としての関心しか持たない人が全体の44%を占めている。このため、モデルチェンジなどのメーカーによる需要喚起に左右されず、「あなたはどのタイミングで自動車の購入を検討しますか？」という問いに対して「所有する車が古くなったと感じた時」が46.6%、「所有する車が故障した時」が31.4%と消極的な買い替え理由が一般的となっている。このように、車に対するユーザーの思考が変わってしまい、実用性を重視する車の家電化傾向が起こっているといえる。

第二章 各メーカーの対応

2-1 対策方法

第一章で述べた現状の中、なんとかして乗用車の販売台数を上げようと自動車メーカーは努力を重ねている。その対応策を述べたい。

(1) 頻繁なモデルチェンジ

既存車種の外観、品質、機能を変更し、既存車種を陳腐化させ買い替え需要を創出する。変更の程度は様々でフルモデルチェンジのように新製品に近い場合もあれば、マイナーチェンジのように一部を改良する場合もある。欧米では10年間隔であるのに対し、わが国の乗用車メーカーは1960年代以降4年間隔でフルモデルチェンジを行ってきた。モデルチェンジによる売上増の効果はモデルチェンジをした年を含めて大体2年ぐらい続き、それをすぎると売上げは落ちる。そこで各製品のモデルチェンジの時期をずらし、全体として売上げと操業度の安定を図る。次表のようにトヨタのモデルチェンジの場合、1988年以前は3車種が同時にモデルチェンジされたことはなく、トヨタの主力車種に対する総需要管理の意図が見事に示されている。

トヨタ主力車種モデルチェンジ

年	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
カローラ	FC				FC					FC				FC	
コロナ	FC			FC					FC				FC		
マークII			FC					FC				FC			FC
カリーナ		○						FC				FC			
クラウン		FC				FC				FC				FC	

年	85	86	87	88	89	90	91	92
カローラ			FC				FC	
コロナ				FC				FC
マークII				FC				
カリーナ				FC				FC
クラウン			FC					FC

注) FC:フルモデルチェンジ ○:発売

出所) 『トヨタ自動車の実態』『新車発表ニュース』

引用) 伊丹敬之+伊丹研究室『日本の自動車産業:なぜ急ブレーキがかかったのか』NTT出版、1994年、203頁

(2) 車名の変更

新型の自動車を発売するに当たり、その車種のイメージに古臭さや安っぽさなどのネガティブなイメージが残っている場合、事実上のフルチェンジでありながら全く新しいペットネームが与えられる場合がある。こうして車名変更を行うことによって新しい需要を獲得することができる。最近では車名変更が一つのブームとなっている。日産はサニーをテ

イーダに、セドリックとグロリアをフーガに変更。トヨタもプラッツをベルタに、ファンカーゴをラクティスに変更した。しかし車名変更は認知度が下がるためリスクも大きい。

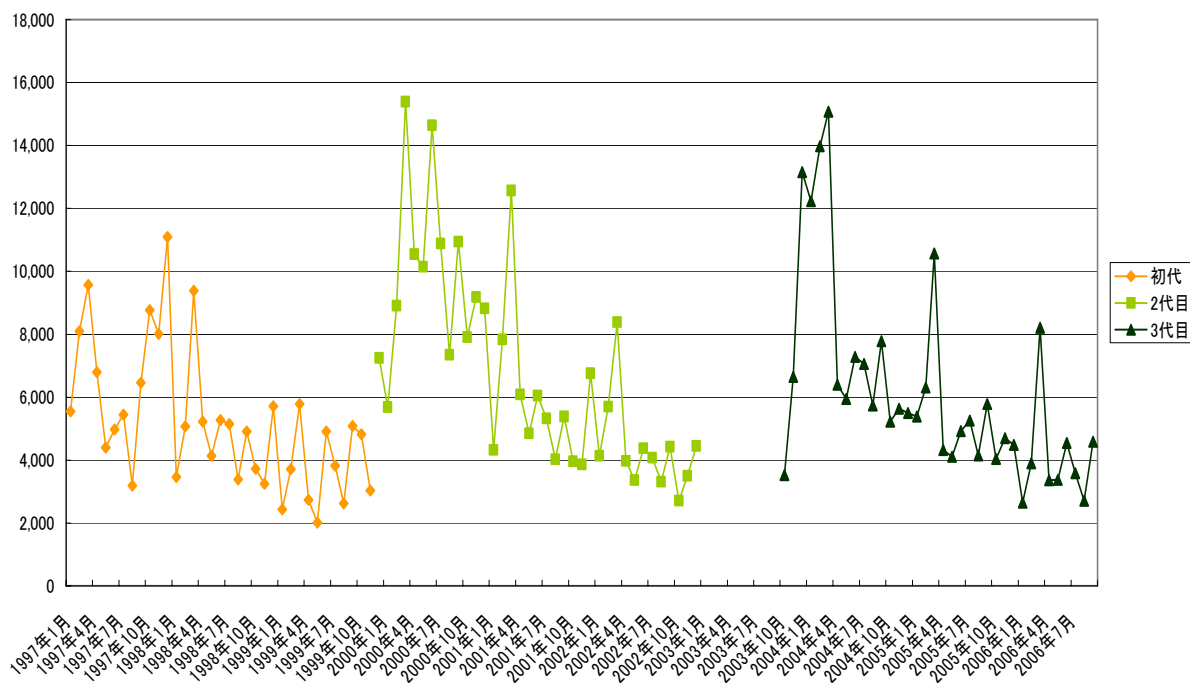
2-2 各メーカーの実行例

実際メーカーがとったモデルチェンジと車名変更の例を取り上げ、その効果を考察する。

(1) モデルチェンジ (ホンダ・オデッセイの例)

下のグラフはオデッセイの初代 (1994 年発売)・2 代目 (1999 年発売)・3 代目 (2003 年発売) の新車販売台数の推移を表したものである。ここで、2 代目と 3 代目に注目してみると、2 代目の販売台数は平均 6000 台前後で、続く 3 代目も同じように 6000 台前後で推移している。しかし、2 代目オデッセイは 1999 年 12 月に発売され、2001 年 4 月までほぼ 6000 台以上の販売を誇るが、3 代目は 2003 年 10 月から発売され 2004 年 10 月までは何とか 6000 台ペースだが、それ以降は登録台数の多い 2・3 月以外は 6000 台を下回っている。これは新車効果というものが薄れてきた結果となる。

オデッセイの販売台数推移



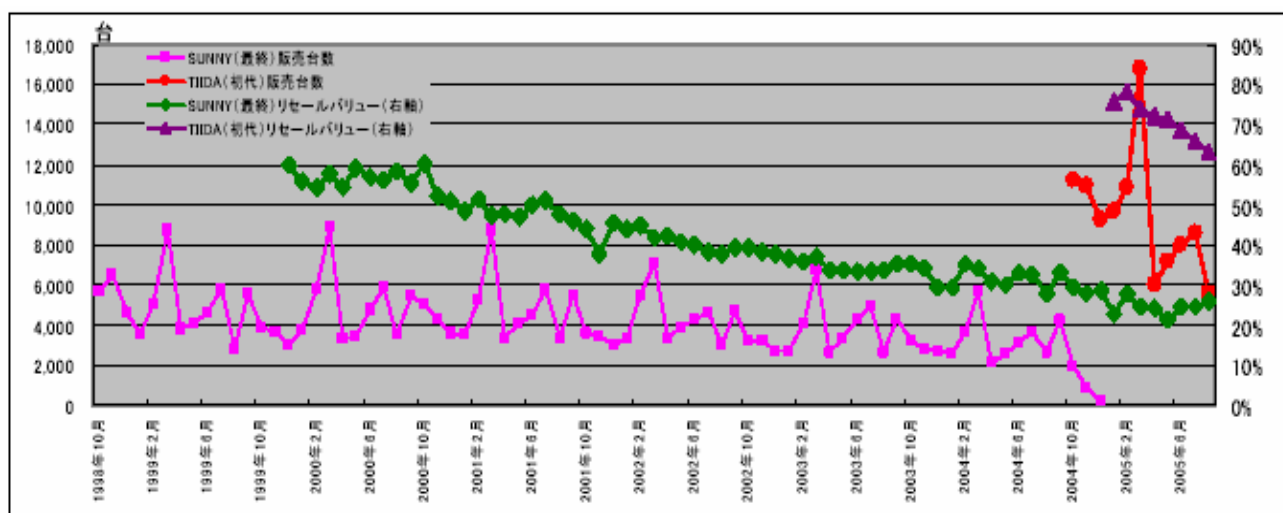
出典：日本自動車販売協会連合会

(2) 車名変更 (日産・ティーダの例)

ティーダの前身サニーは、デビュー当時からコンスタントには売れていたが、一般ユー

ザーへの販売というよりも社用車やレンタカーとしての販売が多かった。このようなビジネス向けの色の濃いイメージを払拭するため、車名を「ティード」と変えお洒落な一般ユーザー向けの車へと変貌した。

下のグラフはサニーとティードの販売台数の推移を表したものである。これを見るとわかるように、サニーはデビュー当時からコンスタントに 4000 台前後のセールスがあったのに対し、ティードは 2005 年 3 月には 16000 台を超える販売を達成しているにも関わらず 8 月には 6000 台程と約 10000 台急激に減少している。季節により販売台数は上下するが、サニーと比較するとその差は歴然としている。



出典：ガリバー自動車流通研究所

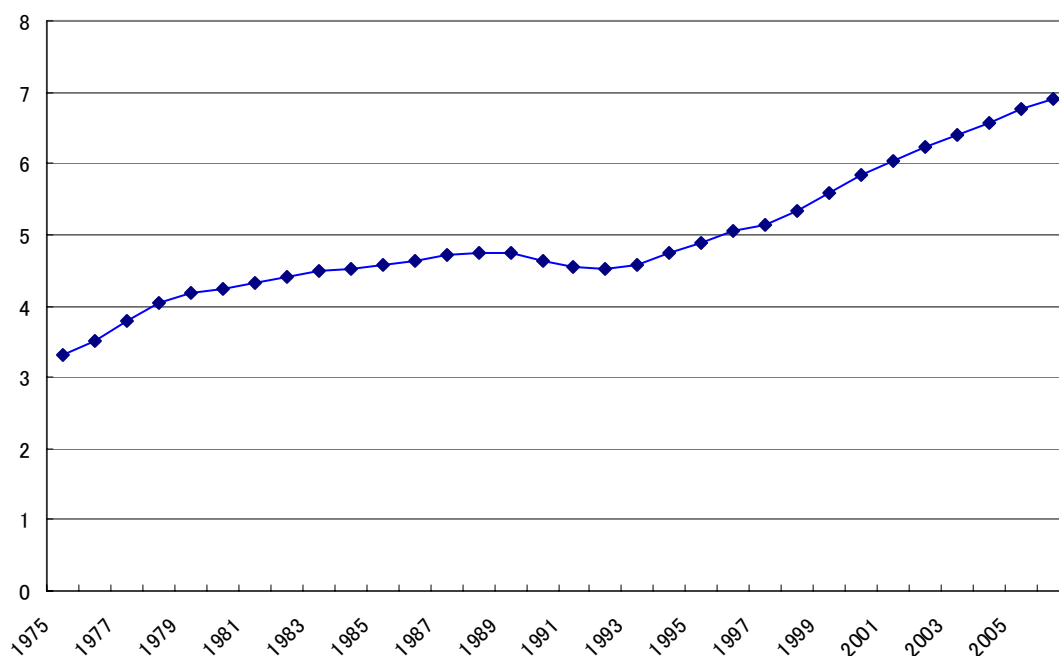
このように、各メーカーはモデルチェンジや車名変更などの方法によって、新車販売台数を増加させようと尽力しているにも関わらず、その効果はあまり現れていないというのが現状である。

第三章 買い替えサイクルの長期化による環境への影響

3-1 古い車の増加による影響

買い替えサイクルが長期化し、ユーザーが一台をより長く使用するようになったため、乗用車の平均車齢が年々増加している。1975年には3.3年だったのに対し、2006年には6.9年と2倍以上になっている。街中には以前よりも古い車が増加しているといえる。次にこのことがどのような点で環境に影響を与えているかを2点述べる。

乗用車の平均車齢推移



出典：財団法人自動車検査登録協力会

(1) 燃料消費効率

運輸部門のエネルギー消費の85%を占める自動車交通において、燃費改善によるCO₂排出量削減が強く求められている。それを受け、自動車産業では燃費改善のための様々な取り組みがなされている。その方法としては、エンジン本体の改良、エンジン使用域の最適化、エアコンなどの補機類の改良、動力伝達効率の向上、走行抵抗の低減、車両重量の軽量化、走行エネルギーの回収、動力源形式の変更などが挙げられる。下の図はガソリン乗用車のエネルギー消費変化の要因がそれぞれ全体に与える影響度を示したもので、棒下の数値は1990年から2001年にかけての変化率を表している。これを見ると、燃費は-14と改善しているにも関わらず保有者平均燃費は+5とわずかに悪化している。これは乗用車保

有期間が長期化していることによって燃費の良い新車への代替が遅れているためであると
考えられる。

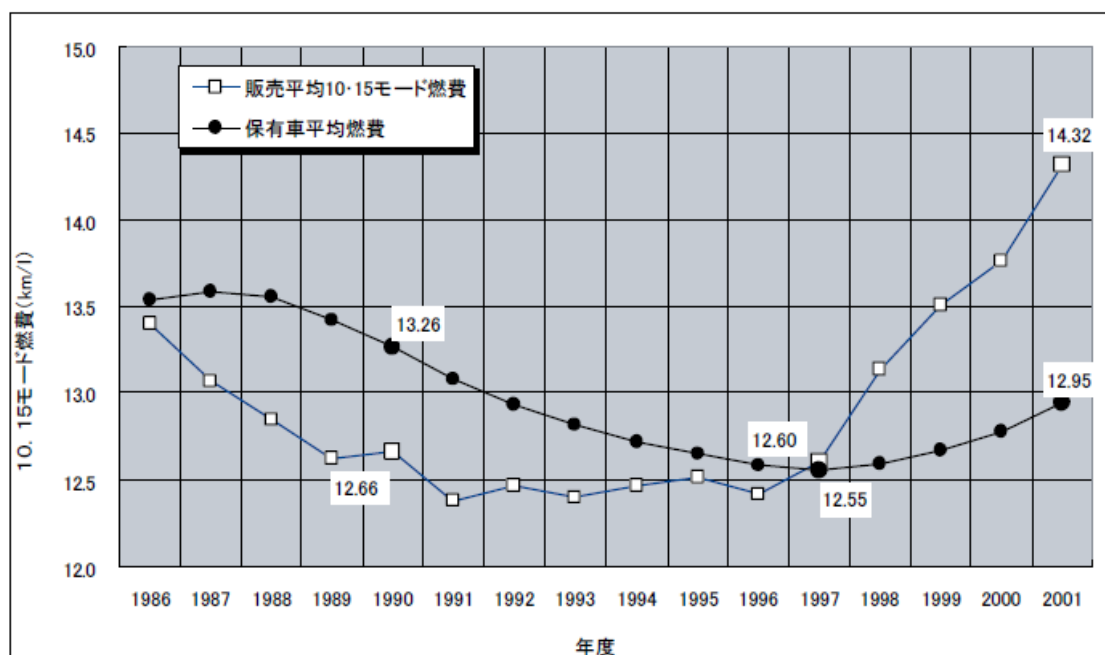
ガソリン乗用車のエネルギー消費変化の要因別寄与率



出展：日本自動車工業会

実際に乗用車の燃費を見てみると、新車販売平均の10・15モード燃費は低燃費車の導入により1997年以降著しく向上している。保有車平均燃費においても新車燃費の向上により1997年以降上昇に転じたけれども、2001年には新車販売平均燃費とは1.37km/lの差が生じている。

ガソリン乗用車の10・15モード燃費の推移



出典)『自動車統計月報』、自工会資料等より作成

*10・15モード燃費とは

東京都内の幹線道路における平均的な走行形態の10モードと、高速走行や渋滞など大都市における走行形態を反映させた15モードを図のように

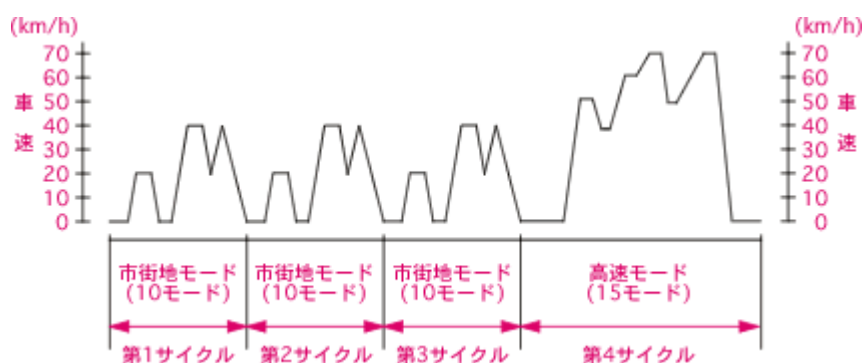
- ・市街地パターン（10モード）を3回
- ・高速パターン（15モード）を1回

の計4サイクルで走行したときの排出ガス量（g/km）を測定し、このときに消費した燃料を10・15モード燃費（km/l）として表示したもののことである。（計測走行距離4.2km、平均時速23km/h）

国土交通省認可時の測定条件としては、

- ・3,000km慣らし走行後の車両
- ・完全暖機状態 60km/h 15分暖機後モード測定
- ・走行抵抗設定 車両（空車）状態+110kg（2名乗車分）
- ・搭載電気機器 OFF 状態
- ・エアコン OFF 状態

がある。



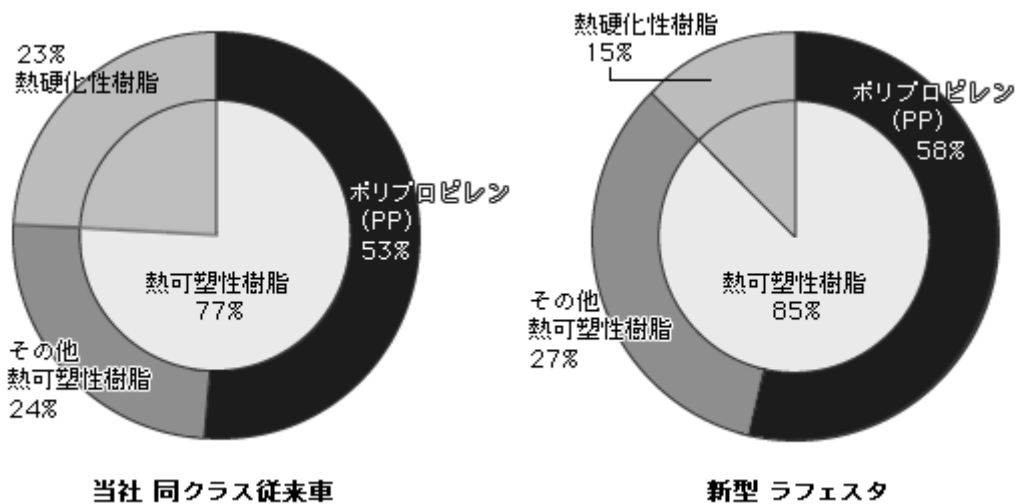
出典：本田技研工業

(2) リサイクル性

自動車のリサイクル技術も年々向上している。2005年に施行された自動車リサイクル法によって、メーカーに設計・製造の段階からリサイクルしやすい自動車づくりが一層求められるようになった。開発では、リサイクルしやすい材料の開発をはじめ、取り外し性に配慮した設計などに取り組み、生産では、各種リサイクル技術の開発・導入を図っている。

1997年に当時の通産省が定めた「使用済み自動車リサイクル・イニシアティブ」では、使用済み自動車のリサイクル率目標「2015年以降は95%以上」を達成することが求められている。このような国の積極的な動きに合わせ、日本自動車工業会は自主行動計画で自動車のリサイクル率を2002年で85%以上に、2015年には95%以上に引き上げる目標を掲げた。

日産自動車では、現在シュレッダーダストとして埋め立てられている樹脂材料のリサイクルを促進させるため、部品を単一素材で設計することを促進するとともに、リサイクルしやすい熱可塑性樹脂への変更やリサイクルしやすい材料の開発を進めている。下のグラフは日産自動車のミニバン型乗用車ラフェスタ（2004年発売）と同クラス従来車の熱可塑性樹脂の採用度を表したものである。従来車では77%であったのに対し、ラフェスタでは85%にまで上昇している。このように、リサイクル性向上技術は向上しており、古い車があふれている現在ではこの技術を最大限享受することができないといえる。



出典：日産自動車 HP

3-2 環境白書

上では買い替えサイクル長期化による環境への負の影響について述べたが、環境白書などは買い替えサイクル長期化を全面的によしとする流れにある。というのも、現在は大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会から循環型社会への転換が推進されており、この循環型社会というのは自然界から新たに採取する資源をできるだけ少なくし、長期間社会で使用するや既に社会で使用されたものなどを再生資源として投入することにより、最終的に自然界へ廃棄されるものをできるだけ少なくすることを基本としている。「もの」については、「もったいない」という気持ちや良いものを大事に使うという考えから、自動車などに対する買い替えサイクルが長期化するとともに、長期間の使用が可能ないようにデザインされた長寿命製品の割合を高めていき、また新しい商品の購入・所有にこだわらないリースやレンタル、長期間使用していくための修理・維持管理などのサービスを向上させていくことが推進されている。

このように、現在の風潮では一台を長く使う、すなわち買い替えサイクルの長期化をこれ以後も継続させていく方針であるということがわかる。

3-3 問題提起

環境白書が述べているように、「もったいない」という日本特有の気持ちを重んじ循環型社会に向けて乗用車の買い替えサイクルの長期化をそのまま促した方が環境により良いように思える。果たして実際はそうなのだろうか。なぜなら上で述べたように買い替えサイクルの長期化による環境への負の影響も確かに存在するからである。それでは環境に最適な買い替えサイクルというのはどのようなものなのか、次章で検証していきたい。

第四章 自動車と環境問題

自動車産業が抱える環境問題は大気汚染や地球温暖化問題など多岐に渡るが、この章ではその中から3つに絞って紹介していく。

4-1 地球温暖化問題

4-1-1 現状

温暖化の主な原因であるCO₂は自動車から多く排出されている。日本における1973年度から2003年度の部門別最終エネルギー消費量割合の推移を見てみると、産業部門が63%から47%に低下しているのに対し、民生部門は18%から27%、運輸部門は16%から24%に増加している。このように、二度にわたるオイルショック以後、コスト意識が高く各種規制に縛られている産業部門ではエネルギーの削減が積極的に進められてきている。一方、運輸部門では省エネルギー化や化石燃料からの脱却が進まず、依然としてその動力のほとんどを石油に頼っている。日本の石油使用量の約3分の1が自動車に関わるものであり、エネルギー起源CO₂排出量でみると、自動車からの排出は全体の約5分の1である。

また、産業革命以後膨大な量のエネルギーを消費してきた結果、近い将来に化石燃料が枯渇するのではないかと危惧されている。今のペースで消費が続けば石油が約41年、天然ガスが約61年、石炭が約212年で枯渇すると予測されている。その上、発展途上国、特に人口増加の著しい中国やインドなどの経済発展に伴い、エネルギー消費量はますます伸びている。中でもモータリゼーションによるエネルギー使用量は他部門と比べて著しく増加しており、このエネルギー消費のほぼ全てを石油に依存している。例えば中国は自動車生産台数では2010年頃には日本を抜いて世界第2位の生産国となり、自動車保有台数では2020年頃に1~1.5億台、2030年頃には3億台を保有する世界第1位の自動車保有国まで急成長すると予測されている。自動車によるエネルギー使用量の増加は大規模なCO₂排出から地球温暖化につながるため、自動車を取り巻く環境問題の中でも最も重大なものであるといえる。

4-1-2 燃費規制

自動車から排出されるCO₂の内、約8割が走行中であるため、先進諸国ではCO₂排出量削減への第一の課題として燃費の改善を挙げている。以前はエネルギーの使用の合理性に関する法律(省エネルギー法)に基づき自動車の燃費向上が進められてきたが、1997年3月の法改正により、この燃費向上のための目標として、その車種の中での最高水準を求めるというトップランナー方式が導入された。また、2006年12月15日には国土交通省と経済産業省が合同審議会で「燃費規制値を現行から30%弱引き上げる」という新規制案をまとめた。これは2015年を目処に導入される見通しで、未達成の場合は

企業名の公表の他、勧告や命令を下し、最終的に改善しない場合は100万円以下の罰金を言い渡される。これにより、自動車メーカーは2015年までに平均燃費19.5km/lを達成しなければならない。

4-1-3 燃費向上への対応

燃料効率の良い車の例としてハイブリッドカーが挙げられる。トヨタのプリウス（Sグレード）の10.15モード燃費は35.5km/lであり、ガソリン車との差は歴然としているが、依然として価格はガソリン車よりも全般的に50万～100万高い。この論文ではまだ普及に時間のかかるハイブリッドカーや燃料電池車などではなく、あくまでもガソリン自動車について述べる。

自動車の燃費低減方策には、新型エンジンの開発やエンジン制御の最適化などのエンジン本体を改良するもの、無段変速機構の装備などの駆動系を改良するもの、車両の軽量化や低燃費タイヤによる転がり抵抗の低減などの車両本体を改良するものの3に分けられる。この中でも、「車両の軽量化」技術の効果が期待されている。

自動車における燃料消費の過程は、

- (1) 燃料に蓄えられた化学エネルギーを熱エネルギーに変換する効率（完全燃焼）
- (2) 取り出した熱エネルギーが機械エネルギーに変換される理論出力（指圧出力）
- (3) 理論出力がクランク軸出力に変換される際の損失（摩擦損失）
- (4) クランク軸出力をタイヤへ伝える際の損失（駆動系損失）
- (5) 等速巡行時に消費されるエネルギー（走行抵抗）
- (6) 加速時に消費されるエネルギー（加速抵抗）

からなる。よって、燃料技術は(1)、(2)の機械エネルギー取り出し効率向上と、(3)～(6)の機械エネルギーの消費抑制技術に大別される。

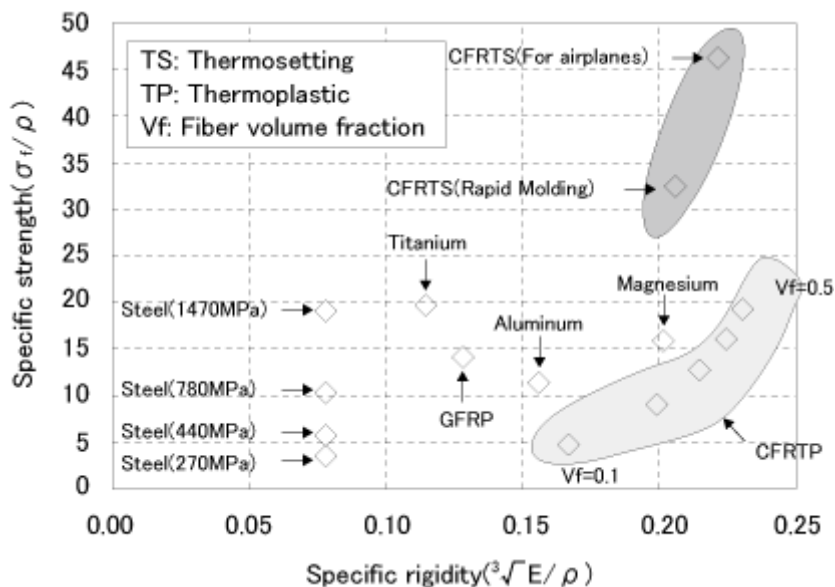
自動車走行時のエネルギー消費量は、エンジンの摩擦損失(40%)、加速抵抗(30%)、走行抵抗(20%)、駆動系損失(10%)に大別される。その中で車両の軽量化は、駆動系損失を除く他の3項目に関わってくる。また、近年自動車は軽量化の一方、衝突安全の確保のため車両重量は重くなってきている。消費者のさらなる快適性の追及も自動車を大きく、重くしてきている。事実、各部品における必死の努力にも関わらず日本の車両重量平均値は平成15年までの10年間で15%以上重くなっている。自動車の燃費は直接的に自動車重量に関連しており、重量が100kg軽くなることで、燃費は約1km/l改善される。このように、車両の軽量化はCO₂排出量削減に大きな効果が期待できるといえる。

現在車両の軽量化に向けその効果と実用化が期待されている素材がある。それはCFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics：炭素繊維強化プラスチック）である。FRPとは繊維で強化したプラスチックである。プラスチックだけでは脆すぎ、繊維だけでは鉄鋼より強度はあっても形ある構造物はできないため、両者を合わせて素材として利用可能にしたものである。繊維として炭素繊維を用いたFRPをCFRPという。

下の図は、自動車の構造部材として考えられる各種基礎素材の比強度と比剛性（強度・

剛性を密度で除したもの)を示したものである。CFRPのうち熱硬化性のものをCFRTS、熱可塑性のものをCFRTPと表している。また、Vfとは繊維体積含有率のことである。これを見てわかるように、CFRPは他の材料に比べ比剛性・比強度ともに非常に優れている。そして、比重に関しては鉄鋼が 7.80 g/cm^3 であるのに対し、CFRPは 1.17 g/cm^3 である。このように、CFRPは安全性を維持しながら車両の軽量化を促進させる材料といえる。

各種基礎素材の比強度と比剛性



出典：日本自動車工業会

このように、CFRPは優れた軽量化素材であり、近年ではスバルのレガシィや日産のフェアレディZなど乗用車への適用も進められてきたが、依然として「高級車またはスポーツカーである」と、「部品の代替にとどまっている」というのが現状である。この原因となっているのが以下の3つのCFRPのデメリットである。

乗用車における CFRP の適用例

メーカー	自動車名	適用箇所
ゼネラルモーターズ	シボレーコルベット Z06 コンパチブル(2004 年モデル)	フード
Berg	ポルシェの車種 フェラーリの車種 ほか多数	ウイング ボンネット ミラー スポイラー バンパー
ポルシェ	カレラ GT	シャーシ ボディパネル
モスラー・オートモーティブ	Photon	ボディパネル ダッシュボード シート
メルセデス・ベンツ	メルセデス・ベンツ SLR マクラーレン	モノコックの一部 ボディパネルの一部
C-WEST	多数	エアロパーツ
ONE and ONLY	BMWZ3 E36 クーペ	ボンネット
スバル	レガシィ	ドアミラー
Winsports	ホンダ、スバル、三菱、トヨタ、 日産、マツダ各車	ボンネット
三菱自動車	ランサーエボリューション	リアスポイラー
マツダ	RX-8	プロペラシャフト
日産	フェアレディZ	プロペラシャフト
キャデラック	XLR	フード
MG Sport & Racing	XPowerSV	ボディ
ダイハツ	UFE-II	ボディ
フォルクスワーゲン	パサート	フロントエンド

出典：菅満春、「通勤バスへの複合材料の適用に関する研究」、2004 年度東京大学修士論文

(1) 生産速度が遅い

CFRP 車ボディは年間 2 千台までの乗用車には使用されているが、年間数万台を生産できるシステムができて初めて量産車に適用される。Mercedes-Benz の例を挙げると、代表的な生産量は 3 万台 (SL)、10 万台 (S クラス)、25 万台以上 (C、E クラス) である。これを達成するための生産時間は金型当たり 3~5 分である。そのためには、現在スーパーカー生産に支配的である、樹脂の含浸・硬化などの過程に非常に多くの時間を要する手作業から、完全自動生産システムに移行する必要がある。

(2) コストが高い

CFRP のコストが高いのは炭素繊維 (CF) の価格が高いためである。CF の価格はその需要量が伸びてきたため近年下がっているが、1kg 当たりの価格が鉄鋼は 450 円であるのに対し、CF は約 2000 円と、依然として高価である。しかし、この価格のさらなる急激な低減を期待するのは現実的ではなく、むしろ CFRP の生産コストの改善に尽力するべきである。

(3) リサイクルが困難である

現在 CFRP は主に熱硬化性樹脂を使用しており、その性質からリサイクルが困難である。また、市場規模が年間 2 万トンという少ない生産量のためリサイクルの必要がなく、シュレッダーダストとして廃棄されているものがほとんどである。

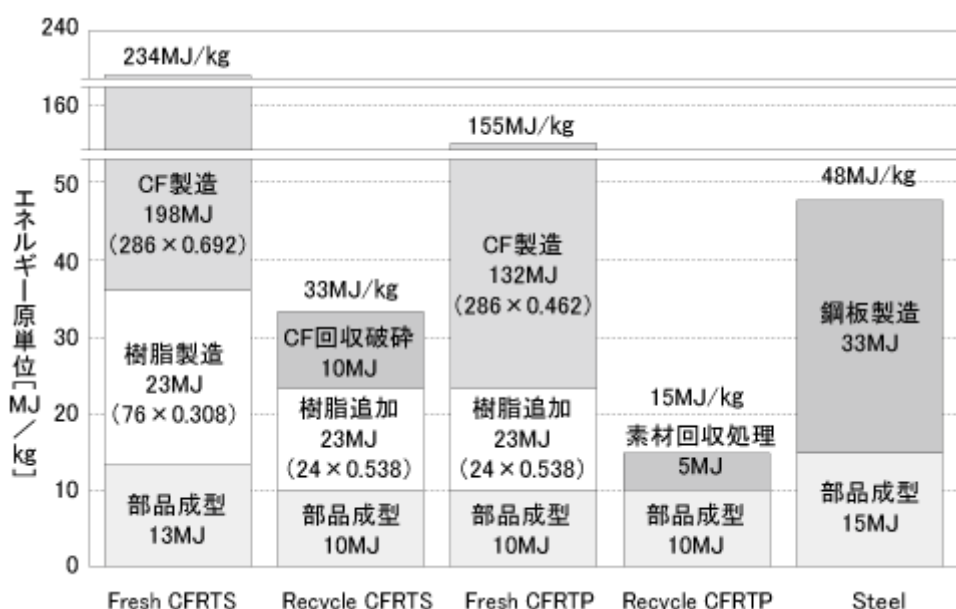
しかしながら、上の (1) (2) を改善するような技術が昨年開発された。というのも、2006 年東レ株式会社は CFRP を用いて複雑形状の工業製品を大量に生産できる新規量産技術の開発に世界で初めて成功したのである。CFRP の材料設計から生産方式までを抜本的に見直すことで、プラスチックや金属など他の工業材料に匹敵する設計自由度と量産性を実現した。成形技術の革新として、短時間で所定の形状にプレスできる超高速プレス成形技術が開発された。これは、金属プレスなど板材の大量生産で実績のあるプレス成形法を CFRP 向けに応用し、従来比 10 倍以上の速さで固まる新開発の超高速硬化エポキシ樹脂を組み合わせることで技術確立したものである。この技術により、材料の配置から脱型までの成形時間を 3 分以内に大幅短縮することに成功した。組み立て技術の革新として、CFRP とプラスチックなど異素材を熱溶着で接合する“CFRP ハイブリッド技術”の開発に成功し、製品組立の時間短縮と効率化を実現した。この東レ株式会社の CFRP 新規量産技術の確立により、

(1) の問題は解決され、それとともに量産効果による製造コストのさらなる低減も期待され、(2) の問題も解決の方向に向かっているといえる。

(3) に関しては、熱硬化性樹脂製 CFRP と熱可塑性樹脂製 CFRP に分けて考えると、前者はリサイクルを行うと強度の面で脆くなるため、リサイクルには適さないが、後者は熱可塑性樹脂が熱を加えることで軟化し再成形が可能であるため、CFRP とした後も熱を加えることで傷の補修、補強や再成形が可能であり、前者よりもリサイクル性に優れている。CFRP のリサイクルは、上でも述べたように CFRP の市場が未だ小さいためあまり行

われていない。しかし、下の図は現在の PAN 系炭素繊維（アクリル繊維を原料に高温で炭化して作った繊維）の原単位を用いて炭素繊維強化熱硬化性樹脂（CFRTS）部品と炭素繊維強化熱可塑性樹脂（CFRTP）部品のリサイクル前後のエネルギー原単位（CFRP 部品を 1 kg 製造するために必要なエネルギー）を計算したものであるが、リサイクルすることで極めて省エネルギーな素材・部品として再生できることが読み取れる。またこのことは、高価な炭素繊維の再利用により全体として素材コスト削減が可能となることも意味しており、リサイクル CFRP 部品の物性も乗用車の二次部材として適用可能なレベルにまで向上してきていることから、CFRP 部品のリサイクルは廃棄物問題とコストが高いという (2) の問題をも同時に解決する手段といえる。

リサイクル前後での CFRP 部品の製造エネルギー原単位



出典：日本自動車工業会

4-2 廃棄物問題

4-2-1 現状

日本は世界でも有数の廃棄物大量産出国である。環境省が発表した平成 16 年度の産業廃棄物の総排出量は約 4 億 1,700 万トンとなっており、これは一般廃棄物（約 5,059 万トン）の約 8 倍である。この中で約 10%に当たる約 4,000 万トンが最終処分されている。2002 年度の最終処分量および 2003 年 4 月 1 日時点の最終処分量の残余容量から最終処分量の残余年数を推測すると、4.5 年と厳しい状況にあるが、わずかながら増加している。これは、最終処分場の受入れ可能な量が減少しているが、その一方でそれを上回る割合で中間処理による減量化が進み、またゼロエミッションに取り組む企業が増え、最終処分量が減っているためである。しかし、産業廃棄物処理施設に係る新規の許可件数は焼却施設、最終処分場ともに 1997 年の廃棄物処理法の改正前と比べて激減しており、最終処分場の残余年数に

今後大きく影響してくると考えられる。使用済み自動車からは ASR（シュレッダーダスト）という形で最終処分場に埋め立てられる。ASR というのは、使用済み自動車からエンジンやバッテリーなど中古部品や再生資源として販売されるものや、フロン類など別の処理システムに乗せるべきものが取り外され、その後の廃車ガラを大型破砕機で細かくされ、選別装置によって鉄などの有価物である金属スクラップを取り除いた後に残ったもののことである。ASR は毎年約 80 万トン埋め立てられており、最終処分場の逼迫という現状を考慮すると早急に改善が求められる問題である。

4-2-2 リサイクル率達成目標

上で述べた廃車ガラ（部品の取り外しの後に最終的に残った部分）を大型粉砕機で細かくした後の内訳としては、素材としてリサイクルされるもの（50～55%）、部品としてリサイクルされるもの（20～30%）、シュレッダーダスト（ASR）（20～25%）となっている。この ASR に関して、「使用済み自動車の再資源化等に関する法律（通称自動車リサイクル法）」が 2002 年 7 月 5 日に成立、2005 年 1 月 1 日に施行された。これにより、自動車メーカーの責任で適正処理・リサイクルすることが義務づけられた。具体的なリサイクル率の数値義務としては、2005 年以降 30%、2010 年以降 50%、2015 年以降 70%をそれぞれ上回らなければならないというものである。

4-2-3 全部再資源化

2005 年自動車リサイクル法が施行されて、新たに「全部再資源化」という方式が注目されている。この「全部再資源化」は、これまでの自動車のリサイクル過程においては例外的な位置づけであったが、自動車リサイクル法により法的にその方式が認められた。自動車リサイクルの基本的な流れでは、解体工程を経た後の廃車ガラがシュレッダー業者に運ばれ、シュレッダー処理されるのが通常である。これに対して、「全部再資源化」とは廃車ガラをシュレッダー業者に運ばずにプレスの状態のまま製鋼原料として鉄鋼（電炉）メーカーに引渡し、「再資源化」という方式である。この取り組みは、「シュレッダー処理を行わない→結果として ASR そのものを発生させない」リサイクル法として、ASR 問題そのものを根源から解決する 1 つの取り組みとして注目されている。

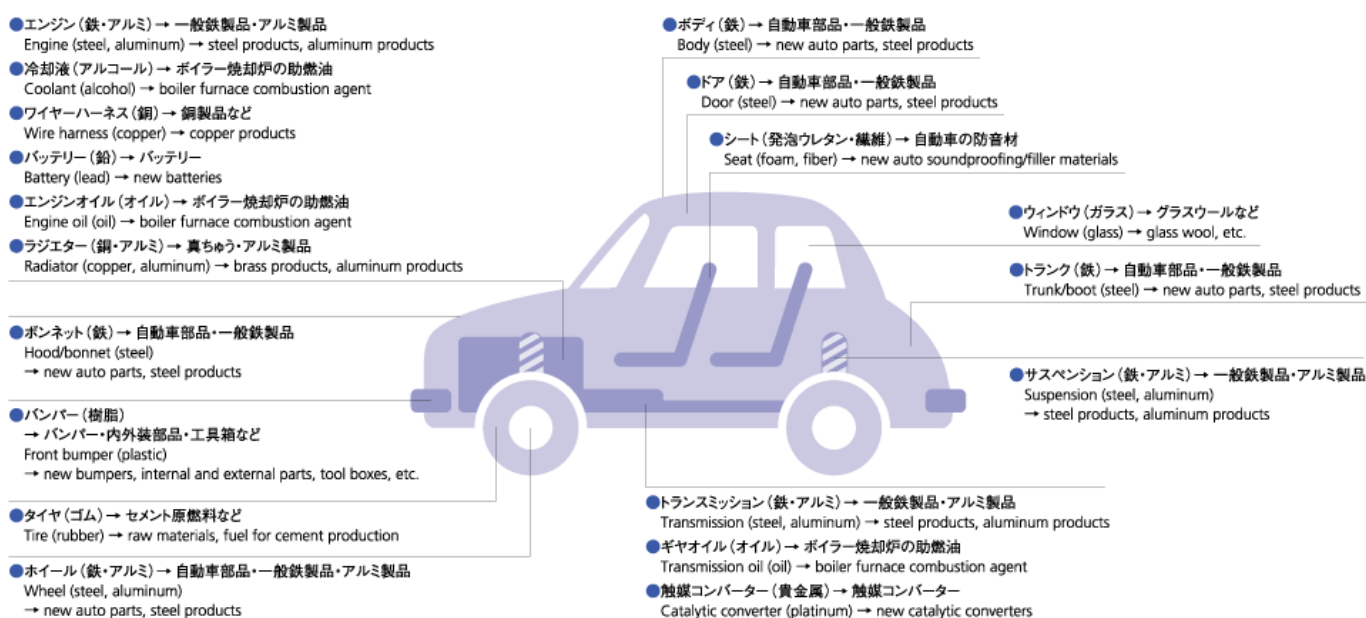
この「全部再資源化」は、解体業者にとって「精緻な解体」という手間はあっても、基本フレームワークでは得られない ASR リサイクル料金の支払いという新たな収入を生む。さらに、「全部再資源化」の委託および認定は解体業者に対する自動車メーカーからのお墨付きを意味する。これは優良な解体業者であるというブランドとして作用し、ディーラーなどとの廃車仕入れ契約においてライバル他社よりも優位に立つことができ、その結果より多くの廃車を集めることができる。このようにして、解体業者間の競争が激化し、ASR 排出量ゼロに向けてより一層の努力が払われるといえる。

4-3 資源の利用

自動車の構成材料としては、鉄鋼やアルミニウムなどの天然資源が多く含まれる。それ

らの資源は有限であるので、自然界での再生が不可能な資源の使用量を最小化することで、持続的利用を可能にさせていくことが求められている。日本自動車工業会は、1998年1月、新型車開発段階のリサイクルへの取り組みについて、自動車メーカーとして達成が求められる目標として、2002年以降のリサイクル可能率を90%以上とする数値目標を設定した「自主行動計画」を策定した。自動車メーカー各社は、これに基づき、リサイクルしやすい自動車の設計、製造を推進し、新型車のリサイクル性の向上を促進している。下の図は使用済み自動車のリサイクル用途を表したものであるが、リサイクルが多岐に渡って行われていることがわかる。

使用済み自動車のリサイクル用途



出典：社団法人日本自動車工業会

第五章 分析

前章で述べた環境問題に対して、自動車の買い替えサイクルの長さによってどのような影響を与えるのかエクセルを用いてシミュレーションを行う。

5-1 前提

5-1-1 シミュレーションの仮定

- 新車のみを使用するユーザーと中古車のみを使用するユーザーの 2 者で考える。(2 者は独立している。つまり、2 者間で同じ車を引き継がない。)
- ただし、中古車ユーザーはシミュレーションで存在する新車ユーザーとは別の新車ユーザーが使用した後の車を使用する。つまり、製造年が使用開始時から新車使用期間分遡ることになる。
- 使用期間は 50 年間とする。これは、20 代から 70 代まで車を乗り続けることを考慮したものである。
- 環境への影響は、「CO₂ 排出量」「廃棄物埋立量」「資源投入量」の 3 つの指標を用いる。新車は生産時のみ、中古車は廃棄時のみ生じるものとする。
- 買い替えサイクルが長い場合は、新車を 10 年、中古車を 5 年使用する。
10 年は現在平均使用期間が 10.93 年であることを考慮した。5 年は中古車平均使用年数が 5.5 年であることを考慮した。
- 買い替えサイクルが短い場合は、新車を 6 年、中古車を 4 年使用する。
6 年は約 30 年前の平均使用年数を考慮した。4 年については、新車ユーザーの買い替えが早まることで中古車市場により多くの車が流れ、中古車ユーザーの車の買い替え需要が高まることが予想されるが、中古車ユーザーは車を単なる移動手段と捉えることが多いため 6 年の半分の 3 年ではなく 4 年と設定した。
- 買い替えサイクルが長い場合のサイクル回数は 5 回 (新車)・10 回 (中古車)、短い場合は 8 回 (新車)・12 回 (中古車) である。

5-1-2 式の設定

(1) CO₂ 排出量 (C)

ここでの CO₂ 排出は、新車生産時に排出されるものと新車・中古車走行時に排出されるものを指している。

a: 生産時に排出される一台当たり CO₂ 排出量

b: 燃費

c: 年間走行距離

d : 使用年数

e : 買い替え回数

とおく。 a, c, d, e は一定の値とする。ガソリン 1kg 当たりの CO2 排出量は 2.3kg なので、50 年間の CO2 排出量は、

$$C = ae + 2.3d \left(\frac{c_1 + c_{1+d} + \dots + c_{1+d(e-1)}}{b} \right) \quad (\text{kg})$$

と表せる。これを用いて、燃費を変化させながら CO2 排出量を比較してみる。

(2) 廃棄物埋立量 (D)

最終的に処分場に埋め立てられるのは ASR なので、ここで言う廃棄物埋立量とは ASR 埋立量を指している。

f : ASR 引取量

g : ASR リサイクル率

とおく。 f の値は一定とする。50 年間の廃棄物量は、

$$D = f - \frac{fg_d}{100} + f - \frac{fg_{2d}}{100} + \dots + f - \frac{fg_{50}}{100} = ef - \frac{fg_d + \dots + fg_{50}}{100}$$

となる。

(3) 資源投入量 (R)

ここでの資源投入量とは、生産時 1 台当たり資源投入量からリサイクル材投入量を引いたもの、すなわちバージン材投入量である。 i に関して、1998 年のリサイクル材の割合が 40.2825%であったためそれを基準とした。

h : 1 台当たり資源投入量

i : 製品に占めるリサイクル材の割合

j : リサイクル材の割合上昇度

50 年間のバージン材投入量は、

$$R = h - \frac{hi_1}{100} + h - \frac{hi_2}{100} + \dots + h - \frac{hi_e}{100}$$

$$= eh - \frac{h(i_1 + \dots + i_e)}{100}$$

となる。

5-2 シミュレーション

上で設定した式を用いて実際にシミュレーションを行う。ここで明らかにしたいのは、買い替えサイクルによって3種類の環境問題にそれぞれどのような影響が起きるかである。3つ合わせたトータルの影響ではなく、あくまでも個別に考察する。環境技術による影響を考慮するため、

- ①技術革新がない場合
- ②技術革新がある場合

の2つのケースに分けて考えていく。

①技術革新がない場合

(1)CO2 排出量

燃費は2004年の15.4km/lを基準に一定とする。

$$C(e = 10) = 68778.68$$

$$C(e = 6) = 69721.22$$

$$C(e = 5) = 67207.79$$

$$C(e = 4) = 67207.79$$

となる。

(2)廃棄物埋立量

2004年トヨタ自動車のASR引取量161510トンを生産台数379万台で割ったもの、すなわち一台当たりASR引取量42.614776kg、ASRリサイクル率50%を基準に一定とする。

$$D(e = 5) = 213.0739$$

$$D(e = 4) = 255.6887$$

となる。

(3)資源投入量

資源投入量を 2006 年の 1380.03kg、リサイクル材の割合は最新のデータが得られなかったため 1996 年の 40.2852%を基準に一定とする。

$$R(e = 10) = 4120.411$$

$$R(e = 6) = 6592.657$$

となる。

(1) (2) (3) をまとめると、

	CO2 排出量	廃棄物埋立 量	資源投入 量
新車(長)	68778.68		4120.411
新車(短)	69721.22		6592.657
中古車 (長)	67207.79	213.0739	
中古車 (短)	67207.79	255.6887	
全体(長)	135986.47	213.0739	4120.411
全体(短)	136929.01	255.6887	6592.657
全体の差	-942.54	-42.6148	-2472.246

以上の結果から、環境技術が向上しない場合どの指標においても買い替えサイクルが長い方が環境負荷は小さいことがわかった。

②技術革新がある場合

(1) CO2 排出量

前章で紹介した CFRP をボディ、シャーシ、内外装品系でスチールと代替すると仮定し、新エネルギー・産業技術総合開発機構によると 2016 年に CFRP が実用化される見通しなので、2016 年に代替が完了するように CFRP を増加させ、スチールを減少させた。また、2016 年以後は最終的に CFRP がスチールを全て代替するように設定した。軽量化によってエンジンの小型化が可能になり、非鉄金属の大部分を占めるアルミニウムも減少することとし、その減少率は CFRP の増加率と等しくした。その他の材料は変化を加えない。その結果、

$$C(e = 10) = 49436.6$$

$$C(e = 6) = 50058.7$$

$$C(e = 5) = 50827.2$$

$$C(e = 4) = 48839.4$$

となる。

(2) 廃棄物埋立量

自動車リサイクル法により 2015 年以降 ASR リサイクル率を 70%以上にしなければならない。このことを考慮し、2015 年に 70%を達成するよう $j = 1.3$ とリサイクル率を上昇させた。2015 年以後同じ割合で向上していくことは困難と予想されるため、半分の $j = 0.65$ と設定した。その結果、

$$D(e = 5) = 87.4029$$

$$D(e = 4) = 109.6478$$

となる。

(3) 資源投入量

スチールなどの金属はリサイクルすると不純物が混ざり品質が落ちてしまうが、CFRP は熱可塑性樹脂から作られる場合リサイクルに向いているため、資源投入の際リサイクル品もしくはリユース品の形で使用されることが推進される。そのため、全体に占める CFRP 重量の割合が高くなるにつれ、リサイクル材の割合も高くなると設定した。その結果、バージン材投入量は、

$$R(e = 10) = 1145.14$$

$$R(e = 6) = 1755.8$$

となる。

(1) (2) (3) をまとめると、

	CO2 排出量	廃棄物埋立 量	資源投入 量
新車(長)	49436.6		1145.14
新車(短)	50058.7		1755.8
中古車 (長)	50827.2	87.4029	
中古車 (短)	48839.4	109.6478	
全体(長)	100263.7	87.4029	1145.14
全体(短)	98898.0	109.6478	1755.8
全体の差	1365.7	-22.2449	-610.66

以上の結果より、技術革新がある場合廃棄物埋立量・資源投入量の点では買い替えサイクルの長い方が有効だが、CO2 排出量の点では買い替えサイクルの短い方が有効であるとわかった。

5-3 考察

今回のシミュレーションでは、技術革新がある場合とない場合に分け、買い替えサイクルが短い時と長い時とで環境に与える影響の比較を行った。項目ごとにその結果をまとめていく。

(1) CO2 排出量

技術革新がない場合は、燃費向上による恩恵が受けられないため、生産回数の多い買い替えサイクルの短い方がより多く CO2 を排出する。技術革新がある場合、生産時に出る CO2 量により新車では買い替えサイクルが短い方は不利だが、燃費向上により全体としては買い替えサイクルの短い方が CO2 排出量は少ないという結果になった。

(2) 廃棄物量

ここでは、ASR リサイクル率が向上する場合と変化のない場合というように 2 つに分けて考えた。両場合とも使用台数の少ない、つまり買い替えサイクルが長い場合の方が廃棄物量は少なかった。リサイクル率が向上した時はその差が 22.2449kg と約半分縮まった。ASR リサイクル率が 100%を達成することができるなら、その差は将来的にゼロになりうる。このように、やはり買い替えサイクルの長い方が廃棄物という点で有効であるが、リサイクル率の向上如何によっては買い替えサイクルの長さによる影響は限りなく小さくなるといえる。

(3) 資源投入量

ここでは、総資源投入量に占めるリサイクル材の利用割合が変化しない場合と CFRP の使用量に伴うリサイクル材の利用割合が増加する場合の 2 つを考えた。両場合とも生産台数が少なくてすむ買い替えサイクルが長い場合の方が資源投入量は少ないという結果になった。しかし、リサイクル材の割合が増加する場合では買い替えサイクルが長い時と短い時の資源投入量の差は縮まり、リサイクル材の割合が変化しない場合と比べると約 76%減少した。リサイクル材の利用を促進することで、買い替えサイクルによる資源投入量への影響を最小限に抑えることが可能である。

第六章 持続可能な自動車使用に向けて

前章で長期的に考えて買い替えサイクルを短くするべきだと述べた。しかしこれは技術の進歩あつての話であり、買い替えサイクルの短さによる利点をさらに生かし、持続可能な自動車の使用をしていくためには自動車の環境性能を高めていかななくてはならない。この章では環境性能を高めていくための技術や取り組みについて述べていく。

6-1 燃費改善

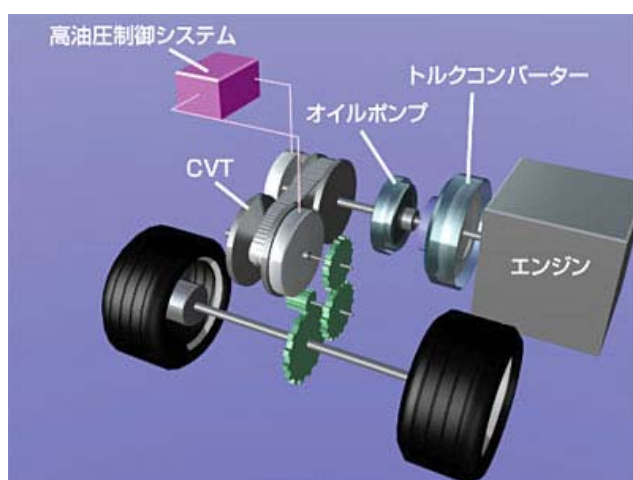
究極的には少ない燃料で長距離走ることのできるエンジン、すなわち燃費が画期的に優れた高効率のエンジンを開発して総仕事量に対する派出ガスの絶対量を減らすという技術をいかに開発できるかが決め手となる。

燃費を向上させる技術としては下の図に示してあるような技術があるが、特に各種エンジン可変機構の活用や無段変速機（CVT）化や各要素の電子制御化による効果大きい。

- ・ 無段変速機（CVT）〈燃費改善可能量＝6%〉

従来のお大半の変速機は、数が固定された金属ギアを使用してエンジン速度と車輪速度の（変速）比を制御していた。現在入手できる自動車の無段変速機は、単にギアを使用するのではなく、ベルトもしくはチェーンでつながった一組の可変径のプーリー（滑車装置）が使用されており、エンジン速度と車輪速度の変速比を無限数生むことができる。このシステムは従来の変速機と比べ、燃料効率の良さの他に、ギアの切り替えをしても急に動いたりガタガタせず加速がスムーズに行える、山道で頻繁にギアを低速に切り替えたり最適なギア探しを行わずにすむという利点がある。

CVT の仕組み



出典：日産自動車「テクニカルノート」

- ・ 可変バルブタイミングリフト (VVT&L) <燃費改善可能量=5%>

バルブは空気と燃料の流れをコントロールしてシリンダーに入れ、その排気を排出する。いつ・どのくらいの間バルブを開けるか（タイミング）と、どれくらいバルブを動かすか（リフト量）がエンジン効率に影響を与える。最適のタイミングとリフト設定は、エンジンが高速/低速かによって異なる。しかし、従来の設計では固定したタイミングとリフト設定を使用しており、高速/低速の最適値の間の妥協値が用いられている。VVT&L 機構はエンジン速度に最適なタイミングとリフト設定に自動的に変化する。

ホンダ「シビック」に搭載された 1.8L 可変バルブタイミングリフト機構エンジン



出典：本田技研工業

自動車の低燃費技術

燃費改善率		◎: 10%以上 ○: 5~10% □: 5%以下
対 象		技 術 (G: ガソリン車, D: ディーゼル車)
エンジン	新方式	◎直噴ガソリン (G) ◎ハイブリッド化 ◎ミラーサイクル ○リーンバーン (G)
	制 御	○アイドルストップ □減速時燃料カット □空燃比, 点火時期制御の高精度化 (G)
	機 構	□4弁化 ○可変ターボ過給 (D) ○可変弁機構 (VVT等による可変圧縮比) ◎可変気筒機構 ◎エンジンの小型化 (G)
	摩擦低減	□潤滑特性の改善 □運動部の軽量化
駆動・伝達系	ATの改善	○無段変速機 (CVT) ○自動化MT □ATの高度電子制御化・多段化
車 体		◎軽量化 (樹脂, 軽金属, 超高張力鋼の利用) ◎空気抵抗低減 (高速時) □低転がり抵抗タイヤ
その他		□補機類の高効率化 □廃熱の利用

出典：DENSO Technical Review Vol.11 No.1

6-2 ASR リサイクル

5章で「全部再資源化」というものについて触れた。北九州エコタウンに立地した西日本オートリサイクル株式会社 (福岡県北九州市) や、北九州 ELV 共同組合 (福岡県北九州市) は、まさにこの方式を採用している。また、最近計画中の多くの大規模自動車リサイクルコンビナート構想でも、この「シュレッダーレス方式」を採用するケースが多い。

A プレス (廃車ガラ由来のプレス) には銅が含まれており、銅含有率が高いと鉄鋼製品がもろくなってしまう。電炉メーカーが一般的に許容できる銅含有率は 0.3% である。全部再資源化に積極的に取り組んでいる NKK 条鋼は、廃車をすべて分解してコストパフォーマンスを検討しながら除去する部材の優先順位をつけるなどの研究を重ねた結果、銅含有率 0.3% にし効率と精度を両立する解体手法、つまり全部再資源化の仕組みを確立した。廃車の搬入から 30 分以内で A プレスにするのが効率性の目安だが、NKK 条鋼の他にも現在全国に 100 社以上の解体業者にその技能がある。

日産自動車、ダイムラー・クライスラーなど自動車メーカー 11 社による ART (自動車破砕残さリサイクル促進チーム) は全国に ASR 指定引取場所を 41 ヶ所設置し、再資源化率向上に努めている。

指定引取場所施設名・基準適合施設・所在地一覧（2006年10月2日現在）

※地図上の番号をクリックすると、一覧表にジャンプします。



出典：ART 自動車破碎残さリサイクル促進チーム

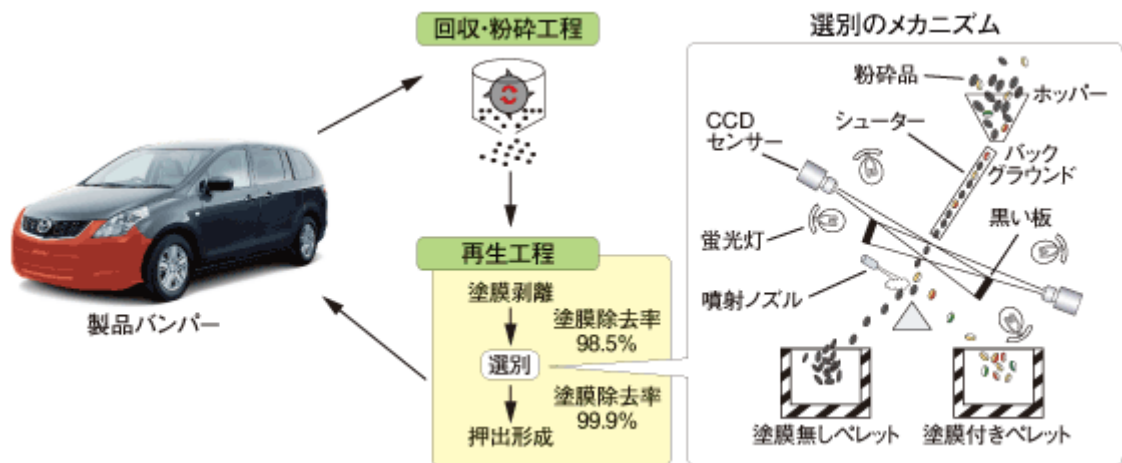
6—3 資源の再利用

自動車に使用される資源は有限であり、これからも自動車を使用し続けるためには、リサイクル技術などによって投入する資源量を減らす努力を欠かすことはできない。日本や欧州では、自動車リサイクルに関する法制化が進み、リサイクルに配慮した製品開発が自動車メーカーの義務になっている。自動車メーカーはリサイクルだけでなく、リデュース、リユースの3Rを積極的に取り入れた開発を進めており、特に設計構想段階からリサイクル設計ガイドラインに基づき、材料種類の削減、リサイクル容易材および解体容易化構造の適用、再生材の採用のほか、分別のための材料表示マーキング徹底に取り組み、リサイクル性向上技術をすすめている。

・ 再生材の採用

代表的なのはバンパーリサイクルで、マツダでは、1992年から損傷したバンパーを特約販売会社から回収して樹脂材料に再生し、アンダーカバーなどの自動車用部品の原料にしてきた。しかし、バンパーに再生するには塗装膜を除去しなければ使えないという課題があり、マツダはバンパーからバンパーへのリサイクルをめざし、2001年以降に塗膜の99%を除去し、その用途をバンパー補強材や表面にシボのあるバンパーにまで広げた。さらに、2003年には穀物総合加工メーカーの株式会社サタケと共同で光学選別技術を組み合わせた新しい塗膜除去技術を開発し、塗膜除去率99.9%を達成した。これによって、再生材を原料に含んだ部品でも新しい原料だけで作ったバンパーと同様の高い強度が得られる上、高品質な塗装も可能になった。この「バンパーtoバンパーリサイクル」は2005年3月末生産分のマツダRX-8から導入し、2006年2月には新型MPVにも採用を広がった。

バンパーtoバンパーリサイクルの流れ



出典：マツダ

バンパー回収本数の推移（国内）



出典：マツダ

また、エアバッグ布端材の再生によるキャニスターケース（燃料タンクから発生したガソリン蒸気を一時的に吸着する装置）が開発され、採用拡大を進めている。さらに、他業界からは紙管・食品容器のリサイクルとして、ポリプロピレン（PP）製食品容器の再生材と古紙を古紙入り再生 PP エアークリーナーケースとして、使用済み PET ボトルの繊維をダッシュならびにフロアインシュレーターの吸音層の主成分としてそれぞれ採用している。

エアバッグリサイクル材の使用例（キャニスターケース）



出典：三菱自動車

紙管・食品容器のリサイクル例



出典：三菱自動車

使用済み PET ボトルから作られたフロアインシュレーターの吸音層



出典：日産自動車

- ・ 解体容易化構造

従来、剛性を確保するため金属製補強部材を使用していたため、樹脂バンパー自体の取り外し性が悪く、またリサイクルのために金属製補強部材の分離も必要であった。新型車では、剛性の高いバンパー用樹脂材料開発と取り付け構造の最適化により、金属製補強部材を不要としリサイクル性を向上している。また、材料表示マーキングや取付点数の削減も進めている。

解体容易化フロントバンパー



材料表示マーキング例



リアコンビネーションランプ

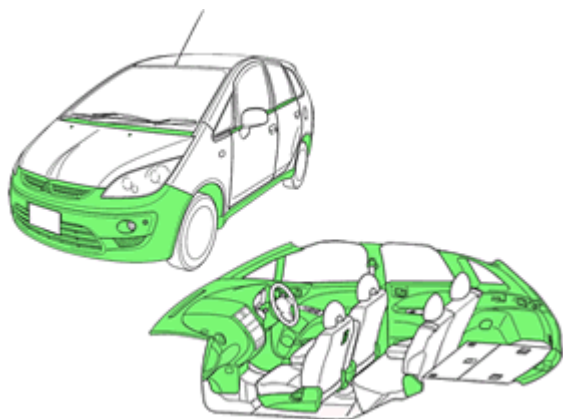
ゴムホース

出典：三菱自動車

- ・ リサイクル容易材

リサイクルが容易な熱可塑性樹脂をバンパー、ラジエターグリル、インストルメントパネルなどほとんどの内外装樹脂部品に採用している。また、これまでリサイクルが困難なゴムを使用してきたエンジンフードやテールゲートのウエザーストリップについても、リサイクルが容易な熱可塑性エラストマーの採用を積極的に進めている。

リサイクル容易樹脂部品



出典：三菱自動車

このような取り組みにより、トヨタ自動車や日産の新車においてリサイクル可能率（新型車が造られたときに、将来当該自動車を使用済みになったときに達成可能であると判断されるリサイクル率）が95%以上の車種もある。

終章

本論文では、まず国内販売台数が低迷しているという自動車業界の現状について触れ、使用期間が長期化している、つまり買い替えサイクルの長期化することによる環境への影響について述べた。一台を長く使用することは一見環境負荷の低い行為のように思えるが、私はそれに関して疑問を持ち、買い替えサイクルが長い場合と短い場合とで環境にどのような影響があるのか、「CO2 排出量」「廃棄物埋立量」「資源投入量」という 3 つの指標をもとにシミュレーションを用いて比較した。その結果、CO2 排出量に関しては買い替えサイクルの短い方が有効であり、廃棄物埋立量と資源投入量に関しては現状では買い替えサイクルの長い方が有効だが、今後の技術革新によってその差を最小限にする可能性を秘めていることがわかった。地球温暖化問題は、近年記録的な暖冬が続くなどその深刻さは全ての人々が実感している。そのような意味で買い替えサイクルの短い方が優位性は高いと考えた。その後、現在実用段階にある技術について紹介し、環境性能の向上を根拠付けた。

日本での自動車普及率はほぼ飽和状態にあり、将来的に国内の普及率が飛躍的に上昇することはないと考えられる。そうした中で自動車メーカーが国内で販売台数を伸ばしていくためにも環境負荷を減らしていくためにもユーザーの買い替えサイクルを短期化させることが重要となる。しかしながら、経済的負担が大きい、自動車は移動手段に過ぎないため故障するまで乗り続けたいなどの意見が根強く、買い替えサイクルを短期化することは容易ではない。そのため、メーカーは収益を価格や環境性能の開発コストに還元させることや、魅力的な自動車作りをさらに進めていくことが必要不可欠である。買い替えサイクルの短期化は、ユーザーの車を買う意志・努力だけではなく、ユーザーに車を買わせるメーカー側の努力も重要となってくる。また、環境負荷を低減させていくためにユーザーができることは、エコドライブの実践や環境性能の高い車選びをするなどが挙げられる。このように、自動車による環境負荷の低減には生産者・消費者相互の努力があって初めて実現できる。もし仮にメーカー・ユーザーの努力がないならば、将来その環境負荷の大きさから私有車を持てなくなる可能性も大いにありうる。自動車の便利さやその価値を維持し享受していくためには、環境にやさしい自動車との付き合い方を全ての人が追求していかななくてはならない。

参考文献

- ・『自動車リサイクル』 竹内啓介監修 東京, 東洋経済新報社, 2004.3
- ・ 『進化する自動車』 原邦彦著 東京, 岩波書店, 2005.6
- ・ 『環境にやさしいビジネス社会ー自動車と廃棄物を中心にー』 長沢伸也著 東京, 中央経済社, 2002.12
- ・ 日経エコロジー 東京, 日経 BP 社, 2005.1
- ・ JAMAGAZINE vol.40 東京, 日本自動車工業会, 2006.3, 2006.12
- ・ 社団法人日本自動車工業会 HP
- ・ ガリバー自動車流通研究所 HP
- ・ 財団法人自動車検査登録協力会 HP
- ・ 社団法人日本自動車販売協会連合会 HP
- ・ 環境省 HP
- ・ 国土交通省 HP
- ・ トヨタ自動車 HP
- ・ 日産自動車 HP
- ・ 東レ HP
- ・ 三菱自動車 HP
- ・ マツダ HP

ワークシート

<技術革新がない場合>

年間走行距離(c)		9000							
生産時のCO2排出量(a)		314.1783							
年	鉄鋼	非鉄金属	その他	CFRP	合計	燃費	リサイクル材の割合	バージン材投入量	
2004	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2005	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2006	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2007	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2008	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2009	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2010	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2011	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2012	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2013	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2014	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2015	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2016	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2017	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2018	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2019	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2020	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2021	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2022	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2023	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2024	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2025	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2026	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2027	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	
2028	958.82	120.72	300.49	0	1380	15.4	40.2852	824.0821544	

CO2 排出量					
新車 (長)	新車 (短)	中古車 (長)	中古車 (短)	合計 (長)	合計 (短)
68778.7	69721.2	67207.792	67207.792	135986.5	136929
資源投入量					
4120.41	6592.66			1145.136	1755.799

		ASRリサイクル 率	ASR 引取 量	ASR 廃棄 量	中古車(10 年)	中古車(6 年)
2004	1	50	42.614776	21.307388	213.0738786	255.688654
2005	1	50	42.614776	21.307388		
2006	2	50	42.614776	21.307388		
2007	3	50	42.614776	21.307388		
2008	4	50	42.614776	21.307388		
2009	5	50	42.614776	21.307388		
2010	6	50	42.614776	21.307388		
2011	7	50	42.614776	21.307388		
2012	8	50	42.614776	21.307388		
2013	9	50	42.614776	21.307388		
2014	10	50	42.614776	21.307388		
2015	11	50	42.614776	21.307388		
2016	12	50	42.614776	21.307388		
2017	13	50	42.614776	21.307388		
2018	14	50	42.614776	21.307388		
2019	15	50	42.614776	21.307388		
2020	16	50	42.614776	21.307388		
2021	17	50	42.614776	21.307388		
2022	18	50	42.614776	21.307388		
2023	19	50	42.614776	21.307388		
2024	20	50	42.614776	21.307388		
2025	21	50	42.614776	21.307388		
2026	22	50	42.614776	21.307388		

2027	23	50	42.614776	21.307388		
2028	24	50	42.614776	21.307388		
2029	25	50	42.614776	21.307388		
2030	26	50	42.614776	21.307388		
2031	27	50	42.614776	21.307388		
2032	28	50	42.614776	21.307388		
2033	29	50	42.614776	21.307388		
2034	30	50	42.614776	21.307388		
2035	31	50	42.614776	21.307388		
2036	32	50	42.614776	21.307388		
2037	33	50	42.614776	21.307388		
2038	34	50	42.614776	21.307388		
2039	35	50	42.614776	21.307388		
2040	36	50	42.614776	21.307388		
2041	37	50	42.614776	21.307388		
2042	38	50	42.614776	21.307388		
2043	39	50	42.614776	21.307388		
2044	40	50	42.614776	21.307388		
2045	41	50	42.614776	21.307388		
2046	42	50	42.614776	21.307388		
2047	43	50	42.614776	21.307388		
2048	44	50	42.614776	21.307388		
2049	45	50	42.614776	21.307388		
2050	46	50	42.614776	21.307388		
2051	47	50	42.614776	21.307388		
2052	48	50	42.614776	21.307388		
2053	49	50	42.614776	21.307388		
2054	50	50	42.614776	21.307388		
2055	51	50	42.614776	21.307388		
2056	52	50	42.614776	21.307388		
2057	53	50	42.614776	21.307388		
2058	54	50	42.614776	21.307388		
2059	55	50	42.614776	21.307388		

<技術革新がある場合>

年間走行距離(c)	9000							
生産時のCO2排出量(a)	314.1783							
年	鉄鋼	非鉄金属	その他	CFRP	合計	燃費	リサイクル材割合	バージン材
2004	958.82	120.72	300.49	0	1380.03	15.4	40.2852	824.08215
2005	893.82	119.42	300.49	18.2	1331.93	15.881	41.65163818	777.15934
2006	828.82	118.12	300.49	36.4	1283.83	16.362	43.12046635	730.23652
2007	763.82	116.82	300.49	54.6	1235.73	16.843	44.70364092	683.3137
2008	698.82	115.52	300.49	72.8	1187.63	17.324	46.41505526	636.39088
2009	633.82	114.22	300.49	91	1139.53	17.805	48.27094851	589.46806
2010	568.82	112.92	300.49	109.2	1091.43	18.286	50.29042251	542.54524
2011	503.82	111.62	300.49	127.4	1043.33	18.767	52.49610163	495.62242
2012	438.82	110.32	300.49	145.6	995.23	19.248	54.91498407	448.6996
2013	373.82	109.02	300.49	163.8	947.13	19.729	57.57955241	401.77679
2014	308.82	107.72	300.49	182	899.03	20.21	60.5292408	354.85397
2015	243.82	106.42	300.49	200.2	850.93	20.691	63.81239965	307.93115
2016	172.2	104.6	300.49	218.9	796.19	21.2384	67.7786375	256.54327
2017	168.53	104.3385	300.49	219.45	792.8085	21.27222	67.96527659	253.97401
2018	164.86	104.0777	300.49	220	789.4277	21.30602	68.15349153	251.40514
2019	161.19	103.8175	300.49	220.55	786.0475	21.33983	68.34330226	248.83667
2020	157.52	103.5579	300.49	221.1	782.6679	21.37362	68.53472901	246.26858
2021	153.85	103.299	300.49	221.65	779.289	21.40741	68.72779241	243.70088
2022	150.18	103.0408	300.49	222.2	775.9108	21.44119	68.92251341	241.13357
2023	146.51	102.7832	300.49	222.75	772.5332	21.47497	69.11891332	238.56664
2024	142.84	102.5262	300.49	223.3	769.1562	21.50874	69.31701382	236.00009
2025	139.17	102.2699	300.49	223.85	765.7799	21.5425	69.51683699	233.43393
2026	135.5	102.0142	300.49	224.4	762.4042	21.57626	69.71840526	230.86816
2027	131.83	101.7592	300.49	224.95	759.0292	21.61001	69.92174146	228.30276
2028	128.16	101.5048	300.49	225.5	755.6548	21.64375	70.12686884	225.73775
2029	124.49	101.251	300.49	226.05	752.281	21.67749	70.33381104	223.17311
2030	120.82	100.9979	300.49	226.6	748.9079	21.71122	70.54259211	220.60885

2031	117.15	100.7454	300.49	227.15	745.5354	21.74495	70.75323656	218.04498
2032	113.48	100.4935	300.49	227.7	742.1635	21.77866	70.96576932	215.48147
2033	109.81	100.2423	300.49	228.25	738.7923	21.81238	71.18021575	212.91835
2034	106.14	99.9917	300.49	228.8	735.4217	21.84608	71.39660169	210.3556
2035	102.47	99.74172	300.49	229.35	732.0517	21.87978	71.61495345	207.79322
2036	98.8	99.49237	300.49	229.9	728.6824	21.91348	71.83529779	205.23122
2037	95.13	99.24364	300.49	230.45	725.3136	21.94716	72.057662	202.66959
2038	91.46	98.99553	300.49	231	721.9455	21.98084	72.28207383	200.10833
2039	87.79	98.74804	300.49	231.55	718.578	22.01452	72.50856157	197.54744
2040	84.12	98.50117	300.49	232.1	715.2112	22.04819	72.73715401	194.98692
2041	80.45	98.25492	300.49	232.65	711.8449	22.08185	72.96788051	192.42677
2042	76.78	98.00928	300.49	233.2	708.4793	22.11551	73.20077095	189.86698
2043	73.11	97.76426	300.49	233.75	705.1143	22.14916	73.43585577	187.30757
2044	69.44	97.51985	300.49	234.3	701.7498	22.1828	73.673166	184.74852
2045	65.77	97.27605	300.49	234.85	698.386	22.21644	73.91273326	182.18983
2046	62.1	97.03286	300.49	235.4	695.0229	22.25007	74.15458975	179.63151
2047	58.43	96.79027	300.49	235.95	691.6603	22.2837	74.3987683	177.07355
2048	54.76	96.5483	300.49	236.5	688.2983	22.31732	74.64530238	174.51595
2049	51.09	96.30693	300.49	237.05	684.9369	22.35093	74.89422609	171.95872
2050	47.42	96.06616	300.49	237.6	681.5762	22.38454	75.14557421	169.40184
2051	43.75	95.82599	300.49	238.15	678.216	22.41814	75.39938218	166.84532
2052	40.08	95.58643	300.49	238.7	674.8564	22.45174	75.65568614	164.28917
2053	36.41	95.34746	300.49	239.25	671.4975	22.48533	75.91452295	161.73337
2054	32.74	95.1091	300.49	239.8	668.1391	22.51891	76.1759302	159.17792
2055	29.07	94.87132	300.49	240.35	664.7813	22.55249	76.43994621	156.62284
2056	25.4	94.63414	300.49	240.9	661.4241	22.58606	76.70661009	154.0681
2057	21.73	94.39756	300.49	241.45	658.0676	22.61962	76.97596173	151.51373
2058	18.06	94.16156	300.49	242	654.7116	22.65318	77.2480418	148.9597
2059	14.39	93.92616	300.49	242.55	651.3562	22.68674	77.52289184	146.40603
2060	10.72	93.69135	300.49	243.1	648.0013	22.72029	77.8005542	143.85271
2061	7.05	93.45712	300.49	243.65	644.6471	22.75383	78.08107211	141.29974
2062	3.38	93.22347	300.49	244.2	641.2935	22.78737	78.36448971	138.74712
2063	0	92.99042	300.49	244.75	638.2304	22.818	78.63341938	136.36802

CO2 排出量					
新車 (長)	新車 (短)	中古車 (長)	中古車 (短)	合計 (長)	合計 (短)
49436.6	50058.7	50827.193	48839.362	100263.7	98898.05
資源投入量					
1145.14	1755.8			1145.136	1755.799

		ASRリサイクル 率	ASR 引取 量	ASR 廃棄 量	ASR 廃棄 量	j(～2015年)=	1.3
2004	1	50	42.614776	21.307388	80995.35	j(2016年～)=	0.65
2005	1	57	42.614776	18.324354	69656		
2006	2	58.3	42.614776	17.770361		中古車(10 年)	中古車(6 年)
2007	3	59.6	42.614776	17.216369		87.402905	109.647818
2008	4	60.9	42.614776	16.662377			
2009	5	62.2	42.614776	16.108385			
2010	6	63.5	42.614776	15.554393			
2011	7	64.8	42.614776	15.000401			
2012	8	66.1	42.614776	14.446409			
2013	9	67.4	42.614776	13.892417			
2014	10	68.7	42.614776	13.338425			
2015	11	70	42.614776	12.784433			
2016	12	70.65	42.614776	12.507437			
2017	13	71.3	42.614776	12.230441			
2018	14	71.95	42.614776	11.953445			
2019	15	72.6	42.614776	11.676449			
2020	16	73.25	42.614776	11.399453			
2021	17	73.9	42.614776	11.122456			
2022	18	74.55	42.614776	10.84546			
2023	19	75.2	42.614776	10.568464			
2024	20	75.85	42.614776	10.291468			

2025	21	76.5	42.614776	10.014472			
2026	22	77.15	42.614776	9.7374763			
2027	23	77.8	42.614776	9.4604802			
2028	24	78.45	42.614776	9.1834842			
2029	25	79.1	42.614776	8.9064881			
2030	26	79.75	42.614776	8.6294921			
2031	27	80.4	42.614776	8.352496			
2032	28	81.05	42.614776	8.0755			
2033	29	81.7	42.614776	7.798504			
2034	30	82.35	42.614776	7.5215079			
2035	31	83	42.614776	7.2445119			
2036	32	83.65	42.614776	6.9675158			
2037	33	84.3	42.614776	6.6905198			
2038	34	84.95	42.614776	6.4135237			
2039	35	85.6	42.614776	6.1365277			
2040	36	86.25	42.614776	5.8595317			
2041	37	86.9	42.614776	5.5825356			
2042	38	87.55	42.614776	5.3055396			
2043	39	88.2	42.614776	5.0285435			
2044	40	88.85	42.614776	4.7515475			
2045	41	89.5	42.614776	4.4745515			
2046	42	90.15	42.614776	4.1975554			
2047	43	90.8	42.614776	3.9205594			
2048	44	91.45	42.614776	3.6435633			
2049	45	92.1	42.614776	3.3665673			
2050	46	92.75	42.614776	3.0895712			
2051	47	93.4	42.614776	2.8125752			
2052	48	94.05	42.614776	2.5355792			
2053	49	94.7	42.614776	2.2585831			
2054	50	95.35	42.614776	1.9815871			
2055	51	96	42.614776	1.704591			
2056	52	96.65	42.614776	1.427595			
2057	53	97.3	42.614776	1.1505989			
2058	54	97.95	42.614776	0.8736029			
2059	55	98.6	42.614776	0.5966069			

