



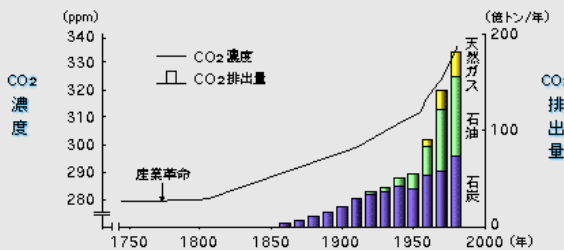
# Global Environmental Policy

8, July, 2003  
Jun TAKAHASHI

## LCA and strategic R&D of ultra-fuel efficient car

### 化石燃料からのCO2排出量と大気中のCO2濃度の変化

産業革命以降、産業の発展に比例するように二酸化炭素の濃度も上昇しており、1950年代からは急激に悪化しているのがわかる。



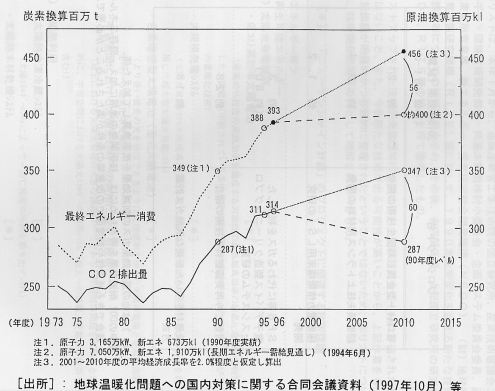
### 国際的動向

- 石油危機 (1973, 1979) 以降  
各国における省エネの推進・代替エネの導入
- 地球温暖化問題への国際的取り組み  
1988 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 設立  
1992 環境と開発に関する国連会議 (地球サミット)  
1994 気候変動枠組条約 (UNFCCC) 発効  
1997 COP3 (京都議定書採択) 90年比6%削減  
2001 COP7 (京都議定書運用ルール合意)  
2003? 京都議定書批准 発効

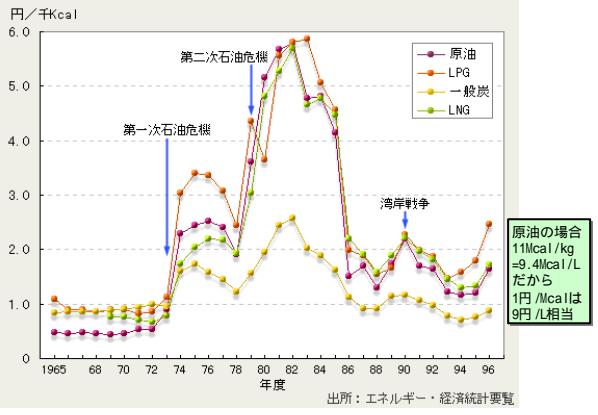


国際協調による新たな対応の必要性  
(技術開発、メカニズム、etc.)

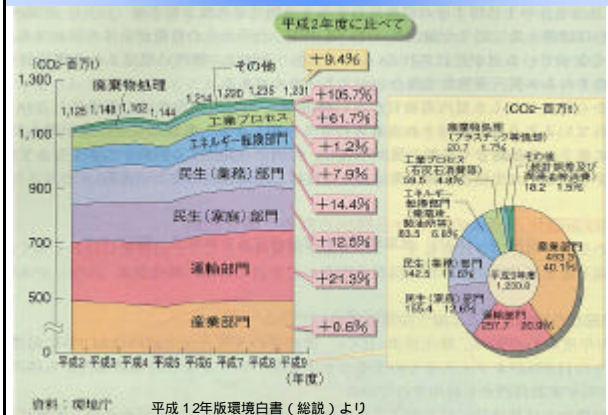
### 最終エネルギー消費とエネルギー起源CO2排出量の実績と見通し



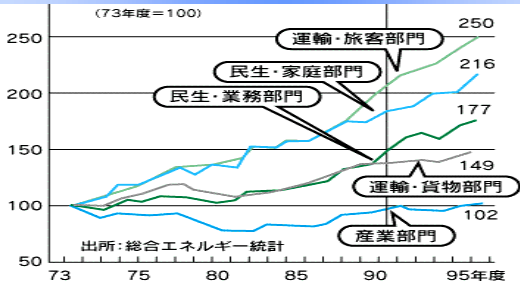
### 化石エネルギーの輸入価格の推移 (円ベース)



### 日本の二酸化炭素排出量の推移



### 部門別エネルギー消費の推移



省エネが規制の対象や競争力となる部門では増えていない

- 産業部門、運輸（貨物）部門 自主行動計画、省エネ法
- 一般大衆に委ねられている部門で大幅に増加している
- 民生（業務）部門 ガイドラインが策定されつつある
- 民生（家庭）部門、運輸（旅客）部門 優遇税制（インセンティブ期待薄）

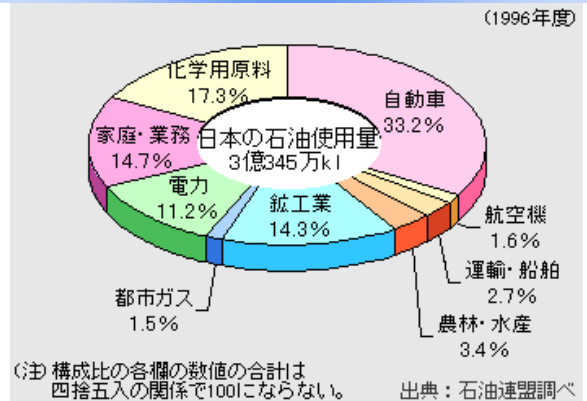
### 輸送部門での省エネ・温暖化対策

- サービスの質と量を低下させない（Sustainable Development）とすると、単位サービスあたりの原単位を下げるしかない。
- 単位サービスあたりの原単位を下げるためには：
  - より原単位の小さな輸送手段への転換：
    - 貨物部門におけるモーダルシフト（トラック輸送の鉄道・海運への転換）
    - 旅客部門における自家用車から公共交通機関利用への転換
    - 省エネ車購入時の優遇税制
  - 同じ輸送手段をより高い原単位で活用する：
    - 渋滞の緩和（ETC、ITSなど）
    - 長時間停車時のアイドリングをやめる
  - 輸送手段自体の原単位低下（＝燃費向上）：
    - 推進形態の変更（ハイブリッド車、燃料電池車）
    - 車体軽量化（ハイブリッド、アルミ、樹脂、複合材料）
    - 空力抵抗低減

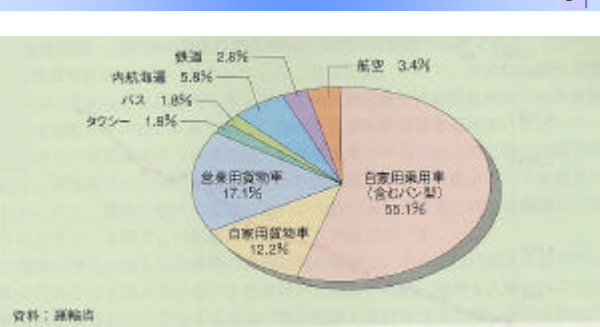
### 省エネ・温暖化対策としての自動車軽量化

- なぜ自動車なのか？
  - 日本の石油使用量の約3分の1が自動車による
  - 世界の石油使用量の約半分は自動車による
  - 日本のCO2排出量の約20%が自動車から
  - 運輸部門のCO2排出量の88%が自動車から
- なぜ軽量化なのか？
  - 燃費向上の費用対効果が高い
  - 他の燃費向上技術（燃料電池、抵抗低減）と共存
- なぜ急いで自動車を軽量化しなければいけないのか？
  - 中国とインドのモータリゼーションに間に合わせないと大変
- なぜCFRPなのか？
  - 同じ強度・剛性を最も軽く実現できる（例：F1, 航空機）
- 注意点とは？
  - 技術的に、段階を追って軽量化する必要がある
  - 技術適用からポテンシャル発揮まで15～20年かかる
  - リサイクル（正しくは3R）を考慮して設計する必要がある

### 日本の石油の用途

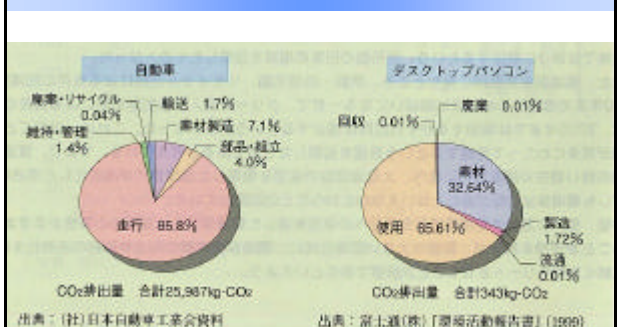


### 輸送機関別に見た二酸化炭素排出量の割合 (1997年度)

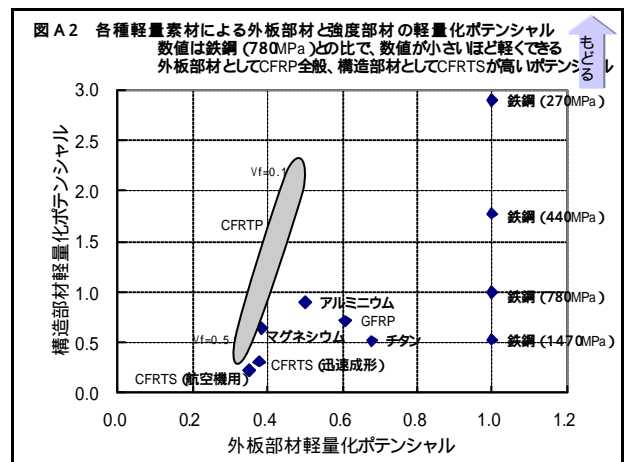
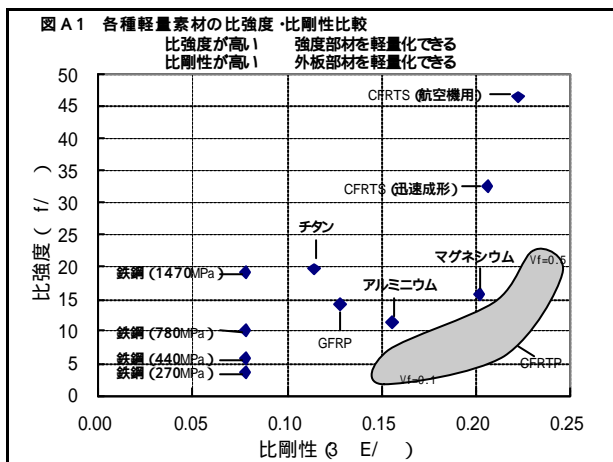
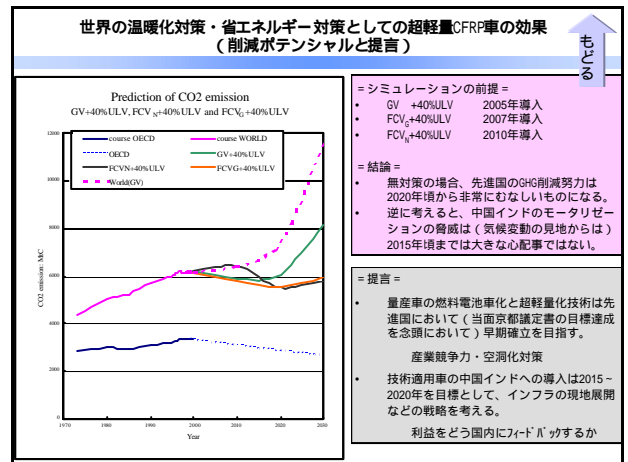
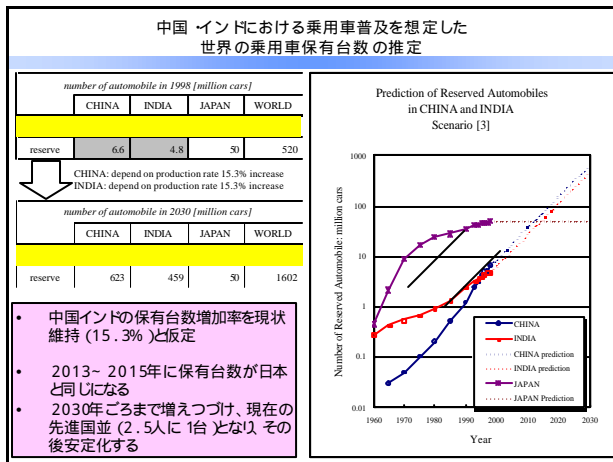
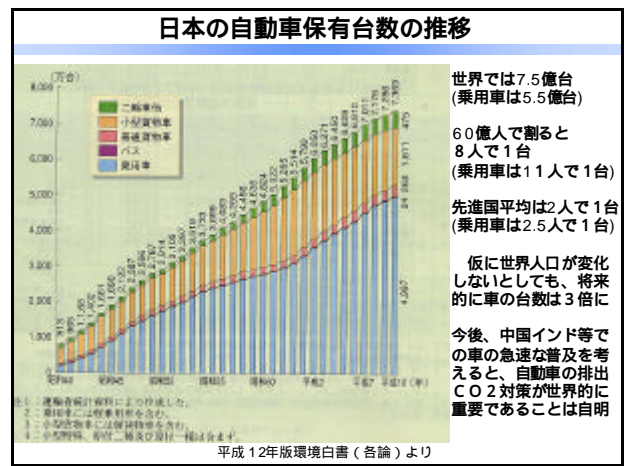
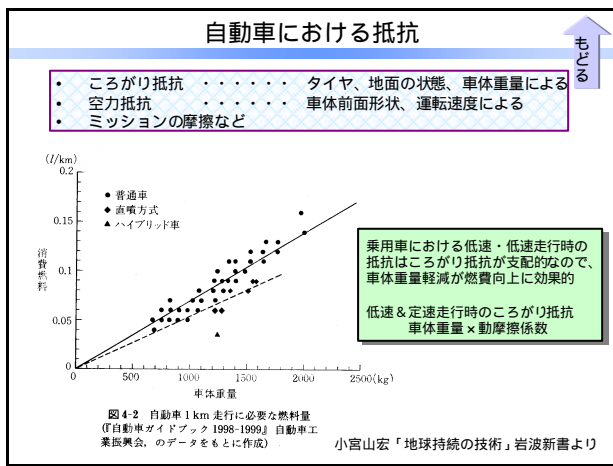


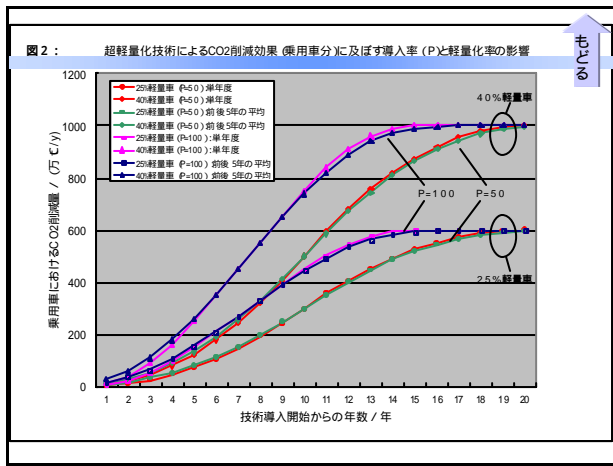
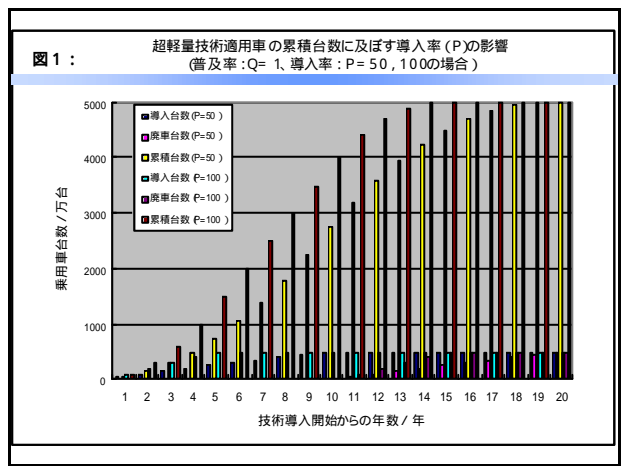
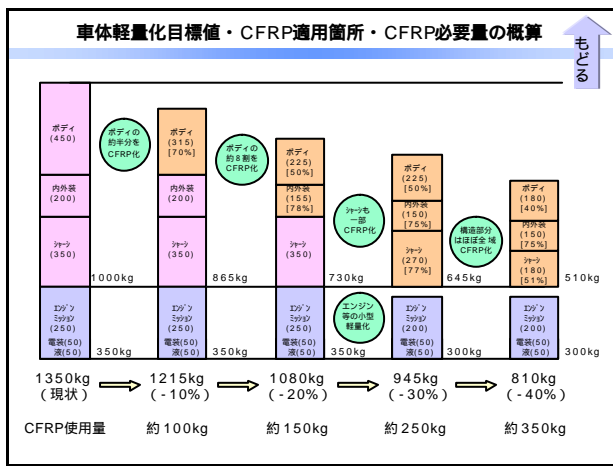
平成12年版環境白書（総説）より

### 製品のライフサイクルでの二酸化炭素排出量の例



平成12年版環境白書（総説）より





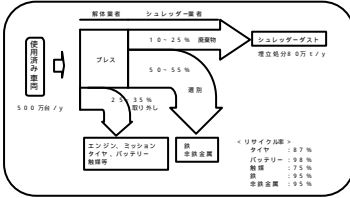
- ### 省エネ・温暖化対策のトレードオフとしてのリサイクル
- 社会受容性から見た個別技術開発のトレードオフ
    - 技術開発の全体目的 (社会受容性)
    - ライフサイクルの各段階での技術開発項目
  - 自動車のリサイクル率
  - 基礎素材のリサイクルの考え方
  - ライフサイクルアセスメント(LCA)
    - 考え方
    - 自動車の LCA
    - CFRPリサイクルのあるべき姿

- ### 社会受容性から見た個別技術開発のトレードオフ
- #### (1) 技術開発の全体目的 (社会受容性)
- ニーズに対応すべく既製品に新技術を導入したり、新たに製品開発を行う際、全体としては次のような社会受容性 (全体目標) を同時に満足することが必要となる。
    - コスト関連の社会受容性の例
      - 設備投資等の導入コストの極小化 (生産規模と関連)
      - 製品コスト (イニシャルコスト) の極小化
      - 輸送・運搬・メンテナンス・リサイクル・廃棄を含むトータルコストの極小化
      - これまで消費者等が別途負担してきた外部費用の製品コストへの組み込み (内部化) に対する (つまり、トータルコスト極小化製品であれば製品コストが高くなっても消費者に受け入れられるようにするための) 説明責任
    - 品質保証関連の社会受容性の例 (メンテナンスコストとの関連)
      - パフォーマンス (基本性能、機能性)、アメニティ性 (意匠、快適性) 向上
      - 可動率 (広義の信頼性: 安全性、耐久性、修理可能性) 向上
    - 環境問題対策関連の社会受容性の例
      - 地球環境問題への対応
        - 公害 (土壌汚染、水質汚染、大気汚染)
        - 人体への悪影響
        - 埋立地の逼迫
      - 地球環境問題への対応
        - 資源枯渇
        - 地球温暖化 気候変動
        - オゾン層破壊
        - 酸性雨

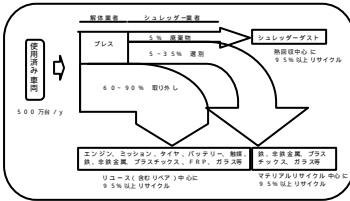
- ### 社会受容性から見た個別技術開発のトレードオフ
- #### (2) ライフサイクルの各段階での技術開発項目
- 素材製造段階
    - 低コスト化
    - 易リサイクル化
    - 過剰性能を無くす、等
    - 素材の種類減、コンタミによる性能劣化抑制、等
  - 素材加工・製品製造段階
    - 低コスト化
    - 易リサイクル化
    - 部品の一体成形、等
    - 部品点数を減らす、組立・解体が容易な設計、等
    - マテリアルリサイクルのためにユニット化も選択肢
    - ユニット化は広義の信頼性向上にも寄与する (ユニット化 モジュール化)
  - 製品使用段階
    - 広義の信頼性向上
      - 品質 (特に長期安全性・耐久性) 保証精度の向上、
      - 余寿命評価・修理・補強をし易くする、等
      - 信頼性の向上は長寿命化 (省資源化) にもつながる
    - 低環境負荷化
      - 高効率化、特に輸送機器では軽量化、等
  - リサイクル・廃棄段階
    - リユース性向上
    - マテリアルリサイクル性向上
    - リサイクル性向上
    - 易解体設計、余寿命評価精度向上、等
    - 素材種類減、易分別回収設計、カッターリサイクル法開発、等
    - コンタミ対策、炭塩素、等

### 使用済み車両資源化の現状とCFRPによる超軽量自動車再資源化のビジョン

現状：  
リサイクル率  
75～85%



2015年  
95%リサイクル  
のビジョン



### 超軽量CFRP車実現のための課題（不可欠となる3R）

軽量化率 (%)	0	10	20	30	40
車体重量 (kg)	1350	1215	1080	945	810
車体重量の10% (kg)	135	122	108	95	81
車体重量の5% (kg)	68	61	54	47	41
CFRP使用量 (kg)	0	100	200	300	400
車体重量に占める%	0	8	19	32	49
CF使用量 (kg)	0	40	80	120	160

- 仮に焼却可能な量（車体重量の10%）をすべてCFRPに使用できるとしても、10%以上の軽量化で飽和  
= サーマルリサイクル以外のリサイクル方法が必要
- （同一部品または同一製品へ戻す）マテリアルリサイクル方法の確立が不可欠
- 現実的には、リユース率をいかに上げられるかが鍵となる

### リサイクルと省エネのトレードオフ （プラスチックリサイクルについての基本）

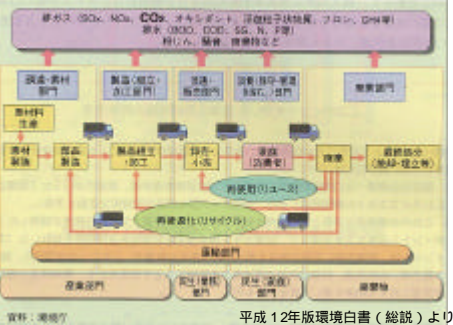
- **リサイクルしない場合**.....【石油2、ゴミ1】
  - 1トンのプラスチックを作るのに必要な石油は約2トン
  - 原料としての石油1トン + 燃料としての石油約1トン
  - 定常状態では、1トンのプラスチックゴミを排出
- **完全リサイクル（マテリアルリサイクル）の場合**.....【石油3～5、ゴミ0】
  - （劣化によりリサイクルできなくなる現象はここでは無視）
  - 1トンの廃プラが原料となる（プラスチックゴミはゼロ）
  - 廃プラ1トンからプラスチック1トンを作るためには、燃料としての石油が3～5トン必要
  - 結果的に、ゴミを出さない循環型（リサイクル）社会を目指すために、枯渇性資源を倍以上消費することになり、当然、排出CO2もそれに比例して増える（循環型社会を取るが、枯渇性資源節約&温暖化対策を取るかのトレードオフ）
- **完全リユースの場合**.....【石油0、ゴミ0】
  - （劣化によりリユースできなくなる現象はここでは無視）
  - 1トンの廃プラが原料となる（プラスチックゴミはゼロ）
  - 廃プラ1トンからプラスチック1トンを得るエネルギーは極めて小さい
  - 易分解設計、非破壊的寿命評価、等が重要な技術となる
- **完全サーマルリサイクル（熱エネルギーとしての回収）の場合**.....【石油1、ゴミ0】
  - 1トンの廃プラは1トンの石油と同等のエネルギーとなる（ゴミはゼロ）
  - この熱を利用して、石油1トンからプラスチック1トンを作ることができる
  - 易分解設計、脱塩素、等によりダイオキシン発生を抑制する必要がある

### 基礎素材としての利用し易さ（集積度と濃度）

- **天然資源（資源として活用できるものは既に地理的に集積しているとする）**
  - 地理的集積度【・・・中～高】
  - 物理的濃度【低～中～高】
  - （大きなエネルギーが必要となる工程）
- **材料・基礎素材**
  - 地理的集積度【・・・高】（鉱物の探掘等、にエネルギー必要）
  - 物理的濃度【・・・高】（濃縮にも大きなエネルギーが必要）
- **製品**
  - 地理的集積度【低～中・・・】（市場に分散）
  - 物理的濃度【・・・中・・・】（組立、溶接等により、純度が低下）
- **ゴミ（使用済み製品）**
  - 地理的集積度【・・・高】（回収にエネルギーが必要）
  - 物理的濃度【低・・・】（異種ゴミを混ぜると、純度が低下）
  - （大きなエネルギーが必要となる工程）
- **再生材料**
  - 地理的集積度【・・・高】
  - 物理的濃度【・・・高】（分離、濃縮に大きなエネルギー）

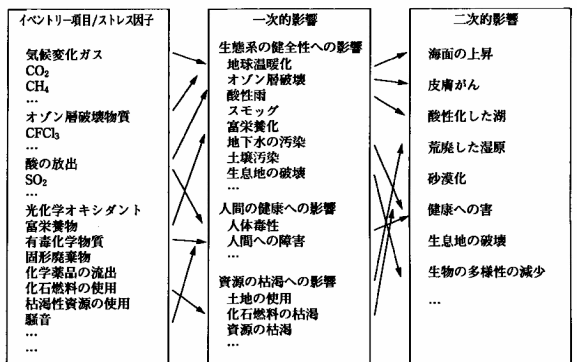
リサイクルの技術開発目標は天然資源からの加工E

### インターフェイスとしてのLCAの考え方



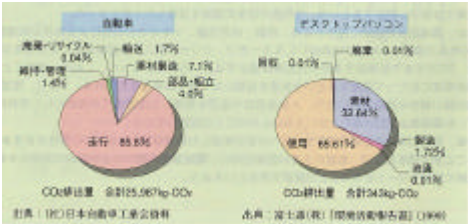
問題・課題は多く残されているものの、LCAの考え方は、様々な基礎素材屋、部品製造屋、組立屋、ユーザー、廃棄物処理屋、に共通の議論が可能となるインターフェイスとなりうる

### LCAにおける影響分類



### 超軽量CFRP車のLCA

- 輸送機器のエネルギー消費とCO2排出は、一般に走行中が支配的
  - 自家用乗用車 (86%)、貨物用自動車 (90%以上)、新幹線 (97%)



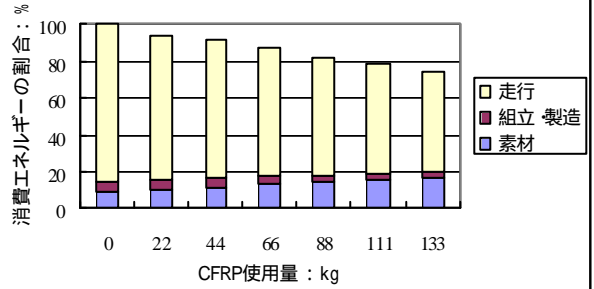
LCAをやらずとも、燃費向上が省エネと温暖化対策に効果的であることは明白。

ではなぜ多くの労力を投入してCFRPのLCIデータを収集するのか？

- 素材産業としての化学物質管理と川下側への説明責任の一貫として
  - (素材レベルでの) 行程改善指針策定の基礎データとして
- 原単位をより効率的に低下させるには？ リサイクルの効果は？

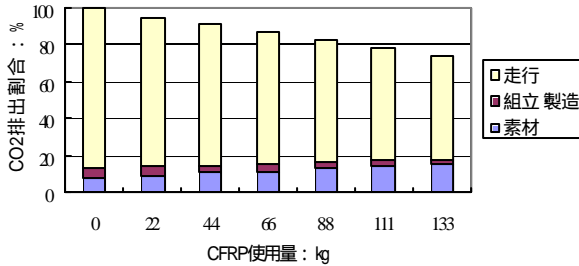
### CFRP導入量によるLC消費エネルギーの変化

現段階のCFRP製造原単位 (460MJ/kg) でも  
素材製造 + 組立 + 走行の消費エネルギーは減少

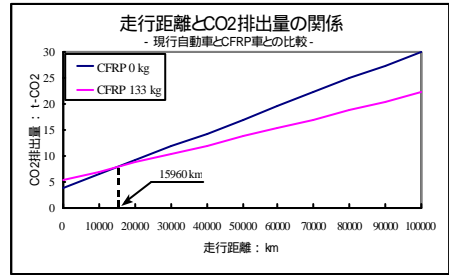


### CFRP導入量によるLC排出CO2の変化

現段階のCFRP製造原単位 (460MJ/kg) でも  
素材製造 + 組立 + 走行におけるCO2排出量も減少



### CFRP車のLCA



長く乗るほど地球に優しい

- CFRPの高い耐久性を活かした車の運用システムを考えるべき
  - 非破壊的余寿命評価・補修技術 (材料寿命を使い切る)
  - ITを活用したメンテナンス (安全性・快適性の保障)
  - 推進系・摩擦系の改善技術をバージョンアップ可能とする

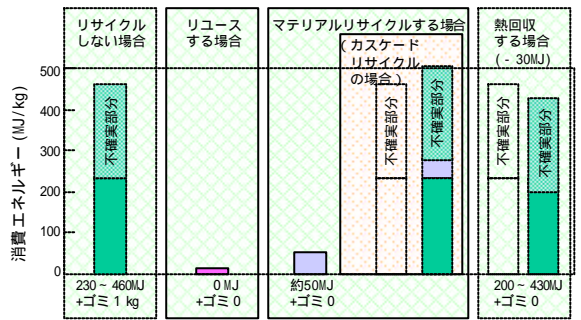
### 最も簡単にCFRPの原単位を低下させる方法 = 3R

単に、製造エネルギー原単位とCO2排出原単位コストの原単位を低下させることを目的とするならば、リサイクル率を上げることが最も効果的であり、コスト・エネルギー・排出CO2原単位の低いリサイクル方法の開発が鍵となる。

	リ-ジ-ン材の現在の原単位		リサイクル材の原単位		50%リサイクル材使用時の原単位	
	製造エネルギー (MJ/kg)	CO2排出量 (kg/kg)	製造エネルギー (MJ/kg)	CO2排出量 (kg/kg)	製造エネルギー (MJ/kg)	CO2排出量 (kg/kg)
鋼板 (メッキ)	29	2.2	5	0.2	17	1.2
鋼材	23	1.8	3	0.2	13	1.0
アルミ (板、押出材)	205	11.0	43	2.2	124	6.6
マグネ (ダイカスト材)	165	18.0	45	2.0	105	10.0
樹脂 (平均値)	68	1.7	12	0.5	40	1.1
CFRP	130 ~400	8.7 ~24.5	~50	~3.0	90 ~225	10.2 ~13.8

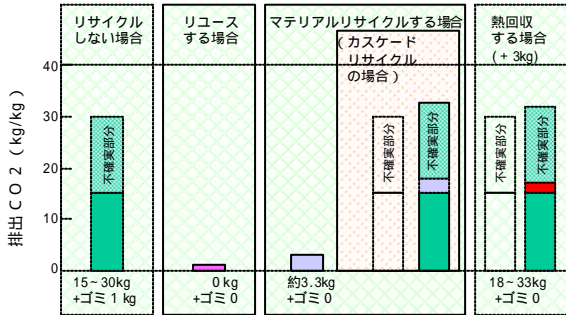
注：表中のCFRP以外の原単位は、ある車のLCAケーススタディに用いられた値からの引用である。この種のケーススタディには、国、会社により異なる値が用いられているが、オーダーとしては概ね上表のような値が用いられている。

### CFRPを1kg得るために必要なエネルギー



- 3R率の向上により原単位が下がり、ゴミも減る
- 得な順は、リユース > マテリアル > サーマル
- 現実には、リユース > サーマル > マテリアル

### CFRPを1kg得る際に排出するCO2



- 3R率の向上により原単位が下がり、ゴミも減る
- 得な順は、リユース > マテリアル > サーマル
- 現実には、リユース > サーマル > マテリアル

### 原単位からわかるCFRPとプラスチックの3Rにおける相違

- プラスチックでは
  - エネルギー原単位は、リユース < サーマル < マテリアル < カスケード
  - CO2排出原単位は、リユース < マテリアル < サーマル < カスケード
- よって、マテリアルリサイクルに固執する必要はなく、リユースできないものはサーマルリサイクルという単純なオプションも妥当となる。
- CFRPでは
  - エネルギー原単位は、リユース < マテリアル < サーマル < カスケード
  - CO2排出原単位は、リユース < マテリアル < サーマル < カスケード
- バージン材の原単位がマテリアルリサイクルの原単位と比べて非常に大きい点が、通常のプラスチックとの大きな相違点である。
- そのため、サーマルリサイクル、カスケードリサイクルを行う場合の(CFRP 1kgを得るための)原単位が、リユースや(同一部品・製品に戻す)マテリアルリサイクルの原単位よりもはるかに大きいものとなる。
- よって、3Rの中でもリユースと(同一部品・製品に戻す)マテリアルリサイクル率の向上により原単位が大幅に下がり、ゴミも減るので、この技術開発が重要となる。
- アロケーションの取り決めにもよるが、カスケードリサイクルは非常に不利となる点に注意しなければならない。
- ゴミ減量のための最終手段としては、サーマルリサイクルもやむを得ないが、ふつうのプラスチックに比べて原単位的には相当不利になる。

### 国内の温暖化対策・省エネルギー対策としての超軽量CFRP車の効果 (ポテンシャル = 可能性としての最大値)

- 国内のGHG排出内訳 (1999年の国内CO2換算排出量は334MtC)
  - 産業: 41% (1999年138MtC、76年比90年比とも横這い)
  - 民生: 26% (1999年88MtC、76年比66%増、90年比17%増)
  - 運輸: 21% (1999年71MtC、76年比87%増、90年比24%増)
- 民生(特に家庭)部門・運輸(特に旅客)部門は増え続けている  
対策により大幅削減の余地有
- 運輸部門排出量中自動車 が88%を占める
  - 乗用車だけで運輸部門の約半分、日本の約1割
  - 乗用車の燃費が2倍になれば国内のCO2排出量約5%削減
  - 自動車全体の燃費が2倍になれば国内のCO2排出量約10%削減
- 国内の石油消費内訳 (約3億Lの使用量のうち自動車で約1億L使用)
  - 乗用車の燃費が2倍になれば国内の石油消費量約9%削減
  - 自動車全体の燃費が2倍になれば国内の石油消費量約17%削減