人間社会と材料

地球環境問題と物質・材料との係わり

東京工業大学大学院総合理工学研究科
材料物理科学専攻　　熊井　真次

世界がもし100人の村だったら

（池田香代子再話、C．ダグラス・ラミス対訳、マガジンハウス2001）

- 52人が女性、48人が男性
- 30人が子供、70人が大人、そのうち7人がお年寄り
- 20人は栄養が十分でなく、1人は死にそうで、15人は太り過ぎ
- すべての富のうち6人のアメリカ人が全体の59%を持っている
- すべてのエネルギーのうち20人が80%を使い、80人が残り20%を分けあっている

63億人が住む地球村を100人に縮小して見たとき、貧富の差が大きい病める世界が見えてくる！

世界の変化を1秒間に縮めてみたら？
(地球環境データブック２００２-３)

- 人口増加　2.4人
- CO_2の排出量　762トン (2001年)
- 大気中のCO_2蓄積量　250トン
- 大気中のO_2減少量　690トン
- 地表の平均温度上昇　0.00000000348℃
- 熱帯雨林の消失面積　0.6ha
- グリーンランドの氷の融解量　1.6トン
- 中国の砂漠の拡大面積　78m^2

世界の変化を1秒間に縮めてみたら？
(地球環境データブック２００２-３)

- 金属の生産量　28.6トン
- 穀物生産料　58.4トン
- 丸太生産量　106トン
- 淡水利用量　103トン
- 乗用車生産台数　1.27台
- テレビの生産台数　4台
- この他、1日に100～200種の生物種が絶滅

人類が地球上で昼夜を問わず人口を爆発的に増加させ、活発な産業経済活動を行い、膨大な環境負荷を生態系に負わせ、他の生物を絶滅に追いやっている！

地球環境問題って何？

- 人口増加
- 空気中の炭酸ガス濃度の増大
- オゾン層の破壊
- 酸性雨
- 森林破壊
- 野生動物の減少　等

人口増加

- 1999年の世界人口は60億人で、1960年時点の人口の2倍
- 世界人口はアジア、アフリカを中心に今後も急激に増加、2050年には90億人に到達
- エネルギー消費量の増加により、大気汚染物質、温室効果ガスの排出量が増加
- 開発途上国では、食料生産増加のための森林の過剰伐採、過放牧により森林面積が減少、土壌流出、砂漠化が進行
- 農村部の貧民が都市部に大量に流入し、社会基盤施設が追い付かないため大気汚染、水質汚濁が進行

空気中の炭酸ガス濃度の増加

- 二酸化炭素（CO_2）、メタン等の温室効果ガスの増加により温室効果が高まり、地上の気温が上昇
- 原因は化石燃料の使用（3/4）と森林の減少（1/4）
- 20世紀中に海面水位が20cm上昇、積雪面積が10%減少、北半球での大雨発生頻度が4%増加
- IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は21世紀中に平均地上気温が1.4～5.8℃上昇すると予測（平均海面水位は9～88cm上昇）
- 1997年の京都議定書で日本は温室効果ガスの6%削減（比基準年）を確約
- 化石燃料の使用削減（省エネルギー）や森林等のCO_2吸収源の保全が重要

オゾン層の破壊

- オゾン層破壊の原因はフロン
- 無臭、不燃の化学的に安定な無害なガスとして、冷蔵庫、エアコンの冷媒やスプレーの噴霧剤に幅広く利用
- 大気中に放出されたフロンは十数年かけて成層圏に到達、紫外線があたると分解し、塩素原子を放出、この塩素原子がオゾンを分解することが判明
- オゾン層の破壊により、強力な紫外線が地上に降り注ぐと、皮膚がん、白内障の増加、生態系の異変、農作物の収穫量減少等が懸念
- 1987年モントリオール議定書によるフロン規制、92年には特定フロンの生産を95年末までに全廃することを決議、塩素ガスを含まない代替フロンの利用を促進
- 代替フロンは地球温暖化の原因となることが判明

酸性雨

- 大気汚染によって酸性になった雨、雪、霧、酸性の乾いた粒子のことで硫酸や硝酸が含まれている
- 原因は、化石燃料の燃焼により大気中に排出された硫黄酸化物（SOx）や窒素酸化物（NOx）
- 北欧や北米で湖水が酸性化し魚が絶滅、銅製の水道管や歴史的遺跡が溶解、東欧では森林破壊
- 国境を超えたグローバルな問題（日本の酸性雨の原因は、気流によって運ばれる中国大陸の工業地帯で排出されたSOxやNOx）

森林破壊

- かつて陸地面積の16%を占めていた熱帯林の面積がこの50年間で半減
- 一年間に日本の面積の1/3の森林が消失
- 熱帯林減少の原因は、焼畑耕作、農地への転換、薪炭材の採取、過放牧（食肉需要の拡大）
- 熱帯林の減少により、野生生物種の減少、CO_2の増大による地球温暖化の進行、熱帯地方の人々の食料や燃料の消失、水源の涵養機能の低下、気候の不安定化が進む
- 「森林認証」やエコツーリズム（コスタリカ）による森林保全の努力が一部開始

野生動物（生物）の減少

- 生物種の数は1300万種
- 現在、年間4万種が絶滅し（恐竜時代の4000万倍のスピード）、このペースだと数十年後には生物種の1/4が絶滅

  (絶滅危惧種：哺乳類　1130、鳥類　1187、爬虫類　296、両生類　146、昆虫類　555)
- 原因は、開発による自然環境の悪化、生息地の減少、乱獲や密猟、天敵である外来種の侵入
- 生物の多様性は人類にとって大きな意味をもつ（環境浄化、食糧の提供等）

環境問題を別な観点から分類してみると

- 人間活動が自然環境、生態系に与える影響
  - 人間活動によって外界に放出される物質による影響
  - 埋蔵資源、化石燃料資源の消耗
- 人工の物質･材料の氾濫が人間活動や社会環境に与える影響
  - 大量の人工物質･材料で囲まれた生活環境
  - 使用者疎外の製品開発と技術のブラックボックス化

従来の環境問題と地球環境問題との違いは？

- 加害者と被害者の関係
  - 原因が特定企業や特定国にあるのではなく、現在の産業技術体系、社会･経済システムそのものに関係
  - 公害問題や原発事故：加害者≠被害者
  - 地球環境問題　　：加害者＝被害者
- 先進国と発展途上国間の問題
  - 経済のグローバル化、環境管理の格差
- 世代を越えて子孫に影響を及ぼす問題
- 原因と結果の時間差
  - 今安全な物質が将来も安全とは限らない

地球環境問題にどう対応する？

大量生産･大量消費･大量廃棄という様式からどのようにして脱却するか？

- 人口削減！
- 昔の社会に戻す！
- 人間の考え方を根本から変える！

君たちはこれらを実行できるか？

環境対策の基本ルール

- **持続可能な発展（開発）**

  環境保全、新たな開発の両方を満たすことが重要という概念

- **汚染者負担の原則**

  公害や汚染を防ぐための費用は汚染した人が負担すること

- **拡大生産者責任**

  使用済み製品の処理責任の一部または全部をメーカー側が負担すること

- **リスク評価**

  科学的に影響の大きさなどを予測し、対策の優先順位や程度を決める

- **環境効率**

  環境負荷を減らしながらも経済活動を維持・拡大させる

持続可能発展とは？

経済成長の抑制は社会的きしみを生む

- 過去の世界大戦勃発の原因は？
- わずかでも成長しながら問題解決を図ることが重要

持続可能発展

現在の地球環境保全の基本的理念

従来の資源．エネルギーの過剰消費による環境破壊を反省し、環境．資源基盤の保全を図りながら経済発展を遂げることを目指す

生態学（エコロジー）に学ぶ

- 従来の考え方
  - 開発と環境（保護）を管理・規制によって両立させるよう努力
- これからの考え方
  - すべてを全体との関連・相互作用の中でとらえるエコロジー（生態学）的な考え方

代表的なエコロジー的視点

- ラジカル・エコロジー
- ディープ・エコロジー
- インダストリアル・エコロジー
  - ライフサイクル思考
    - ゼロエミッション
    - インバースマニュファクチャリング
    - ファクター10
    - LCA

「循環型社会」って？

- 環境問題の原因のひとつは、大量生産･大量消費･大量廃棄を前提とした社会経済システム

- 大量生産･大量消費･大量廃棄型の社会に代わって、再使用や再生利用によって資源を循環させることによって、新たな資源の投入と廃棄物の排出を削減し、環境への負荷を低減させる社会システム

循環型社会

質　問

(1)　地球環境問題と我々Materials Scientist & Engineerとの関係、

(2)　地球環境問題解決のために我々が担っている役割

について各自の考えを述べよ。

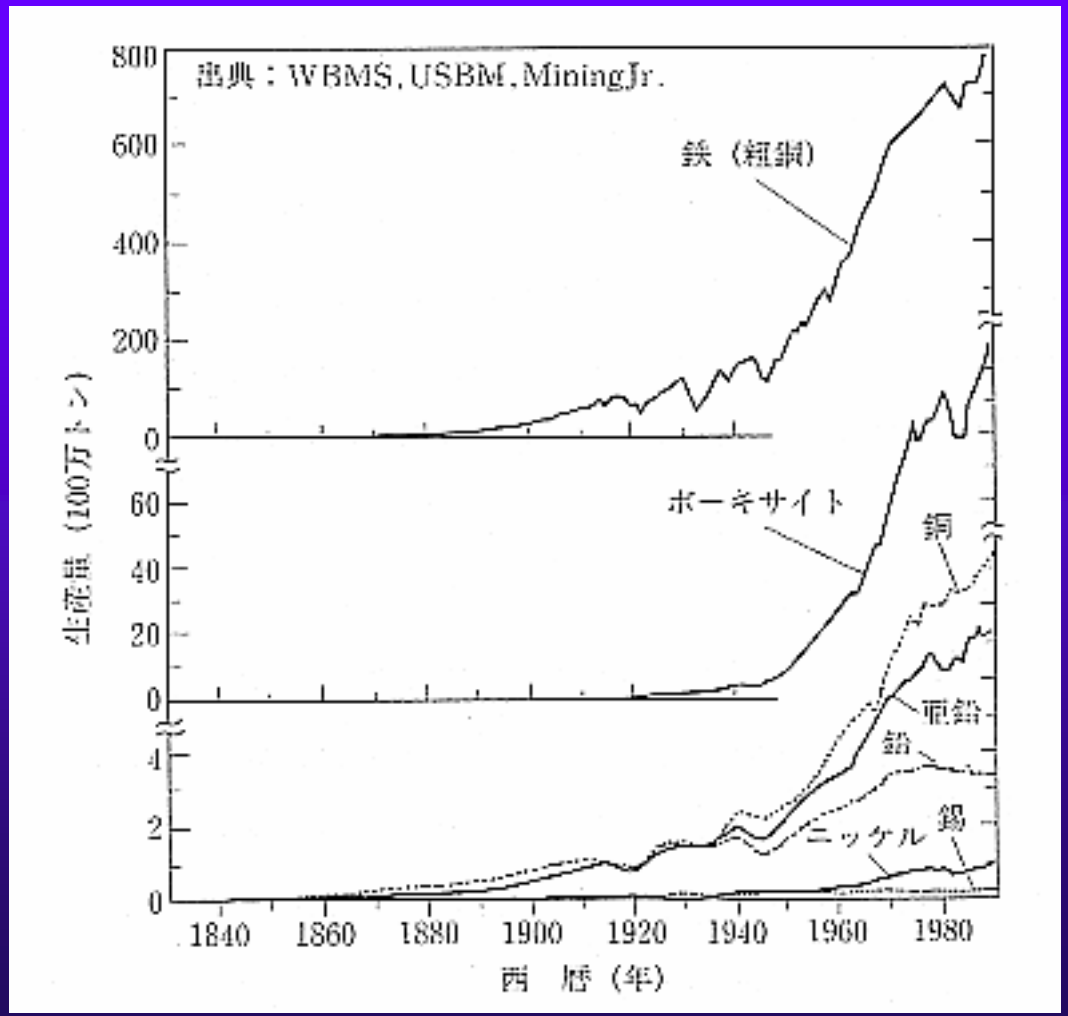
資源問題

- 我々の生活は化石資源（石油・石炭・天然ガス）、金属資源（鉄・アルミニウム・銅）、生物資源（木材・穀物）を使用することにより成立
- 資源枯渇問題（持続可能社会に警鐘）

- 化石資源の寿命（埋蔵量／資源年間生産量）
  - 石油　42.2　年
  - 石炭　224　年
  - 天然ガス　62.2　年
- 金属資源の寿命（埋蔵量／資源年間生産量）
  - アルミニウム　201　年
  - 銅　33.5　年
  - 鉄　90.9　年
  - 鉛　23.0　年
  - 亜鉛　20.5　年
  - 銀　20.3　年

金属材料とリサイクル設計

◆ リサイクルの必要性と課題



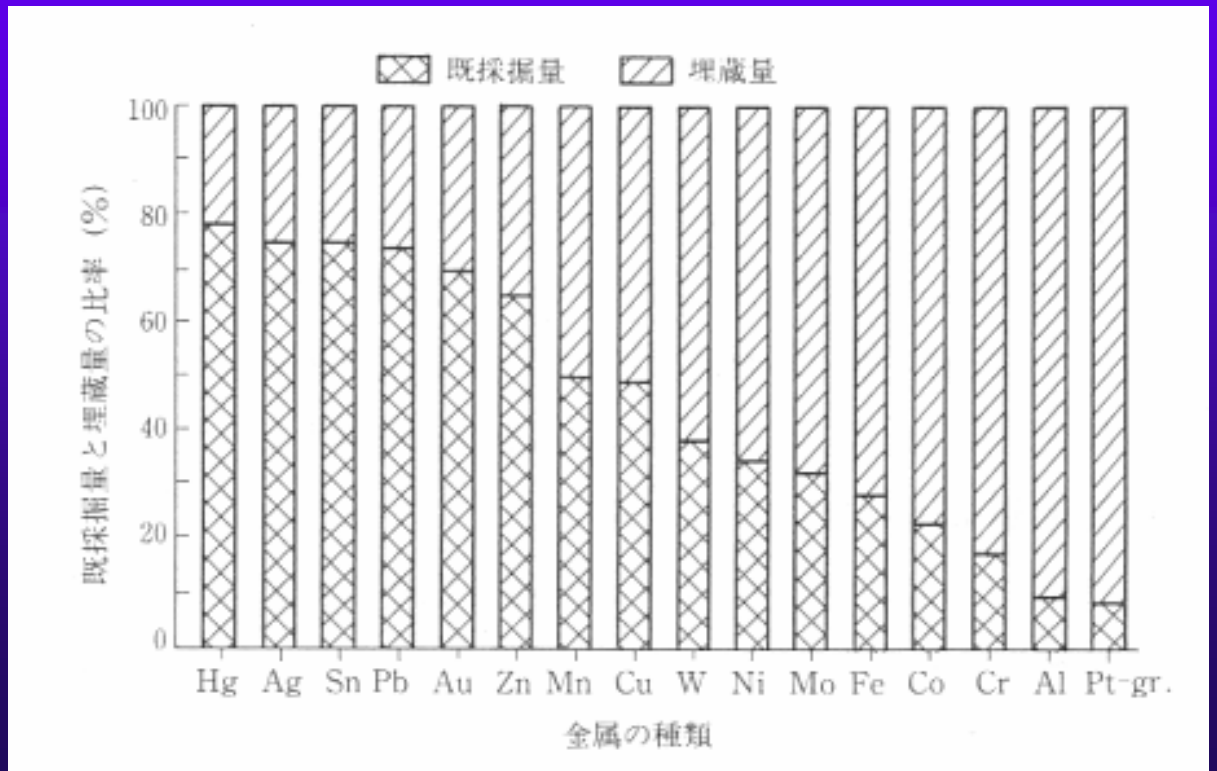
・最近の約30年間に金属資源の使用量が指数関数的に増加

・粗鋼生産量は国内では約1億トンで横ばい

・世界的には急激に増加

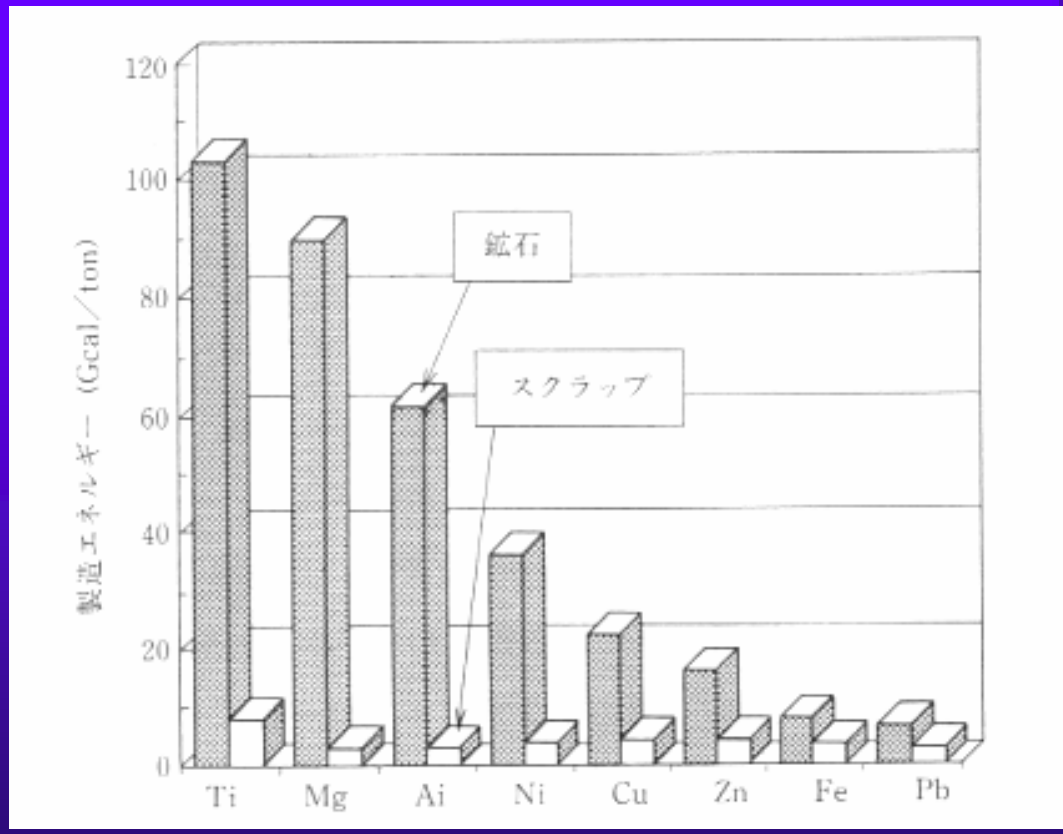
残り少ない資源

- 鉱石埋蔵量と既採掘量の関係 (Skinnerによる分類)
  - 楽観的金属 (鉄、アルミ、チタン、マグネ、マンガン)
  - 中間的金属 (ニッケル)
  - 悲観的金属 (その他の金属)
- 酸化物や硫化物のような高品位鉱石の残存は少ない



金属製造に必要なエネルギー

- 鉱石製錬はスクラップ製錬に比べて環境負荷が大きい
- しかし、これは品質の良いスクラップを使って製錬した場合
- 鉱石製錬では含有量は低いが同品質の原料が多量かつ安定供給
- 市中スクラップ（都市鉱山）は含有量は高いが多種多様で前処理が必要
- 「混ぜればゴミ、分ければ資源」



主要金属の生産量 (世界)

- ベースメタル：鉄、アルミニウム、銅、亜鉛 (全金属生産量の99%以上)
- 鉄は生産量の95%

表 2・1　世界の金属生産量（1992 年）およびクラーク数

種類	生産量（トン）	クラーク数（%）
鉄	7 億 2,266 万	5.00
アルミニウム	1,838 万	8.13
銅	1,101 万	0.0055
亜鉛	720 万	0.0070
鉛	559 万	0.0013
クロム	180 万	0.01
ニッケル	85 万	0.0075
マグネシウム	31 万	2.09

鉄のマテリアルフロー

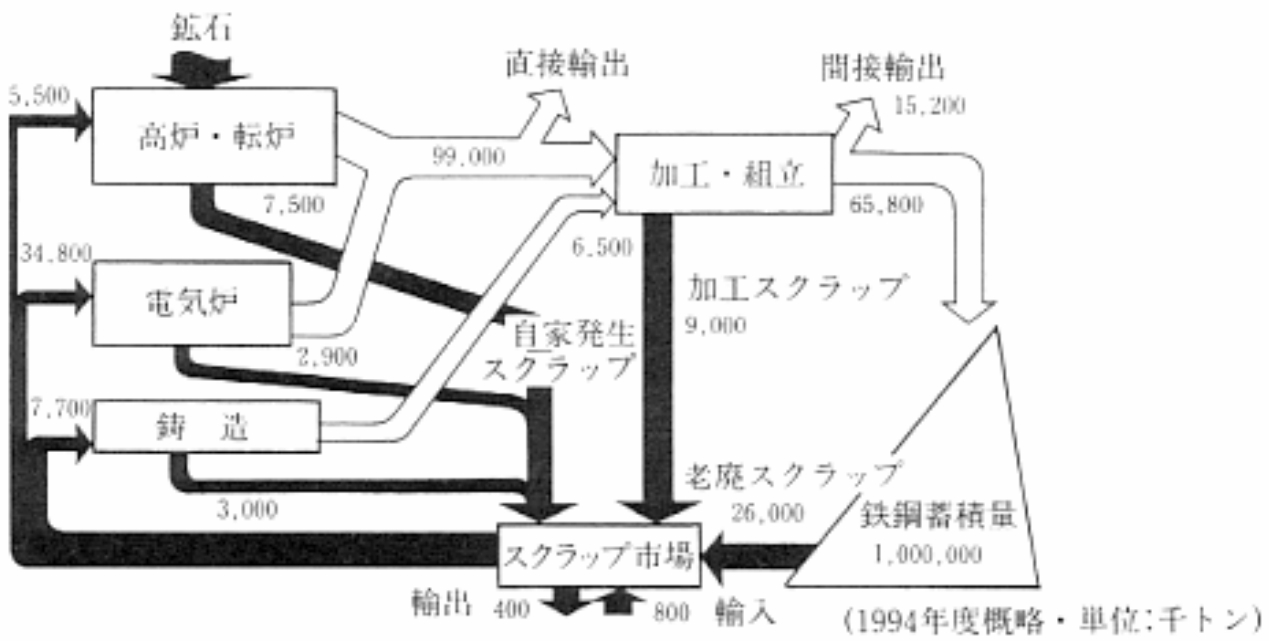


図 2・4　鉄のマテリアルフロー（山名ほかによる）[4)]

- リサイクル率の増加が環境負荷低減に大きく寄与
- 粗鋼生産と製品の製造：　動脈産業
- 廃棄された製品を回収・再生：　静脈産業
- 鉄鋼蓄積量は毎年約4000万トン増加、これに比例してスクラップの発生量は増加
- 今後は静脈産業の発展、動脈・静脈両産業の一体化が課題

スクラップの種類

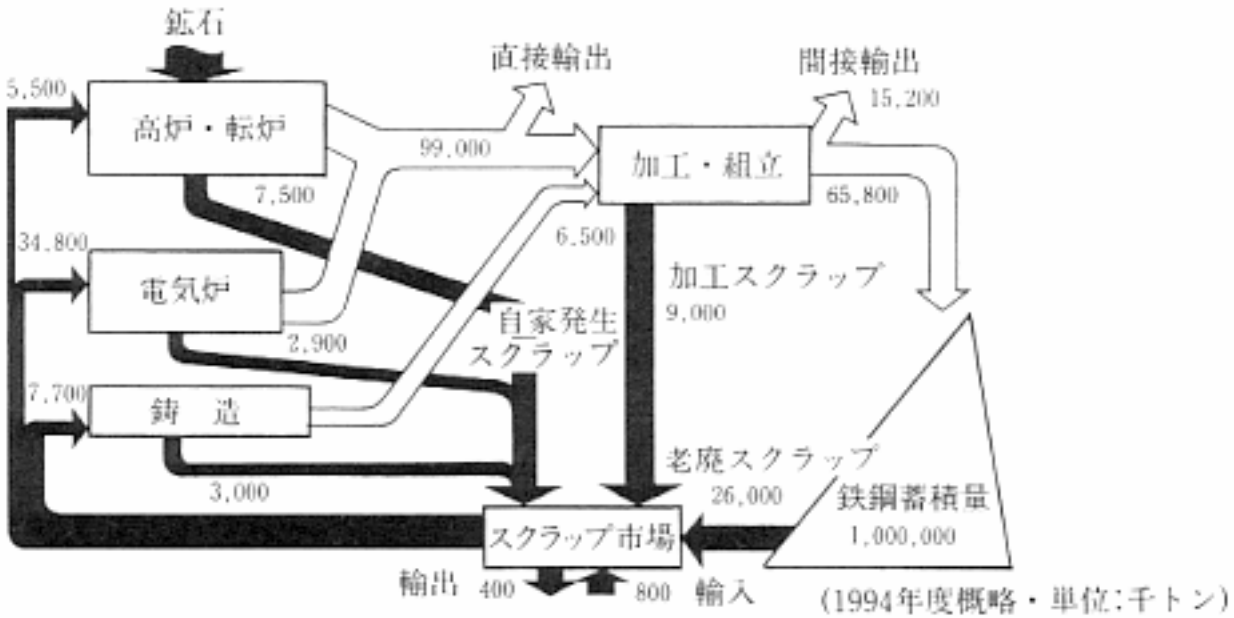


図 2・4　鉄のマテリアルフロー（山名ほかによる）[4]

- 粗鋼製造の原料は鉄鉱石とスクラップ
- スクラップ
  - 自家発生スクラップ（鉄鋼製造工程で発生、100%再利用）
  - 市中スクラップ（加工スクラップ、老廃スクラップ）
    全供給スクラップの約50%、品質に問題が多い
  - 輸入スクラップ

スクラップの用途

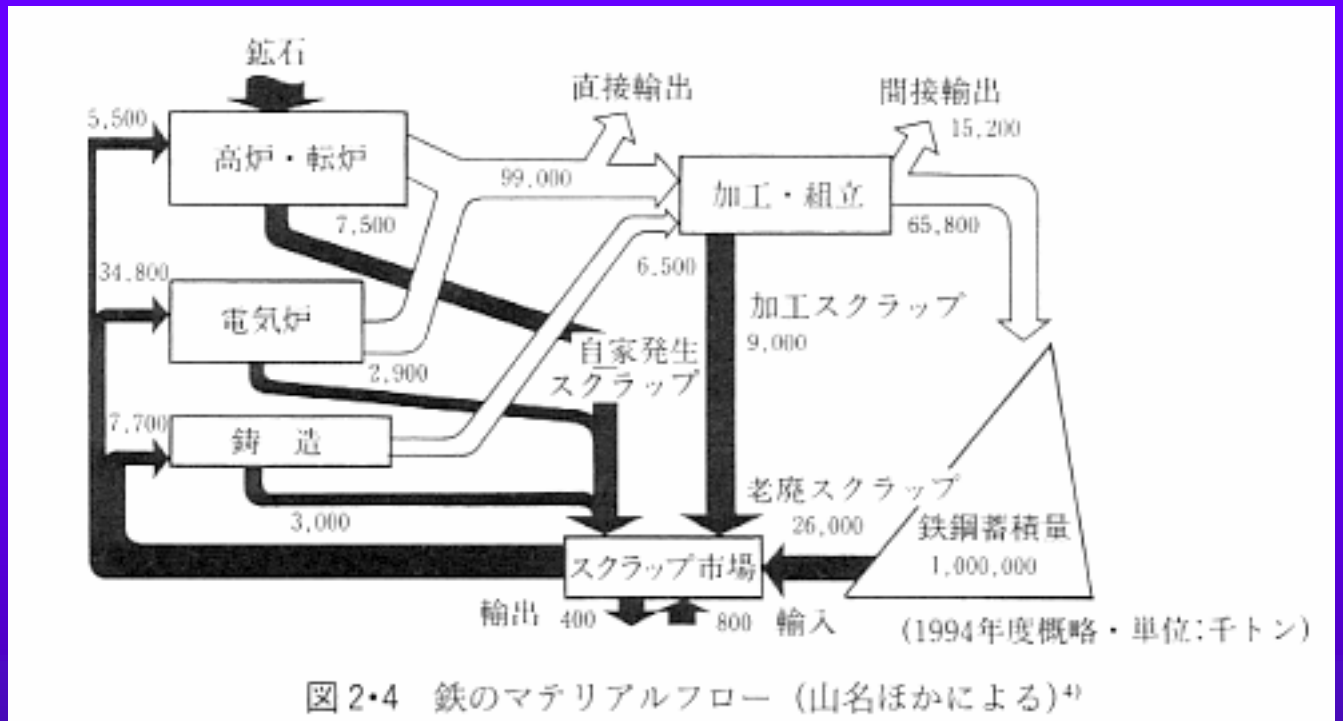


図 2・4　鉄のマテリアルフロー（山名ほかによる）[4]

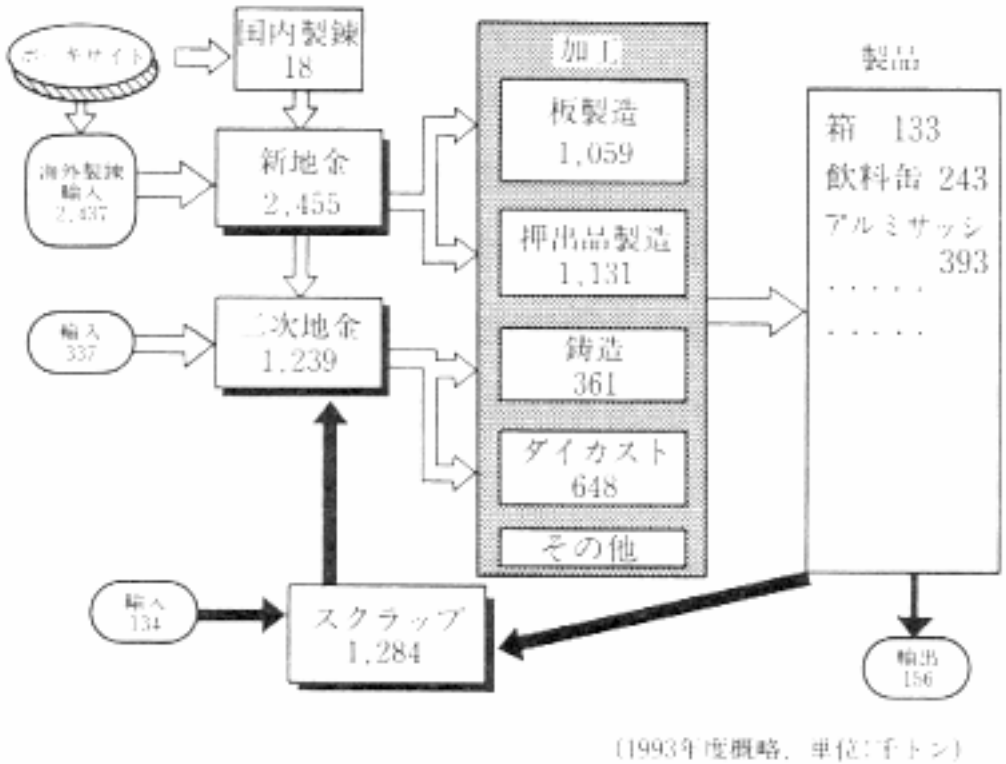
- 多くは電炉メーカーや鋳造メーカーに供給され、安価な建築用鋼材や鋳鉄として再生され、高炉メーカーではほとんど使用されていない
- カスケード利用（ダウングレードまたはオープンリサイクル）
- 今後はクローズドリサイクルを目指すべき

現在のスクラップ利用がカスケード利用になっている理由

- 老廃スクラップの代表例：
  - シュレッダー処理材：廃自動車、廃電気・電子機器を破砕処理した後、種々な材料を分別回収したスクラップのこと
  - 分別は手選別に依存（一部は比重差、磁性を利用した自動選別）コスト高
- 鉄スクラップに含まれる不純物
  - 酸化されやすく、酸化物として容易にスラグ中へ除去が可能
    Al, Ti, P, Cr, Zr
  - 蒸気圧が高く、蒸発散逸しダスト中で再補足が可能
    Zn, Pb
  - 酸化しにくく、除去困難なため溶鋼中に残留しやすい
    Cu, Sn, Ni, As
- 再生の繰返しに伴い鋼中に濃化（トランプエレメント）
  - CuとSnは鋼の熱間割れの原因
  - Cuの混入源は銅線（ワイヤーハーネス）や小型モーター
  - Snの混入源はメッキ

アルミニウムのマテリアルフロー

- 新地金のほとんどを輸入（電力料金のため）
- 国内消費量は急激に増大（年400万トン）
- 再生地金（スクラップから製造）は35%程度
- 主として自動車用・家電用の鋳物・ダイカスト材に利用
- サッシ、飲料缶などの展伸材への利用は少ない



（1993年度概略，単位：千トン）

図 2・5 アルミニウムのマテリアルフロー（神尾による）[51]

アルミニウム飲料缶のリサイクル

- アルミニウム飲料缶の回収率は年間30万トン以上
- 回収率は60%以上
- 「can to can recycle」の技術は確立済みで、実際に一部実施
- 缶の胴体部と蓋部とのMg量の相違より塗料中の酸化物からのTi混入が問題
- 現在でも大半は鋳物材へ使用
- 純度が良いため希釈材として利用

3Rって何？

- 大量生産･大量消費･大量廃棄から脱却するには？
  - 物質の使用量を減らす (製品の長寿命化、リサイクル)
  - 3R (Reduce, Reuse, Recycle)
- 材料は製品のライフサイクルの入口･出口両方に関係
  - 入口：資源･エネルギー消費 (動脈型産業)
  - 出口：リサイクル、廃棄物 (静脈型産業)
- 材料はライフサイクルを繋ぐ重要な役割

材料のリサイクル

- 資源確保、環境負荷低減、廃棄物減量のすべてに関係
- リサイクルの形態が重要！
  - サーマルリサイクル
  - ケミカルリサイクル
  - マテリアルリサイクル
- リサイクルのグレードが重要！
  - オープンリサイクル
  - クローズドリサイクル

再生利用されているのは？

- 再生利用は1.8億トン（1/10以下）
- 大量の資源を製品として蓄積
- 建築物、耐久消費材は特に都市部に集中
  都市鉱山
- リサイクル
  - もともと純経済的な価値観によるもの
  - 最近は、廃棄物処理軽減、省資源、省エネルギー、有害排出物の抑制を目的

リサイクルの形態と問題点

- リサイクルにはグレードがある
  - リユース、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクル
- 何でもリサイクルは大間違い
  - 経済性がないと成り立たない
  - 使用済製品の回収、輸送、分別、精製のためのエネルギー消費や薬剤の使用等に伴う環境負荷
  - 間違ったリサイクル促進運動

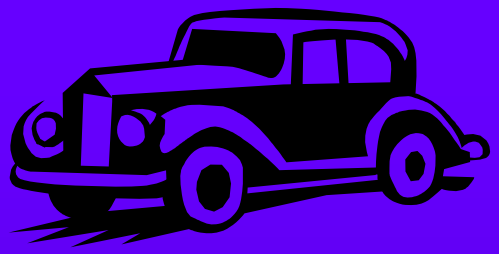
リサイクルの定義の整理

- マテリアルリサイクル
  - 材料として利用すること
- ケミカルリサイクル
  - 化学的特性を利用し化学原料等として利用すること
  - モノマー化（PET to PET等）、高炉還元、コークス炉化学原料化、液化、ガス化
- サーマルリサイクル
  - 燃焼させエネルギーとして回収
  - ごみ発電
- 再資源化：「再生資源」または「再生部品」として利用できる状態にすること

我国におけるリサイクル関連法
(容器包装、家電、自動車)

- 再生資源の利用促進
  - 紙、ガラス、建築材料、コンクリートなど
- 再生しやすい製品の製造
  - 自動車、エアコン、洗濯機など
- 分別のための表示
  - アルミ缶、スチール缶、ニッカド電池、PETボトルなど
- 副産物利用促進
  - 鉄鋼スラグ、石灰石、木材など
- リサイクル関連法
  - 家電リサイクル法
  - 自動車リサイクル法

外国でのリサイクルへの取り組み



- スエーデン：ボルボ社
  - EPSシステム（Environment Priority Strategies for Product Design　製品設計の環境優先戦略　）
  - 材料や製造プロセスごとに環境影響を環境負荷値ELU (Environmental Load Unit) で数値表現
- ドイツ：ベンツ社
  - 部品に材料表示のマーキング、解体マニュアルを作成し、分別性の向上を図る

欧州の環境保護政策

- ドイツ：廃棄物処分法
  - 「発生した廃棄物をいかに処理するか(1972)」から「いかにして廃棄物を発生させないか(1986)」へと転換
    - 1991　フロン等の使用禁止
    - 1993　梱包、包装物の回収の義務化
  - グリーンマーク：
    マーク付の包装物を専門会社が回収するシステム
    （バッテリー、家電、廃車へと拡大）
  - 製造物責任と再生義務、監視と責任の明確化

国際的法規制など

- 特定有害廃棄物の輸出入等の規制に関する法律

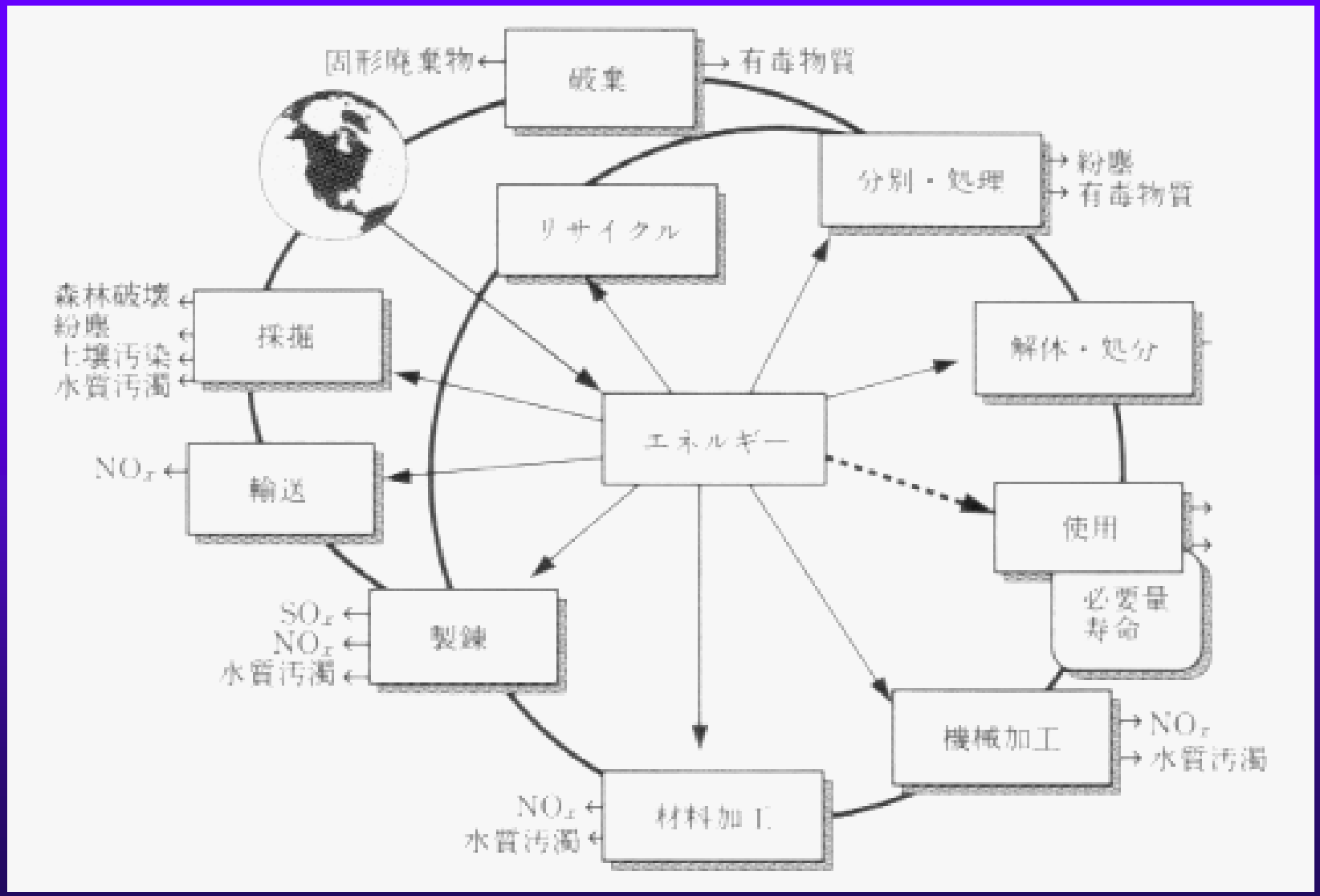
  バーゼル条約
- 廃棄物などの投棄による海洋汚染の防止条約

  ロンドン条約
- 環境監査の国際規格化

  ISO 14000シリーズ
- 製造者責任制度

  PL法

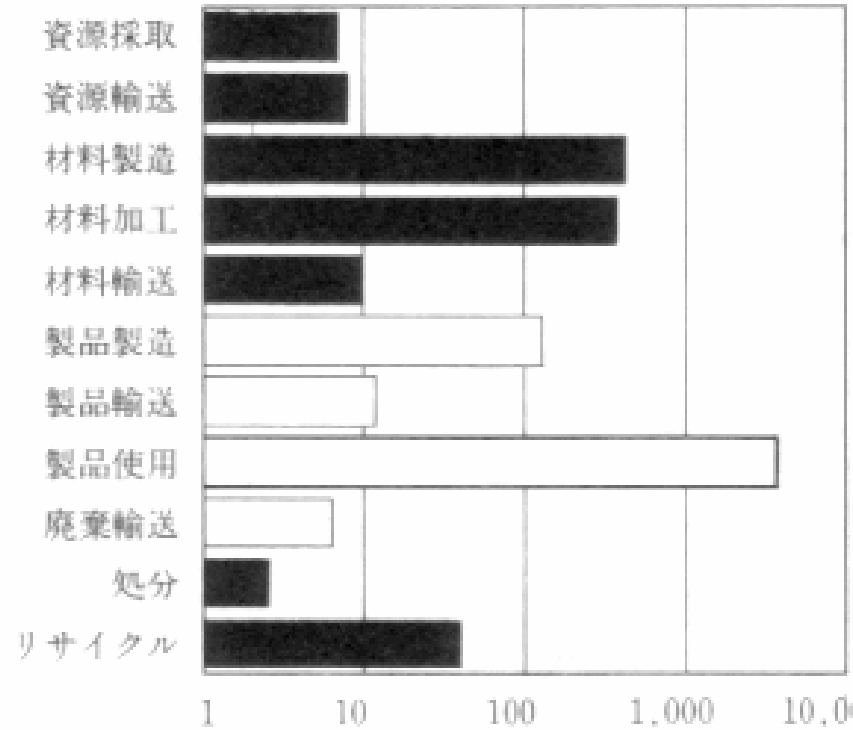
材料のライフサイクルと環境負荷



材料のライフサイクルと環境負荷

- 原料採取：枯渇資源の消費、森林破壊、水質や土壌汚染
- 原料輸送：SOx、NOxの排出
- 製錬、精製・抽出：水質汚濁、大気汚染
- 製造プロセス：ハイテク汚染（特殊な溶媒、ガスの使用）
- 材料加工：溶接時のNOx、粉塵
- 廃棄：電子機器のハンダからの鉛溶出
- リサイクル：ダスト、水質汚濁、大気汚染、二次廃棄物
- 焼却：ダイオキシン
- 埋め立て：土壌汚染
- エネルギー消費はすべてに関係

自動車の製造から廃棄に至る環境負荷



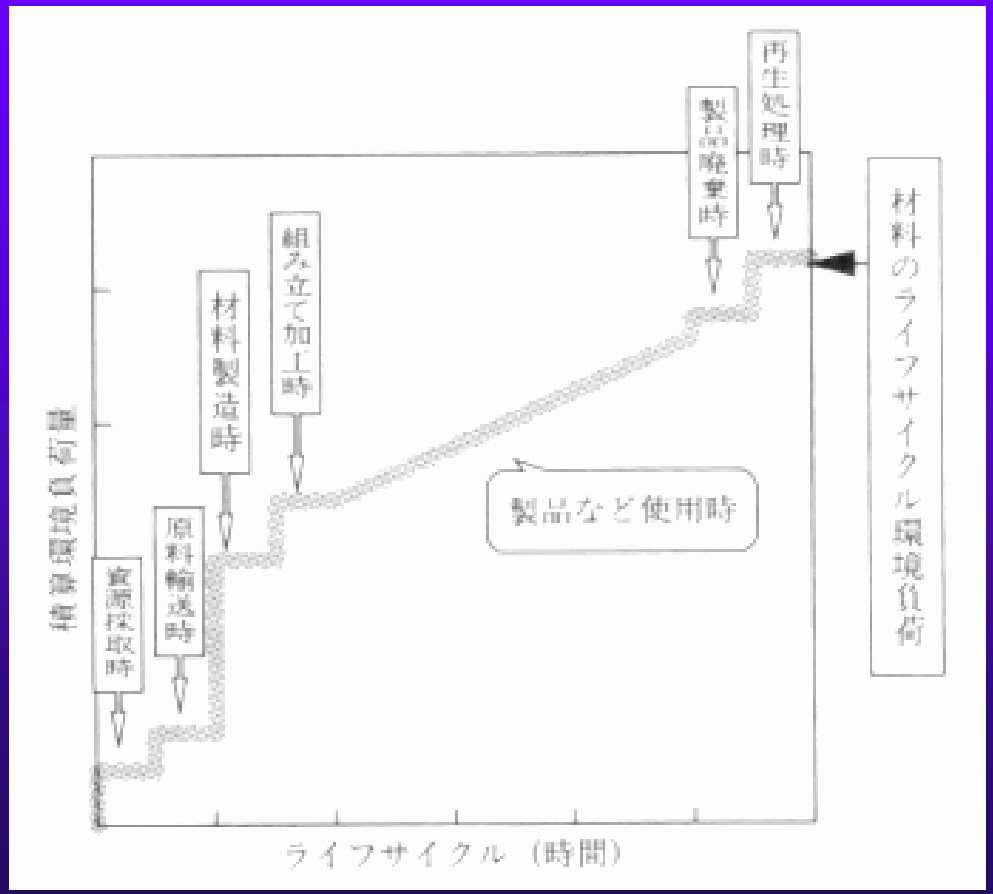
自動車１台当りCO_2発生量（未踏科学技術協会報告書をもとに作成）

- 横軸は対数目盛！
- 使用段階での環境負荷が桁違いに大きい
- 材料の軽量化による環境負荷低減効果は絶大

材料の環境負荷の累積

材料の環境負荷

1. 材料自体の製造や循環･廃棄の過程での環境負荷
2. 材料が製品や設備の一部として使用される際の環境負荷



- 製造から廃棄に至る生涯の全過程での環境負荷を考慮する見方：「ライフサイクルシンキング」
- 従来の考え方では使用時のみのエネルギー効率などが注目されていた
- ライフサイクルシンキングは使用時の効率改善が製造や廃棄等、直接目に見えない部分での環境負荷の増大に転化されていないかをチェック

環境負荷をどう評価するか？

- ポリ袋と紙袋、環境に優しいのはどっち？
  - ライフサイクルにおけるエネルギー消費、環境負担性を評価（米国）
  - 原料の入手（ポリ袋：原油採掘、紙袋：原木の伐採）、製品製造、一部をリサイクル、焼却処理
- 結果：ポリ袋の方が環境負荷が少ない
  - 紙の方が水質汚濁物質の排出量が多い
  - 古紙のリサイクル過程での環境負荷が大きい

環境負荷をどう評価するか？

- 再生紙利用で環境負荷は減るか？
（バージンパルプを使うか再生パルプを使うか？）
  - 製造のためのエネルギー消費：再生紙が少ない
  - 大気汚染：製造過程のSOx　再生紙が少ない
    ただし古紙輸送時のNOx排出が問題
  - 水質汚濁：両者同じ
  - ダイオキシン：両者同じ
    （塩素漂白から酸素漂白方式への移行）
  - 緑の保全：再生紙が有利
- トータルで再生紙の勝ち
  - 問題点：紙の強度低下、紙粉の発生量が多い、紙詰まりの増加、コピー機の運転時間の増加

環境負荷をどう評価するか？

- 飲料容器はPETボトルかガラスびんか？
- PETは環境に優しい？
  - 輸送エネルギー（同じトラックで飲料を輸送するケース）
  - PETでは輸送燃料節約、大気汚染減少
    - ガラスびん：飲料57%、びん43%
    - PETボトル：飲料93%、ボトル7%
- 石油採掘、製品製造のエネルギー、使用後のリサイクル性をどう評価するか？
  - ガラスびん（ビールびん）のリサイクル率は97%

環境負荷評価のあるべき姿

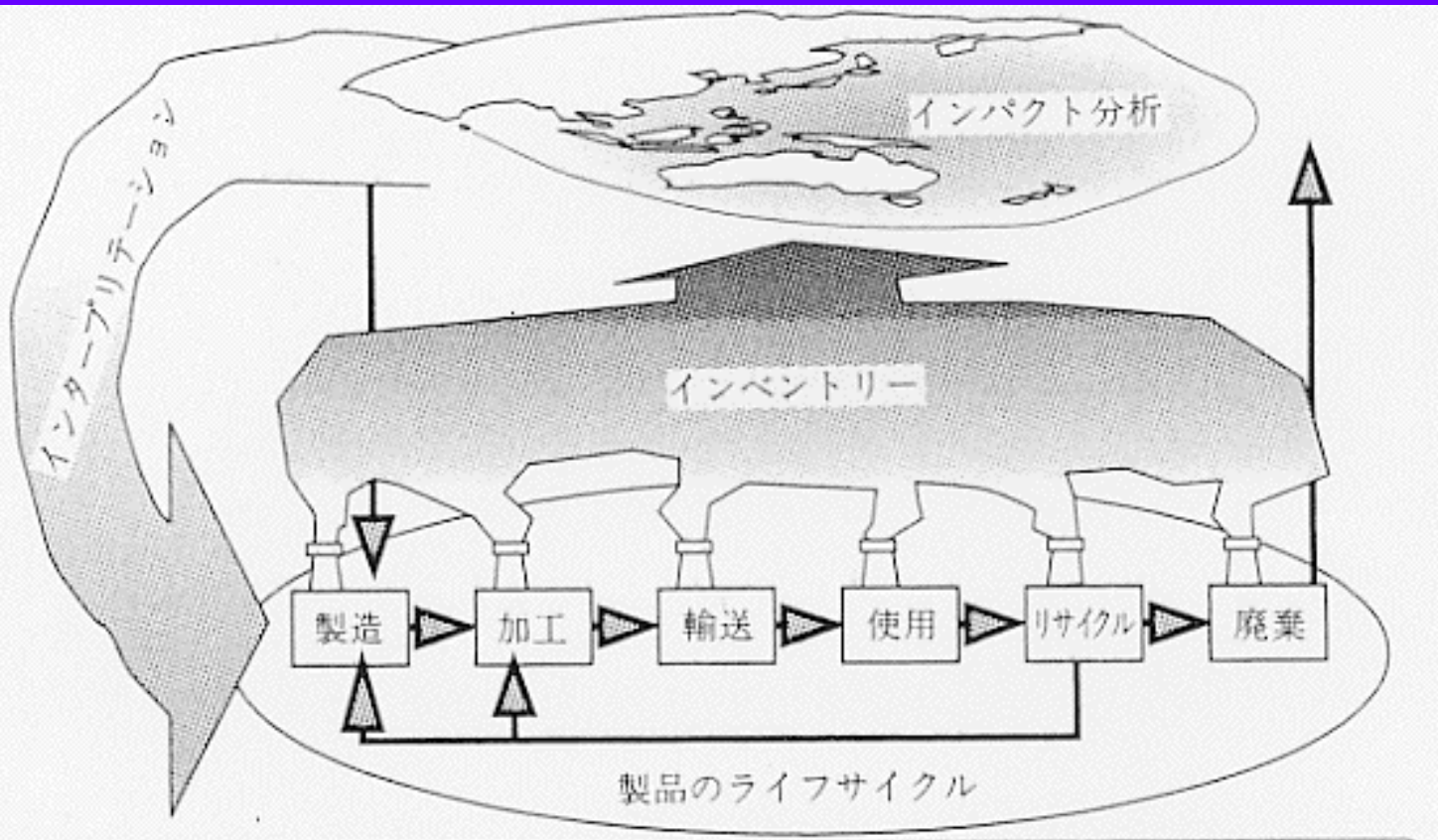
× 感情的、主観的評価
○ 合理的、客観的評価

ライフサイクルシンキングから一歩進んだより科学的な評価方法が必要

LCA (Life Cycle Assessment)

製品それ自体の原料の採取段階から、素材の製造、加工、組立、運搬、使用、リサイクル、廃棄に至るライフサイクルのすべての過程における環境負荷を定量的に列挙し、評価する方法

LCAの考え方 (概念図)



ある製品や素材について、その始めから終りまで(原料の取得から製造、加工、運搬、使用、再生、廃棄に至る一生)の間に発生する環境への負荷を化学的に評価する方法

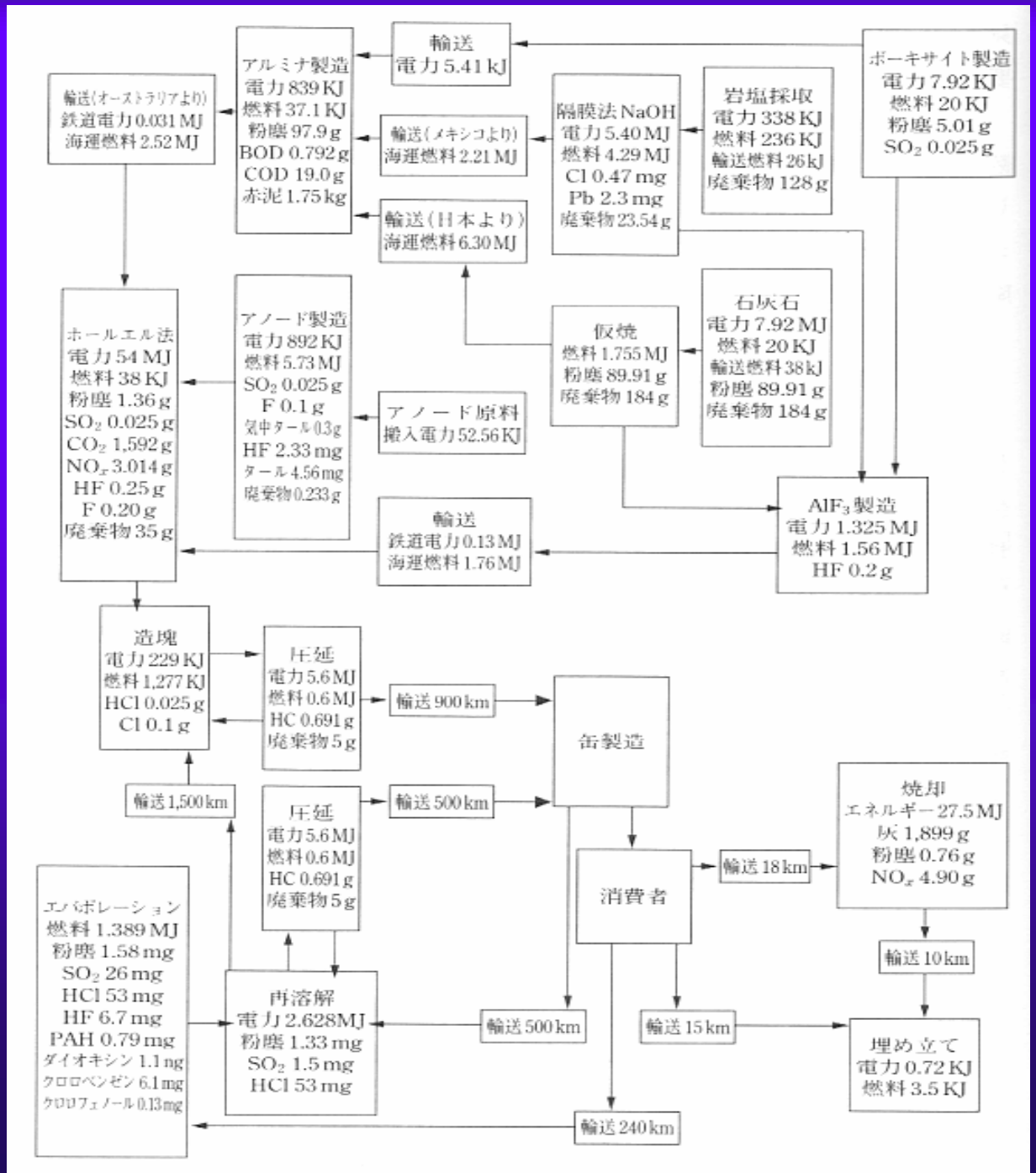
LCAの考え方（構成）

- GSD　(goal & scope definition)
  - 評価すべき目的と対象を設定
- インベントリー (inventory)
  - ライフサイクルの様々な過程で、大気汚染や水質汚濁、温暖化等の地球環境への負荷の大きさと種類をリストアップする作業
- インパクトアナリシス (impact analysis)
  - それぞれの汚染物質の排出量と排出基準値の割合を使って比較しやすい数値に換算し、解析を行う段階
- インタープリテーション (interpretation)
  - 製品のライフサイクルのどの部分を改善すれば環境負荷が低減できるかを示すための分析

インベントリーの具体例（アルミニウム缶）

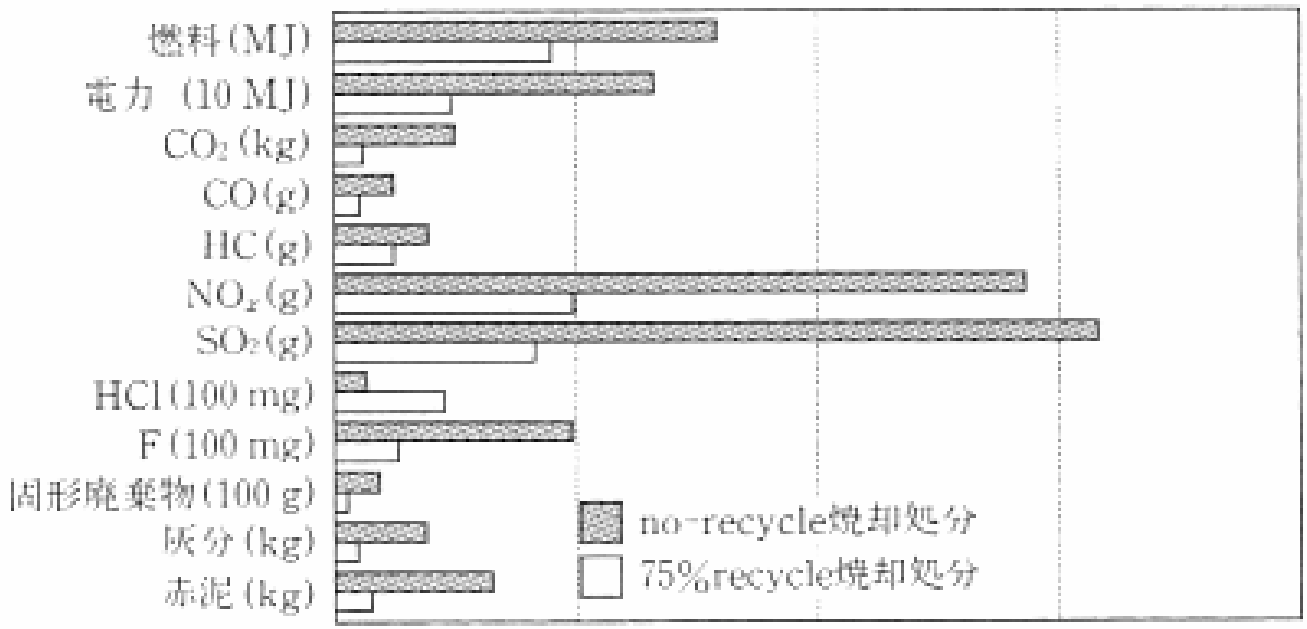
プロセスのそれぞれが引き起こす地球環境の負荷となる項目の入出力を列挙し、各々の負荷項目ごとに列挙する

インベントリー・ツリー



インベントリー分析結果の例

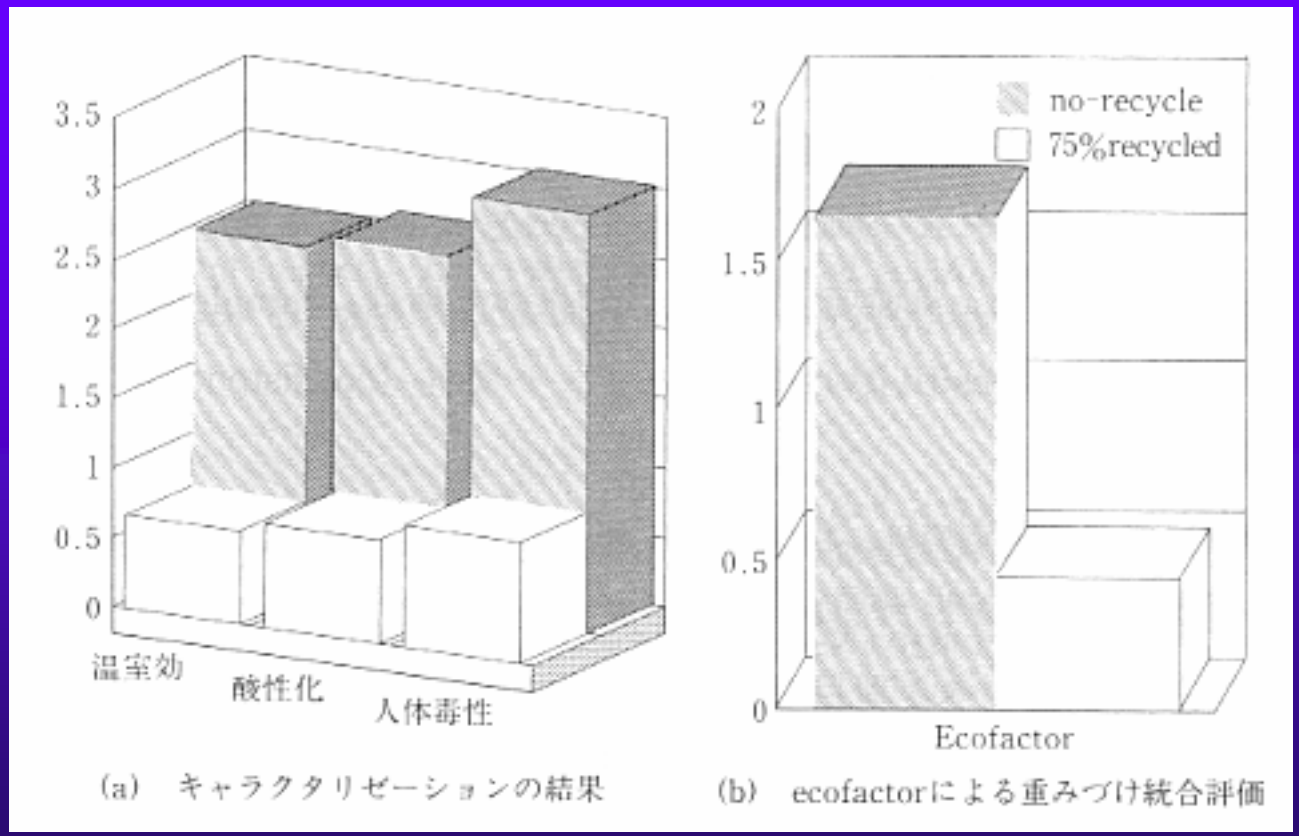
- リサイクルを行わない場合と75%リサイクルを行った場合について比較
- ほとんどの項目ではリサイクルにより環境への排出物が低減しているが、HClについては逆の結果
- しかし、HClの増大が他の環境項目の減少に比べ重大かどうかの判断はインベントリー分析だけでは下せない



アルミ缶1kg当たりのライフサイクルで発生する負荷
単位は物質ごとに( )に表示

インパクト分析結果の例

- インパクト分析：地球環境への影響という視点からインベントリーの数値を分析する作業
- 手法の模索中（現状では、影響分類(classification)、影響特性値化(characterization)、影響重みづけ(weighting)を利用）



(a)　キャラクタリゼーションの結果　(b)　ecofactorによる重みづけ統合評価

(a)　インベントリー分析結果を地球温暖化、酸性化、人体毒性に影響分類し、各々に該当する環境排出項目を影響特性値化（縦軸は相対値）

(b)　エコファクターによって環境影響の重みづけを行い、各特性値の総和を用いて地球環境への影響を表現（任意性が大きく、今後の検討が必要）

LCAの現状と使い方

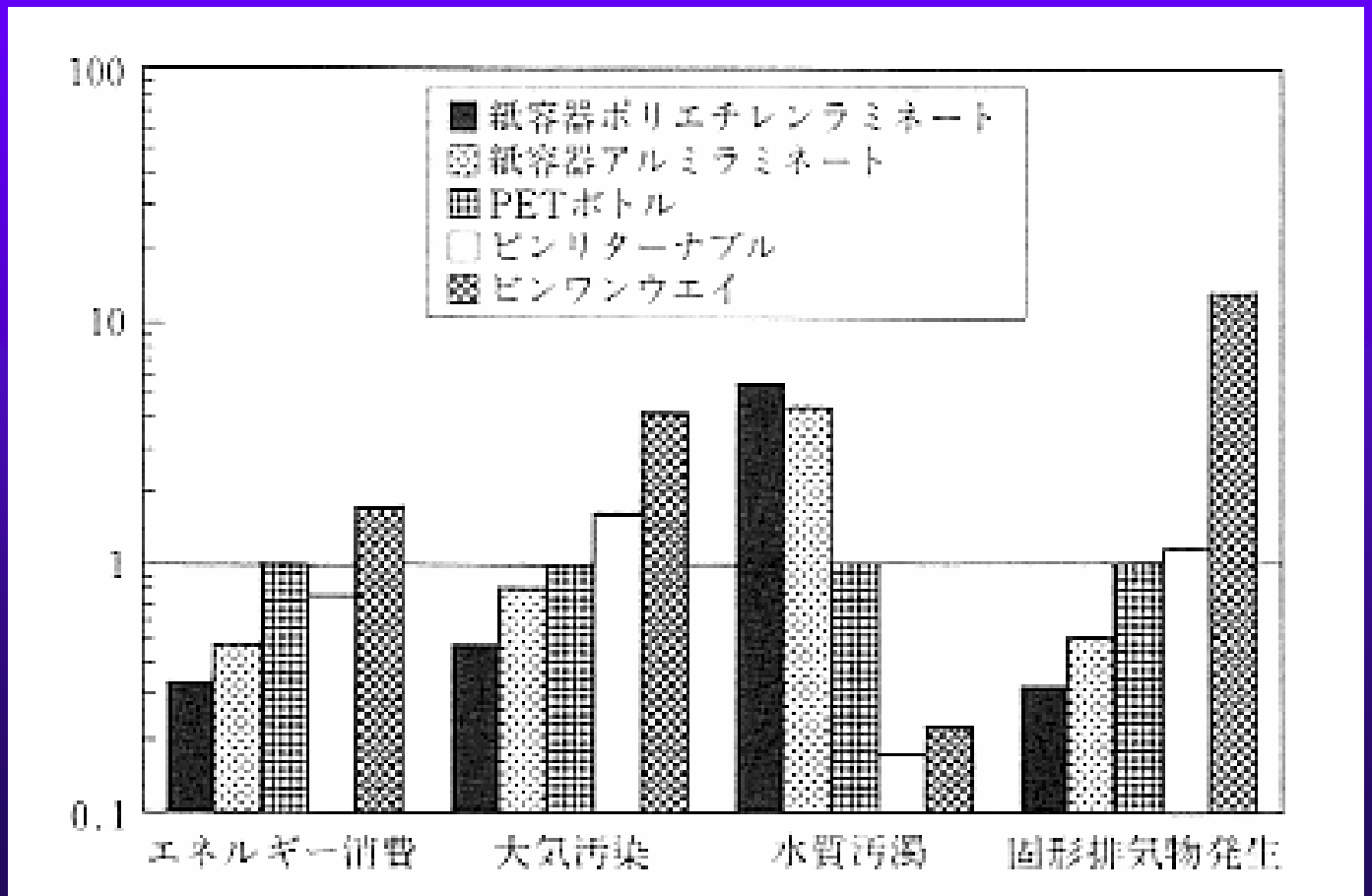
- 現状は、インベントリーのデータ収集が中心

将来的には、インプルーブメント（改善策の確立）が最も重要

- LCAの発展方向
  - 部品や素材の選定基準として用いたり、環境負荷から見た製品の比較基準にする
  - LCAを用いて社会システムの改善策を解析する
  - 素材選択ではなく、組成の変化や加工方法の変化で対応するためのツールとして用いる

生活のガイドとしてのLCA

- 環境パフォーマンスに優れた製品の評価基準として使用可能（飲料容器の環境負荷の比較に利用）
- エコラベリングやグリーン調達への利用



製品設計者のためのLCA

- 設計の段階からLCAを組み入れ、材料やプロセス、解体性、リサイクルルートを考慮して設計
  - エコデザイン、環境適合設計(DfE: Design for Environment)
  - X適合設計(DfX: Design for X)
  - エルスウェア・エミッション(elsewhere emission)

    電気自動車：排出物が低減するが、電力の使用により発電所での環境負荷は増大

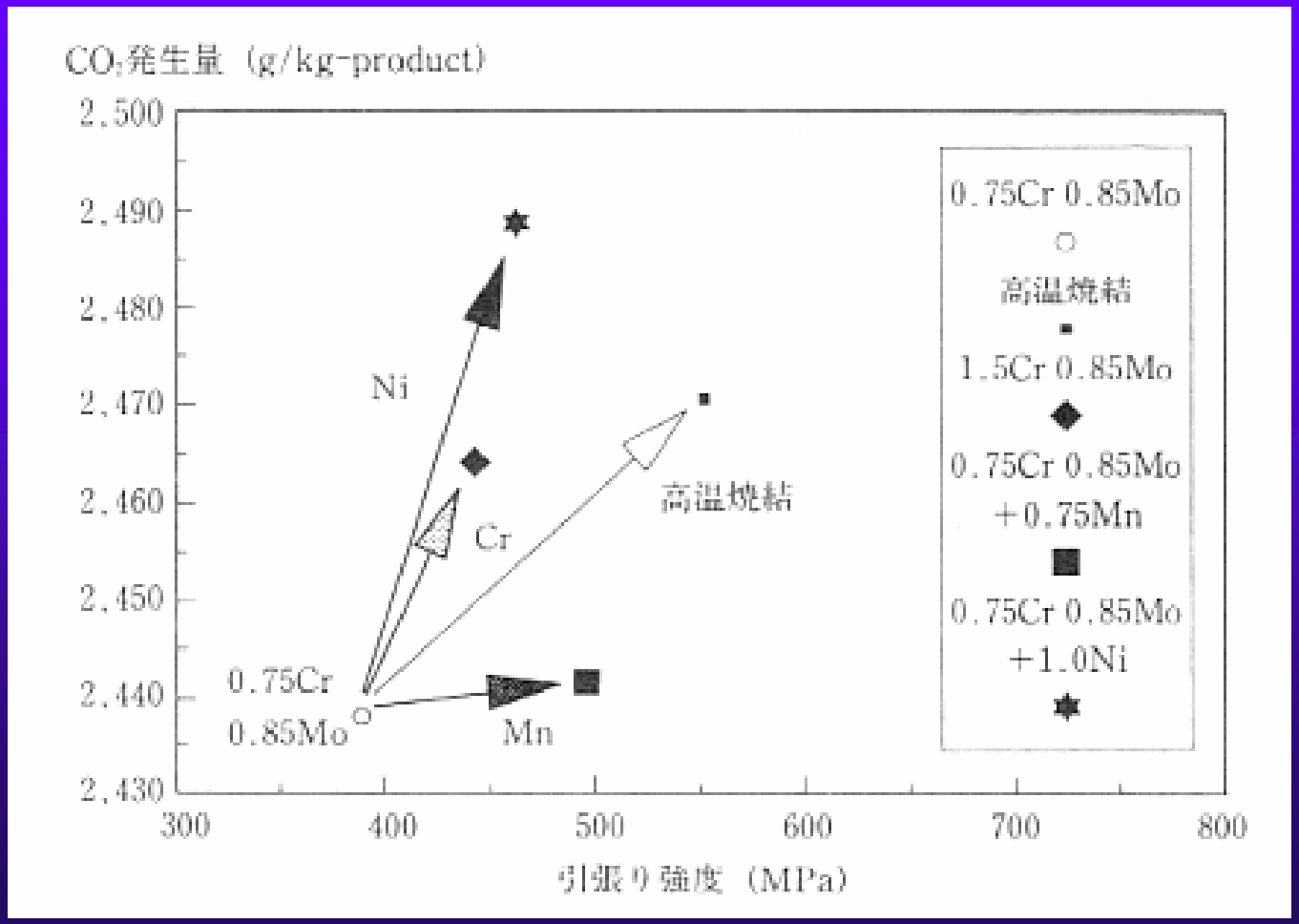
DfX	設計のポイント
DfA (Assembly)	組み立て容易性
DfC (Compliance)	規制適合性
DfD (Disassembly)	解体容易性
DfM (Manufacturability)	製造容易性
DfR (Reliability)	信頼性
DfR (Recycle)	リサイクル性
DfSL (Safety and Liablity Prevention)	安全および責任負担予防

材料設計者のためのLCA

- 材料は直接単独で消費者の前に現れることはなく、加工･組立の過程を経て各々に固有の使用機能をもつ製品の一部として現れる
- 製品は使用目的が終了した場合、廃棄過程で解体され製品自体としての特質を失うため、ひとつのライフサイクルを考えればよい
- 材料は、製品解体後も要素材としての特性を保持して再使用が可能であり、リサイクルを含め最終廃棄まで複数の製品の中でその生命を保ち続ける
- 材料のLCAでは、解析の主軸となる機能単位を使用目的ではなく、材料の特性で考えるべき
- 材料とLCAの関係
  - 代替型：同一特性をより低い環境負荷で製造･処分できる材料で実現
  - 対応型：発電機用材料の例（新材料製造による環境負荷増大を高温運転による発電効率の上昇でカバー）
  - 向上型：鉄系焼結材料の開発方向指針としての利用

材料設計者のためのLCA

- 粉末冶金合金の強度とCO2排出量との関係
  - 環境負荷を抑えて特性を向上させる方法の探索手段



循環型材料って何？

- 従来の材料開発
  - 機能の追求が主体
  - 材料の製造や使用に伴う環境負荷性、廃棄後のリサイクル性については考慮なし
- 今後の材料開発の課題
  - 材料特性と低環境負荷性をバランスさせていくことが重要
    - 混入してくる不純物の除去、無害化
    - 再生原料の使用を前提とした材料開発
    - 優れた汎用性をもつ標準材料の開発

金属系循環型材料実現のための方向

- 地殻の中にわずかしかないものを大量に使わないこと
  - 可採掘年数
  - 採掘･精錬時の副産物に注意
- 毒性のあるものを使わないこと
  - 単体で毒性のあるもののほか、イオン化状態や他の物質と結合した状態で毒性をもつものがある
  - OECD: Ni、Pb、Cd等の使用規制
- リサイクルして使えること
  - 再溶解に要するエネルギーは抽出エネルギーに比べ格段に小さい
  - 複合材料の再生は非常に困難
  - リサイクルによって難処理性、有毒性のものが濃化、残留する危険性もある
- **材料、製品を最初からリサイクル可能なものに設計･生産すること**

循環型材料をどうバックアップするか？

- 開発された循環型材料を市場原理の中でいかに社会に広く普及させるか？

- エコマーク（環境ラベル）
  - ISOの分類によるエコマーク
    - タイプⅠ　第三者認証による環境ラベル
    - タイプⅡ　自己宣言による環境主張
      （解体容易設計、リサイクル材含有率、節水）
    - タイプⅢ　LCA手法に基づく環境側面の数値情報
  - 材料表示ラベル、グリーンマーク（再生紙）

- グリーン調達
  - 同等の機能であれば、環境負荷の小さいものを購入すること
  - グリーンコンシュマー：グリーン調達を実践する官公庁、企業、一般消費者

循環型社会形成のための標準化

- 趣旨・目的
  - 3R配慮製品の需要拡大のために、環境配慮に係わる基準、品質保証、機械的性能・安全性等の基準および試験・評価法ならびに消費者等ユーザへの情報提供手段の規格化が重要
- 環境JISとは？
  - 環境・資源循環全般に関する日本工業規格（JIS）のこと
  - 特に3Rの推進や国民の健康．安全の確保に必要な環境配慮製品の基準等を規定

環境JISの目的と対象

- 3R配慮製品の需要拡大に資する規格

(公共事業等の需要者に対する品質保証のための機械的性能、化学的組成、安全性等の基準やその試験・評価方法の規格)

  - エコセメント、コンクリート用溶融スラグ細骨材、建築廃棄物コンクリート塊の再資源化物　等

- 環境配慮製品に関する情報提供に資する規格

(3R配慮製品の適正評価を行い、より環境に配慮した製品が市場において高く評価される環境を整備するための規格)

  - 設計・製造段階等における環境配慮
    - プラスチック規格への環境側面の導入、鉛フリーはんだの試験方法　等
  - リサイクル・リユース
    - 木材およびプラスチック再生建材の分類、中古部品を使用した製品の品質評価方法　等

まとめ

近代の科学･技術の展開に有限の地球生命圏の維持、生命の一大連鎖の保持、枯渇性資源の完全循環利用といった概念が内在化されていなかったことを認識し、今後は科学･技術の成果を優先的に環境負荷低減へ向け、環境との調和･共生を追求しながら材料開発を推進することが重要

質　問

(1)　本講義を受講して初めて耳にしたこと、認識したこと、問題意識をもったこと

(2)　本講義の受講後の感想