

ライフサイクル工学 (2019年度版)

東京大学 工学部精密工学科
教授 梅田 靖

テキストは下記のURLから適宜ダウンロードしてください
<http://www.susdesign.t.u-tokyo.ac.jp/lectureNotes.html>

1

本講義の目的

- ものづくりにおいて欠くことの出来ない視点になりつつある「持続可能性問題」の現状を知る
- 持続可能社会に向けたものづくりの基本的な考え方と難しさを学ぶ
 - 社会との関係において、何を作るべきで、何を作るべきでないかを常に念頭に置きながら技術開発をおこなうことが、今後の工学の姿 (ミッション工学) であり、持続可能社会問題はその典型例
- 方法論として、「ライフサイクル設計」「ライフサイクル・アセスメント」の方法を学ぶ
 - 基本的な視点
要素技術開発よりむしろ、製品ライフサイクルを対象としたシステム化技術、具体的には設計技術、マネジメント技術に焦点

2

「ライフサイクル工学」 目次

- 持続可能性問題の動向
 - ものづくりから見た持続可能性問題とは？
 - 持続可能性問題の難しさの例：「リサイクルが進んでも」
- ライフサイクル設計
 - ライフサイクル設計の考え方
 - 戦略論：ライフサイクル・プランニング
 - 戦術論：要素設計技術
 - 評価手法：ライフサイクル・アセスメント

3

スケジュール

- 6/7 持続可能問題とは？
- 6/14 持続可能社会に向けたものづくり
- 6/21 リサイクルが進んでも
- 6/28 ライフサイクル設計
- 7/5 ライフサイクル戦略
- 7/12 要素設計技術、LCA
- 7/26 試験

参考文献

- 全般
 - インバース・マニュファクチャリング ハンドブック, 丸善
この講義の全てよりも詳しいですが、3万円だからな～。私の研究室にあれば閲覧できます。
- 基本的な考え方に関して
 - 原圭史郎・梅田靖, 「サステナビリティ・サイエンスを拓く」, 大阪大学出版会
 - 安井至, 「地球の破綻」, 日本規格協会
 - 安井至, 「市民のための環境学入門」, 丸善ライブラリー
 - 梅田靖, 「インバース・マニュファクチャリング」, 工業調査会
 - 吉川弘之+IM研究会, 「逆工場」, 日刊工業新聞社
 - 藤本淳ほか, 「エコデザイン革命」, 丸善
- その他のライフサイクル設計に関して
 - 梅田靖編訳, 「エコデザイン パイロット」, 丸善
 - 小林英樹, 「ライフサイクルプランニング」, オーム社
 - 坂尾知彦ほか, 「環境適合設計ツールの活用入門—コアツールLCA、QFDE、TRIZの効果的活用方法とその事例」, 日科技連出版社

「ライフサイクル工学」 目次

- 持続可能性問題の動向
 - ものづくりから見た持続可能性問題とは？
 - 持続可能性問題の難しさの例：「リサイクルが進んでも」
- ライフサイクル設計
 - ライフサイクル設計の考え方
 - 戦略論：ライフサイクル・プランニング
 - 戦術論：要素設計技術
 - 評価手法：ライフサイクル・アセスメント

基本認識

- 持続可能問題の特質
 - 地球温暖化、気候変動、オゾンホール、廃棄物・ゴミ問題、処理場問題、資源・エネルギー問題、人口問題、食料問題、...
 - 大域的、地域的問題、世代間問題が複雑に絡み合っている
 - 》無数のトレードオフ
例) リサイクルの推進 → 地球温暖化
 - 》客観的、一般的価値基準が存在しない (c. f. コストパフォーマンス)
- 基本認識
 - 現代の大量生産・大量消費・大量廃棄パラダイムは持続可能ではない
→ 製造業に大きな原因、元から絶たなければダメ

2015年の三つ子： Sustainable Development Goals (SDGs) (2015)

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標

詳細

1 貧困をなくそう	2 飢餓をゼロに	3 すべての人に健康と福祉を	4 質の高い教育をみんなに	5 ジェンダー平等を実現しよう	6 安全な水とトイレを世界中に
7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに	8 働きがいも経済成長も	9 産業と技術革新の基盤をつくろう	10 人や国の不平等をなくそう	11 住み続けられるまちづくりを	12 つくる責任 つかう責任

ターゲットと指標

何度目かの試みではあるが、

- Sustainabilityの概念の最大領域の明示
- Sustainabilityを目指そうという世界的合意

「持続可能な開発目標」です

[http://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/]

2015年の三つ子： パリ協定

8

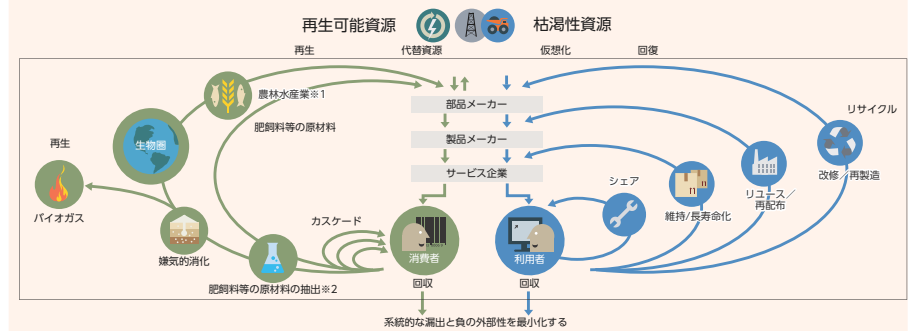
- **2015年12月** 気候変動枠組条約締約国会議COP21で成立
 - 工業化前に比べて、世界の平均気温の上昇を2℃以内に抑える。1.5℃以内にも言及された
 - 今世紀後半、温暖化ガス排出ゼロ
 - 各国が5年毎に削減目標を提出、更新
- **2016年11月4日** 発効条件を満たして発効。日本は11/8に慌てて批准した
- **2016年11月18日** COP22 マラケシュで開催した。パリ協定の第1回締約国会議には日本は出られなかった
- **2018年12月15日まで** ポーランドで開催。割と無難に終了。
 - 南北問題が依然としてカギ
 - COP3以降、数値目標設定ができてない
 - トランプ大統領

2015年の三つ子：

Circular Economyのイメージ [環境白書, 2016]

9

図3-1-1 EUが提案する循環経済 (CE) のイメージ



注： ※1 狩猟と漁撈（ろう）
 ※2 収穫後と消費済の廃棄物の両方を投入として利用可能
 資料：Ellen MacArthur Foundation, SUN, and McKinsey Center for Business and Environment [Drawing from Braungart & McDonough, Cradle to Cradle (C2C)]

世の中の変化の方向性と 我が国の製造業の対応

10

- **Industrie4.0, Industrial Internet**: 我が国からは新しいものづくりの在り方を発信できなかった
 - 標準化を通じた、企業間をまたがるネットワーク化、情報化に追従できていない、企業の壁を越えられなかった
 - 個社のやり方を自動化、情報化したので、汎用的なフレームワーク、プラットフォームを作れなかった
- **パリ協定, Circular Economy, SDGs**: 環境問題/持続可能性への対応、および、それをイノベーションに結びつけようとする本気度が違う。日本は、おさなり、後追い、規制追従型。例えば、経営の意思決定への浸透、各事業への浸透が弱い
- **新興国メーカーの台頭**: 大量生産競争での敗北。思い切った施策を打ててない
- **アジア市場**: **そこそこの品質で安い製品**が求められているが、対応できていない
 - 東南アジアでは、サムスンが圧倒的に格好良いと思われている（日本製は地味だが信頼性が高い）
- **iPhone, Googleの自動運転車などのプラットフォームの覇権**: 我が国発のプラットフォームが出てこない

デジタル革命（IoT, ネットワーク, CPS, AI, ビッグデータ）

11

- **Industrie 4.0**: 工場内の設備、工場、サプライチェーンを繋げて、機械同士でネゴシエーションしてモノづくりを行う
 - IoT, ICT, AI, etc.
- ポイントは、**Cyber Physical Systems/Digital Twin**

情報空間と物理世界が密に連携しているシステム

情報空間内での実体と物理世界内での実体が1対1で対応している

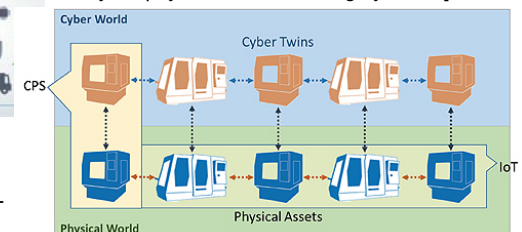


Industrie 4.0

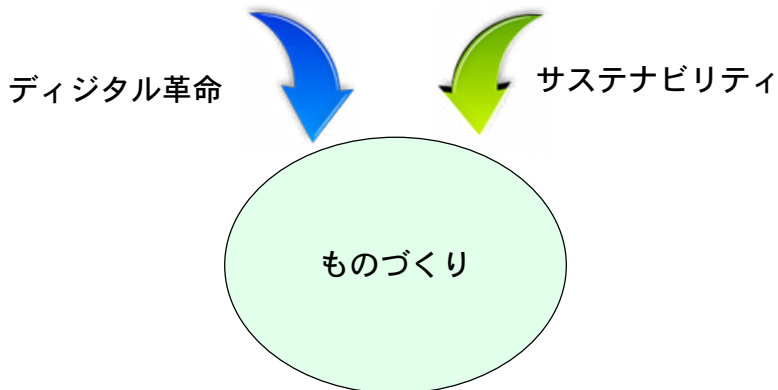
[<https://www.kaercher.com/us/inside-kaercher/newsroom/kaercher-stories/industry-4-0.html>]

Cyber Physical Systems

[<http://www.designworldonline.com/big-future-for-cyber-physical-manufacturing-systems/>]



今後のものづくり



かつて我が国は環境先進国と言われていたのに・・・

2005 議定書が発効
 2008 第11期期間スタート
 2011 京電力福島第一原発事故
 2012 再生エネルギーの取組制度 (FIT) 施行
 2013 東期開始、日本は不参加
 2015 でパリ協定を採択
 2017 協定から離脱を表明
 2018 協定の運用ルールを決定

日本では各社が開発を急ぎ、78年にいち早く規制内に収め、この時に得た「日本車は低公害で信頼性が高い」という評判は、その後の自動車産業の隆盛につながった。京都議定書は、第2のマスナー法にはならなかった。戦後の深大な公害を経験した日本は平成の初めまで「環境先進国」だった。COP3があった翌年の1人当たりの国内総生産 (GDP) は経済協力開発機構 (OECD) 加盟国中4位、二酸化炭素 (CO2) 排出1人当たりいくらかを減らす一炭素生産性」は5位だった。だが、17年後の2014年にはそれぞれ19位と20位に下がった。環境省によると、02、15年のGDP成長率 (名目) と温室効果ガス削減率の関係では、英国は6%成長し27%削減、ドイツは61%成長し13%削減、米国も64%成長し8%削減した。一方、日本は6%削減した。一方、日本は6%削減した。

・5%成長で4・8%削減と、主要国の中で最も成長できず、CO2削減にも失敗した国になった。

環境省は、1997年の約1兆2千億円を目標に下がり続けて半減、政治家や産業界から「地球のため」という言葉を聞くことはほとんどなくなった。日本の環境公法分野の先駆者、立教大新教授の渡路剛 (さん) は、「環境基本法や環境影響評価法の制定、廃棄物・リサイクル対策、環境への昇格などは進んだ」と評価しつつ、「環境に関する情報開示、意思決定への参加、司法アクセス、裁判を受ける権利」という国民にかかわる政策は進んでいない。課題は次の時代に引き継がれる」と話す。

と日本の順位は?
 本の順位は60位中49位、以下は各分野の内訳
 一般ごみのリサイクル

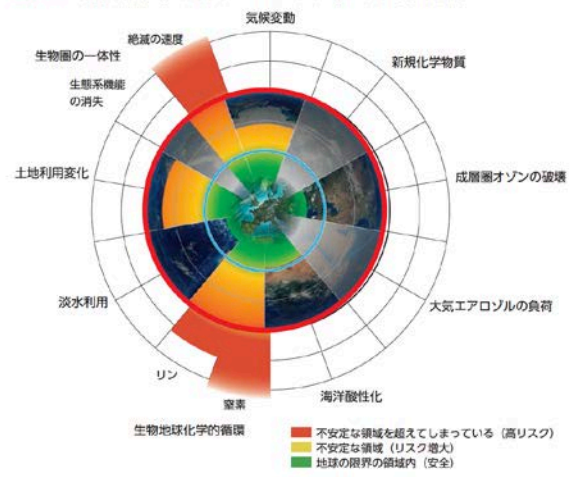
[朝日新聞 2019.1.27]

持続可能な開発

- Sustainability (持続可能性) のもとなる言葉
 - 「将来の世代のニーズを満たす能力を損なうことなく、今日の世代のニーズを満たすような開発/発展」
 - 》1987年のWCEDブルントラント委員会報告書が初出
 - 》1992年の地球環境リオサミットで中心概念として取り上げられ、一般化
- すなわち、
- 基本的に、南北間問題と世代間問題を含んでいる
 - 有限な地球で無限の成長は不可能
 - 従来型の経済成長には物理的、生態学的な限界がある
 - しかし、限界が数値として見えないので、「proactiveな対応 (予防原則)」

プラネタリー・バウンダリー [環境白書2018]

図 1-1-1 地球の限界 (プラネタリー・バウンダリー) による地球の状況



資料: Will Steffen et al. [Guiding human development on a changing planet]

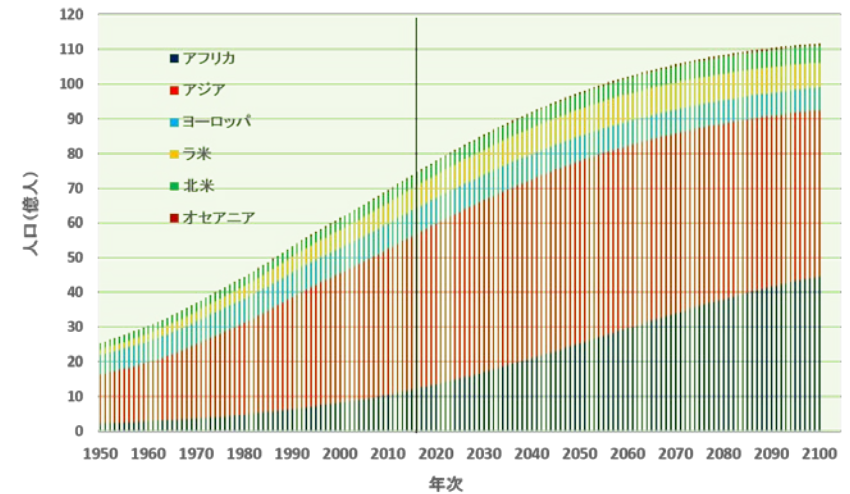
論点：サステナビリティ？

- 誰が？（宇宙/地球/自然/人類/先進国/日本/名古屋）
- どのくらいのタイムスパン？（永遠/何百年/3世代/現世代 / ...)
- どのレベルで？（米国/今の日本/江戸時代/発展途上国/最貧国 /...)

世界人口の推移と予測

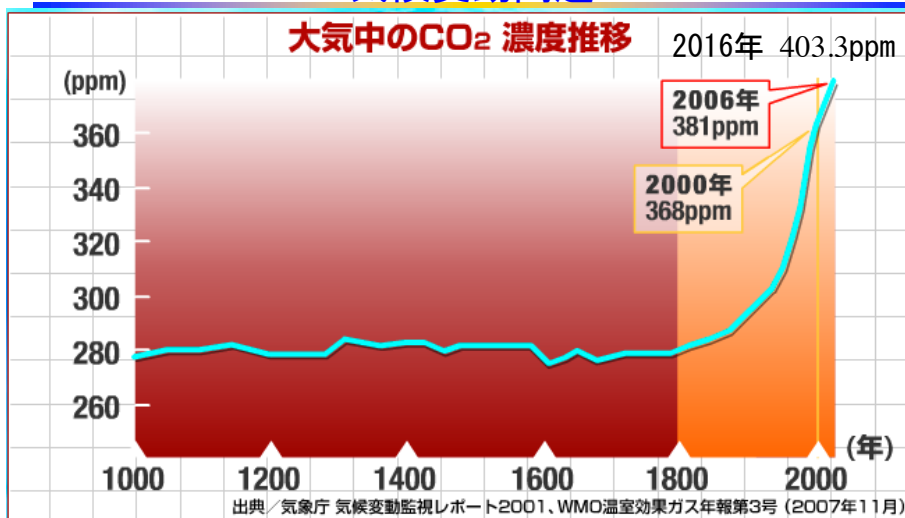
[https://www.joicfp.or.jp/jpn/2017/08/17/37739/]

図2. 世界の主要地域別人口の推移



気候変動問題

大気中のCO₂濃度推移



[http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/global/globalmean.html]

「2050年に1990年比80%削減」を長期目標

図 1-1-13 我が国の温室効果ガス排出量と中長期目標



資料：「2016年度の温室効果ガス排出量（確報値）」及び「地球温暖化対策計画」より環境省作成

[環境白書, 2018]

温暖化に対する緩和と適応

図1-1-16 緩和と適応の関係



資料：環境省

[環境白書, 2018]

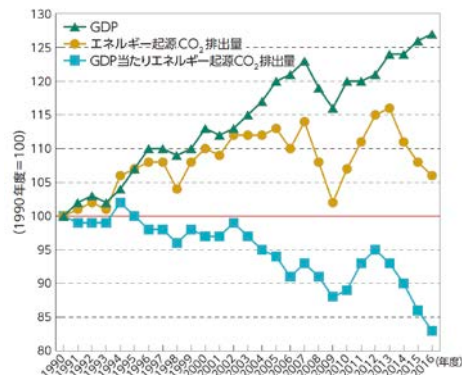
環境省 2050 日本低炭素社会シナリオ

[2050 日本低炭素社会シナリオチーム:低炭素社会に向けた12 の方策, 2008]

シナリオA: 活力、成長志向	シナリオB: ゆとり、足るを知る
都市型/個人を大事に	分散型/コミュニティ重視
集中生産・リサイクル 技術によるプレイクスルー	地産地消、必要な分の生産・消費 もったいない
より便利で快適な社会を目指す	社会・文化的価値を尊ぶ
GDP1人当たり2%成長	GDP1人当たり1%成長
	
	絵: 今川朱美

経済とCO2排出量の相対的デカップリング

図1-2-5 我が国のGDPとCO₂排出量の推移

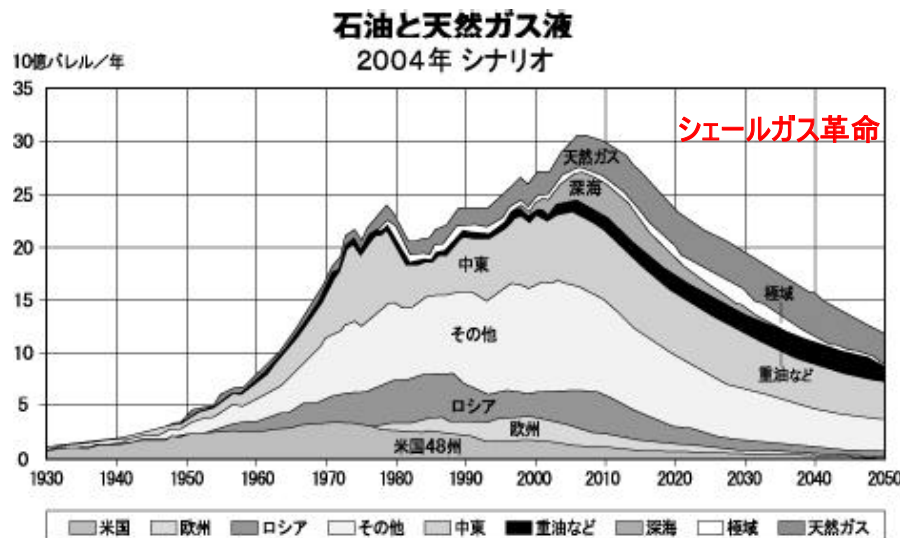


資料：内閣府「2017（平成29）年10-12月期四半期別GDP速報（2次速報値）」、「平成23年基準支出側GDP系列簡易速報」、環境省「温室効果ガス排出・吸収目録」

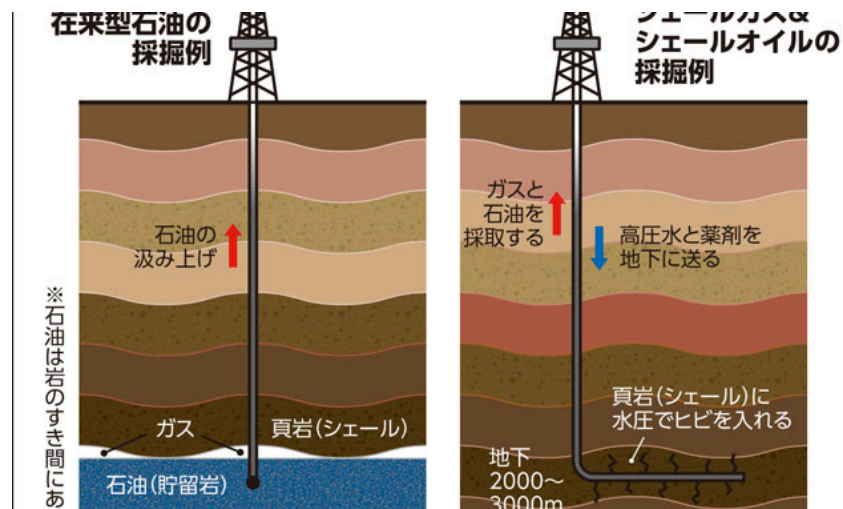
[環境白書, 2018]

資源枯渇問題・廃棄物問題

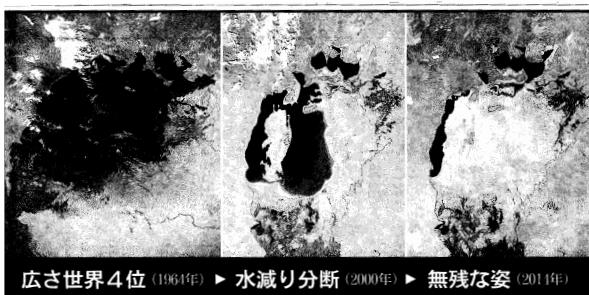
石油と天然ガスの枯渇シナリオ (1)



シェールガス/シェールオイル



[http://matome.naver.jp/odai/2139713019928799401/2139713708732899603]



広さ世界4位 (1964年) ▶ 水減り分断 (2000年) ▶ 無残な姿 (2011年)

アラル海 ほぼ消失

中央アジアのカザフスタンとウズベキスタンにまたがる塩湖・アラル海が、北部や西部を残して消滅しかかっていることが米航空宇宙局 (NASA) の観測でわかった。NASAが9月末に公表した衛星写真では、湖水の減少で分かれた東アラル海が完全に干上がっていた。

旧ソ連時代からの灌漑(かんがい)で湖水が大幅に減ったことに加え、今年は周辺の降水や降雪が特に少

ななかったことが影響したとみられる。アラル海は、かつては琵琶湖の約100倍となる世界第4位の広さがあった。NASAによると、1960年代以降、当時の旧ソ連政府が農業用水の確保などのため、湖に往く川を迂回(うかひ)させて大規模な取水をしたことなどで縮小が進んだ。湖面は、小アラル(北)と大アラル(南)に分断。その後、大アラルは東西に分かれた。2009年に



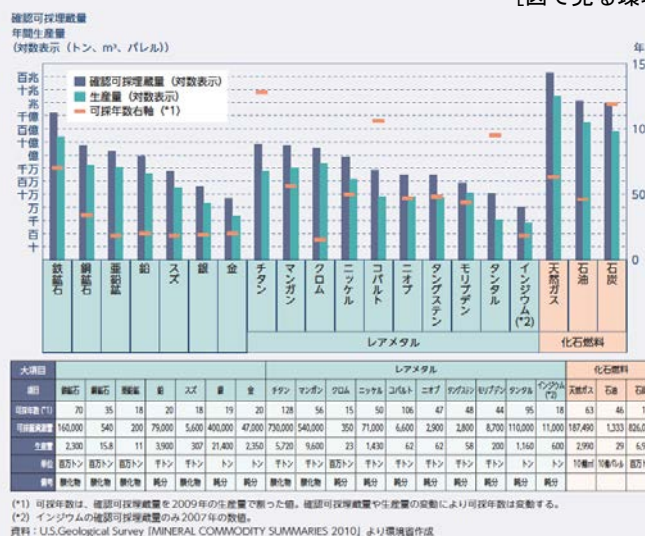
水資源問題

[朝日新聞 2014. 10. 9]

資源枯渇問題 (1)

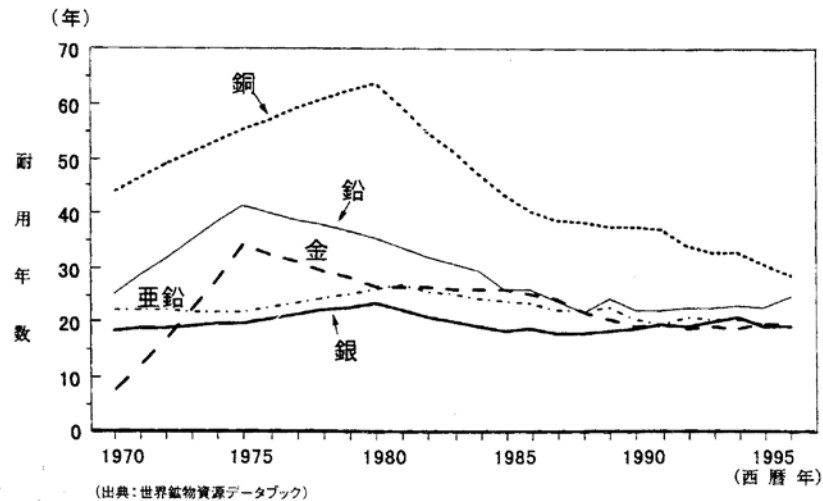
世界の主な地下資源の確認可採埋蔵量・年間生産量 (左軸、対数表示) 及びその可採年数 (右軸)

[図で見る環境白書, 2011]



資源枯渇問題（2）

主要金属の耐用年数の推移（図2）



レアメタル・レアアースの枯渇性

主なレアメタル

元素名 (元素記号)	主な用途
リチウム (Li)	二次電池
チタン (Ti)	原子力
マンガン (Mn)	電池、磁性材
コバルト (Co)	電池、磁性材、触媒
ニッケル (Ni)	電池、磁性材、触媒
ガリウム (Ga)	発光ダイオード、半導体素子
ゲルマニウム (Ge)	光ファイバー、光学、半導体素子、蛍光材料
ジルコニウム (Zr)	電子材料、セラミック
ニオブ (Nb)	コンデンサ、光学、電子材料
モリブデン (Mo)	電子材料、触媒
インジウム (In)	液晶パネル、太陽電池
アンチモン (Sb)	蓄電池
テルル (Te)	太陽電池
ハフニウム (Hf)	原子力
タンタル (Ta)	コンデンサ、光学
タングステン (W)	電子材料、触媒 超硬工具
白金 (Pt)	触媒、燃料電池
ビスマス (Bi)	鉛代替材料

主なレアアース

元素名 (元素記号)	主な用途
ランタン (La)	蛍光材料、光学、触媒
セリウム (Ce)	蛍光材料、研磨剤、触媒
ネオジウム (Nd)	磁性材料
ユロビウム (Eu)	蛍光材料
ガドリニウム (Gd)	光学、原子力
テルビウム (Tb)	蛍光材料、磁性材料
ジスプロシウム (Dy)	磁性材料
イットリウム (Y)	蛍光材料

レアメタル・レアアースを取り巻く環境

- ・使用分野の成長とともに需要増
- ・資源ナショナリズムの台頭
- ・金属市場への投機資金の流入

供給、価格ともに不安定

近年のレアメタル供給に関する問題
 タンタル・・・産出国 コンゴ
 リチウム・・・産出国 ボリビア
 タングステン・・・産出国 中国

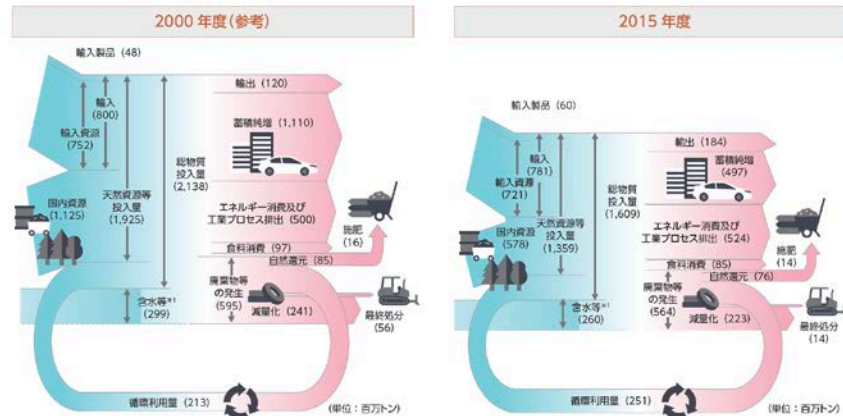
[経産省,

http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/shigenjuyou_kaihatsu_wg/002_05_00.pdf,2011]

我が国における物質フロー

[環境白書, 2018]

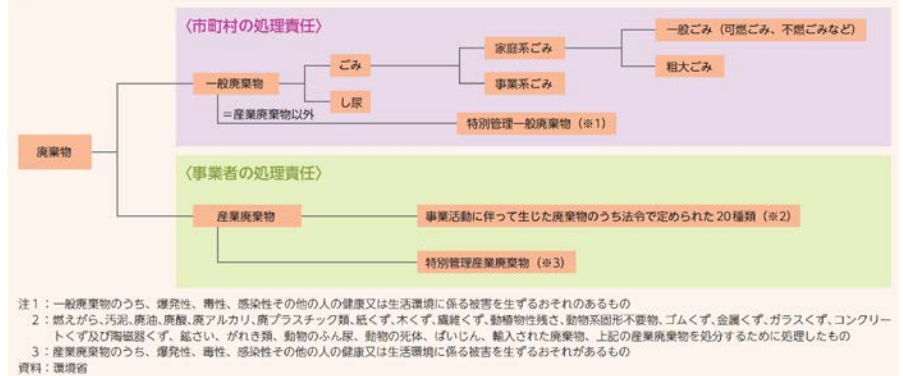
図3-1-1 我が国における物質フロー (2015年度)



※1：含 waters：廃棄物等の含 waters (汚泥、家庭ふん尿、し尿、廃酸、廃アルカリ) 及び経済活動に伴う土砂等の伴投 (鉱業、建設業、上水道業の汚泥及び鉱業の鉱さい)。資料：環境省

廃棄物の区分

図3-1-5 廃棄物の区分



注1：一般廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれのあるもの
 注2：例えば、汚泥、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類、紙くず、木くず、繊維くず、動物性残渣、動物系図形不燃物、ゴムくず、金属くず、コンクリートくず及び陶磁器くず、鉱さい、がれき類、動物のふん尿、動物の死体、ばいじん、輸入された廃棄物、上記の産業廃棄物を処分するために処理したもの
 注3：産業廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれのあるもの
 資料：環境省

[環境白書, 2014]

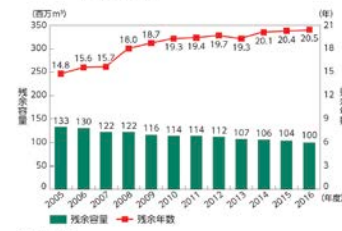
廃棄物処分場の問題 [環境白書, 2018]

図 3-1-19 最終処分量と一人一日あたり最終処分量の推移



資料：環境省

図 3-1-20 最終処分場の残余容量及び残余年数の推移 (一般廃棄物)



資料：環境省

図 3-1-21 最終処分場の残余容量及び残余年数の推移 (産業廃棄物)



資料：環境省「産業廃棄物行政組織等調査報告書」より環境省作成

最終処分場

	産業廃棄物の種類	標準的な設置例
安定型最終処分場	<ul style="list-style-type: none"> ・廃プラスチック類 ・ゴムくず ・金属くず ・ガラスくず、コンクリートくず (がれき類を除く) 及び陶磁器くず ・がれき類 	
	<ul style="list-style-type: none"> ・有害な重金属等を含む 燃え殻 ばいじん 汚泥 紙さい 等 	
遮断型最終処分場		

だけど・・・

最終処分場の訴訟

http://www.asahi-net.or.jp/~xj6t-tkd/env/f_haiki/hsosyou.html

総論賛成・各論反対

出典：
廃棄物ハンドブック, オーム社

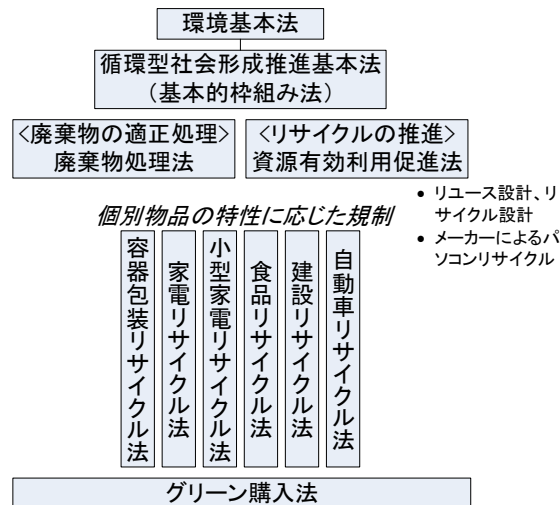
国の施策

● 温暖化対策

- 環境問題の中心
- 京都議定書実現できてしまった
- パリ協定対策 (これから)
- 低炭素社会基本法 (仮称) が全然できない

● 循環型社会

- 3Rによって2010年までに最終埋立量を2000年比で半減→大幅に削減できた
 - 》物質循環3指標
- 資源枯渇問題・資源確保問題が浮上

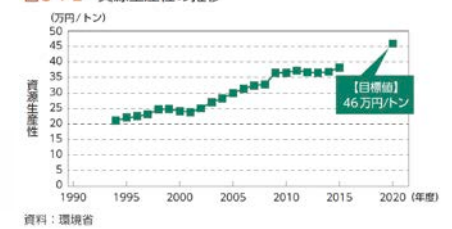


物質循環に関わる全体的傾向

[環境白書, 2018]

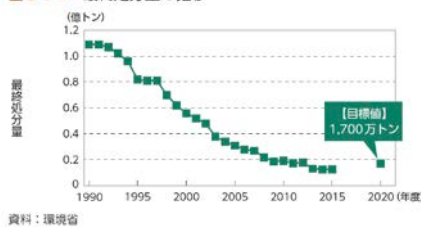
- 資源生産性 = GDP / 天然資源等投入量
- 循環利用率 = 循環利用量 / (循環利用量 + 天然資源投入量)

図 3-1-2 資源生産性の推移



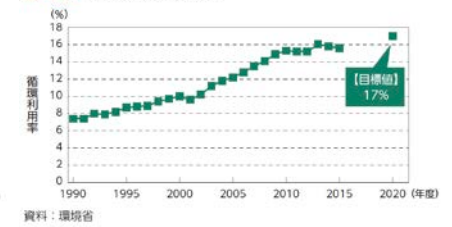
資料：環境省

図 3-1-4 最終処分量の推移



資料：環境省

図 3-1-3 循環利用率の推移



資料：環境省

資源循環関連の法規制

- 循環型社会
 - ①廃棄物の発生抑制、②循環資源の循環的な利用、③適正な処分が確保されることにより、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができるかぎり低減された社会
- 3R (Reduce, Reuse, Recycling) によって最終埋立量を半減
- 処理の優先順位
 - ①発生抑制 (Reduce)
 - ②再使用 (Reuse)
 - ③再生利用 (Recycle)
 - ④熱回収
 - ⑤適正処分
- 国、自治体、事業者、国民の役割分担
 - 事業者・国民の「排出者責任 (PPP)」の明確化
 - 生産者の「拡大生産者責任 (EPR)」の一般原則確立

欧州における環境規制： 廃電気電子機器指令 (WEEE)

「Directive of the European Parliament and of the Council on waste electrical and electric equipment」 (2003年成立)

<WEEE>

⇒加盟各国国内法制化

⇒回収・リサイクルシステム構築 (2005.8までに実施しなければならないが・・・)

①ほぼ全て(約90品目)の廃電気電子機器に適用

Large & Small household appliance, IT & Telecommunication equipment, Consumer equipment, Lighting equipment, Electrical and electronic tools, Toys, Leisure & sports equipment, Medical devices, Monitoring & control instruments, Automatic dispensers

②集積ポイント以降の廃棄物処理費用は企業負担(自社製品のみ)

③リサイクル処理する場合に分離しなければならない部材(最低4kg/y分別回収)

PCBを含むキャパシター、水銀を含む部品、バッテリー、携帯電話の基板&10cm2以上の基板、トナーカートリッジ、臭素系難燃剤を含む樹脂、アスベスト、陰極線管、CFC・HCFC・HFC・HC、ガスディスチャージランプ、100cm2以上の液晶ディスプレイ、外部接続線、耐火セラミックファイバー、放射性物質(除外有り)

④法律施行前に販売された製品の扱い・・・各国で異なる→新製品販売時に上乗せ、または業界全体で費用拠出

有害物質使用制限に関する (RoHS) 指令

電気機器新製品への鉛、水銀、カドミウム、六価クロムの重金属と、臭化物難燃剤 PBBとPBDEの使用禁止(2003年成立)

(適用対象外)

● PBBとPBDEの代替は、防火安全基準を低下させるものであってはならないため、代替を使用できない場合には、削減要件から除外

● 蛍光灯、放電型電球の水銀

● (1)高融点はんだの鉛(2)サーバーやメモリーシステム用はんだ(この例外規定は2010年まで)、(3)ネットワークインフラ機器、ならびに遠隔通信分野における特定の器具のはんだ

● 電子セラミック部品中の鉛

(対象製品)

1. 大型家庭用電気器具(冷蔵庫、洗濯機、電子レンジ、エアコン等)
2. 小型家庭用電気器具(電気掃除機、アイロン、ヘアドライヤー、トースター、時計等)
3. ITおよび通信機器(パソコン、プリンター、コピー機、電話機等)
4. 民生用機器(例、ラジオ、テレビ、HiFi機器、楽器等)
5. 照明器具(例、蛍光灯、ナトリウムスチーム電球;低エネルギー電球と通常の電球は除く)
6. 電気・電子工具(例、電気ドリル、旋盤、フライス盤、研磨盤、芝刈機等)
7. 玩具、レジャー用機器(例、ビデオゲーム機、スロットマシン等)
8. 医療用具(例、透析装置、心電図測定器、人工呼吸器等;感染およびインプラント除く)
9. 監視・制御装置(例、火災探知機、サーモスタット、工場設置の監視測定機器等)
10. 自動販売機

Sony PS one

- 130万台の回収? 百数十億円の損失?

エネルギー関連製品 (ErP) 指令： 別名エコデザイン指令

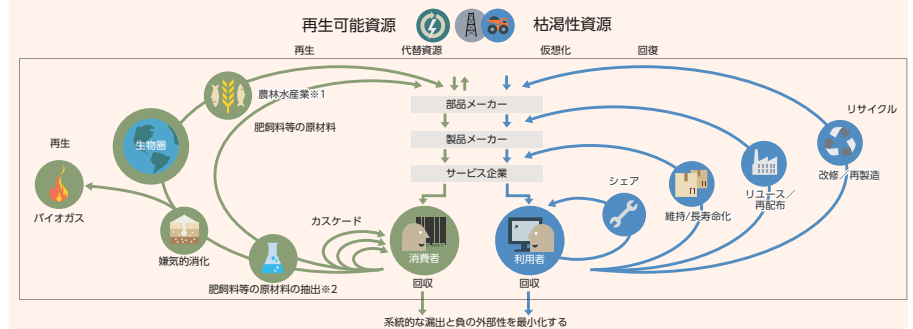
40

- 2005. 7に正式採択された。詳細は付属文書で詳細化・・・
- 対象：エネルギー関連する全製品（輸送機器を除く）
- エコデザイン要求：製品の環境影響アセスメントとエコプロファイリング
 - ライフサイクル全体での環境影響、廃棄物の定量的把握
 - リユース、リサイクル性設計
 - 情報提供
 - エネルギー効率規制値の実施

Circular Economyのイメージ [環境白書, 2016]

41

図 3-1-1 EUが提案する循環経済 (CE) のイメージ



注： ※1 狩猟と漁撈（ろう）
 ※2 収穫後と消費済の廃棄物の両方を投入として利用可能
 資料：Ellen MacArthur Foundation, SUN, and McKinsey Center for Business and Environment [Drawing from Braungart & McDonough, Cradle to Cradle (C2C) 1.0]

EUの” Circular Economy” [Care Innovation 2014改]

42

- Systemic Eco-Innovation
漸進的でなく大きな変化
 - 資源効率 (Resource Efficiency)
リユース、メンテナンス、アップグレード、材料リサイクルなどを含む資源循環を大幅に高度化する（レアメタル・レアアースの代替、持続可能な材料の使用なども含む）
 - 持続可能な材料利用
ゴミではなく資源、大量生産ではなくカスタム化、枯渇ではなく再生
 - 製品サービスシステム
消費者ではなく使用者、所有ではなくシェア
 - 循環経済
- ➔
- 雇用の確保
 - EUの競争力の強化
 - 環境負荷削減
 - 資源枯渇対応
- 我々の見方
- 価値観の変化がドライビングフォース
 - メーカーが主役ではなく、循環プロバイダーが多様な循環を駆動
 - デジタル技術が enabling technology

参考文献: European Commission: Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy, 2015.12

[経団連CE研究会]

43

CE政策の背景

- 資源制約時代の予兆
 - 資源消費とその裏返しの廃棄物処理量の増大
- EUというレジュームを維持するための
 - 雇用確保策としてのCE政策
 - EU市場への非関税参入障壁

エコデザイン指令のCEへの対応

44

[EC EcoDesign Working Plan 2016-2019、梅田意訳]

- エコデザイン指令は、これまでエネルギー効率向上が中心であったが、CEへの貢献を高めて行く
- 以下のような要求の可能性を検討する
 - 耐久性 (例: 製品や重要部品の最短寿命)
 - 補修性 (例: 予備部品、修理マニュアルの入手可能性、易修理性設計)
 - アップグレード性
 - 分解性設計 (例: 特定の部品の容易な除去)
 - 情報 (例: プラスチック部品のマーキング)
 - リユース、リサイクルの容易化 (例: 相溶的でないプラスチックの回避)
- 各製品において、材料効率を向上させる余地をよりシステマティックに調査するために、ECはエコデザインのためのCE「ツールボックス」を開発する。
- 以下の観点についての標準化を欧州標準化団体 (EN, GENELEC, ETSI) に求める
 - 製品寿命の延長
 - 使用済み製品からの部品のリユースと材料リサイクルの可能性
 - 製品中のリユース部品やリサイクル材料の使用

G7 ボローニャ環境大臣会合 (2017. 6. 11-12)

45

コミュニケ仮訳 付属書「ボローニャ・5ヶ年ロードマップ」

- 寿命延長製品に関する政策
 - リサイクルと比較した再製造・改修・修理・直接再使用 (RRRDR) の影響を評価し、RRRDRの定義を明確化し、リバース・ロジスティクス・チェーンを含む障壁を特定して対処し、G7が果たしうる役割を検討する。製品の延長寿命について適切な環境設計基準を特定する活動及びその実施に関する実践例を共有する。

[<http://www.env.go.jp/press/files/jp/106094.pdf>]

「ライフサイクル工学」 目次

46

- 持続可能性問題の動向
 - ものづくりから見た持続可能性問題とは？
 - 持続可能性問題の難しさの例：「リサイクルが進んでも」
- ライフサイクル設計
 - ライフサイクル設計の考え方
 - 戦略論：ライフサイクル・プランニング
 - 戦術論：要素設計技術
 - 評価手法：ライフサイクル・アセスメント

家電リサイクル法

47



特定家庭用機器再商品化法（家電リサイクル法）

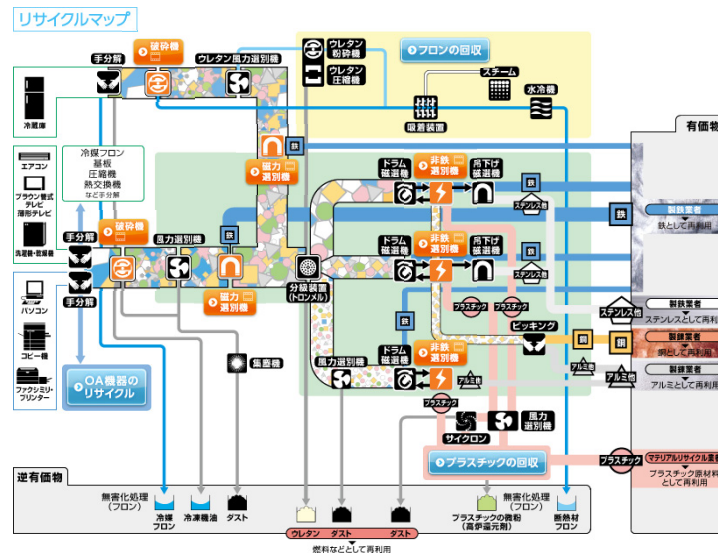
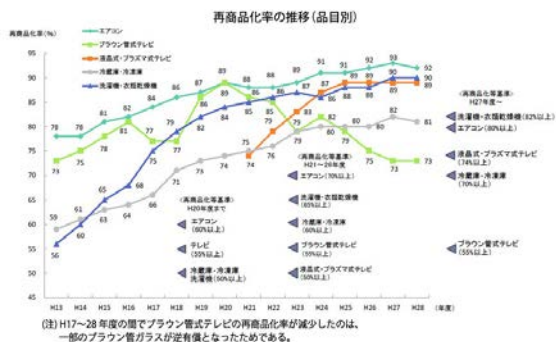
- 1998年5月29日成立、2001年4月1日施行、2009年4月1日改正
- 目的：使用済み家電製品に含まれる資源を再生し、有効活用を図る
- 対象品目：エアコン、ブラウン管テレビ、冷蔵庫、洗濯機 (2009.4.1よりフラットパネルTV、衣類乾燥機 追加)
- 役割分担
 - 消費者：使用済み家電の引き渡し、リサイクル費用の支払い義務 PPP (Polluter Pay's Principle)
 - 》 **エアコン** 900円、**テレビ** 大2,200円、**フラットパネルTV** 大2,700円、**冷蔵庫** 大4,300円、**洗濯機** 2,300円+輸送費
 - 販売店：消費者から使用済み家電を指定引取場所へ引き渡し義務
 - 製造者：指定引取場所設置、指定再商品化率達成の義務、リサイクル費用請求権 **拡大生産者責任!**
 - 地方自治体：引取、引き渡しができる

家電リサイクル料金の推移 [経産省2017]

品目	区分	法施行当時	平成19年4月1日引取分より	平成20年11月1日引取分より	平成21年4月1日引取分より	平成23年4月1日引取分より	平成25年4月1日引取分より	平成27年4月1日引取分より	平成28年4月1日引取分より	平成28年4月1日引取分より
エアコン	—	¥3,500	¥3,000	¥2,500	¥2,000	¥1,500	¥1,300	¥900		
ブラウン管式テレビ	大 (16型以上)	¥2,700								¥2,200
	小 (15型以下)			¥1,700						¥1,200
液晶式・プラズマ式テレビ	大 (16型以上)	—	—	—	¥2,700					
	小 (15型以下)	—	—	—	¥1,700					
冷蔵庫・冷凍庫	大 (171ℓ以上)	¥4,600						¥4,300		
	小 (170ℓ以下)			¥3,600				¥3,400		
洗濯機・衣類乾燥機	—	¥2,400						¥2,300		

家電リサイクル法の再商品化率

- 省令で指定された再商品化率
 - エアコン: 60%, テレビ: 55%, 冷蔵庫: 50%, 洗濯機: 50% (~2009)
 - エアコン: 70%, テレビ: 55%, 冷蔵庫: 60%, 洗濯機: 65%, FPTV: 50% (2009~2014)
 - エアコン: 80%, テレビ: 55%, 冷蔵庫: 70%, 洗濯機: 82%, FPTV: 74% (2015~)
- 実績 (経産省調べ)
 - エアコン: 84%, テレビ: 77%, 冷蔵庫: 66%, 洗濯機: 75% (2005)
 - エアコン: 91%, テレビ: 79%, 冷蔵庫: 80%, 洗濯機: 88%, FPTV: 89% (2013)
 - エアコン: 92%, テレビ: 73%, 冷蔵庫: 81%, 洗濯機: 90% (2015)



家電リサイクル法の効果と課題

● 効果

- 消費者への啓発
- 社会的インフラ（特に静脈物流）の整備
- コストの明示

● 技術課題

- プラスチックのリサイクル技術の確立
→ 自己循環の進展
- 新製品への対応

● 問題点

- 環境にプラス？
- リサイクルコスト（ビジネスとして成立していない）
- 不法投棄（大部分は悪質業者）
- 軽トラ業者
- 50%が帰ってこない（50%も帰ってくる）
レアメタル・レアアースのリサイクルを名目に小型家電リサイクル法がH25年4月から施行されたが・・・

論点: 回収率を高めるためにはどうすればよいだろうか？

メーカーが行うリサイクル ～特にプラスチック

- 通常のリサイクルプラ使用製品：素材メーカーからリサイクルプラを購入
 - 自社製品のリサイクル材ではない
 - 恐らく、工程内端材を中心に品質維持
- カスケードリサイクル
 - 低品質のプラに利用：百円ショップの製品に利用
 - 自動車廃プラ→防音材（自動車各社）
 - 家電PP→洗濯機の台枠（日立、パナソニック）
- 閉ループリサイクル：特定の製品のみ集める場合のみ成立していた
 - レンズ付きフィルムのボディ
 - 複写機の一部のボディ
→ 家電四品目を対象として出来るようになった（**グリーンサイクルシステムズ**）
 - PETボトルからPETボトルへのメカニカルリサイクル（サントリー）
→ 高コストが阻害要因だったものを克服

南北問題、特に中国

- 世界一の温暖化ガス排出国、GDP2位：成長優先、成長に応じた環境対応
→ 大国と途上国の立場を使い分けながらサステナビリティ面でもイニシアティブを握る動き
- レアメタル・レアアースの大輸出国
- 日本から数多くの家電品、PC、自動車、PET・くず鉄などの素材がアジアに流れている
→2018年から中国は廃プラ輸入禁止
- 中国での使用済み製品は法の網の外へ
- 循環経済：中国版WEEE、中国版ELV、・・・
法規制は用意しているが
- 中国における3R
 - 完全に資源確保戦略

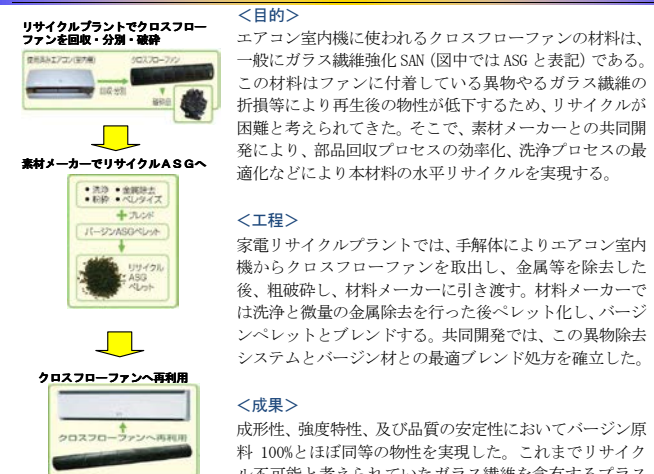


発展途上国におけるオープンランピングの処分場



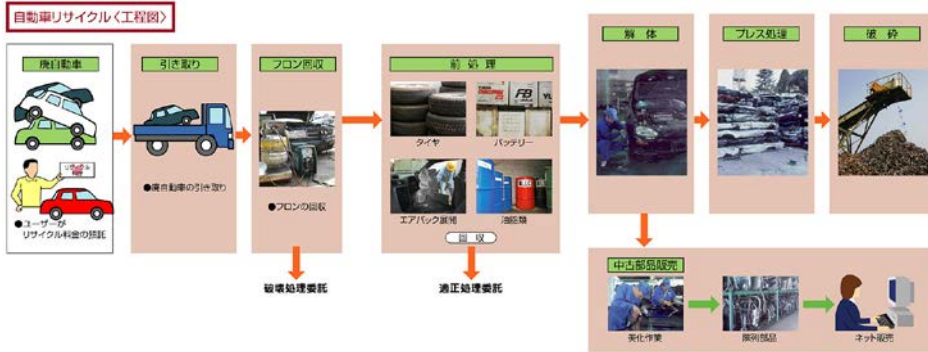
出典：財団法人日本産業廃棄物処理振興センター資料

ガラス繊維強化プラスチックの自己循環



[家電製品協会 http://www.aeha.or.jp/recycling_report/pdf/06_01_04.pdf]

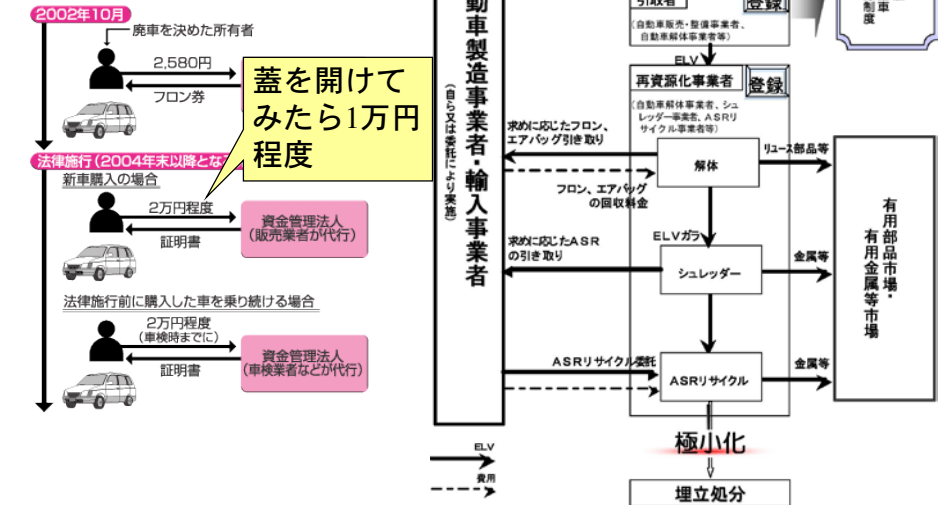
自動車リサイクルの流れ



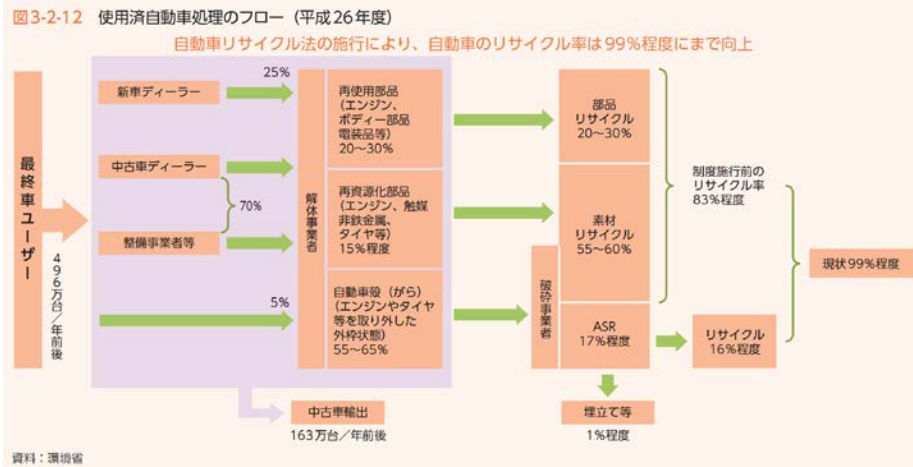
<http://www.nishitsu.ne.jp/kyusyumetal/business-autmobile.htm>

自動車リサイクル法

2005年1月1日から本格施行

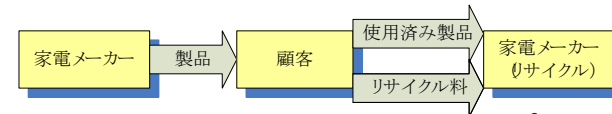


使用済自動車処理フロー [環境白書2016]



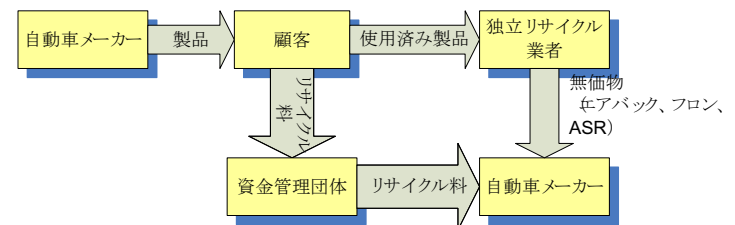
家電リサイクル法と自動車リサイクル法

● 家電リサイクル法



ライフサイクル思考、DfEを推進するフィードバック

● 自動車リサイクル法



従来型リサイクルの課題

- 大量生産と大量リサイクルの単純な組み合わせで、安定した循環が構築困難（現状の大部分はカスケード・リサイクル）
 - Quality: 品質・価値の低下
 - Cost: リサイクル材の価格
 - Delivery: 供給量の不安定性（ゴミだから）
 - ➡ 供給元と使用先のアンバランス
- 「リサイクル」すれば幸せという訳ではない
 - 埋立処分場対策手段として評価すべき
 - ゴミ処理型リサイクルから循環生産へ
 - 適切に管理された製品ライフサイクルの下でのリサイクルとは別物



ボトルtoボトル事業

PET ボトルtoボトル



[<http://www.suntory.co.jp/company/research/environment/bottle.html>]



従来の環境問題と環境的持続可能問題

- 従来の環境問題：公害問題、大気汚染、騒音・振動
 - 問題が閉じている、因果関係が明らかになっている

➡ End-of-Pipe技術による解決
- 環境的持続可能問題：地球温暖化問題、資源枯渇問題、廃棄物問題、エネルギー問題、エミッション問題
 - ill-structured problem

➡ システム変革による「持続可能性」の実現

環境問題に対する製造業の役割(1)

- 大量生産・大量消費・大量廃棄をこれから続けて行くことはできない。大量生産に伴う過剰消費が種々の環境問題の主原因
 - ➡ 製造業こそが「持続可能社会」を実現する鍵を握っている
- 「省エネ製品」の大量生産+大量リサイクルは、持続可能？
 - リサイクル業者に渡せば良い、という訳ではなく、循環するシステムを構築することが重要
 - 製造業の構造変更が不可欠
 - 既存の製品や製品販売ビジネスでは持続可能性を得るのは困難
 - 》「環境に優しい製品」とは？
 - 》CO2を70%削減するときの「ものづくり」？
 - 温暖化対策、エネルギー枯渇対応、資源枯渇対応、そして、競争力向上をいかに実現するか？

環境問題に対する製造業の役割(2)

- 製造業は製品ライフサイクル全体（ゆりかごから墓場まで）の責任を持つ責務が生じている（**拡大生産者責任と汚染者負担の原則**）
 - 消費者も応分のコスト負担
- 新しいもの作りの考え方が必要！
 - 産業活性化＝環境破壊
 - 産業活性化＝環境向上
- それはどんなものづくり？
 - 製品ライフサイクルの適切な開発、設計、管理
 - 資源を消費しない（環境問題を解決する）高付加価値ビジネス、サービスの開発

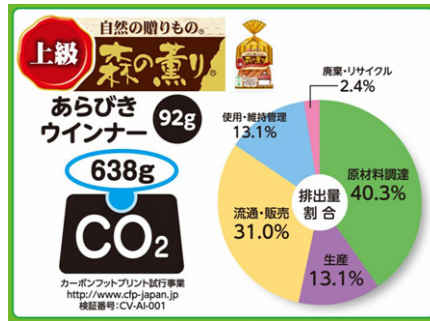
➡ 付加価値向上と環境性能を両立したものしか競争力を持たない

グリーン購入の目印：環境ラベル（ISO14020）

タイプ(ISO)	認定者	例
タイプI	国などの第三者機関による評価・認定	ブルーエンジェル（ドイツ）、ノルディックスワン（北欧）、国際エネルギースター、エコマーク（日本）
タイプII	企業が自主的にアピールを目的に添付	グリーンシール（シャープ）など多数
タイプIII	LCAのデータなどの環境情報を具体的に添付	リコーなど



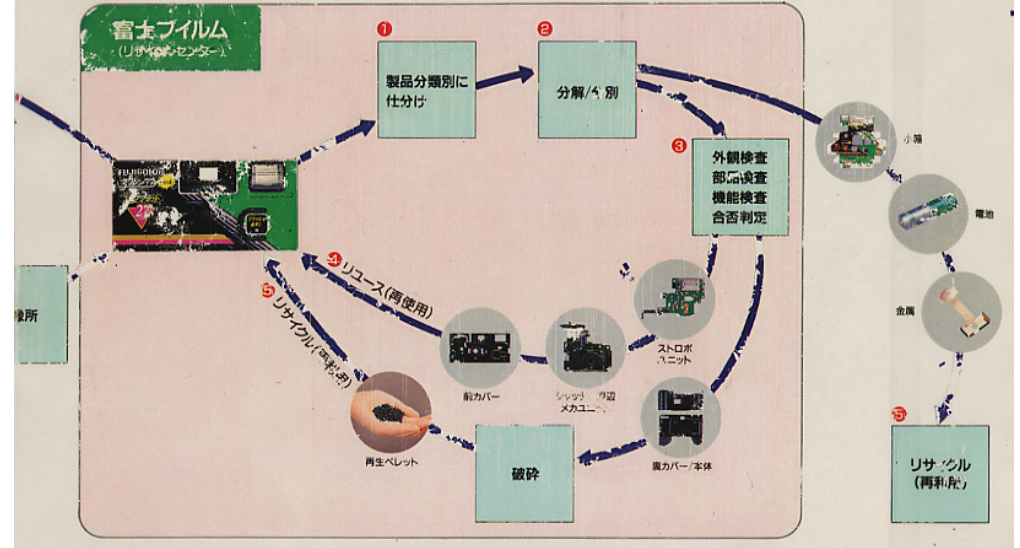
カーボンフットプリント



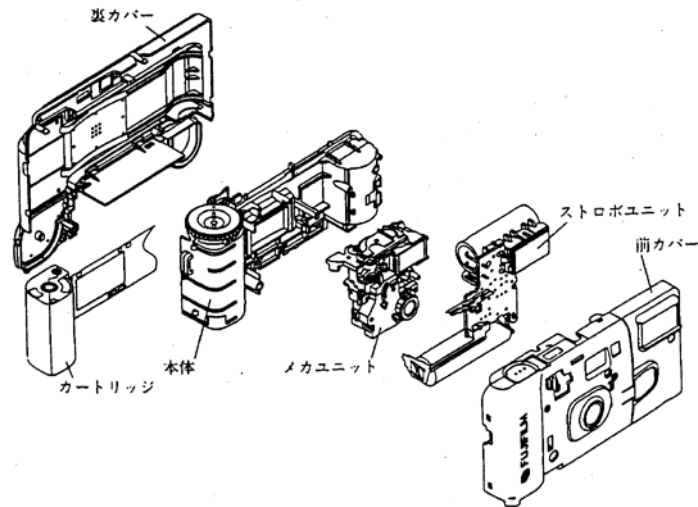
サッポロビールがカーボンフットプリント商品を試験販売
 ～ 環境対策への貢献を目的に、2月に北海道にて実施 ～

業工程をすべて自動化。
 「です エコノショット」は、
 %をリユースしています。

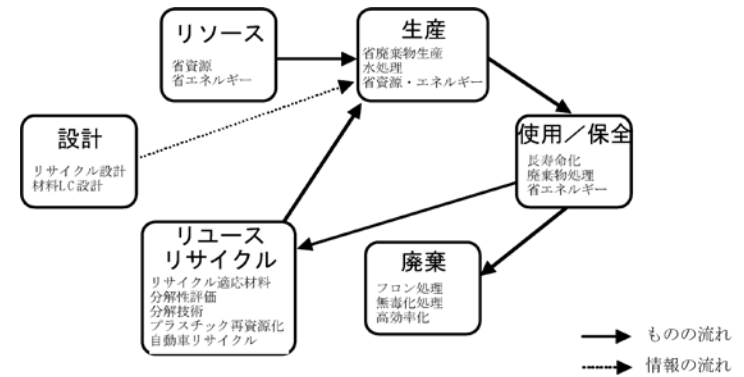
富士フィルムでは、資源の節約と環境の保全を考慮、「写ルンです」のリユース・リサイクルに取り組んでまいりました。「写ルンです エコノショット」では、さらに効率化を図るため、仕分け/分解/検査など、そのすべての工程を数々の新技術の導入により自動化。より確実でスピーディなリサイクルシステムを実現しています。リユースされるストロボユニット、シャッター周辺メカユニット、前カバーは、独自の画像処理技術による厳重かつ迅速な品質チェックのうえ、製品へ再投入されています。



レンズ付きフィルムのモジュール化設計



製品ライフサイクルのシステム化



製品ライフサイクルのシステム化

