

「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

「適切な」循環は、あらかじめ設計し、適切にマネジメントしないと実現できない

- ライフサイクルの見える化、設計、分析、マネジメントの統合的実施
 - ライフサイクル思考とは、ライフサイクル分析だけではなく、ライフサイクルのシンセシス
 - 製品ライフサイクル全般にわたる見える化とリーン化
 - **ライフサイクル工学はCE実現のための必須の技術**
- これが循環プロバイダーのミッション
 - 循環プロバイダー（メーカーから？リサイクラーから？サービス企業から？）
 - 制約の少なさから言うとサービス企業主導？

ライフサイクル設計とは？

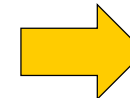
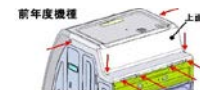
- 従来の設計：製品を作る
 - コストパフォーマンスの良いモノをいかに効率よく作るか？
 - 従来のエコデザイン
 - 分解性、リサイクル性などを向上させるための製品設計の小改良
 - リサイクル・廃棄物処理：「ゴミ」をいかに処理するか？
 - ライフサイクル設計：製品のライフサイクルを作る
 - 拡大生産者責任
 - いかに作らないで済ませるか
 - 》利益の確保（ビジネス戦略）
 - 》必要十分な機能／サービス
- **ライフサイクル思考**

ライフサイクル設計がないと・・・

- 製品設計段階でリサイクル性設計を頑張る
- 高いリサイクル「可能率」
- しかし、リサイクル時にシュレッダーへ
- リサイクル「実効率」は大分違う



手解体の容易化



ライフサイクル設計のスコープ

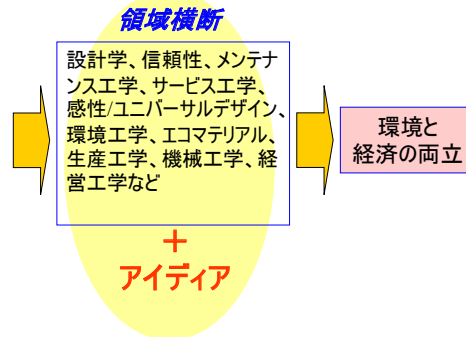
ライフサイクル設計

LCを通じた価値の向上(LCV)

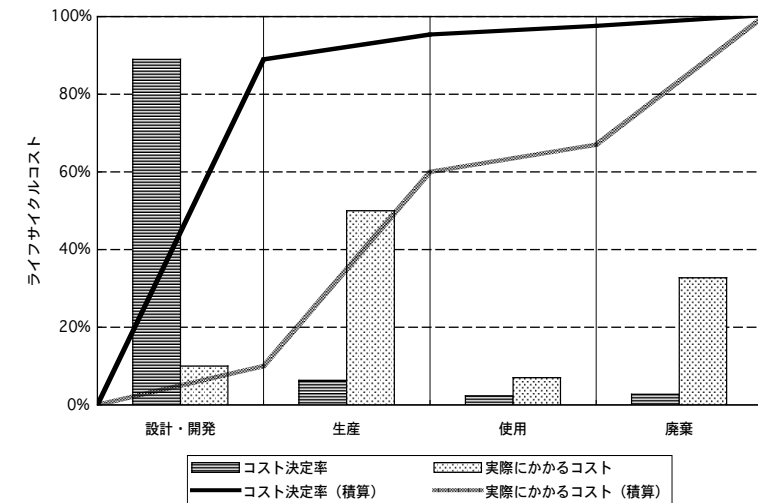
- ・性能(コストパフォーマンス)
- ・サービス
- ・ユーザビリティ
- ・メンテナンス
- ・社会貢献(社会の負荷削減への貢献etc.)

LCを通じた環境負荷の削減

- ・循環生産
- ・省エネ・省資源
- ・化学物質の削減etc.



ライフサイクル設計の重要性



環境配慮製品設計は難しいか？

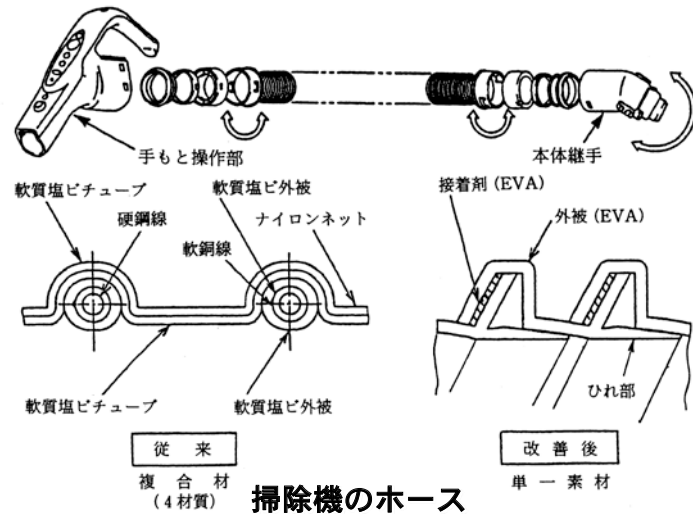
- 技術的には難しくない
 - **製品アセスメントガイドライン (チェックリスト)** + 実用段階にある要素設計技術
 - 分解性設計
 - リサイクル性設計
 - 材料選択 (エコマテリアル)
 - Life Cycle Assessmentによる評価
 - 省エネ設計
 - 部品点数削減、軽量化
- ➔
- ・リサイクルのみに視点が固定されている (手段の目的化)
 - ・企業は儲からないから法規制対応が中心 (後追い型)
 - しかしやらないと取り残される (例: 省エネトップランナー方式)
 - ・設計者の手間が増えるだけ

SolidWorks Sustainability

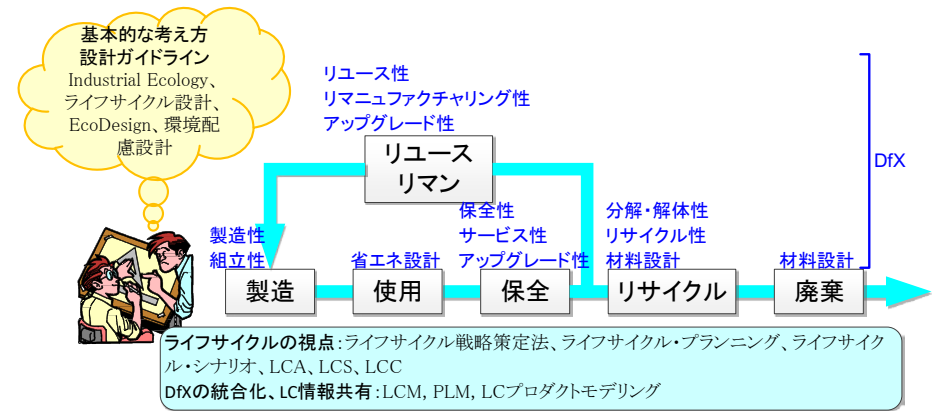
<http://www.solidworks.co.jp/sustainability/design-gallery.htm>

- これまでは、環境部門の人が (後付けで) LCAを実施
 - ➔ CADに高レベルで統合化
 - ➔ 設計者が実施可能
- しかし、ライフサイクルは明示的には設計しない

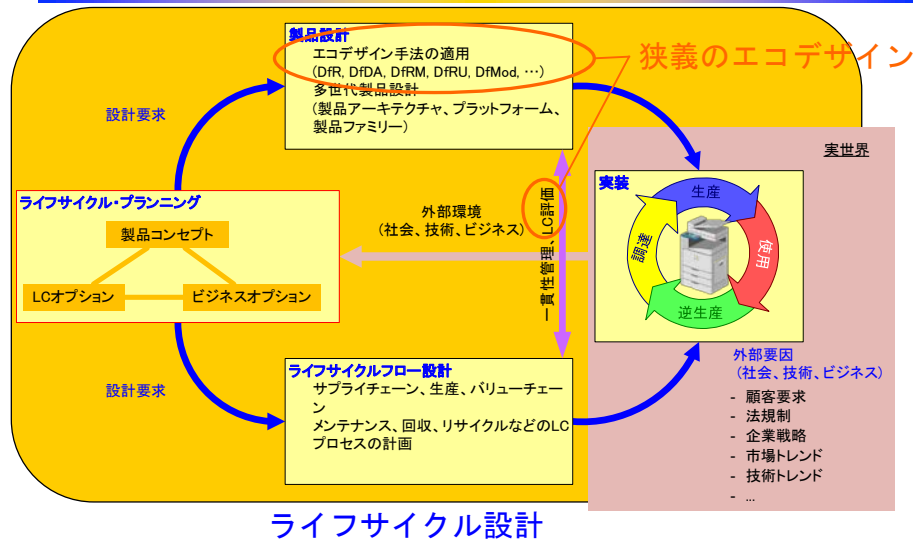
適切に設計してやればリサイクルもずっと容易



設計手法の例



ライフサイクル設計の全体像



ライフサイクル設計のポイント

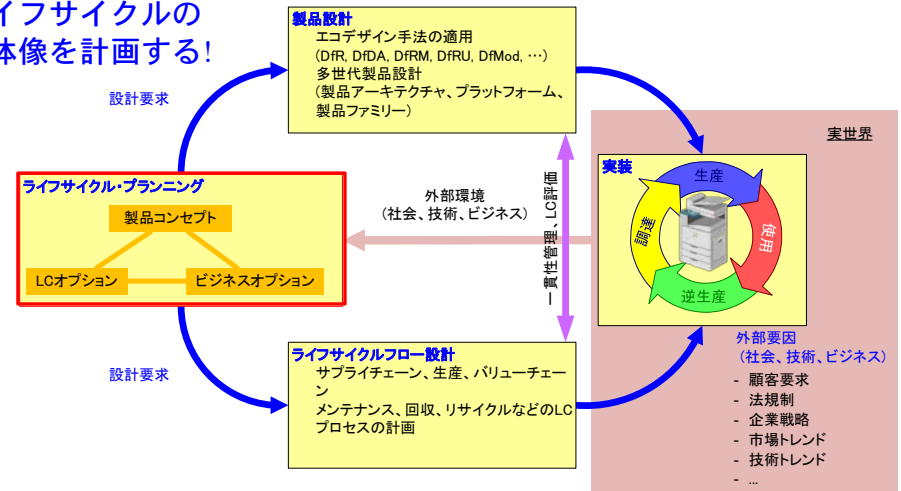
- 以下の要素の統合的設計
 - ライフサイクル・プランニング
 - 》製品コンセプトの策定
提供する価値の明確化 (ものからサービスへ)
 - 》ビジネス・オプション決定
 - 製造業からライフサイクル産業へ
 - 製品販売からサービス提供へ
 - 》ライフサイクル・オプション決定
種々のライフサイクルオプションのベストミックス: 脱物質化、メンテナンス、アップグレード、リマニュファクチャリング、リユース、リサイクル、適正処分
 - 製品設計
新製品、新部品の生産をできるだけ避けて
 - ライフサイクルフロー設計
部品製造、製品製造、使用、メンテナンス、回収、リサイクルなど製品ライフサイクルの流れ(フロー)をライフサイクルプランに合わせて合わせた設計
 - 》c. f. サプライチェーンマネジメント、生産計画、バリューチェーンマネジメント

「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

ライフサイクル設計の全体像

ライフサイクルの全体像を計画する！



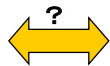
ライフサイクル設計の基本的課題

製品LCの特性

- 物理寿命
- 価値寿命
- 販売期間
- 製品カテゴリーの寿命
- 使用量・廃棄量
- 使用方法・ユーザ
- 製品の構造
- 価格
- 回収システム

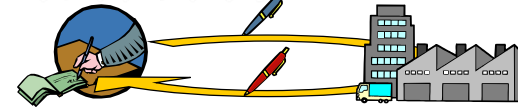
ライフサイクルプラン

- 製品コンセプト
- ライフサイクル・オプション
- ビジネス・オプション



ボールペンでも様々な循環シナリオが

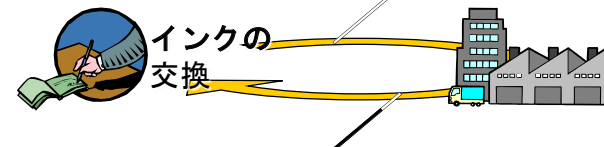
- 製品の循環利用（リマニュファクチャリング）シナリオ



分解性設計の目的

工場で製品のリマンを容易にする設計

- メンテナンス・シナリオ

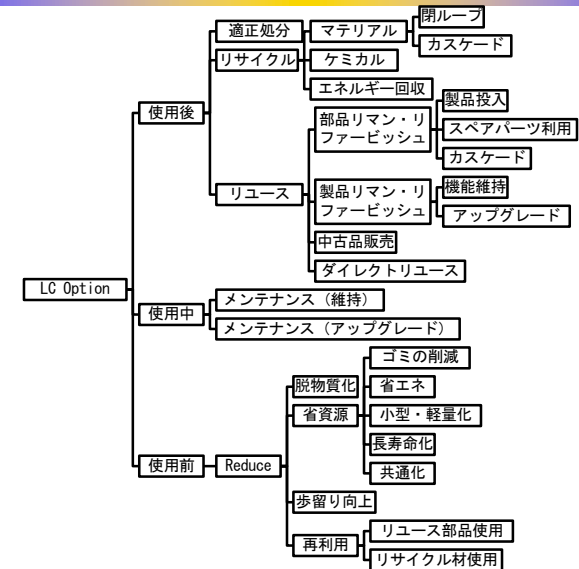


使用者がインクの交換を容易にできる設計

ライフサイクルプランの類型

製品	ライフサイクルオプション	ビジネスオプション
<input type="checkbox"/> Home appliances <input type="checkbox"/> Computers <input type="checkbox"/> Office equipment <input type="checkbox"/> Furniture <input type="checkbox"/> Automobile <input checked="" type="checkbox"/> Construction machinery <input type="checkbox"/> Aircraft	<input type="checkbox"/> Rapid circulation <input type="checkbox"/> Long life <input type="checkbox"/> Product reuse / second-hand <input checked="" type="checkbox"/> Remanufacturing / part reuse <input type="checkbox"/> Servicizing / Dematerialization <input checked="" type="checkbox"/> Maintenance <input type="checkbox"/> Upgrading <input type="checkbox"/> Multi-generation <input type="checkbox"/> Platform design <input type="checkbox"/> Material Recycling	<input type="checkbox"/> Product sales <input type="checkbox"/> Leasing/Rental <input type="checkbox"/> Sharing <input type="checkbox"/> Function sales

ライフサイクル・オプションの分類



製品が捨てられる理由

物理寿命

- **機能消費** (例: 飲料、鉛筆、本) : 主機能が不可避免的に消費される製品の場合、消費される機能が廃棄の主要因となる
- **故障・寿命** : 製品が物理的に故障したり、劣化した場合、廃棄される可能性がある

価値寿命

- **需要消滅** (例: 栓抜き) : そのその機能がなくなると、その製品は使われなくなる
- **容量・サイズ** (例: 冷蔵庫、子供靴) : 容量や大きさが重要な製品では、容量や大きさがユーザの要求を満たさなくなると廃棄される
- **外観** (例: スポーツカー、衣類) : 外見が重要な製品では、外見の陳腐化が廃棄の引き金となる
- **新機能・技術向上** (例: パソコン、スマートフォン) : 技術進歩が速い製品の場合、競合製品に比べて機能や技術が陳腐化すると廃棄される

種々のライフサイクル・オプションの役割

- **ライフサイクル設計の目的**
製品や部品をその物理寿命まで使い尽くす
- **各ライフサイクル・オプションの役割**
 - **リデュース**
無駄の排除。コストダウンにつながる。常に有効
 - **長寿命化**
クリティカルな部品の物理寿命をあらかじめ伸ばす手段
 - **メンテナンス**
クリティカルな部品の物理寿命を補修、交換により伸ばす手段
 - **アップグレード**
クリティカルな部品の価値寿命を伸ばす手段
 - **リユース**
クリティカルでない部品を別製品に使うことによりその部品の物理寿命まで部品を使い尽くす手段
- **ポイント**
 - 製品廃棄に対してクリティカル/非クリティカル部品の区分
 - 物理寿命と価値寿命の区分

ライフサイクル・オプション選択の方法

1. 対象製品の廃棄要因となる部品（クリティカル部品）を同定
2. 製品全体、および、クリティカル部品において、物理寿命が支配的か、価値寿命が支配的かを同定
3. [a]を適用
4. [b]、[c]、[d]などのLCオプションをクリティカル部品に適用
5. [e]をクリティカルでない部品に適用
6. 全ての部品の最終処分方法を考える

ライフサイクル・オプションの選択（1）

● 基本原則

- 製品・部品を物理寿命まで使い尽くす

$$\frac{\text{Value Lifetime}}{\text{Physical Lifetime}} \rightarrow \max$$

- 部品を廃棄要因毎にモジュール化して適切なライフサイクル・オプションを選択する

製品の廃棄理由	クリティカルな部品	クリティカルでない部品	循環方法
機能消費	必然的に消費		回収システムの有無によりメンテナンスか製品再生 ライフサイクル管理 ビジネスオプションとしてのリースやレンタル
物理寿命	リデュース 長寿命化設計 メンテナンス	リデュース リユース	
価値寿命	リデュース アップグレード		

ライフサイクル・オプションの選択（2）

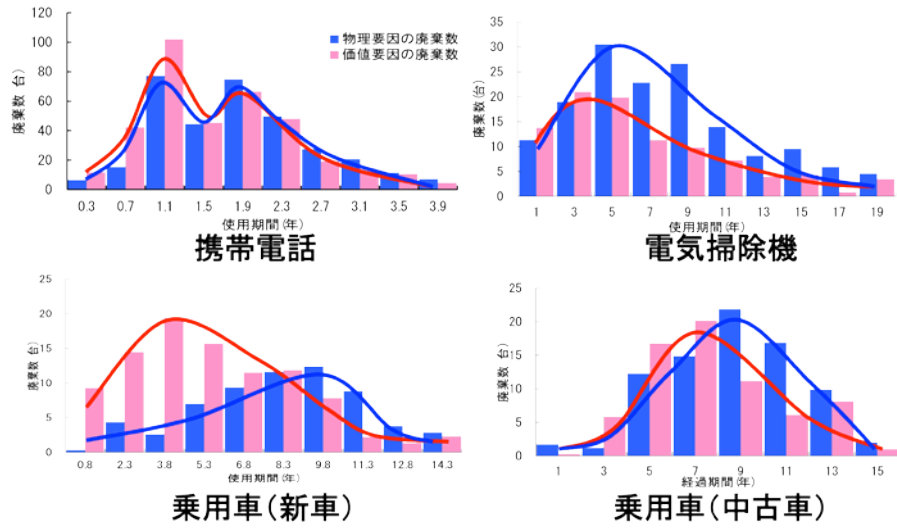
End-of-Lifeオプションの適用条件

- **マテリアル・リサイクル（ケミカル・リサイクル）**
 - 直接的、間接的に天然資源・エネルギーの使用量が削減される
 - リサイクル材の供給と需要がバランスする
- **エネルギー・リカバリー**
 - 発生するエミッションが許容可能
 - 生成エネルギーがプラス
 - 減容化が、CO2や燃焼により発生するエミッションの問題に比べてより重要
- **埋立**
 - 前処理や貯蔵中の環境負荷が小さく、有害物が流出しない
 - 処分場の容量が十分にある
 - コストが許容可能
 - 長期の貯蔵後に資源が再利用可能（都市鉱山）

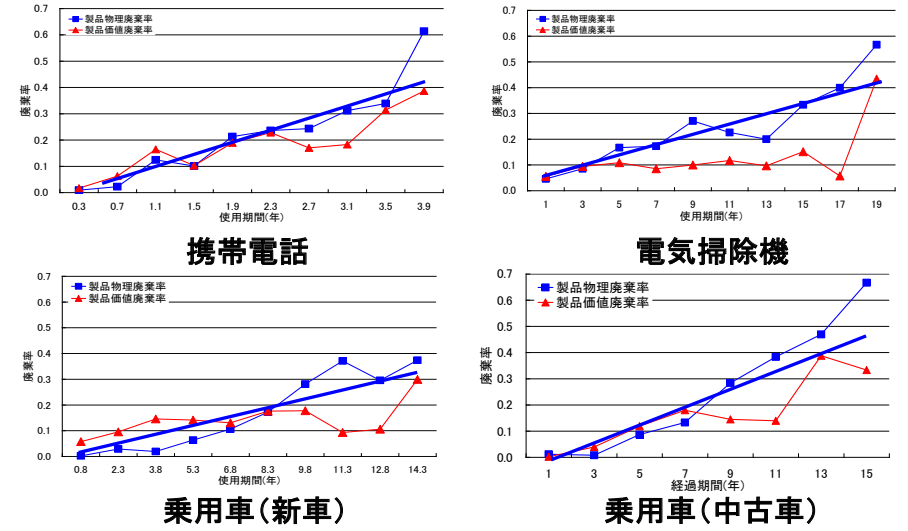
必要条件を満たさないリサイクル

- 回収量と再生材の使用量のバランスがとれていない
- リサイクル品質が要求を満たしていない
- リサイクル価格がバージン品と比べて高く、使用されない
- リサイクルのためのエネルギーがバージン材製造エネルギーよりも大きい

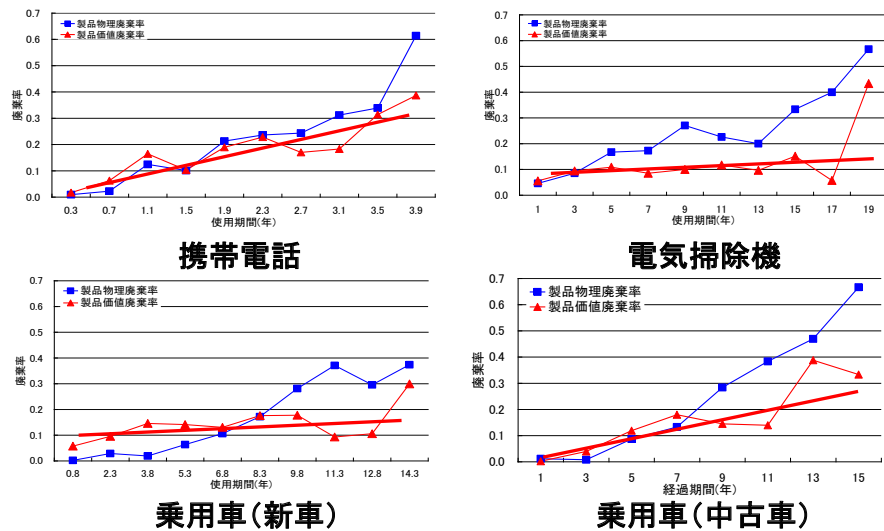
価値寿命は本当にあるのか？



物理要因による廃棄率



価値要因による廃棄率



リユース

G7 ボローニャ環境大臣会合 (2017. 6. 11-12)

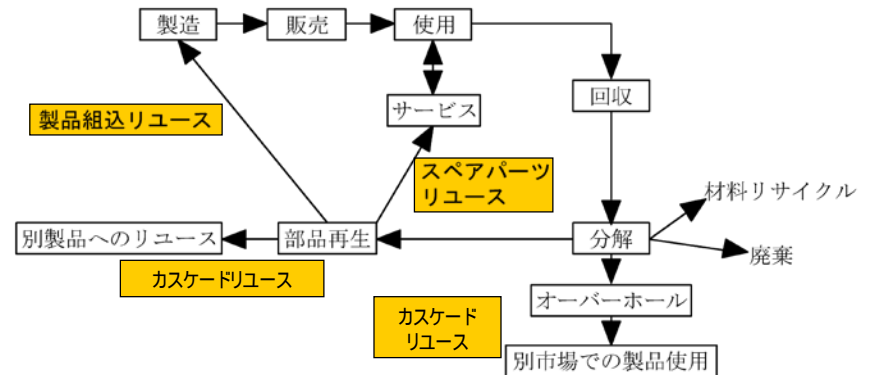
コミュニケ仮訳 付属書「ボローニャ・5ヶ年ロードマップ」

- 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>]

リユースの整理

- リユースの定義
 - 製品からサブシステム・部品を同じ機能で別の製品に再使用すること
 - 最近では、リマニュファクチャリング、リビルド、リコンディショニングなど様々な用語が出てきているが、ここではそれらを全てまとめて「リユース」と呼ぶ
- リユースの三分類



リユースの処理・管理のレベル([小島 2014] 改)

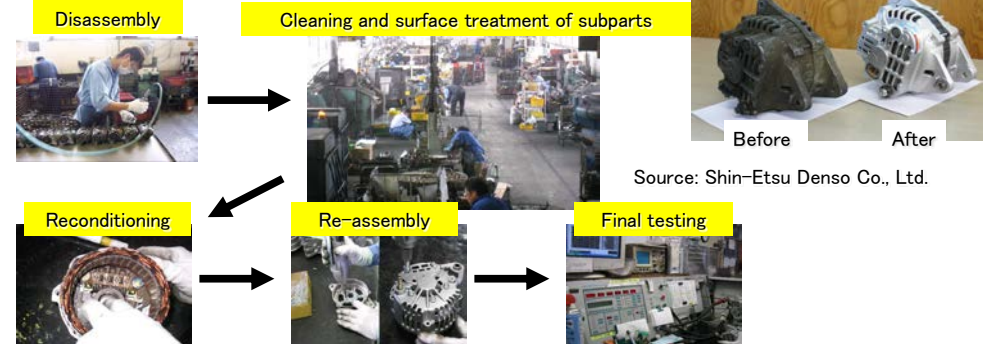
	分解の程度	処理後の品質	品質管理
リマニュファクチャリング (リマン)	完全に分解する	新品と同等	厳密な品質検査
リファービッシュ リコンディショニング	必要な部分だけ分解	中古品として必要な品質まで回復	それなり
レトロフィット	新しい要求を満たすように改造	改造品として必要な品質まで回復	それなり
ダイレクトリユース 中古販売	清掃程度	入荷時のまま	しない

- 我が国では3Rに従って、リユースを上記を全て含む広い概念で捉えている
- 欧米では、リユースは得てして一番下の部分を指す

信越電装 [Matsumoto, 2010]

Cf. In auto-parts remanufacturing, cleaning process is most expensive. [Hammond, Amezcua and Bras, 1998]

Much know-how in cleaning process



カスケードリユースの例

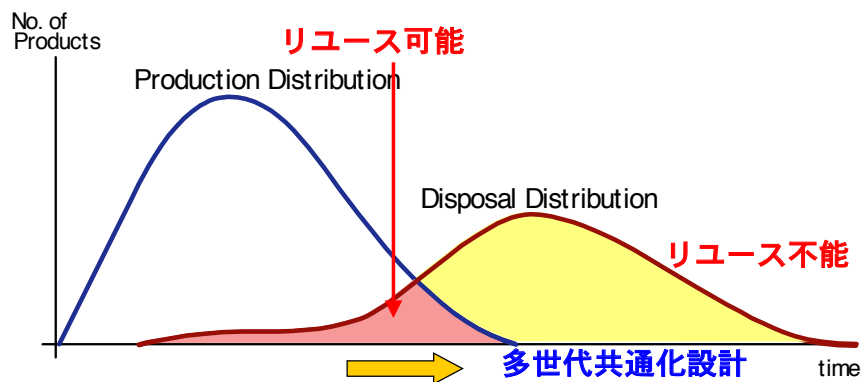


なぜリユースが難しいか

- リユースの四条件
 - (部品物理寿命-部品使用時間) / 製品物理寿命 $> \alpha$
 - リユースコスト / (新品部品コスト+処理リサイクルコスト) $< \beta$
 - リユース部品価値 / 要求価値 $> \gamma$
 - 「限界リユース率」
リユース率 (実効値) = 限界リユース率 × 回収率 × 対象部品の再使用可能率 (良品率)

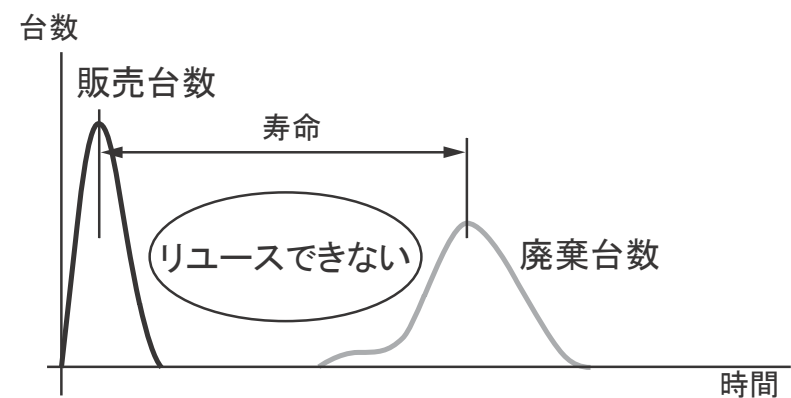
限界リユース率

(同一の製品への製品組込リユースの場合)



$$\text{限界リユース率} = \frac{\text{リユース可能面積}}{\text{総生産量}}$$

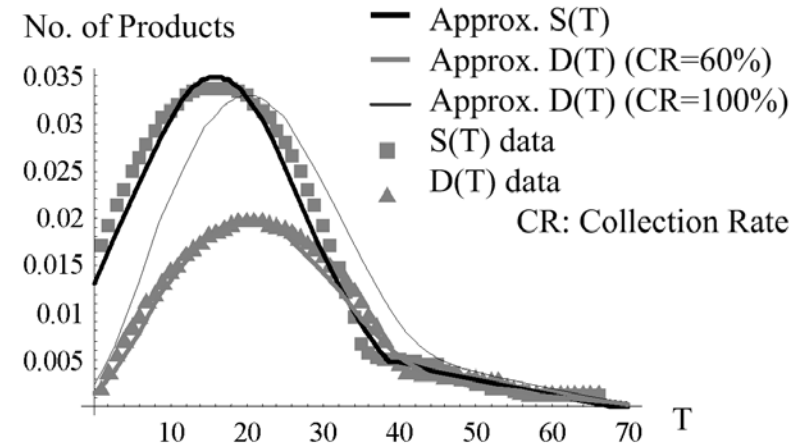
リユースできない場合



製品組込リユースの成立条件

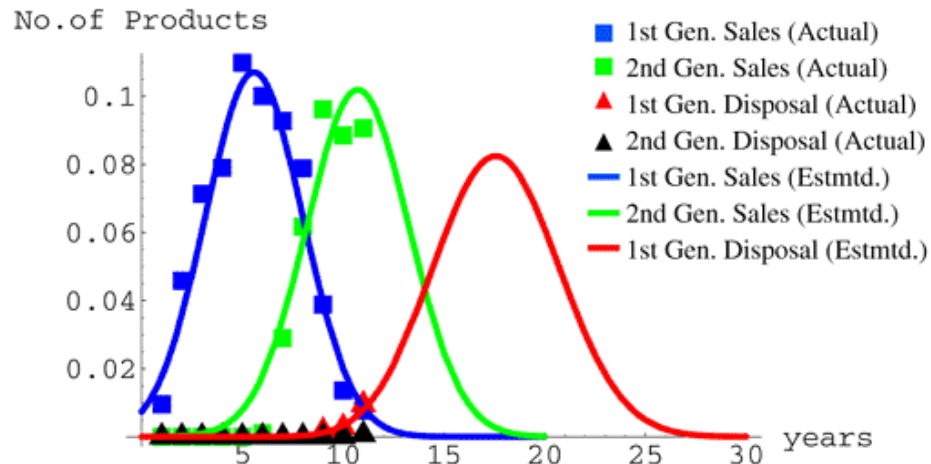
- 技術がある程度安定し、部品の共用化や固定化が可能なこと
- 限界リユース率が高いこと。すなわち、販売期間がより長く、製品使用期間（二つの山の間隔）がより短いこと
- 回収率やリユース対象部品の良品率が高いこと

迅速循環型製品の限界リユース率 ーレンズ付きフィルム



世代間リユースの可能性ーATM（オムロン）

- 機種AからAへの限界リユース率 2.5%
- AからA, Bへの限界リユース率 22%



ライフサイクル特性によって異なる リユース戦略

- 迅速循環製品：レンズ付きフィルム
 - 多世代設計よりも、販売期間の長期化
 - 回収率の向上
- 長寿命製品：ATM
 - 多世代設計による部品の固定化
 - スペアパーツリユース
 - 販売期間や製品使用期間の制御

限界リユース率

リユース部品の供給元と行き先の時間的關係

循環	階段		出 元	
	対象	特性	廃棄・回収	メンテナンス
			製品・システム	部品
			製品廃棄曲線	部品回収曲線
行き先	製造	製品・システム 販売曲線	製品組込みリユース (余寿命部品) ・レンズ付きフィルム ・複写機	-
	メンテナンス	部品 製品稼働曲線	パーツI型リユース (余寿命部品) ・自動車部品	パーツII型リユース (不要部品・消耗品補充) ・スマートフォン ・トナーカートリッジ

リユースに関する議論

- リユースの実現はリサイクルに比べると簡単ではない
 - リユースはライフサイクルを変えないと恐らく成功しない
- しかし...
 - リユースは価値を維持可能な有望なLCオプション
 - リユースは近い将来経済的に見合うようになるのでは
c.f. Circular Economy
- リユースはライフサイクル設計を不可避免的に要求する
 - リユース対象部品を注意深く選択する必要がある
(廃棄に影響しない部品)
 - 多世代設計の重要性が高まる

リユースの促進材料

- 社会：資源生産性の向上
 - ゴミの削減、資源使用量の削減、(製造、廃棄処理に関する)エネルギー消費量の削減、CO2排出量削減
 - 画期的環境調和型生産システムの出現
 - 国内生産が増える
- ユーザ：長く使うことのメリットとコスト削減
 - 価格低減(ならない可能性もある)
 - 長期間使う愛着、ものを大事に使う文化の復活
 - 習熟負担軽減
 - 不具合率、修理費の予測可能性
- 企業：ライフサイクルの視点からの資源生産性の向上によるコスト削減
 - 開発費削減
 - 部品共用化、固定化による原価低減
 - 開発時点のコスト削減、固定費の削減
 - 長期にわたる部品供給責任からの解放
 - 品質保証の徹底
 - 設計者への啓発効果
 - 環境企業としてのイメージアップ

リユースが越えるべきハードル

- 社会：社会停滞の防止(どのような社会システムを作るかによる)
 - 技術進歩の足かせ
 - 回収系でのごみ、資源、エネルギーの消費
 - 投資やGDPが減る
 - 素材メーカー、一次部品メーカーの雇用が減る(雇用構造の変更、人口減で対応?)
 - 品質保証主体の明確化が必要
 - 社会システムの変革
- 企業：技術進歩への対応とライフサイクル産業への転換
 - 技術進歩を取り入れにくい(これはリユース部分の選択により回避)
 - 自製品の新品のマーケットが縮小する
 - ライフサイクル管理に起因するコストアップ、リユース部品使用表示のためのコストアップ、他社使用による損失
 - 回収数量の変動と在庫量増大
 - 売上げ、利益が減る可能性
 - 責任範囲の拡大
- ユーザ：使い捨て文化からの脱却
 - 修理整備の間の忍耐
 - 機能向上要求抑制
 - 製品信頼性に関する不安感

ライフサイクル・プランニングのための 支援ツール

課題

- 課題
 - 次ページ以降に示す「廃棄要因分析表」をボールペンに適用し、ボールペンのライフサイクル・オプションを決定しなさい。
 - 廃棄要因分析表に関する資料をテキストHPに掲載
- 締切
 - 次回の本講義開始時

廃棄要因分析表

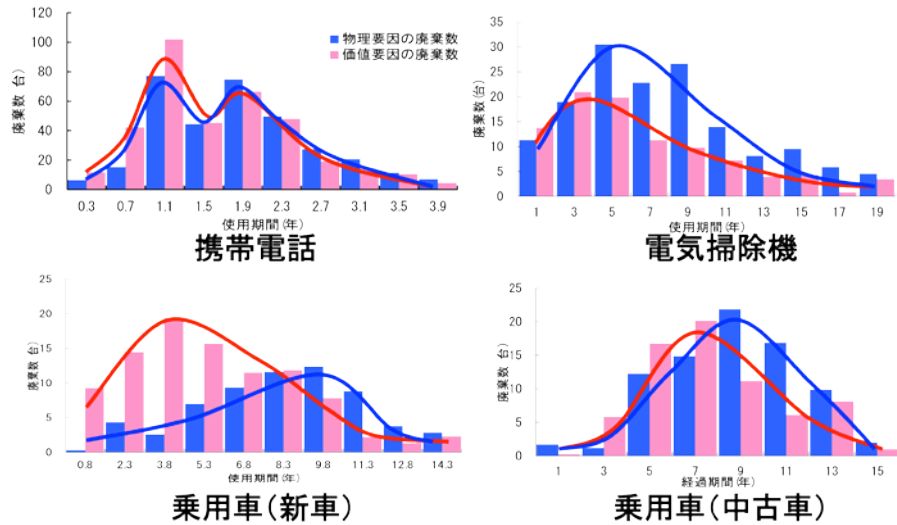
廃因	重要度 r(i)	製品						部品 総得点 c(k)
		機1	機2	機3	機4	機5	...	
機潰								
機	3		3					
塗サ丕	9	9						
疎寿命	3	1			3			
機能機面	3			9		3		
重要度(r)		84	9	27	9	9		
部表								
部A	0.5				0.4		0 5.1 40.5 0 0 45.6	
部B		0.8				0.5	4.5 0 0 7.2 0 11.7	
部C			0.9	0.5			24.3 4.5 0 0 0 28.8	
部D					0.5		4.5 0 0 0 0 4.5	
部E	0.5	0.2	0.1	0.1			2.7 2.4 40.5 1.8 0 47.4	

実行例：掃除機

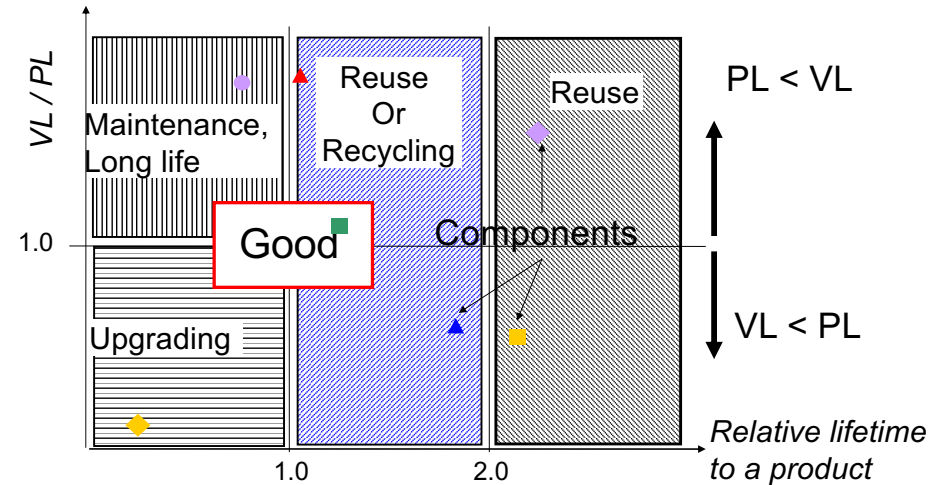
廃因	重要度	製品										部品 総点	
		産集 る	塵溜 く	吸力 発生 者	塵室 分離 る	塵戻 る	塵集 容積 者	騒音 能者	電受 戻る	制す る	難を 飛す る		
機潰													
機	3										3		9
予備部品 リユース 対象部品	1	1		3				3					3
	9	3	9	9					3	3	1		55.5
	3	9	3	9					3		1		55.5
リユース検討部品		55	90	111	0	3	0	45	27	12	30		
要交換 具化	1								0.2			0.2	29 32 2 7 0 70
			0.5						0.1			0.2	5.4 43 1 6 0 55.5
			0.5						0.1			0.2	5.4 43 1 6 0 55.5
掃除機 本体										0.5			1.5 4.5 0 0 0 6
掃除機 本体									0.2			0.2	1.8 5.4 1 7 0 15
掃除機 本体							0.9						0 0 0 0 0 0
掃除機 本体							0.6						16 49 2 0 0 66.6
掃除機 本体							0.4						11 32 1 0 0 44.4
掃除機 本体											1		0 27 0 0 0 27
掃除機 本体										0.5			1.5 4.5 0 0 0 6
掃除機 本体									0.4			0.2	3.6 11 1 9 0 24
掃除機 本体							0.1	1	1				0 0 3 0 0 3

循環方式は、メンテナンス型、もしくは、リマニュファクチャリング型

価値寿命は本当にあるのか？



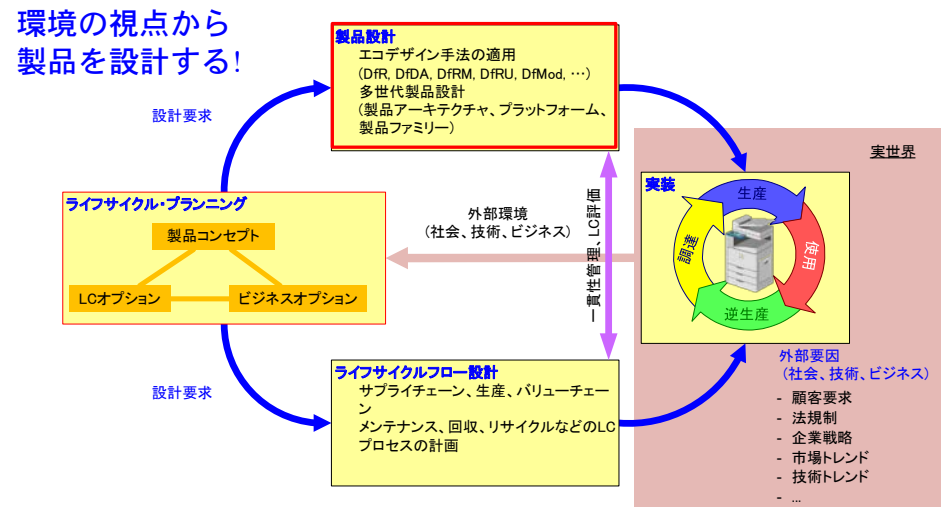
寿命に基づくライフサイクル戦略決定



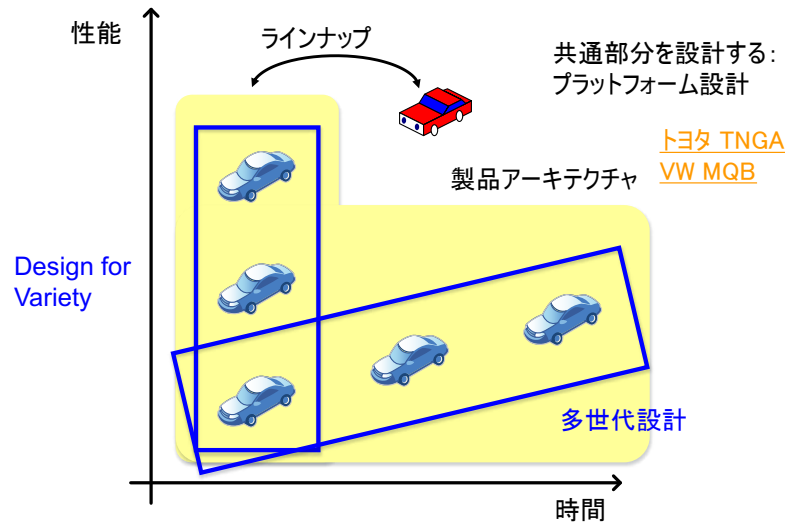
「ライフサイクル工学」 目次

- 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

ライフサイクル設計の全体像



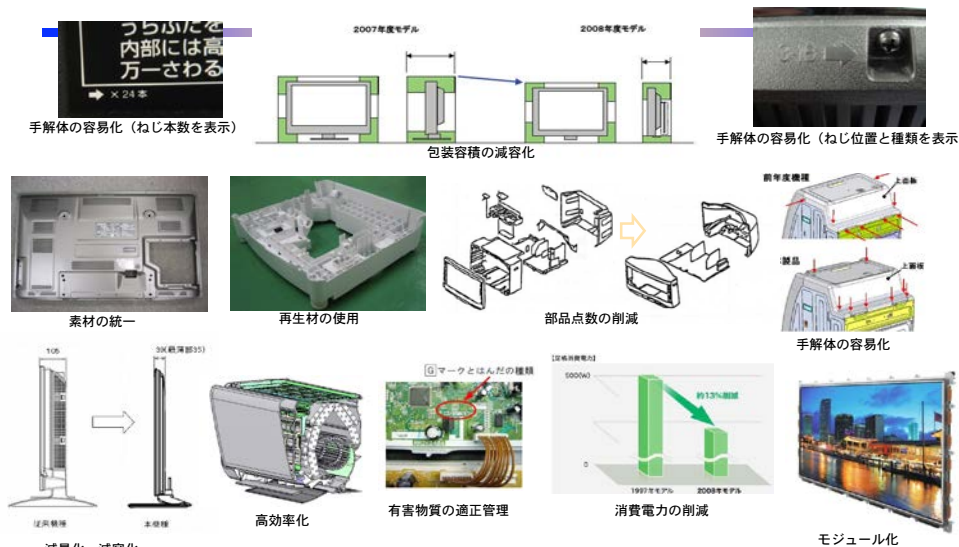
製品アーキテクチャ設計



ライフサイクル・オプションと要素設計技術の関係

選択LCオプション	目的・対象	構造設計			材料選択の基準	
		モジュール化の視点	分解性設計の視点	その他の視点		
リデュース	軽量化/部品点数削減	軽量化/部品点数削減	-	-	強度 長寿命 高機能	軽量材料 高性能材料
	有害物質削減	有害性	有害物質の隔離	有害物質の取り出し	ラベリング	無害材料
	メンテナンス	短物理寿命部品 故障しやすい部品	診断性、交換性	故障部品の交換性	標準化 清掃性	寿命がわかりやすい材料
	長寿命化	短物理寿命部品 故障しやすい部品	-	-	長寿命化	長寿命材料
アップグレード	短価値寿命部品	アップグレード部品の交換性	アップグレード部品の交換性	プラットフォーム設計 標準化 共通化 長寿命化 回収性	高性能材料 長寿命材料	
リユース	製品より長い物理寿命、価値寿命を持つ部品 高価な部品	リユース部品の交換性	リユース部品の交換性	標準化 多世代・多機種共通化 長寿命化 検査性 清掃性 修繕性 回収性	長寿命材料 高性能材料	
リサイクル	リサイクル性	材料種別毎のモジュール化	材料種別毎の分解、分離	ラベリング 回収性	易リサイクル材料 材料種類の削減 リサイクル可能な材料の組合せ	

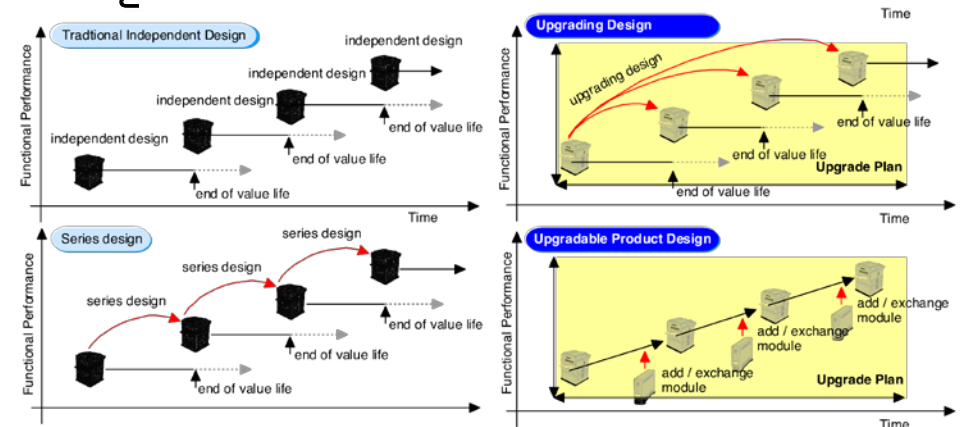
実践されている要素設計技術の例



参考文献: (財)家電製品協会 製品アセスメント事例集

アップグレード設計

- 価値寿命の延命化のために、製品の使用中、リマニュファクチャリング時に製品機能をアップグレードすること

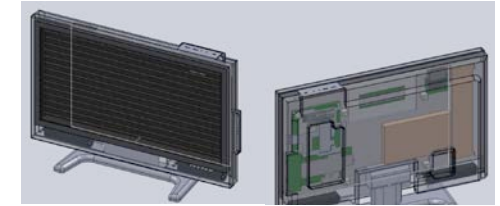


基本操作

- 独立化
 - 構造を独立化し、アップグレードにおける構造変更を最小化
 - 機能の観点からのモジュール化
- 余裕付加
 - あらかじめ設計対象に余裕を与えることによって、アップグレードによる機能的な変化を吸収する
例) 速度向上を見越してあらかじめ高性能なモータを使う

アップグレード設計

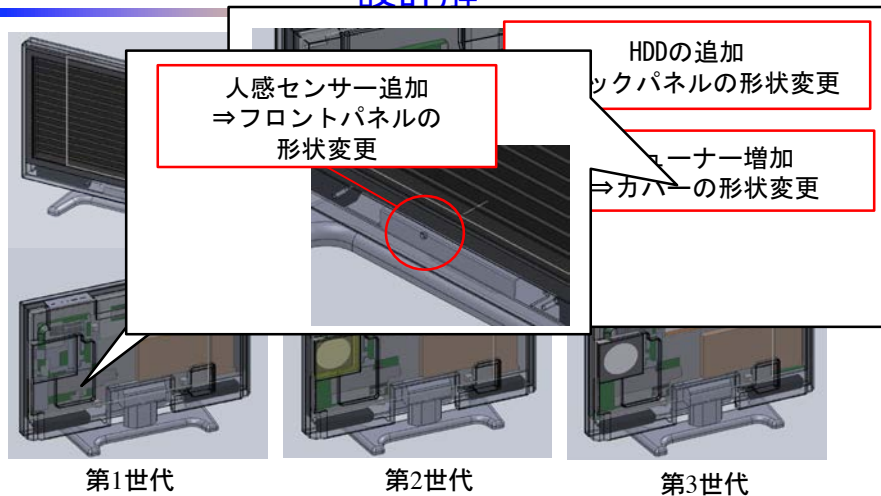
対象製品：液晶テレビ
年式：2007年製
部品点数：31



初期製品モデル
アップグレード計画

第2世代	第3世代
>録画機能の追加 ・HDDの追加 ・チューナー基板の交換 (チューナー数増加)	>LEDバックライトへ変更 ・LEDボードの追加 (×2) ・導光板の追加 ・バックライト用インバータ回路基板の交換 ・CCFLバックライトパネルの削除
>人感センサーの追加 ・センサー基板の追加 ・電源基板の交換	>3D対応 ・液晶パネルの交換 ・液晶用タイミング・コントローラ基板の交換

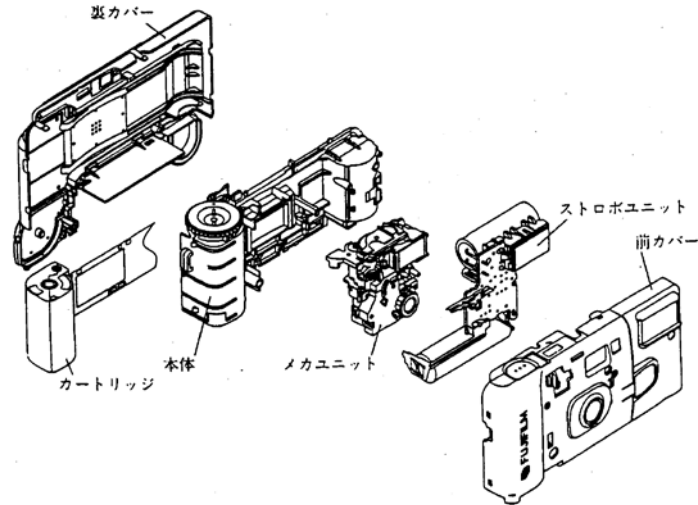
設計解



モジュール化設計

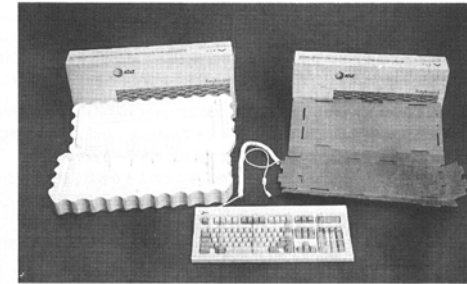
- 製品の構造を幾つかの独立部分（モジュール）に分割すること
- 分割の方法は、その目的により、機能単位、物理・価値寿命による分割、組立性を高めるための分割などが考えられる
- アップグレード可能化、メンテナンス容易化、分解容易化、標準化などに有効

モジュール化設計：レンズ付きフィルム



運搬、回収性設計

- 製品の運搬や使用済み製品の回収を容易にするための製品設計上の工夫
- 大型製品の易分割化、包装材の削減、回収容器統一、回収容器の運搬適性設計などが挙げられる



AT&T 社製の Model 6386 Keyboard 用のパッケージング。写真左側：1988 年のパッケージングで、外箱は段ボール板紙、中は発泡スチロール製の型枠が入る。写真右側：1990 年のパッケージングで、すべて厚板紙となり、前のものに比べ 30% 少ないパッケージングとなっている。(AT&T 社の好意による。)

リユース設計

- 使用済み製品のモジュール／部品を同じ機能を発現させるように他の製品に組み入れること、すなわちリユースを容易にすること
- 方法として、寿命設計、劣化に対する不感化設計、製品シリーズ内での部品の標準化、共用化などが挙げられる



手前の部品群は市場から回収された前身機から取り出されたものであり、重さで製品の 50% を占める

洗浄、検査の容易化

- 部品のリユース、製品の再使用を行なう場合に、洗浄や検査は大きなコスト要因になって来るため重要になってくる設計項目
- リユースを行なっているレンズ付きフィルムのメンバーによってその経験に基づき重要性が強調された
- この設計項目は、従来型の製品設計とライフサイクル設計の相違を示す端的な例

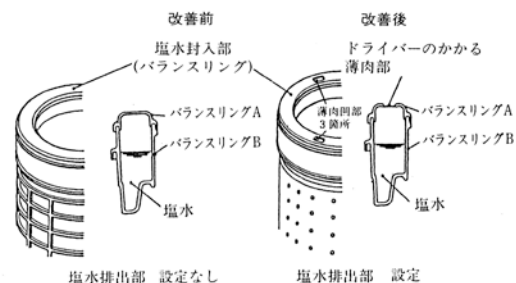
適正品質設計、寿命設計

- 製品や部品の品質や寿命を適切に評価し、制御可能にすること
- 従来の製品設計においては、各部品の品質が過剰に設計されて、資源の無駄遣いになっている可能性がある
- 一方で、部品のリユース、製品の再使用を実現するためには、部品の寿命や品質が製品の2ライフ、3ライフもつものでなければならない
 - また、製品安全のために、適切に製品が壊れて使用できなくなると、大変良い
- このため重要な設計項目になるが、その方法論は充分に明かではない

易分解・解体性設計

- 使用済み製品の分解、素材の分離を容易、低コスト化すること
- 研究レベル、実践レベルで最も進んでおり、様々な分解性評価ツールが実用化、商用化されている
- 例えば、分解容易な締結・構造、工具数の少ない締結、作業の視認性の向上、解体方向の統一化、解体手順の合理化、自動分解適性設計、識別性設計（材料表示、危険物表示、仕分け容易性）などが挙げられる
[iPhone](https://www.youtube.com/watch?v=AYshVbcEmUc) [https://www.youtube.com/watch?v=AYshVbcEmUc]
- 組立性と異なる視点から評価することにより、組立性も高まると言われている
- c. f. アクティブディスアセンブリ：外部からの入力（圧力、熱、・・・）などによってバラバラと外れる締結部品
[Active disassembly based on the shape memory effect in polymeric materials \(Demo\)](https://www.youtube.com/watch?v=obVzuviyhVA)
 [https://www.youtube.com/watch?v=obVzuviyhVA]

解体性向上：洗濯機



【解体時の安全性】

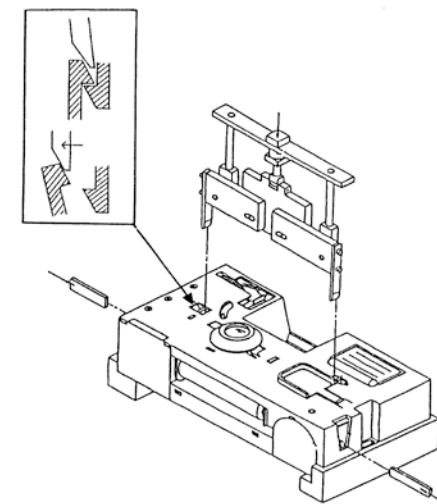
内容説明

全自動洗濯機のバランスリングには、バスケットのバランス液として液体を封入しているが、従来はバランスリング全体が同じ肉厚のため、液体の除去作業性が良くなかった。今回、バランスリングに3箇所の液体排出用の凹部を設定し、液体排出作業性の改善を図った。

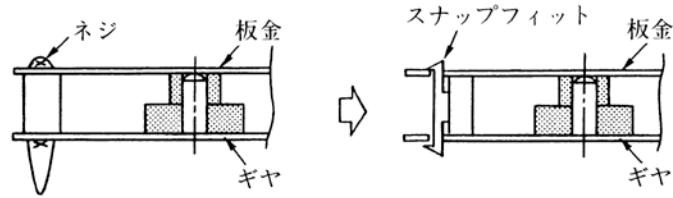
効果

- 1・解体時における液体の除去作業時間の短縮が図れた。
- 2・凹部を設定したため、排出口がわかりやすく、排出作業の安全性も向上した。
- 3・液体除去作業がドライバーで簡単にできる。

自動分解適性設計：レンズ付きフィルム



締結方法の変更：複写機



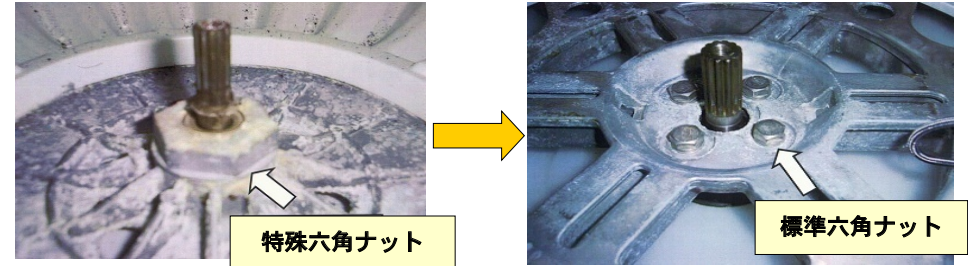
従来設計

ギヤ両サイドの板金の固定に、ネジを使っていたため、ギヤの清掃/交換を行う場合は、ネジを外すのに時間がかかっていた。

リサイクル設計

ギヤ両サイドの板金の固定に、スナップフィットを採用したため、ギヤの清掃/交換の作業が容易になった。

取り付けの改良 洗濯機のパルセータユニットに関するケース

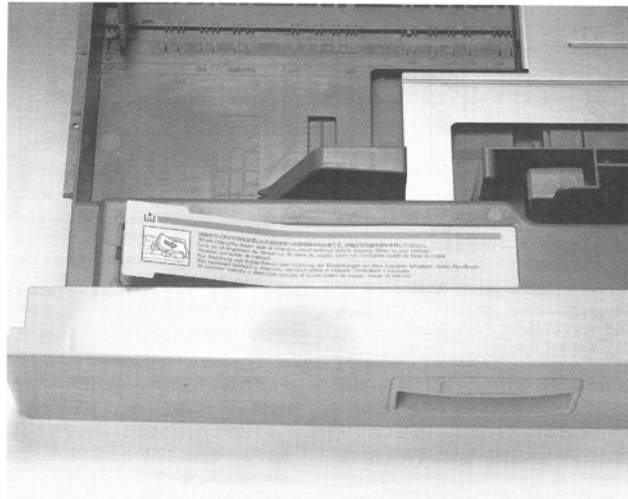


分解のために
特殊サイズの工具を
準備する必要があった

一般の工具で分解ができる

©Mitsubishi Electric Corporation All Rights Reserved

異物質の分離設計：複写機のラベル



(フアンタッチではく離することができる)
紙製のはめ込みデカル

易分解性設計：洗濯機

全自動洗濯機	改良前	改良後
構造		
部品数	7 (100%)	5 (71%)
分解推定時間	1.64分 (100%)	0.67分 (41%)
部品平均評点	47	82

主な改良点：
・ねじ削減 (6→2本)
・フロントオープン化

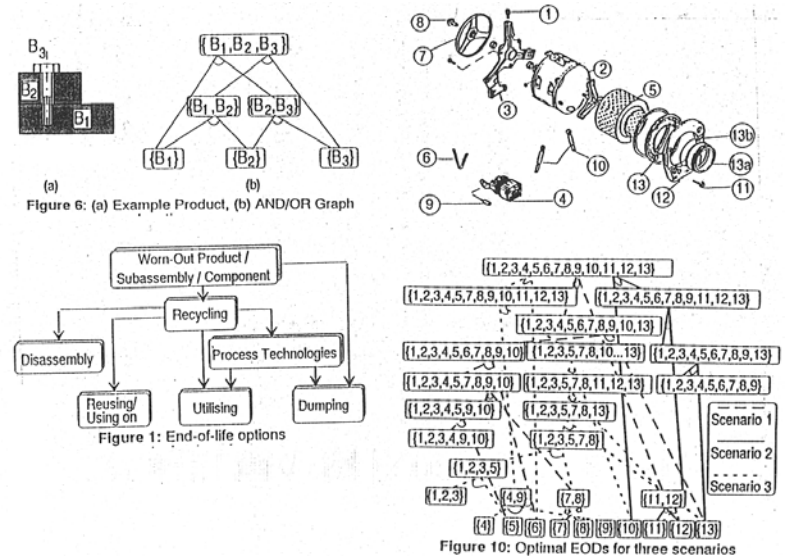
易解体性設計例



破断し易いように、ハーネス受けにスリットを追加

©Mitsubishi Electric Corporation All Rights Reserved

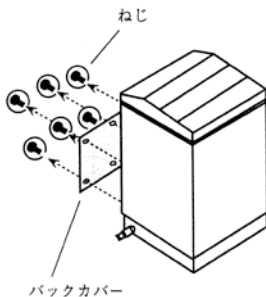
分解性評価の基本的な考え方



分解性評価ツールの例：日立DEM/REM

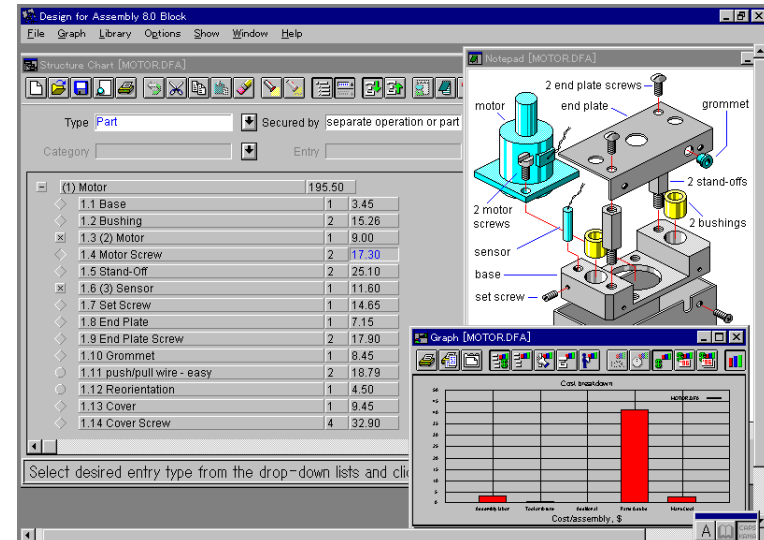
<http://ecoassist.omika.hitachi.co.jp/>

- DEM： 分解性評価
- REM： 分解性評価
+リサイクル性評価

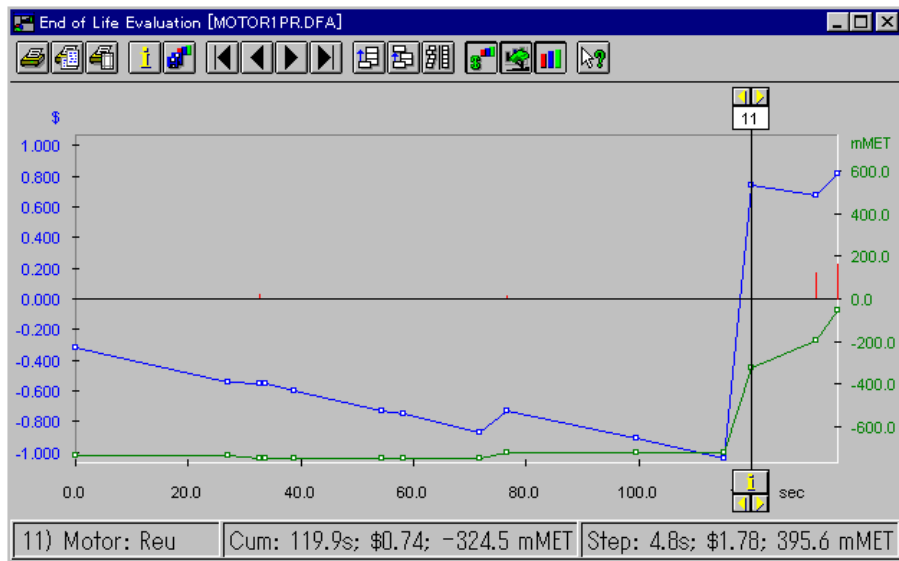


入力情報							出力情報	
製品名： 洗濯機バックカバー			製品最大寸法： 1,000 mm				分解 時間	分解性 評点
分解 順	部品 名称	部品 数	動作 順	基本 要素	補正 要素	備 考 (分解作業)	1.64 分	48
1	ねじ	6	1	(C)	P	作業者が製品 後部に移動	1.34 分	43
			2	F)	—	バックカバー を支える		
			3	(D)	z:8	ねじを8回 まわす		
			4	→	—	ねじを横方向 に抜く		
2	バック カバー	1	1	→	—	低位置で部品を 横移動させ外す	0.30 分	72

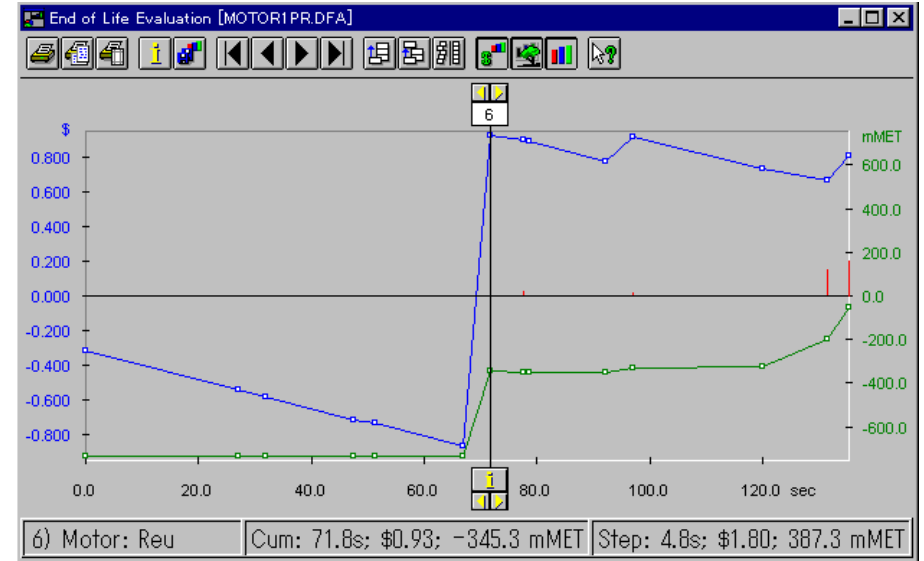
分解性評価ツール：Boothroyd DFMA (1)



分解性評価ツール : Boothroyd DFMA (2)



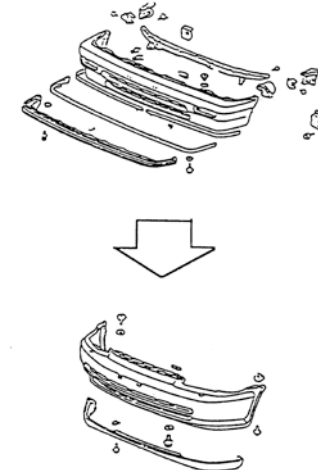
分解性評価ツール : Boothroyd DFMA (3)



リデュース (構造の単純化、部品削減、軽量化)

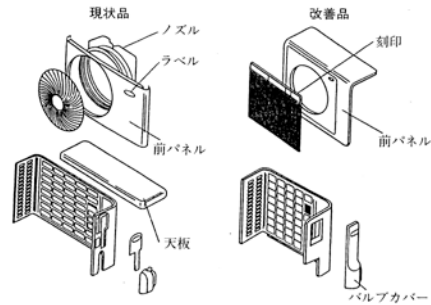
- 製品や部品の構造を単純化し、部品点数を削減すること
- 軽量化を行なうこと
- 従来からコスト削減のための重要な設計項目であるが、ライフサイクル全体での省資源、省エネルギーを考えると、その重要性はますます高まる

部品点数の削減 : 自動車用バンパー



ウィンカーなどの電装品の組み込みがなく、装飾用のモールを取り入れていないPP製のバンパを採用した。この結果、取り付け用のボルト、ナットが約3分の1に削減され分解時間も約3分の1に短縮。

部品点数の削減：エアコン



【部品点数削減】
 内容説明
 ・エアコン室外機の外装部品について下記の項目を改善した。
 (1) 前パネル、ノズル、天板の一体化
 (2) ラベル（貼付部品）をガードに刻印化し部品削除、作業改善の前面固定
 (3) 端子板およびバルブカバーの一体成形
 (4) バルブ部切り欠き変更による着脱性の向上
 効果
 (1) 部品の一体化、固定方法の改善により分解・分離が容易
 (2) 構造変更、材料の種類削減による再資源化促進

	従来品	改善品	効果
部品点数	1111	6	46%削減

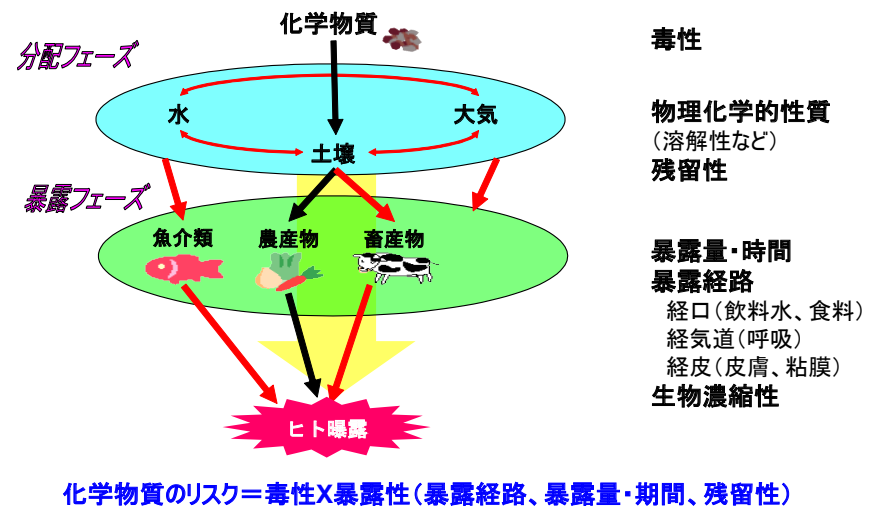
エコマテリアル

- **エコマテリアルの定義**
 以下のいずれかの性能を持つ材料
 - 高性能・高機能
 - 環境改善
 - 有害物フリー
 - リサイクル考慮
 - 資源枯渇回避
 - エコ製造プロセス
- **例) 易リサイクル材料：リサイクルが容易な材料**
 例えば、材料種類の少数化、混合しても再資源化容易な素材組み合わせ、アセンブリ単位での材料統合化、表面処理の省略などが重要
- **例) 植物由来プラスチック**

要素設計技術の分類

選択LCオプション	目的・対象	構造設計			材料選択の基準	
		モジュール化の視点	分解性設計の視点	その他の視点		
リデュース	軽量化／部品点数削減	軽量化／部品点数削減	-	強度 長寿命 高機能	軽量材料 高性能材料	
	有害物質削減	有害性	有害物質の隔離	有害物質の取り出し ラベリング	無害材料	
	メンテナンス	短物理寿命部品 故障しやすい部品	診断性、交換性	故障部品の交換性	標準化 清掃性	寿命がわかりやすい材料
	長寿命化	短物理寿命部品 故障しやすい部品	-	-	長寿命化	長寿命材料
アップグレード	短価値寿命部品	アップグレード部品の交換性	アップグレード部品の交換性	プラットフォーム設計 標準化 共通化 長寿命化 回収性	高性能材料 長寿命材料	
リユース	製品より長い物理寿命、価値寿命を持つ部品 高価な部品	リユース部品の交換性	リユース部品の交換性	標準化 多世代・多機種共通化 長寿命化 検査性 清掃性 修繕性 回収性	長寿命材料 高性能材料	
リサイクル	リサイクル性	材料種別毎のモジュール化	材料種別毎の分解、分離	ラベリング 回収性	易リサイクル材料 材料種類の削減 リサイクル可能な材料の組合せ	

化学物質の有害性



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 (2006年7月1日まで)

(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

鉛の影響

全世界消費量	4,444(1989年)
アメリカ消費量	1,586(1989年)
アジア消費量	919(1989年)
日本国内消費量	370(1993年)
	× 1000 ton

鉛の用途

バッテリー	防食塗料
ガラス	銃弾
鉛管	電子部品

はんだ用途の鉛は、全鉛消費量の1%以下
しかし、RoHSにより鉛フリーはんだに
なつた

鉛の影響

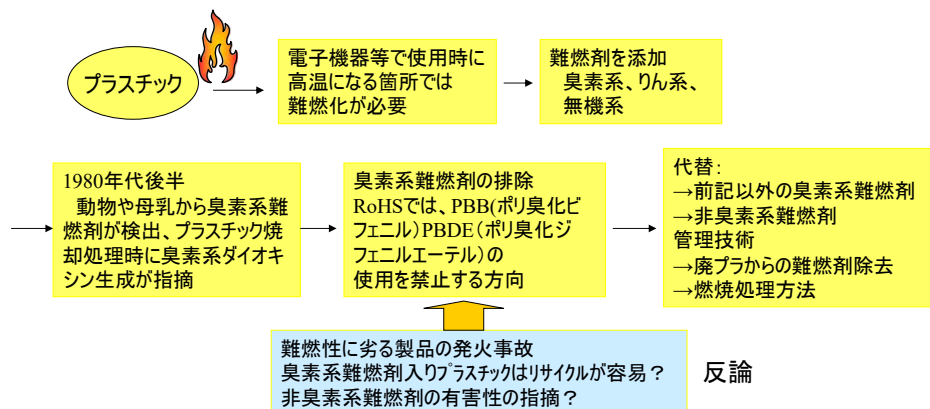
人は、食物・飲み物から多少暴露を受けるが、大部分は、高温状態の鉛ガス、古くなったペンキからの微粒子

子供の知能の発達に影響。OECDでは、子供の血中鉛濃度が、10µg/dl以下になるように、さらなる方策をとるよう喚起 (1997年)。

米国EPAの発表:

5歳以下の血中の鉛濃度平均値は、
1976年-1980年; 15 µg/dl
1999年-2000年; 2.2 µg/dl (上記に比べて85%減)

プラスチック難燃剤



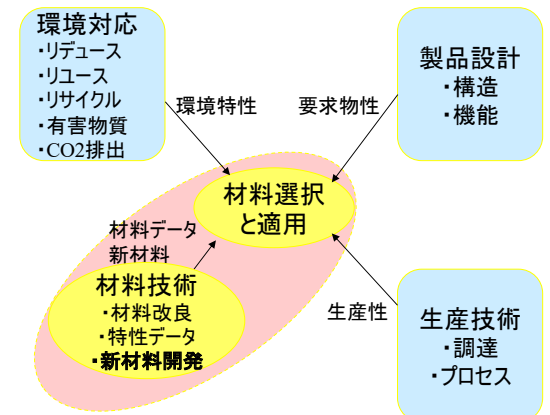
材料選択は、リスク削減、火災防止、リサイクルの側面から総合的に!

本セクションのまとめ

- ・ “材料の選択” が中心
組立てが主体で、材料は外部から購入
- ・ “材料開発や改良” が中心
材料開発部門との連携がある場合

材料選択の考え方

環境ニーズ、製品設計・生産技術からの要求、材料の技術進展を考慮して製品として “最も適切な材料を “選択” し、“適用方法” 決定する。



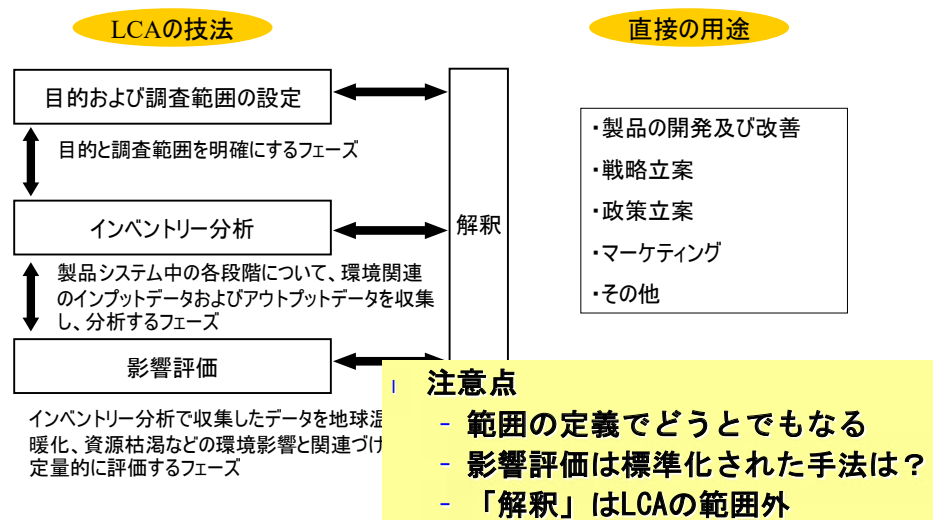
「ライフサイクル工学」 目次

- 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

ライフサイクルアセスメント

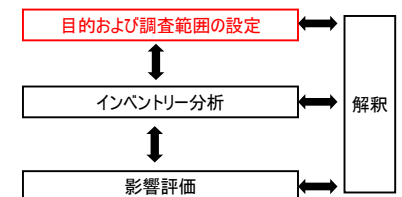
- ある製品やプロセス、活動を対象として、そのライフサイクル全般を対象に、様々な環境負荷を客観的に評価するための手法
- 手法的には非常に簡単であるが（Excelでもできる）、データの収集、評価が難しく、大変手間がかかる
- しかし、ISO14040シリーズとして規格化されており（その手順が）、**エコラベルTYPE III**へ導入
- 様々な市販の評価ツールや標準的なデータベースが出始めており、いずれにせよ、今後「環境調和型製品」を作るためには必要不可欠な評価手法になりつつある

LCAのフレーム (ISO14040)

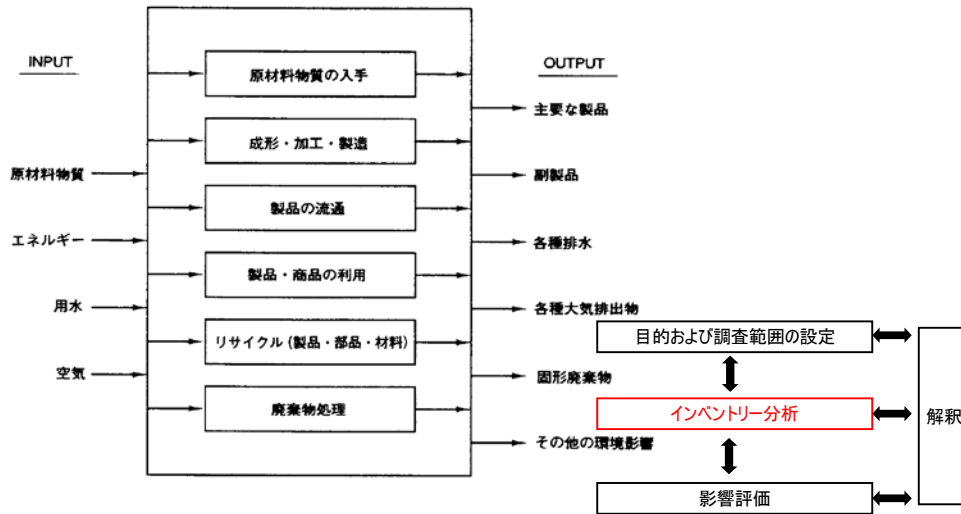


目的および調査範囲の設定

- Ⅰ 目的
 - 適用対象
 - 分析が必要な理由
 - 対象とするグループ（消費者、製造者、政府など）
- Ⅱ 調査範囲の設定
 - 対象となる製品システム
 - 機能単位
 - 製品システム境界
 - 配分の手順
 - 影響評価手法及び解釈の方法
 - データ品質
 - 前提条件
 - クリティカルレビューの種類
 - 報告書の種類と書式

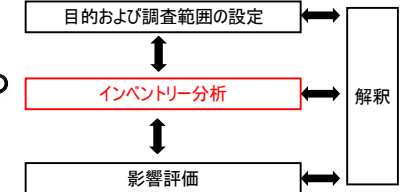


インベントリー分析



インベントリー分析の方法

- プロセスフロー図の作成
 - 分析する製品システムのライフサイクルに関係するすべての工程をフロー図で示したもの
 - 分析を進めるにつれて詳細度を高めたフロー図を作成する
- データ収集
 - プロセスフローで示した工程についてインプットとアウトプットのデータを集め環境データシートを作成
 - 製品システムに直接関係するもの（製品、副産物、部品、中間原料、電力、用水、輸送）と工程内で消費されるもの（資源消費と、大気・水圏・土壌圏に対する排出、固定廃棄物の排出）にわけて整理
 - 収集したデータ精度と信頼性について付加情報として記録
- 製品システム境界の定義
 - 調査研究対象の製品ライフサイクルのすべてを中に含む境界
- データ処理

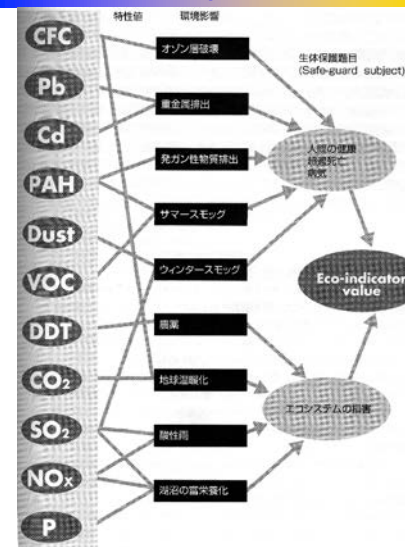


インベントリー分析の例

事項	紙コップ	発泡樹脂コップ
1コップ当たり		
原材料物質		
木材・樹皮(g)	33	0
石膏(g)	4.1	3.2
最終容器重量(g)	10	11.5
コスト	2.5 x	x
材料消費 Mg 当たり		
用役類		
スチーム(kg)	9000-12000	5000
電力(GJ)	3.5	0.4-0.6
冷却水(m³)	50	154
排水類		
排水総量(m³)	50-190	0.5-2
浮遊物質(SS)(kg)	35-60	Trace
BOD(kg)	30-50	0.07
有機塩素類(kg)	5-7	0
金属塩類(kg)	1-20	20
排ガス類		
塩素(kg)	0.5	0
硫化合物(kg)	2.0	0
粒子状物質(kg)	5-15	0.1
ペンタン(kg)	0	35-50
リサイクルの可能性		
使用者自身	可能	容易
使用後	低い	高い
最終処分		
熱回収(MJ/kg)	30	40
焼立量(g)	10.1	1.5
生分解性	あり	なし

- ゼロから始めたら大変（ツールの利用）
 - 産業連関表の利用
 - 積み上げ法
- (CO2で比較すると積み上げ法の方が大きくなると言われている)

影響評価（インパクト分析）

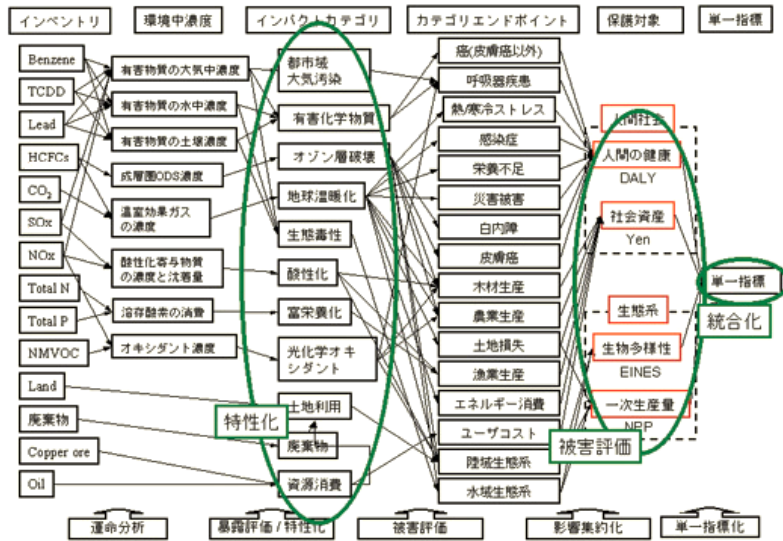


- 一つの指標 V. S. 複数指標
 - EPS(スウェーデン)
 - EcoIndicator(オランダ)
 - EcoPoint(スイス)
 - LIME(日本)
- 単純に行うなら、LCCO2

EcoIndicator95の例
 (出典: 山本良一, エコデザインベストプラクティス100, ダイヤモンド社, 1999)

LIME (被害算定型環境影響評価手法)

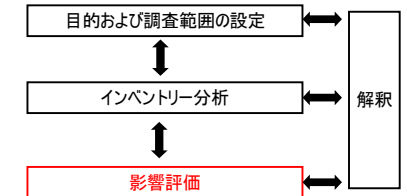
<http://unit.aist.go.jp/lca-center/ci/activity/project/lime/index.html>



影響評価の方法(1) - 特性化

● 特性化

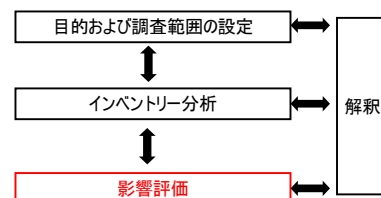
- インベントリー表の結果を集約して環境プロフィールを作成
- 分析の対象となる環境カテゴリを選び、二酸化炭素、窒素酸化物、硫黄酸化物などの環境影響指標をそれぞれが影響を及ぼす影響カテゴリに割り当て
- 環境カテゴリは、地球温暖化、オゾン層破壊、鉱物資源枯渇、人間毒性、酸性化など
- それぞれの環境カテゴリの中で、影響を及ぼすインベントリー表の中の因子の間に等価係数を定義し、代表的な因子の値に換算し、合計値を求めて指標とする



影響評価の方法(2) - 正規化

● 正規化

- 得られた環境プロフィールの各環境指標を統合して単一の指標とする
- Distance-to-Targetアプローチ
 - 》それぞれの環境指標に関して目標と現在との距離によって重みをつける方法
 - 》残存利用可能資源量で各環境指標を除する方法



EcoIndicator係数の例

項目	EcoIndicator 値 (ミリポイント)
アルミニウム製造 (kg 当たり)	18
ステンレススチール製造 (kg 当たり)	17
スチール製造 (kg 当たり)	4.1
リサイクルアルミ製造 (kg 当たり)	1.8
ガラスリサイクル (kg 当たり)	-1
塩化ビニルリサイクル (kg 当たり)	-1.6
スチールリサイクル (kg 当たり)	-2.9
列車輸送 (貨物 1t 距離 1km)	0.043
コンテナ船輸送 (貨物 1t 距離 1km)	0.056
航空機輸送 (貨物 1t 距離 1km)	10
トラック輸送 (貨物 1t 距離 1km)	0.34

各評価指標の比較

	日本での試算	エコインジケータ 95 (オランダ)	EPS (スウェーデン)	EPS1996	エコポイント (スイス)	MIPS (ドイツ)
粗鋼	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
リサイクルアルミ	0.20	0.15	0.14	0.22	0.53	1.22
バージンアルミ	2.93	3.12	1.33	1.51	17.81	28.05
銅	4.48	5.52	2.39	2.28	35.71	14.30
ガラス	0.19	0.12	0.15	0.23	0.19	0.29
ポリプロピレン	4.76	3.90	2.42	3.41	6.57	
ポリエチレン	4.51	3.61	2.45	3.48	5.00	

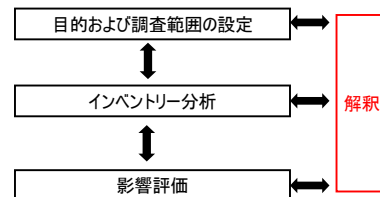
複写機のLCCO2の例

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	
◆再生部品	0	0	-2.002	-10.012	本体フレーム
◆1次回収	6.405	6.405	6.405	6.405	ユーザー→販売会社→回収拠点
◆2次回収	0	0	0.075	0.377	回収拠点→メーカー
◆輸送1	0	0	0.065	0.325	メーカー→処理業者
◆輸送2	0.377	0.377	0.301	0	回収拠点→処理業者
◆リサイクル	0	0	0.277	1.383	分解→清掃→分別・検査
◆分別1	0	0	0.372	1.862	分解・破砕・分別
◆分別2	2.156	2.156	1.725	0	分解・破砕・分別
◆廃棄物処理1	0	0	0.197	0.983	不要部と不良品
◆廃棄物処理2	3.389	0.983	0.786	0	不要部
◆合計	12.327	9.921	8.201	1.323	

ケース1:金属再生も、部品再生もしないケース
 ケース2:金属再生を行い、部品再生をしないケース
 ケース3:金属再生を行い、部品再生を20%(台数比)行うケース
 ケース4:金属再生を行い、部品再生を100%(台数比)行うケース

ライフサイクル解釈

- ライフサイクルインベントリー分析、ライフサイクル影響分析で得られた結果を、目的と範囲に照らし合わせて結論を導く
- 検討事項
 - データの不確実さ
 - 計算過程の不確実さ
- 感度解析
 - データの不確実性によって最終的な結論がどの程度影響を受けるのかを分析
- 不確実性分析
 - 配分のためのパラメータの選択
 - ライフサイクルシナリオ選択



電気自動車のライフサイクルアセスメント (LCA) の例

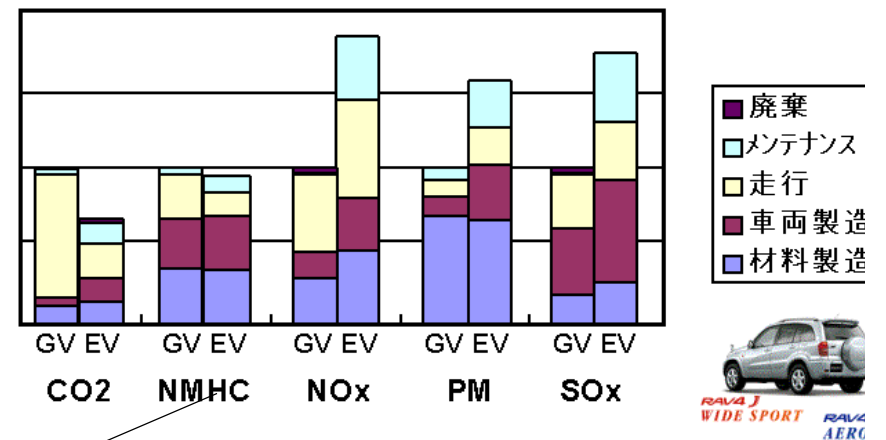


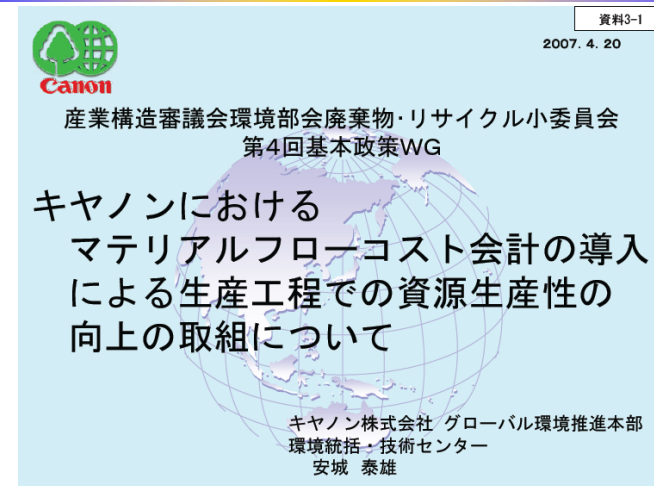
図 電気自動車とガソリン自動車のライフサイクルインベントリー結果
 非メタン炭化水素 (光化学スモッグの原因物質の一つ) [http://lca.t.u-tokyo.ac.jp/yougo.htm]

LCAツールの例：JEMAI-LCA

<http://www.jemai.or.jp/>

- 産総研・産業環境管理協会が開発したツール。国内の標準データベースの一つと言われている

マテリアルフローコスト会計（MFCA）



http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/admin_info/committee/j/04/j04_3-1.pdf

「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
- **まとめ**

まとめ

- 一段階視野を広げた俯瞰的な視野と、それによる新たな可能性の追求
- 製品ライフサイクルの見える化、設計、評価、マネジメント
- ライフサイクル設計のための要素設計技術はいろいろある
- 今後のライフサイクル設計支援の方向性
 - 設計の上流段階でライフサイクル戦略、ビジネス戦略、サービス化を検討する支援環境
 - ライフサイクルの見える化、設計のためのCADとの接続
 - DfE、環境配慮設計：
 - 》ライフサイクルを認識し、必要な要求事項の抽出
 - 》各要求事項に対する設計解の導出
 - 》多様な要求に対する設計解をまとめ上げ、製品設計に埋め込むワークスペース環境

今後の課題

- 企業内での役割分担（と力の結集）の重要性
 - サステナブル経営
 - 》課題：ビジネス戦略の策定方法
 - ライフサイクル設計、循環プロバイダー、生産システム
 - 》課題：ライフサイクル管理の方法
 - 要素技術開発

- 企業経営層のリーダーシップとビジネス化
- マーケットと消費者
- 社会インフラの問題
- グローバル化と国際標準の問題
 - 対EU
 - 対アジア圏

例えば、CEマネジメントに関するISO TCができた