

ボーダレスサプライチェーンでの 逆流通システムの研究

(Research on Inverse Distribution in Borderless
Supply Chain)

平成18年12月25日

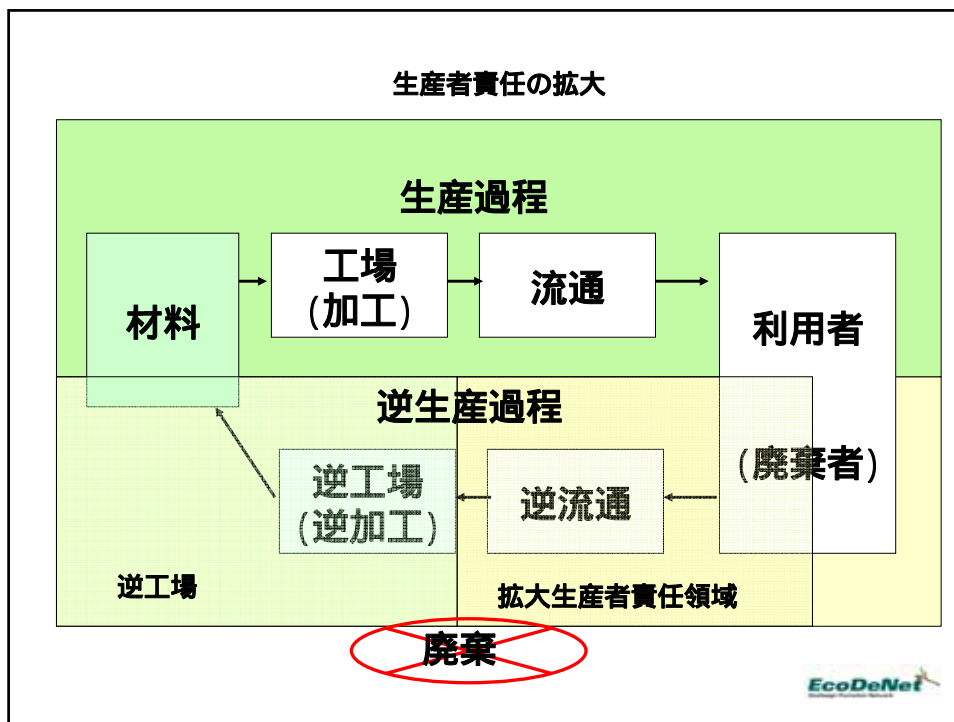
NPO エコデザイン推進機構
林 秀臣



研究の背景

- 電機電子機器産業において、使用済み機器を適切に処理する事は環境保上また資源確保上の重要な課題である。
- 逆工場概念は、この問題に対する理想的モデルであり、1998年6月5日制定、2001年1月6日施行の特定家庭用機器再商品化法(通称家電リサイクル法)にも盛り込まれている。
- しかしこの仕組みをグローバルに展開するに際し、重要な課題は、それぞれの国状に適合する仕組みとする事である。
- 我々としては、EUの状況をIZMの協力を得て研究すると共に、アジアの重要地区である中国に受け入れられる仕組みを研究した。
- その結果、中国地域では、日本の仕組み直ちに組み入れられる条件にはなく、経済開発と両立させる仕組みを導入する事が特に重要な課題である事が明らかとなった。
- 現在、経済開発と両立するビジネスモデルの構築に向けた詰め調査を行っている。最終的には、実証システムを試行できる地域を特定することを目標とする。
- また、社会の仕組みはある時代で実用化される工業技術に適合させる必要がある。本研究では、古い電子機器を再生する手段として必要な分離技術の研究、有害な物質の使用量を節減するうえで重要なマイクロ接合技術の研究動向を調査した。
- これらの研究は将来の電子機器の設計の指針を提供することになる





- 課題**
- ビジネスモデルの提案
 - 逆流通過程に付加価値を発見する
 - 世界にある矛盾の解消
 - 日本の製造業の発展に役立つ
 - 技術的課題の見通しを得る
 - 設計ツールとしてのCADシステム開発
 - 使用済み電子機器のアップグレードに必要な技術的課題
- EcoDeNet

実現可能なビジネスモデルは付加価値を重視した
循環型の議論から

- (1)世界の電機電子機器環境規制の動向
- (2)リサイクルプラントの経済的パフォーマンス
- (3)経済格差と循環型システムの問題
- (4)中国における循環経済推進の実態
- (5)産業および経済力と工業教育問題
- (6)工業教育における資源調達
- (7)アップグレードによる付加価値の確保
- ((9)総合的システム形成



(1)世界の電機電子機器環境規制の動向

- 日本と欧州の動向
- バーゼル条約の動向

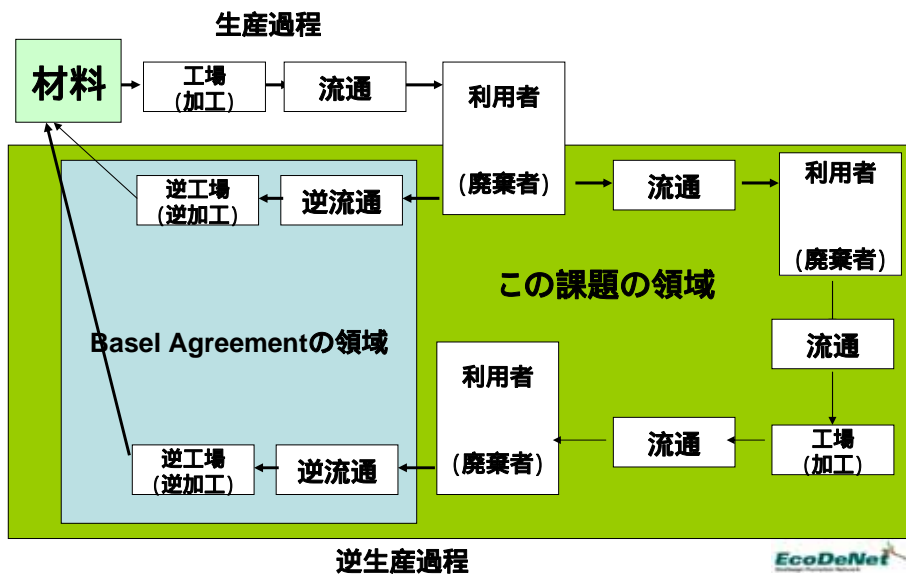


バーゼル条約

- 廃棄物に対する規制

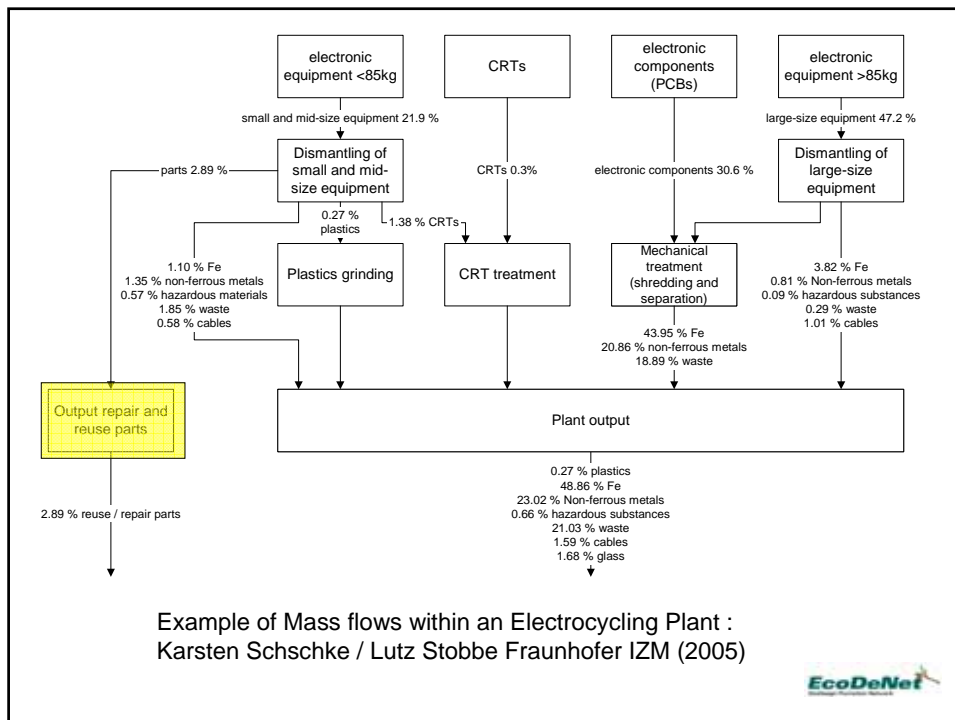


循環生産システム・逆流通・逆工場



リサイクルによる付加価値回収能力の推定

- EU
- 日本:家電リサイクルプラント



再商品化処理台数(単位:千台)

	2001	2002	2003	2004	2005	Total
エアコン	1301	1624	1579	1809	1990	8303
TV	2981	3515	3549	3777	3852	17674
冷蔵庫	2143	2556	2653	2807	2807	12966
洗濯機	1882	2409	2656	2791	2950	12688
合計	8307	10104	10437	11184	11599	51631

(財)家電製品協会 平成18年(2006年)7月年次報告書

4品目合計の素材別再商品化量(単位:トン)

	2001	2002	2003	2004	2005	Total
鉄	110555	127171	135769	143321	145034	661850
銅	5423	7901	8791	10028	11883	44026
アルミ	965	1845	1875	2298	3324	10307
非鉄・鉄等混合物	41406	56035	55671	61790	69334	284236
ブラウン管ガラス	45153	55075	55975	60818	53727	270748
その他有価物	7462	14785	25400	32799	50761	131207
合計	210964	262812	283481	311054	334063	1402374

(財)家電製品協会 平成18年(2006年)7月年次報告書



品目別取引台数の推移(単位:千台)

	2001	2002	2003	2004	2005	Total
エアコン	1334	1635	1585	1814	1990	8358
TV	3083	3517	3551	3787	3857	17795
冷蔵庫	2191	2563	2665	2802	2820	13041
洗濯機	1929	2425	2662	2813	2953	12782
未分類	11	10	0	0	0	21
合計	8548	10150	10463	11216	11620	51997

材料回収率(%)

	2001	2002	2003	2004	2005	法定回収率
エアコン	78	78	81	82	84	60
TV	73	75	78	81	77	55
冷蔵庫	59	61	63	64	66	50
洗濯機	56	60	65	68	75	50

(財)家電製品協会 平成18年(2006年)7月年次報告書



再商品化等処理重量(単位:千トン)

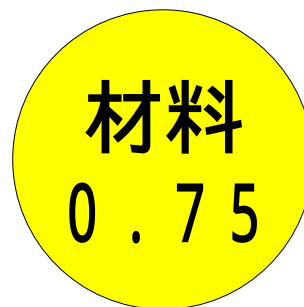
	2001	2002	2003	2004	2005	Total
エアコン	58	72	70	79	86	365
TV	80	95	96	103	108	482
冷蔵庫	128	149	154	161	162	754
洗濯機	54	71	80	86	93	384
合計	320	387	400	429	449	1985

(財)家電製品協会 平成18年(2006年)7月年次報告書

再商品化重量(単位:千トン)

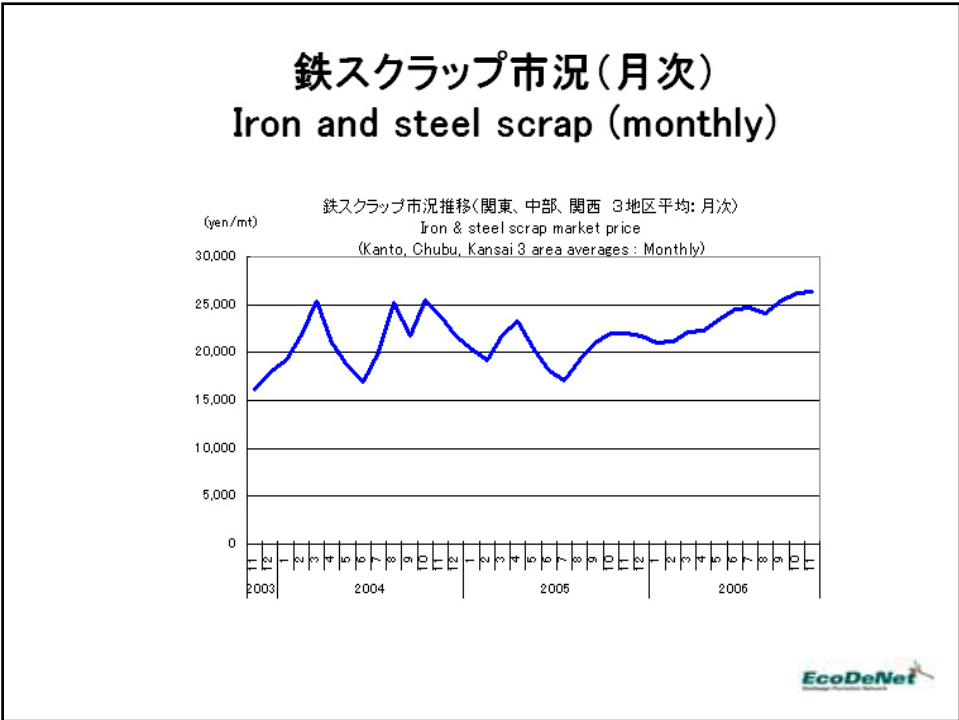
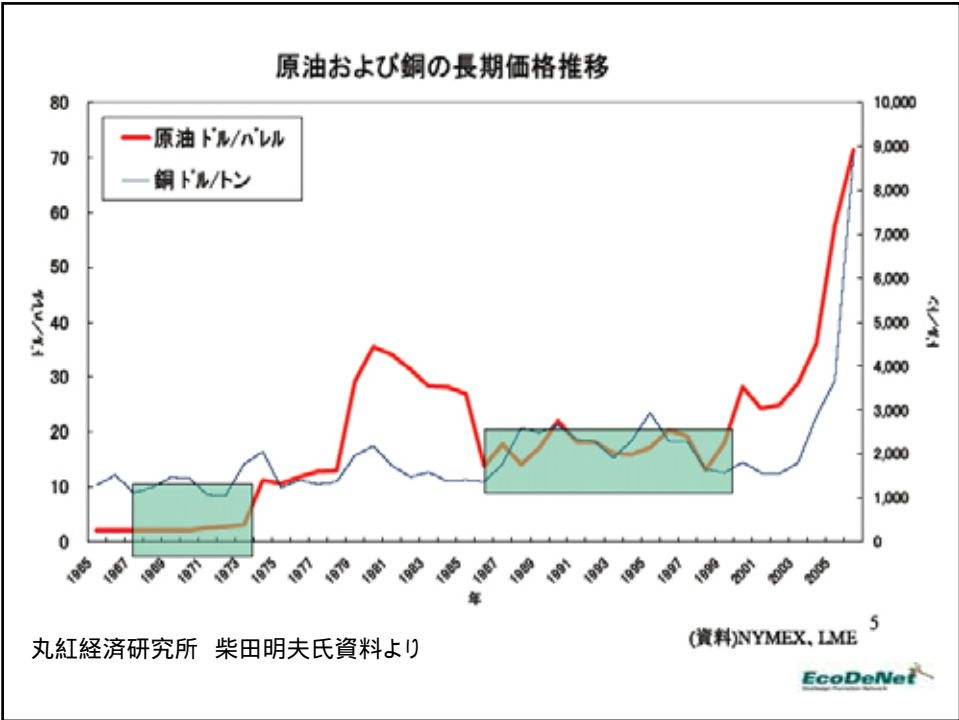
	2001	2002	2003	2004	2005	Total
エアコン	45	57	57	65	73	297
TV	59	72	76	84	84	375
冷蔵庫	76	91	97	104	108	476
洗濯機	31	43	52	59	70	255
合計	211	263	282	312	335	1403

(財)家電製品協会 平成18年(2006年)7月年次報告書



日本のリサイクルプラントによる材料回収





回収材料の価格(推定)

	比率	円 / Kg	円 / Kg
鉄	47%	20	9.4
銅	3%	200	6.3
アルミ	1%	130	1.0
非鉄・鉄等混合物	20%	5	1.0
ブラウン管ガラス	19%	10	1.9
その他有価物	9%	10	0.9
	100%		20.6

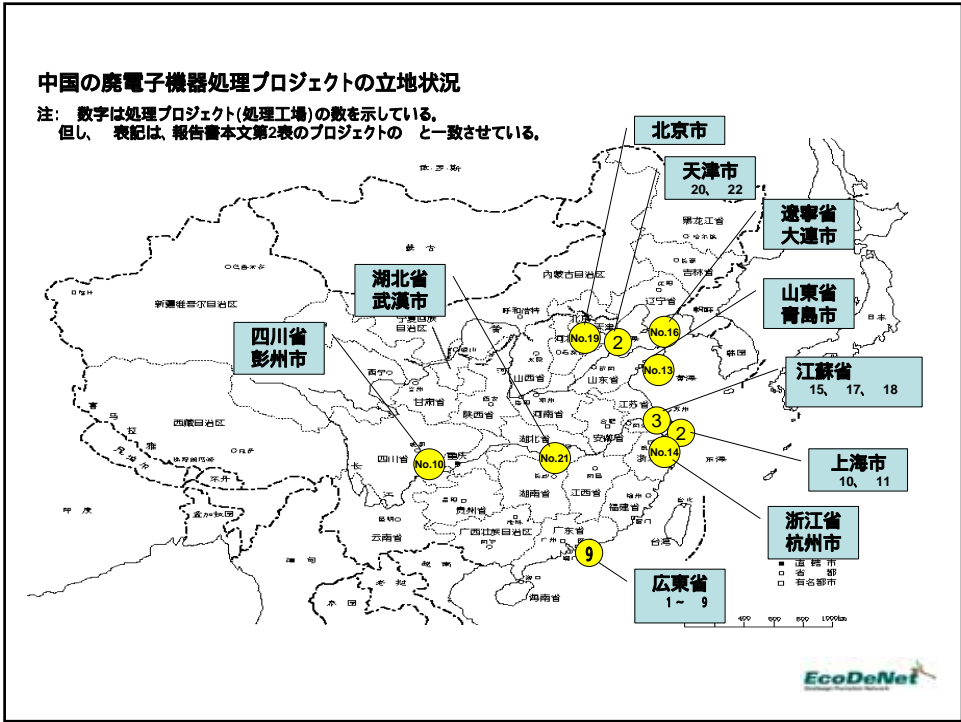
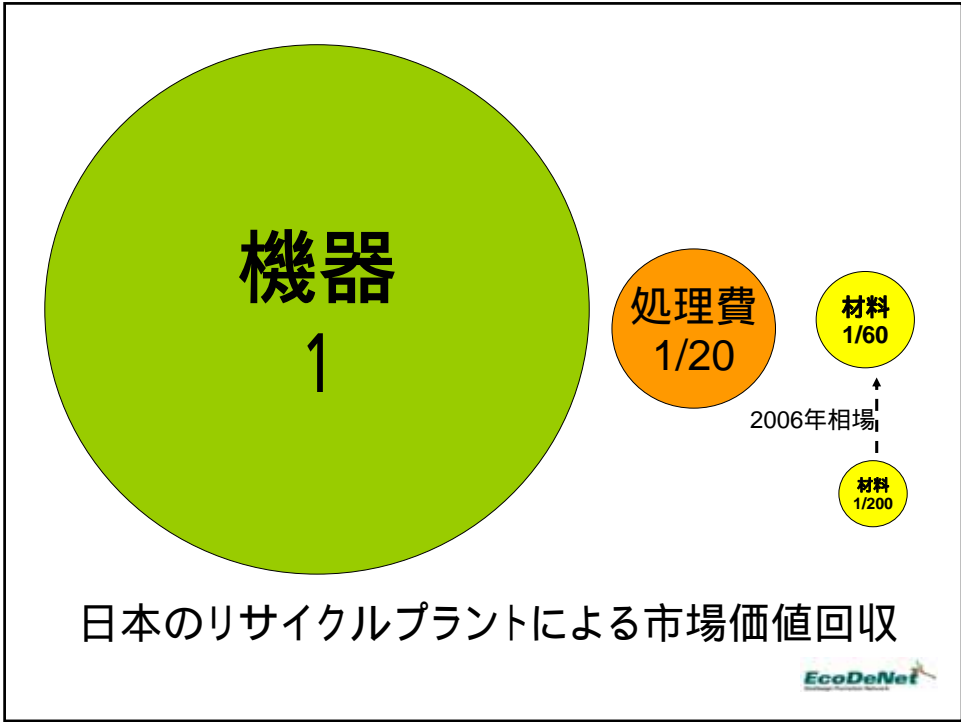
	比率	円 / Kg	円 / Kg
鉄	47%	30	14.2
銅	3%	800	25.1
アルミ	1%	130	1.0
非鉄・鉄等混合物	20%	5	1.0
ブラウン管ガラス	19%	10	1.9
その他有価物	9%	10	0.9
	100%		44.1



回収材料市場価格:処理費

	A:回収材料		B:処理費	A/B
	Kg/台	円 / 台	円 / 台	比率
エアコン	36	1421	3710	38%
TV	21	843	2835	30%
冷蔵庫	37	1460	4830	30%
洗濯機	20	798	2520	32%





天津国家废家電処理プラント全景



処理待ち



分解工程



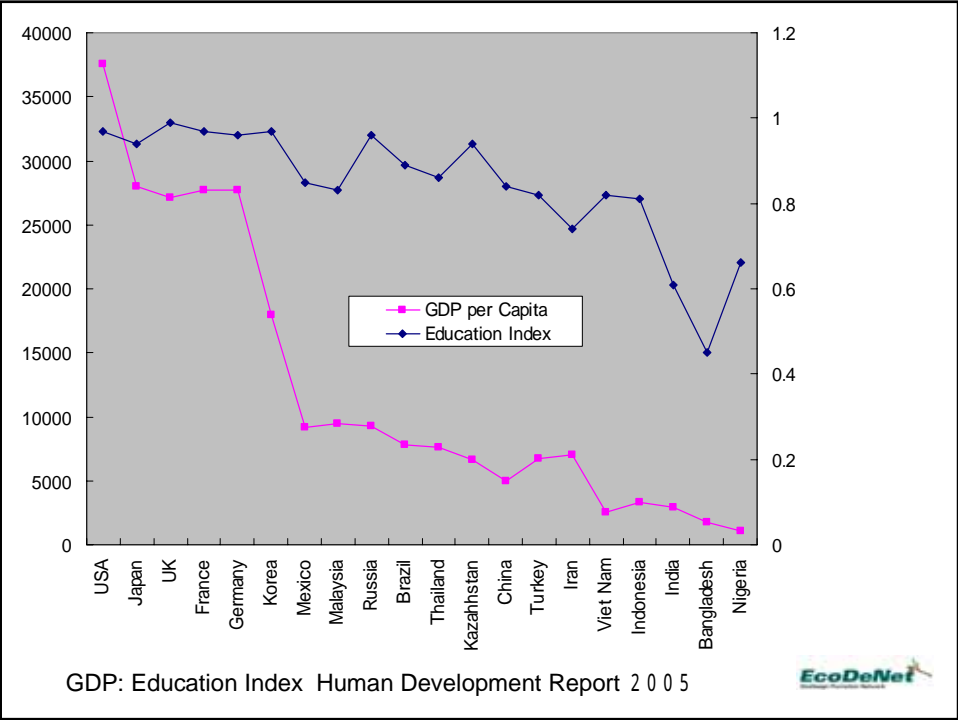
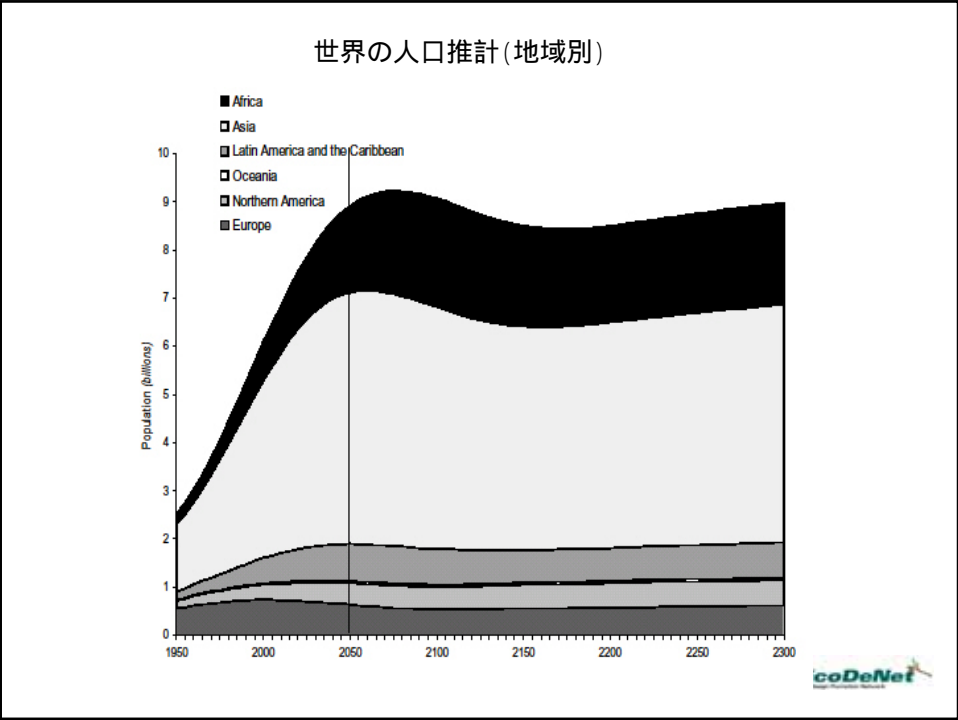
EcoDeNet

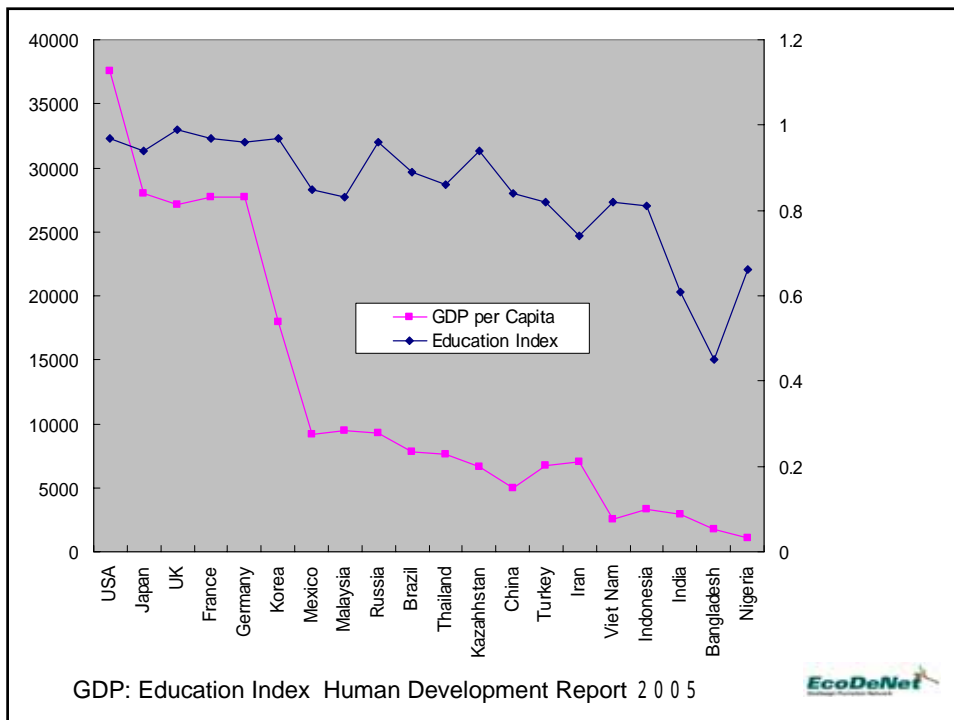
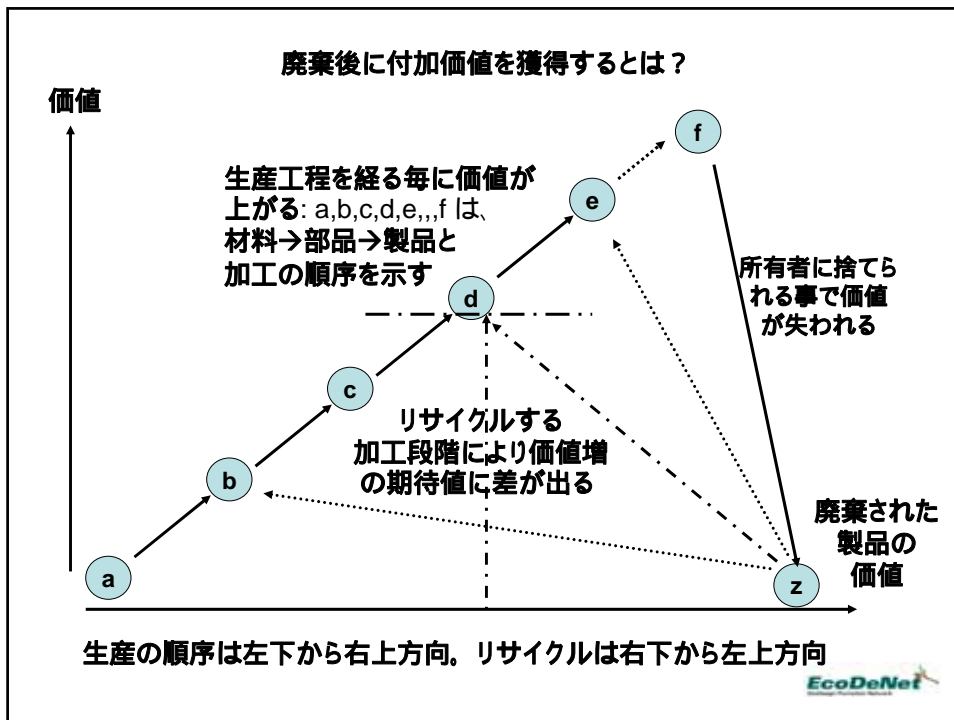


EcoDeNet









北京での家電品の保有、修理、廃棄の状況

1.3 これから購入予定の家電品

	TV		冷蔵庫		洗濯機		パソコン	
	家庭数	百分比	家庭数	百分比	家庭数	百分比	家庭数	百分比
購入予定	50	10.0%	28	5.6%	29	5.8%	42	8.4%
合計	500	100%	500	100%	500	100%	500	100%

1.4 安ければ中古品でも購入したい

	TV		冷蔵庫		洗濯機		パソコン	
	家庭数	百分比	家庭数	百分比	家庭数	百分比	家庭数	百分比
購入する	5	1.0%	6	1.2%	8	1.6%	17	3.4%
合計	500	100%	500	100%	500	100%	500	100%

1.5 安くても中古品は買わない

	TV		冷蔵庫		洗濯機		パソコン	
	家庭数	百分比	家庭数	百分比	家庭数	百分比	家庭数	百分比
買わない	495	99.0%	494	98.8%	492	98.4%	483	96.6%
合計	500	100%	500	100%	500	100%	500	100%



2.1 取得方法

取得方法	TV		冷蔵庫		洗濯機		パソコン	
	家庭数	百分比	家庭数	百分比	家庭数	百分比	家庭数	百分比
新品の購入	495	97.6%	483	97.6%	472	97.7%	382	97.7%
中古品販売店から	3	0.6%	3	0.6%	2	0.4%	0	0.0%
中古品を個人から	3	0.6%	2	0.4%	1	0.2%	1	0.3%
個人から無償で	6	1.2%	7	1.4%	8	1.7%	8	2.0%
総計	507	100%	495	100%	483	100%	391	100%

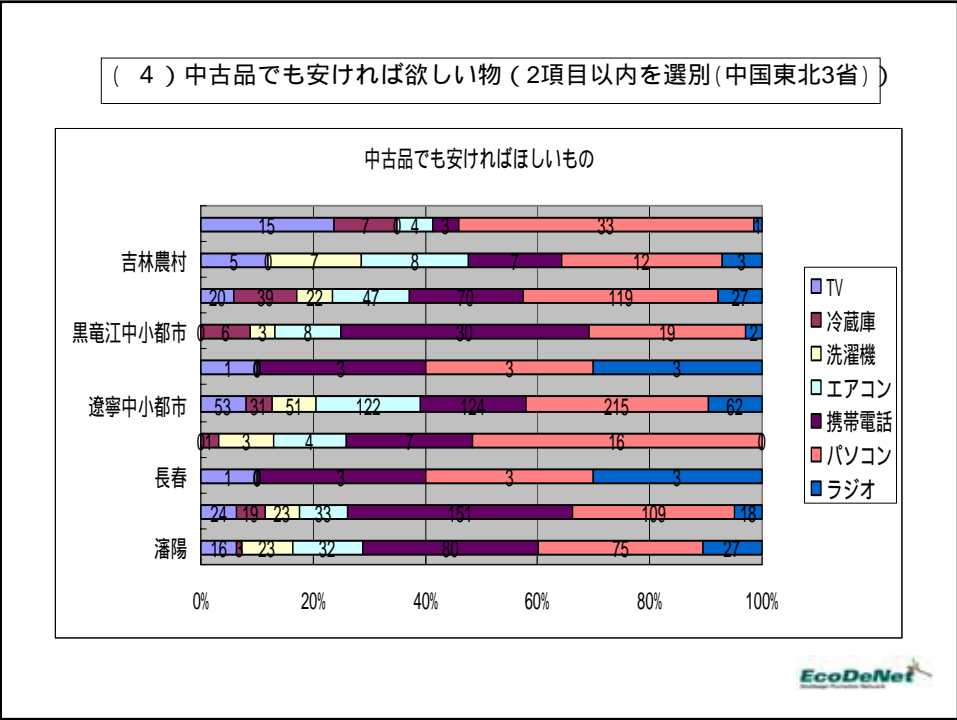
2.1.1 中古品の取得価格 (新品に対比%)

	TV		冷蔵庫		洗濯機		パソコン	
	台数	百分比	台数	百分比	台数	百分比	台数	百分比
新品に対する価格	1	30%	1	30%	2	50%	1	10%
	3	50%	1	25%	1	70%		
	2	70%	1	40%				
合計	6		5	100%	3	100%	1	100%

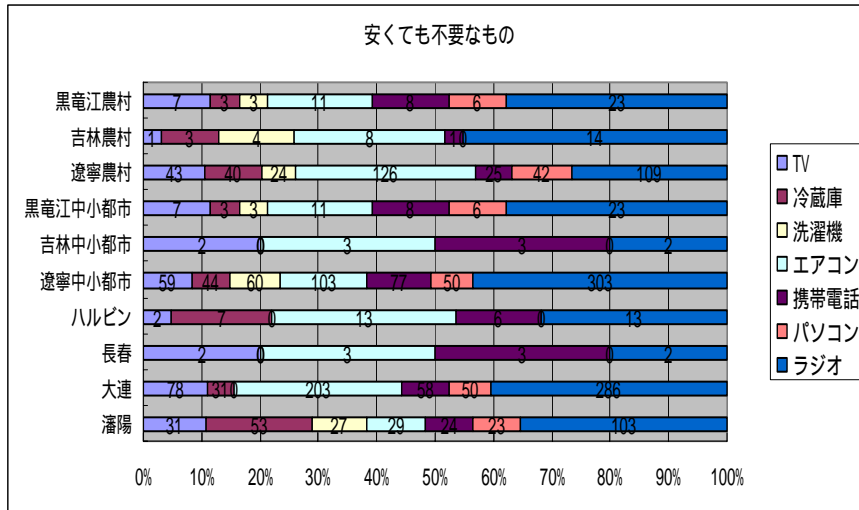


2.6.1 修理情况								
修理情况	TV		冷蔵庫		洗濯機		パソコン	
	户数	百分比	户数	百分比	户数	百分比	户数	百分比
購入店で修理	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	1	0.3%
修理店に持ち込み	22	4.3%	20	4.0%	19	3.9%	20	5.0%
自己修理	14	2.7%	6	1.2%	13	2.7%	66	16.6%
メーカー修理	101	19.8%	76	15.3%	103	21.4%	55	13.9%
訪問修理	42	8.2%	26	5.2%	35	7.3%	22	5.5%
修理しない	331	64.9%	368	74.2%	312	64.7%	233	58.7%
総計	510	100%	496	100%	482	100%	397	100%

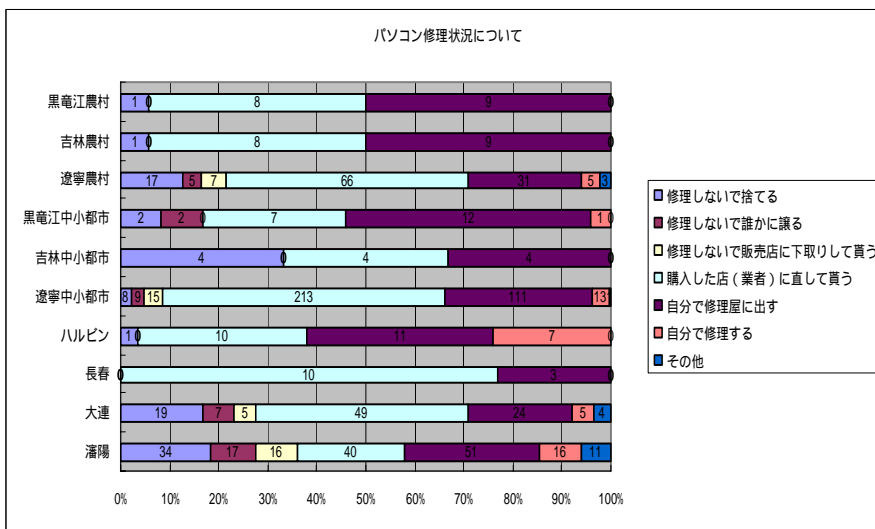
2.6.2 廃棄情况								
修理情况	TV		冷蔵庫		洗濯機		パソコン	
	户数	百分比	户数	百分比	户数	百分比	户数	百分比
修理せず廃棄	3	0.6%	1	0.2%	3	0.6%	2	0.5%
修理せずに他人に譲る	235	46.6%	187	37.7%	203	42.2%	41	10.6%
新品と交換	45	8.9%	40	8.1%	50	10.4%	4	1.0%
そのまま保有	221	43.8%	268	54.0%	225	46.8%	341	87.9%
合計	504	100%	496	100%	481	100%	388	100%

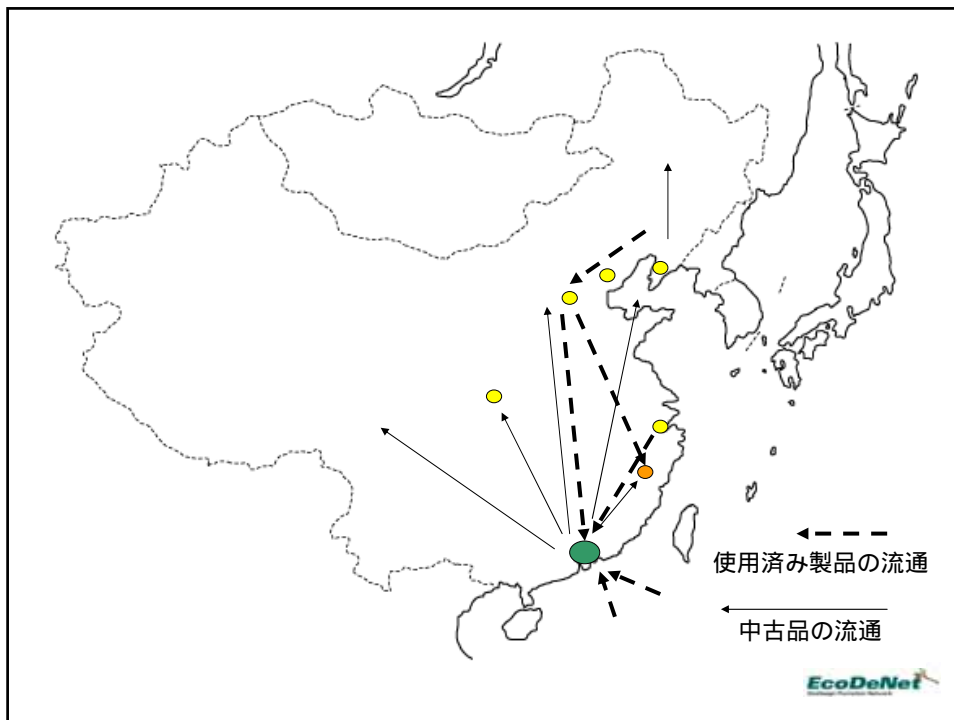


(5) 安くても不要な物(中国東北3省)



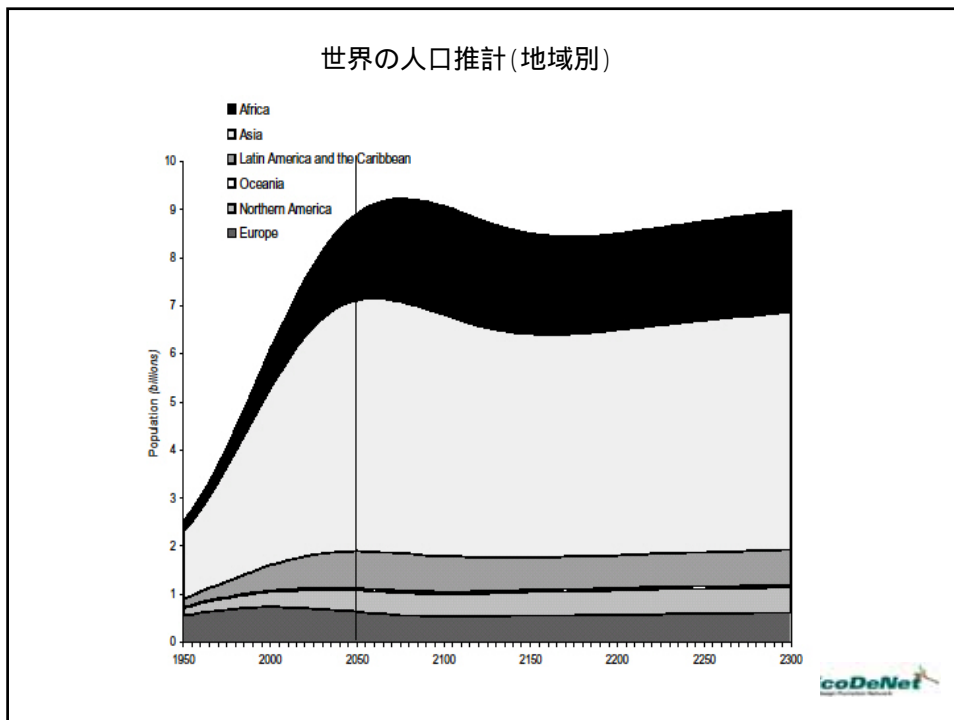
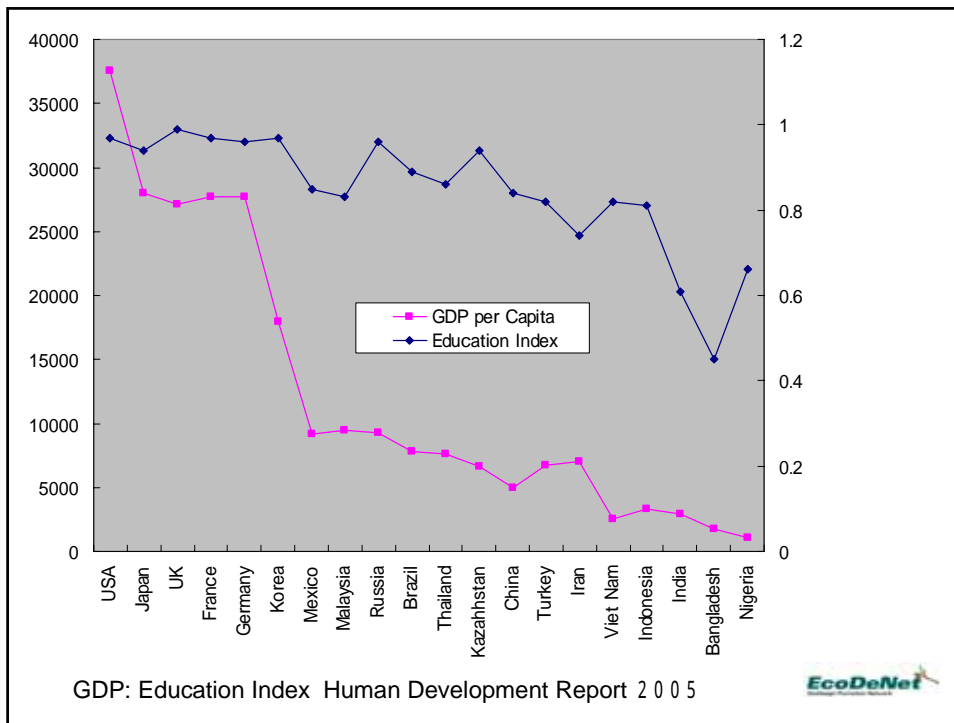
(5) 修理状況





(6) 産業および経済力と工業教育問題

- 経済的に遅れた地域は、教育と経済の負のスパイラルになる。
- 先進地域で市場性を失った電機電子機器も機能が失われた訳ではない。
- この様な機器を活用する事は経済的な遅れを補償する為に有効である。
- この様な機器を活用するにも工業的な基盤が必要。



(8) 総合的システム形成の考え方

- 使用済みとなった電機電子機器を回収し購買力の低い需要地の購買力に適合する価格の機器として改修する。
- 改修品の製造責任は改修した工場にあるとする法整備を行う。併せて、表示法を定める。
- 改修不可能な機器は、リサイクル工場で材料として回収する。
- 使用済み機器を回収地点に持ち込んだ者は鉄重量換算の価値(機器別に設定する考えもある)を受け取る。
- リサイクルと改修は一体の事業として運営する。
- 開発地域にも回収・改修・リサイクルする為の工場を建設する。改修・リサイクル工場を工業教育の体制に組み込む。
- 新たな機器の生産工場は需要に応じて建設する。
- システム全体の新たな付加価値増が新製品の価格水準換算で5%を超えれば、特段の税負担を求めなくとも経済的に回せる仕組みとなる(日本のリサイクル実績を基準とした場合)。

EcoDeNet

環境問題と経済格差の縮減を同時に達成するシナリオ

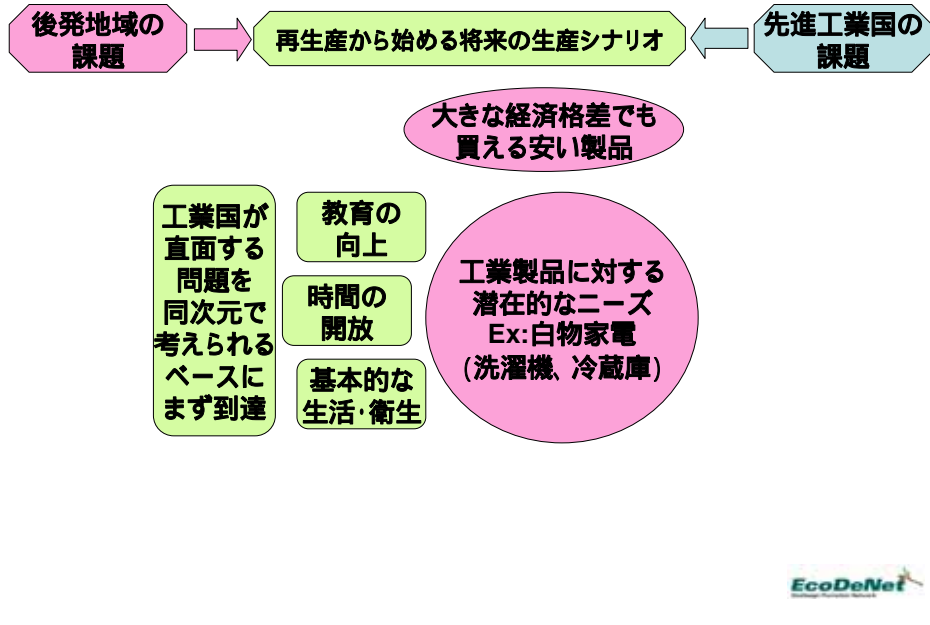
後発地域の課題

再生産から始める将来の生産シナリオ

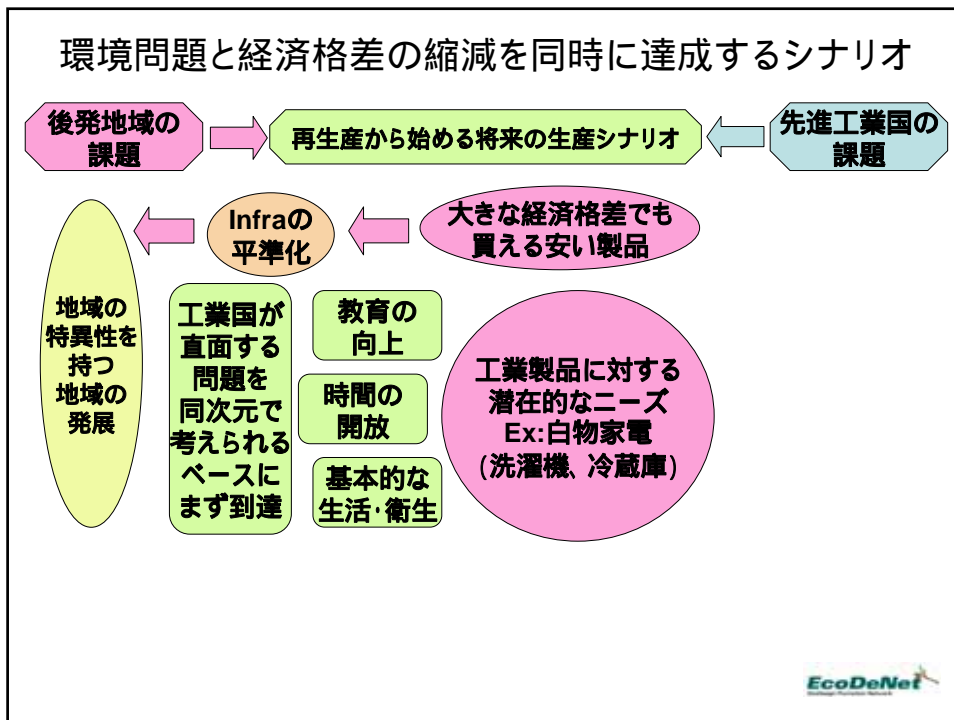
先進工業国の課題

EcoDeNet

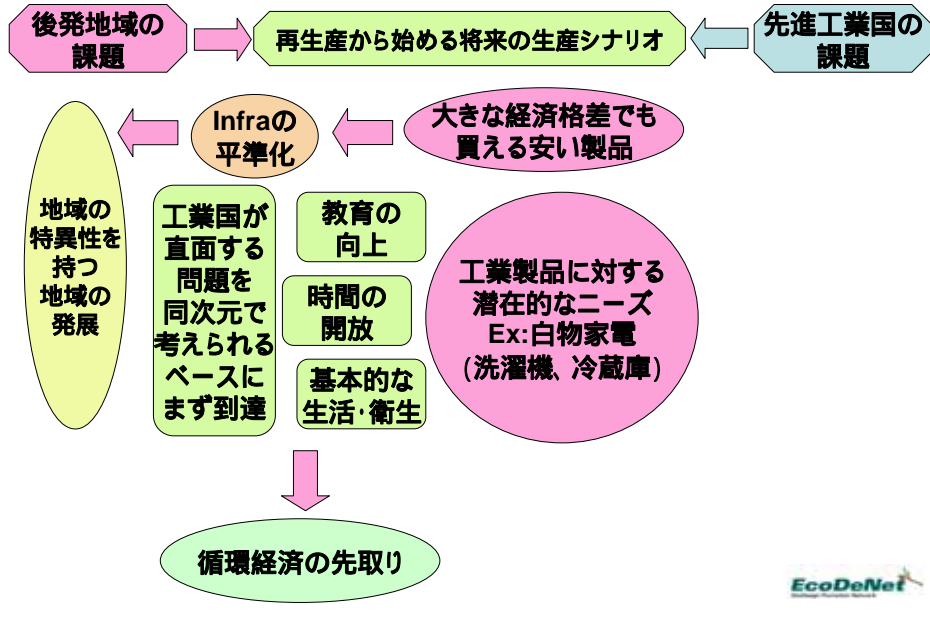
環境問題と経済格差の縮減を同時に達成するシナリオ



環境問題と経済格差の縮減を同時に達成するシナリオ



環境問題と経済格差の縮減を同時に達成するシナリオ



今後の研究期間において、最終のビジネスモデルの完成に向けての検討課題として考えている内容は次の諸項目である。

- (1) 生産過程と回収過程の付加価値獲得量が時間的に拡大することを検証する。
- (2) 中国の沿岸都市部と内陸部で中古機器に対する需要を調査する。
- (3) 中古品を改質して製品化することも生産過程の1変形として、使用済み機器を生産過程に組み込むビジネスモデルを立案する。
(省エネモジュールの組み込みなど)

モデル化研究グループ(MG)

大阪大学
梅田靖



環境調和設計CADシステム

- 既存の環境配慮設計支援システム
 - 特定の側面の製品設計支援
例) 分解性評価ツール、エコマテリアル選択ツール
 - 評価
例) LCAツール
 - ライフサイクル・オプションの選択支援
例) LC Planner、廃棄要因分析表、QFDE
- ライフサイクル設計の統合的な支援が必要
 - 環境配慮設計 ライフサイクル設計
 - ライフサイクルの評価のみならず、ライフサイクルの設計段階を支援
 - 様々な視点からライフサイクルを設計する共通ワークスペースが必要
 - ビジネス設計の視点が必要



統合ライフサイクル設計支援環境

Business Strategy Level	Business Strategy Design Support Tool			
Life Cycle Strategy Level	Life Cycle Scenario Description Tool			
	Disposal Cause Analysis	Value/Physical Life Estimation	Marginal Reuse Rate Analysis	Others...
Product Design Level	Design for Upgradability	Modular Design Tool	CAD	Other DfXs...
Life Cycle Evaluation Level	Life Cycle Simulation			
	Life Cycle Assessment			



統合ライフサイクル設計支援環境： 既存システムの位置づけ

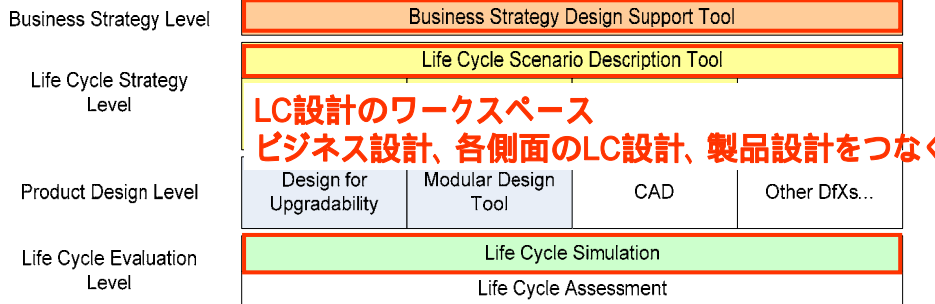
Business Strategy Level	Business Strategy Design Support Tool			
Life Cycle Strategy Level	Life Cycle Scenario Description Tool			
	LCの視点だが各側面のLC設計支援(研究段階)			
Product Design Level	Design for Upgradability	製品レベルの各側面の環境配慮設計		
Life Cycle Evaluation Level	Life Cycle Simulation			
	Life Cycle Assessment			

LC視点だが評価のみ



統合ライフサイクル設計支援環境： 本研究のターゲット

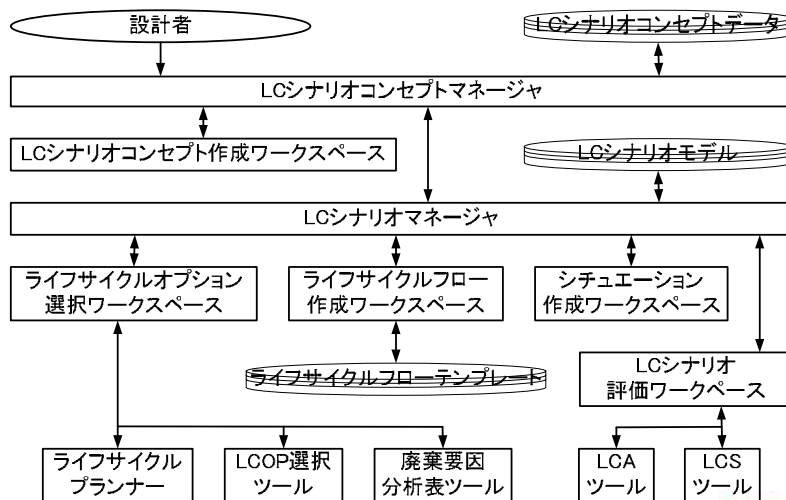
ビジネス設計の統合化



経済性、マテリアルバランスも評価



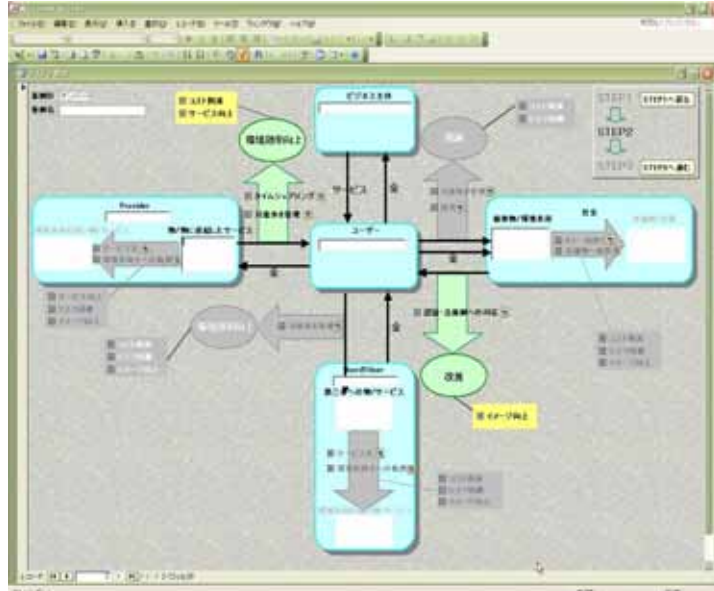
LCシナリオ記述支援ツール



ライフサイクル設計支援ツール

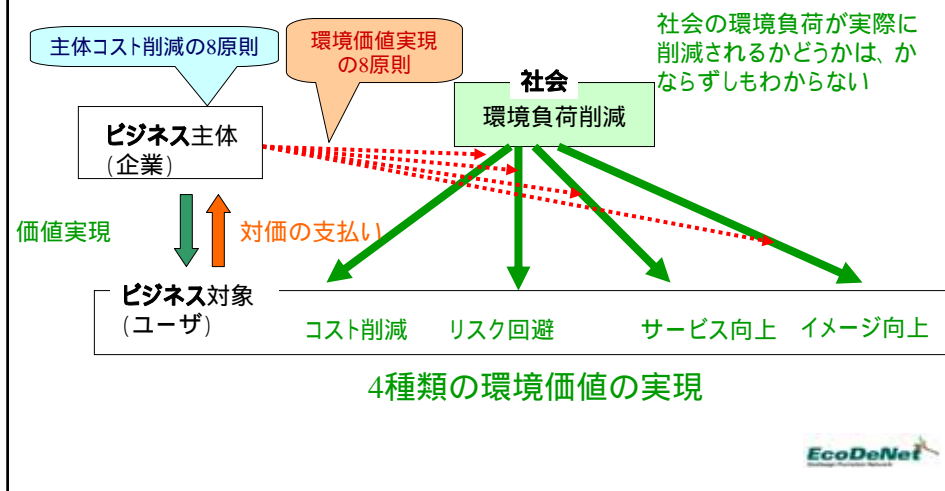


循環ビジネスアイデア生成支援システム



環境調和ビジネスのTRIZ

[精密工学会ライフサイクルエンジニアリング専門委員会]



設計・リサイクル研究グループ(DG)

NPOエコデザイン推進機構

喜多村政賛



電球型蛍光灯

- なぜ電球型蛍光灯を取り上げるのか
 - 異なる寿命部品の複合製品である
 - 蛍光管より回路の寿命はずっと長く、廃棄の必要がない
 - 管と回路は分離は容易である
 - 各部品のリサイクル態勢に差がある
 - 蛍光管の破砕式リサイクル態勢は動き始めている
 - 電子回路のリサイクルは望ましい姿に見通しがまだない
 - 普及をはじめている
 - 旧来の電球ソケットにそのまま差替えて便利
 - 技術の努力で点灯開始、明るさ、寿命が改善されてきた
 - 安価になってきた
 - 欧州では単価1ユーロほどの特価品も見かける
 - 頻繁な点滅に対応した製品も出てきている
 - 蛍光灯の点灯技術は成熟し安定してきている
 - 点灯用インバータ回路
 - 汎用の電子部品で構成している
 - コンパクト蛍光管
 - 電球ワット数相当の標準的ランク分け
- 従ってボーダーレスの逆流通によるリユースの可能性とニーズがある



電球型蛍光灯

- 現行製品を分解してみると
 - 構造は基本的に同一である
 - 蛍光管と電子回路とプラ成型の接合部に口金ソケット部
 - 多くが電球の首を太くした形として、電子回路を内臓する
 - 首部分で蛍光管を接着保持し、基板を支持し、口金を接合する
 - 比較的大きな電解コンデンサなどを口金内部に収容している
 - 小型回路を口金内部へ収め、首の太くないものも出てきている
 - 点灯回路もほぼ同一である
 - 蛍光灯用インバータ回路を使っている
 - かつてはグローランプと安定器によるものもあったが今は見ない
 - 数10kHzの周波数により、小型のトランスを使用している
 - 交流点灯である
 - ACを両波整流し、小型の電解コンデンサで脈流で回路を駆動している



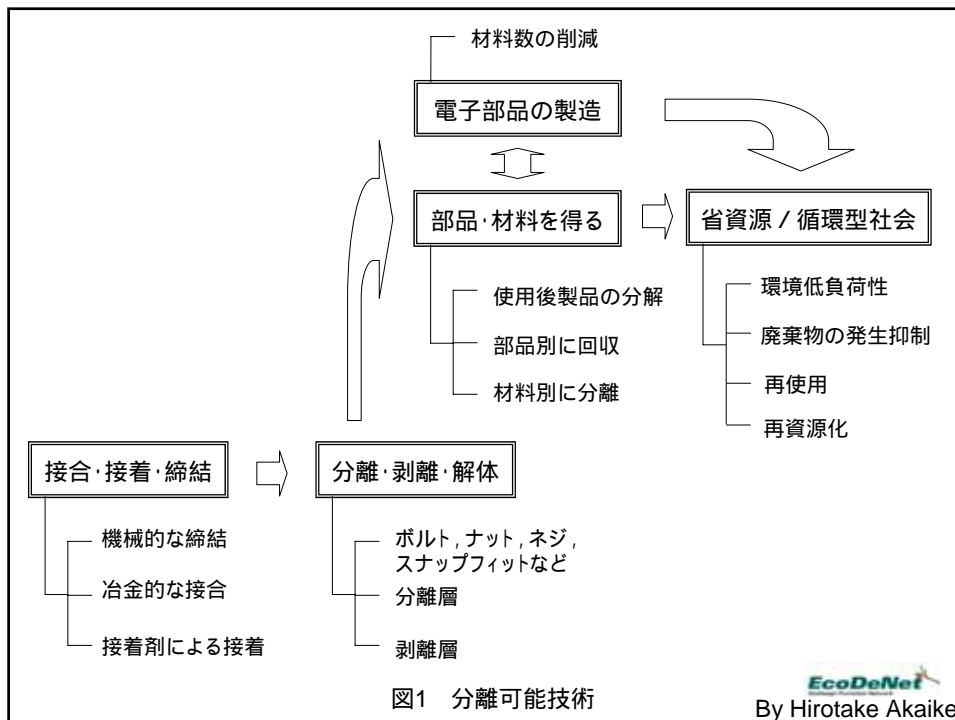
• 分解例

電球型蛍光灯



接合・分離要素技術研究グループ(EG)

東京大学 須賀唯知
物質材料機構 細田奈麻絵



特許に見る形状記憶材料ネジ

- 解決すべき課題
 - 材料の低価格化
 - 対策
 - 低価格材料を使用（ポリウレタン系などのポリマー）
 - 使用量を減らして価格を下げる。（Ti-Ni系合金などの金属の場合）
 - 材料の加工性
- 特徴：
 - ポリウレタン系などのポリマーやTi-Ni系合金などの金属の形状記憶材料を加工して作られ、ガラス転移温度以上に加熱する事でネジの形状を変化させインターロックを解除させる仕組みである

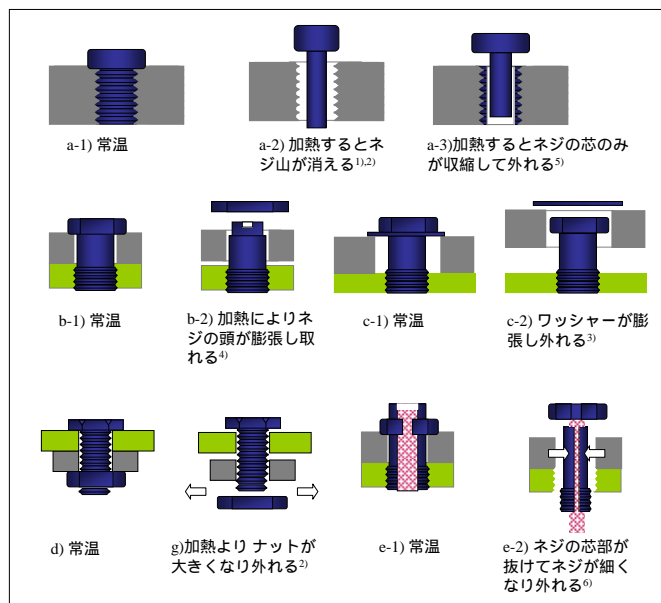


図1 易解体性ネジの例(形状記憶ネジ)



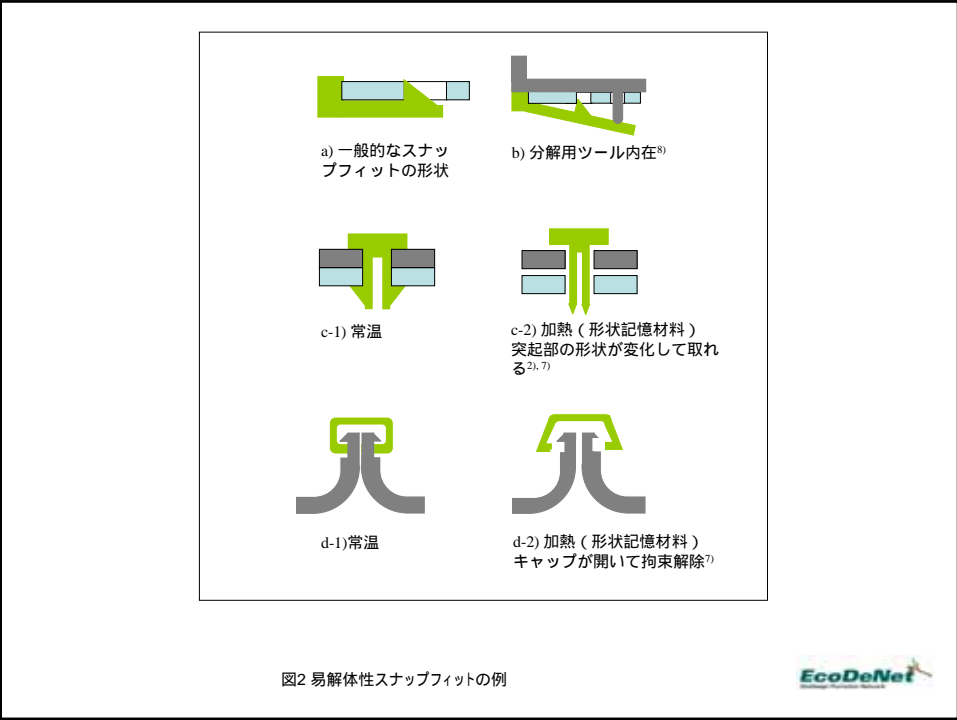


表1 接合強度を支配する主な因子

界面の結合	化学的結合(イオン結合、共有結合、金属間結合など)、分子間力、水素結合、インターロッキングなど (接着剤の中にはこの他粘性抵抗、毛細管力などによるものがある。)
界面の応力	熱膨張率、弾性率、集中応力などの力学的性質、結晶格子整合性など
界面の欠陥など	不純物、未接合部(界面密着性)、ボイド 反応層、接着層などの力学的性質、靱性など
環境: 2次因子	高温 / 低温(耐熱性)、雰囲気(耐酸素性、耐水性、耐油性)、耐紫外線性、耐候性、応力、その他
構造	接合部の形状・構造

EcoDeNet

表2 接合強度を弱める操作の具体例

結合状態操作型、欠陥発生型	<p>供給エネルギーと分離に有効な現象</p> <p>固体の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> - 加熱(中間層の相変態(脆化)、原子の拡散速度差によるボイド発生、脆化を引き起こす元素の界面への濃縮)¹³⁾ - 冷却(同素変態で脆い層を発生させる)^{11), 12)} - 電場(イオン拡散による脆化を引き起こす元素の濃縮)¹⁸⁾ - 紫外線照射(高分子鎖の切断) - 気層あるいは液層との濃度差による元素の侵入(脆化)⁴⁾⁻⁶⁾ <p>界面の選択的溶解の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> - 加熱(界面の低融点材料の溶解)¹⁹⁾ - 溶解液による界面の溶解 - 低融点金属による界面の溶解¹⁷⁾
界面の内部応力誘起型	<ul style="list-style-type: none"> - 温度変化(膨張係数の差を利用して界面に応力発生) - 結晶格子整合性の悪い中間層を形成して界面に応力を発生させる。 - 相変態により体積膨張を起こし界面に応力を発生させる。
その他	<ul style="list-style-type: none"> - 負荷する力の方向変換 - インターロック解除(形状記憶バネ・ネジ)^{1)-7), 20)}

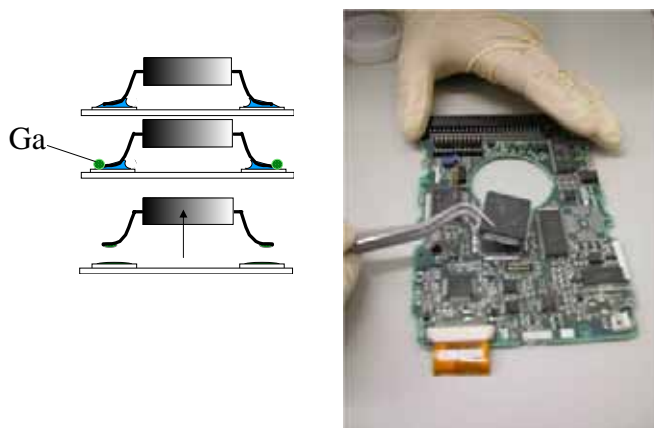


図6 液体金属を用いて室温のまま実装されたプリント配線板からチップを取り外している所¹⁷⁾。

