

エネルギー問題・地球環境問題を考える 第6回 国境を越える循環型社会

工学部システム創成学科 環境・エネルギーコース（地球システム工学専攻）

村上 進亮

物質循環と持続可能な発展

- ▶ **持続可能な発展(Sustainable Development)とは1987年に出版された”Our Common Future (通称Brundtland Report)”の中で中心的な理念として定義された。**
 - ▶ 将来の世代の欲求を満たしつつ、現在の世代の欲求も満足させるような開発

- ▶ **物質循環からみた持続可能性**
 - ▶ 大きな枠組みで言えば、入り口と出口に問題がある つまり
 - ▶ 入り口:天然資源の消費のパターンは持続可能なものか?
 - ▶ 出口:廃棄物処理の方法は持続可能なものか?



循環型社会形成推進基本法から

▶ 「循環型社会」とは、

1. 廃棄物等の発生抑制
2. 循環資源の循環的な利用
3. 適正な処分が確保

によって、**天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減**される社会。

▶ 処理の「優先順位」

1. 発生抑制(リデュース)
2. 再使用(リユース)
3. 再生利用(リサイクル)
4. 熱回収
5. 適正処分

リサイクルが一番ではない



現在のグローバルな議論の場での考え方

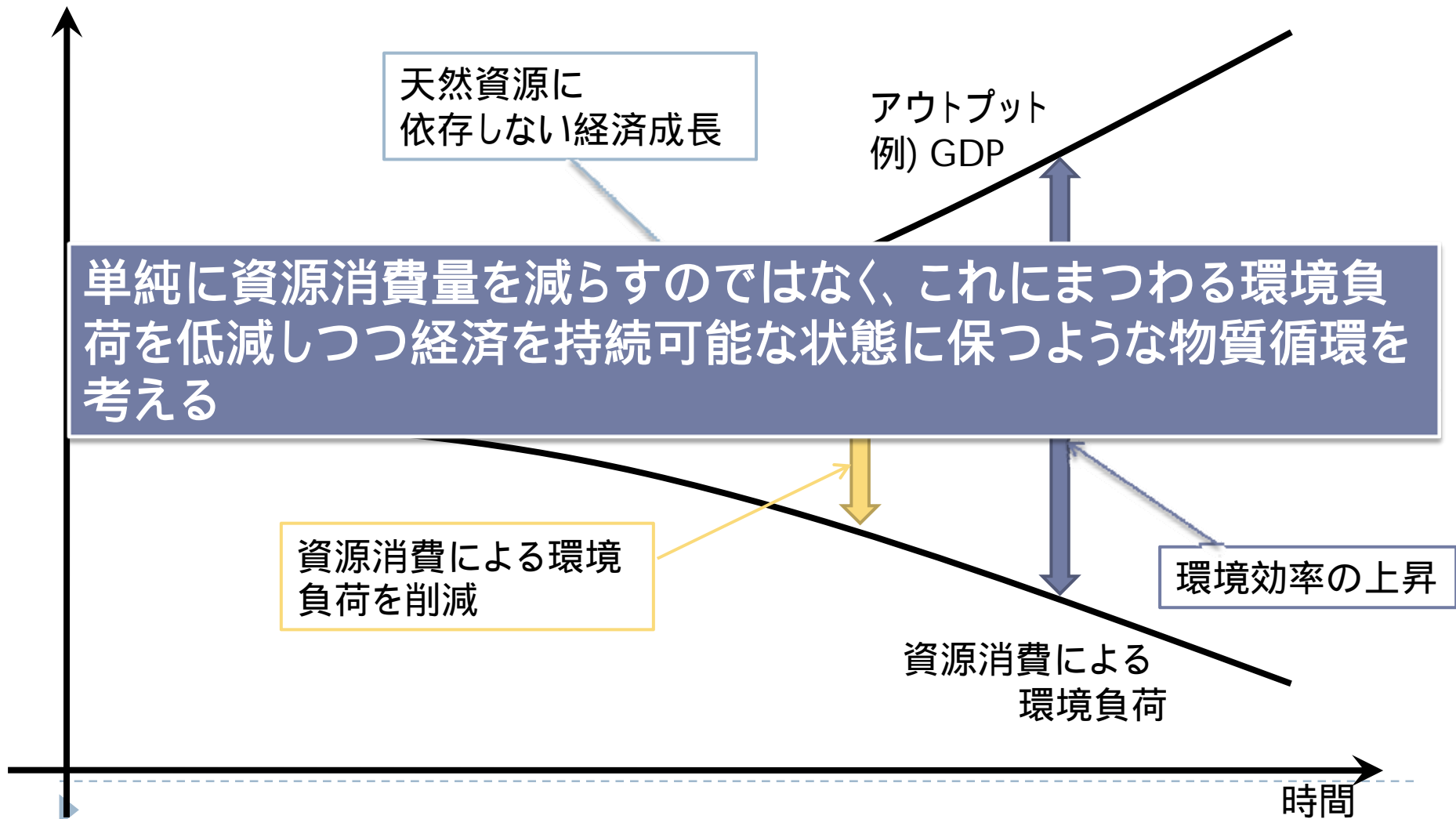
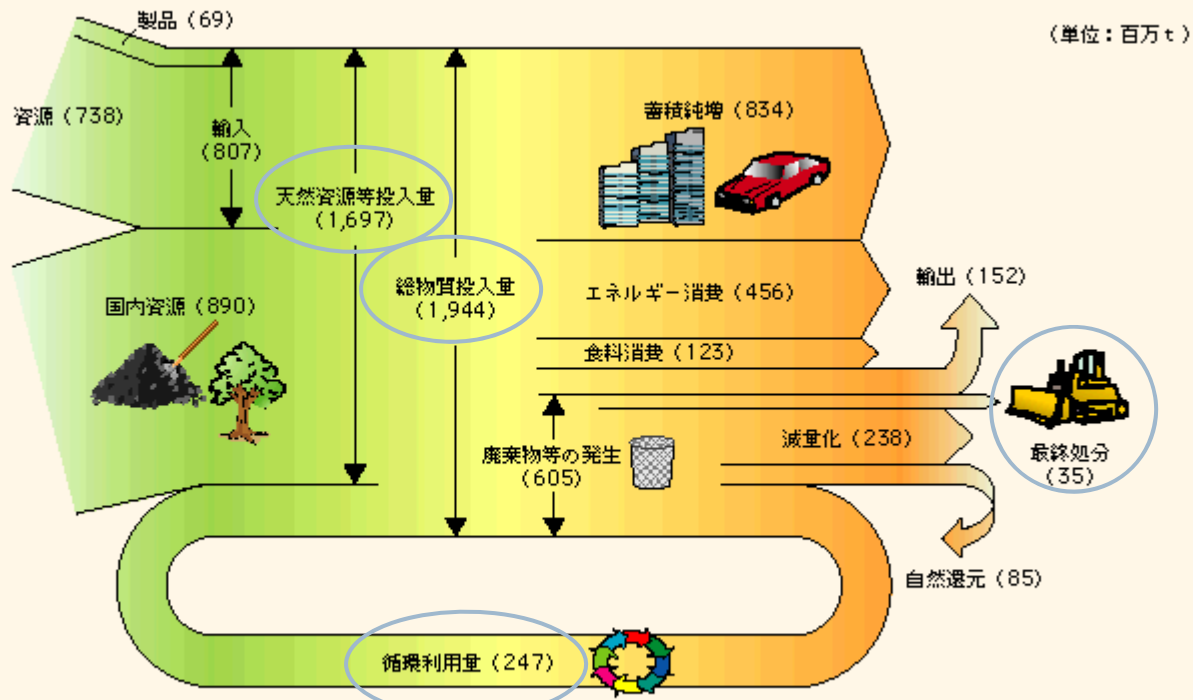


図4-2-1 我が国における物質フロ（平成16年度）

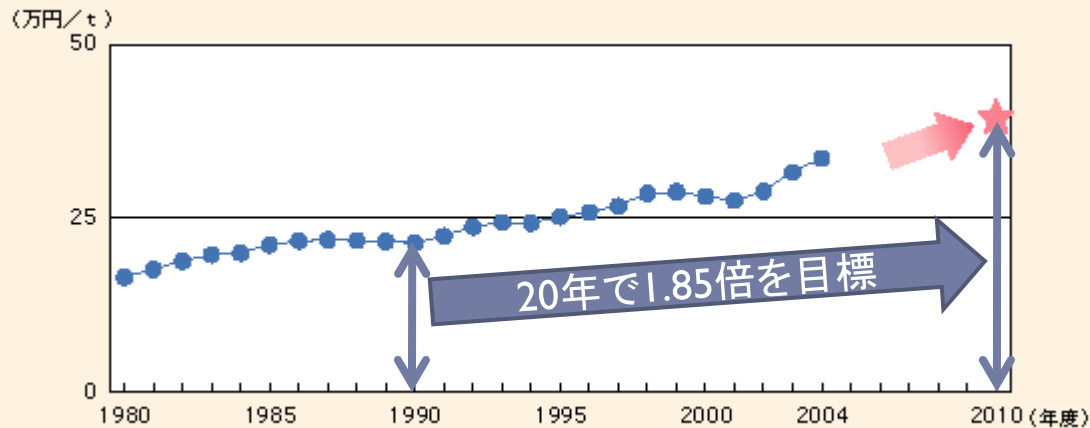


注：産出側の総量は、水分の取込み等があるため総物質投入量より大きくなる。

資料：環境省

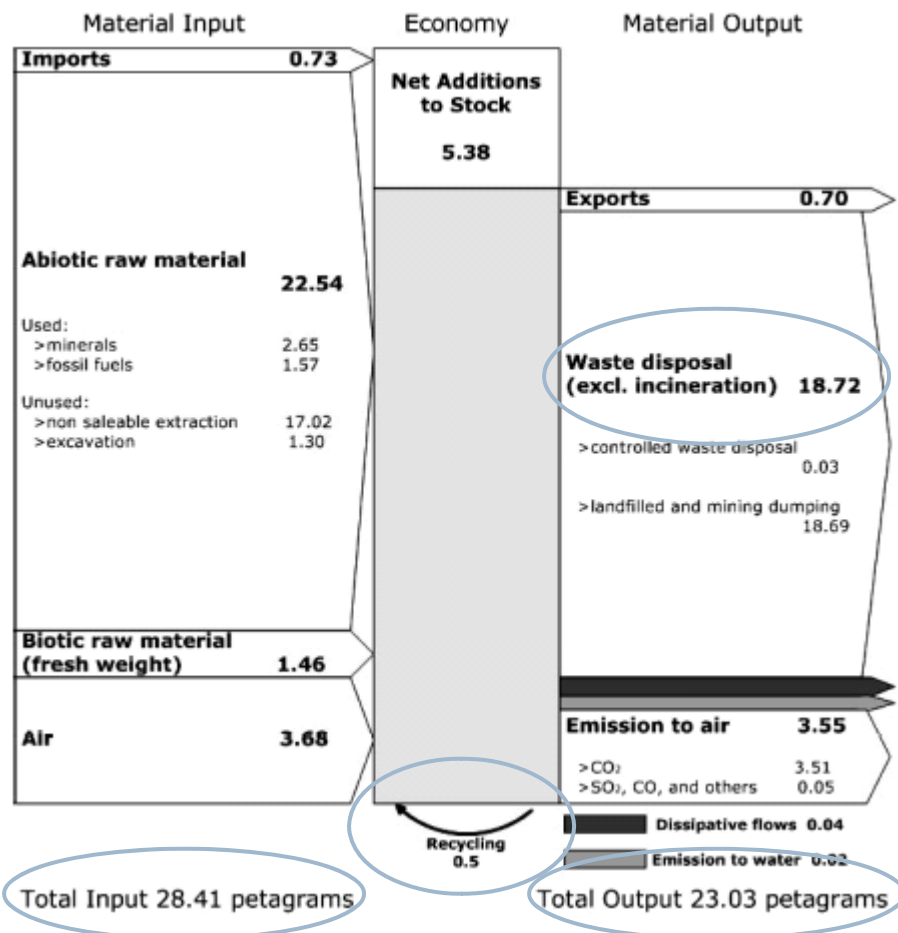
我が国の物質フローと 資源生産性の推移

図4-2-7 資源生産性の推移



資料：環境省

中国の物質フロー



- ▶ 直接物質投入量：DMI (Direct Material Input) で70億トン
- ▶ 我が国の平成14年度のDMIが20.7億トンと推計されていることから、一人あたりDMIはまだ少ない
- ▶ 物質総需要量：TMR (Total Material Requirement) 250億トン
- ▶ TMRが大きいことは、中国が資源国であり、特に石炭の産出、消費が大きいために隠れたフロー部分が多くなるものと考えられる。
- ▶ 推計によればUDE(Unused Domestic Extraction)が180億トンとTMRの多くの部分を占める
- ▶ GDP/TMRやGDP/DMIを計算すると、日本やEU-15、アメリカなどと比しても非常に小さい値
- ▶ よって、このままのペースでの増加ではなく、効率を上げつつの増加、というシナリオが考えられる。

ところで リサイクルについて

- ▶ 2000年に出版されて話題を呼んだ「リサイクルしてはいけない」という本がありました
- ▶ 同じ著者の近刊に「環境問題はなぜウソがまかり通るのか」という本があり、著者は未だにリサイクルに対する疑問を提示しています(以前の授業で温暖化のディスカッションの際に資料に該当部分が示されたかもしれません)



- ▶ 内容の是非には触れませんが、「リサイクルすればいいというのは間違いである」、と言うことは大切なことです。ただし、正確なデータで科学的に検証すべきです
- ▶ ちなみに、リサイクルすればよい、と言う考え方は「大量消費、大量リサイクル型」社会であり、我々の目指す循環型社会の姿とは一致しません。あくまでリデュースが最優先です。



リサイクルとは?

- ▶ **分離・選別を行うことである**

様々な物質が混在する天然資源を分離し、素材を製造した後、製品を製造する。

これが、使用済み製品となったときに、「解体」「一時選別」「分離(物理的)」「分離(=高純度化)」「素材製造」という流れを行うことがリサイクルである

- ▶ **分離・選別であるという意味では循環資源も天然資源も同じ**
- ▶ **ただし、より加工度が高く処理が難しいのが循環資源か?**



国境を越える資源循環 「国際資源循環」

International Material Cycles

我が国のリサイクルに関する法案

循環型社会形成推進基本法 (循環基本法)

- 基本原則
- 国、地方公共団体、事業者、国民の責務
- 国の施策

廃棄物処理法(改正)
• 廃棄物の適正処理

資源有効利用促進法
• リサイクルの促進

食品リサイクル法

グリーン購入法

建設資材リサイクル法

家電リサイクル法

容器包装リサイクル法

自動車リサイクル法

ちなみに 廃棄物とは

- ▶ 「廃棄物」とは、ごみ、粗大ごみ、燃えがら、汚泥、ふん尿、廃油、廃酸、廃アルカリ、動物の死体その他の汚物又は不要物であって固形状又は液状のものをいう（廃棄物処理法第二条）
 - ▶ 「不要物」とは、占有者が自ら利用し、又は他人に有償で売却することができないため不要になった物をいい、これに該当するか否かは、その物の性状、排出の状況、通常取り扱い形態、取引価値の有無及び事業者の意志等を総合的に勘案して決する
 - ▶ 不要で、無価物（厳密ではない）
 - ▶ 例えば、不要物を0円で引き取ってもらう 引き取った相手が廃棄物処理業の必要な許可を持っていなければ違法
 - ▶ 鉄くずはスクラップなので廃棄物処理業を持たない業者に、0円で渡す 0円なので廃棄物扱いとなり違法
 - ▶ ……
-

生産者の責任：EPR

- ▶ 拡大生産者責任 (Extended Producer Responsibility: EPR)
 - ▶ 生産者が、その生産した製品が使用され、廃棄された後においても、当該製品の適切なリユース・リサイクルや処分に一定の責任(物理的又は財政的責任)を負うという考え方を
作りっぱなしはだめ
 - ▶ そうすることで、生産者に対して、廃棄されにくい、またはリユースやリサイクルがしやすい製品を開発・生産するようにインセンティブを与えようというものです
最初から環境に優しい製品を作る (DfE: Design for Environment)
 - ▶ 国際資源循環の場合の定義は難しい？ 輸入製品については輸入者が生産者
-



「国際資源循環」とは

- ▶ 「国際」+「資源」+「循環」
 - ▶ 国際：国境を越えていること
 - ▶ 資源：ここでは主に「循環資源」=スクラップなど
 - ▶ 循環：「循環型社会」の循環
 - ▶ 正確な「循環資源」の定義：循環型社会形成推進基本法によれば、「廃棄物等のうち有用なものをいう。」と定義されている。ただし廃棄物等とは次のように定義される。
 - ▶ 一． 廃棄物：
 - ▶ 二． 一度使用され、若しくは使用されずに収集され、若しくは廃棄された物品（現に使用されているものを除く。）又は製品の製造、加工、修理若しくは販売、エネルギーの供給、土木建築に関する工事、農畜産物の生産その他の人の活動に伴い副次的に得られた物品（前号に掲げる物並びに放射性物質及びこれによって汚染された物を除く。） スクラップのようなものをイメージ
 - ▶ 「現在使われているもの」は廃棄物等に含まれないため、中古製品は法的な定義の中で循環資源には含まれない
 - ▶ ただし現実においてはこうした中古製品等には、製品リユースされずに循環資源と同様に取り扱われるものも多くあるなど、実質的に循環資源と同視しうるものも多い 今日講義では中古製品も対象
-

と言うわけで 今日のテーマ

- ▶ いま、どの程度の量の循環資源が日本から輸出されているのか（輸入はあまりないので今日の話からは外します）
- ▶ そして、そこにはどのようなメリット、デメリットがあり
- ▶ 今後何を考えていかなければいけないのか

が、今日の話のテーマです。



事例

- ▶ プラスチックくず
- ▶ 金属くず
- ▶ **使用済み電子電気機器**
 - ▶ WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment)
 - ▶ E-waste (Electrical and Electric Waste)

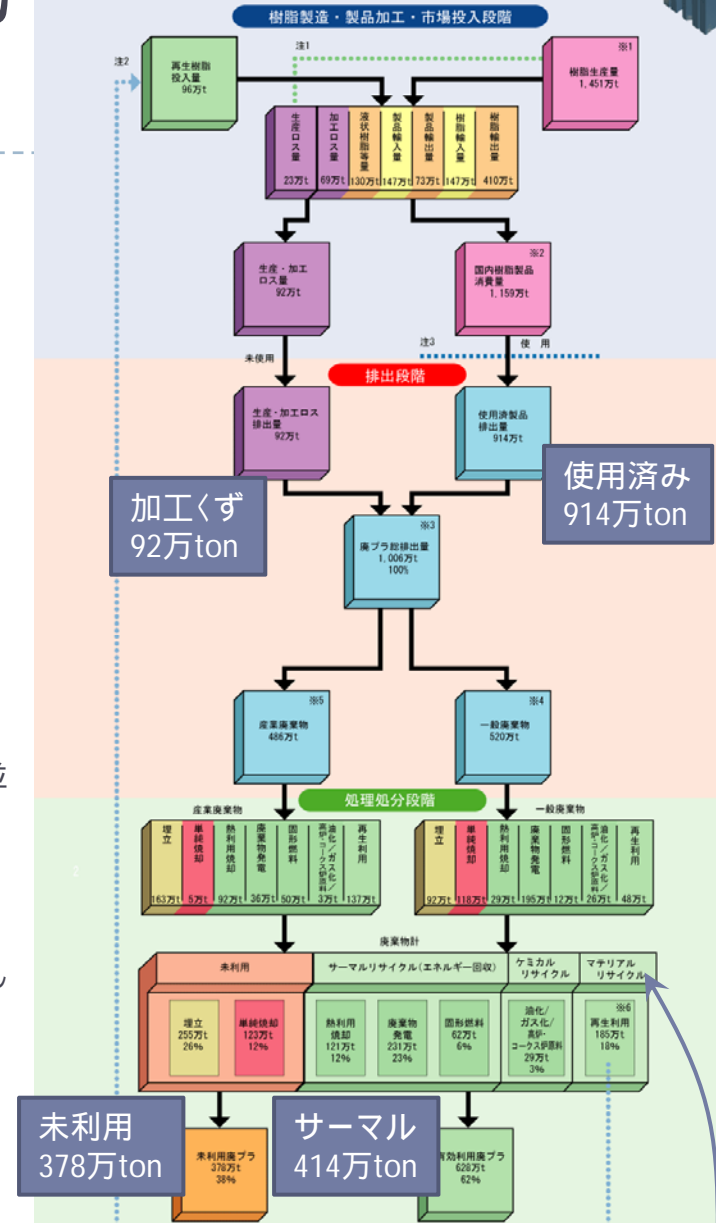


プラスチック



国内のプラスチック製品・廃棄物再資源化フロー図 (2005)

- プラスチックの生産量: 1,451万t (+5万t)
- 国内消費量は1,159万t(+23万t)、
- 廃プラスチック総排出量は1,006万t(-7万t)
 - 一般廃プラ:520万t(+1万t), 産業廃プラ:486万t (-8万t)
 - 消費量が増えているにも拘らず排出量が減少しているのは、自動車リサイクル法の施行の影響による廃車数の減少の影響(10万t)によるものである。
- 有効利用廃プラスチック628万t (+ 17万t, 有効利用率: 62%)
- 使用済み品からのマテリアルリサイクル: 93万t (+ 3万t)
 - 容リ関連での増分2.7万t、家電リサイクルでの増分1.8万tが寄与し、
 - PETボトルの実質回収量 (PETボトルリサイクル推進協議会推定: 38.1万t以上) 前年並みであった。
- サーマルリサイクル(エネルギー回収)414万t(+15万t)
 - 廃棄物発電231万t(+ 16万t), 固形燃料化62万t(+6万t)
 - 産業廃プラスチックが種々の分野で奪い合いになっていることから、伸びが鈍化している。
- 廃プラスチックの輸出:106万t (+ 21万t)増加
 - マテリアルリサイクルのうち半分以上(57.3%)が輸出されたことになる。



(社) プラスチック処理促進協会による
http://www2.pwmi.or.jp/siryo/flow/flow_index.htm



PETボトル再商品化の流れ

化学分解法（ボトル to ボトル）とマテリアルリサイクル



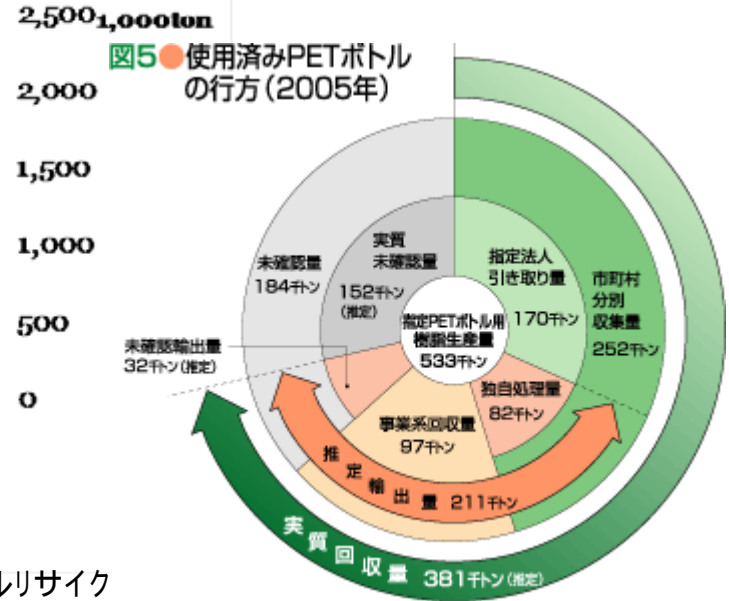
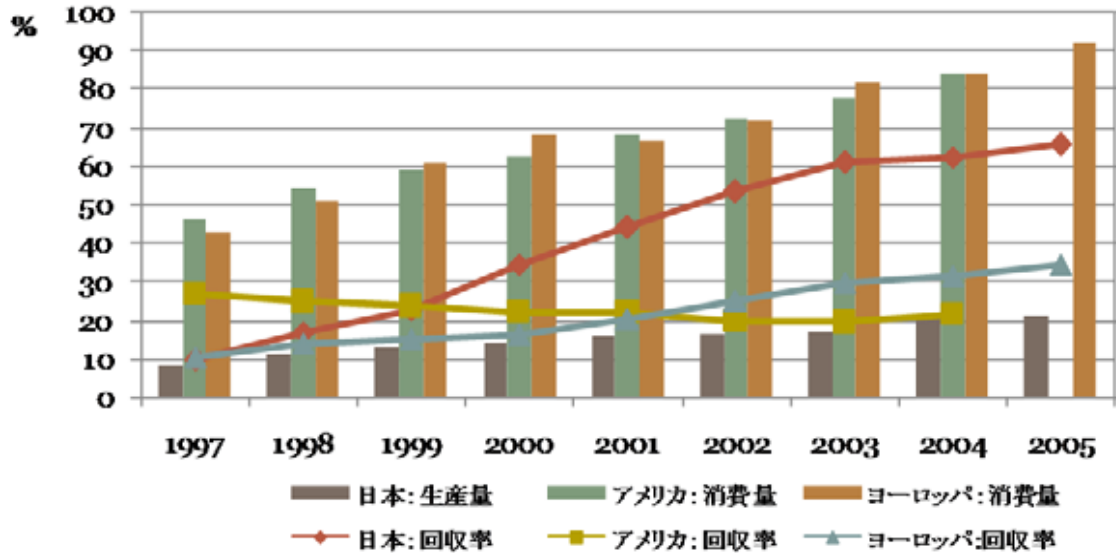
このマークが目印です

PETボトル
再利用品



識別表示マーク
リサイクルできるPETボトルには、ラベル部分やボトルの底部にこのマークがっています

PETボトルのリサイクルと輸出

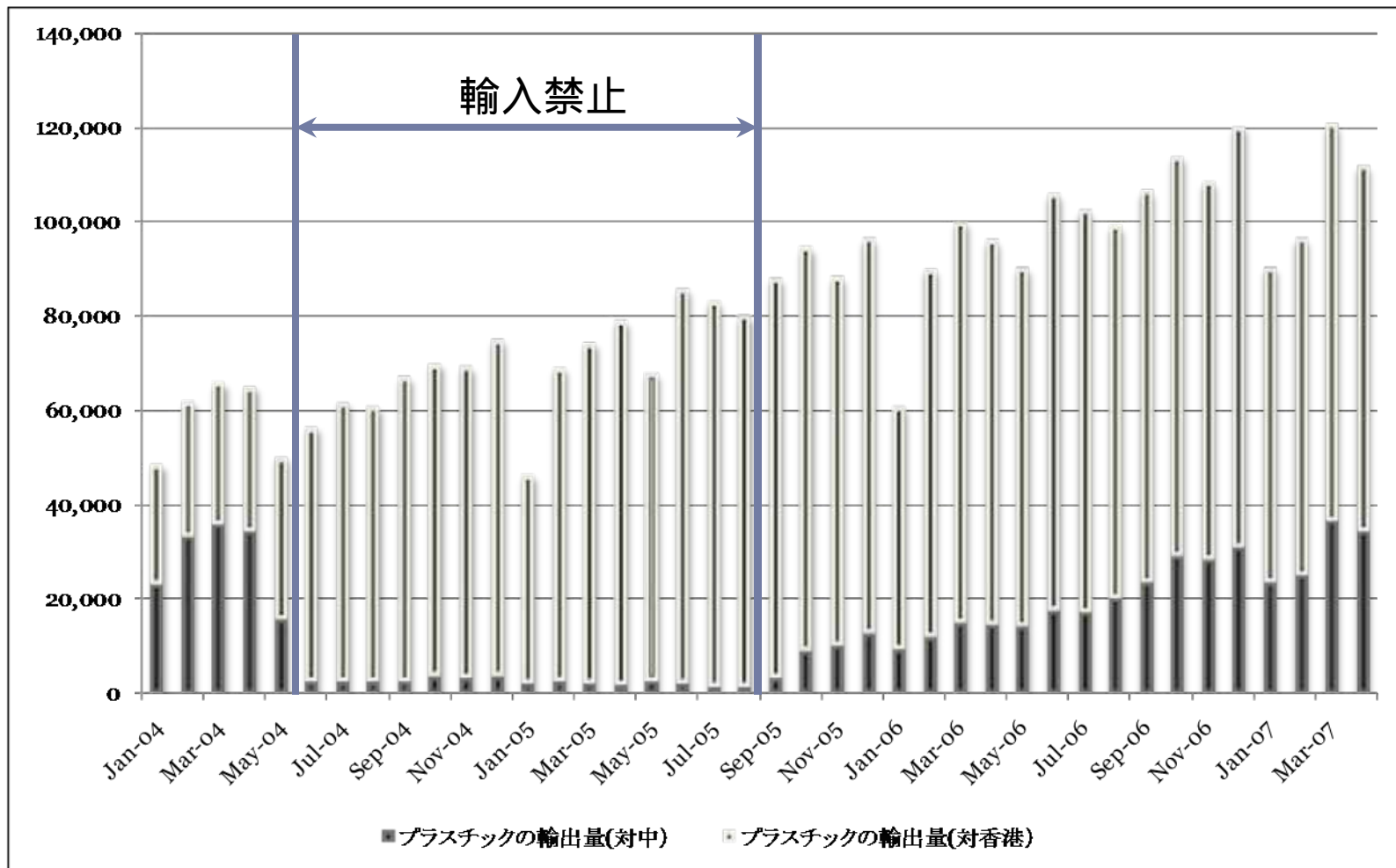


PETボトルリサイクル
「PETボトルリサイクル年次報告書」

- ▶ 日本のPETボトルの回収率は欧米に比べても非常に高いレベルにある。

しかし集めたPETボトルの4割程度が輸出に回っていると推定されている

禁止しても止まらない貿易？ 廃プラスチック輸出入の変遷



2004年5月 日本からの廃プラスチックが輸入禁止に (生活ゴミが混入していると判断されたとされる)

輸出が起こるわけ

▶ 輸出先に需要がある

- ▶ 先に述べた中国やその他の東アジア諸国では需要の拡大が続いている
- ▶ プラスチックは原油市場に左右されるため、現在の状況で言えば相当高い価格で買っても見合う

▶ 輸出先の方が低コストでリサイクルを行うことが出来る

- ▶ リサイクルとは、分離選別である。人間による選別作業(手選別)を行った場合、人件費がそのままコストに反映される (仮に機械化を行った(機械選別)としても、今のところ選別については手選別の効率は非常に高い)
- ▶ 製品の質に対する要求の違いがコストに反映される

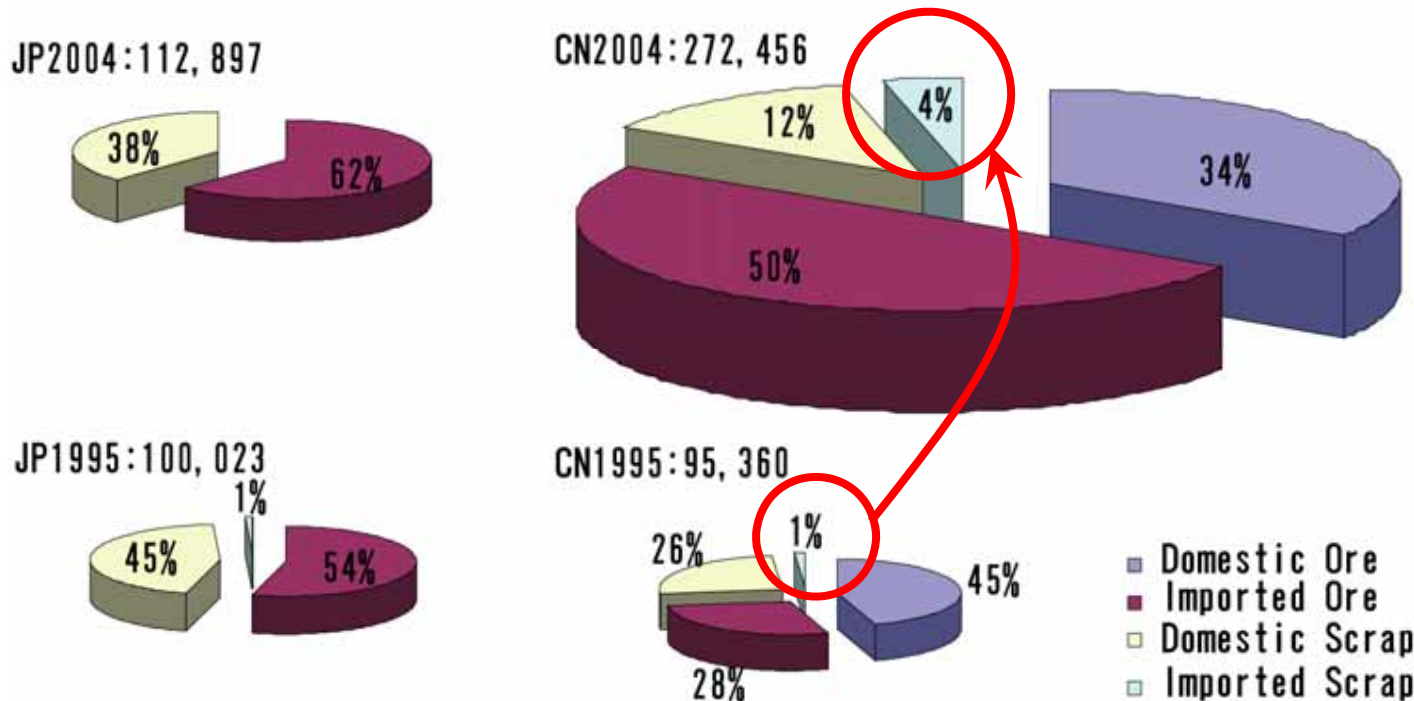


PETボトル輸出メリット・デメリット

- **メリット:**
 - 資源の有効的な利用 = 国内でうまくリサイクルされないものが国外でうまくリサイクルされる
 - 日本ではないが輸入国での資源消費量が減る
 - 循環型社会のコンセプトに合致する
- **不明な点**
 - 誰が何の費用を負担しているのか？ :PETボトルは国内で収集してから輸出されている
 - 収集費用を払っているのは誰か？ その便益は誰が享受するのか？
- **デメリット**
 - 国内でのリサイクルを前提にしていた国内リサイクル産業
 - 原料が来なくなってしまった 国内リサイクル産業の空洞化:特に高い技術ゆえに、高コストでの操業を考えていた企業が、民事再生手続きに入った(平成17年9月)

金属とE-waste

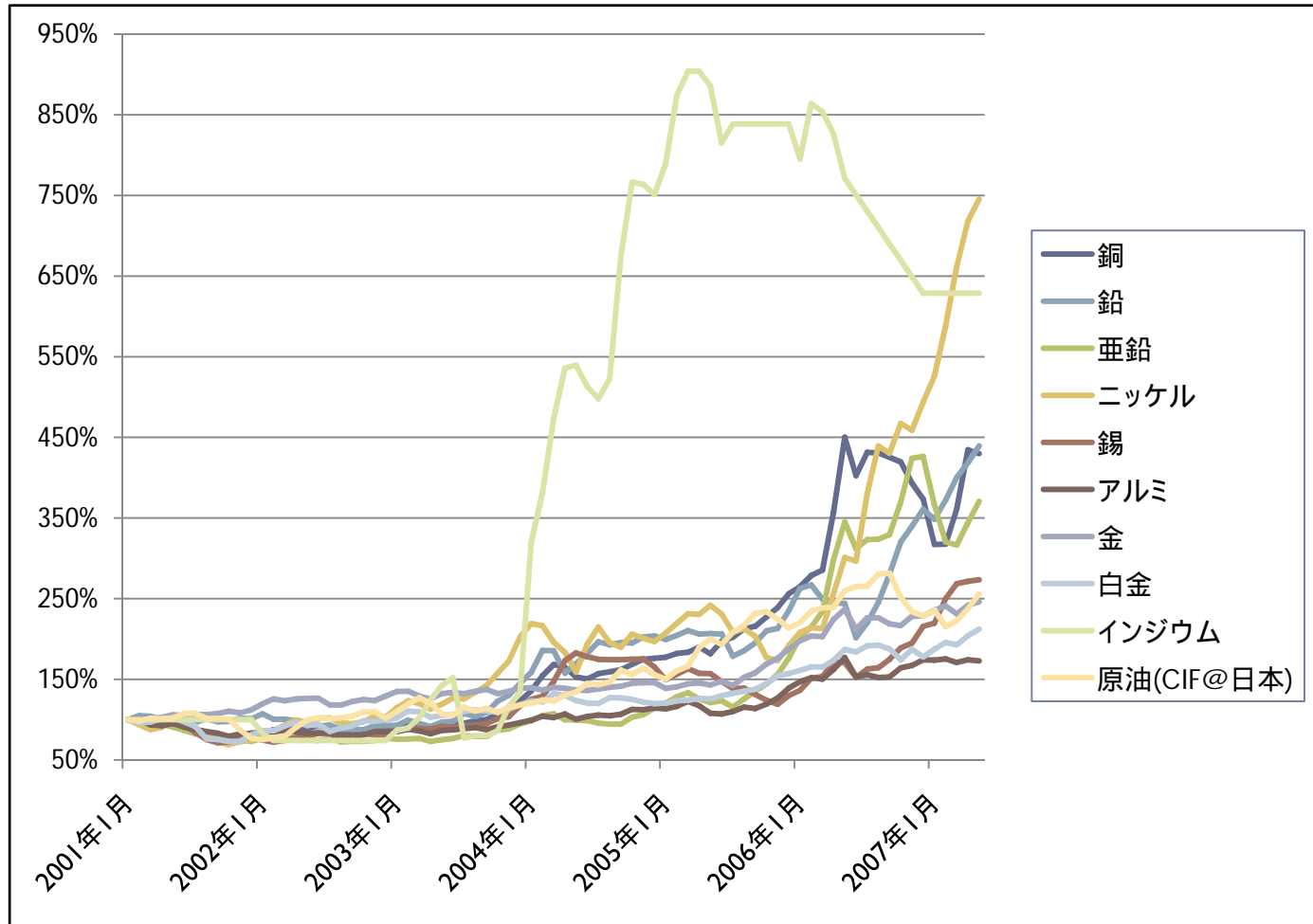
国際資源循環がどの程度の資源供給源になっているのか？ 鉄の場合：日中比較



- ▶ 中国では国産原料の増強は余り見込めない 輸入原料への依存度が高くなる。 鋳石で補えない部分が輸入スクラップへの依存となる。
- ▶ 日本の場合、1995年の時点でリサイクルはある意味成熟しきっており、輸入鋳石への依存度が増している。

注！) 高級鋼板を多く製造する日本の方が質の良い原料を必要としているという都合もある 今のところ中国側では普通鋼に対する需要が大きい

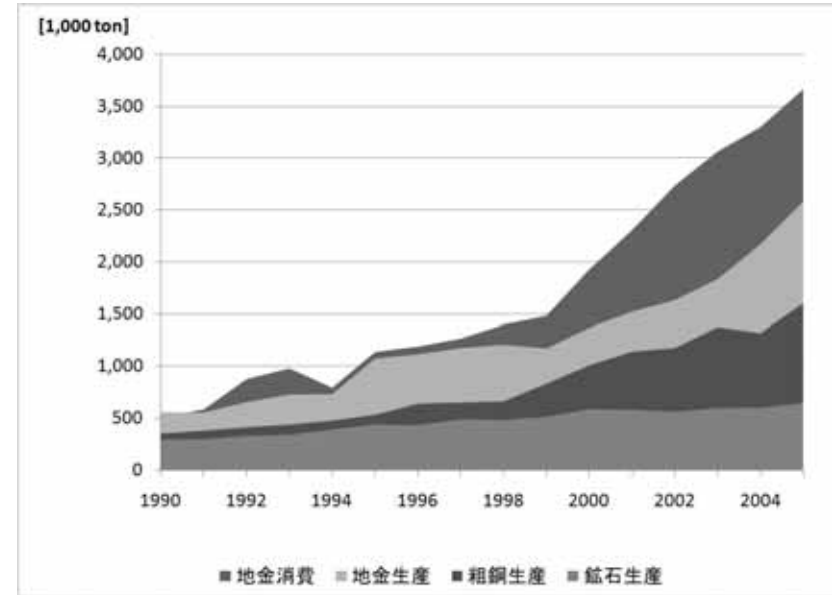
資源ブーム？



2001年1月=100%

伸びる中国の資源需要

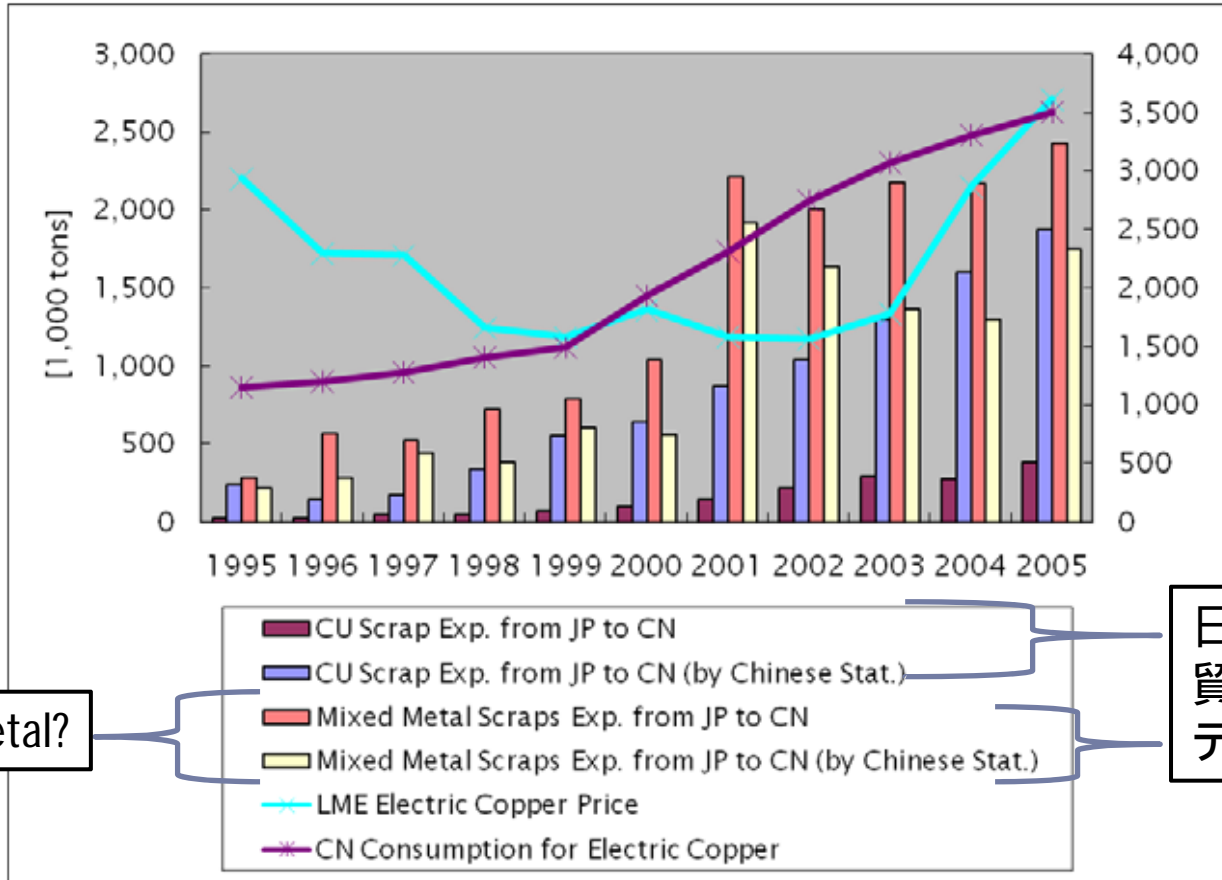
- ▶ 2006年の1～3四半期において、中国のスクラップ起源の金属生産量は、126万トンの銅 (21% increase from 2005), 176万トンのアルミ (42%), and 30万トンの鉛(38%).*
- ▶ Technologies are also improved.
 - ▶ Shandong Fangyuan Copper companyでは金、銀、PGMs についての試験生産を実施した*
- ▶ 他方で、小規模の二次地金生産事業者はプロセスの効率化が事業の停止を求められている*
- ▶ 周辺諸国の中国による買い占めに対する警戒
- ▶ 中国国内へのスクラップ、天然資源双方の困り込み(輸出関税、還付関連の法改正)
 - ▶ 基本的には付加価値をつけない限り出さない方向へ



2004年地金の生産量が203万ton
国内鉱石生産量が、銅分で61万ton、輸入量が87万ton
中間製品である粗銅が11万ton輸入
44万ton程度がスクラップから
地金の輸入などもあり、合わせて370万ton強の銅が供給された

*Wang (2006): Proceedings of the 6th secondary metal international forum-

銅スクラップの輸出 日本→中国



Mixed Metal?

日本と中国の貿易統計のデータの違いに注目

Mixed Metalとは貿易統計上鉄くずとして扱われるものだが様々なものが入っている: 雑品

品目の定義や、税率の違いなどから同じものが違う名前を通関する

雜品

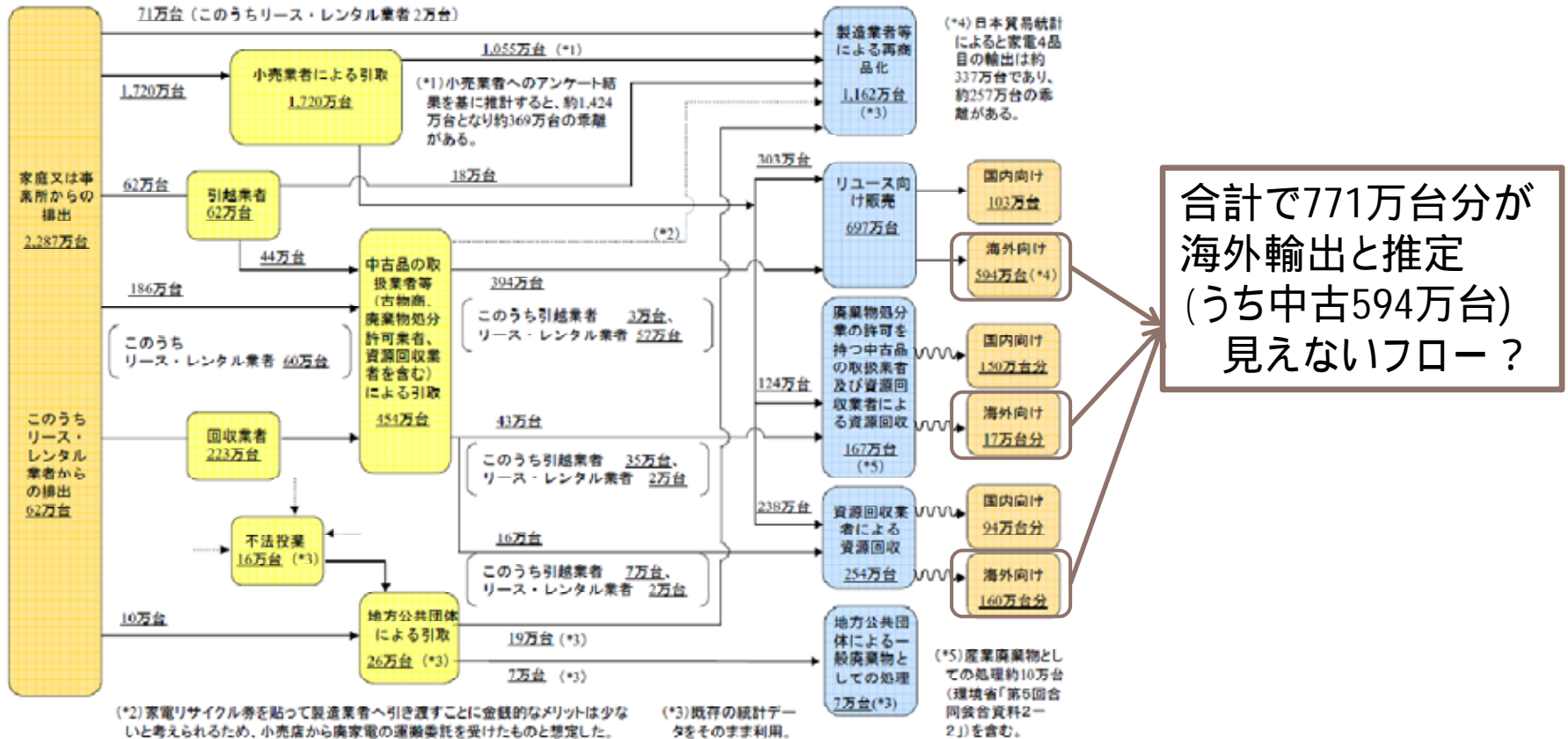


E-waste ?

「E-waste」とは、テレビ、コンピューター、エアコン、冷蔵庫、携帯電話などの電気電子機器から生じる廃棄物で、これらの製品には、鉛、カドミウム、水銀などの有害物質が含まれていることから、その適正処理が重要となっています。(平成18年版 循環白書から)



e-wasteの国際資源循環の現状



中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会家電リサイクル制度評価検討小委員会、
産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会電気・電子機器リサイクルWG
合同会合 (第5回) 議事要旨・資料2-1

E-wasteの貿易の懸念：有害性

▶ 電気電子機器には多くの有害物質が含まれている

▶ 鉛、カドミウム、水銀など

適正な処理が必要

「適正に処理」するための技術力が必要

必要とされるだけの技術力がない、もしくはあったとしても実行されない国へ輸出された場合

有害性が現実の問題となる

輸出した国に責任があるのか？

最低限、情報を開示する責任はあるのでは？

含有物質に関する情報を共有する動き



有害性に対する対応：バ - ゼル条約

有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約

Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal

- ▶ 1970年代：欧米諸国を中心に有害廃棄物の越境移動
- ▶ 1980年代：ヨーロッパ発の廃棄物がアフリカで放置されるなどの形で問題が顕在化

事前の連絡・協議なしに有害廃棄物が国境を越えて移動が行われ、結果として責任の所在も不明確であるという問題が指摘

- ▶ 1989年3月、スイスのバーゼルにおいて条約が締結
 - ▶ **すべての有害廃棄物及び指定されるその他の廃棄物に関する越境移動を禁止するものではなく、その実施の際に輸入国側の同意を要求するというもの**
-



有害性と越境移動のポジティブな活用？

適正処理困難物の先進国への輸入

- ▶ 適正処理技術を持たない国から、処理可能な国への輸出は、適切に管理され実施される限りにおいては望ましい

法制度側の受け入れ態勢の整備が必要不可欠

- ▶ 昨今の3Rの議論を見ているにこれが進む余地は十分にあると考えられる

いけないことばかりではなく積極的な活用も必要



E-waste(と金属スクラップ)の貿易の懸念： 資源性の損失

- ▶ 電気電子機器には価値の高い資源、貴金属や希少資源などが多く含まれている

国としての問題：気がつかないうちに含まれている貴重な**資源を流出**させてしまっている。

リサイクルするためには非常に高い技術力が要求される
リサイクルしやすいものばかりがリサイクルされる

グローバルな問題：多くの国へE-wasteを拡散させてしまったために、リサイクルさせにくくなる(資源の**散逸**)

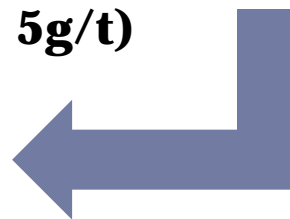
濃度が高いことは資源であるための必要条件





天然の金鉱石

菱刈鉱山は7.5 t /年の金を産出し, その品位は高く, 45 g/t (0.0045%) で世界最高クラス。(世界平均は3 ~ 5g/t)



例えばパソコンのマザーボードの場合、ものにもよるが0.2%くらいの金含有量がある



E-waste=人口の金鉱石？

中古だとどうなるのか？

中古貿易に関する対応：

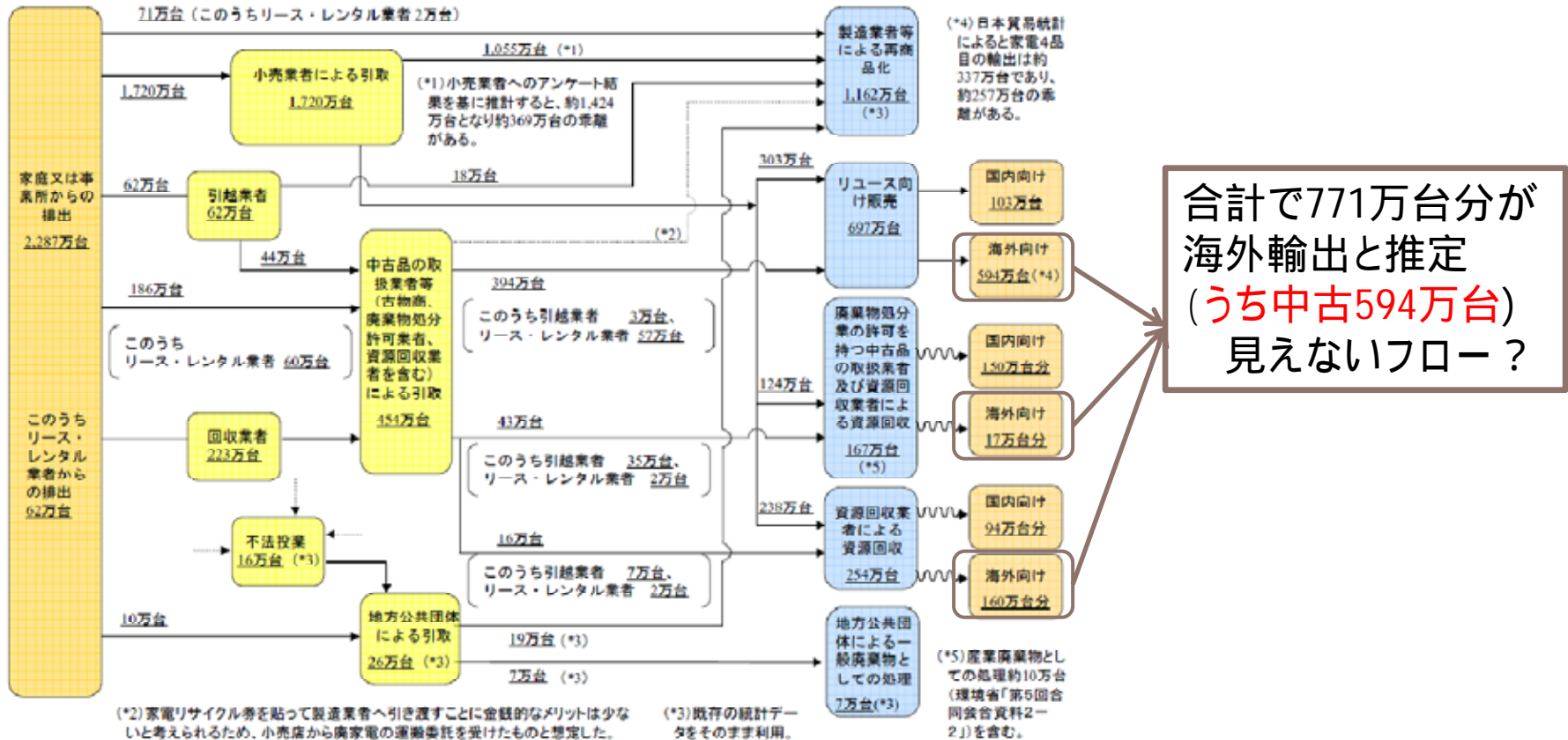
貿易相手国における輸入禁止措置など

- ▶ E-waste関連では：中国(禁止)、ベトナム(禁止)、台湾(禁止)、タイ(規制)

例) タイの場合

タイの中古家電輸入規制は、2003年9月にDepartment of Industrial Works(DIW)より発布された。同規制の対象は、中国などの場合と同様にパソコンやテレビなど家電製品や部品など29品目である。しかし、販売・リユース目的の場合、製造日から3年を超える中古電子・電気機器(コピー機は5年)を輸入禁止し、また、分別・リサイクル目的の場合は、経済的に価値があること、DIW登録工場が処理可能であること、バーゼル条約の加盟国からの輸入であることなどの一定の条件下で輸入を認めている。

e-wasteの国際資源循環の現状(再掲)



中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会家電リサイクル制度評価検討小委員会、
 産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会電気・電子機器リサイクルWG
 合同会合(第5回)議事要旨・資料2-1

中古品に関する問題

- ▶ **製品保証の問題 (EPRとの関連もあり)**
 - ▶ 故障がおきたときの修理対応はどうするのか
 - ▶ 誰かが勝手に再生製品を作った場合(二つの壊れたテレビから一つのテレビを作った)どう対応するのか
- ▶ **例えば日本からの輸出の場合、日本語の取説が付いていても読めない メチャクチャな使い方?**
 - ▶ エアコンの室内機と室外機を正しくない組み合わせで使い爆発した、などの事例がある
- ▶ **PCなどの場合はソフトウェアなどコンテンツの著作権、ライセンスなどに関わる問題**
- ▶ **上に近いが、内部に個人情報が残される可能性**



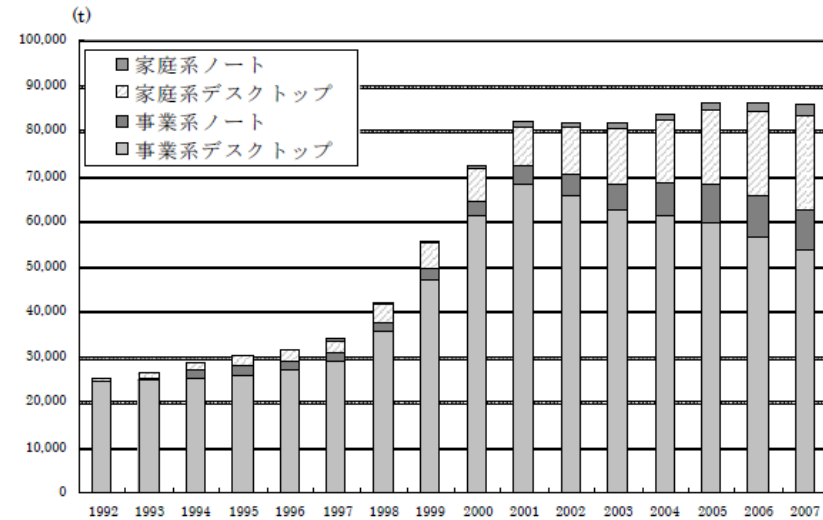
家電について

- ▶ 間違いなくかなりの量が流出している
- ▶ ただし、先ほどの約600万台は過大推計かもしれない
 - ▶ 一つには発生した廃棄台数を過大推計している
 - ▶ 「中古」という名目で貿易されているものの実際にはリサイクル目的の雑品同然に輸出されている
 - ▶ 中古製品としてあれば廃棄物輸出に当たるおそれなくなるため
- ▶ 現地で相当の量が修理されている
 - ▶ 例えば、ベトナムなどの修理業者のスキルは非常に高い



PCについて

- ▶ 出荷台数はようやく横這い方向であるがノートPCの比率の上昇と、家庭向けの増加は見逃せない。
- ▶ PCの場合は家電よりも修理される可能性は高い。
 - ▶ 少なくともパーツリユースは容易
- ▶ また日本国内で使用されるパソコンのスペックは一般的にみて非常に高いものが多い
- ▶ ただし、ソフトについては日本語版のソフトは日本以外ではニーズがない。



出典: 電子情報技術産業協会

施行日	家庭用パソコン		事業用パソコン	
	2003年10月		2001年4月	
出荷台数 (1000台)	4710		7060	
排出台数 (A) ^a	DT	1260	DT	2820
	LT	840	LT	2550
メーカーのリサイクルシステムによる回収台数 (B) ^b	DT	84	DT	238
	LT	19	LT	131
回収率(B/A)	DT	6.7%	DT	8.5%
	LT	2.3%	LT	5.1%
平均使用年数(年) ^b	DT	8.4	5.8	
	LT	9.1		
平均使用年数(年) ^c			6.6	
			7.4	

a. PC3R センター, b. JEITA[2006], c. 小口ら[2006]

2004年の使用済みPCの処理フロー

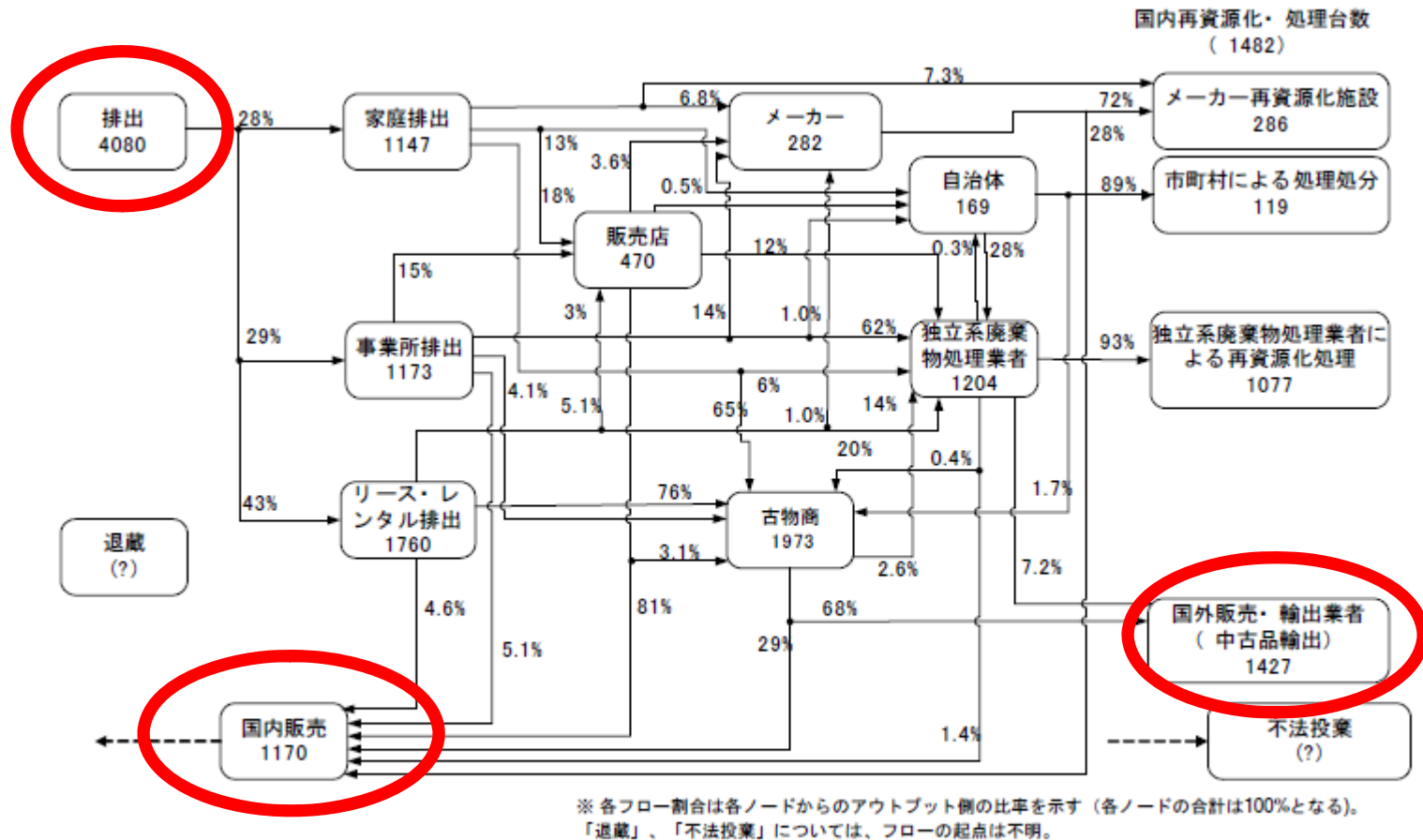


図 3.2.2(3) 家庭用 PC リサイクル法施行後における使用済みデスクトップパソコン (本体) のフロー推計結果 (2004 年: 単位 千台)

行った先でも循環する・・・



実線: 中古 PC, 点線: テレビなど中古家電
 図 3.5.3 中古電子電気機器のフロー



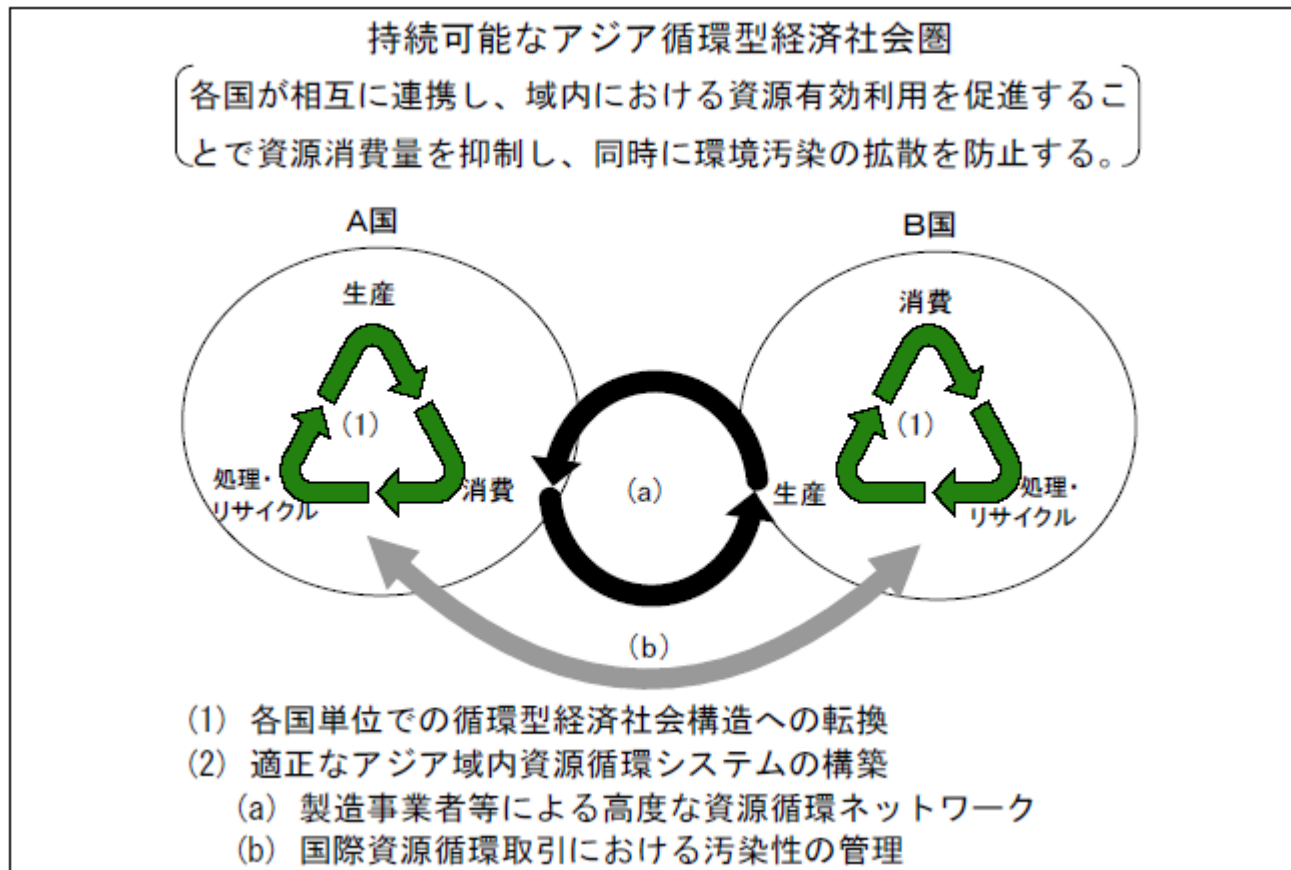
実線: 基板
 図 3.5.4 基板のフロー

e-wasteの国際資源循環にみる今後の3Rの課題

- ▶ 3Rの原則はリデュース>リユース>リサイクルという優先順位を置いた
- ▶ ただし、リユースが問題なく機能することは非常に難しい
 - ▶ 例えば、リユースは国内のみとするのか
 - ▶ しかし日本に限って言えば、リサイクルにたいする高い技術力にこそ、効率の高い資源利用に向けたアドバンテージを持っているのではないのか?
- ▶ 個別リサイクル法が国内に存在するものは注意して観察しているが、それ以外のものはどうなのか?
 - ▶ 携帯電話、オーディオ機器、ビデオデッキなども多く輸出されていると言われているが……



望ましい国際資源循環のありかたの一例



産業構造審議会 環境部会廃棄物・リサイクル小委員会
国際資源循環ワーキング・グループ 報告書から

近未来的に考えられるシナリオ

- ▶ 中国(をはじめとする現在の輸入国)において、国内発生スクラップの量が大きくなる
 - ▶ すべてのスクラップに影響あり？
- ▶ 現地における環境規制が厳しくなることで、現在の低廉な人件費、ゆるめの環境規制だからこそ出来た低コストのリサイクルが成り立たなくなる
 - ▶ e-wasteなどの解体、リユースの部分が大きいリサイクルに影響あり
 - ▶ 天然資源も基本的に同じ
- ▶ 現地での需要が高級素材にシフトすることでスクラップへの需要が減少する
 - ▶ 鉄スクラップ、PETボトルなど
 - ▶ 水平リサイクルはやはり好ましい、と言う議論へ



近未来的に考えられる積極的なシナリオ

- ▶ RtoS (Reserve to Stock) : 今リサイクルできないならためておく 廃棄物関連規制の壁
 - ▶ この場合も「質の良いストック」でなければならない。この場合はストックを潜在的な循環資源として捉えているので価値の高い物質を多く含みリサイクルの容易なものをためるべきとなる(現状を考えれば決して鉄くずは対象ではない)
- ▶ 途上国における処理困難物を持ち帰り国内処理する
 - ▶ 3Rではないかもしれないが、多くの経験と高い技術力を持つ日本の廃棄物処理サービスの輸出、と考えればよい

