

資源循環技術・システム～50年の歩み～

産業環境管理協会
3R先進事例発表会・特別講演
2024年10月16日 @ 機械振興会館ホール

早稲田大学・名誉教授 大和田 秀二

日本の廃棄物対策・資源循環, 100年

資源循環の歩み, 100年間, 「日本の廃棄物処理の歴史と現状, 2014, 環境省」等参照

「公衆衛生向上」の時代

近代化以降の状況(1800年代後半～1900年代前半)

廃棄物の増加→不法投棄・不衛生化(伝染病・虎狼狸等)→1900年「汚物掃除法」制定。「なるべく燃やすべし。」

戦後(1945年～1950年代)

ごみの河川・海洋への投棄や野積み→1954年「廃掃法」制定(市町村義務化)→収集作業の機械化

ただし, 技術・財政・運営面の体制不十分

「公害問題と生活環境保全」の時代

高度成長期(1960年代～1970年代)

大量生産・大量消費型の経済構造→廃棄物の急速増加・多様化→空地・道路・下線への不法投棄→大気汚染・公害問題→1967年「公害対策基本法」・1968年「大気汚染防止法」・1970年「水質汚濁防止法」制定, 1970年「廃掃法」→「廃棄物処理法」(国と地方の連携強化, 一廃の市町村責任・産廃の排出者責任の明確化)

「循環型社会構想」の時代

高度成長期～バブル期(1980年代～1990年代前半)

バブル景気による質・量, 両面での廃棄物問題の拡大→最終処分場の逼迫→豊島・ダイオキシン問題

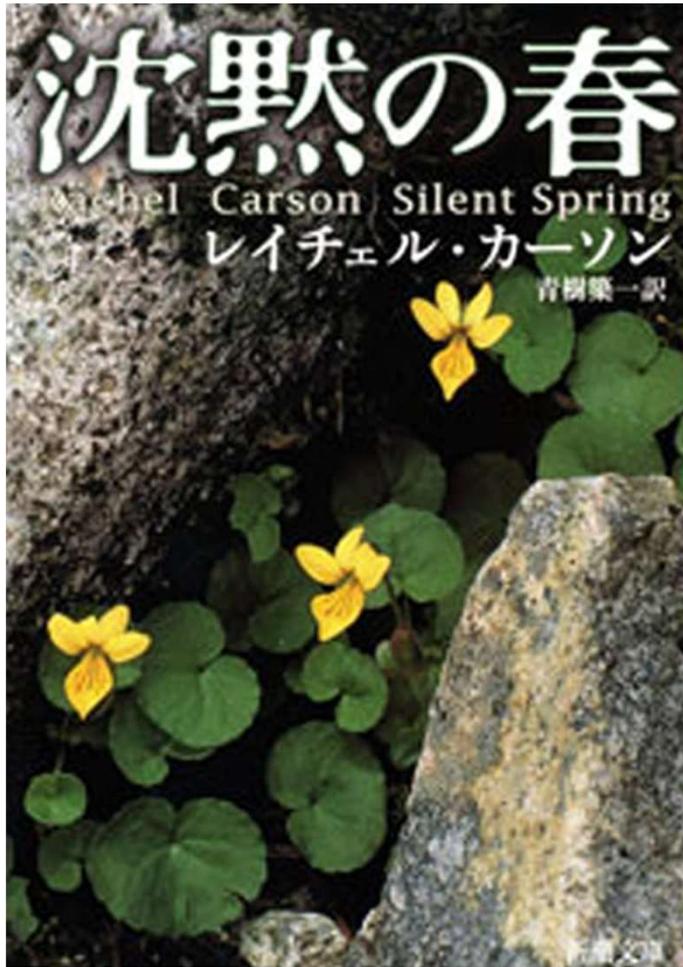
1990年代～2000年代

大量生産・大量消費・大量廃棄からの脱却→2000年「循環型社会形成推進基本法」「グリーン購入法」制定(3Rと適正処分による循環型社会形成を推進, 容器方法・家電・食品・建設・自動車・小型家電の個別法制定)

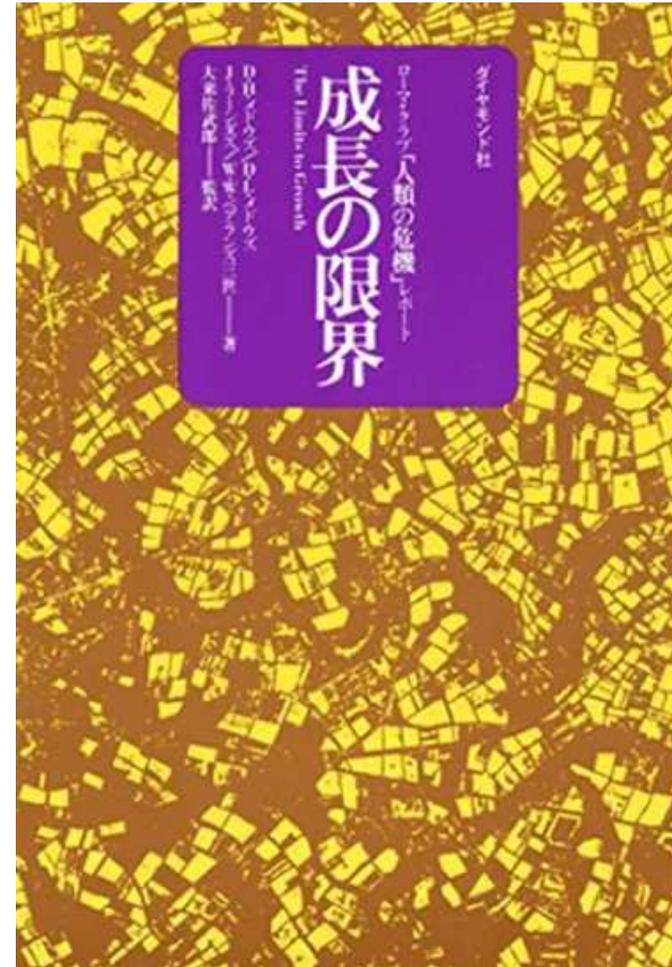
「循環経済構想」の時代

2010年代～現在

CE・CN実現のための社会構造の変革を推進→2024年「再資源化事業等高度化法」制定→資源循環バリューネットワーク全体の変革の推進



“SILENT SPRING”
1962



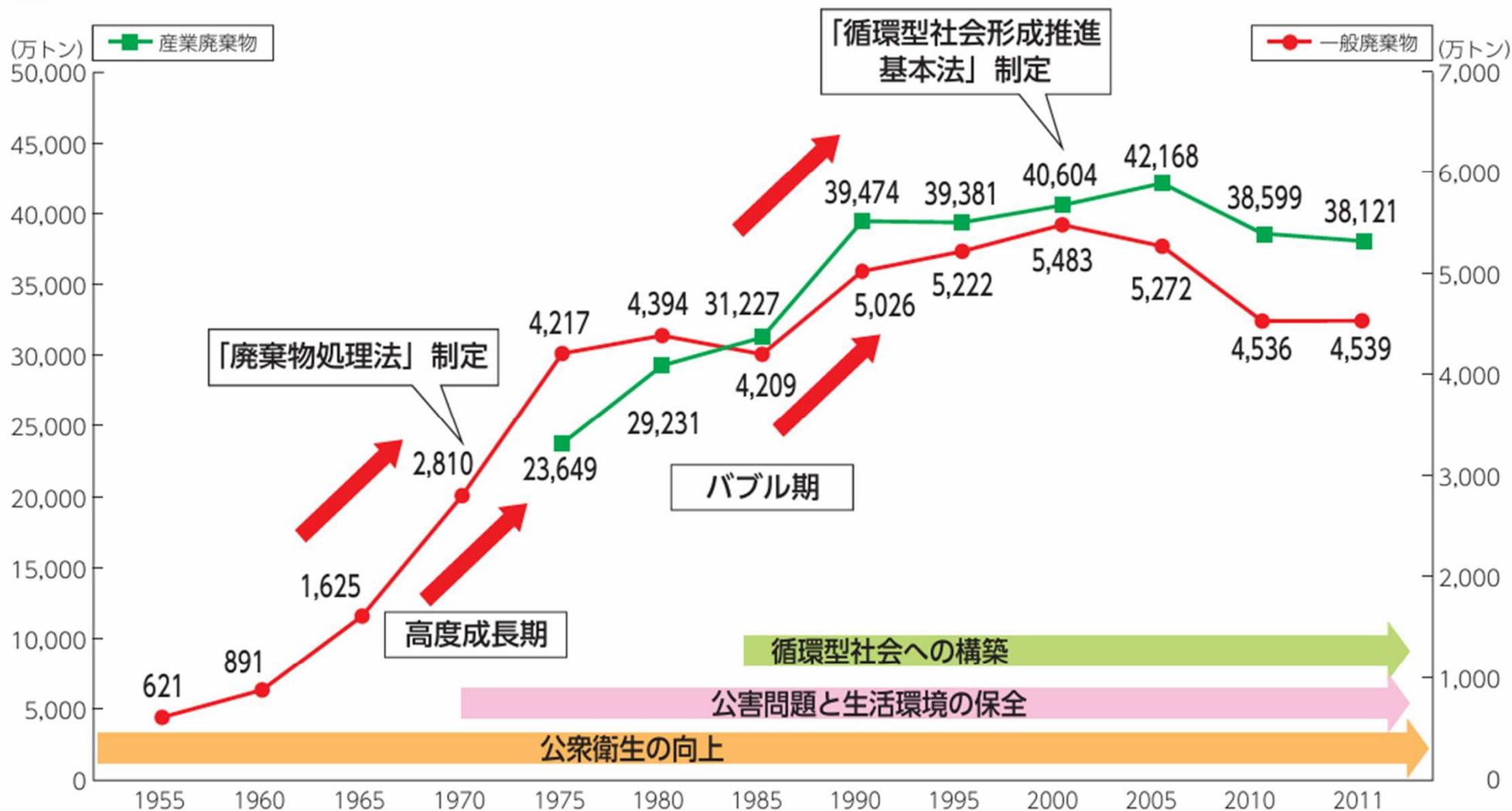
“THE LIMITS TO GROWTH”
1972

図4-2-1 廃棄物処理・3Rの進展

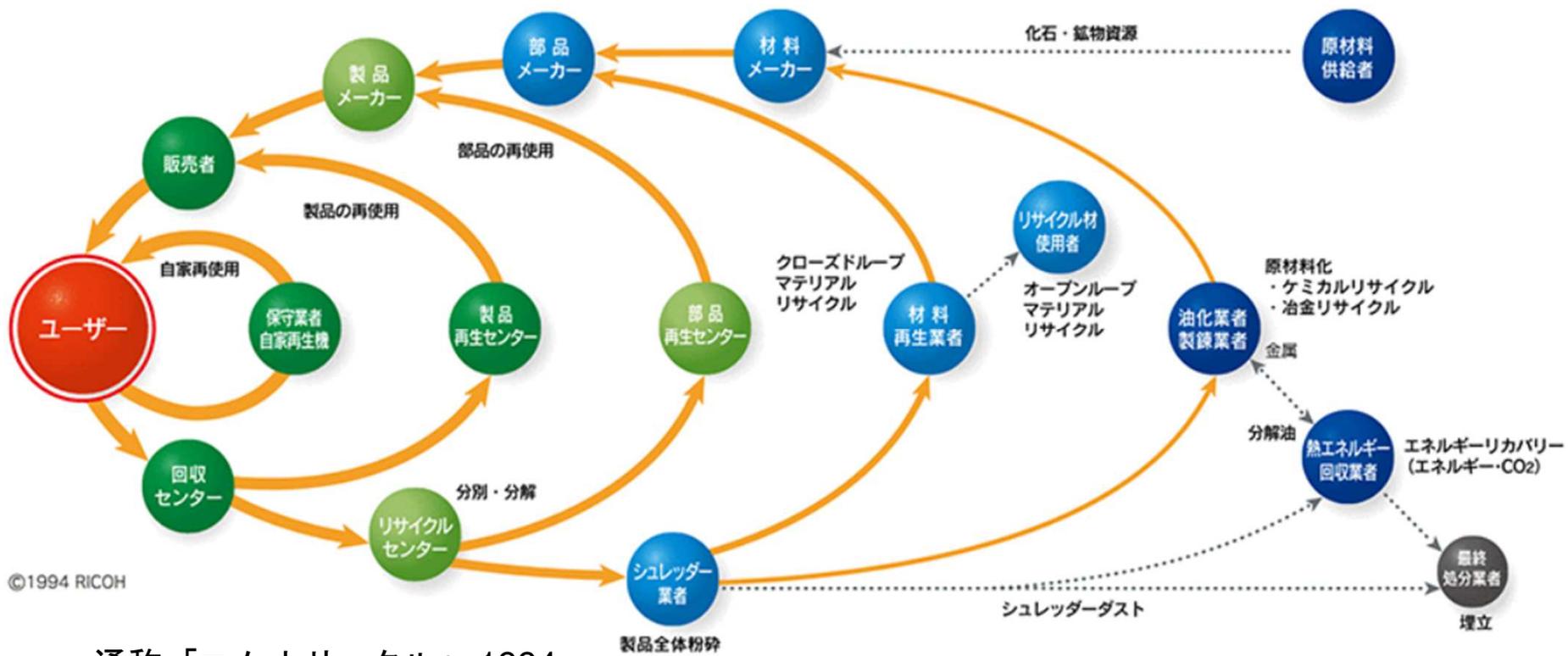
関連法・政策の整備	組織の変遷	技術的な変遷
1954 清掃法		
1967 公害対策基本法		
1970 廃棄物処理法 (排出事業者責任の導入)	1971 環境庁設置 1972 イタイイタイ病・水俣病判決	衛生面の向上
1976 廃棄物処理法改正 (事業者の産業廃棄物の処理責任を明記)		有害物質対策
1991 廃棄物処理法改正 (廃棄物の排出抑制・再生利用)		
再生資源利用促進法		
1995 容器包装リサイクル法		リサイクル
1997 廃棄物処理法改正 (不法投棄対策等)		
1998 家電リサイクル法		
2000 建設リサイクル法		
循環型社会形成推進基本法		
資源有効利用促進法		
食品リサイクル法		
2001 PCB特別措置法	2001 環境省設置	
2002 自動車リサイクル法	(廃棄物行政を環境省に移管)	リデュース・リユース
2003 循環型社会推進基本計画		
2013 小型家電リサイクル法		

資料：環境省

■ 廃棄物総排出量の推移

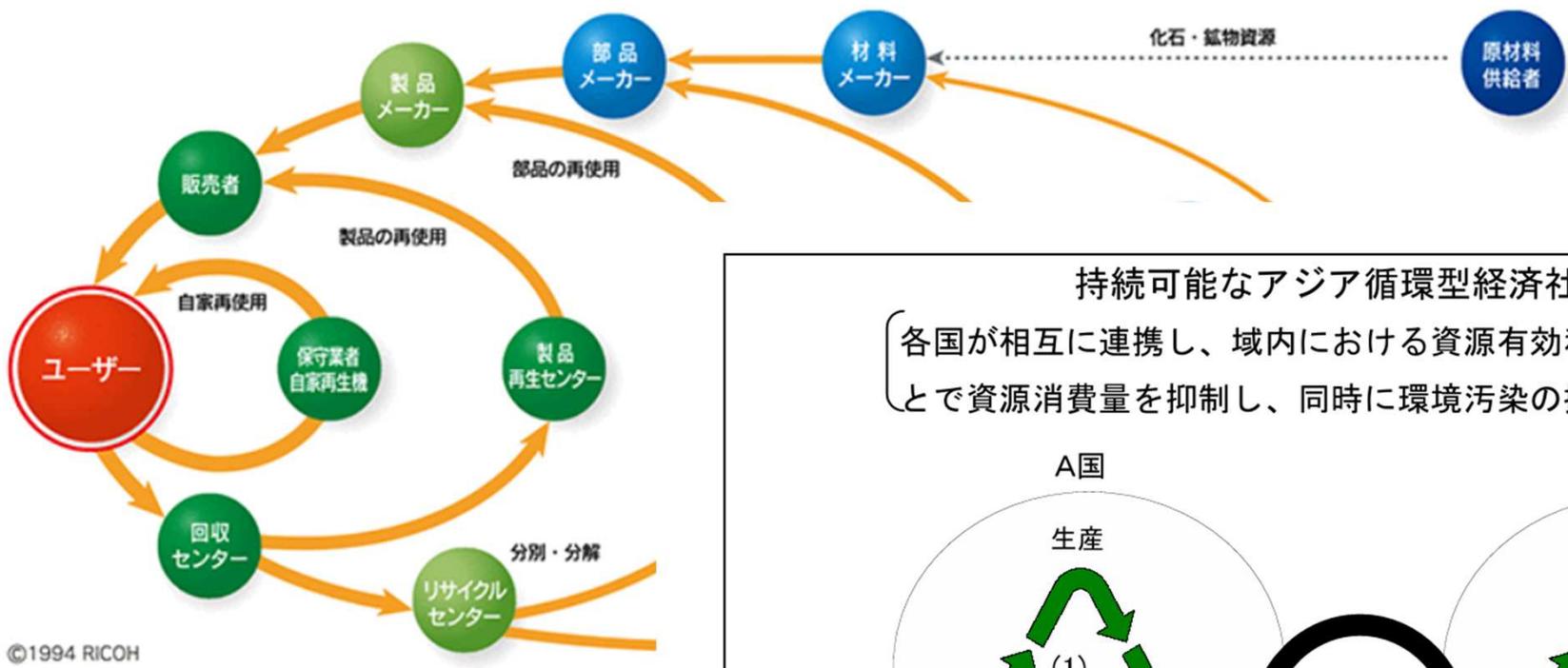


出典：「日本の廃棄物処理」、「産業廃棄物排出・処理状況調査」（各年度版）環境省より作成

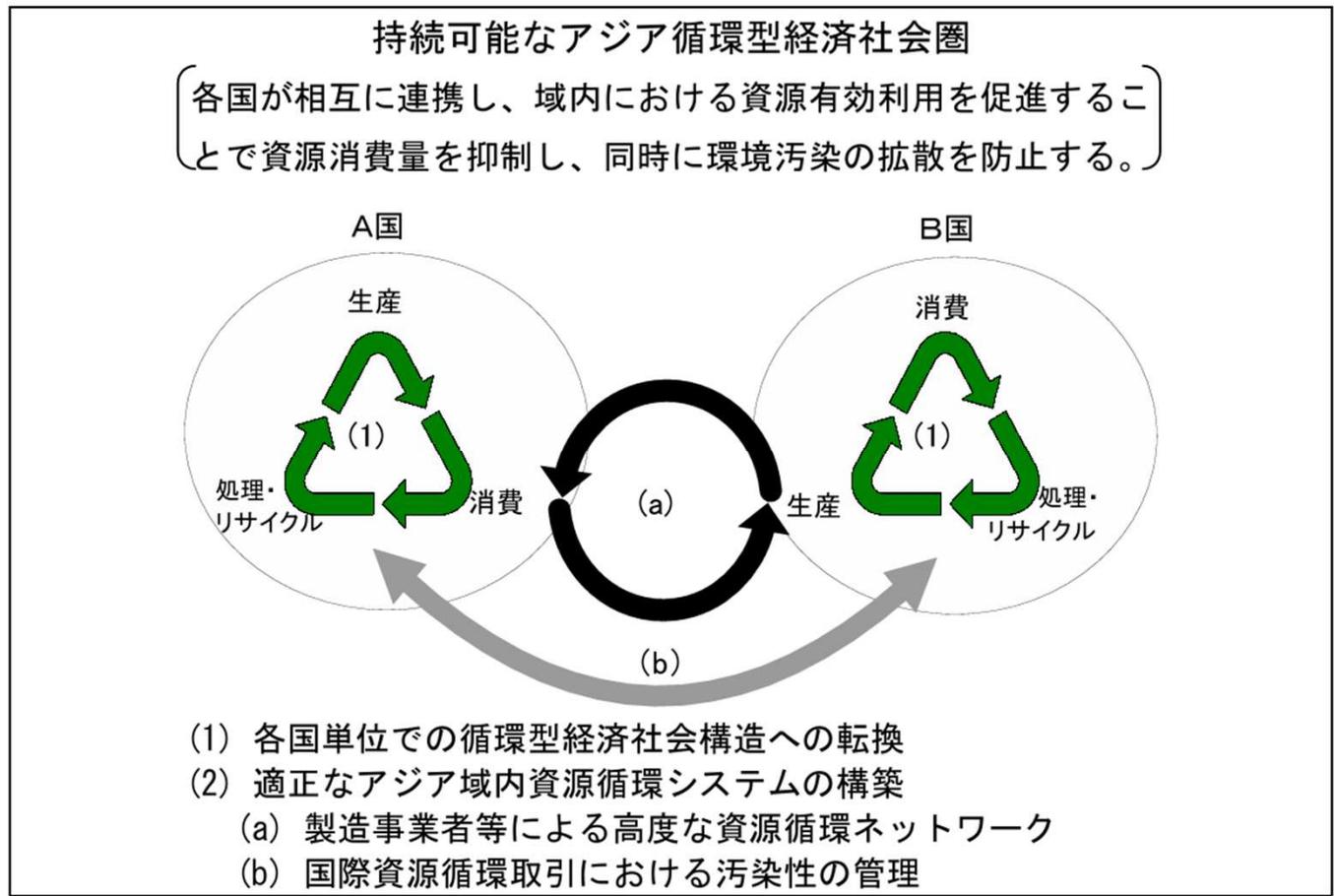


©1994 RICOH

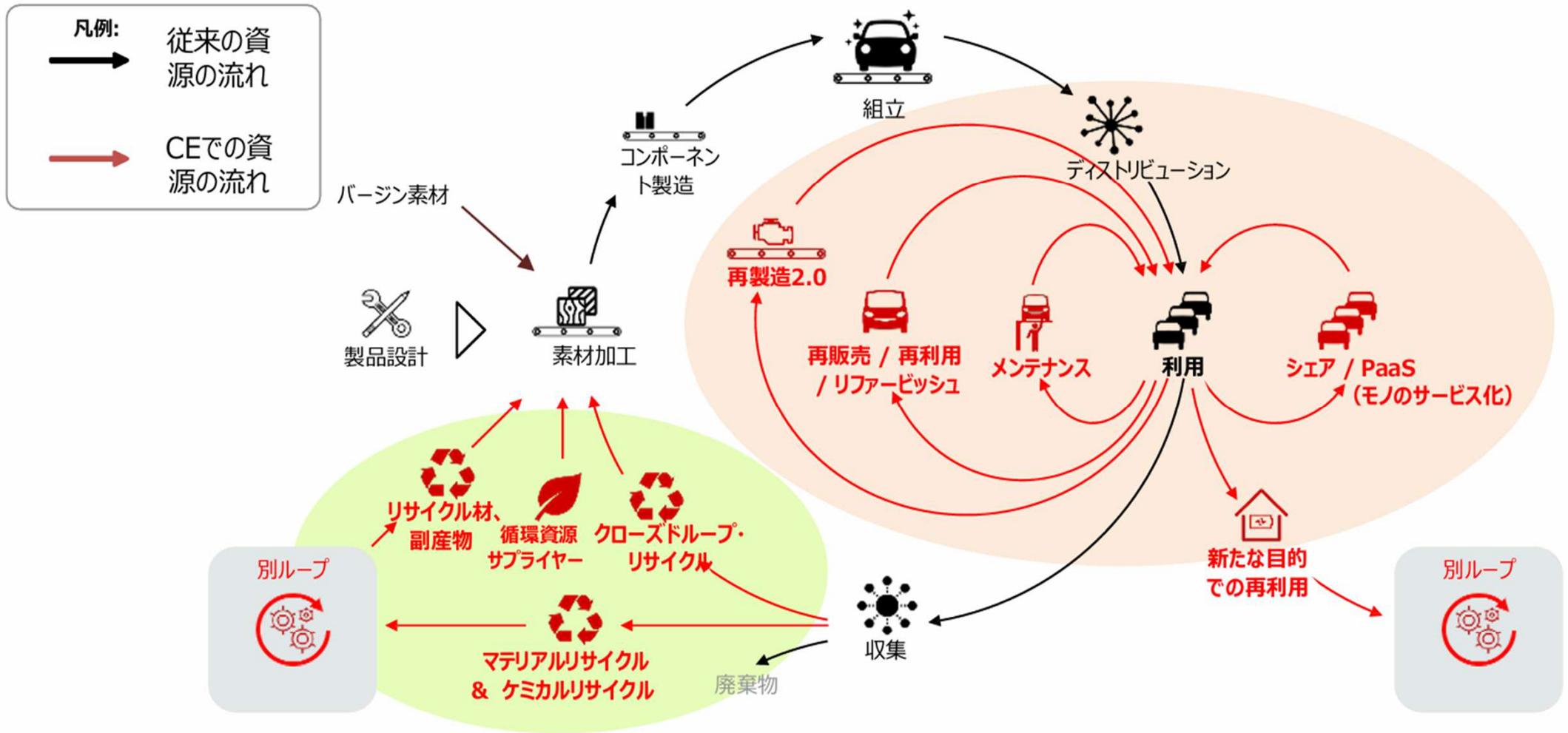
通称・「コミットサークル」, 1994



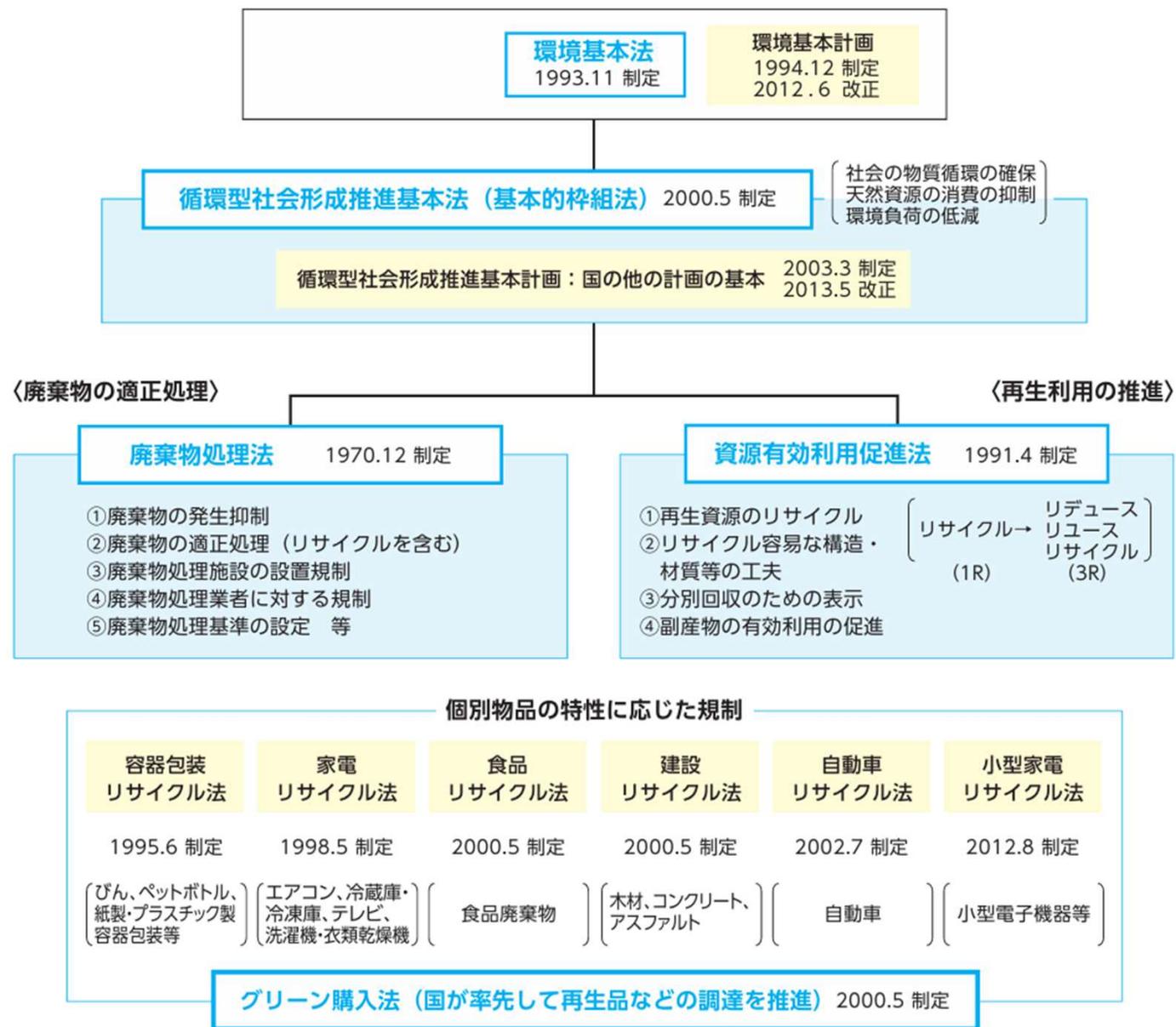
通称・「コメットサークル」, 1994



通称・「ピエロネットワーク」, 2004



「成長志向型の資源自律経済」, 2023

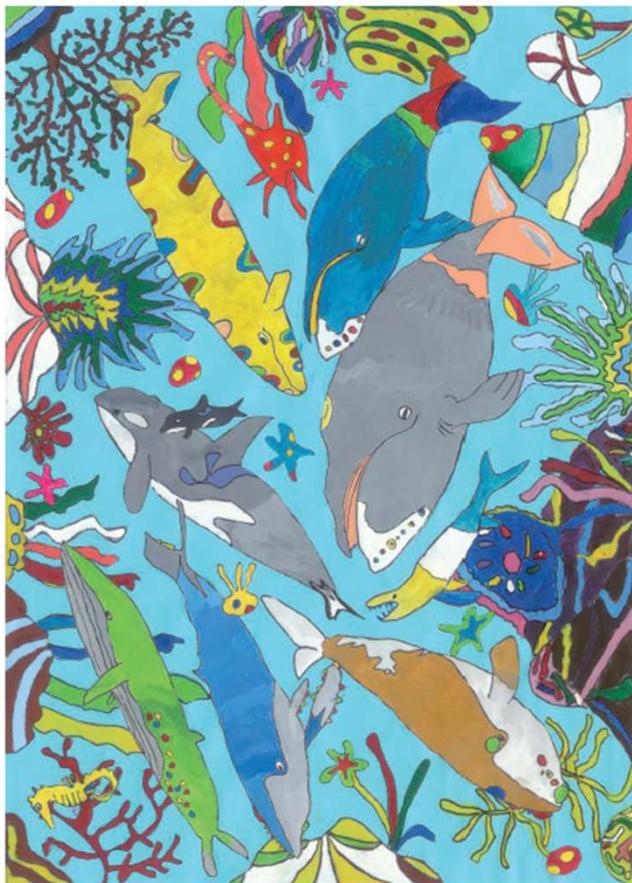


令和6年版

環境白書



循環型社会白書／生物多様性白書



自然資本充実と環境価値を通じた「新たな成長」による
「ウェルビーイング／高い生活の質」の充実
～第六次環境基本計画を踏まえ～

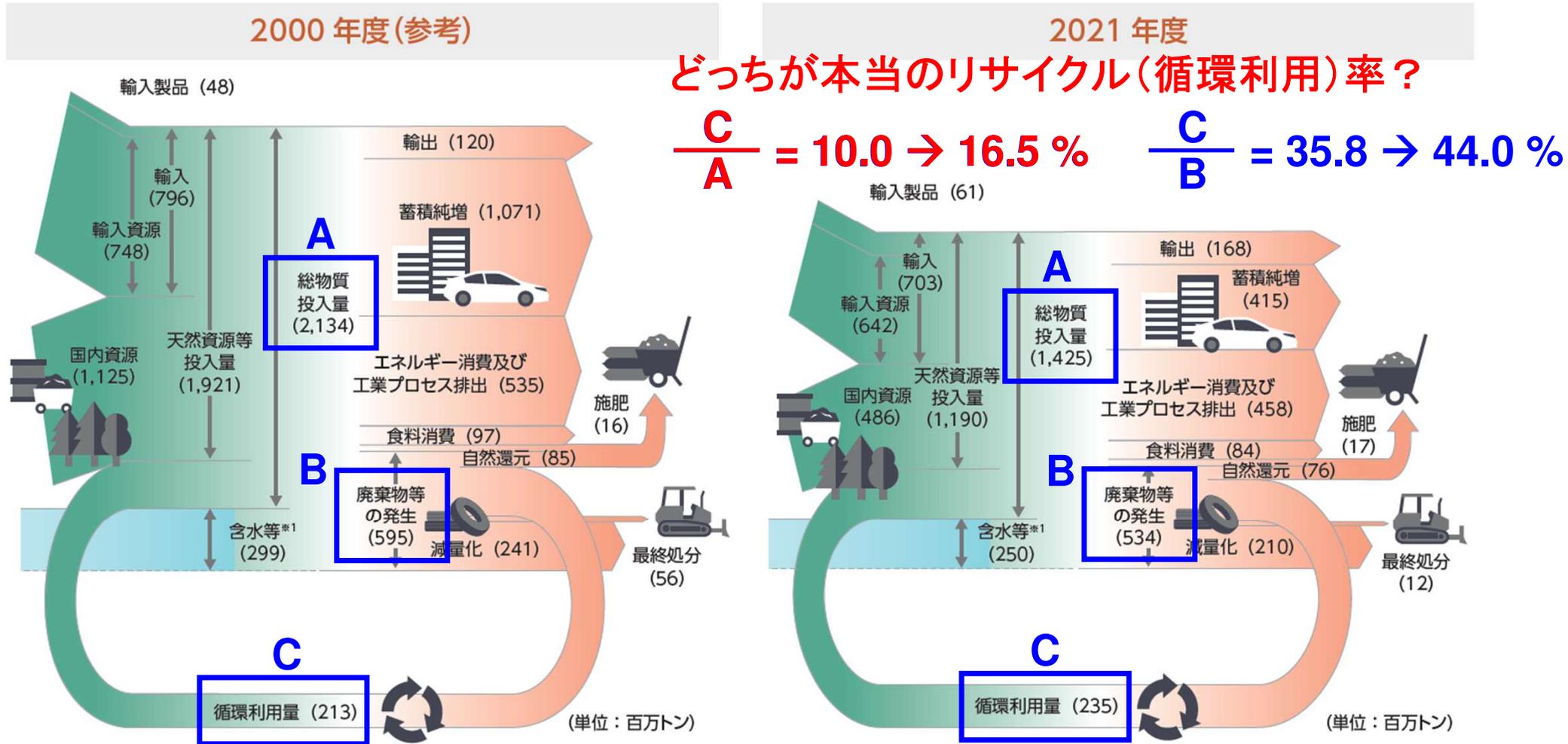
2023/24

環境関連白書の沿革

- 1969(昭和44)年: 公害対策基本法(昭和42年法律第132号)に基づき, 昭和44年版「**公害白書**」として発表。**厚生省**発行。
- 1972(昭和47)年: 「公害白書」の名称を「**環境白書**」に変更。**環境庁**発行。
- 2001(平成13)年: 循環型社会形成推進基本法(平成12年法律第110号)に基づき「**循環型社会白書**」を公表。**環境省**発行。
- 2007(平成19)年: 「環境白書」・「循環型社会白書」を一冊にまとめた形で公表。
- 2009(平成21)年: 「環境白書」・「循環型社会白書」に加え, 生物多様性基本法(平成20年法律第58号)に基づき新たに作成することとなった「**生物多様性白書**」を一冊にまとめて公表。

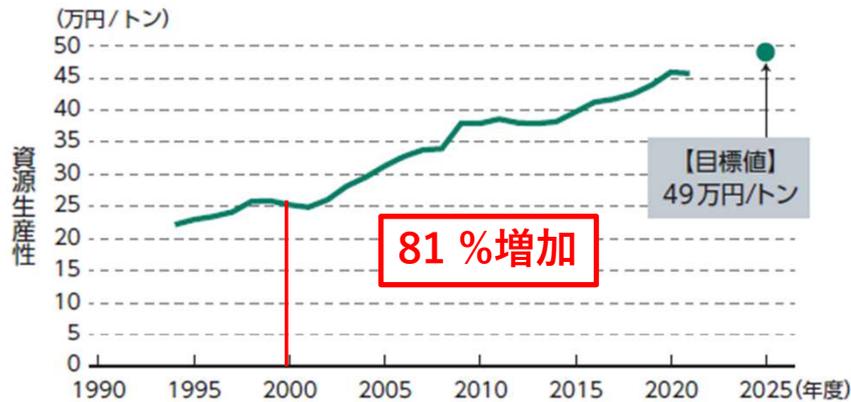
環境省HP: https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/past_index.html

図3-1-1 我が国における物質フロー（2021年度）



注：含水等：廃棄物等の含水等（汚泥、家畜ふん尿、し尿、廃酸、廃アルカリ）及び経済活動に伴う土砂等の随伴投入（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

図3-1-2 資源生産性の推移



資料：環境省

(資源生産性 = GDP / 天然資源等投入量)

図3-1-3 入口側の循環利用率の推移



※：推計方法の見直しを行ったため、2016年度以降の数値は2015年度以前の推計方法と異なる。

資料：環境省

□ : 2000年比

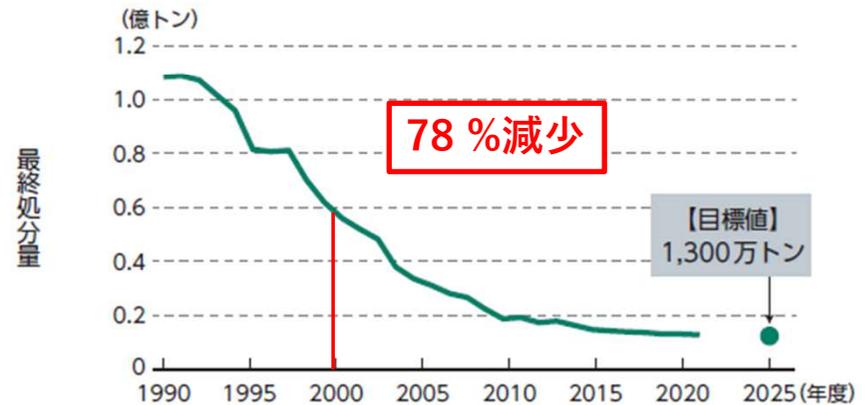
図3-1-4 出口側の循環利用率の推移



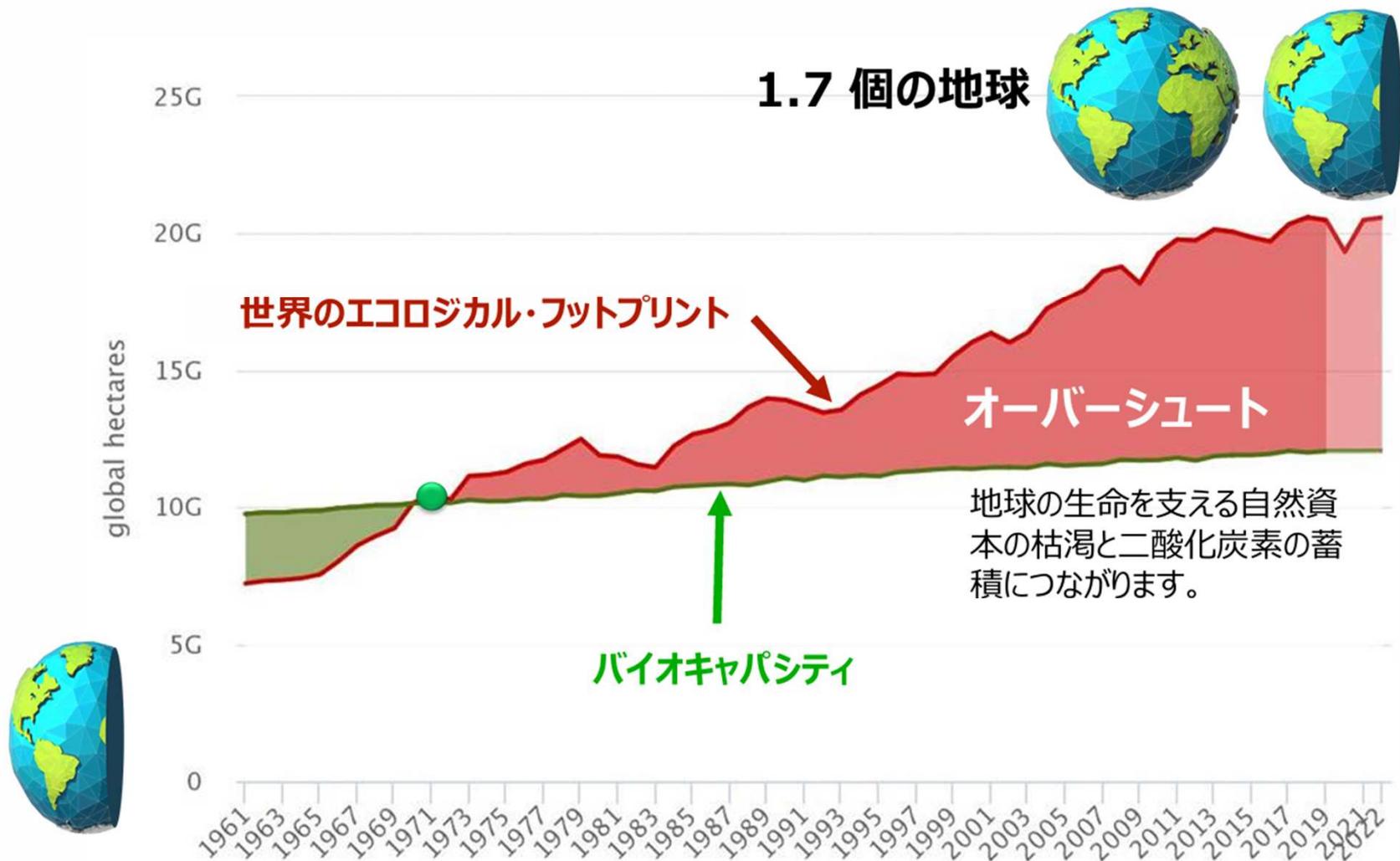
※：推計方法の見直しを行ったため、2016年度以降の数値は2015年度以前の推計方法と異なる。

資料：環境省

図3-1-5 最終処分量の推移



資料：環境省



Source: National Footprint and Biocapacity Accounts 2023

Ecological Footprintの推移

資源循環技術・システム表彰, 50年

資源循環技術・システム表彰の沿革

1975(昭和50)～2011(平成23)年度：財団法人**クリーン・ジャパン・センター**
2012(平成24)年度～：一般社団法人**産業環境管理協会**

1975(昭和50)年度～1993(平成5)年度：「**再資源化貢献企業表彰**」
1994(平成6)年度～1998(平成10)年度：「**再資源化開発事業等表彰**」
1999(平成11)年度～2024(令和6)年度：「**資源循環技術・システム表彰**」

～2001(平成13)年度：**大臣賞, 局長賞, 会長賞のみ**

(通商産業大臣賞(1999年度), 経済産業大臣賞(2000年度以降), (立地公害局長賞(～1992年度), 環境立地局長賞(1993～1999年度), 産業技術環境局長賞(2000～2023年度), 脱炭素成長型経済構造移行推進審議官賞(2024年))

2002(平成14)年度：**奨励賞**を開始

2013(平成25)年度：**レアメタルリサイクル賞**を開始

2016(平成28)年度：**コラボレーション賞**を開始(会長賞, 奨励賞との重賞あるいは単独受賞)

クリーン・ジャパン・センターにおいて、当初より廃棄物はゴミではなく資源であるとの考えのもと、各種の調査研究、啓発普及、情報収集提供事業を実施していくなか、当該事業を継続的に実施。

審査委員

1981(昭和56)年度

(順不同, 敬称略, 所属機関・役職は当時)

- 委員長 高城元 財団法人クリーン・ジャパン・センター
理事長
- 委員 角南立 通商産業省 立地公害局 公害防止
企画課長
- 委員 芦田誠二 工業技術院 公害資源研究所長
- 委員 後藤典弘 国立公害研究所 総合解析部 主任
研究官
- 委員 本多淳裕 大阪市立環境科学研究所 衛生工学
課長
- 委員 平岡正勝 京都大学 衛生工学教室教授
- 委員 石丸罔雄 東京農業大学 教授
- 委員 緒方雅彦 公害防止事業団 業務担当理事
- 委員 佐々木敏 日本商工会議所 専務理事
- 委員 奥原時蔵 社団法人経済団体連合会 専務理事
- 委員 村松寿 社団法人日本産業機械工業会 専務
理事
- 委員 田口栄一 財団法人科学技術広報財団 理事

2024(令和6)年度

(順不同, 敬称略)

- 委員長 中村崇 東北大学 名誉教授
- 委員 大和田秀二 早稲田大学 名誉教授
- 委員 岡部徹 東京大学 生産技術研究所 教授
- 委員 加茂徹 早稲田大学 ナノ・ライフ創新研究
機構 ナノプロセス研究所 上級研究
員(研究院教授)
- 委員 貫上佳則 大阪公立大学大学院工学研究科
都市系専攻 教授
- 委員 木村文彦 東京大学 名誉教授
- 委員 小林幹男 産業技術総合研究所 名誉リサー
チャー
- 委員 四家豊彦 一般社団法人日本化学工業協会
環境安全部 部長
- 委員 高岡昌輝 京都大学大学院 工学研究科 都市
環境工学専攻 環境デザイン工学
教授
- 委員 永山純弘 一般社団法人日本産業機械工業
会 事務局長
- 委員 平尾雅彦 東京大学 先端科学技術研究セン
ター 特任研究員

大臣賞受賞者リスト, 1975(昭和50)～2010(平成22)年度

受賞年度	企業名	受賞テーマ名	所在地
平成17	太平洋セメント株式会社 環境事業カンパニー	都市ごみのセメント資源化事業	東京都
平成17	株式会社 神戸製鋼所	回転炉床炉による製鉄所ダストFASTMETリサイクルプロセスの開発	兵庫県
平成16	JFEスチール株式会社	高炉におけるプラスチック再資源化技術	東京都
平成15	ソニーケミカル株式会社 根上事業所 東亜合成株式会社 名古屋工場	エッチング用塩化第二鉄使用済み溶液の循環システム	石川県
平成14	新日本製鐵株式会社 広畑製鐵所	冷鉄源溶解炉におけるタイヤチップ使用技術の確立	兵庫県
平成12	富士ゼロックス株式会社	複写機の部品リユースを主体とした資源循環型システム	東京都
平成10	株式会社日立製作所	日立製作所の製品アセスメントの取組	東京都
平成8	大石産業株式会社	パルプモールド製品の市場開発	福岡県
平成8	日本アイ・ビー・エム株式会社	日本アイ・ビー・エムにおける製品アセスメントへの取り組み	東京都
平成7	日本鋼管株式会社 鋼管鋳業株式会社 株式会社アイロックスエヌケーケー	高純度精製酸化鉄の開発と実用化事業	東京都
平成7	株式会社小松製作所	自走式破砕機(ガラパゴス)開発事業	東京都
平成6	株式会社リコー	リコー製品アセスメントとリサイクル対応設計推進事業	東京都
平成5	松下電器産業株式会社	製品アセスメントの取り組み	大阪府
平成4	トヨタ自動車株式会社	「TOYOTA5R活動」による廃棄物低減と再資源化	愛知県
平成3	花王株式会社	古紙の再生化のための脱墨剤の開発・製造・販売	東京都
昭和63	九州電力株式会社	石炭灰人工軽量骨材製造	福岡県
昭和61	日本鋼管株式会社 京浜製鐵所	再資源化総合処理システム	神奈川県
昭和60	株式会社荏原製作所	新しい堆肥化処理システム	東京都
昭和58	社団法人日本鉄鋼連盟 鉄鋼スラグ協会	鉄鋼スラグの再資源化	東京都
昭和57	住友金属工業株式会社	ソーダ灰脱硫スラグからのソーダ灰回収	茨城県
昭和56	新日本製鐵株式会社 株式会社鐵原 吉川工業株式会社	製鉄所ダスト類のコールドペレット式による完全利用	東京都

大臣賞受賞者リスト, 2011(平成23)～2024(令和6)年度

受賞年度	企業名	受賞テーマ名	所在地
令和6	花王株式会社	難処理PET廃材の有効利用	
令和6	旭化成ホームズ株式会社	LONGLIFEを実現する住宅事業	
令和3	パナソニック株式会社 アプライアンス社 キッチン空間事業部 パナソニック株式会社 アプライアンス社 製造革新本部 加東樹 脂循環工場 パナソニック株式会社 マニュファクチャリングイノベーション本部 パナソニックETソリューションズ株式会社	家電リサイクル樹脂の循環型サプライチェーン構築	滋賀県 兵庫県 大阪府
令和3	株式会社かんでんエンジニアリング	溶剤循環洗浄法による微量PCB汚染廃電気機器の処理及び金属リサイクルの実現	大阪府
令和元	東京エコリサイクル株式会社 日和サービス株式会社 NEOMAXエンジニアリング株式会社	レアアース磁石におけるサーキュラーエコノミーの推進	東京都 茨城県 群馬県
平成30	ブリヂストンBRM株式会社	使用済み(トラック・バス用)タイヤ再利用によるリユース事業	埼玉県
平成29	新日鐵住金株式会社 八幡製鐵所	合金鉄溶解炉による資源循環システムの構築	福岡県
平成28	味の素ゼネラルフーズ株式会社 東洋製罐株式会社 ペトリファインテクノロジー株式会社	ケミカルリサイクルによるPETボトルの循環利用	東京都 神奈川県
平成27	パナソニック株式会社 アプライアンス社 パナソニック株式会社 生産技術本部 パナソニックエコテクノロジーセンター株式会社	使用済み家電品廃棄混合樹脂からの樹脂循環リサイクル	滋賀県 大阪府 兵庫県
平成27	新日鐵住金株式会社 名古屋製鐵所	一貫製鐵所ゼロエミッション化技術の開発・実用化	愛知県
平成26	三池製錬株式会社	MF炉による溶融飛灰, 製鋼煙灰等の無害化処理とリサイクル	福岡県
平成26	株式会社東芝セミコンダクター&ストレージ社 四日市工場 旭硝子株式会社 千葉工場 オルガノ株式会社	フッ酸廃液からの人工蛍石の回収・リサイクル事業	三重県 千葉県 東京都
平成25	株式会社ハイパーサイクルシステムズ 株式会社グリーンサイクルシステムズ 三菱電機株式会社	家電から家電へのプラスチックの自己循環リサイクル	千葉県 東京都
平成23	ソニー株式会社	廃光学ディスクの家電製品への有効利用技術の開発	20 東京都

資源循環技術・システム表彰受賞事業の傾向

- 1975(昭和50)年当時の法律は、現在のような多岐にわたるリサイクルの法律や制度が確立しておらず、**廃掃法**が中心。
- 産業公害があり、「**3K: 汚い・暗い・臭い**」のイメージの企業と言われ、**心ある企業が自主的に収集・処理・処分業を独自に展開**。オイルショックや省資源・省エネルギー時代は**化石燃料の代替エネルギー源**としての利用も多かった。
- 当初の受賞は、**要素技術**(分別・破碎・選別・焼却・埋立等)や比較的量が多く出ている**鉄鋼廃棄物**(鉄鋼スラグ等)に関連した企業や、**廃家電や廃自動車**の処理に関するものが多かった。
- 現在は確立した法体系の中で、**製造メーカーが関連企業として再資源化設備等を設置**、あるいは廃棄物の収集・処理・処分業の**許認可を得た企業と連携**して再資源化事業を実施。
- 大量生産・大量廃棄に伴う**廃棄物最終処分場の逼迫によるリサイクルの強化**。その後、それぞれの世代・時代において課題となる廃棄物(**PETボトル・海洋プラスチック問題**等)の処理・処分に関するものが増えた。

1975(昭和50)年度～2024(令和6)年度の受賞件数

大臣賞： 36件

局長賞・審議官賞： 160件

会長賞： 406件(含・会長賞・コラボレーション賞2件)

奨励賞： 67件(含・奨励賞・コラボレーション賞6件)

レアメタルリサイクル賞： 22件

合計： 691件

資源循環技術・システムの今後，20年？

資源循環における 2 種類の分離技術

物理選別(固相分離)

化学分離(液相分離)

特徴

結晶構造を破壊せずに分離

結晶構造を破壊して分離

不均一系の分離(固体の分離)

均一系の分離(元素レベルの分離)

環境負荷

低(省物質・エネルギー的)

高(高物質・エネルギー消費的)

理論的背景

各操作に関する基礎理論のみ

各操作・イオンに対して理論あり

信頼性

低

高

有害物質

そのまま

無(有)害化の可能性

*「環境調和型分離システム」構築には、両者の効果的な組み合わせが必須。

資源循環における2種類の分離技術

物理選別(固相分離)

化学分離(液相分離)

特徴

結晶構造を破壊せずに分離

結晶構造を破壊して分離

不均一系の分離(固体の分離)

均一系の分離(元素レベルの分離)

環境負荷

低(省物質)

理論的背景

各操作に特

信頼性

低

有害物質

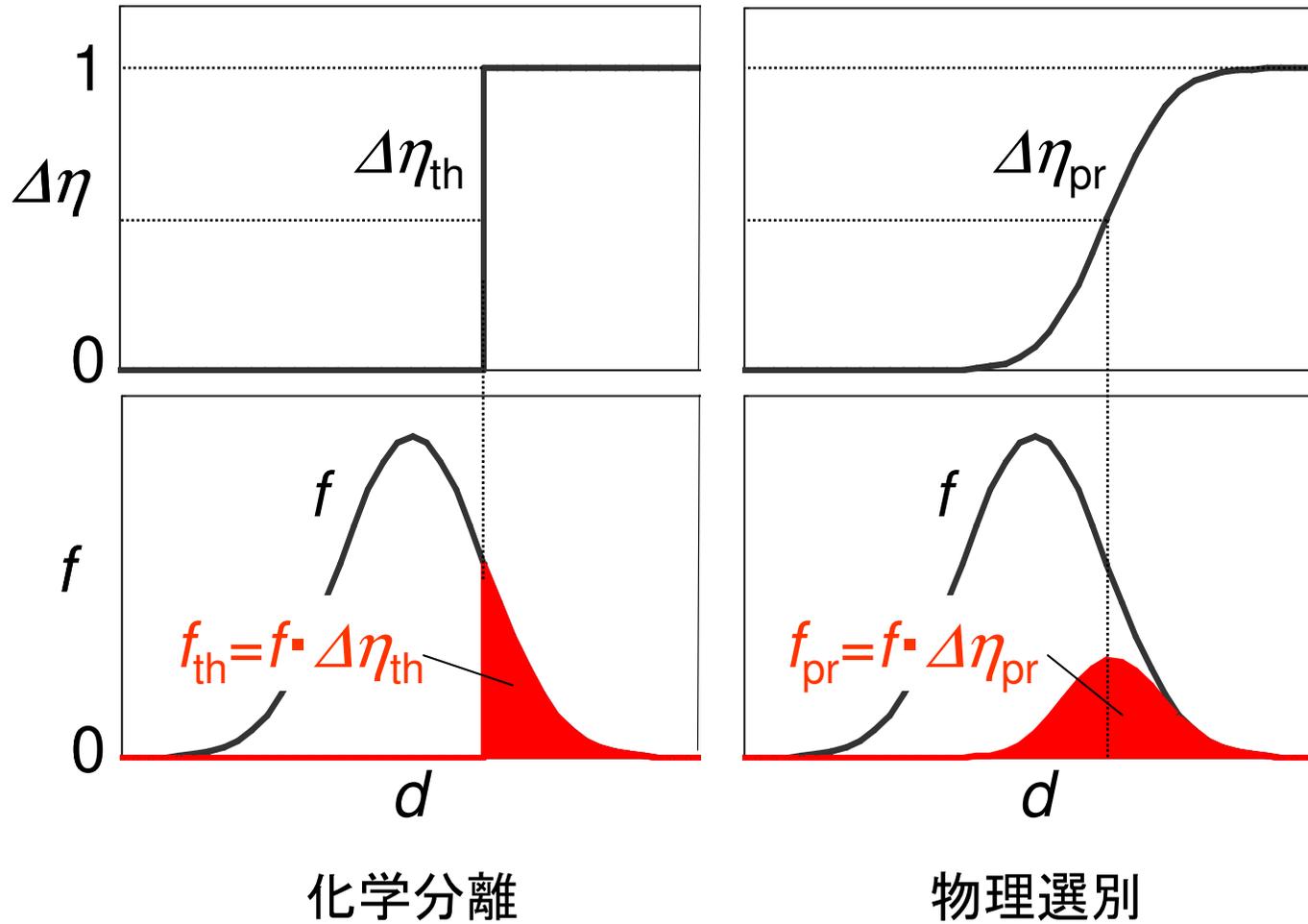
そのまま

無(有)害化の可能性

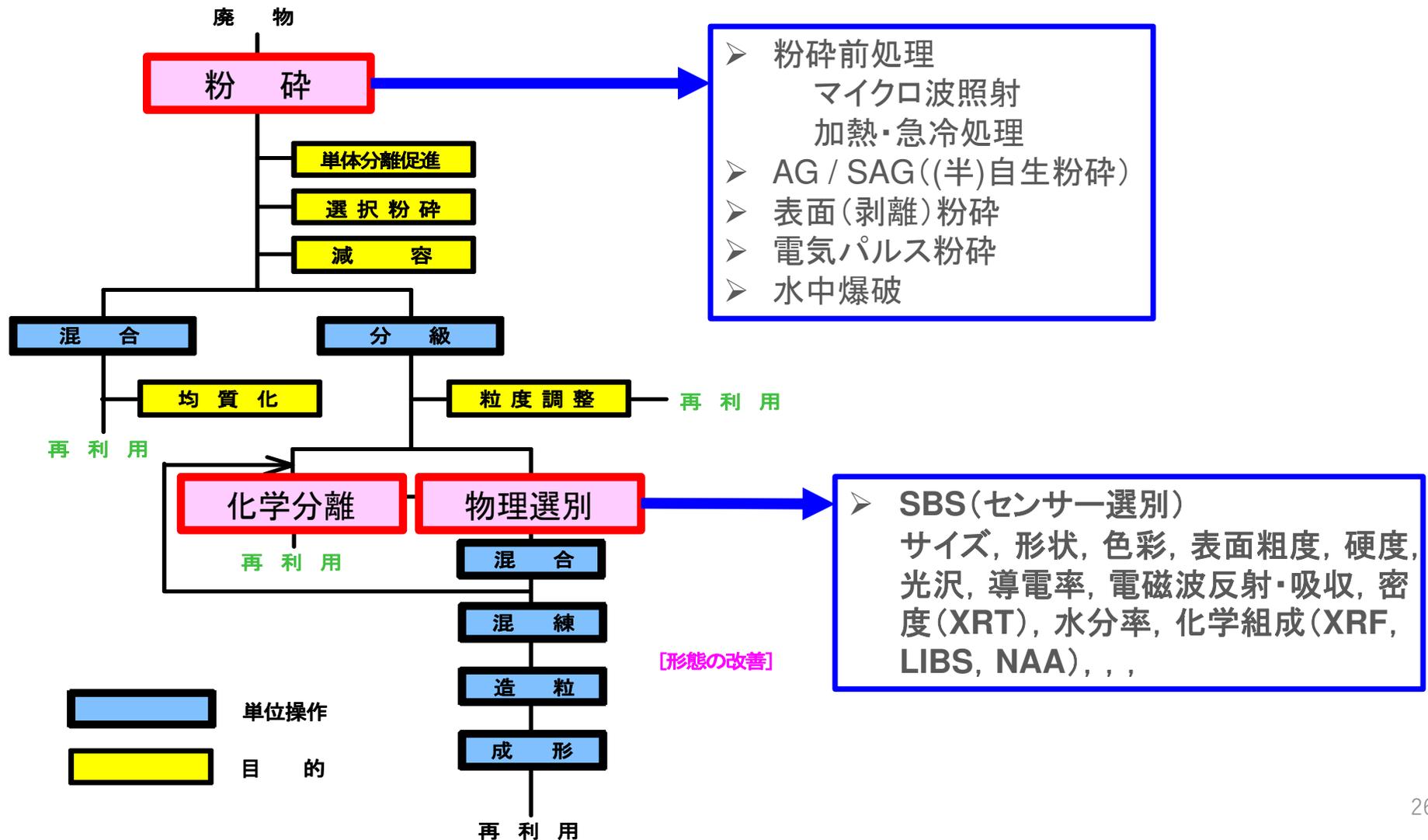
➤ シミュレーション・制御技術の進展
➤ 高度な非接触・遠隔固相センシング
システムの開発

*「環境調和型分離システム」構築には、両者の効果的な組み合わせが必須。

物理選別の分離効率



廃棄物処理の一般的技術フロー



破碎・選別技術の進展

破碎・粉碎技術の進展

従来型破碎機

ジョークラッシャ, ジャイレートリークラッシャ, コーンクラッシャ, (ロッドミル, ボールミル), 等

1960年代: 米国製シュレッダーの導入。その後, リンデマン等ドイツ製機および富士車輛等の国産機の導入され, 廃車を中心に廃棄物の大量処理が始まる。破碎物の磁選機+手選。

単体分離を主目的とする破碎機の登場

1960年: 電気パルス粉碎, SAGミル

1977年: HPGR

1980~1990年: クロスフローシュレッダー

1990年代: 自走式破碎機(ガラパゴス等)

2000年: パーツセパレーター

2012年: 世界初の「単体分離機」, ドイツ製“VERO Liberator”

2014年: オランダ製Smart Crusher

その後, 世界的にリサイクル用の特殊な破碎機が製造

物理選別技術の進展

選別法	発明時期
手選	創世期~
ふるい分け	紀元前 (BC 1 c, Plinius「博物誌」に記載あり)
比重選別 洗浄・樋流し ジグ選別 風力選別	紀元前~ 16 c 中世(農業にて)
磁選	1792年(特許Fullarton)
静電選別	1860年(Blake-Morschel型, Huff型)
浮選	1860年(特許・多油浮選)
渦電流選別	1969年(特許・Eriez Magnetics)
センサー選別 色彩選別 電磁選別 XRT選別 XRF選別 LIBS選別	1933年(イギリス) 1960~70年代 1980年代 1990年代 2015年(早大, その後Steinert, Austin AI, Tomra等)

破碎・選別技術の進展

破碎・粉碎技術の進展

従来型破碎機

ジョークラッシャ, ジャイレートリークラッシャ, コーンクラッシャ, (ロッドミル, ボールミル), 等

1960年代: 米国製シュレッダーの導入。その後, リンデマン等ドイツ製機および富士車輛等の国産機の導入され, 廃車を中心に廃棄物の大量処理が始まる。破碎物の磁選機+手選。

単体分離を主目的とする破碎機の登場

1960年: 電気パルス粉碎, SAGミル

1977年: HPGR

1980~1990年: クロスフローシュレッダー

1990年代: 自走式シュレッダー(バゴス等)

2000年: パーティクルフロー

2012年: 世界初の単体分離機, ドイツ製“VERO Liberator”

2014年: オランダ製Smart Crusher

その後, 世界的にリサイクル用の特殊な破碎機が製造

賢く壊す

物理選別技術の進展

選別法	発明時期
手選	創世期~
ふるい分け	紀元前 (BC 1 c, Plinius「博物誌」に記載あり)
比重選別 洗浄・樋流し ジグ選別 風力選別	紀元前~ 16 c 中世(農業にて)
磁選	1792年(特許Fullarton)
静電選別	1860年(Blake-Morschel型, Huff型)
浮選	1860年(特許・多油浮選)
渦電流選別	1969年(特許・Eriez Magnetics)
センサー選別 色彩選別 電磁選別 XRT選別 XRF選別 LIBS選別	1933年(イギリス) 1960~70年代 1990年代 2000年代(早大, その後Steinert, Austin Al, Tomra等)

賢く分ける

資源循環型社会の将来像, NEDO - 2017

- **2050年に動静脈が一体化**することを念頭に置く。
- **2030年には動静脈連携が強化**されていることが必要。
- そのためには**静脈産業の更なる高度化**が必要。
- **リサイクル原料の動脈産業での利用, DfR推進**のためには, それぞれ, リサイクル原料品質の, リサイクルプロセスの, **標準化・規格化**が必要。
- 収集→解体→破砕・粉砕→物理選別→化学分離 各工程での技術開発とともに, **全工程を通しての最適化システム (ICT・AI・IoT)**の利用を含む)の構築が必要。

資源循環型社会の将来像, NEDO - 2017

- 2050年に動静脈が一体化することを念頭に置
- 2030年には動静脈連携が強化されている。
- そのためには静脈産業の更なる高
- リサイクル原料の動脈産業。このためには、それぞれ、リサイクル原料の動脈産業の、標準化・規格化が必要
- 収集→解凍→物理選別→化学分離 各工程での技術開発 工程を通しての最適化システム (ICT・AI・IoTの利用を含む) の構築が必要。

要素技術開発 →
ICT・AI・IoT利用, 情報管理

サーキュラーエコノミー(CE)に向けて

- ◆ 線形経済では「天然資源強国」に富が集中し、資源調達に係る地政学的リスクに直結する。
- ◆ 資源効率向上と環境調和のためにも、循環経済(CE)への移行が必要。
- ◆ 動静脈連携, 否, バリューネットワーク全体でのシステム改革が必要。
 - ✓ 資源生産性の向上
 - ✓ 再生資源使用率の向上(再生資源の安定的な量と質の担保)
 - ✓ 資源循環技術開発とプロセス認証制度の拡充
 - ✓ 製品メーカーの使いこなし技術開発
 - ✓ 「CEコマース」(シェアリング, サブスクリプションなどのサービス化(PaaS)や, リペア, リマン, リファーマービッシュ等での長期利用, リユース等)の推進
 - ✓ トレサビ制度, DPP(GAIA-X, Ouranos Ecosystem等)の拡充
 - ✓ CEの標準化, 定量的評価指標の策定(ISO/TC323, 等)
 - ✓ 当たり前に「環境・循環配慮設計」を
 - ✓ CEに関する地球市民教育の充実, 市民へのインセンティブ賦与・意識改革

サーキュラーエコノミー(CE)に向けて

- ◆ 線形経済では「天然資源強国」に富が集中し、資源調達に係る地政学的リスクに直結する。
- ◆ 資源効率向上と環境調和のためにも、循環経済(CE)の推進が必要。
- ◆ 動静脈連携、否、バリューネットワーク全体での改革が必要。
 - ✓ 資源生産性の向上
 - ✓ 再生資源使用率の向上(再生資源の定量的な量と質の担保)
 - ✓ 資源循環技術開発とプロセス管理システムの拡充
 - ✓ 製品メーカーの使い捨て製品開発
 - ✓ 「CEコマース」プラットフォーム、サブスクリプションなどのサービス化(PaaS)や、リペアサービス、リファビッシュ等での長期利用、リユース等)の推進
 - ✓ トレサビリティプラットフォーム(DPP(GAIA-X, Ouranos Ecosystem等)の拡充
 - ✓ CEの標準化, 定量的評価指標の策定(ISO/TC323, 等)
 - ✓ 当たり前に「環境・循環配慮設計」を
 - ✓ CEに関する地球市民教育の充実, 市民へのインセンティブ賦与・意識改革

製造業の大変革の必要性!