

特集

資源リサイクルの現状と展望

# 総論：資源リサイクルの現状と展望

## Present and Future Prospect of Resources Recycling

元 田 欽 也\*

Kinya Motoda

### 1. はじめに

最近、資源リサイクルについての活動は益々活発になり、現状では一般消費者までを巻き込んだ大きな国民運動となっている。

これらの活動を法制面からみてもリサイクル法、省エネルギー・リサイクル支援法、環境基本法の制定、廃棄物処理法の改正、さらに最近では容器・包装リサイクル法の公布(1995年6月)があり、法的面での整備も着々と進められている。

一方、最近ではISO(国際標準化機構)の活動(環境管理、環境ラベル、LCA(ライフサイクルアセスメント))もあり、我が国においても新規JIS制定等リサイクル面での対応も必要になってきている。

このように資源リサイクルについては様々な活動があり、新しい概念も提案されているので、先ずこれらの概念の分類を行い、資源リサイクルの効果や評価指標についても検討した。

さらに、官公庁や関連団体等の発表資料、当センターにおける事業事例等を参考にして具体的な数値データも示した。

### 2. 資源について

資源リサイクルの分類を行うに際して、まず資源とは何かについて考えてみる。

#### (1) 資源の概念<sup>1)</sup>

「人類の物質的・精神的に向上したいという欲望を満たすためには、何等かの形で自然界に働きかけねばならない。資源とはそういった意味で、われわれが働きかけの対象として取り上げている、もしくは取りあげようとする、自然界の一部なのである。このように資源は、人間がある目的のために、自然界から取り出

し、作り出すものであるから、人間の能力(技術、方法、組織)によって資源そのものも違ってくる。

このように資源論による資源の学術的定義は広いが、ここでは本分野で一般的に対象としている資源に限定して考えることにする。

#### (2) 資源の流れ

##### 1) 地球誕生段階(46億年前)

地球は星雲ガスが凝縮した多くの微惑星の衝突・集合・集積によって誕生したといわれている。

気圏：炭酸ガス、窒素、水蒸気

水圏：水

地圏：岩石

エネルギー：内部；地熱、外部；太陽光

##### 2) 生命誕生段階(38億年前)

炭酸ガス、水、太陽光をベースとして生物(植物、動物)が派生し、3.5億年前に作られたこれらの植物、動物の遺骸が地殻の高温、高圧により今日の化石燃料(石炭、原油等)となっている。

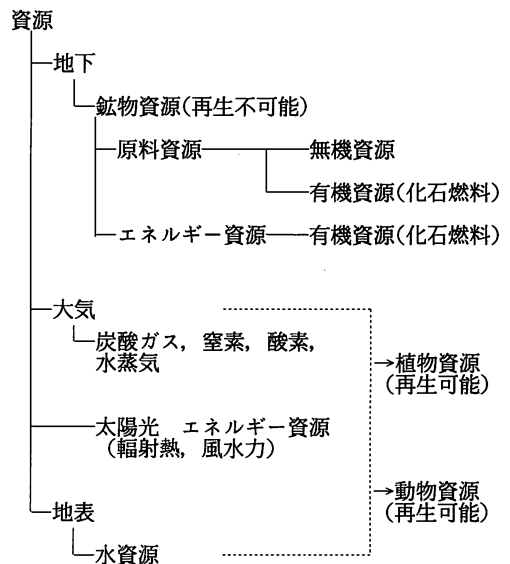


図-1 資源の分類

\* (財) クリーン・ジャパン・センター 参与・相談部長  
〒105 東京都港区虎ノ門3-6-2 秋山ビル

3) ホモサピエンス誕生段階 (60万年前)

人類が誕生し人類による自然界への働きかけが始まり資源という概念が認識されるようになった。

4) 工業生産開始段階 (16世紀)

工業生産が開始されると資源利用が活発になり植物資源、動物資源だけでなく地下資源も利用されるようになった。

5) 工業製品蓄積段階 (現在)

工業生産が軌道に乗り生産段階で廃棄物が発生したり、使用後の廃製品が蓄積するようになり、やがてこれらの資源より再生資源が誕生するようになった。

これらの資源の分類を図-1に、工業製品の資源の流れを図-2に示す。

3. リサイクルについて

3.1 リサイクルの概念

最近、リサイクルについては概念の拡張が行われているので、ここでは狭義と広義の考え方を示す。

(1) リサイクルの概念 (狭義)

1) 再資源化 (Recycling)

廃棄物等 (一般廃棄物、産業廃棄物、副産物等) を回収し、破碎、選別、篩分け等の加工を行うことにより再度原料に戻して利用することをいう。

再資源化を細分化すれば次のようになる。

イ 全体を元の原料に戻す場合

ロ 全体を他の原料に戻す場合

ハ 一部を元の原料、一部を他の原料に戻す場合

2) 再使用 (Reuse)

使用済製品、廃製品の全体、またはその一部分 (部品) を原形を保ったまま中古品として使用することをいう。

3) 再使用 (Returnable)

びん等の場合は使用済みになっても洗浄すれば使用できるので、繰り返し使用することをいう。

4) 再充填 (Refill)

容器等に内容物を充填してその内容物のみを使用する製品については、内容物を再充填して使用済容器を繰り返して使用することをいう。

(2) リサイクルの概念 (広義)

最近、次の概念を加えて考えることが多い。

1) 製品アセスメント (Products Assessment)

設計段階より製品の全段階について省資源性、リサイクル容易性、低環境負荷性等に関する事前評価を行い必要な対策をとることをいう。

2) 熱回収 (Heat Recovery)

可燃性廃棄物等については焼却し、焼却熱を温水、蒸気、電力等で回収することという。

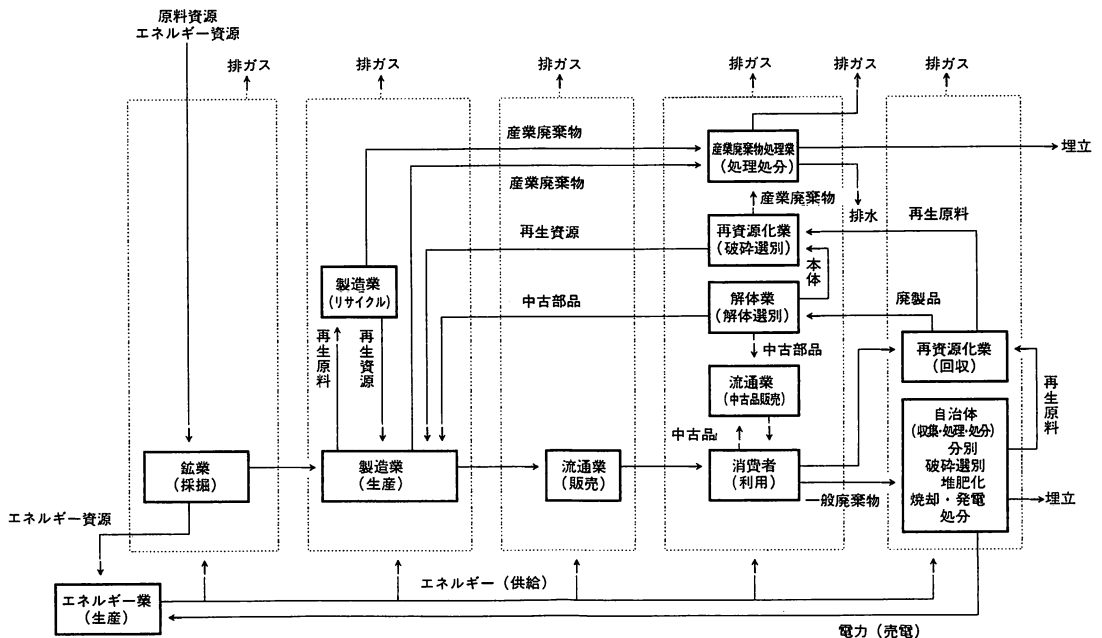


図-2 工業製品の資源リサイクルフロー (概念図)

### 3.2 リサイクルの効果

リサイクルを資源の流れで捉えてみるとマクロ的には次のようなリサイクルの効果が期待できる。

#### (1) 再生可能資源（事例：A金属資源）

##### 1) リサイクル無し

A資源利用可能年数

A資源利用可能年数 = A資源利用可能量 /

A資源利用量

A資源利用可能量 = A資源埋蔵量 \* 採掘率% \* 純度%

A資源利用量 = 人口 \* A資源利用原単位

A資源利用原単位 = 1人当たり年間A資源利用量

A資源累積利用量 = A資源の現在までの累積利用量

条件 A資源利用可能量 ≥ A資源累積利用量

A資源利用に伴う年間エネルギー消費量

A資源利用エネルギー消費量 = A資源利用量 \* A資源  
エネルギー消費原単位

A資源エネルギー消費原単位 = A資源採掘工程

+ A資源製錬工程 + A資源加工工程

##### 2) リサイクル有り

A資源利用可能年数

リサイクル有りではリサイクル無しと異なって、A資源消費量はA資源の再生資源が投入される分だけは少なくなり、A資源利用可能年数は延長される。

A資源利用原単位 = 1人当たり年間A資源利用量 - 1人当たり年間再生A資源利用量

A資源利用に伴うエネルギー消費量

一般には再生資源は新資源より製錬に要するエネルギー消費量は少ないが、回収に要するエネルギー消費量が付加される。全体的には新資源より再生資源のほうがエネルギー消費量は少なくなる。

従って再生A資源が投入される分だけはエネルギー消費量は少なくなる。

A資源エネルギー消費原単位 = 新A資源消費原単位

(採掘工程 + 製錬工程 + 加工工程) \* 投入率 + 再生A資源消費原単位 (回収工程 + 製錬工程 + 加工工程) \* 投入率

##### 3) リサイクルの効果

① A資源利用可能年数の延長

② A資源利用に伴うエネルギー消費量の削減

(間接的には化石燃料資源利用可能年数の延長)

#### (2) 再生不可能資源（事例：B化石燃料資源）

B資源利用可能年数

B資源利用可能年数 = B資源利用可能量 /

B資源利用量

B資源利用可能量 = B資源埋蔵量 \* 採掘率% \* 純度%

B資源利用量 = 人口 \* B資源利用原単位

B資源利用原単位 = 1人当たり年間B資源利用量

B資源累積利用量 = B資源の現在までの累積利用量

条件 B資源利用可能量 ≥ B資源累積利用量

化石燃料資源については利用すれば、炭酸ガスと水蒸気になるので元の燃料に戻すできないので燃料資源利用原単位の削減が重要であり、燃料燃焼工程におけるは省エネルギー及び廃熱回収を行い化石燃料の新たな消費を抑制すべきである。

### 3.3 リサイクルの資源保全に及ぼす評価指標

リサイクル活動による効果は最終的には、新資源利用量として表れるとすれば次のような項目での評価が可能である。

①新原料資源利用量 ②新エネルギー資源利用量

### 3.4 リサイクル活動の評価指標

図-2に示すような工業製品の資源リサイクルフローを考えた場合の全体的な評価指標としては次のようなものが考えられる。

#### (1) 産業廃棄物系

##### 1) 製造業等<sup>2)</sup>

①発生物 = 産業廃棄物 + 有効利用物

②産業廃棄物 = 中間処理減量 \* 最終処分物 + 再資源化物

③有効利用物 = 自社内再利用物 + 有償物

④全再資源化物 = 再資源化物 + 有効利用物

⑤再資源化率 = (全再資源化物 / 発生物) \* 100

##### 2) 全業種<sup>3)</sup>

①排出量 = 再生利用量 + 中間処理量 + 最終処分量

②中間処理量 = 処理残渣量 + 減量化量

③処理残渣量 = 再生利用量 + 最終処分量

④再生利用率 = (全再生利用量 / 排出量) \* 100

#### (2) 中古品系

①使用済製品量 = 再生原料 + 中古部品 + 産業廃棄物

②再生原料率 = (再生原料量 / 使用済製品量) \* 100

③中古部品率 = (中古部品量 / 使用済製品量) \* 100

#### (3) 一般廃棄物系<sup>4)</sup>

①一般廃棄物量 = 混合ごみ + 可燃ごみ + 不燃ごみ + 資源ごみ (公共) + その他 + 粗大ごみ + 直接搬入ごみ

②焼却量 = 焼却ごみ + 破碎処理等残渣

③埋立量 = 直接埋立 + 焼却残渣 + 破碎処理等残渣

④資源化量 = 焼却施設 + 粗大ごみ施設 + 他資源化施設 + 高速堆肥化施設 + その他

⑤資源化率 = (資源化量 / 一般廃棄物量) \* 100

⑥ごみ発電率 = (ごみ発電可能焼却施設処理能力 / ごみ焼却施設処理能力) \* 100<sup>4)</sup>

(4) 再生資源系

廃棄物系とは別に缶、びん、古紙等の使用済製品については回収され、再資源化率が把握されている。

①製品生産量                      ②使用済製品回収量  
 ③再資源化率 = (使用済製品回収量 / 製品生産量) \* 100

(5) マテリアルバランス<sup>5)</sup>

資源リサイクルの観点から我が国のマテリアルバランスについての調査した事例がある。

①資源投入量 = 輸入資源 + 国内資源 + 再生資源  
 ②再生資源量 = 建設・畜産系 + 製造業系 + 消費・廃棄系

③再生資源率 = (再生資源量 / 資源投入量) \* 100

(6) 炭酸ガス排出量<sup>6)</sup>

エネルギー・経済統計において炭酸ガス排出量が算定されている。

①炭酸ガス排出量      ②1人当たり炭酸ガス排出量

4. 資源リサイクルの現状について

これまで、リサイクルの効果、リサイクルの評価指標について抽象論的に記述してきたが、ここでは現状どようになっているかについてデータによって紹介する。

4.1 リサイクルの資源保全に及ぼす評価

リサイクルが行われていれば、地球上の新しい資源の利用が抑制されることになるので、これらをデータ上で確認した結果を表1～6に示す。表に示すように世界の新資源生産量は増加傾向にあり、新資源消費は抑制段階ではなくまだ資源循環型社会の入口にも達していない。また、最も基本的な要素である世界人口も増加傾向にありまだ静止人口には到達していない。

4.2 リサイクル活動の評価

(1) 産業廃棄物系

1) 製造業等 (平成5年度 単位: 千t)<sup>2)</sup>

表1 世界の鉄鉱生産量 (単位 1,000 t)<sup>6,7)</sup>

年度	生産量
1980	555,019
1985	561,407
1990	587,027

表2 世界のボーキサイト生産量 (単位 1,000t)<sup>6,7)</sup>

年度	生産量
1980	94,072
1985	89,679
1990	109,115

表3 世界の銅鉱生産量 (単位 1,000 t)<sup>6,7)</sup>

年度	生産量
1980	7,716
1985	8,258
1990	8,970

表4 世界の亜鉛鉱生産量 (単位 1,000 t)<sup>6,7)</sup>

年度	生産量
1980	5,739
1985	6,594
1990	7,307

表5 日本の一次エネルギー<sup>8)</sup>

年度	人口 千人	一次エネルギー (原油換算)	
		総供給 千kℓ	一人当たり kℓ/人
1965	98,275	182,605	1.86
1970	104,665	345,630	3.30
1975	111,940	395,918	3.54
1980	117,060	429,403	3.67
1985	121,049	438,187	3.62
1990	123,611	525,741	4.25
1993	124,762	547,778	4.39

表6 世界の一次エネルギー<sup>8)</sup>

年度	人口 百万人	一次エネルギー (原油換算)	
		消費 百万t	一人当たり t/人
1971	3,740	4,866	1.30
1975	4,023	5,499	1.37
1980	4,423	6,465	1.46
1985	4,838	6,969	1.44
1990	5,299	7,821	1.48
1992	5,442	7,931	1.46

- ①発生物=産業廃棄物+有効利用物  
 (189,852) (128,787) (61,065)
- ②産業廃棄物=中間減量・最終処分量+再資源化物  
 (119,347) (9,440)
- ③有効利用物=自社内再利用物+有償物  
 (15,408) (45,657)
- ④全再資源化物=再資源化物+有効利用物  
 (70,505) (9,440) (61,065)
- ⑤再資源化率=(全再資源化物/発生物)\*100  
 (70,505) (189,852)  
 = 37.1%

- 2) 全業種(平成4年度 単位:万t)<sup>3)</sup>
- ①排出量=再生利用量+中間処理量+最終処分量  
 (40,300) (9,200) (25,000) (6,100)
- ②中間処理量=処理残渣量+減量化量  
 (25,000) (9,700) (15,300)
- ③処理残渣量=再生利用量+最終処分量  
 (9,700) (6,900) (2,800)
- ④再生利用率=(全再生利用量/排出量)\*100  
 (16,100) (40,300)  
 =40%

(2) 中古品系

現状では中古品系についての総括的なデータは見当たらないので、自動車についてのデータを示す。

自動車(平成6年)<sup>9)</sup>

- ①使用済製品量→廃自動車台数 4,779 千台  
 自動車保有台数 65,011 千台
- ②廃自動車発生率=(廃自動車台数/自動車保有台数)\*100=7.4%

(3) 一般廃棄物系(平成3年度 単位:千t/年)<sup>4)</sup>

- ①一般廃棄物量=49,717
- ②資源化量=焼却施設+粗大ごみ施設+  
 (1,670) (89) (568)  
 他資源化施設+高速堆肥化施設+その他  
 (603) (17) (393)
- ③資源化率=(資源化量/一般廃棄物量)\*100  
 (1,670) (49,717)  
 =3.4%

- ④ごみ発電率<sup>10)</sup>=(ごみ発電可能焼却施設処理能力  
 (55,560 t/d)  
 /ごみ焼却施設処理能力)\*100=32.9%  
 (169,082 t/d)

(4) 再生資源系

- 1) スチール缶(平成6年 単位:千t)<sup>10)</sup>

- ①生産量=1,475  
 ②回収量=1,030  
 ③再資源化率=69.8%
- 2) アルミニウム缶(平成6年 単位:千t)<sup>11)</sup>

- ①生産量=247.815  
 ②回収量=151.453  
 ③再資源化率=61.1%
- 3) ガラスびん(平成5年 単位:千t)<sup>12)</sup>
- ①生産量=2,351  
 ②回収量=1,305  
 ③再資源化率=55.5%

4) 古紙(平成6年度 単位:千t)

- ①紙・板紙生産量=28,938  
 ②回収量=15,060  
 ③古紙回収率=51.6%

(5) マテリアルバランス<sup>5)</sup>

(平成3年度 単位:百万t)

- ①資源投入量=輸入資源+国内資源+再生資源  
 (2,267) (633) (1,413) (221)
- ②再生資源量=  
 (221)  
 一般廃棄物+建設・畜産+製造業等+消費・廃棄  
 (2) (85) (73) (61)
- ③再生資源率=(再生資源量/資源投入量)\*100  
 =9.7%

(6) 炭酸ガス排出量<sup>8)</sup>

世界の炭酸ガス排出量も増加傾向にある。

表7 世界の炭酸ガス排出量<sup>8)</sup>

年度	炭酸ガス排出量 (炭素換算百万t)	一人当たり炭酸ガス排出量 (炭素換算t/人)
1975	4,793	1.19
1980	5,551	1.25
1985	5,795	1.20
1990	6,379	1.20

5. 今後の展望

以上、資源について、リサイクルについて、資源リサイクルの現状について紹介してきたが、現状においても資源リサイクルについては法律、社会・経済、科学、工学等の学際的分野に属する多くの未解明の問題があるので、ここでは将来を展望するための具体的な提案を示すことにする。

### (1) 資源リサイクルについての基礎理論の構築

最近、資源循環型社会の構築という概念が盛んに使われるようになってきたが、この概念はかなり曖昧な概念である。まず資源循環というと全ての資源が循環するような錯覚に陥るが、実際に循環するのは原料資源の一部（再生原料から歩留100%で再生資源は造れず必ず残渣が発生する）であり、また原料資源の再生にはエネルギーの供給が必要である。エネルギー資源（化石燃料）は使用すれば炭酸ガスと水に変換され元の資源には戻らない枯渇性の資源である（一部の炭酸ガスは太陽光の存在下で植物の炭酸同化作用によりバイオマス資源にはなるが化石燃料資源にはならない）。従って資源循環はエネルギー資源の確保が前提となるが、人類はまだ長期的にエネルギー資源の確保の見通しを得ていない。

また、現実には人口増加と生活水準向上の欲求があり省資源、省エネルギーに努力しても全体的資源利用量は増大傾向にあり、これについても人類はまだ明確な答えを出せないでいる。従って、この問題についての学際的な観点からの基礎理論の構築が必要である。

### (2) 資源リサイクル基本計画の策定

資源リサイクルに関する基礎理論の構築と並行し総合的な観点からの基本計画の作成が必要である。前述のように当センターにおいても日本のマテリアルフローの作成に関与したが、このようなフローをさらに発展させエネルギーの長期目標のような資源リサイクルの長期基本計画の策定が必要である。

### (3) 資源リサイクル情報収集体制の整備

現在の資源リサイクル活動は一般的な生産活動のなかに包含されたり、また情報収集が不十分な場合も多いので、前述の(1)、(2)のような検討を行うため

にも官民ともに資源リサイクル活動に関する情報収集体制の整備が必要である。

### (4) ISO規格の我が国への展開

最近、ISOにおいては環境管理、環境監査、環境ラベル等に関する標準化が進められており、我が国においてもこれらの標準のJIS化が進められているが、資源リサイクルに関する事項について実際にどのように展開するかについては十分な検討が必要である。

我が国の資源リサイクルの水準は国際的にも高い評価が得られているが、本分野の発展は日進月歩であるので、今後とも基礎理論の構築や基本計画の策定、情報収集体制の整備等継続的な努力が必要である。

### 参考文献

- 1) 黒沢俊一 資源 世界大百科事典 13 平凡社 1978. p137-138
- 2) 「平成5年度における製造業等に係わる産業廃棄物・有効利用物全国調査結果の概要について」クリーンジャパン 119. 1995. 9 p78-84
- 3) 「産業廃棄物の排出・処理状況について」厚生省産業廃棄物対策室 平成7年7月
- 4) 日本の廃棄物処理 平成3年版 厚生省水道環境部
- 5) 日本のマテリアルバランス(1991年度)クリーンジャパン 109. 1994. 11 p26-28
- 6) 国際統計要覧. 1989. 総務庁統計局編. p82-83
- 7) 国際統計要覧. 1994. 総務庁統計局編. p143-144
- 8) エネルギー・経済統計要覧 '95日本エネルギー経済研究所他. p20-21, 190-191, 207, 208-209, 215.
- 9) 鉄源年報 第6号. 1995. 日本鉄源協会他. p36-37, 136-137
- 10) あき缶対策処理協会資料
- 11) アルミ缶リサイクル協会資料
- 12) ガラスびんリサイクリング推進連合資料
- 13) 会報 古紙再生促進センター. 1995. 7 p40-41
- 14) 「スーパーごみ発電」への期待 自治省財政局 都市と廃棄物 VOL. 23, No. 7, p57