

**容器包装リサイクル法におけるプラスチックの効率的なリサイクルに向けて  
～サーマルリサイクル導入の検討～**

慶應義塾大学 山口光恒研究会  
容器包装リサイクル班

後藤悠太

代田修三

藤井恵理

宮里麻衣子

## 目次

### はじめに

#### 第1章 容器包装リサイクル法とは

- 1.1 位置づけ
- 1.2 再商品化までの流れ
- 1.3 入札制度

#### 第2章 プラスチック製容器包装とは

- 2.1 プラスチックの定義
- 2.2 プラスチックの再商品化手法
  - 2.2.1 MR
  - 2.2.2 CR
  - 2.2.3 TR

#### 第3章 プラスチックリサイクル各手法の優位性の比較

- 3.1 環境負荷
  - 3.1.1 LCA分析
  - 3.1.2 手法解説
  - 3.1.3 結果
  - 3.1.4 考察
- 3.2 経済効率
  - 3.2.1 経済効率についての見方
  - 3.2.2 経済効率から見たプラスチックリサイクルのまとめ

#### 第4章 提言

- 4.1 環境面
- 4.2 経済面
- 4.3 考慮すべき点

### おわりに

### 参考資料

## はじめに

容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律(容器包装リサイクル法<sup>1</sup>)は平成 17 年度に見直しをされる事が法律上決まっている。平成 17 年度の見直しの時期に向けて、経済産業省は容器包装リサイクルワーキンググループを平成 13 年度に発足させている。また、各自治体でも容器包装リサイクル法に関して議論がされている。その中で我々はPETボトル以外のプラスチック製容器包装<sup>2</sup>のリサイクルに注目した。現在それぞれの対象品目で図表 1 のような再商品化手法<sup>3</sup>が用いられている。その中でプラスチックから出来ているPETボトルについては、ボトル to ボトル<sup>4</sup>という技術が開発されるなど、PETボトルにおけるリサイクル手法は格段と飛躍しており、今後もその普及が見込まれている。その一方で、プラスチックのリサイクル手法の一つであるマテリアルリサイクル(以下MR)は、プラスチック製容器包装が単一樹脂ではなく複合材で出来ているため分解作業が困難で、リサイクルに高いコストがかかり、また再生品の質も低い。また、プラスチックのケミカルリサイクル(以下CR)は、PETボトルのボトル to ボトルといった、モノを生み出すCRとは異なり、還元剤として焼却するなど一度きりしかモノとして循環しないリサイクル手法である。

上記から、我々は現在~~の~~プラスチックについては最適なリサイクル手法が用いられていないのではないかと考え、本稿で環境・経済性の両面から、最適なプラスチックリサイクルについて検討した。その結果、プラスチックにはサーマルリサイクル(以下TR)が最適といえる事が分かった。循環型社会形成推進基本法には、第7条に再使用、再生利用、熱回収という優先順位がつけられているが環境への負荷の低減にとって有効であると認められるときはこれによらないとの記述があり、我々の得た分析結果と照らすと、容リ法でTRを認めない理由は無いといえる。そこで、容リ法におけるプラスチックリサイクルにTRを導入すべきだという結論に至った。しかし現状では焼却による熱回収というリサイクル方式については意見が割れており、家電等容器包装以外のリサイクルへの影響や国民の受容性を考慮せねばならないため、まずは試験的に導入することを提案する。

第一章では容器包装リサイクル法について概略を述べ、第二章では我々が今回注目したプラスチックについてその性質と、リサイクル手法について紹介する。第三章ではプラスチックの三つのリサイクルを環境面と経済面から分析し、第四章の提言では比較分析の考

<sup>1</sup> 以下、容リ法とする。

<sup>2</sup> 以下、プラスチックとする。

<sup>3</sup>再商品化とは市町村が容器包装廃棄物を分別収集して得た分別収集適合物を、製品又は製品の原材料として取引されうる状態にする行為等をいい、法的には次のように規定されている。1・自ら分別基準適合物を製品の原材料として利用すること 2・自ら燃料以外の用途で分別基準適合物を製品としてそのまま使用すること 3・分別基準適合物について、製品の原材料として利用するものに有償または無償で譲渡しうる状態にすること 4・分別基準適合物について、製品としてそのまま使用する者に有償または無償で譲渡し得る状態にすること

<sup>4</sup> PETボトルをメチルアルコール、エチレングリコール、水等を用いて、化学的に分解しPET原料に戻し、再びPET樹脂を作る方法。

容器包装リサイクルパート

容器包装リサイクル法におけるプラスチックの効率的なリサイクルに向けて～サーマルリサイクル導入の検討～

察と、実際にTRを導入する方法を提案する。

ガラス瓶	MR
ペットボトル	MR・CR
プラスチック	MR・CR
紙	MR・TR

## 第1章 容器包装リサイクル法とは

本章では容器包装リサイクル法について述べる。

### 1.1 位置づけ

日本の経済は「大量生産・大量消費・大量廃棄」型経済システムにより目ざましい発展を遂げてきた。その結果近年、日本では一般廃棄物の最終処分場が逼迫してきておりその残余年数<sup>5</sup>は僅か 12.5 年<sup>6</sup>である。また、新規最終処分場の確保についても、用地確保の点などから困難な状況にある。そこで、このような経済システムから脱却するために「循環型社会」という概念が生まれた。法体系としては、環境基本法の概念の下に、2001 年 1 月に廃棄物政策の基本的枠組法となる循環型社会形成推進基本法が施行された。さらに、廃棄物の適正処理の面では廃棄物の処理および清掃に関する法律（廃棄物処理法）が改正され、リサイクルの面では再生資源の利用の促進に関する法律が改正され、資源の有効な利用の促進に関する法律（資源有効利用促進法）として、いずれも 2001 年 4 月から施行されている。

容り法は家庭から排出されるごみの容積比約 50%を占める容器包装廃棄物の減量・リサイクルを促進することを目的として、1996 年 6 月に制定された。1997 年 4 月、容り法施行当初の対象品目はガラス瓶とペットボトルだけであったが、2000 年 4 月にはプラスチック製容器包装とその他紙製容器包装にも広げられ完全実施となった。

### 1.2 再商品化までの流れ

再商品化までの流れを、お金の流れとモノの流れの両面から説明する。まず容器包装事業者が製造した容器包装に容器包装利用事業者が製造した製品を充填し、消費者に販売する<sup>7</sup>。そして、不要になった容器包装は消費者により分別排出され、市町村が分別収集・運搬し、その後市町村の施設で選別・保管をする。このときにかかる費用は市町村が負担、つまりは住民（含む企業）の税収で賄われる。この点を反映して、図表 2 ではお金の流れは住民である消費者・企業から市町村へとなっている。保管された容器包装は再商品化事業者が、再び市場価値のあるものへと加工する。このときの費用は再商品化義務を負う特定事業者が支払うことになる。そこで、スムーズかつ的確にお金とモノの受け渡しを行うため、財団法人容器包装リサイクル協会（以下容り協会）が指定法人として設置されている。容り協会は申し込みのあった市町村<sup>8</sup>から容器包装廃棄物を引き取り、特定事業者からの委託により特定事業者に代わって再商品化を行う。また、実際の再商品化は容り協会が

<sup>5</sup> 残余年数 = 残余容量 / 最終処分量

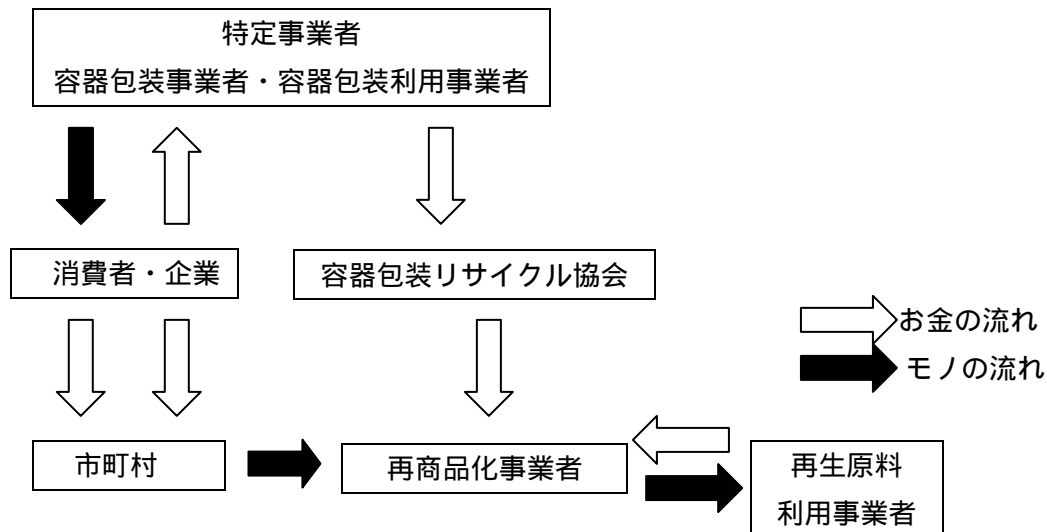
<sup>6</sup> 平成 16 年度環境省報道発表資料より

<sup>7</sup> このような容器包装事業者また、容器包装利用事業者、そして消費者に容器包装を販売する事業者を特定事業者と呼ぶ。特定事業者は再商品化義務を負う。

<sup>8</sup> 市町村の参加は任意である。また引き取り市町村数はプラスチックにおいては全国の自治体 3202 のうち 1735 市町村である。

再商品化事業者に委託するという形で行われるが、その選定は入札によって決まる。そして、容器包装廃棄物を再商品化したものを再生利用事業者に再商品化事業者が引き渡す。以上が指定法人ルート<sup>9</sup>と呼ばれる再商品化までの流れである。

図表 2



容器包装リサイクル協会HPより独自作成

### 1.3 入札制度

ここでは入札の仕組みについて具体的に説明する。容リ協会が再商品化事業者に委託する業務の範囲は、市町村が収集した分別基準適合物を市町村の保管施設から引き取るところから、再生処理を行い、再商品化製品を再商品化製品利用事業者に引き渡すまでが含まれる。市町村から引き取った分別収集適合物を再商品化事業者に渡す際に、入札制度を用いて、再商品化事業者を選定する。入札に参加する再商品化事業者は、自らが引き取り運搬を行わない場合は、運搬事業者と一体となって入札に参加する(ジョイントグループ)。入札方法としては、最も安く再商品化を行うと申請した事業者から落札していき、その費用と分別収集適合物を渡し、再商品化を委託する仕組みになっている。従って再商品化事業者ごとに落札価格が異なる。なお、市町村から分別収集適合物を引き取る際にかかる運搬に関する費用は再商品化事業者が負担する。

プラスチックに関して容器包装リサイクル法が認めている再商品化手法はMRの他、油化、高炉還元、ガス化、コークス炉化学原料化であるCRがある<sup>10</sup>。入札は、すべての再商品化

<sup>9</sup> また、指定法人を通さずに特定事業者が自ら、または再商品化事業者に直接委託する形で再商品化を行う独自ルートと呼ばれるもの、また、その回収方法が主務省令で定める回収率を達成するために適正である旨の認定を受けた上で、特定事業者が自ら販売ルート等を通じて、回収・リサイクルする自主回収ルートと呼ばれるものもある。

<sup>10</sup> 通産省「プラスチック製容器包装及び紙製容器包装の分別収集及び再商品化について」より(1998年3月)

事業者について同時に行うが、選定にあたっては、MR事業者を、油化、高炉還元、ガス化、コークス炉化学原料化を行うCR事業者に優先する。具体的には先ずMR事業者から落札者を決定し、落札されなかった分について、CR事業者の中から落札者を決定する。そして、このように決まった再商品化事業者に再商品化委託料金が支払われる。

容り法においてはプラスチックの再商品化手法としてTRは認められていない。その理由は、環境基本法に基づいて策定された環境基本計画で定められた廃棄物・リサイクル対策の優先順位（1.リデュース、2.リユース、3.MRおよびCR、4.TR（熱回収）、5.廃棄物としての適正処分）<sup>11</sup>、また、MRであれば繰り返し再生したあとでもTRを行うことができることや、焼却した際のダイオキシン等の有害物質の発生への懸念にあると考えられる。<sup>12</sup>また、焼却による熱回収という形でのリサイクルに対する国民の受容可能性を考慮したことも理由の一つである。

以上、容り法の概略を述べた。以降、我々が注目したプラスチックについて、その製品特性とリサイクル手法について述べる。

---

月)

<sup>11</sup>ただし、循環型社会形成推進基本法第7条に、再使用、再生利用、熱回収という優先順位がつけられているが、環境への負荷の低減にとって有効であると認められるときはこれによらないとの記述がある。ここではあくまで法律制定に携わった方々によるヒアリング結果を記述している。

<sup>12</sup> 経済財政諮問会議 循環型経済社会に関する専門調査会による中間とりまとめ資料参照。

## 第2章 プラスチックスチック製容器包装とは

---

本章では、プラスチックの性質とその再商品化手法について述べる。

### 2.1 プラスチックの定義

容り法ではプラスチックを次のように定義している。「商品の容器のうち、主にプラスチック製のものであって下記 1～11 に掲げるもの（飲料・食料品（しょうゆ、乳飲料等）のペットボトルを除く）および、商品の包装であって主にプラスチック製のもの」。

1. 箱およびケース
2. びん
3. たるおよびおけ
4. カップ形の容器およびコップ
5. 皿
6. くぼみを有するシート状の容器
7. チューブ状の容器
8. 袋
9. 1～8 に掲げるものに準ずる構造、形状等を有する容器
10. 容器の栓、ふた、キャップその他これらに準ずるもの
11. 容器に入れられた商品の保護または固定のために、加工、当該容器への接着等がされ、当該容器の一部として使用される容器

これらプラスチックは次のような性質を持つ。まず単一樹脂からではなく、様々な樹脂から出来ている複合素材であるということ、そしてその素材の種類が多い<sup>13</sup>ということである。このため、プラスチックの再商品化においては素材ごとに分解することが困難である。このような特徴を有するプラスチックは現在どのようなリサイクルがなされているのか以下で説明する。

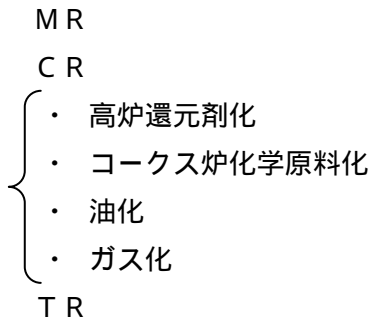
---

<sup>13</sup> ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、AS樹脂、ABS樹脂、塩化ビニル樹脂、塩化ビニリデン樹脂、メタクリル樹脂、メタクリルスチレン樹脂、フェノール樹脂、メラミン樹脂、ユリア樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、ポリウレタンなど。



## 2.2 プラスチックの再商品化手法

プラスチックのリサイクル手法については図表 1 及び 1 . 3 入札制度でも触れたが、再度まとめると次の通りである。



上記のリサイクル手法についてそれぞれ説明する。

### 2.2.1 M R

廃プラスチックをプラスチックのまま素材ごとに分解し再生樹脂を作るリサイクルである。これを利用して繊維製品や包装資材などを生み出す。廃プラスチックは前述のように素材ごとに分解するのが困難なため、M R は処理能力が低く、他のリサイクルに比べてリサイクルのコストが割高<sup>14</sup>であり、また再生品の品質も新規樹脂から作られた製品に比べ劣る。しかし、既述の通り入り法では入札において適正な価格と認められればM R を優先して落札することが規定されていることを反映して、M R の再商品化量は、全体の 13%<sup>15</sup>を占めている。

### 2.2.2 C R

#### ・ 高炉還元剤化

製鉄所では、鉄鉱石とコークスそして副原料を高炉に入れ鉄鉱石を溶かして銑鉄を生産する。このとき、コークスは燃料として炉内を高温にするとともに、鉄鉱石の主成分である酸化鉄から酸素を奪う還元剤としての働きをする。主な成分が水素と炭素であるプラスチックを、このようなコークスの代替品として利用するのが高炉還元剤化の技術である。

<sup>14</sup>2002 年度の落札単価は、M R が 1 トンあたり 107,692 円、高炉還元剤化が 83,083 円、コークス炉化学原料化が 78,184 円、ガス化が 80,194 円、油化が 98,111 円となっている。(容器包装リサイクル協会ホームページ参照。)

<sup>15</sup> それぞれの手法による再商品化量は、M R が 13%、高炉還元剤化が全体の 26%、コークス炉化学原料化が 51%、ガス化が 6%、油化が 4%である。

#### ・コークス炉化学原料化

石炭を蒸し焼きにするとコークスができ、その際に発生する揮発成分からは炭化水素油、コークス炉ガスができる。廃プラスチックからも同じようにして、高炉還元剤となるコークスや化学原料となる炭化水素油、発電などに利用されるコークス炉ガスができるため、廃プラスチックをコークスとして利用することができる。この技術を持つ新日本製鐵は、2001年度プラスチック全体の3分の1を落札しており、コークス炉化学原料化はプラスチックのリサイクル手法として最も大きな割合を占める。

#### ・油化

プラスチックはもともと石油が主な原料であるため、プラスチックの精製の逆の工程をたどれば、再び石油を得ることができる。代表例として北海道の札幌プラスチックリサイクルが25億円の国費を投入して設立されたが、現段階では処理能力も高く高いコストがかかっている。しかし技術も発展してきており、油化の落札数は増えてきているところである。

#### ・ガス化

プラスチックの主成分は炭素と水素であるため、燃やすと二酸化炭素（炭酸ガス）と水を取り出すことができる。プラスチックのガス化のプロセスでは、酸素と蒸気を供給して加熱するが、酸素の量が制限されているので、プラスチックの大部分は炭化水素、一酸化炭素、そして水素になる。

具体的には一段目の低温ガス化炉で炭化水素、一酸化炭素、水素、チャー（炭化固形物）塩化水素が、二段目の高温ガス化炉では、低温ガス化炉から導かれたガスが蒸気と反応して一酸化炭素と水素主体のガスが、さらにガス洗浄設備を通り、残存する塩化水素はアルカリで中和され合成ガスが取り出される。この合成ガスが、水素、メタノール、アンモニア、酢酸など化学工業の原料になる。

### 2.2.3 TR

TRには、ごみ焼却熱利用、ごみ焼却発電、セメントキルン原燃料化、ごみ固形燃料（RDF）などがある。

総理大臣の諮問機関である経済財政諮問会議の「循環型経済社会に関する専門調査会」および産業構造審議会企画グループでは、2000年、TRも有効なエネルギー回収手段としてMRと並んで位置づけるとする提言をした。その理由はMRを常に優先することはコストやエネルギーの過度の増加を招く一方で、TRが最終的には化石燃料資源の採取量の減少と環境負荷の低減をもたらす場合がある、というものである。

我々は現在容リ法で認められていないプラスチックのTRについて他のリサイクル手法

#### 容器包装リサイクルパート

容器包装リサイクル法におけるプラスチックの効率的なリサイクルに向けて～サーマルリサイクル導入の検討～

と比較検討し、それが優れたリサイクル手法であることを示す。判断基準は環境負荷と経済効率の二つの視点である。

以下、3つのリサイクル手法を比較検討する。

### 第3章 プラスチックリサイクル各手法の優位性の比較

この章ではプラスチックリサイクルの3つの手法につき、環境負荷と経済効率の観点で優位性の比較を行う。なお、比較に当たってはプラスチック処理促進協会(2002)を参考にした。

#### 3.1 環境負荷

##### 3.1.1 LCA分析

本稿では環境負荷比較の分析のツールとしてLCA分析(ライフサイクル分析)を用いる。即ち、ある製品のライフサイクル(設計・製造・輸送・使用・廃棄)を通じた環境に与える影響を判断の基礎とする。

##### 3.1.2 手法解説

今回我々は「製品バスケット法」を用いて、環境負荷の優位性についてLCAの観点から比較検討する。製品バスケット法では、ある製品でリサイクル手法が三種類ある場合、一つのリサイクル手法を行った際に残りの二種類のリサイクルは行われず、そのリサイクルによって再生されるはずであった製品が新規に生産されるという「社会」を考える。これを今回のプラスチックに当てはめて説明する。

プラスチックにおけるリサイクル手法としては、MR、CR、TRという三種類のリサイクル手法があり、そのリサイクル手法から産み出される産品は、MRでは再生樹脂、CRでは高炉原料、TRでは電気である。例えばMRの社会であれば、MRを行うと残りのCRとTRは行われず、CRとTRで再生されるはずであった高炉原料と電気が新規に生産される。

このとき前提条件が二つ挙げられる。まず三つの産品に対する需要は必ずあり、全てを生産する必要があるということである。次に廃プラスチックには資源制約があるとする。ここでの資源制約とは、廃プラスチック1000kgを一つのリサイクル手法に用いるとすると、他の二つのリサイクル手法のインプットとしては用いえないと仮定する。このようにして「MR社会」の環境負荷をLCAの観点から評価し、残りの二つのリサイクル手法を用いた「CR社会」「TR社会」も同様に評価、比較する。

なぜ、このような「社会」という考え方が必要であるのかというと、MR、CR、TRにおいて、それぞれの産品に対して需要が必ずあるので、廃プラスチック1000kgのMR、TR、CRを単純比較をした場合には社会全体の環境負荷を正確に知る事が出来ないからである。そこで、産出産品の種類・数量合計を等しくする事により社会全体の環境負荷を比較する事が可能になるために「社会」という考え方をを用いた。

図表 3 - 1 各社会からの産出物

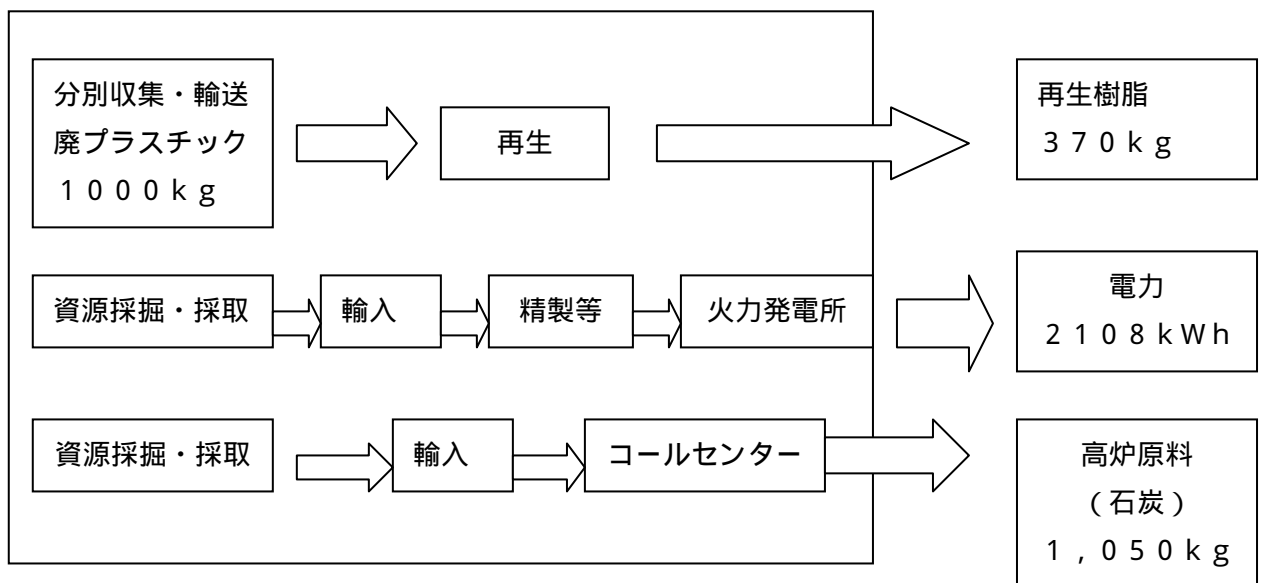
リサイクル手法	製品		
MR社会	再生樹脂	電気 (公共電力)	高炉原料 (石炭)
TR社会	新規樹脂 (バージン)	電気 (焼却電力)	高炉原料 (石炭)
CR社会	新規樹脂 (バージン)	電気 (公共電力)	高炉原料 (廃プラ)

注 CRは高炉還元剤化を用いる。

TRは廃プラスチックの焼却電力を産出製品として用いる。

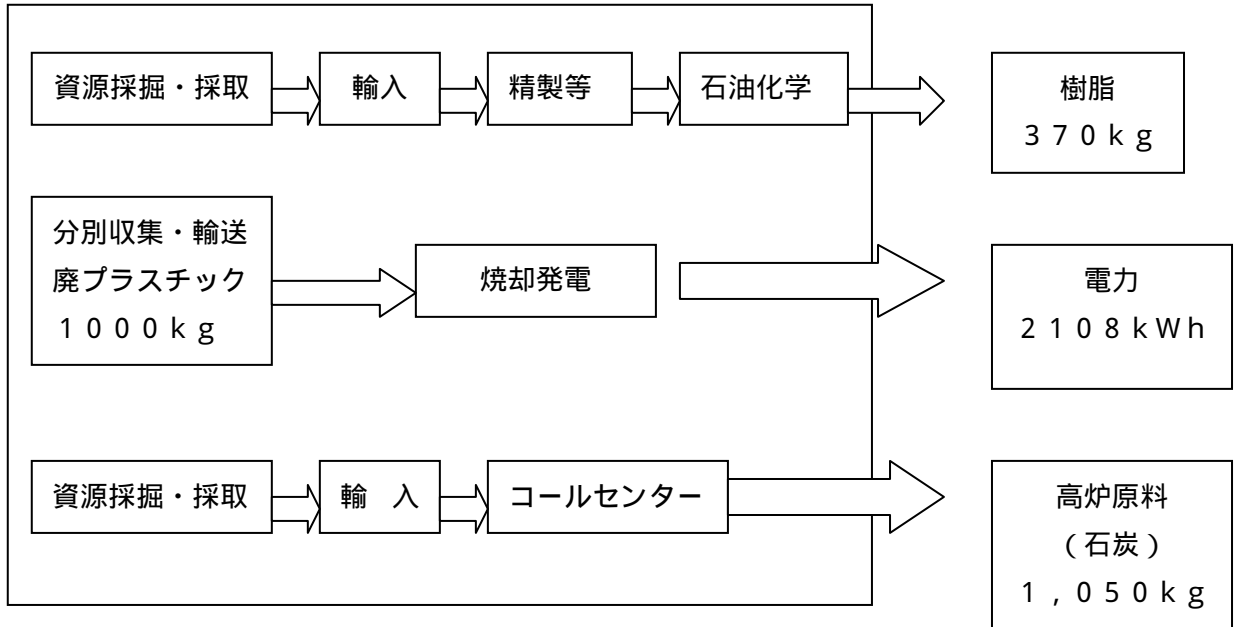
3つのリサイクル手法の各社会毎の環境負荷となりうる工程を図で表すと下図のようになる。

図表 3 - 2 MR社会

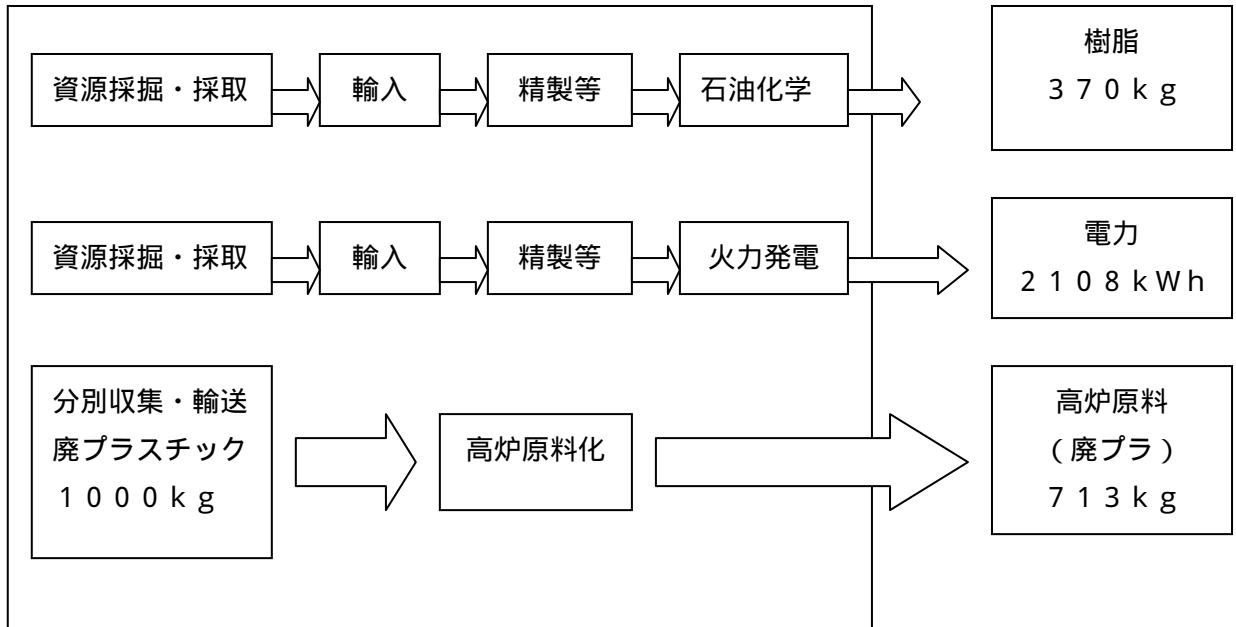


( 廃プラスチック 1000kg から再生樹脂 370kg が生産されるが、同じ原料を発電に向けると電力 2108 kWh 分に相当し( 発電効率 20% ) 高炉原料の場合には 1050kg を製造する )

図表 3 - 3 T R 社会



図表 3 - 4 C R 社会



ここで今回のLCA分析の前提条件を示す。

廃プラスチック 1000 kg を利用 (うち金属・水分を除くと 746 kg )

TR の発電効率は 10%、20%、30% のそれぞれのケースを試算し、評価した。

CRは高炉原料を用いて、評価した。

MRの収率は50%と仮定した。

MRで生成される再生樹脂の品質をバージン樹脂と同等と仮定。

TRの代替発電は火力平均の発電効率37.4%を採用

そして廃プラスチック1000kgから再生される樹脂、電力、高炉原料の数量とそれと同値のものを新規に製造する数値は下図のようになる。

図表3-5

廃プラスチック1000kgから

リサイクルした場合の再資源化量	量	それと同価値の新規原燃料	量
MR・樹脂(再生樹脂)	370kg	樹脂(新規製造)	370kg
TR・発電(発電効率10%)	1054kWh	新規火力発電(発電効率37%)	1054kWh
TR・発電(発電効率20%)	2108kWh	新規火力発電(発電効率37%)	2108kWh
TR・発電(発電効率30%)	3162kWh	新規火力発電(発電効率37%)	3162kWh
CR・高炉原料(廃プラスチック)	713kg	高炉原料(石炭・新規採炭)	1050kg

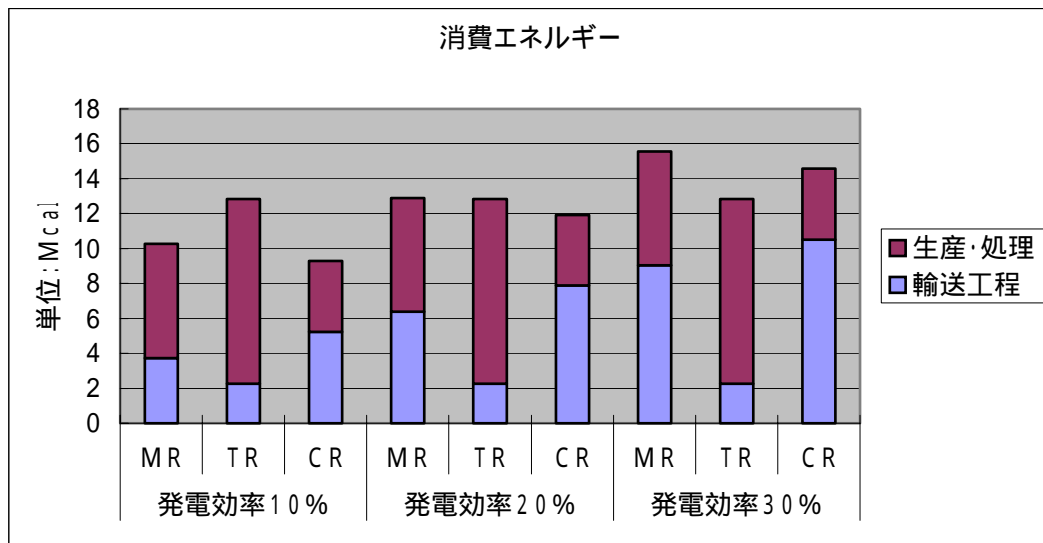
注:CRでは廃プラスチックと石炭の燃焼エネルギーを等価において石炭量を算出

出典:プラスチック処理促進協会

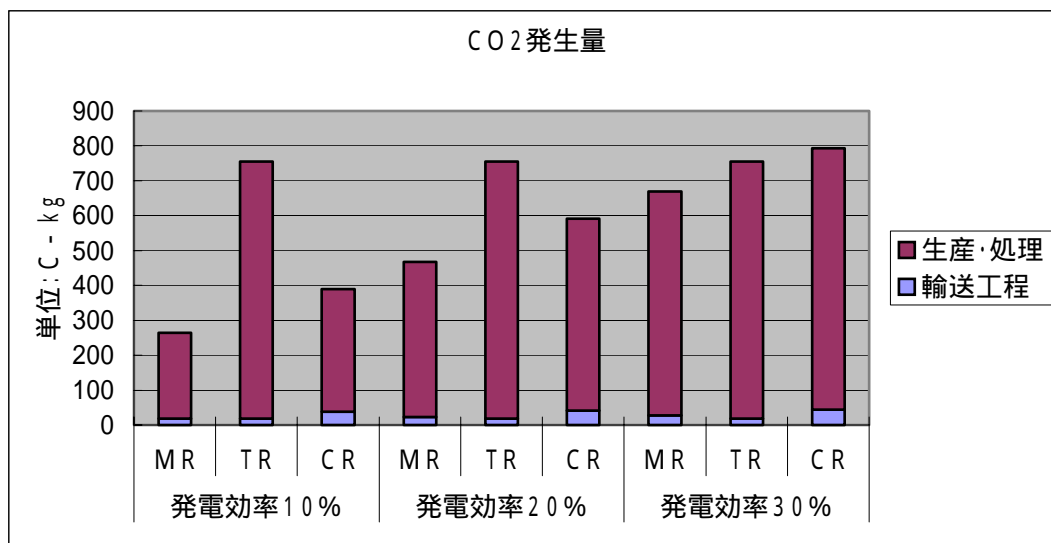
### 3.1.3 結果

3.1.2ではバスケット法の各「社会」ごとの構成とLCA分析を行う上での前提条件などを示した。以下の4つのグラフは、廃プラスチックをMRし、電力と高炉原料は新規原燃料を投入する場合(グラフでは「MR」と表示)、TRに回し、樹脂と高炉原料を新規原燃料から得た場合(同「TR」と表示)、CRに用い、樹脂と電力に新規原燃料を充てた場合(同「CR」と表示)の3種類のケースにつき、LCA分析を用いた環境負荷を消費エネルギー、CO<sub>2</sub>排出量、SO<sub>x</sub>発生量、NO<sub>x</sub>発生量の4つの面から測定した結果である。なお、それぞれにつきTRの発電効率を10%、20%、30%の三つの場合に分けて表示している。例えば図表3-6消費エネルギーの比較のうち発電効率10%のところ、MRとは上記の場合、TRは、CRはの場合のトータルなエネルギー消費量を示している。また、この他に廃プラスチック1000kgを各手法でリサイクルしたときの埋め立て量のグラフもプラ処理協のデータをもとに作成した。

図表 3 - 6<sup>16</sup>



図表 3 - 7



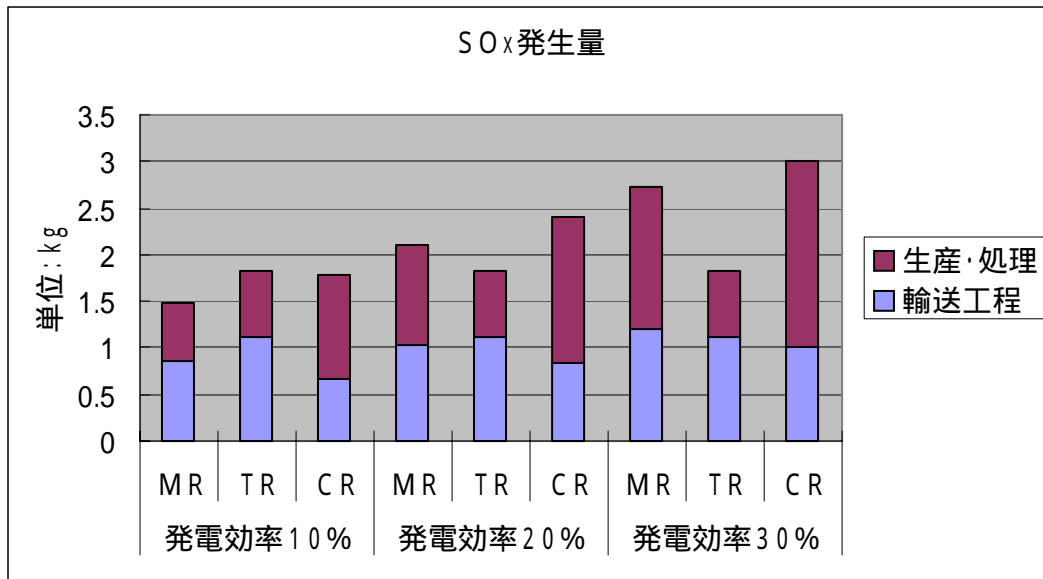
上記で MR とは廃プラスチックを MR し、電力と高炉原料は新規原燃料を投入する場合の CO2 排出量である。発電効率 10% の場合の MR とは、かりに廃プラを TR に回しても発電効率が 10% にしかならない場合である。この前提で上記の発電効率 10% の MR の環境負荷を見る。この場合電力 1054kWh は通常の火力発電で得ることになりその場合の発電効率は 37% である。発電効率 20% の MR とは、廃プラの発電効率は 20% であるが、TR に回さず

<sup>16</sup> 図表 9 から図表 1 3 はプラ処理協のデータを基に独自作成

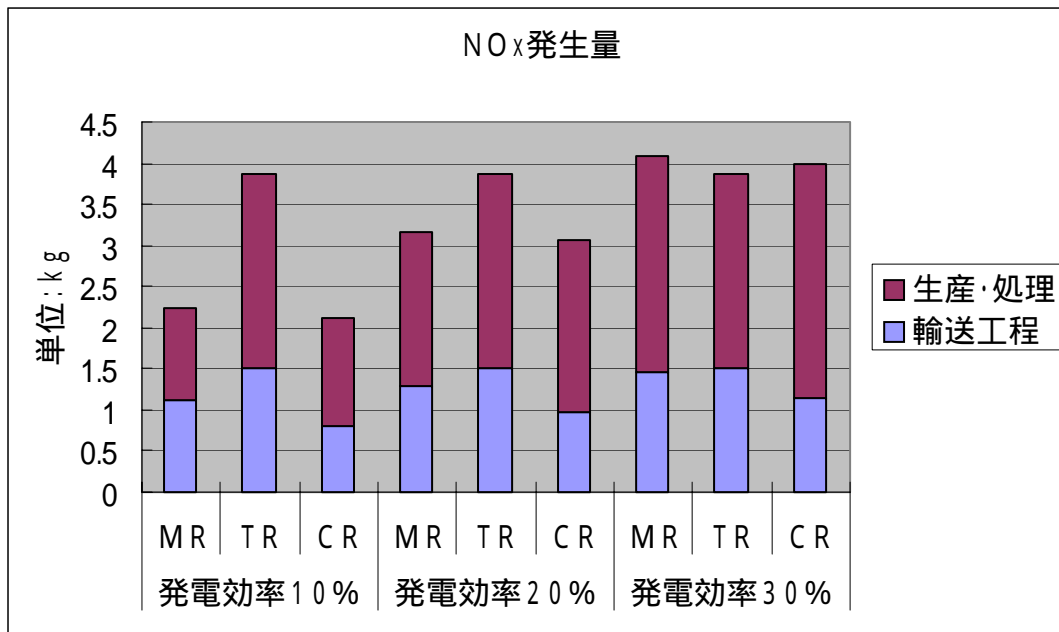


MR とする。その場合もし TR にまわっていたら得られたであろう 2108kWh を発電効率 37%で得るときの環境負荷と、高炉原料 1000kg を得るための環境負荷、それに MR 自体による環境負荷を合計した値である。発電効率に関わりなく、MR 自体および高炉原料採取の環境負荷は変わらず、発電効率の違いのみがトータルの環境負荷に影響する。上図の CR についても全く同じことがいえるので、発電効率が高くなるほどトータルな環境負荷が高くなる。TR については発電効率に拘わらず 1000kg の廃プラを燃焼させる場合の CO<sub>2</sub> 排出量は不変で、且つ樹脂と高炉原料を新規原料から得るための CO<sub>2</sub> 排出量は変わらないため、全ての発電効率の数字が不変となっている。

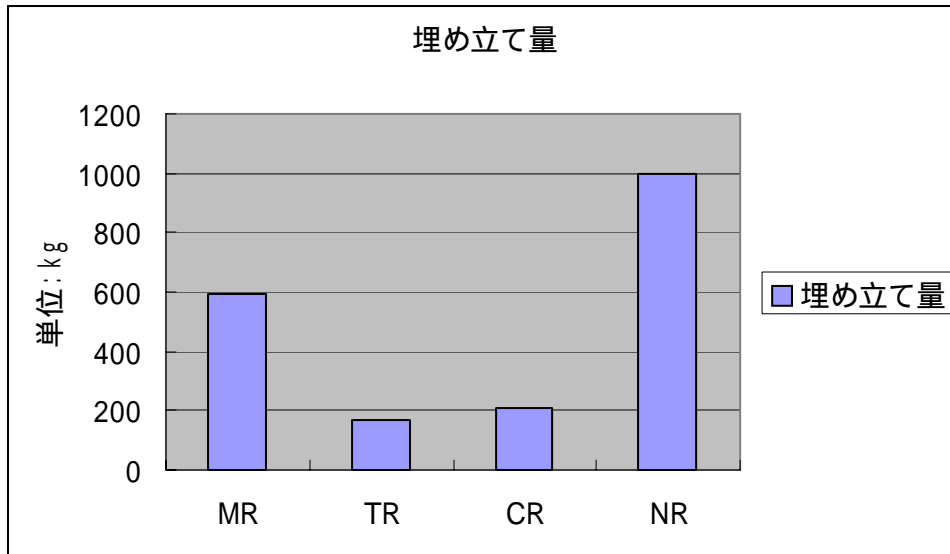
図表 3 - 8



図表 3 - 9



図表 3 - 1 0



注：NRとは廃プラスチック 1000 kg をリサイクルせずにそのまま埋め立てた場合

### 3.1.5 考察

廃プラスチックをTRする手法はプラスチック処理に伴うCO<sub>2</sub>発生があるが、発電効率次第で他の2つのリサイクル手法より環境負荷が低いと事がある。特に発電効率が30%に達すれば消費エネルギー、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の環境負荷ではMR、CRよりも低く、CO<sub>2</sub>発生量もMR、CRと大差がない状態と言える。以上の結果から、TRは発電効率が30%であれば環境負荷の面でMR、CRよりも優位であると言える。

### 3.2 経済効率

以上、環境負荷の側面からプラスチックリサイクルに最適な手法を検討してきた。ここからは経済的な側面からプラスチックリサイクルについて検討する。

#### 3.2.1 経済効率についての見方

経済的側面に関する比較も、環境負荷検討の際と同様に、製品バスケット法概念を応用して考える。まず、経済的側面からの検討に当たり、必要とされる価格を示す。

図表3 - 1 1<sup>17</sup>

MR	107,692 円 / t
TR	24,762 円 / t
CR	83,083 円 / t
埋め立て	28,500 円 / t
新規樹脂	131,165 円 / t
火力発電	8 円 / kWh
石炭高炉	3,733 円 / t

今回の論文作成に当たり、発電効率 20% の場合の数値しか得られなかったため、発電効率は 20% とした。30% に引き上げた場合は、後に詳しく述べるが耐腐食性材料等の設備費がかかるため、TR の費用は上昇すると考えられる。この場合どの程度コストが上がるかということは、施設規模等場合によって異なり、確実な数値を得る事は出来なかった。

上記の価格に以下に示す数値を乗ずることで、それぞれの社会ごとの総額を求める。

図表3 - 1 2 プラスチック 1 t をそれぞれの手法でリサイクルした時と、その代替物

	プラスチック樹脂	電力	高炉原料	残渣等埋立
MR	再生樹脂 370kg	火力発電 2108kWh	石炭高炉 1050kg	518kg
TR	新規樹脂 370kg	廃プラ発電(20%) 2108kWh	石炭高炉 1050kg	19kg
CR	新規樹脂 370kg	火力発電 2108kWh	廃プラ高炉 713kg	176kg

<sup>17</sup> MR と CR は 2002 年度落札単価(容リ協会 HP)参照。火力発電については石油・石炭・天然ガスでの発電コストを加重平均したものをを用いた(資源エネルギー庁 HP 参照)。また、新規樹脂についてはデータを最新のものに変えた。その他はプラ処理協(2003)による。

MRをした場合、 廃プラスチック 1000kg の処理に 107,692 円  
 新規に火力で 2108kWh 発電するのに、 $8 * 2108 = 16864$  円  
 新規に高炉原料を得るための石炭 1050kg に、 $3,733 * 1.05 = 3,920$  円  
 残渣等の埋め立てに、 $28,500 * 0.518 = 14,763$  円  
 以上、 ~ を合計した、143,293 円をMRした際にかかる費用とする。

同様に、TRの場合、 MRしたときと同量の樹脂を得るのに、 $131,165 * 0.37 = 48,531$  円  
 廃プラスチック発電に、24,762 円  
 新規に高炉原料を得るための石炭に、 $3,733 * 1.05 = 3,920$  円  
 残渣等埋め立てに、 $28,500 * 0.019 = 542$  円  
 ~ を合計し、TRにかかる費用、77,755 円を求める。

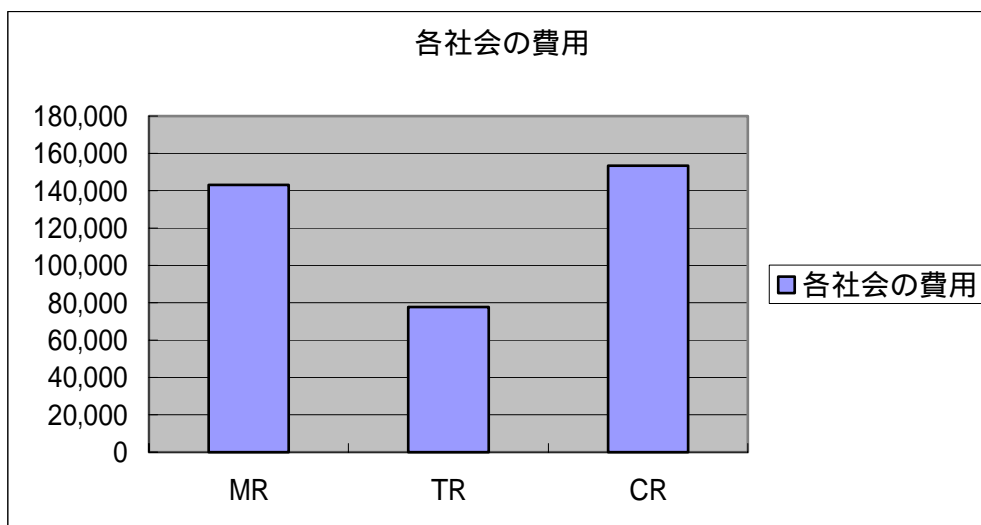
CRについても、 MRしたときと同量の樹脂を得るのに、 $131,165 * 0.37 = 48,531$  円  
 新規に火力で 2108kWh 発電するのに、 $8 * 2108 = 16864$  円  
 廃プラスチックから高炉原料を得るのに、83,083 円  
 残渣等埋め立てに、 $28,500 * 0.176 = 5,016$  円  
 ~ の合計、153,494 円がCRにかかる費用とする。

上記の結果MR、TR、CRの費用について図表3 - 13及び3 - 14の通りとなる

図表3 - 13 各社会の費用

MR 社会	143,293 円
TR 社会	77,755 円
CR 社会	153,494 円

図表 3 - 1 4



### 3.2.2 経済的側面からみたプラスチックリサイクルのまとめ

上のグラフからも分かるように、MR、TR(発電効率 20%)、CRの費用を製品バスケット法の概念を用いて比較すると、圧倒的にTRの場合にかかる費用が低く、CRの約半分である。よって発電効率 20%のときは、経済的側面のみ考えるのであればTRが最適といえる<sup>18</sup>。火力発電ではなく、全電源代替の場合、水力発電<sup>19</sup>等の火力よりも発電にコストがかかるものも含まれるため、発電コストは上昇すると考えられる。それを上記の考え方に当てはめて考えると、TR社会の費用総額が他の社会に比べいっそう低くなることが予測される。つまり、火力発電と全電源、いずれの場合をとっても結局はTR社会が最も費用最小となると考えられる。

尚、現段階でのTRの発電効率は20%後半が主流を占めている<sup>20</sup>。また、発電効率を30%に引き上げると、設備への負担が大きく、高額な耐腐食剤を使用しなければならない<sup>21</sup>こともあり、TRにかかる費用の増大が見込まれる。しかし、ガスタービン等の技術が進歩し導入する事業所が増えてきている為、今後は発電効率の高いTRをより安く実現できる可能性が高いといえるだろう。

<sup>19</sup>水力発電のコストは13.6円/kwh。また、他の発電コストは石油が10.2円/kwh、石炭6.5円/kwh、天然ガス6.4円/kwh、原子力5.9円/kwh、新エネルギー9~73円/kwh(資源エネルギー庁HPより)

<sup>20</sup> サニックスヒアリング調査より。

<sup>21</sup> サニックスヒアリング調査より。

## 第4章 提言

---

以上、我々はプラスチックのリサイクル手法について、環境面と経済面から最適な手法を検討した。その結果、環境面では発電効率が30%以上であればTRがCRよりも優位であることが考察された。また経済面では、20%の場合TRが他の二つのリサイクルに比べてより安くリサイクルができるものの、発電効率を上げると耐腐食性材料等の設備がかかるために、TRにかかる費用の増大が見込まれるとの結果を得た。これだけを見ると現在の技術ではTRが最適なりサイクル手法とは言い切れない。しかし我々は将来的にTRが最適なりサイクルとなる可能性を十分秘めているものだと考えている。本章ではその根拠を述べた後、我々の考えるプラスチックにおける最適なりサイクル実現の為の提案をする。

### 4.1 環境面

製品バスケット法での分析によると、発電効率が30%以上であれば、TRは消費エネルギー、CO<sub>2</sub>排出量、SO<sub>x</sub>発生量、NO<sub>x</sub>発生量、埋め立て量のどれをとってもCRより環境負荷が低いという結果を得た。CRは現在容り法のプラスチックリサイクル手法として認められているため、30%という条件を満たせば、TRを導入する意義があるといえる。発電効率が30%の場合、唯一MRより環境負荷の高いCO<sub>2</sub>排出量についても今後さらに減少する可能性がある。その根拠は国の新エネルギー対策の一環としての廃棄物発電の存在である。廃棄物発電は発電分野の新エネルギーとしては最も安く、そして最も多くCO<sub>2</sub>を削減できる<sup>22</sup>。そのような廃棄物発電が国内の地球温暖化対策において進む可能性は高く、より削減効率の高い技術の進展が期待できる。それによってプラスチックのTRにおけるCO<sub>2</sub>削減も進むと考える。

それでは発電効率が20%の場合ではどうかというと、その場合SO<sub>x</sub>発生量を除いてはTRの環境負荷が最も低いといえず、現在認められているMRとCRでのプラスチックリサイクルが最適といえる。しかし我々の調査によると、現在TRの発電効率は20%を越え、ますます伸びていることがわかった。例えば、つまり今後の技術革新を考えると、プラスチックリサイクルの環境負荷最小化の為にはTRが最適となる可能性があると言える。

---

<sup>22</sup> 山口研究会新エネルギー班(2003)参照。

## 4.2 経済面

前章での分析によると、発電効率が20%の場合TR社会の費用が圧倒的に小さかった。我々のヒアリングによると、不純物の少なく単一素材の集まりやすい産業廃棄物のプラスチックリサイクルでも発電効率は20数%が平均的であるとわかった。しかし環境面では発電効率が20%ではTRの優位性はない。現在の技術を前提に発電効率を上げようとする、焼却炉ボイラーを保護する高コストな耐腐食性材料を設置し、ボイラー内の蒸気温度を高温に保つか、または通常のごみ発電で用いられる蒸気タービンの他にガスタービンも用いて天然ガスなど新規にエネルギーを投入し、蒸気タービンの出力を上げ、タービン内の蒸気温度を高温に保つ必要がある。つまり、純粋なプラスチックのみによるTRが最適な手法となるためには、現段階では耐腐食性材料等新規設備のコストがかかり、経済性の面で他のリサイクル手法に劣る可能性がある。しかし4.1でも述べたように技術は進展しているところであり、またTRを入札に加え三つのリサイクルの競争が、さらにそれを促進すると考えられる。これによってTRの価格が下がり、全体としてより効率的なリサイクルが実現する可能性がある為、経済性の面でもTRの導入意義があるといえる。

この主張の前提となっているのが、現在優先して入札が行われているMRが、他のリサイクル手法と同等の条件で入札されるべきだという考え方である。MRが優先されている理由については容リ協会による具体的な説明はないが、現在認められているプラスチックのCRがペットボトルのCRであるボトル to ボトルとは異なり一度しか循環しないものであるため、唯一プラスチックの再生品を生み出すMRを法律で守り、技術革新の芽をつぶさないという意向があるのではないかと考えられる。しかし我々は、製品の特性によっては必ずしもMRが有効な方法ではないと考えている。今回我々が取り上げているプラスチックは、第二章で述べたように、複合素材で出来ているものが多く、また素材の種類が多いため、MRをするには選別などに過剰なコストがかかり、また出来上がった再生品の品質も悪い。また、優先されていることで、MRの技術革新が起きる機会を損ねてしまう可能性もある。優先によって不良業者も出てきているとの話もある。また再生品の品質が十分でなく、それを受け取る業者を確保していない不良業者を優先という制度が生み出していることも事実である。よって、我々はMRが優先される理由はないと考える。

## 4.3 まとめと考慮すべき点

以上より、現在の技術では環境面、経済面において必ずしもTRが最適とは言い切れないが、今もなお進行中である技術革新を考慮すると、今後TRが三つのリサイクルの中で最適なりサイクルとなる可能性がある。よって、現在の入札制度においてそのような可能性を秘めるTRを除外することは適当でない。また、MRを優先させる明確な根拠もない為、我々はTRを導入した上で三つのリサイクル手法を同等に入札することが、容リ法の



プラスチックリサイクルにおいて最適なりサイクルの為に必要であると考え。

しかしここで考慮しなければならないのが、国民の受容可能性である。国民が排出したプラスチックを焼却すると知れば、国民は発生抑制や分別排出の必要性を感じなくなる可能性がある。また先にも述べたように、燃焼するのならモノからモノへのリサイクルを行った後にも可能であるという主張も誤りではない。このような事情を考慮した上で、我々はプラスチックのTRを発電効率 30%という条件をつけた上で、試験的に導入することを提案する。まずは限られた地域、期間でTRを導入し、その間にかかった費用と環境負荷を考慮し、容リ法の本格参入を検討すべきである。

## おわりに

---

本稿で我々は容器包装リサイクル法のプラスチックにおいて、現在認められているリサイクル手法では環境負荷、経済効率の面で最適なリサイクルがなされていないのではないかという疑問から、製品バスケット法を用いて三つのリサイクルの環境負荷と経済効率を比較検討した。その結果、発電効率が30%以上であれば、TRを認めない理由はなく、試験的に導入すべきTRを導入すべきだと提案した。

また家電リサイクルや自動車リサイクルについては容リ法とは事情が異なり、同様のことが言えるかどうかはさらなる検討を必要とする。よって、本稿では容リ法におけるTRの導入の検討にとどめておく。

我々はこの論文で、MR第一主義的な発想にある現在の日本のリサイクルの在り方を改めて問い直す必要があるということを強調したい。単純焼却するよりコストと環境負荷が多くかかってしまうリサイクルが、果たしてリサイクルと言えるのだろうか。リサイクルにおいては、その製品の特性を考慮した上で、環境負荷や経済性等の側面からどのリサイクル手法が最も適しているのかを見直すきっかけとなることを期待し、本稿の結びとする。

お世話になった方々

財団法人 容器包装リサイクル協会 専務理事 岩田功様  
財団法人 容器包装リサイクル協会 企画調査部長 大平惇様  
財団法人 容器包装リサイクル協会 広報部長 土井敬和  
キリンビバレッジ株式会社 社会環境推進室 室長 寺田章様  
株式会社サニックス 環境資源開発事業本部 管理部 企画課 課長 矢木雅也様  
株式会社サニックス 環境資源開発事業本部 管理部 企画課 主任 中村和弘様  
株式会社サニックス 環境資源開発事業本部 管理部 企画課 主任心得 友森康彰様

参考文献

月間廃棄物編集部(2003) 「他の手法を圧倒するCR」月間廃棄物 2003年7月号 日報アイビー  
貞森 恵祐(2003) 「容器包装リサイクル法の現状と課題」月間廃棄物 2003年7月号 日報アイビー  
全国容器包装プラスチック促進協議会(2003) 「厳しいマテリアル再商品化事業者」月間廃棄物 2003年7月号 日報アイビー  
田中勝・杉山良子(1998) 「リサイクル 世界の先進都市から」リサイクル文化社  
林新次・芹口勇作(2003) 「容器包装リサイクル最前線 完全施行後の問題点を探る」日報出版  
山口光恒(1996) 「環境リスクと環境法 欧州・国際編」有斐閣  
山口光恒(2000) 「地球環境問題と企業」岩波書店  
リサイクル法令研究会(2003) 「一目でわかる！容器包装リサイクル法」  
和田安彦(2003) 「第3ステージに入った容器包装リサイクルと今後の課題」月間廃棄物 2003年7月号 日報アイビー

参考資料

社団法人 プラスチック処理促進協会(2003a) 「廃プラスチック処理・処分システムのエコ効率分析」2003年6月25日  
社団法人 プラスチック処理促進協会(2002a) 「廃プラスチック処理・処分システムのLCA手法による検討」2002年3月  
社団法人プラスチック処理促進協会(2003b) 「プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 2001年」2003年6月  
社団法人プラスチック処理促進協会(2002b) 「プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 2000年」2002年6月  
社団法人プラスチック処理促進協会(2001) 「プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 1999年」2001年6月

#### 容器包装リサイクルパート

容器包装リサイクル法におけるプラスチックの効率的なリサイクルに向けて～サーマルリサイクル導入の検討～

- 社団法人プラスチック処理促進協会(2000) 「プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 1998年」2000年6月
- 社団法人プラスチック処理促進協会(1999) 「プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 1998年」1999年6月
- 包装技術(2003) 「容器包装リサイクル法の現状と課題」2003年7月
- 山口研究会容器包装リサイクル班(2003) 「容器包装廃棄物を減量するために 容器包装リサイクル法とゴミ有料化政策の補完を考える」 2003年4月
- 山口研究会容器包装リサイクル班(2002) 「容器包装リサイクル法の費用便益分析」2002年4月
- 山口研究会容器包装リサイクル班(2000) 「容器包装リサイクル法-プラスチックリサイクルに置ける問題点と課題-」2000年4月
- 山口研究会新エネルギー班(2003) 「新エネルギー導入目標の検討～新エネルギー起源CO2削減コスト低減のために～」2003年12月
- 財団法人容器包装リサイクル協会(2002) 「容器包装リサイクルに関する中長期的課題検討小委員会検討結果 2002年3月8日

#### インターネットリソース

環境省 HP <http://www.env.go.jp/>

経済産業省 HP <http://www.meti.go.jp/>

社団法人 プラスチック処理促進協会 <http://www.pwmi.or.jp/>

プラスチック容器包装リサイクル推進協議会 <http://www.pprc.gr.jp/>

日本プラスチック工業連盟 <http://www.jpif.gr.jp/>

財団法人日本容器包装リサイクル協会 <http://www.jcpira.or.jp/index.html>