連載講義

# 地域循環圏：地域特性・資源特性に応じて形成する循環型社会

## 第2回 廃プラスチック類の効率的・安定的なリサイクルと処理に向けて

JW SEMINAR

（独）国立環境研究所　社会環境システム研究センター　主任研究員

藤井　実

《連載にあたって》

平成24年7月に、環境省から「地域循環圏形成推進ガイドライン」が公表されました。これは、地域循環圏の形成を促進するために、主に地方公共団体等向けに策定されたガイドラインで、地域循環圏の概念・類型パターン、基本構想の策定から地域循環圏形成までの流れ、地域循環圏の形成事例などについて、基本的な考え方を整理して示したものです。本年度の連載講義は、当ガイドラインの策定に携わった「地域循環圏形成推進に向けた検討会」の委員やその有識者の方々に、4回にわたり「地域循環圏：地域特性・資源特性に応じて形成する循環型社会」と題してご解説いただきます。第2回は（独）国立環境研究所の藤井主任研究員に「廃プラスチック類の効率的・安定的なリサイクルと処理に向けて」についてご解説いただきました。

### 1. はじめに

プラスチックは様々な優れた機能を有するため、日常生活の様々なところに利用されており、重要な素材の1つとなっている。一方で、現在その大部分は化石資源から製造されており、温暖化や資源枯渇に対応するには、廃棄物となったプラスチック（以下「廃プラスチック類」という）の有効活用が不可欠である。一般社団法人プラスチック循環利用協会の推計によると、2011年の1年間に952万トンの廃プラスチック類が排出さており、そのうち一般廃棄物と産業廃棄物は概ね半々である。全体で、未利用の廃プラスチック類が22パーセント存在し、利用効率がそれほど高くないと考えられる廃棄物発電や熱利用焼却の割合も45パーセントを占めており、効率改善の余地は大きい。

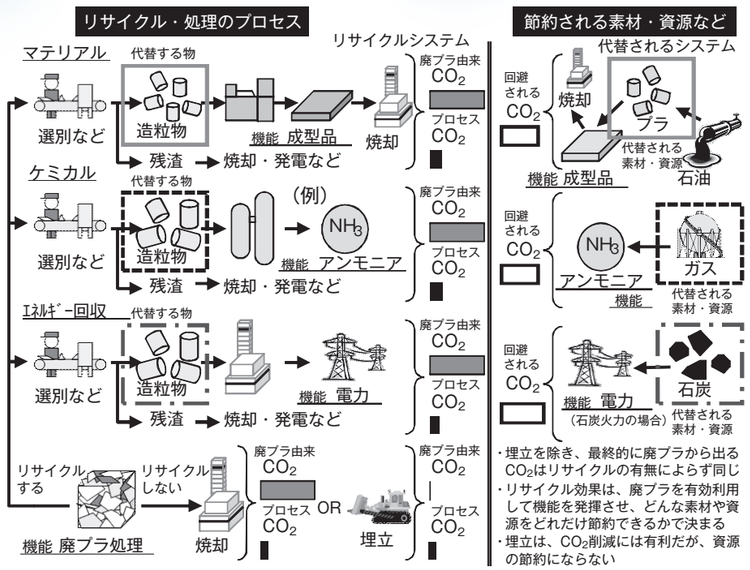
リサイクルの効果を高めるには、廃プラスチック類の単位重量当たりの効果を高めるとともに、リサイクルの実施量を拡大する必要がある。かさ密度が小さく収集費用が高額になりがちなプラスチックリサイクルの実施量を拡大するには、妥当な空間規模でリサイクルを行う必要があり、「地域循環圏」の最適な設計が必須である。その際、現時点において費用対効果に優れることは勿論、将来に様々な情勢変化が生じても持続的な仕組みとなっていることも重要である。現在から将来までの時間積分値としての、リサイクル効果の期待値を拡大できる仕組みを準備しておくことが望ましい。

### 2. 廃プラスチック類のリサイクルと評価方法

本題に入る前に、簡単に廃プラスチック類のリサイクルとその評価方法について述べる。図1に示すように、廃プラスチック類のリサイクルには大別するとマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、エネルギー回収の3種類の手法が存在する。マテリアルリサイクルでは、破砕や加熱の物理的プロセスを経て樹脂を再成型する。ケミカルリサイクルでは、化学的な反応を経たリサイクルが行われ、図中の例の他、製鉄所の高炉やコークス炉等での活用例もある。エネルギー回収は、分別された廃プラスチック類をセメントや製紙工場等で燃料として利用するものと、他の廃棄物と混焼する焼却炉での発電・熱利用がある。図中のバーの長さは$CO_2$の排出量（あるいは温室効果ガスの合計）のイメージであるが、図の左側に示すように、いずれのリサイクルを行う場合でも（マテリアルリサイクルも無限には繰り返せない）、埋め立てる場合以外では最終的に燃焼・酸化される。このとき廃プラスチック類からは同量の$CO_2$が発生するため、この部分では手法間に環境負荷の差異はない。一方、リサイクルのプロセス（例えば電力消費）から発生する$CO_2$は、方法ごとに異なる。また、プラスチックが代替する素材や資源の種類及び量はそれぞれ異なるため、回避される$CO_2$排出量も異なることになる（図の右側）。リサイクルの効果は、これらの差異を計算することで求められるのが一般的である。埋立は、$CO_2$排出の少ない処理方法ではあるが、資源の節約効果がなく、埋立処分場の容量を奪う。温暖化防止が注目されているが、リサイクル効果の評価には総合的な視点が欠かせない。

### 3. 廃プラスチック類の地域循環圏

環境省の「地域循環圏形成推進ガイドライン」参考文献1)に記載されている廃プラスチック類の効率的な循環システムは、ソーティングセンターと呼ばれる選別・前処理施設を活用して、廃プラスチック類のマテリアルリサイクルとともに、前述のケミカルリサイクルやエネルギー回収に相当する、既存基幹産業における原・燃料利用を進めるものである（図2）。




※$CO_2$排出量を模式的に表わすバーの長さは、おおよそのイメージを示すものであり、大小関係はケースバイケースである。

図1　廃プラスチック類リサイクルの種類

ソーティングセンターは、主として光学選別などの機械的な選別方法によって、廃プラスチック類を種類毎に選別する施設であり、欧州などで導入が進んでいる。国内でも、家電リサイクルや、プラスチック製容器包装のリサイクルで種類毎に選別する目的、又はRPFと呼ばれる廃プラスチック類（または古紙等との混合物）からなる固体燃料に加工する際に、利用先において敬遠される塩化ビニルを除去する目的等で機械選別が利用されている。平成24年度より、日本容器包装リサイクル協会において実証試験が行われており参考文献2)、「機械選別を中心とした現実的な選別工程による選別をおこない当該廃棄物がどこまで分別可能であるかを調べることとする（選別可能性試験）。さらに、最終選別物に対しては内容分析とともに価値評価を行うこととする。」との目的で実施されている。現在中間報告が公表された段階であり、「選別可能性試験については、PE、PPの選別物中の構成比は80%前後、PS, PETの選別物中の構成比は約90%だった。PS, PETの選別のしやすさが確認された。また、PVCについては、回収率及び選別物中の構成比が小さく、機械選別の難しい素材だった。」との結果が示されている。平成25年度は、選別可能性試験を継続するとともに、選別物の廃プラスチック類の種類別組成及び物性の把握と、価値評価が行われる予定である。

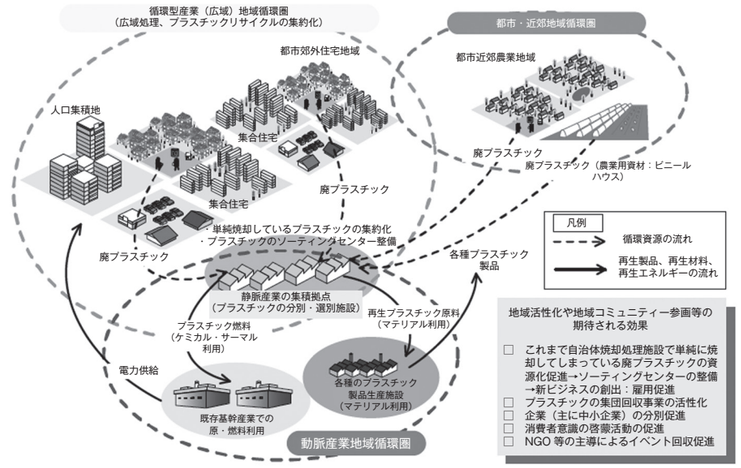



図2　廃プラスチック類の地域循環圏参考文献1)

## 4. 長期的なリサイクル計画に向けて

前述の資源循環圏の姿は、廃プラスチック類の効率的なリサイクルを進めるための1つの手段を示したものである。冒頭に述べたように、これから導入する対策は、将来情勢変化が起こっても安定的に機能するものであることが望ましい。これまでにも、廃棄物のリサイクル・処理分野において情勢変化への対策はとられてきたが、個々の対策を整理し、頑強なリサイクル・処理システムの設計指針としてまとめることが重要であると思われる。本稿は、その手掛かりとなればと考える。

高効率・低コストで持続的（頑強）なリサイクル・処理システムとは、投入する費用（初期費用と運転費用）に対して、現時点だけでなく、長期的（施設の一般的な耐用年数である数十年の期間を想定）にも高いリサイクル効果が得られるシステムである。情勢の変化には、人口減少や2R（リデュース、リユース）の進展によって廃棄物発生量が漸減したり組成が変化したりする場合、大きな経済変化によって廃棄物発生量が急激に減少しリサイクル製品の需要が大幅に落ち込む場合、省エネルギー技術や太陽光、太陽熱等の導入の進展に伴いエネルギー回収の意義が相対的に低下する場合など、様々なケースが想定される。特に2Rの推進は本来リサイクルよりも優先されるべきものであり、新たに導入したリサイクルの仕組みを維持するために、2Rの推進が阻害されるようでは本末転倒の感もある。

情勢変化の影響を受けにくいリサイクル・処理システムとなるには、例えば以下のような視点が重要になると考えられる。個々の項目は既に実行されている内容であるが、これらの効果を総合的に判断してシステムの全体を設計・評価することが必要である。

### （1） 既存施設の活用

初期投資を抑制するには、既存の施設を利用することが有効である。しかし、貴重な資源でもある廃プラスチック類を有効利用する観点からは、効率的にリサイクルできるか判断した上で、限定的に既存施設を利用することが望ましい。この判断の「ものさし」として、リサイクルの最大理論効率[参考文献3)]を考えることができる。リサイクルの効果が理論的に最大となるのは、廃プラスチック類1キログラムが、追加的なエネルギー投入なしに、同じ種類の新規プラスチック1キログラムを代替できる場合である。現実的には不可能と思える状況であるが、例えば熱力学的な最大理論効率を達成できるエアコンが実在しないのと同様で、ものさしの最大スケールが極限値であることで、ぶれない評価が行える。図3は、プラスチックリサイクルの最大理論効率とともに、素材産業の既存炉を活用したプラスチック製容器包装リサイクルの効率を示している。参照として、自治体の焼却発電の平均的な効率も示している。これら産業の既存炉を活用するリサイクルは、理論最大値からは劣るものの、容器包装が雑多なプラスチックの混合物である点も考慮すると、高い効率を有すると判断される。

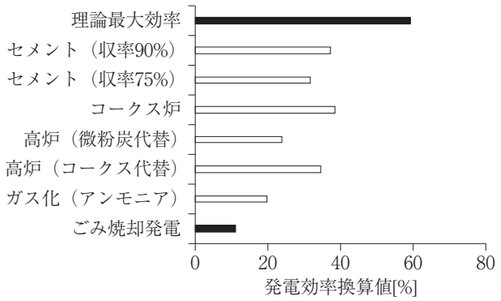



**図3 最大理論効率と比較したプラスチックリサイクルの効率（発電効率換算値）** 参考文献3)

### （2） 施設（機能）の多様性

廃棄物のリサイクル・処理に係わる各施設は、それぞれ長所と短所を併せ持っている。焼却炉は低品質な廃棄物も幅広く受け入れ適正に処理できるのが長所だが、建設費は高額であり、廃棄物量が減ると単位費用（1キログラムの処理当たりの費用）が容易に増加する点が短所となる。また、発電効率は平均的には10数%であり、効率を高めるには廃棄物の安定供給が必要であるため、情勢変化への追随性が低下する。選別施設はベルトコンベアー式の工程のため、処理速度調節が容易であり、建設コストも安価であることが長所である。また、選別・前処理された廃棄物を適切に利用することで、高いリサイクル効果が得られる。ただし、ある一定品質以上の廃棄物のみが処理対象となる。どちらか一方に偏ると、短所を相互に補完することができない。将来の情勢変化を考慮し、各施設の長所を活かす、施設整備のバランスも重要である。

### （3） 環境負荷削減確率の高いリサイクル

図4に示すように、元と同じ製品に戻す閉ループのリサイクルと、違う製品を作る開ループのリサイクルがある。また、元と同じ製品ではなくても、必要性の高い製品を製造するための原料や燃料として用いる場合は、準閉ループリサイクルと呼ぶことができるかもしれない。閉ループや準閉ループのリサイクルは、再生品に常に高い需要が期待できるため、将来も環境負荷を削減できる確率が高くなる。

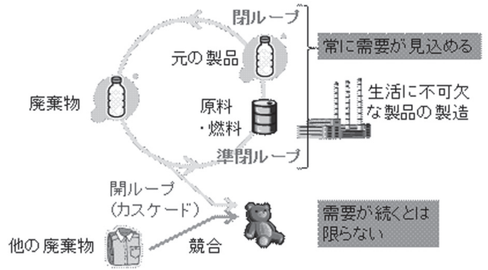



**図4 閉ループリサイクルと開ループリサイクル**

### （4） 絶対効率の向上

リサイクルは廃棄物1キログラムがどのような種類の新規資源を何キログラム代替したかの相対的な関係（代替効果）で決まる。効率が低いリサイクルプロセスでも、代替されるプロセスの新規資源の利用効率も低ければ、リサイクル効果は高くなる。一方、廃棄物がどのようなエクセルギー効率で利用されたのかを考えれば、相対的な関係によらずに利用効率（絶対効果）を算出することができる。リサイクルは、まず代替効果の高い利用方法を選択することが必要条件ではあるが、今後社会でエネルギーシステムの効率化が進んだ際にも高い競争力を保つためには、絶対効率も高いリサイクル方法を選択することが望ましい。

## 5. 安定なシステムの評価事例

著者は、機能はやや異なるがソーティングセンターに相当するリサイクル拠点の設置を前提として、廃プラスチック類の分別収集、リサイクルを促進した場合の、$CO_2$と費用の削減効果の評価を行った[参考文献4)]。計算の詳細は原文献を参照していただきたい。一般廃棄物を対象とした計算であるが、同様の考え方は産業廃棄物の廃プラスチック類にも適用できると思われる。素材産業炉等を活用して安定した需要の見込める絶対効率の高いリサイクルを実施することで、大幅な$CO_2$削減効果が得られ、適切な空間規模の選択により費用も低減できる可能性が算出されたほか、既存施設を活用して焼却施設への依存度を下げることで、図5に示すように、廃棄物量（人口密度や一人当たりのごみ排出量）が減少する際にも、単位費用の増加を抑制できる可能性がある。このように、廃プラスチック類が効率的かつ安定的にリサイクルできる仕組みについて、今後も検討を重ねていく予定である。

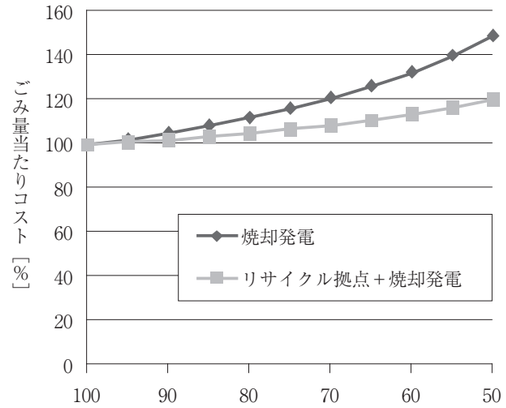



**図5 廃棄物量の減少に伴う単位コストの変化**

謝辞
本稿の内容の一部は、環境省環境研究総合推進費補助金（K2351）の補助を受けたものである。

**参考文献**
1) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部企画課循環型社会推進室「地域循環圏形成推進ガイドラインの概要」（2012）
2) （公財）日本容器包装リサイクル協会・プラスチック容器事業部　プラスチック製容器包装に係る実証試験評価委員会「平成24年度　プラスチック製容器包装に係る実証試験」中間報告（2013）
3) 藤井実，藤田壮，陳旭東，大西悟，大迫政浩，森口祐一，山口直久「長期的視点からのプラスチック及び雑紙のリサイクルシステムの検討」環境システム研究論文集，39，II_439-447（2011）
4) Minoru Fujii, Tsuyoshi Fujita, Xudong Chen, Satoshi Ohnishi, Naohisa Yamaguchi (2012) Smart recycling of organic solid wastes in an environmentally sustainable society, Resources, Conservation and Recycling, 63, 1-8