

廃プラスチック資源化の技術的展開と普及への課題

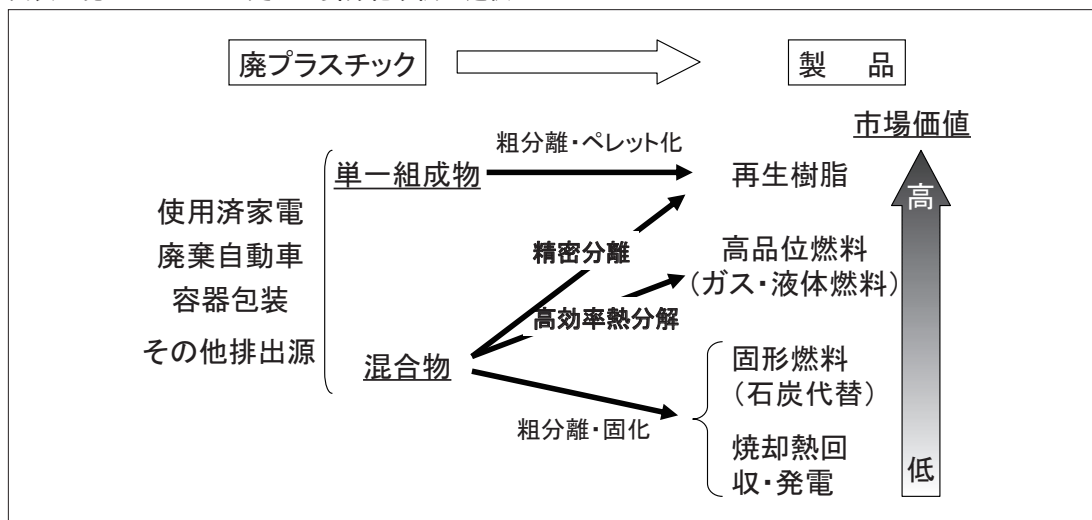
廃棄物の資源化・利用は循環型社会の形成への中心的課題である。さまざまな廃棄材料の資源化が進む中、廃プラスチックは金属やガラスに比べコストが高く、得られる再生製品の市場価値が低いなどの課題が指摘されてきた。しかし、資源価格の高騰で資源としての価値が高まっている。また日本では、循環型社会形成促進基本法の施行から10年を経て、企業の関心は廃棄物資源の徹底した利用に向かい、環境省や経済産業省では発展途上国への廃棄物資源化技術の移転推進政策を打ち出すまでになっている。

廃プラスチックから得られる代表的な資源化製品は、再生樹脂と燃料である。使用済み家電や廃棄自動車など混合廃プラスチックの静電選別による樹脂種別の分離が実用化され、廃プラスチックの再生樹脂として活用が拡大している。また、固形・液体・ガスの各燃料化も技術的信頼性が実証され、特に固形燃料は製紙業界を中心に石炭代替のボイラー燃料として普及している。しかし、廃プラスチックは、資源化コストが高く排出者やごみ処理関係者に経済的メリットが小さい。このため、資源化される割合は廃プラスチック総排出量の内、およそ3割に留まっている。

廃プラスチックの資源化率を向上するためには、混合廃プラスチックを低コストで市場価値の高い製品へと資源化することが重要であり、精密分離や熱分解に新技術の開発が必要である。低コストで環境上効果的な処理と資源化が実施されるよう技術の高度化への取組みが必要である。特にプラスチックの物質フローの上流に位置する石油化学、プラスチック製造企業や各種研究機関には、低コストで環境上効果的な処理と資源化が実施されるよう技術の高度化が望まれる。

廃棄物の処理と資源化は、多数の要素技術を組み合わせたシステム技術であると同時に多数の利害関係者を巻き込む社会基盤の形成の取組みであり、国や地方自治体の、廃棄物処理・資源化事業者の現場に直結した支援、地域の実情に合った支援や体制づくりの推進が不可欠である。例えば容器包装プラスチックのように市場経済のもとでは有効に資源化することが困難な未活用資源については、国が関与し適切な法や制度のもとで効果的にその活用を図る必要がある。

図表 廃プラスチック処理・資源化手法の選択



科学技術動向研究センターにて作成

廃プラスチック資源化の技術的展開と普及への課題

小寺洋一
客員研究官

浦島邦子
環境・エネルギーユニット

1 はじめに

廃棄物の資源化・利用は循環型社会の形成への中心的課題である。毎年1千万トン近く排出される廃プラスチックは、埋立て処分場の残余容量の急減と、焼却による二酸化炭素などの環境負荷物質発生を引き起こしている。

これに対し、日本では、2000年の循環型社会形成促進基本法の施行から10年を経て、容器包装・家電・自動車など各廃棄物のリサイクル法のもと、資源化率の向上とコスト削減の努力が各方面で継続して行われている。環境省は、環境・循環型社会・生物多様性白書(平成22年度版)で、資源循環の取組みや成果を紹介し、「環境産業が牽引する新しい経済社会」という新たな章も設けている。我が国の「固形廃棄物管理」の技術が先進諸国をリードすることを紹介するとともに、

経済成長に伴い廃棄物処理と資源化が喫緊の課題となっているアジアへの技術移転への期待が述べられている。また、2009年設立のアジア3R推進フォーラムでは具体的技術移転プロジェクトの実現を目指すとして、「静脈産業」の海外展開を推進している^{1, 2)}。経済産業省産業構造審議会の議論でも、我が国が比較的優位となる海外移転可能な社会インフラの一つとして、廃棄物リサイクルをあげている³⁾。このように、我が国では、資源循環や低炭素社会を推進する法令や制度の整備とそれに適合した資源化技術の革新で「資源循環産業」を形成し、家電や自動車など廃棄物分野によっては海外展開を目指す段階に入った。

さまざまな廃棄材料の資源化が進む中で、廃プラスチックは金属

やガラスに比べ、組成・性状が複雑であるため、資源化コストが高く、得られる再生製品の市場価値も高いとはいえない。しかし、ここ2、3年、原油価格の高騰に起因する素材価格の大きな値上がりにより、多量に排出される廃プラスチックの資源化利用に関心が高まっている。特に企業にとって、レアメタル、鉄スクラップと並んでプラスチックは重要な資源化事業の対象となる。

「科学技術動向」では、これまでに素材産業が担うリサイクルの現状⁴⁾や、廃棄物の再生資源化技術⁵⁾について取り上げてきたが、本稿では近年素材価格の上昇により特に関心が高まっている廃プラスチックの資源化に焦点を当てて、その現状と課題、改善策について述べる。

2 廃プラスチックに関する現状

2-1

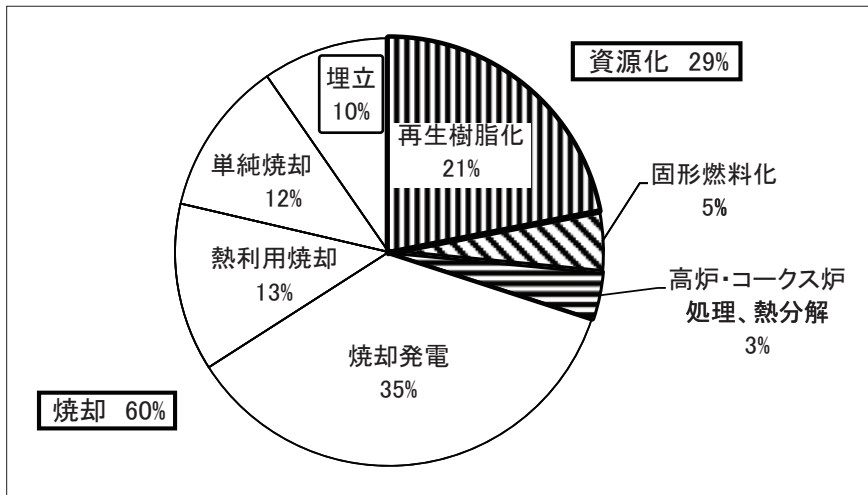
廃プラスチック処理・資源化の現状

廃プラスチックは年間およそ1千万トン排出され、およそ半分が一般廃棄物(家庭や小規模事業所由来)、残りの半分が産業廃棄物である。汚染者負担の原則のもと、前

者は地方自治体が処理を行い、後者は排出企業が自社処理あるいは廃棄物事業者に委託し、処理している。図表1に各種方法で廃プラスチックが処理あるいは資源化さ

2-2

図表1 各種手法で処理・資源化される廃プラスチックの割合 (2009年)



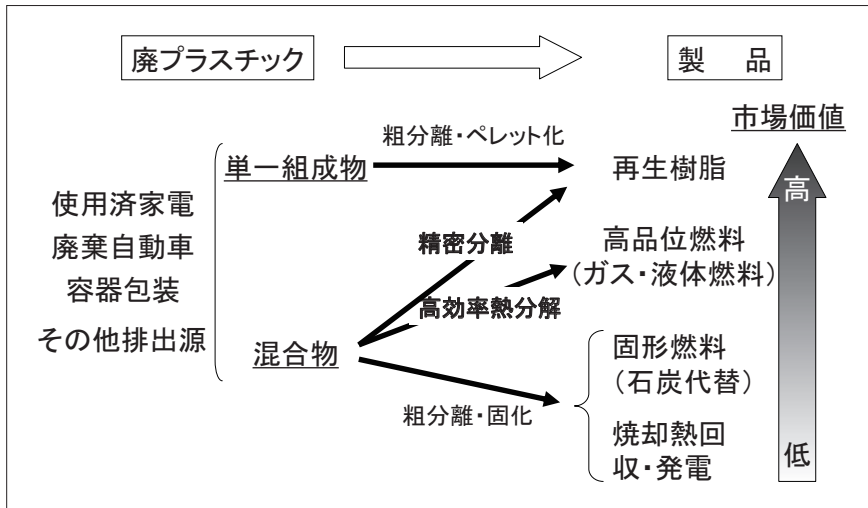
出典：プラスチック処理促進協会

廃プラスチック処理・資源化手法の選択

プラスチック含有廃棄物の処理・資源化手法の選択の考え方を図表2にまとめた。廃プラスチックから得られる代表的な資源化製品は、再生樹脂と燃料である。法による資源化対象の廃プラスチックや資源化の手法の縛りが無い限り、廃プラスチックの性状、資源化工程の難易、製品の市場価値(ユーザーの数や販売価格)に基づいて手法を選択することになる。法の縛りがある場合でも、低環境負荷と高い資源化率を目指して、資源化手法を慎重に選択しなければならない。

市場価値の高い製品に変換可能な成分が多量に含まれる場合に、資源化を実施する。多種のプラスチックが混合した廃棄物の場合、相溶性の悪い混合廃プラスチックから得られる再生樹脂は強度などに問題があり、成形品メーカーに受け入れられない。その場合は燃料化を選択することになる。最近、使用済み家電などの混合廃プラスチックの静電分離による樹脂種別ごとの精密分離法が実用化され、廃プラスチックが高品質の再生樹脂として活用できるケースが拡大している。固形、液体、ガスの各燃料化も技術的信頼性が実証され、特に固形燃料は石炭代替のボイラー燃料として製紙業界を中心に普及している。

図表2 廃プラスチック処理・資源化手法の選択



科学技術動向研究センターにて作成

れる割合をまとめた⁶⁾。ここで、熱分解は油化およびガス化を指す。

家電、自動車、容器包装などの工場廃棄物や流通、消費で生じる廃棄物中のプラスチックの種類や資源化不適物の含有率は、排出源により大きく異なる。資源化され再生樹脂化されたプラスチックは、安価な日用雑貨や産業資材として活用されるほか、繊維として寝具にも製品化されている。また廃プラスチックを木や紙と混合して固形化し、RPFと呼ばれる石炭代替燃料として、主として製紙工場の熱源として、石炭ボイラーで利用されている。その他、一般には化学リサイクルと呼ばれる熱分解による資源化が行われている。これは廃プラスチックを熱分解で他種

の化合物へと変換してから、その化学的性質や燃焼性を利用するもので、製鉄所のコークス炉や高炉での石炭代替利用、合成ガスの製造、油化して石油代替燃料として利用されている。

現在およそ3割にとどまる廃プラスチックの資源率を向上させるには、混合廃プラスチックへの技術的対応が不可欠である。また、すでに製造されている資源化製品については、品質を向上させる技術により市場価値を高める必要がある。

2-3

資源化の問題点

2-3-1 廃プラスチック資源化の高いコスト

図表1に示したように、廃プラスチックの総排出量の内、資源化

される割合はおよそ3割に留まっている。その理由は、自治体や産業廃棄物処理事業者に焼却や埋立てが認められている一方で、資源化しても排出者やごみ処理関係者に経済的メリットがないことと資源化コストが高いことが代表的な理由である。

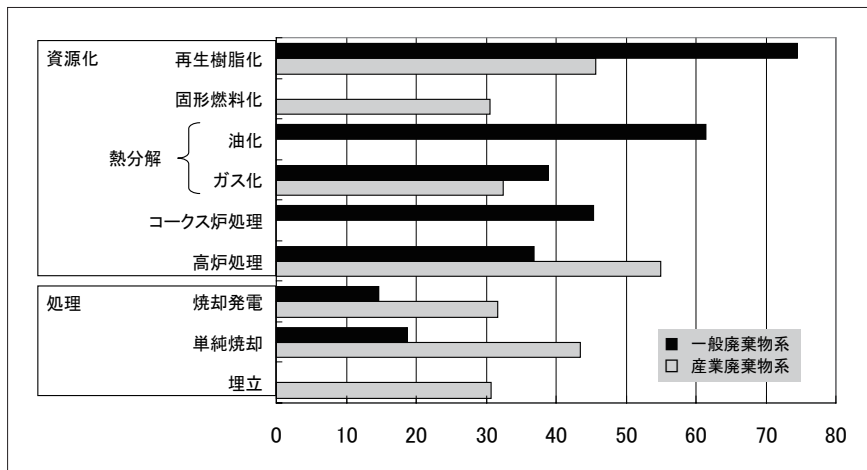
容器包装リサイクル法は、家庭から排出されるPETボトル、PET以外のプラスチック(容リプラ)、ガラスびん、紙からなるそれぞれの容器や包装材の廃棄物を資源化することを定めている。全国の自治体や一部事務組合1,800の内、容器包装プラスチックを分別収集する自治体は1,308、この内、容器包装リサイクル法に定める指定法人である(財)日本容器包装リサイクル協会(容リ協)に資源化を委託する自治体は、1,017、総容リプラ量は60万トンに上っている(平成20年度)。その分、毎年、省資源や省エネルギーが着実に進められていることになる。

容リ協が資源化事業者に委託する資源化の経費は、プラスチック、PETボトル、ガラスびん、紙の総額で年間410億円(平成21年度)に上る。その経費は、拡大製造者責任や汚染者負担の原則から、プラスチックを使用した商品関連事業者、つまり、容器包装の製造、それを使った商品の製造、販売の各種事業者を経費を負担させており、最終的には消費者が負担している。容リ協の資源化経費の94%は、PETボトル以外の容リプラの資源化委託料であることから、その削減が大きな課題となっている。プラスチック商品関連事業者や消費者からは、低コストの資源化手法が強く求められている。

図表3に廃プラスチックの処理・資源化量を手法ごとに要する費用を一般廃棄物系プラスチックと産業廃棄物系プラスチックに分けてまとめた。産業廃棄物系廃プラスチックの排出企業が廃棄物処理事

図表3 各種手法による廃プラスチック処理・資源化費用
適当なデータがない場合、費用を表示していない。

(千円/トン)



出典：一般廃棄物容リプラの各種資源化手法は、日本容器包装リサイクル協会資料⁸⁾。焼却発電、単純焼却は環境省検討会資料⁹⁾。産業廃棄物の処理・資源化手法は、プラスチック処理促進協会資料⁷⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成。

業者に支払う平均的な処理委託費は40千円/トンである⁷⁾。一般廃棄物では、施設整備の国庫負担もあることから焼却費用は低額である。これに対し、一般廃棄物として自治体が家庭から分別回収する容リプラの再生樹脂化費用は74.5千円/トンであり、資源化容易な廃プラスチックを原料とする産業廃棄物系プラスチックの再生樹脂化や他の処理・資源化手法に比べ、著しく高額である。

環境上の効果とコストを考えたときに、再生樹脂製造の優先が適切な制度なのか、またコスト優先の資源化手法選択でもよいのか、製造者責任のあり方、社会コストの削減の観点、他の低コストな資源化手法を採る事業者の事業拡大とも関わって、プラスチック関連商品事業者、資源化事業者、消費者団体、自治体関係者、学識経験者などを巻き込む大きな議論となっている¹⁰⁾。

一方、家電と自動車に由来する廃棄物では、容リプラほどは高コストを批判する声はない。この分野では、金属やガラスといった、技術的にも事業的にも比較的リサイクルしやすいものと、廃プラスチックや有害危険物などがともに処理対象となっている。一般家庭

のユーザーが小売店にリサイクル料金を支払う点、製造業者やその委託を受けた資源化事業者が廃棄物を引き取り、処理困難な廃棄物の適正処理と資源化を同時に実施する点が、容器包装と異なる。家電リサイクルでは、使用済家電の処理は製造事業者と連携した資源化事業者の責任であり、自治体の負担軽減につながるとともに、資源化事業者が事業者数や地域ごとに適正に配置され、一定量の廃棄物を確保できる仕組みとなっている。また、資源化事業者で得られたリサイクルに関する知見は、製造業者における製品の環境配慮設計にもフィードバックされている。

2-3-2 資源化手法選択の難しさ

廃プラスチック資源化の目的は、廃プラスチックの単純焼却や埋立てを減らし、プラスチック成分を循環利用し、社会における新たな資源投入を低減することにある。資源化手法の選択は、一線の廃棄物事業者だけでなく、容器包装プラスチックの資源化など、法令で資源化手法を規定する場合にも合理的判断が求められる。

資源化手法の優劣は、社会で使用されている資源が廃プラスチック

ク由来の資源化製品で代替された量で判断できる。また、その資源化製品の製造に費やされた資源量も勘案する必要がある。これは従来、LCA (Life Cycle Assessment) や LCC (Life Cycle Costing) により評価されてきた。

廃プラスチックから特定の種類の再生樹脂を製造する場合、その再生樹脂を製造する装置やシステムの電力や燃料の消費をもとに、製造手法の優劣を比較することは容易である。しかし、廃プラスチックからは、再生樹脂以外にも固形・液体燃料、合成ガス、製鉄用還元剤などが製造される。このように異なる製品の省資源の効果を比較するには様々なルールを設定する必要があり、評価は単純ではない。そこで、評価の目的に応じて様々な判断基準を統合した処理・資源化手法の評価方法が提案されている^{11~13)}。

資源化手法の選択の代表的な基準を図表4に示した^{14, 15)}。資源対象が可能な原料廃プラスチックの種類が多寡、資源化コスト、二酸化炭素排出削減効果、そして代替対象となる資源の種類と価格をまとめた。

再生樹脂製造の場合、製品樹脂の色や強度に著しく影響する汚れ品、複合物が含まれない熱可塑性のプラスチックのみが、資源化対象原料となる。混合廃プラスチックについては高速で高精度な異物分離が必須で、資源化の生産効率とコスト上の障害となる。工場の特定の工程から排出される汚れの少ない廃プラスチックの場合、異物分離工程が省略できる分、資源化コストが低い。さらに、価格の

図表4 資源化手法の優劣の判断基準例

資源化手法	資源化可能な原料の多寡	資源化コスト	二酸化炭素排出削減効果	代替による経済的メリット(代替対象の価格例、千円/トン)
再生樹脂化	△	△(工場排出品) ×(容リプラ)	○ △	◎ ○(ポリエチレンやポリプロピレン100~150)
固形燃料化	◎	○	◎	△(一般炭10)
熱分解油化	○	△	○	○(重油や軽油70)

科学技術動向研究センターにて作成

高いプラスチックを代替できるという点で価値が高い。

容リプラの場合、分離不可能な複合物や混合物が多量に含まれ、異物分離により資源化コストが高い上に副生する残渣量も多く、再生樹脂化で得られる製品価値も低い。容器包装リサイクル法では、容リプラについて、現在再生樹脂の製造が運用上、優先的に実施されている。また、この法律ではコークス炉や高炉での処理や固形燃料の製造により石炭を代替する方法や油化やガス化も資源化手法として認められている。再生樹脂製造や油化はいずれも石炭に比べ枯渇性の高い石油資源の省資源であり、これを勘案した資源化手法の優劣も考えられる。

固形燃料は、廃プラスチックの高い発熱量を利用し、石炭同等の発熱量の燃料として調製したものであり、製紙工場の石炭ボイラーなどで利用されている。資源化コストは25千円/トンほどである。発熱量の低いバイオマスからユーザーの要求に合う発熱量の燃料を製造する一方、バイオマス燃焼が二酸化炭素発生量に算入されないため、廃プラスチックを固形燃料に使用した場合の二酸化炭素排出削減効果は高い。また10千円/トンと安価な石炭の代替であり、

石油や天然ガスの代替に比べると経済的効果は大きいとはいえないが、ユーザーにとっては、石炭よりもクリーンな燃料を3千円/トン程度で安価に入手できるメリットがある。

熱分解によって、重油や軽油の代替の液体燃料や天然ガスやLPG代替のガス燃料を得ることができる。廃プラスチックが排出される地域で広く利用され、しかも価格変動の激しい燃料資源を代替することができる。再生樹脂製造に不適な汚れ品や複合物など、より広い範囲の原料を対象に資源化できるが、装置価格や安全性確保の理由により、資源化コストは高い(およそ80千円/トン)。油化装置は30年ほど前から1トン/日ほどの小型プラントが開発、商業運転に至ったが、大型(~40トン/日)では原料廃プラスチックの確保、そして小型では事業採算性に苦しむ。採算ラインと試算される5トン/日程度でも、導入可能な安価な脱塩素プロセスや、伝熱性能の高い低エネルギー消費の装置の開発が重要な課題となっている。

最近、関連する技術が相次いで事業化が実現した1)と3)の技術的概要を次章にまとめた。

3 廃プラスチック資源化技術の進展

3-1

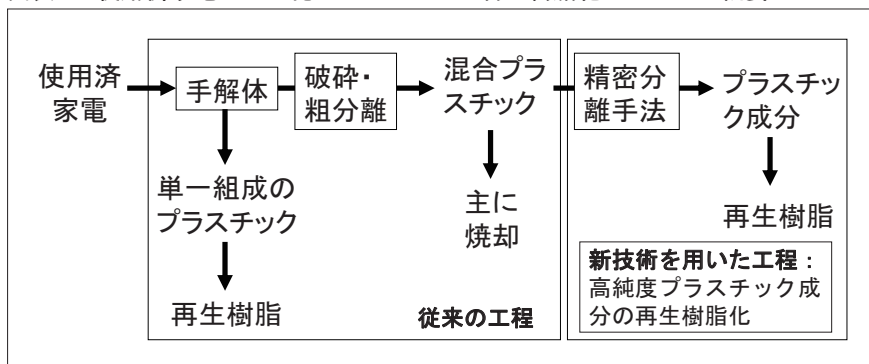
水平リサイクルを可能にする再生樹脂化技術

使用済みの家庭電化製品は、家電リサイクル法のもとで回収・資源化されている。品目ごとに資源化率が定められており、たとえばエアコンでは重量の70%以上とされ、こうした規定により電機メーカー側の資源化の容易な製品設計や素材の選択が進んでいる。図表5に、使用済家電からの廃プラスチックの再生樹脂化プロセスの概要をまとめた。

使用済み家電は、商品価値が高い金属をリサイクルすることによって資源化率を達成する一方で、プラスチックについては手解体し目視で区別しやすいプラスチックを分け再生樹脂に利用していた。また混合状態で排出されるプラスチックは、再利用する用途がないため、焼却等で処理されていた。家電リサイクル法で規定される資源化率は随時引き上げられることから、資源化事業者側では、定められた資源化率を上回る実績を達成するため、より精度の高い素材回収と回収物の用途の拡大への努力を続けてきている。

これまで電機メーカーは家電、電子電気機器を問わず、部材の一点一点に厳しいコスト低減の努力を重ねている。特に石油価格の変動に影響され難い廃プラスチックの利用には積極的に取り組んでいる。いくつかの家電メーカーは、プラントメーカーや各種資源化事業者と連携し、混合廃プラスチックを構成する各種プラスチックの新たな分離選別手法を開発し、資源化事業者で精密に分離された回

図表5 使用済家電からの廃プラスチックの再生樹脂化プロセスの概要



科学技術動向研究センターにて作成

図表6 代表的な廃プラスチック成分の分離手法^{16, 17)}

手法	主な機器形式	特徴
ふるい法	回転円筒(トロンメル)と振動させた平面ふるいの2形式。	粗分離法の一つで、大小の形状により分離。
比重法	分離媒体の違いにより風力選別、固気流動層分離、湿式比重分離。	風力選別では、一定の気流により、対象成分を分離。固気流動層分離では、気流で流動層化した珪砂等の粉体を用い、湿式比重分離では、比重液との比重差を利用して成分を分離する。
分光法	プラスチックごとの近赤外光などの反射散乱光のスペクトルの違いをセンサーで検出。	ベルトコンベア上を通過する特定のプラスチックを検出し、コンベア末端でエアジェットを用いて、他から分離する。
静電法	プラスチック粉砕物を帯電させ、直流高電圧を印加した平板や回転ドラムで荷電に応じて分離。	精密分離法の一つ。比重差で分離できない2種のプラスチックを帯電の差を利用して分離できる。

科学技術動向研究センターにて作成

収プラスチックの商業的利用を拡大し始めた。回収されたプラスチックは、物性や外見に難があってもよい低機能部材としての利用(カスケード利用)のみならず、新たな分離技術を採用して、強度等への要求性能が高い外装材や重要部品へ利用するという、いわゆる水平リサイクルの道が開けた。

混合廃プラスチックは従来、焼却し熱利用する以外に用途がほとんどなかった。資源化施設に入ってくる使用済家電に含まれるプラスチックの種類や量は製造事業者側で把握されており、また使用済家電の種類や解体工程は資源化事業者側で管理されている。したがって、手解体で分別し切れなかった混合廃プラスチックの組成に合った成分分離手法があれば、一定品

質の再生樹脂を相当量確保できる。

図表6に廃プラスチックの主な分離手法をまとめた。風力選別は大きさや形状が様々な混合ごみから廃プラスチックを分離する有効な粗分離手法である。得られた混合廃プラスチックから特定の種類のプラスチックを分離回収することで、価値の高い再生樹脂が得られる。また従来、湿式比重分離や分光法が利用されてきたが、新たにプラスチックの粉砕物に対して、より正確に種類別の分離可能な静電分離法が開発された。

あらかじめ微粉にしたプラスチックを帯電させ電界場に投入すると、静電力により帯電プラスチック粉がプラスチック種別により異なる向きに飛翔し、分離が可能になる。この原理を使って開発された

のが静電分離装置である(図表7)。この装置は次の3つの領域からなる。

1. 領域I：あらかじめ10mm以下に破碎され、比重分離などで2種にまで分離分別されたプラスチック粉同士を摩擦帯電させた後、回転ドラムに定量供給する。
2. 領域II：直流高電圧を印加した静電界場で帯電プラスチック粉をその種類で分離する。
3. 領域III：分離されたプラスチック粉が区分された容器に導入される。

使用済家電由来の廃プラスチックをまず風力選別と比重選別を施して、その結果得られたABS樹脂とポリスチレンの混合物からポリスチレンは、回収率88%、純度99%で分離された。また、より複雑な混合廃プラスチックからのABSの回収について、従来の比重分離に静電分離を組み合わせることで、ABS純度99%台の結果が得られ、バージン品とほぼ同様な用途への利用が可能となった¹⁸⁾。同様な技術で、三菱電機は家電リサイクル拠点で発生する年間1万トンの廃プラスチックについて、従来6%程度だった社内利用再生樹脂を2011年以降70%に増やすと発表、2010年6月には当該技術を導入した使用済家電のプラスチックリサイクルを主な事業内容とする新工場を開所した^{19)、20)}。

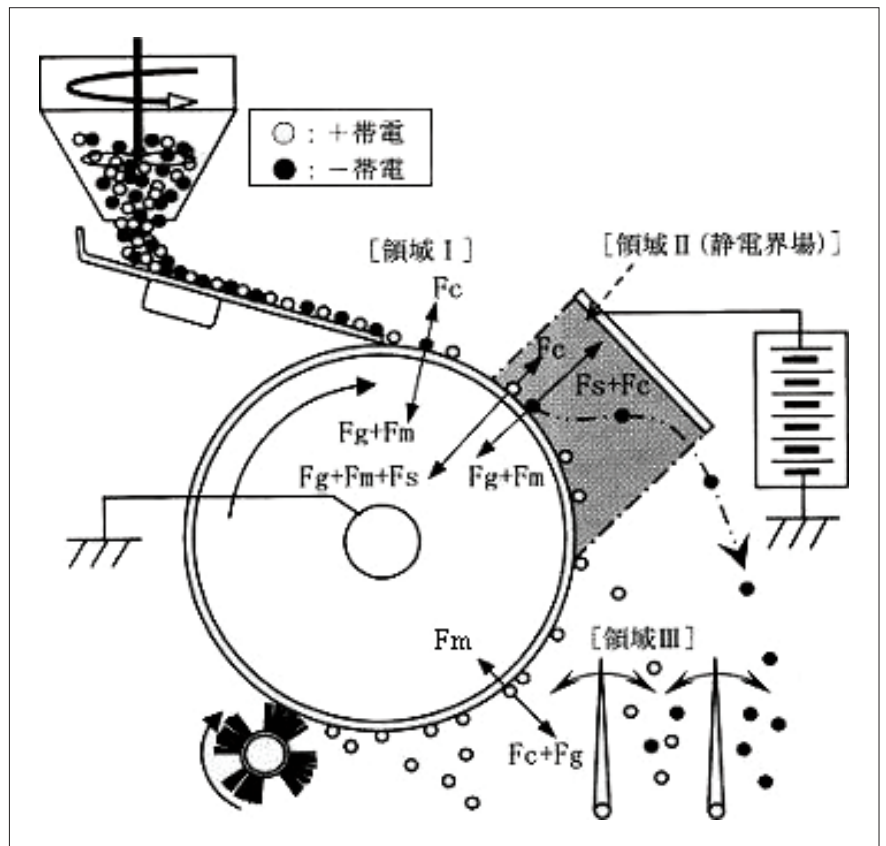
3-2

固形燃料化

燃料化は、再生樹脂として利用できない混合物や、汚れの多い廃プラスチックにも適用できる資源化技術である。燃料に要求される重要な性能は、高い発熱量と清浄な排ガスである。固形燃料は、製

図表7 静電分離装置の原理

Fc、Fg、Fm、Fsはそれぞれプラスチック粒子に働く遠心力、重力、鏡像力、静電力を表す。



出典：日立造船(株)資料¹⁸⁾から許可を得て転載

造が容易で、塩素や窒素を含まない可燃物であれば原料として利用できる。二酸化炭素排出削減のため、バイオマスの燃料としての利用が推進されている。しかし、木質系バイオマスは重量当たりプラスチックのおよそ半分の熱量しかもたない。廃プラスチックと混合、固化し、固形燃料にすることで、石炭同等の発熱量となることから、低価格燃料を大量に必要とする製紙工場などの大口需要家で利用が普及した。廃棄物を焼却し熱回収する場合とは違い、廃プラスチックを燃料に加工することで熱を必要とするユーザーへの輸送や貯蔵が容易になり、必要な時に熱利用が可能になる。しかし、原料組成によっては燃焼器が腐食する場合や燃焼排ガスに有害成分が含有される場合もある。そのため、現状では排ガス浄化設備が完備された石炭ボイラーでの使用に限られている。

3-3

高品位燃料製造のための熱分解技術

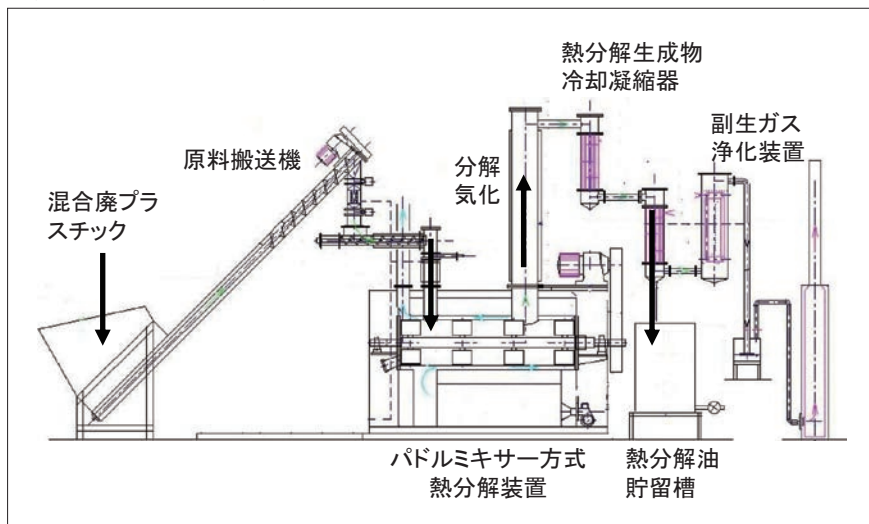
重量当たりの発熱量の点からは、固形燃料よりも廃プラスチックの熱分解で得られる液体燃料やガス燃料が有利である。熱分解の過程で含塩素プラスチックなど燃料化不適成分を効果的に除去して、高品位燃料を製造するための新たな熱分解技術の開発が重要な課題である。特に家庭から排出される廃プラスチックについては、含塩素プラスチックの混合は以前から問題となっており、その技術的対策が油化コスト上昇の原因の一つであった。含塩素プラスチックは加熱により塩化水素を発生し、装置を腐食させるばかりでなく、共存するオレフィン系炭化水素化合物と化合し、有機塩素化合物を生成

する。その結果、得られた炭化水素油を燃料として燃焼するとダイオキシン類の発生を招いてしまう。また硬質のポリ塩化ビニルは、比重分離や光学選別(分光法)で比較的容易に分離できるが、分離装置の導入コストの問題や分離困難な含塩素ラップフィルム(主にポリ塩化ビニリデン)の混入を防ぐことは、実務上困難とされている。

家庭から排出される分別プラスチックを対象に、脱塩素と油化を同時に実施できる5トン/日の小規模熱分解油化システムが、2010年10月、福岡県の廃棄物事業者により商業運転が開始した。図表8は商業システムの概要図である。これは、北九州市立大学の基本技術を基にしており、石油精製で使った廃FCC触媒と消石灰を廃プラスチックに混合して熱分解するシステムである²¹⁾。通常の熱分解油化は500～550℃で行うのに比べ、本装置では約100℃低い温度で熱分解できた。また、分解油中の塩素残留も従来技術の3分の1から5分の1以下の120ppmに低下した。

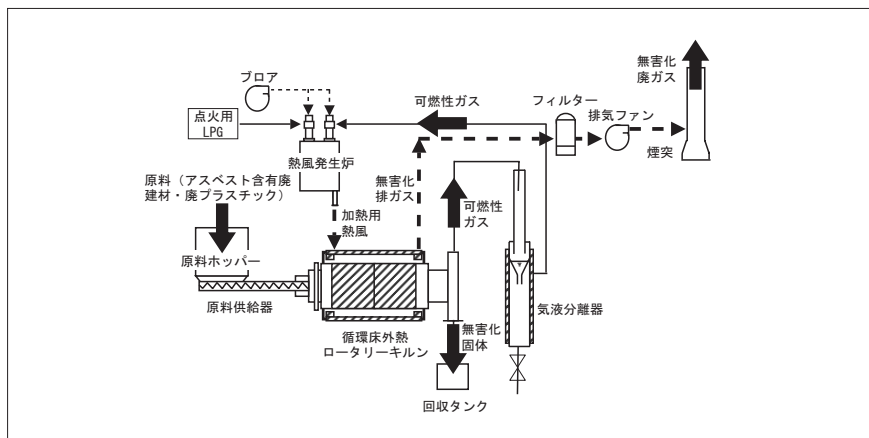
廃プラスチックの円滑な分解油化には、触媒と廃プラスチックの混合が重要である。従来の商業的油化がタンク式熱分解装置を採用してきたのに対し、固形物の攪拌効率が優れたパドルミキサー式を利用した初めての商業油化施設である。また、この形式の装置を利用することで、含塩素プラスチックから生成する塩化水素を消石灰と効果的に反応させ、炭化水素油中での有機塩素化合物の生成を防ぐことが可能となった。処理能力10kg/hのベンチプラントを用いた実験では、一般廃棄物分別プラスチックの塩素含有率(1～3%)を大きく上回る20%の塩素含有率の原料プラスチックに対して、脱塩素率は99%以上を保持することができた。今後は、長期間運転における分解油中の塩素残留率データ

図表8 廃FCC利用高效率熱分解油化システムの概要図



出典：(株) エクアール提供資料を編集

図表9 廃プラスチック由来のガス燃料を利用したアスベスト無害化システムの模式図



出典：(株)ストリートデザイン提供資料を編集

の解析が待たれる。

廃プラスチックから得られる熱分解ガスは、固形燃料や液体燃料よりも、燃焼時の排ガスが清浄とされ、燃料としての価値が高い。アスベスト剥離工事で排出されるアスベスト含有廃建材とアスベスト付着廃プラスチックの双方を対象とするアスベスト無害化処理技術の開発の中で、廃プラスチックの小規模ガス化の実証研究が行われた。10トン/日以下の小規模熱分解ガス化システムの商業化を前提に、その10分の1の量1トン/日スケールのシステム運転が実施された。このシステムでは、熔融促進剤の併用により、熔融に1500℃以上必要なアスベストを750℃前後で熔融させ、無害化して

いる。

図表9に示すように、本実証で用いた装置は、循環移動床型の外熱ロータリーキルンで、廃建材中のアスベストとアスベスト除去工事で多量に排出されるプラスチックシートに付着したアスベストをともに無害化するとともに、ポリエチレンを主成分とするプラスチック成分を効率よくガスへと熱分解するものである。さらに、得られる熱分解ガスを燃料としてアスベストの加熱無害化とプラスチックの熱分解に利用するシステムである。

処理対象は、アスベスト含有の廃建材(50重量%)、アスベスト付着廃棄ポリエチレン(47.5重量%)、および熔融促進剤(2.5重量%)の混

合固化物である。この固化物を循環床外熱ロータリーキルンで約750℃に加熱することで、ポリエチレンから熱分解ガスを製造し、これをロータリーキルンに供給し燃料として利用した。加熱の初期にはLPGを供給し、ポリエチレン由来の熱分解ガス生成後は、これをキルン加熱用の燃料とした。そして固形残渣、熱分解ガスおよびその燃焼排ガス、少量副生する熱分解油について、アスベストが全く残留していないことを確認した。また、得られる熱分解ガスの燃焼

熱量は、廃建材の加熱やプラスチック熱分解ガス化に必要な熱量を上回り、エネルギーの自給が可能であることが明らかとなった。

熱分解ガスの組成は、水素 26.0、メタン 25.4、エチレン 21.4、一酸化炭素 5.7、二酸化炭素 4.7（単位体積%）であった。装置の加熱に用いなかった残りのガスは貯蔵して、例えばガスエンジンを利用し発電など他の用途に利用することも可能である。

廃プラスチックを液体やガス燃料とするのではなく、水素源や炭

化水素資源として活用する化学原料転換技術は以前から注目されてきた²⁴⁾。今回のガス化システムは、ガス化溶融炉による水素やメタンの製造²⁵⁾、および二段ガス化炉による水素と一酸化炭素を主成分とする合成ガスへの転換²⁶⁾など、従来のガス化技術の商業化事例(ともに反応温度1300～1500℃)に比較して、700～800℃というより温和な条件で水素の他、メタンやエチレン等炭化水素ガスの取得が可能になったという技術的意義がある。

4 廃プラスチック資源化の普及に向けて

4-1

資源化の拡大に向けた技術戦略

経済産業省の研究開発戦略をまとめた技術戦略マップ(2010年版)²⁷⁾では、今後、廃プラスチック3R分野で必要な技術として、廃プラスチックの資源化技術、リユースやリデュースに配慮した製品設計や低環境負荷の素材開発などの技術が幅広くまとめられている。図表10はその内、代表的な資源化技術の開発戦略についてまとめたも

のである。

この技術戦略マップから、今後の廃プラスチック資源化技術の見通しは次のように要約される。

1) 高度な分離プロセスと装置による再生利用

水平リサイクルを念頭に、家電や自動車は易解体・易分別設計で製造し、解体過程で分離できない混合廃プラスチックについては、高度な分離技術で種類別に徹底した資源回収を行う。

2) 高分子材料への酸化防止剤の添加などコンパウンド技術による再生利用

回収されたプラスチックは、劣

化の度合いに応じて添加剤を加え、強度や耐久性を増した上で、性状により高品質部材への水平リサイクルや低級部材へのカスケードリサイクルを実施する。

3) 効率的な熱分解プロセスと装置による再生利用

再生樹脂については、高品質な製品化、再生樹脂化困難な混合廃プラスチックについては、クリーン燃料や化学原料の製造を可能にする油化・ガス化の熱分解技術の高度化が重要である。

4-2

廃プラスチックの性状に対応した資源化技術の革新

廃棄素材のリサイクルを検討する上で、廃プラスチックは紙、ガラス、金属など他の廃棄物と比較して、排出元の業種やプラスチックの用途ごとに組成や性状の違いが大きく、資源循環の対象の拡大や製品の市場価値の向上につながる技術革新が必要である。また廃プラスチックの処理・資源化において、環境負荷の低減と社会コス

図表10 廃プラスチックの重要な資源化技術の開発戦略

技術区分	技術項目	開発時期		
		短期 2010 2015	中長期 2020	2030
再生樹脂化				
分離分別技術	家電・自動車等のプラスチック種類別分離・分別(水平リサイクル)	既存樹脂	新プラスチック対応	
	塗装プラスチックの塗料剥離			
素材技術	高付加価値製品へのアップグレード再生技術			
	劣化の検出・再生技術		自己再生	
熱分解				
熱分解技術	燃料変換技術(メタン、水素等製造)			
	油化、化学原料化技術			
その他				
容器包装対策	高度リサイクルシステムの開発			

出典：経済産業省技術戦略マップ2010²⁷⁾を基に作成

ト・事業コストの削減の両立が求められる。

廃プラスチックの資源化率を向上させるには、混合廃プラスチックを低コストで市場価値の高い製品へと資源化することが重要である。前章で述べた精密分離と高効率な熱分解はその有効な技術である。これらの技術を適用してもコストに見合う市場価値を有する製品が得られない場合は、固形燃料製造や焼却熱回収・発電を選択することが適当である。容リプラは、含塩素や含窒素プラスチック、金属箔など再生樹脂化に適さない成分を多く含む混合廃プラスチックである。その有効な活用につながる新技術が必要とされている。

4-2-1 分離技術の高度化

廃プラスチックの資源化は、国内資源の一つとして、資源化可能な対象廃棄物の拡大と資源化製品の市場価値の向上により、石油や素材価格の高騰に耐える企業活動の一助となる。家電や自動車では、ABSやPOMなど高機能プラスチックも多用され、製造企業側での廃棄時の易分別設計と併せて検討することが重要で、資源化事業者側は一層の資源化率向上と回収プラスチックのクローズドリサイクルの確立が必要であり、これは資源化事業者と製造企業の共通の課題となる。そのためにも混合廃棄物からの異種プラスチックの種類別分離、メッキ品や塗料コーティング品を対象にした分離技術の一層の高度化が求められる。

4-2-2 相溶化技術の確立

混合廃プラスチックを精密に分離して単一素材にすることで物性を向上させるのとは反対に、相溶剤により異種プラスチックの混合

を助け、均一化する技術も必要とされている。相溶剤を添加することで、分離困難な混合した廃プラスチックや複合素材の廃プラスチックであっても一定の用途に利用できる強度その他の物性が得られれば、製品の再生樹脂の市場価値を高め、廃プラスチック利用の拡大につながる。

容リプラに含まれる相溶性の低いポリスチレンやPET成分をポリエチレンやポリプロピレンに可溶化する技術が重要である。一部の産業用プラスチックフィルムや容器包装プラスチックのように積層フィルムが多用された廃プラスチックについては再生樹脂製品の品質向上のため、コンパウンドメーカーやコンバーターなどプラスチック加工メーカーにおける相溶化技術の一層の高度化が必要である。

4-2-3 燃料や化学原料への熱分解技術の高度化

経済合理性の許す範囲で再生樹脂として利用できない廃プラスチックは、燃料や化学原料への変換が資源化の選択肢である。そのため基本技術が熱分解である。資源化製品ユーザー側で求めるクリーン燃料や化学原料を製造する上で、プラスチック分解の制御技術に新たな展開が不可欠である。前章にまとめたパドルミキサー方式の分解油化や外熱ロータリーキルン方式のガス化では、いずれも日量数トンの小型低コストの装置を利用する点で、廃棄物の収集規模に合わせた規模で事業化の見通しがついたことを意味する。従来のタンク方式に比べ、構造上、触媒の利用が容易で、分解油の沸点制御、ガス生成物の組成制御など分解制御技術の高度化が期待でき

る。

二酸化炭素排出削減を目指す国内クレジットJ-Ver^{注)}の認定対象として、廃プラスチック等の油化やガス化が加えられた^{28, 29)}。焼却処分の多い廃プラスチックを石油系燃料、LPGや天然ガスに代替利用する熱分解技術の高度化で、廃プラスチックの高品位燃料としての利用が格段に普及することが見込まれる。

廃プラスチックは、地域内で収集できる量は必ずしも多くはない石油化学工業のように大量生産で大量に使用する用途には向かないと考えられる。だが、塗料や添加剤など機能性化学薬品の原料など少量小ロットで利用する用途は検討の価値がある。

4-3

資源化推進への体制作り

廃プラスチックは資源化の高いコストや製品の市場価値が低いなどの課題が指摘される一方、資源価格の高騰で廃棄物資源としての価値が高まっている。混合廃プラスチックを対象とした精密分離や熱分解技術に新たな技術が芽生え、これをもとにした再生樹脂の水平リサイクルや低コストの高品位燃料が実現しつつある。廃プラスチック資源化率の向上に向け、精密分離や熱分解といった新技術のさらなる展開、そして廃棄物の排出の実状、法令や制度、技術、資源化製品の利用を整合させる面で国や地方自治体、廃プラスチックの製造や利用に関わる企業の責任と役割は大きい。

容リプラのように資源化困難な未活用資源の場合、市場経済のも

注：オフセット・クレジット(J-VER)制度は、国内の温室効果ガス排出削減・吸収量をカーボン・オフセットに用いるためのクレジットとして認証するため、平成20年11月に創設されたもの。

とでは有効に資源化できないため、法や制度のもとで国が関与して実施する必要がある。環境負荷削減と省資源・省エネルギー、これに費やす社会コストのトレードオフ、資源循環産業の育成などが関係し、資源化手法の選択は複雑な問題を含んでいる。現在、環境省や経済産業省は利害関係者や有識者による検討を進める他、海外の最新状況など各種調査、広く市民団体や個人からのパブリックコメントを求め、社会的合意形成に取り組んでいる。

廃棄物の処理と資源化は、多数の要素技術を組み合わせたシステム技術であると同時に多数の利害関係者を巻き込む社会基盤の形成の取組みである。企業ごと自治体ごとの廃棄物資源の活用には限界がある。廃棄物の発生は、市民生活、商工業、流通、建築解体、農水産業、など各業種にまたがることから、行政がイニシアチブをとりながら企業同士や官民が連携した資源化事業を一層推進するが必要である。資源化製品も業種を越えた利用を図らねば、資源循環の取組みは進

まない。国や各種研究支援組織には、ものづくり技術と同様、この分野の新たな技術の育成、支援を求めたい。さらに国や地方自治体が、廃棄物処理・資源化事業者の現場に直結した支援やその体制づくりや地域の実情に合った支援を推進することが、資源化技術の普及と資源化率の向上に不可欠である。

廃プラスチックの処理・資源化は、社会的責任の意識が高く経済的負担に耐える大企業に関わる家電・自動車だけではなく、中小企業も多く、海外も含め多数の企業が関係する容器包装、日用雑貨に幅広く分布する。また排出者は、製造業の企業、流通・小売業、一般消費者と様々である。廃棄物事業者や資源化事業者は、企業規模や収益性などから、製造業と異なり、廃棄物処理・資源化技術の開発にまでは手が届かない。地方自治体や国の試験研究機関はプラントメーカーや廃棄物事業者と連携のもと、実用性の高い技術の開発が求められる。

廃棄された家電や自動車の処理・

資源化技術は、関係の製造企業が社会的責任を具体的に果たすことで実用となり、一部の技術は海外にまで技術移転をめざす段階になっている。有機合成や材料化学の発展と並行して多くの有用な高分子材料が製造されてきたが、一旦廃棄物になったときには焼却や埋め立てに頼ってきた。新規化合物については、その有害性データが物質安全性データシート(MSDS)として報告される。プラスチック材料メーカーには、新材料の開発と同時に適切な低コスト低環境負荷の処理や、資源化の手法を併せて考案することを求めたい。その技術は、新たな事業を生み出す可能性を秘めている。プラスチックの物質フローの上流に位置する石油化学やプラスチック製造企業、そして研究機関には、廃棄物処理・資源化を実施する国内外の企業や自治体において、低コストで環境上効果的な処理と資源化が実施されるよう技術の高度化への取組みを期待する。

参考文献

- 1) 「日系静脈産業メジャー育成・海外展開促進事業」、環境省資料
<http://www.env.go.jp/guide/budget/h23/h23-gaiyo-2/052.pdf>
- 2) 「日系静脈産業メジャー育成・海外展開促進事業～廃棄物処理・リサイクルシステムをパッケージとして海外展開～」、環境省資料
http://www.env.go.jp/guide/budget/h23/h23-seisaku_pc/mat03.pdf
- 3) 経済産業省 産業構造審議会貿易経済協力分科会インフラ・システム輸出部会資料(参考文献²⁾参照
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/data/g100805aj.html>
- 4) 竹内正雄、素材産業が担うリサイクルの現状とその制約要因、科学技術動向 2009年2月号
http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt095j/0902_03_featurearticles/0902fa01/200902_fa01.html
- 5) 川本克也、循環型社会に求められる廃棄物の再生資源化技術、科学技術動向 2007年12月
http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt081j/0712_03_featurearticles/0712fa01/200712_fa01.html
- 6) 2009年プラスチックのマテリアルフロー図、(社)プラスチック処理促進協会
<http://www.pwmi.or.jp/flow/flame01.htm>
- 7) 「平成18年度 産業系廃プラスチックの排出、処理処分に関する調査報告書」、p.87 (社)プラスチック処理促進協会、2007年3月
- 8) 「再生処理委託事業者による落札単価の経年推移」、(財)日本容器包装リサイクル協会、平成22年4月16日

- 9) 「メタン発酵施設と焼却施設のコスト比較等」、生ごみ等の3R・処理に関する検討会参考資料、平成18年3月2日
http://www.env.go.jp/recycle/waste/conf_raw_g/06/ref01.pdf
- 10) 例えば、産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会容器包装リサイクル小委員会（平成22年2～6月）の議論を参照
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/k_6.html#recycle
- 11) 田中勝 他、循環型社会評価手法の基礎知識、技報堂出版
- 12) 松藤俊彦、都市ごみ処理システムの分析・計画・評価、技報堂出版
- 13) 永田勝也ら、Best Available System
<http://www.nagata.mech.waseda.ac.jp/research/image/2008/01tlca.bas.pdf>
- 14) 小寺洋一、「廃プラスチックの燃料化技術とその課題」、科学と工業、82、63-80（2008）
- 15) 小寺洋一、Mushtaq A. Memon、「廃プラスチック燃料化技術の選択に関するガイドライン」、化学工学論文集、36、212-221（2010）
- 16) 廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック、産業技術サービスセンター、2000年
- 17) 「技術分野別特許マップ」、機械23、形状選別、特許庁ホームページ
<http://www.jpo.go.jp/shiryousonota/tokumap.htm#1>
- 18) 安藤太郎、井上鉄也、プラスチックリサイクルに関する合同講演会予稿集、2009.11.20
- 19) 「日本初の大規模・高純度プラスチックリサイクルを開始」、三菱電機（株）ニュースリリース、2008年8月20日
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news-data/2008/pdf/0820-a.pdf>
- 20) 「拡大する再生プラスチック」、日経エコロジー 2010年12月号
- 21) 芳賀裕之、谷春樹、藤元薫、「廃FCC触媒を用いる廃プラスチックの連続分解油化の開発」、プラスチックリサイクル化学研究会第11回討論会予稿集、p.7、2008年
- 22) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構委託事業、「アスベスト削減技術戦略ロードマップローリング及び俯瞰調査」、平成21年度成果報告書、p.124-125、神鋼リサーチ、2010年9月
- 23) 小寺洋一、坂本佳次郎、関口秀俊、「廃プラスチック由来の燃料ガスによるアスベスト溶融無害化プロセスの開発」、イー・コンテクチャー、2010年9月号、p.66-70、日報アイ・ビー
- 24) 活動報告書、「プラスチック廃棄物の新しいケミカルリサイクル法の提案」、(財)化学技術戦略推進機構、平成13年5月
- 25) 竹下宗一、「廃自動車シュレッダーダストのガス化」、プラスチックの化学再資源化技術、第4章10.、pp.149-160、シーエムシー出版、2005
- 26) 亀田修、「廃プラスチックの加圧二段ガス化技術」、プラスチックの化学再資源化技術、第4章9.、pp.142-148、シーエムシー出版、2005
- 27) 「技術戦略マップ2010」、経済産業省、2010年6月14日
http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/str2010.html
- 28) 「オフセット・クレジット（J-VER）制度における対象プロジェクト種類の追加について」、環境省報道発表資料（平成22年10月22日）
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13057&mode=print>
- 29) 「熱分解による廃棄物由来の油化燃料・ガス化燃料の利用」、環境省報道発表資料、添付資料2（平成22年10月22日）
http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=16419&hou_id=13057

執筆者プロフィール



小寺 洋一

科学技術動向研究センター 客員研究官
(独) 産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門 主任研究員
<http://staff.aist.go.jp/y-kodera/>

博士(環境科学)。石炭液化や廃プラスチックガス化研究に携わる。UNEPとの活動や産業構造審議会の討議で、人や地域に寄り添い支える、地に足のついた廃棄物処理・資源化の法や制度と技術の必要性を痛感している。



浦島 邦子

科学技術動向研究センター 環境・エネルギーユニット 上席研究官
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

工学博士。日本の電機メーカー、カナダ、アメリカ、フランスの大学、国立研究所、企業にてプラズマ技術を用いた環境汚染物質の処理ならびに除去技術の開発に従事後、2003年より現職。世界の環境とエネルギー全般に関する科学技術動向について主に調査中。