

地域における廃プラスチックの有効利用方策の検討 —分別収集システムの構築を目指して—

松尾 昭彦*・中峠 禎孝**

A Comparison of Some Effective Ways of Utilizing Plastic Waste in Local Regions
—The Construction of a New Separation Collection System for Beneficial Recycling—

Akihiko Matsuo* and Yoshitaka Nakatao**

Plastics are very useful materials consisting of higher molecular compounds which are used to make a variety of daily necessities and industrial facilities. A large amount of plastic waste is discharged as general and industrial waste, causing a depletion of resources and a deterioration of the environment. The amount of plastic waste discharged all over Japan is about four million tons each of general and industrial waste. At the present time, the major methods for treating plastic waste are land disposal (41%) and incineration disposal (36%), and material circulation is only 10%.

Utilizable resources are, however, limited and we cannot use these for ever without endangering the environment. Accordingly, we should aim to construct an environmentally concerned society which considers not only production-currency-consumption but also discharge-resource-environment. Plastic waste is examined for effective utilization of recycling by material circulation and thermal recovery. We compared with the methods for recycling plastic waste generated in local regions. We have to support the construction of a new separation collection system for the beneficial recycling of plastic waste by everybody in each local place of business.

Key Words (キーワード)

Plastic waste (廃プラスチック), Material circulation (物質循環), Waste-to-energy system (サーマルリサイクル), Burning and landfilling (焼却と埋立), Separate collection system (分別収集システム)

1. はじめに

先進工業国においては、物質文明の絶大な繁栄により廃棄物が増え続けて、環境と調和できず環境悪化を招いている。我々人類が、地球上の天然資源を大量消費して高度の物質文明社会を築き、多量の廃棄物を排出し、その多くの廃棄物資源をただ漠然と焼却している。これは発生する熱エネ

ルギーを無駄に放出するばかりでなく、大気汚染を引き起こして、我々生物の住む地球環境を悪化させることになる。地球上の限りある資源を有効に活用し、地球環境を守るための知恵を出し努力することは、未来世代の人々のために、現存世代に生きている我々に課せられた使命だと考えなければならない。

このように21世紀を目前にした我が国の社会シ

*呉大学社会情報学部 (Faculty of Social Information Science, Kure University)

**東方金属株式会社 (Toho Kinzoku Co. Ltd.)

システムは、地球上の有限な資源と環境問題を十分に考慮に入れた環境調和型の社会へ変革されなければならない時期に達している。先人が達成した農業革命により生活が徐々に豊かになり、それぞれの国や地域で文化が萌芽し、永い年月を経て独自の文化が形成された。18世紀にヨーロッパで起きた産業革命の成功により、多くの国々が工業化社会において生活するようになり、近年は使い捨ての物質文明が隆盛をきわめている。そのため、我々人類が『経済の発展・資源の枯渇・環境の悪化』に対してトリレンマに陥っているといっても過言ではない。

我々現存世代の人々の総意で、大変革としての『環境産業革命』を創出しなければ、未来世代の人々に負の遺産を残すおそれが強くなっている。1992年リオデジャネイロで開催された地球サミット(UNCED)では、¹⁾ 持続可能な発展として、人間活動全体を洗い直す環境と開発を両立させるための取り組み方の方向が合意された。これは国際的にISO14000シリーズなどの環境監査に関する国際規格が制定され、既にヨーロッパの国々の多くの企業が環境監査を実施していることにも繋がっている。特に、我が国は化石資源や鉱物資源に乏しく、技術力に依存した貿易立国であり、我が国の企業でも早急にライフサイクルアセスメント(LCA)に立脚した概念の導入に対処しなければならない時期が到来している。過去に品質監査や排出有害物質の低減化を達成して輸出力を増強したように、社会全体で早急に環境監査を実施しなければならない。そのためには、『廃棄物ゼロ運動』すなわち『廃棄物資源の有効利用』を達成する努力をしなければならない。

ここでは、廃棄物の中でも特に廃棄物資源として有効利用がされ易いにもかかわらず、現状では安易な焼却や埋立などによって資源の枯渇や環境汚染と直接結びついている廃プラスチックに対して、これらを有効利用するための方法について検討を加えた。特に、呉市および周辺地域の企業から排出される廃プラスチックの処理・処分の現況を解析し、今後の廃プラスチックの有効利用方策

を検討した。

2. プラスチックの種類と用途

プラスチックの常識的な定義としては「軽くて丈夫で、美しく安定で腐食せず、容易に種々の形状に成形ができ、比較的安価な材料であり、その上透明性がよく着色も容易な物質」といえる。さらに水、ガスおよび電気を通さない等の利点も持った非常に優れた素材であるので、在来の天然材料に置き変わってきている。プラスチックの有用性は高分子でできていることに依存しており、個々のプラスチックの基本的性質は分子の大きさや原子の結合状態の差違に基づいている。^{2)~4)}

プラスチック製品は電気、機械、化学、原子力、車両、食品、包装、医学、農業、水産および日用品などのあらゆる工業製品や家庭用品に使われており、その用途はますます拡大される傾向にある。プラスチック製品が他の材料の製品に比較して、製品の性能・成形加工法・コストなどの面で優れた点が多いために、プラスチック材料の種類もますます多くなっている。

プラスチックは基本的には炭素原子と水素原子からなる高分子有機化合物で、熱的性質によって熱可塑性プラスチックと熱硬化性プラスチックに二大別される。多くのプラスチックは常温では固体であるが、加熱すると軟化して流動性が増し冷却すると固化する。この工程は何回でも繰り返すことが出来るので再利用が可能である。このような性質をもったプラスチックを熱可塑性プラスチックという。ポリエチレン(PE)、ポリプロピレン(PP)、ポリスチレン(PS)やポリ塩化ビニル(PVC)がこれに相当し成形が容易で安価なため汎用樹脂として幅広く利用されている。これに対し、加熱して成形後に冷却すると化学変化を起こして硬度の大きい物質に変化し固化して再び加熱しても軟化しないプラスチックもある。これらのプラスチックは冷却後再び温度を上げても軟化溶解することはなく、高温になると燃えてしまう。このような性質をもったプラスチックを熱硬化性

プラスチックといい、フェノール樹脂 (PF)、ユリア樹脂 (UF)、メラミン樹脂 (MF) およびエポキシ樹脂 (EP) などがこれに相当する。熱硬化性樹脂でも、加熱することなく硬化剤を添加し化学反応をさせて常温に放置しておく、硬化して固体になるものもある。

プラスチックの用途として最も多く使用されているのは容器類であり、比較的寿命の短いフィルム・容器類がプラスチック製品のほぼ半分を占める。フィルムの用途としては包装材に多く使用され、ポリ袋やラップが代表的なものである。容器類では直接飲食物に触れるビンやトレイ型式のもの、運搬具として使用される箱やコンテナ等が代表的なものである。また飲料・食料などの容器類には透明プラスチックが使われ、トレーなどには発泡スチロールが使われており、これらは一度使えば廃棄される。また、同じ容器でもビール瓶やパンなどを運搬するコンテナのようなものは、壊れるか汚れて使用に耐えがなくなるまで使用されるので耐用年数が高い。

フィルム・容器類に次いで多いのが電気製品などの小型機械器具の部品で、次に配管用パイプ、屋根・床・天井などの建材といった耐用年数の長いものである。これらがプラスチック製品の30%余りを占める。^{2)~4)}

3. プラスチックの生産と廃棄の現状

今世紀の初頭にフェノール樹脂がプラスチックとして最初に登場して以来、現在種々のプラスチック製品が生産されている。プラスチックは最も優れた素材の一種であり、今日では必要不可欠なものになっている。^{5)~6)} 特に、1960年頃から石油化学工業の発展によりポリエチレン (PE)、ポリスチレン (PS) をはじめとするプラスチック材料の生産が急増し、現在では全世界の年間生産量が1億トンにも達している。我が国の生産高は世界第2位であり、ポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、ポリスチレン (PS)、塩化ビニール (PVC) その他の熱可塑性樹脂および熱硬化

性樹脂などのプラスチック材料の生産総量は表1にみられるように1,000万トンを越えている。⁷⁾ これらのプラスチックの生産には2億キロリトル (12.6億バレル) の石油を要する。石油の可採埋蔵量は有限であり、埋蔵量が少なくなると原油の価格が上昇して、我々の生活の質を低下させることになる。現在でも大量の石油がエネルギー源として使用されており、石油に依存しない代替エネルギーへ早急に変換しなければならない時期に達している。化学物質として石油を原料にするプラスチック産業についても、環境問題だけではなく資源問題からも考慮していかなければならない。

プラスチックの廃棄の現状をみると、一般廃棄物の中に約15%のプラスチックが含まれ、大都市のゴミでは、その比率は20%にも達しているといわれている。1994年度の実績では一般廃棄物中のプラスチックは年間420万トンにも達し、産業廃棄物中のプラスチックも420万トンを超えている。両者で年間840万トンにも余るプラスチックが廃棄物として排出されている。⁷⁾ そして廃プラスチックの処理は、およそ50%が焼却で40%が埋立されており、リサイクルされる量は僅か10%に過ぎない。⁷⁾

現状の廃プラスチックの焼却や埋立においても、すでに種々の問題が生じている。プラスチックから生じる高熱のため焼却炉が損傷を受けたり、埋立地の地盤が安定せず跡地利用に支障をきたしている。そのため、新しい処理方法あるいは廃棄後に易分解性を有する新しい素材としての生分解プラスチックの開発が望まれる。

さて、我が国は過去において公害防止の取り組みにより産業の発展を大きく促した経験がある。そのため現在では我が国のSO_xやNO_xのような有害排出ガスの排出量が他の主要先進国に比べてはるかに少ない。⁸⁾ しかし、現在我が国が深刻な事態に陥っている有害排ガスにダイオキシンがある。これは毒性が非常に高く、ベンゼン環や塩素を含む物質が燃焼することにより極めて容易に生成する。

ダイオキシン問題がクローズアップされて以来、

表1. プラスチック（樹脂）および廃プラスチックの諸種統計表

1. 樹脂生産量		2. 樹脂製品生産量	
生産先	生産量	生産先	生産量
樹脂輸入量	59万トン	製品輸入量	43万トン
樹脂輸出量	278万トン	製品輸出量	35万トン
樹脂加工量	999万トン	国内消費量	966万トン
計	1304万トン	計	1044万トン

3. 廃プラスチック類総排出量		
排出先		排出量
一般廃棄物	使用済製品量	423万トン
産業廃棄物	使用済製品量	350万トン
	未使用品	73万トン
計		846万トン

4. 廃プラスチック類の処分方法		
処分方法	処分量	
埋立	350万トン	(41%)
焼却	303万トン	(36%)
ゴミ発電	108万トン	(13%)
マテリアルサイクル	85万トン	(10%)
計	846万トン	(100%)

5. マテリアルリサイクルの需給明細			
排出先排出量		再利用先	
産業廃棄物（未使用品再生），一般廃棄物		62万トン(73%)	再生材料 58万トン(68%)
産業廃棄物（使用済み再生）		23万トン(27%)	再生製品 27万トン(32%)
計		85万トン(100%)	計 85万トン(100%)

出典：プラスチック処理促進協会

小型焼却炉で不連続運転による焼却処理を行っている多くの地方自治体や産業廃棄物処理業者は、相当な濃度のダイオキシンの発生リスクを抱えており、その防止対策に早急に取り組まなければならない。⁹⁾ 一般に日量規模で100トン以下の小型焼却炉では、安定した24時間連続運転ができない。焼却のオン・オフの際に最もダイオキシンが合成されやすい温度帯（300℃付近）を通過するので、

小型焼却炉では多量のダイオキシンが発生する。ダイオキシンの発生抑制方策としては、焼却処理に回される廃棄物量を削減することが最も重要であることは言うまでもない。そのためには、ごみの排出源における排出抑制方策を考えるべきである。次に、排出した廃棄物についてはその素材を可能な限り再活用（マテリアルリサイクル）すべきである。例えば、紙類、缶類、ガラス瓶類、そ

してペットボトルを対象とした素材活用方策がその典型である。

コスト的にマテリアルリサイクル方策に適合しない廃棄物は焼却処理に回されることになるが、800℃以上の高温で24時間連続的に安定燃焼させることが焼却施設におけるダイオキシン抑制の必須条件である。連続処理を行うためには、日量100～300トン規模のまとまった廃棄物量の確保が必要である。現状の廃棄物発生量規模では、連続処理が不可能な地方自治体や産業廃棄物処理業者がほとんどであるため、地方都市においては廃棄物処理の広域連携による集中処理が必要不可欠な方策となっている。また、広域連携に際しての廃棄物の輸送性、保管性および燃焼時の環境性などを考慮するとRDF（ごみ固形燃料化）が有力な手段の一部になるであろう。

4. 廃プラスチックの有効利用技術

4.1. 廃プラスチックの有効利用の現状と将来

プラスチックは軽量であるため、廃棄される発泡製品を含めてかさばることが多い。プラスチックは容積的には重量以上に目立つ傾向が大きいので、有用に使われながら廃棄物としてはマイナーな受取り方をされている。

一般廃棄物は地方自治体の責任で収集および処理が義務づけられているが、そのなかに含まれる廃プラスチックは自治体によっては適性処理の困難な廃棄物として扱われることが少なくない。プラスチック廃棄物の低回収効率、高発熱量および非腐食性が焼却・埋立処理に依存している自治体に歓迎されないからである。廃棄物処理法や容器包装リサイクル法による規制も強化される方向にはあるが、リサイクルできるもの、例えばPETボトルなどの分別収集と再生を積極的に努めなければならない。

次に産業廃棄物は排出者の自己責任で処分しなければならないため、廃プラスチックはリサイクルできる条件にあるものはリサイクルされ、その他は一般廃棄物に準じて産廃業者が処理されてい

るのが現状である。産業廃棄物は各産業の事業場ごとに排出されるため、プラスチックの種類ごとに回収可能である。このためリサイクルは一般廃棄物中のものより推進されている。プラスチック製造業では自社内クローズドシステムでリサイクル処理ができるし、使用者サイドもまずは循環使用からリサイクルに進むことができる。

さて、通産省が1993年5月に発表した廃プラスチック処理対策によると“廃プラスチック21世紀ビジョン”の旗を揚げ、21世紀初頭には素材原料（マテリアルリサイクル）に20%、そしてエネルギー回収（サーマルリサイクル）に70%に転換し、埋立処分するものは10%以下を目標とする基本方針を打ち出している。

最近の廃プラスチック処理・処分状況は、表1のようにマテリアルリサイクルに10%、サーマルリサイクル（ゴミ発電）に13%で、合計23%が有効活用されている。これはゴミ焼却熱を利用して自治体が増えていることを示し、この表には示されていないが、これ以外に暖房、温水プール等に温熱が利用されていることは我々がよく見聞するところである。プラスチックは発熱量が高く地域エネルギープラントの熱源として適しているといえよう。

しかし、廃棄物をすぐに燃やしてしまうことが本当の有効利用と言えるかどうかは疑問である。廃プラスチックをもっと有効に利用する方法は、再びプラスチック材料として再資源化することである。しかしながら、廃棄物の分別や汚れの除去などの困難性が伴い、現在の原油供給状況や価格などを考慮すると、再資源化に対して難しい問題がある。

幸い、産業系廃プラスチックについては、未使用品の素性がはっきりしたものもあり、分別も比較的容易で量的にもまとまる。その大半が表2にみられるようにマテリアルリサイクルされており、これを原料とした再生加工業が多岐に渡ってすでに成り立っている。^{10)～15)}

表 2. 廃プラスチックのマテリアルリサイクルの現状 (1994年度)

	排出量	リサイクル量	リサイクル率
産業廃棄物 (未使用品)	73万トン	62万トン	85%
産業廃棄物 (使用済み)	350万トン	23万トン	7%
一般廃棄物 (使用済み)	423万トン	0万トン	0%
合計	846万トン	85万トン	10%

4.2. 廃プラスチックのリサイクル方策

リサイクルの試みはすでに20年以上も前から試験実証が繰り返され、主として再生利用が定着している。プラスチックの再資源化をめぐる動向は「再生資源の利用の促進に関する法律」(平成3年4月26日公布,平成5年6月16日施行)や「容器包装に係る分別収集及び再商品化促進に関する法律」(平成7年6月16日公布,平成8年4月1日施行)にみられるように急速に動きはじめてきた。^{16)~17)}

廃プラスチックといっても種類や性状は多種多様であり、各種の着色物質や異物の混入などを考えると、その品質は千差万別である。有効利用を考えるに当たっては、廃プラスチックの性状に適した方法を選択する必然性が生じる。有効利用の

方法としては、図1に示すように再びものとして再生利用するマテリアルリサイクル、エネルギー源として活用するサーマルリサイクルおよびリターナブルユース(再使用)に大きく分類される。これらのリサイクル技術のなかで現在最も広く実施され、プラスチック加工技術が組み入れられているのは再生利用である。再生は対象とするプラスチックの種類に応じて技術システムが確立されている。^{18)~20)}

4.3. マテリアルリサイクル(再生原料化技術)

4.3.1. 単純再生

単純再生とは主として樹脂別に仕分けができ、また色別の仕分けもできる良質の廃プラスチックを原料として、再生ペレットやフラフなどに加工

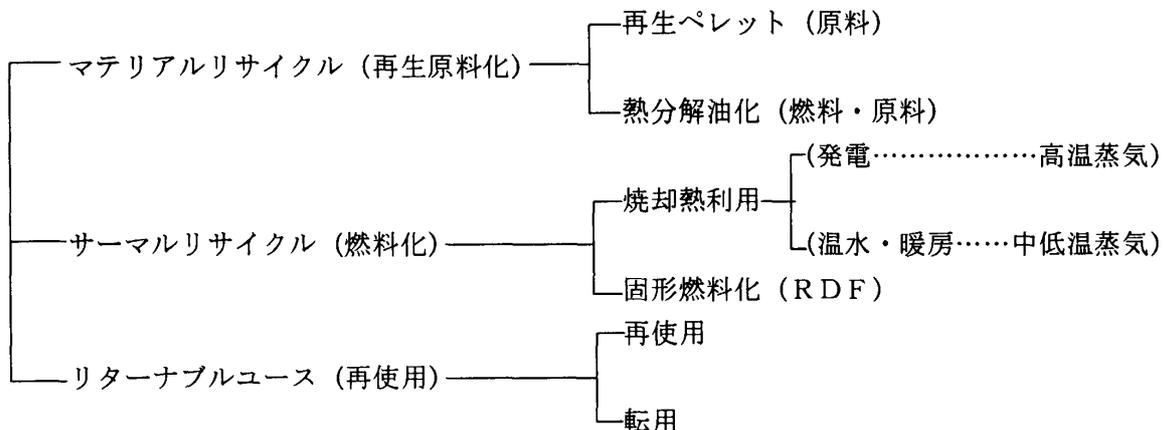


図 1. 廃プラスチックの再資源化体系図

して成形用原料とするものである。その技術は特別に新しいものではなく、従来からの押出成形機がそのまま適用できる。

単純再生で扱う廃プラスチックの種類は熱可塑性の樹脂であり、主にポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、ポリスチレン (PS) およびポリ塩化ビニル (PVC) で、次いでABSやナイロンなどがある。また、形状としてはフィルム、ストランド、パウダー、ビーズ、成形ロス、不良ペレットおよび容器類などが中心である。

単純再生では異種の樹脂が混入しないように注意する必要がある。そのために最初に選別の工程が必要である。選別後そのまま押出機にかけることもあるが、破碎や洗浄の工程を経なければならぬものもある。例えばストランドや大型のものは切断機による切断も要するし、パックやシート類など広幅のものは破碎機で一定の大きさに破碎する。この破碎品が直接取引されることもある。

単純再生では単一樹脂の再生にとどまらず、他の樹脂やバージン樹脂および添加剤を加えて耐衝撃性を増したり樹脂の流れを良くするなどの工夫をこらして樹脂の性能を高めてユーザーの要求に応えている。

4.3.2. 複合再生

複合再生とは製造から流通までの動脈系過程から排出される廃プラスチックのうち、単純再生に適さないものを原料としてこれを直接熔融固化して棒や杭その他の製品に成形する。複合再生に使用される原料廃プラスチックは、ポリエチレン (PE) やポリプロピレン (PP) などの熱可塑性プラスチックが中心で、これにポリスチレン (PS) 等を混入して製品の硬さを調節している。複合再生の製造工程は、まず異物を除去し樹脂別に分けて破碎する。破碎した樹脂別の原料は加工する製品の種類や性状に適するように一定の混合比で配合した後、熔融・混練して製品に成形する。現在では成形方法もプレス成形、押出成形およびインジェクション成形等が導入されるようになり生産量も増大している。加工製品も棒、杭、板な

どにとどまらず、土木建設資材、包装運搬資材および農漁業資材をはじめ工業部品にいたる種々な製品がつくられるようになっている。

単純再生は一次加工や二次加工から排出された単一種類のプラスチックを破碎機、押出機、ペレタイザーの順に処理して再生ペレットとして市場に供給される。

複合再生は流通過程や各種製造業で使用後に廃棄されたものを使うので、汚れや異物混入もあり品質管理も難しくなる。再生コストを下げるため通常分離工程や洗浄工程が省略される場合もある。熔融プラスチックを押出機の吐出圧を利用して金型に注入して冷却後取り出す方法でプラスチックの熱膨張や収縮を利用している。廃プラスチックのリサイクルは、まず再生利用に努め、不可能な対象または二次的リサイクルとして最終的にはケミカルリサイクルないしサーマルリサイクルを図るべきである。

4.3.3. 発泡スチロール減容再生システム

使用済の発泡スチロールをリサイクルする方式としては、加熱して15kg程度のインゴットに減容し再生原料として中国等へ輸出されるケースが多かった。しかし、溶剤によって減容し液化する方法が最近注目を集めている。

リモネン (ミカンの皮など天然柑橘類に含まれている成分) は安全性の高い天然物質で、発泡スチロール (EPS) と類似した分子構造をもっている。ソニーグループによるとリモネンはトルエンに近い溶解性を有し、18lの純度90%のリモネンで体積750lの発泡スチロールを30lのリモネン溶液として回収できる。発泡スチロール500mm³をリモネン溶液に入れると、数分程度で全て溶けて粘りのある透明な溶液に変化する。この溶液を180℃で1時間加熱し、そしてリモネンを留去させるともとのポリスチレン (PS) と同質のものが回収される。

宇部興産グループや三井物産化学プラントなどでも、リモネンを使って発泡スチロールからポリスチレン (PS) を効率的に回収するための研究

が活発に行われている。

4.3.4. 熱分解技術（油化、ガス化、モノマー回収）

熱分解技術で得られる再生油は高純度の液体であり、再びプラスチック製品の原料としてのマテリアルリサイクルの方向で研究・開発が進められているが、現状では燃料として利用されている。油化の課題は塩素とPET樹脂対策で、塩化ビニルの混入率が高くなるとどうしても炉自体を損傷させる。また、PET樹脂は熱分解時に分解液表面層にテレフタル酸の固形膜を張りガス化を鈍らせる。油化技術が整備されてもサーマルリサイクルでしか利用できないのであれば積極的なシステムの導入は起こらないであろう。²¹⁾ エネルギー回収するためなら最初からそのままで燃焼したりRDF化した方が作業効率が高い。油化プラントは、これまで実証レベルか民間の小プラントが主だったが、昨年末にはプラスチックごみの熱分解油化プラントを備えた新潟プラスチック油化センターが竣工し処理能力は新潟市の人口50万人の家庭から分別排出されるプラスチックごみが処理されている。分別収集したプラスチックはホッパーから破袋、磁選、PETボトルの手選別、破碎、油化不適物選別および減容の前処理工程を通して加熱溶解による脱塩化水素、熱分解、分留そして触媒による不純物除去や分解という油化工程を得てA重油相当の再生油が生産されている。

4.4. サーマルリサイクル（燃料化）

廃プラスチックを焼却して発生する熱エネルギーを利用するサーマルリサイクルは、焼却熱を利用したごみ発電という形態が一般的であり、エネルギーリサイクルとも呼ばれる。²²⁾ 通常のごみ発電は、日量600トン規模の施設では発電効率が20%程度であるが、ガスタービンを設置したスーパーごみ発電方式では30%以上の発電効率が実現されている。

これに対し、廃プラスチックやごみから燃料を製造してエネルギーを回収する方法としては、ご

みを固形燃料（RDF）にする方法と油化して燃料にする方法が代表的である。RDF方式は廃プラスチック以外の木や紙なども合わせて燃料化できるため、原料ごみの純度の低い一般廃棄物のリサイクル方式として注目され、約20カ所のプラントが稼働または建設決定されている。²³⁾ 一方、油化方式は廃プラスチックを熱分解し燃料油を製造する処理であり、石油資源として貴重な製品ができる点で期待されるが、処理コストが課題である。

このほかのサーマルリサイクルとして、プラスチックを微粉化したものと重油をボイラーで混焼する方法や高炉での燃料を兼ねた還元剤としての利用およびセメントキルンの工業用燃料としての利用技術が開発されている。さらに、焼却灰を主原料としたセメント（エコセメント）の製造に燃料も兼ねた廃プラスチックの使用が可能であり、廃プラスチックの用途として有望である。

4.5. 高炉利用

廃プラスチックの高炉原料化システムは、高炉にコークス（還元剤）の代替品として廃プラスチックを吹き込むもので、ドイツのスタールベルグ・ブレーメン（SB）社の第2高炉（内容積2688m³）やNKKの京浜製鉄所の第1高炉（内容積4907m³）で本格的に稼働しはじめている。

NKK方式は粉碎・造粒し原料化して、高炉吹込み設備をシステム化した一貫リサイクルシステムであり、世界で初めてといわれる。これはコークスの使用量を減らし石炭の省資源化につながる。また高炉のエネルギー効率は80%以上もあり、他のリサイクルプロセスに較べて省資源・省エネの面で優れている。また還元剤としてのコークスのCO₂ガスだけの生成に較べ、廃プラスチックでは水蒸気（水）も生成され、その分CO₂ガスの発生が減少し、地球温暖化が問題視されているCO₂ガスの発生を抑える利点もある。

吹き込まれたプラスチックは全てガス化され、その大半は鉄鋼製造に使用され、残りは燃料ガスとして再び発電に有効利用される。能力は一応年

間3万トンとしており、産業廃棄物の処理としては大規模プラントである。さらに、高炉自体は60万トンまで受け入れが可能であるといわれている。

5. 地域における廃プラスチックの有効利用方策

5.1. 呉地域における廃棄物の発生および処理状況

呉市で家庭ごみとして発生する一般廃棄物のうち、可燃ごみの発生量は年間約67,000トン（平成7年度）で、廃プラスチックごみは本市においては可燃ごみとして収集されており、約3,000トンが排出見込み量としてあげられている。²⁴⁾ 我が国全体の排出量から人口割りで計算すると、約2倍量の7,000トンぐらい排出されているかもしれない。これらのプラスチックのうち容器包装に使われているものは、容器包装リサイクル法に従って消費者、市町村および事業者の責任で再商品化されることになっている。これらを効率よく再商品化するためには、分別収集が最も重要な課題であり、住民と行政の協力体制がこの法の成否を決めるにちがいない。

さて、呉市内で発生する産業廃棄物の排出量は統計表によると年間約210万トン（平成7年度）で、その内訳は鉱さい（71.1%）、汚泥（11.4%）およびダスト（7.1%）が主要なものである。²⁵⁾ 人口規模から本市の産業廃棄物の種類および排出量を推量すると、本市の産業が素材産業型であることが産業廃棄物からも示唆される。産業廃棄物の処理・処分状況は、最終処分されているものが僅か5%で、殆どのは売却か再利用されている。²⁵⁾ その他の廃棄物としては顕著なものはなく、呉地域で発生する産業廃棄物としての廃プラスチックについては殆ど知られていない。呉産業活性化懇談会では昨年度の事業の一つとして廃プラスチックについて調査しているので、²⁶⁾ ここではその調査結果を引用してプラスチックの有効利用方策について解析した。

5.1.1. 廃プラスチック発生量の解析

呉商工会議所の所属会員企業のうち廃プラスチックの発生が予測される企業に対してアンケート調査された結果があるので、それを引用してここで解析したい。²⁶⁾

廃プラスチックの年間発生量が150～300トンの会社が3社、30～60トン程度の会社が5社、10～20トンの会社が3社そして10トン以下の会社が40社以上となっている。なお発生量のベスト5位から9位迄の5社は17トンから360トンと発生量が多いが、委託処理費の総額は下位にランクされている。これは他の一般廃棄物が毎日発生しそれらを毎日処理されているので、この一般廃棄物について処理費が決められている。そのために廃プラスチックの処理費の算出が極めて難しいためである。

アンケートに回答のあった51社全体の発生量を見ると、年間9トン以上発生する会社は11社で22%、5トン未満の会社が38社で75%を占めている。年間の廃プラスチック発生量の上位11社の業種を見ると、鉄鋼・造船部会が2社で474トン（53%）を占め、次いで特殊工業部会が6社で328トン（37%）、一般商業部会が2社で73トン（8%）そして食料品部会が1社で17トン（2%）となっている。

5.1.2. 廃プラスチックの処理状況

廃プラスチックの発生（排出）が有ると回答した67件（51社）全ての処理方法をみると、表3に示しているよう、焼却が43件64%も占め、次がリサイクルの12件18%であった。その他として埋立が6件9%、破碎2件2%および不明4件6%となっている。

この調査では、焼却が予想以上に多く埋立が意外に少ない。不明が6%もあり、事業者として排出した廃棄物がどこでどのように処理されているか知って委託しなければならない事項だけに、今後の大きな課題の一つと云えよう。

自社で行う自家処理か、外部への委託処理かについて調査結果をみると、完全な自家処理は4件6%と非常に少なく、収集運搬は自家で行い処分

のみを外部に委託するものが19件28%であった。委託するもので44件66%となっている。一番多いのは収集運搬から処分まで完全に外部へ

表3. 呉地域で発生する廃プラスチックの処理状況

委託状況 処理状況	A 委託—委託	B 自家—自家	C 自家—委託	計
焼却	27	2	14	43 (64%)
リサイクル	9	2	1	12 (18%)
埋立	5	0	1	6 (9%)
破砕	1	0	1	2 (3%)
不明	2	0	2	4 (6%)
計	44 (66%)	4 (6%)	19 (28%)	67 (100%)

A：収集運搬、処理も委託のもの

B：収集運搬、処理も自家のもの

C：収集運搬が自家、処理が委託のもの

5.1.3. 廃プラスチックの委託処理費の解析

年間に支払う委託処理費の多額順位10事業所は表4にみられるように、1位は約1千万円と非常に大きな金額であるが、2位は大巾に低くなり3分の1の300万円、3位200万円、4位140万円、5位は更に低くなり50万円に、6位は20万円に、7位15万円、8～9位10万円、10位8万円である。11位以下30位までは処理費6万円未満で発生量も2.5トン以下である。この範囲では取扱量や取扱

金額がいずれも小さく、ビジネスとして魅力のあるものとは到底いえない。このことから11位から51位迄の委託処理費用の分布をみると、48%の企業では廃プラスチックの処理に費用がかかっているという認識はあるが、49%は他の廃棄物が毎日のように発生することもあって抱き合わせで処理してもらう、ということで廃プラスチックを処理しているという意識は殆ど無いと云えよう。

表4. 呉地域で発生する廃プラスチックの年間委託処理費（上位10社）

順位	処理費 (千円)	発生量 (トン)	処分方法	委託方法	回収頻度
1	9,600	192	焼却（市外処分場）	置場から委託	1/2日
2	2,815	282	埋立（市外処分場）	置場から委託	1/週
3	1,900	150	焼却（市外処分場）	置場から委託	1/週
4	1,440	60	焼却（市外処分場）	置場から委託	1/2週
5	480	12	焼却（市外処分場）	置場から委託	1/月
6	190	12	リサイクル（-）	置場から委託	1/月
7	152	0.9	焼却（不明）	置場から委託	1/1.5月
8	103	3.3	焼却（不明）	置場から委託	1/2日
9	100	4	焼却（市外処分場）	置場から委託	1/6月
10	78	8.7	焼却（市内処分場）	置場から委託	1/週

5.2. 近隣地域における廃プラスチック有効利用の事例

5.2.1. 東洋合成(株) (広島県高田郡向原町) における前処理および再生原料化の事例

PP, PE, PC, ABS, 塩ビ (硬質, 軟質) 等の

廃プラスチックを排出先の企業から収集し, これを選別して粉碎またはペレット化して再生原料としている. なお, 再利用できないものについては焼却処分を行っている. また, 基本的には排出先で分別したものを収集している.

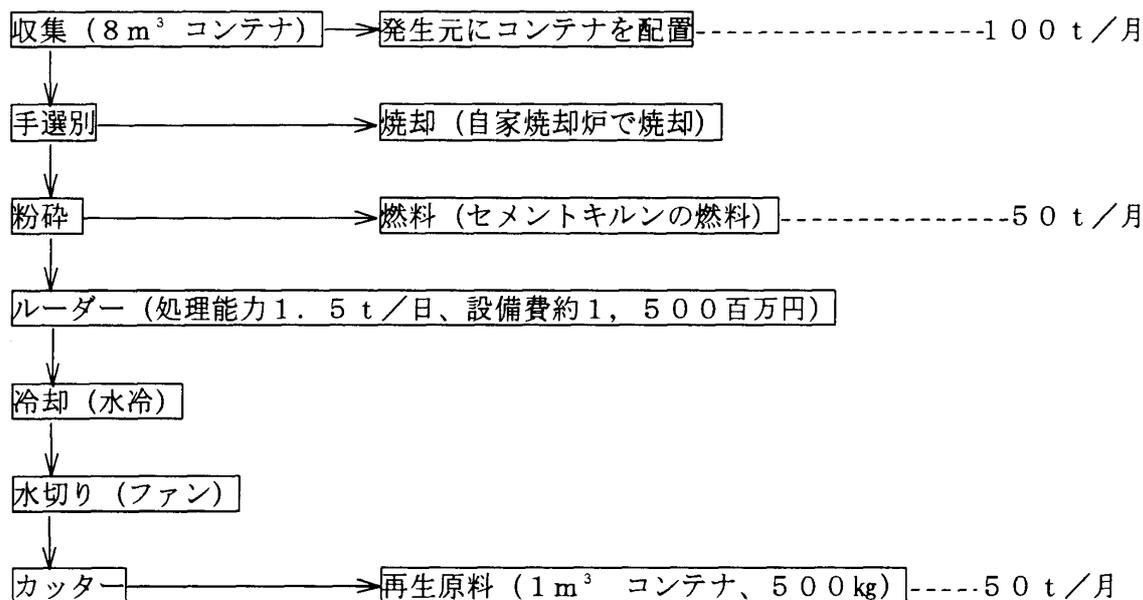


図2. 東洋合成(株)における廃プラスチックの製品化概略フロー

5.2.2. (株)サンポリ (山口県防府市) におけるマテリアルユースの事例

ポリエチレン (PE) を主原料 (90%以上) にして, 工業用品, 土建資材, 農漁業資材等 (例えば下水用マンホール, 蛸壺, 擬木, 杭, ポンベ等のマット, 各種ポリ容器等) をつくっている. 生産能力は1,500 t / 月 (24時間稼働) で, 現在の生産量は400~450 t / 月 (8時間稼働) であり, 原料の70~80% (300 t 強 / 月) が廃プラスチックである.

廃プラスチックの受け入れと費用については, 農業用ビニールハウス (ポリエチレンシート) のように品質のはっきりしたものを収集し減容処理して受け入れており, 工場受け入れ購入価格は35円 / kgである. なお, バージンのペレットは150円 / kgぐらいである.

5.2.3. 呉市中央卸売市場 (呉市光町) における発泡スチロールの減容化

呉市中央卸売市場で発生するごみは, 各業者が①可燃ゴミ, ②不燃ゴミ, ③段ボールおよび④発泡スチロールに分別し決められた集積所に持ち込み, これを呉市中央卸売市場 (呉市), 呉市中央卸売市場協会および呉青果食品商業共同組合が適正に処理している.

分別収集された発泡スチロールは, 場内で加熱溶解してブロック状に減量固化し, ビデオテープの外枠等の原料として中国へ輸出されている. 減容化処理された再生ブロックは, 減容機メーカーが引き取って中国に輸出しているが, 中国側の経済事情などにより輸出が低迷する場合には焼却処分を行うこともある.

再生ブロックは国内であまり使用されていない.

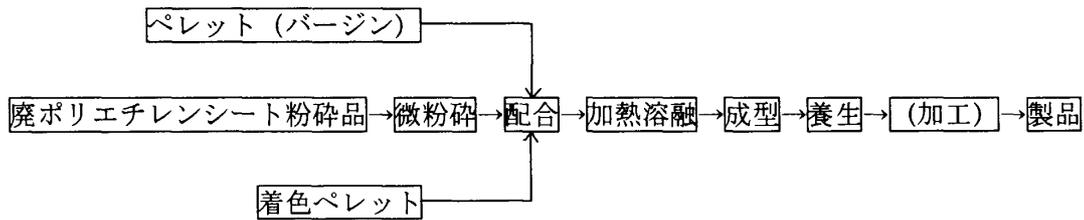


図3. (株)サンポリにおけるマテリアルユースの製造工程

その理由は廃プラスチックであるため食品用途には使用できないことおよび普通のプラスチック製品はバージンプラスチックをベースとして規格が作られているために廃プラスチックではその規格に適合し難いこと等による。

コストとして、減容処理費が約70円/kgで、再生ブロック販売価格が10円/kgであるので、差額の約60円/kgが必要である。この費用は呉市中央卸市場（呉市）と呉市中央卸市場協会で負担している。

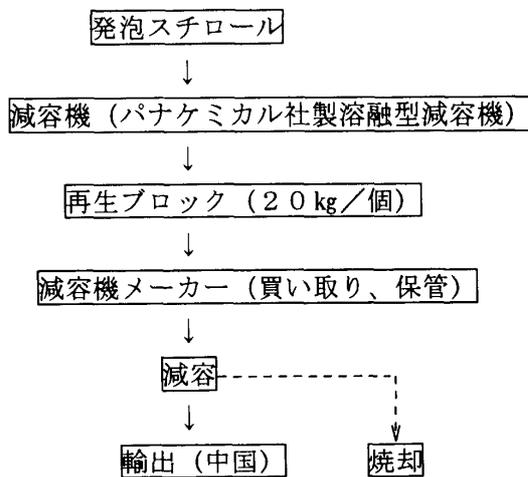


図4. 呉市中央卸売市場における発泡スチロールの減容化処理の概要

5.2.4. (株)トクヤマ（山口県徳山市）におけるサーマルユースの事例

1) 廃プラスチックのセメントキルン燃料としてのサーマルユースの概要

廃プラスチックを燃料として供給する場所は、キルン本体の窯尻と窯前の2箇所、窯尻からは350mm以下のサイズにした廃プラスチックを供給し、窯前から25mm以下にした廃プラスチックを風送により炉内の石炭バーナーの直上部に供給している。

炉内温度は窯尻(1,000℃強)および窯前(1,200℃強)とも800℃を越えているので、完全燃焼が可能であり、燃焼残渣はそのままセメントの原料となる。処理能力は廃タイヤや廃プラスチックでキルン燃料の30% (10数万トン/年)である。

2) セメントキルンへのサーマルユースとしての廃プラスチック

現在利用している廃プラスチックの種類は有害な成分を含有しない品質がハッキリしている廃プラスチック (PP樹脂等) が対象で、塩化ビニールは分解すると塩素ガスが発生し設備の腐食トラブルを起こすので使用していない。従って、分別体制が確立していない廃プラスチックの利用は難しい。

受け入れ形態としては、廃タイヤや350mm以下の廃プラスチックは船やトラックによるバラ輸送をしており、25mm以下の廃プラスチックではフレコンに入れて輸送している。

フィルム状やシート状の廃プラスチックや発泡スチロールは嵩比重が低く嵩張るため効率が悪く使用していない。使用するためには減容化することが必要である。

3) 焼却受託費用

廃タイヤや350mm以下の廃プラスチック

は5,000円/t~6,000円/tで、25mm以下の廃プラスチックは3,000円/tである。

5.2.5. セーラー万年筆(株)天応工場(呉市天応西条)におけるサーマルユースの事例

当社は以前廃プラスチックを他の可燃物と一緒にして、業者に委託し焼却処理をしていた。廃プラスチックの種類としてはPP, AS, ABSおよびこれらの混合物であり、異物としては各種ペン類に組み込まれた形で鉄、ステンレス、ゴム、インク、顔料などが混入している。塩化ビニルは使用していないが包装材として少量混入している。この廃プラスチックについて、有効利用の方法について検討されている。²⁶⁾

1) 廃プラスチックの発生概要

従来工場から発生する廃プラスチックは他の可燃ゴミと一緒に鉄製容器(約10m³)に集めた後、業者に委託して焼却処理を行っていた。当工場において発生する廃プラスチックは筆記具の材料として使用されるプラスチックに起因するものであり、PP, PE, ABS等用途に応じて色々な種類のプラスチックが使用されているが、主力はPPである。

廃プラスチックの発生源は、筆記具を構成するプラスチック部品を成型加工する際に発生するものと、筆記具の組立て工程中に発生する不良品あるいは完成品の検査不合格品である。前者はプラスチック単品の部品を製造する工程で発生するために、プラスチックの履歴が明確であり、その上異物の混入は皆無であるが、後者は完成度の高いものほど組み込まれた部品の材料である鉄、ステンレス、インク等による異物混入率が増加する。

今回の有効利用の検討に際しては、とりあえず異物の存在しない前者の利用を優先し、後者については、前者の検討結果が判明した後引き続き推進するよう計画した。

前者については、以下に述べるように成型加工作業中において形状の異なる2種類の廃プラスチックが発生する。

25mm以下(シュレッダー)→ランナーあるいは成型不良品のシュレッダー。

350mm以下(ブロック)→工程打切で余ったプラスチック残湯を系外容器で冷却。

2) 廃プラスチック有効利用の検討

上述した異物混入の無い廃プラスチックの25mm以下(シュレッダー)および350mm以下(ブロック)のサンプルを(株)トクヤマに持ち込み調査を依頼した結果、これらの廃プラスチックがセメントキルンの燃料として使用できることが分かったので、有効利用化を推進し実現させた。さらに現時点では筆記具完成品の不合格品で代表される異物混入廃プラスチックについても利用を検討している。

廃プラスチックが重油とほぼ同等の熱量(約1万Kcal/kg)を有するにもかかわらず、従来は廃棄物として単純に焼却処分されていた。しかし、現在ではセメントキルン燃料として有効に利用(サーマルユース)されるようになり、処分費も低減させることができた。従来産業廃棄物として約20千円/tで焼却処理していたものが、3~6千円/tでサーマルユース化処理することができるようになった。

6. おわりに

—分別収集システムの構築を目指して—

我々の先人が作り上げた文化的な生活の維持および熟成に向けて、我々は持続可能な経済社会の創成を希求している。工業化社会においては、使い捨ての物質文明が隆盛をきわめており、我々人類が【経済・資源・環境】でトリレンマに陥っている。我々が使用している製品の生産・流通・消費の全ての段階で排出される廃棄物を資源として再利用する【資源循環型社会】を、早急に現存世代の人々の総意で構築しなければならない。廃棄物の量を減少させる手段として、生産の段階からライフサイクルアセスメント(LCA)の概念を導入し、大変革としての【環境産業革命】を創出

して、将来に渡って快適な社会を持続させなければならぬ。

しかしながら、現状においては廃プラスチックの有効利用率はまだ低く、その処理・処分は焼却や埋立に大きく依存している。これが環境悪化を招く原因となっているばかりでなく、プラスチックの原料である石油資源の枯渇を速めていることにも繋がっている。廃プラスチックの有効利用率の低い原因としては、製品の構成面からみて、他の素材との分別が容易でないこと、多種類のプラスチックが混在して使用されていることがある。また、廃プラスチックには各種の汚れが混入していることも主な理由であり、国民の意識が低いことにも大きく起因している。

1997年4月に「容器包装リサイクル法」が施行され、事業者には再商品化およびそのための経費負担が義務付けられた。これにより、資源循環型の経済社会への第一歩を踏み出したことになる。

しかし、現状においては、産業廃棄物処理業者の過当競争による排出企業の安値発注があり、安易な焼却や埋立が依然として続いており、最悪の不法投棄まで起きている。

当地域で産業廃棄物として排出される廃プラスチック量は多くはないが、近い将来には対象品目が次第に拡大されるであろう。また、分別収集される量も増加すると思われ、容器包装材料の生産業者やそれらを利用する企業の取り組み方にも変革が起きるであろう。ISO14000シリーズのような国際規格の社内環境監査も導入され、各企業は環境に調和した資源循環型の経済社会の構築に向けて対応するために、廃棄物の処理・処分をしなければならなくなる。そのためには廃棄物を作らない、廃棄物を再生利用するシステムの構築、即ち産廃物ゼロの産業体制に変革していくことになるであろう。これは、未来世代の人々に対して資源と環境の両面から求められることであるが、既存の産廃業者にとっては取り扱う廃棄物の減少を意味し手放しでは喜べないかもしれない。産廃業者も廃棄物を再生利用するシステムに変革する必要が生じるであろう。

以上のように廃プラスチックの処理・処分について中・長期的に考察してきたが、地方都市やその周辺地域における現状での廃プラスチックの排出・収集量では、マテリアルリサイクルを実施するに当たり難しい面がある。しかし、焼却や埋立処分されている廃プラスチックは、資源・環境の両面からみても少なくともサーマルユースへの利用が望まれる。プラスチックの利用率を高めるためにも、廃プラスチックはできる限りマテリアルリサイクルに向けるべきである。サーマルリサイクルは汚れや不純物に対しても許容度が高いため、燃料用石油の代替品としての価値は十分にある。

地域における廃プラスチックを含めた廃棄物資源のリサイクリングの成否は、分別収集システムの構築に大きく依存している。廃棄物に関しては、「分けると資源、混ぜるとゴミ」といわれているように、分別された廃棄物単品を資源として再利用する技術開発は進んでいるので、効率の良い「分別収集システム」を構築することが強く求められている。分別収集システムがつくられて機能している例として、県内の約1,000店舗の魚屋から、40トン余りの魚のアラ（魚さい）が毎日分別収集され、家畜の飼料としての魚粉に加工されている。²⁷⁾ また、呉中小企業家同友会呉支部では、会員のボランティアによってオフィス古紙回収システムの形成に向けての努力も報道されている。²⁸⁾ このように企業間の分別収集システムの形成はもちろん重要であるが、さらにこれを支えるためには企業内でのシステムづくりが最も重要である。環境監査を取り入れて、企業内での分別収集システムを形成することにより、環境問題全体への社内における意識の啓発活動などにも繋がるので、早急に企業内での分別収集システムの構築を達成すべきである。

本研究における研究費の一部は、呉大学平成9年度共同研究費（C-2）「地域・社会の環境を評価するための新たな指標の検討と環境改善策の提案」の援助によった。ここに記して感謝する。

文 献

- 1) 地球サミットは、国連人間環境会議の20周年を記念して1992年6月に、ブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開催された。世界中から約180カ国が参加して、ハイレベルな国際会議となった。人類共通の課題である地球環境の保全と持続可能な開発を実現するための具体的な方策を得るために、「環境と開発に関するリオ宣言」、「アジェンダ21」および「森林原則生命」などを採択した。
- 2) 伊保内賢，倉持智宏，1995，プラスチック入門，工業調査会。
- 3) 中村次雄，佐藤功，1995，初歩から学ぶプラスチック，工業調査会。
- 4) 藤井光雄，垣内弘，1993，プラスチックの実際知識，東洋経済新報社。
- 5) 倉田正也，1994，プラスチック材料技術読本，日刊工業新聞社。
- 6) 高分子学会，1995，プラスチック加工技術ハンドブック，日刊工業新聞社。
- 7) プラスチック処理促進協会資料，1997。
- 8) 井熊均，1997，大気汚染防止技術が産業発展促す，日本経済新聞，1997年9月22日付。
- 9) ダイオキシン問題は各社の新聞で度々取り上げられている。例えば，中国新聞，1997年4月23日付の社説。
- 10) R.J. Ehring，1993，プラスチックリサイクルリング，工業調査会。
- 11) プラスチックリサイクル研究会，1997，プラスチックリサイクル100の知識，東京書籍。
- 12) プラスチックごみ最適処理技術研究会，1995，プラスチックごみの処理処分，日報。
- 13) プラスチックごみ最適処理技術研究会，1995，プラスチックごみの減量化とリサイクル，日報
- 14) 桜内雄二郎，1993，プラスチック技術読本，工業調査会。
- 15) 松谷守康，1994，プラスチック技術マニュアル，理工学社。
- 16) 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備化，1997，容器包装リサイクル法のあらまし・時代に新し光，ぎょうせい。
- 17) 環境庁環境法令研究会，1994，環境六法，中央法規出版。
- 18) プラスチック処理促進協会，1994，廃プラスチック有効利用事業者の手引き，プラスチック処理促進協会。
- 19) プラスチック処理促進協会，1994，廃プラスチックのサーマルリサイクル技術基礎データ集，プラスチック処理促進協会。
- 20) 田中勝，1997，廃プラスチック再資源化，素材・エネルギー源に，日本経済新聞，1997年9月8日付。
- 21) 容器包装リサイクル法では，現時点でPET以外の廃プラスチックのリサイクルは油化が志向されている。
- 22) 岩崎友彦，1997，一般廃棄物処理，脱焼却の方策，開発進む，日本経済新聞，1997年9月1日付。
- 23) 中国新聞によると（1996年11月23日付）広島県ではRDFを発電に活用するための事業化を検討している。
- 24) 呉市，1997，一般廃棄物処理基本計画，呉市。
- 25) 呉市環境保全課，1997，呉市の環境，呉市。
- 26) 呉産業活性化懇談会物づくり委員会，1997，廃プラスチック有効利用を目指して，呉産業活性化懇談会。
- 27) 松尾昭彦，中峠禎孝，1995，呉地域における産業廃棄物の現況，社会情報学研究，1，29-44。
- 28) 中国新聞（1996年12月17日付）。