

# 地球環境破壊防止に関する考察

長戸路 雄厚

Preventing Global Environmental Destruction

Yuukou NAGATORO

地球環境の最大懸案事項は、地球温暖化問題である。しかし、「大量生産・大量廃棄」型の経済社会活動から発生する大量のごみも、地球環境に大きな負荷を与え続けている。本論文では、温暖化とごみ問題の両方の視点から、廃プラスチックの処理方法を検討した。ペットボトルにはリユース化を、埋め立てされる廃プラスチックには燃焼の発熱エネルギー活用化を提唱した。これらの処理は、排出CO<sub>2</sub>量の低減とごみ低減に資する。

## 1. 緒言

2007年、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、地球温暖化について「第4次報告書」を発表した。この報告書では、1970年以降の温暖化は、90%以上の確率で人間の活動に起因する温室効果ガスの増加が原因であると結論付けている。温暖化は最も喫緊の地球環境問題であり、世界各国にとって温暖化対策は愁眉の急となっている。<sup>1)</sup>

温暖化に次いで地球環境破壊が危惧されるのは、地球人口約67億人が排出するごみ（廃棄物）である。ペットボトルやラップ等で馴染みのプラスチック製品は、国内だけでも、1000万トン以上にも及ぶ廃棄物となる。廃棄物、特に使用済みプラスチックをどのように処理すれば、地球環境への負荷をより軽減できるだろうか。温暖化とごみ問題の両方の視点から、地球環境負荷の軽減化を図る処理方法を検討する。

## 2. 地球環境破壊防止

図1に、地球環境破壊防止対策を示す。大別すると、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出低減対策、廃棄物処理対策、そして税制・法規制等のバックアップ対策に3区分される。

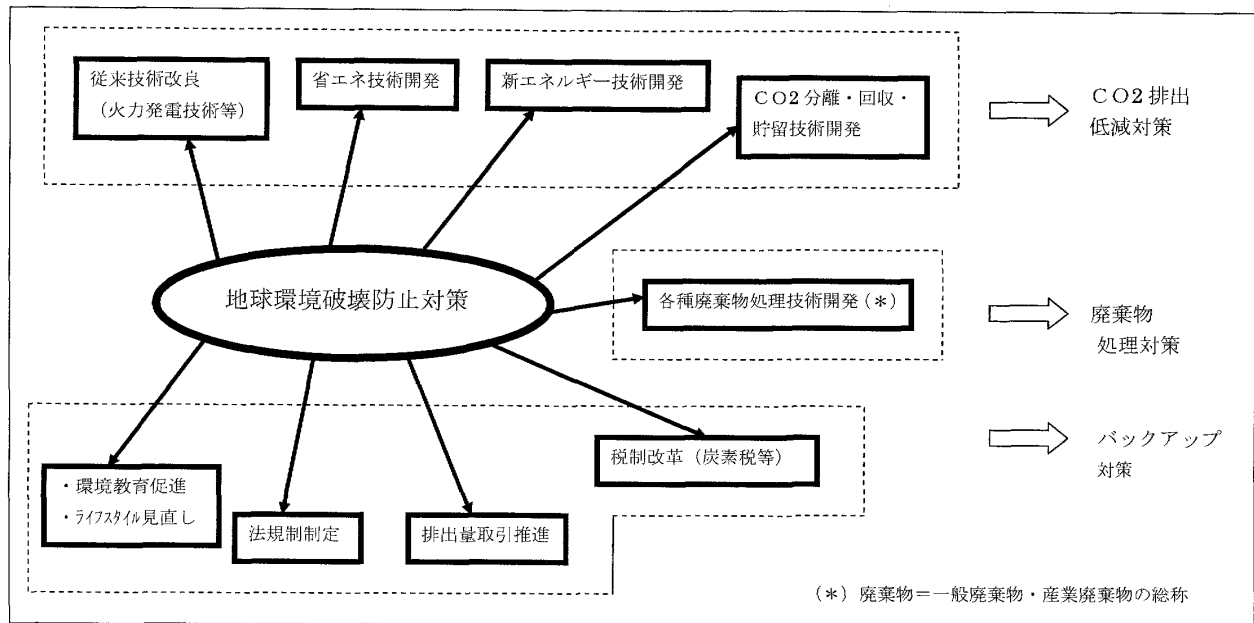


図1 地球環境破壊防止対策図

## 2.1 CO2排出低減対策

地球温暖化の要因である温室効果ガスには、CO<sub>2</sub>のほかに、メタン（CH<sub>4</sub>）、一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）、フロン等があるのだが、人間の生産活動や日常生活維持等のエネルギー消費活動で排出されるCO<sub>2</sub>の量が極めて多いため、温暖化対策は排出CO<sub>2</sub>量の削減と同一視されている。今日の大気中のCO<sub>2</sub>濃度は379ppmである。近年は1.5～2.0ppmの割合で増え続け、産業革命以前の280ppmの数値より約100ppmも増加してしまった。南極の氷床分析によると、過去65万年間の大気中のCO<sub>2</sub>濃度の変動幅は180～300ppmの範囲内であるので、379ppmは自然の変動幅を大きく逸脱した数値だといえる。CO<sub>2</sub>排出低減対策には、従来技術の改良（火力発電技術改良等）や排出CO<sub>2</sub>の貯留技術開発、省エネ技術開発、そして太陽光、風力、バイオマス、燃料電池といった新エネルギー技術開発がある。CO<sub>2</sub>を排出しない新エネルギー技術は、いずれもまだ規模が小さく、地域分散型小規模電力供給システムとしての機能の域を出ない。また省エネ技術開発では、家電製品を始めとする電機部門、重工業部門、化学工業部門等の分野で省エネが進み、なお日進月歩の状況にある。<sup>2),3)</sup>

2007年にドイツで開催されたハイリゲンダムサミットでは、2050年までにCO<sub>2</sub>の50%削減が提案された。その後、EUは2020年までに20～30%削減案を提案した。ただし、「京都議定書」が主張する1990年の排出CO<sub>2</sub>量を、CO<sub>2</sub>排出削減の基準として採用するかどうかは明確でない。各国の経済上、社会上の背景が有り、CO<sub>2</sub>排出低減の足並みが揃うに至らない。

## 2.2 廃棄物処策

図2に示すように、廃棄物は産業廃棄物と一般廃棄物に大別され、一般廃棄物はし尿とご

み、更にごみは事業系と家庭系とに分類される。家庭系ごみとしての使用済みプラスチックを一般ごみ扱いとするか、粗大ごみ扱いとするかは自治体によって異なる。

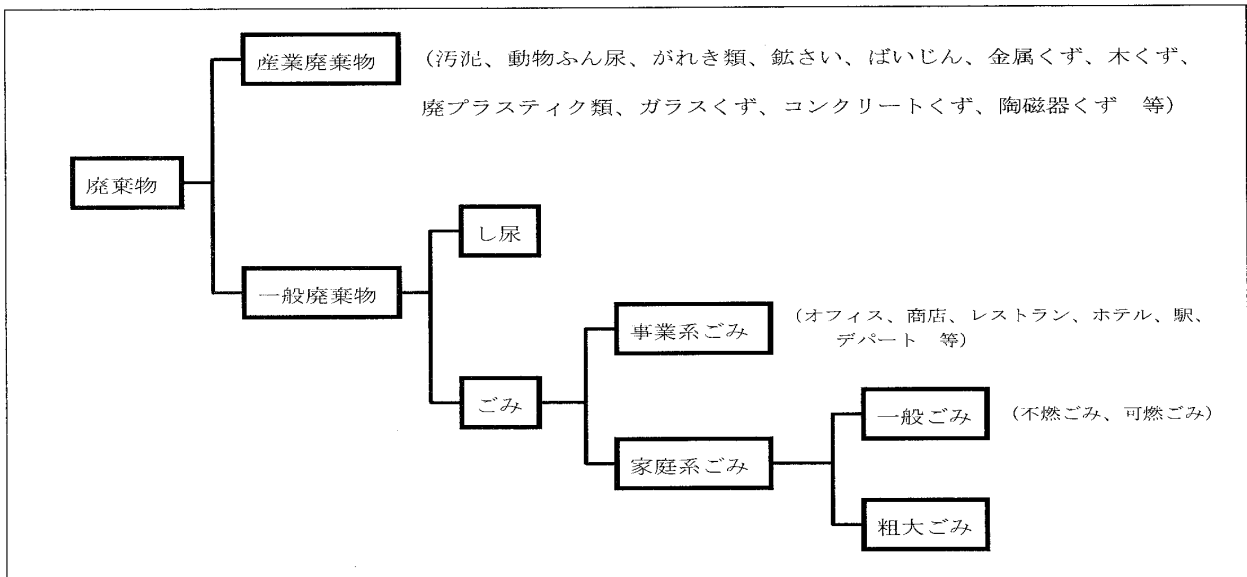


図2 廃棄物の区分

廃棄物処理には再使用（リユース）、再生利用（リサイクル）、焼却、埋立の処理がある。<sup>4),5)</sup>

リユースは、使用済みの製品、部品に必要な応じた洗浄や修理を施して再び使用する処理で、環境への負荷が小さい。繰り返し使用するリターナブルリユースとして、牛乳ビンやビールビンがよく知られた例である。廃車になった自動車から取り外した部品のリユースや複写機の外装部品のリユース等の取組みも進展している。

リサイクルには、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクルの3種類がある。<sup>5),6)</sup> マテリアルリサイクルは、廃棄物の物理的な性質を維持したまま別の製品に再成型したり、化学的な特性を変えずに別の製品に転換する処理形態である。ケミカルリサイクルは、廃棄物に化学的処理を施して、いったん化学工業の原料の段階にまで戻してから再資源化を図る処理形態である。サーマルリサイクルは、廃棄物を焼却した際に発生する熱エネルギーを回収し利用することである。

リサイクルは、極めて注目を受けている廃棄物処理であるが、その処理工程によっては、かなりのエネルギーを必要とし、CO<sub>2</sub>も多量に排出することに注意しなければならない。

また、埋立は地球環境破壊の大きな要因の一つである。

### 2.3 バックアップ体制

法・税制等のバックアップ対策は、CO<sub>2</sub>排出低減や廃棄物処理技術開発の推進を促したり支援したりするものである。

「大量生産・大量消費・大量廃棄」型の経済社会活動が地球環境への負荷を増やし続け、自然の循環が阻害され限界に近づきつつあるという認識の下に、日本では2001年、循環型

社会形成推進基本法が施行された。廃棄物発生の抑制（リデュース）や発生した廃棄物の資源利用促進を規定している。

同じく、2001年に制定された資源有効利用促進法では、10業種69品目を対象として、事業者には3R（リデュース・リユース・リサイクル）の取組みを求めている。また、物品の特性に応じて、ビン、缶、紙、プラスチックなどの容器包装の再商品化を義務付ける容器包装リサイクル法、家電リサイクル法等も施行されている。

### 3. 廃プラスチック処理の考察

CO2排出低減を視野に入れながら、地球環境を悪化させるごみの低減をはかる廃プラスチック処理を考察する。

#### 3.1 廃プラスチック対策の現状

廃プラスチックは、日本国内で一般廃棄物・産業廃棄物の双方を合わせて1006万トン（2005年統計）に達する。廃プラスチックの処理形態を図3にまとめる。再生利用、油化・ガス化・高炉原料、固形燃料、廃棄物発電、熱利用焼却、単純焼却、埋立の7つの処理形態がある。<sup>4),5)</sup>

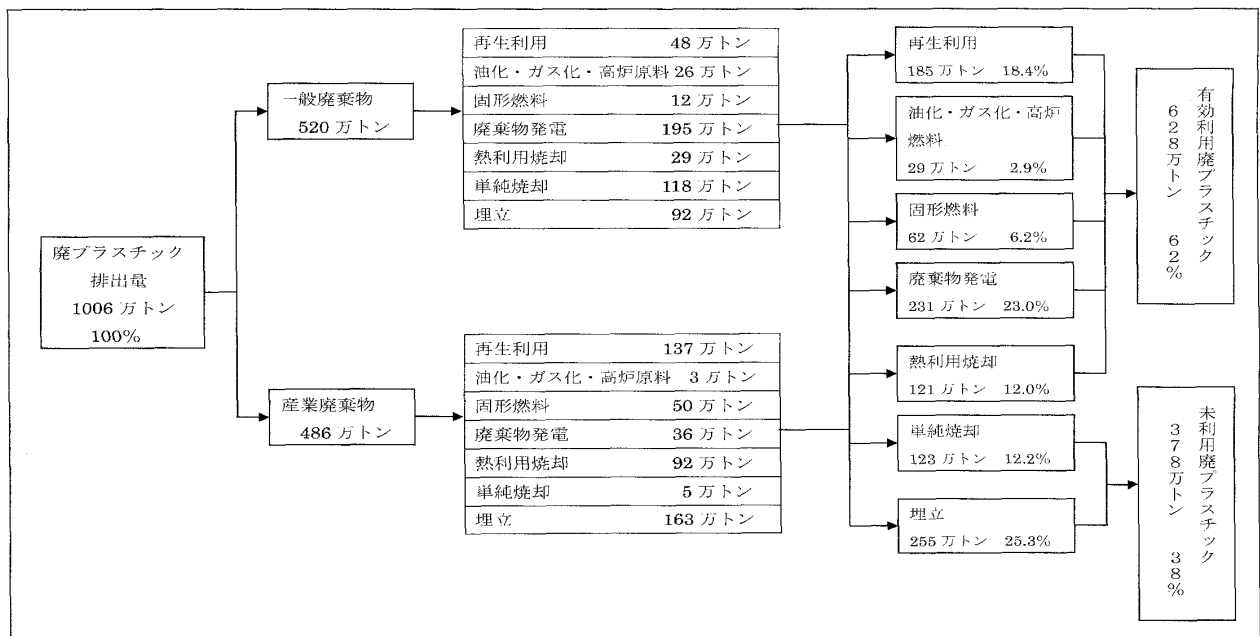


図3 廃プラスチックの利用図（2005年国内統計）

再生利用のほとんどは、廃プラスチックをいったん樹脂ペレットにして再びプラスチック原料とするマテリアルリサイクルである。油化は燃料油への転換、ガス化は化学工場の原料としての利用、そして廃プラスチックを製鉄の高炉還元剤として利用するのが高炉原料である。油化・ガス化・高炉原料化は、廃プラスチックのケミカルリサイクルである。

単純焼却は単に燃焼させるのみで、熱利用をしない区分である。7つの処理形態のうち、再生利用、油化・ガス化・高炉燃料、固形燃料、廃棄物発電、熱利用焼却は廃プラスチックの有効利用の範疇にあるが、単純焼却や埋立は廃プラスチックの使い捨てである。

埋立は、ごく僅かの植物由来のプラスチックを除き、人工の廃プラスチックを地球に埋め込むものであり、地球環境上容認されるものではない。

2005年の国内プラスチック生産量は1451万トン、国内消費量は1159万トンであり、有効利用廃プラスチック量は628万トン、未利用廃プラスチック量は387万トンとなっている。未利用廃プラスチックは全体の38%を占める。限りある資源の観点からも、エネルギーの有効活用の観点からも大変無駄の多い状況にある。

### 3.2 廃ペットボトル処理の考察

ペットボトルは、原料は原油で、プラスチックの一種ポリエチレンテレフタレート (PET) で作られている。軽くて割れない、利便性に優れたペットボトルは、飲料や醤油のボトルとして、現代社会に欠かすことの出来ない物品である。大量に生産され、大量に廃棄される使用済みペットボトルの処理法について考察する。

#### 3.2.1 ペットボトル製造工程に要するエネルギー量の検討

図4の「ペットボトル to ペットボトル」には、原油からペットボトルにするまでのエネルギー値と、廃棄物となったペットボトルをPET樹脂にもどすまでに必要なエネルギー値を記している。<sup>7)</sup> 原油を採掘し1kgのPET樹脂を作るのに要するプロセスエネルギーは27.9MJ (メガジュール, 熱量単位), ボトルに成型するのに約27MJ, ボトルのラベルの合成・印刷やボトルの輸送等に約20MJのエネルギーが必要である。そして使用済みペットボトル1kgを回収し、化学的に分解して原料化し、原料の精製と重合を経て、再びPET樹脂1kgに戻すまでには約28.3MJのエネルギーを要する。1kgのペットボトルのケミカルリサイクルに必要なエネルギーは、28.3MJと27MJそして20MJの合計で約75.3MJのエネルギーが必要である。原油からペットボトルを製造するのに必要な総エネルギー 74.9MJ/kg より、ケミカルリサイクルでペットボトルを製造するのに要するエネルギー値が多いことに注意しなければならない。

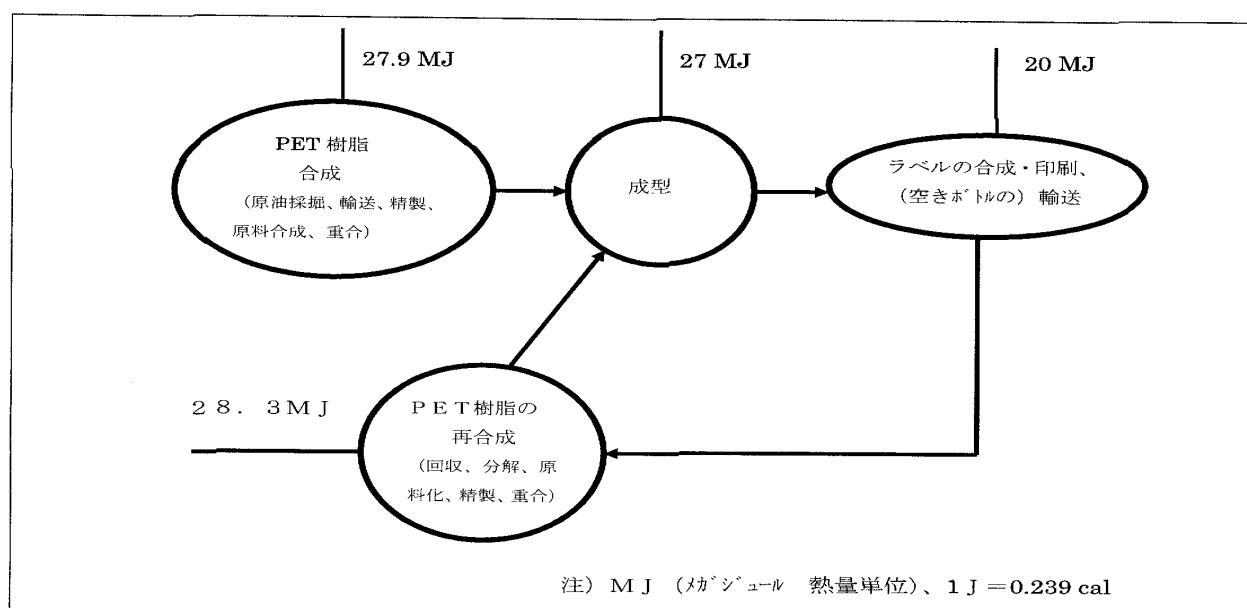


図4 「ペットボトルtoペットボトル」ケミカルリサイクルに必要なエネルギー分析 (プラスチックのリサイクル例)

国内の発電は火力発電，原子力発電，水力発電の3方式でほぼ賄われている。CO<sub>2</sub>を排出するのは火力発電で，2005年度においては総発電量の60%を占めている。したがって，原油からペットボトルを製造するエネルギー 74.9MJ/kgやケミカルリサイクルペットボトル製造のエネルギー 75.3MJ/kgのうち，それぞれ60%分に当たる44.94MJ/kg，45.18MJ/kgが火力発電によると見做して良い。これ等のエネルギー消費にはCO<sub>2</sub>排出が伴い，リサイクルの方が多い。

### 3.2.2 ペットボトル製造工程で排出されるCO<sub>2</sub>量の検討

表1に原油，重油，ガソリン，灯油，LNG（液化天然ガス），石炭，廃プラスチックの燃焼時発熱量（kgまたはl当たり），CO<sub>2</sub>排出係数（MJ当たり排出量）そして排出CO<sub>2</sub>量（kgまたはt当たり）を記す。火力発電の燃料は原油，石炭，液化天然ガス（LNG）のいずれかであり，それらのCO<sub>2</sub>排出係数（kgCO<sub>2</sub>/MJ）の平均値を考えると，0.07kgCO<sub>2</sub>/MJとなる。この火力発電燃料の平均値排出係数を使って，原油からのペットボトル製造工程に要する排出CO<sub>2</sub>量を求めると，44.94MJ/kgと0.07kgCO<sub>2</sub>/MJの積で3.14kgCO<sub>2</sub>/kgとなる。ケミカルリサイクルペットボトル製造工程に要する排出CO<sub>2</sub>量は，45.18MJ/kgと0.07kgCO<sub>2</sub>/MJの積で3.16kgCO<sub>2</sub>/kgとなる。ペット1kg当たりでは，両者の差は20gCO<sub>2</sub>である。

### 3.2.3 ペットボトルのリユース化へ

ケミカルリサイクルによるペットボトル製造は，原油からの製造に比べて，エネルギー消費，排出CO<sub>2</sub>共に地球環境負荷が大きい。

廃ペットボトルリサイクルのほとんどは，樹脂ペレットを繊維や包装シート等にするマテ

リアルリサイクルであって、「ペットボトル to ペットボトル」のケミカルリサイクルよりは、地球環境負荷がもっと小さいと考えられる。しかし、いずれにしろリサイクルはエネルギーを使いCO<sub>2</sub>も排出する処理を経なければ、使用済み資源を再び資源とすることはできない。地球環境負荷低減のためには、飲料用ペットボトルのリユースを提唱したい。

北欧のスウェーデンでは、大きさ、形を統一したペットボトルをリターナブルボトルと規定し、リユースが定着している。デンマークにおいても、飲料容器はリターナブルびんかリターナブルペットボトルに限っている。リユースといえども、洗浄にエネルギーが必要であるし、品質の劣化等でリユースに回せる回数は限られるのだが、それでも明らかに、地球環境負荷は格段に小さい。勿論、洗浄設備やリユースペットボトルの保管場所や管理にコストはかかる。しかし、我々がペットボトルの利便性を享受し続けながら、温暖化の最大要因のCO<sub>2</sub>低減を図るためには、必要なコストであろう。

施行の容器包装リサイクル法下でも、ペットボトルの収集・選別には自治体から税金が投入されているし、ペットボトル製造企業や利用事業者にはペットの再商品化費用の負担が義務付けられている。ペットボトルが原油からであれ、リサイクルによるものであれ、中身の飲料そのものより、容器に何倍ものコストがかかるのである。CO<sub>2</sub>排出低減のためにペットボトルのリユース化は、力強い一歩である。日本の消費者は、過度の潔癖性を廃し、労力を厭わず、飲料ペットボトルのリユース化に向かうべきと考える。

### 3.3 ペットボトル以外の廃プラスチック処理の考察

プラスチックは、容器包装や様々な日常生活品となって、私たちの生活に深く入り込んでいる。自治体によっては、不燃ごみの約半分がプラスチックごみであるという。プラスチックごみは、かさばることから埋立処分場の大きな面積を占め、また長期間そのままの形で残り続けて地球環境悪化に拍車をかけている。自治体の埋立処分場のどこも満杯に近い状況にも拘らず、一般廃棄物・産業廃棄物合わせて埋立処分される廃プラスチックは、289万トン（2005年統計）にも及ぶ。

廃プラスチックのリサイクルは、限りある資源の枯渇を防ぐ点で重要な処理法であり、リサイクル推進の意義は小さくない。したがって、自治体によっては、大量消費・大量廃棄される廃プラスチック類を分別回収しリサイクルを行っている。消費者には、プラスチック容器の中身を使い切り、洗って出すことが求められる。

しかし、労力面やコスト面を考慮しないとしても、ペットボトルで検討したように、リサイクルはエネルギー消費やCO<sub>2</sub>排出に関して必ずしも優れた処理法とはいえない。ペットボトル以外の廃プラスチックの処理法について考察する。

### 3.3.1 廃プラスチックの燃焼に伴う発熱量と排出CO<sub>2</sub>量

プラスチックにはポリエチレン (PE), ポリプロピレン (PP), ポリスチレン (PS), PET等, 多くの種類がある。プラスチック製品は数種類のプラスチックの混合であることが多く, 汎用のプラスチックはPE, PP, PSの3種である。

表1に一部を示しているが, 燃焼に伴う発熱量や排出CO<sub>2</sub>量はそれぞれのプラスチックで異なる。汎用プラスチックPE, PP, PSは, 原油に比べ発熱量に遜色はない。廃プラスチック類を燃焼させると, 原料プラスチックの割合によって発熱量や排出CO<sub>2</sub>量は, 当然ながら異なってくる。廃プラスチック類の排出CO<sub>2</sub>量に関しては, 環境省が平均推定値として2600kgCO<sub>2</sub>/tと発表している。原油に比べ, トン当たりの排出CO<sub>2</sub>量は約12%少ない。

表1 各物質のCO<sub>2</sub>排出係数と排出CO<sub>2</sub>量

( プラスチック処理促進協会および環境省ホームページ記載資料を基に作成 )

物質	発熱量 (固体 MJ/kg、液体 MJ/l)	CO <sub>2</sub> 排出係数 (kgCO <sub>2</sub> /MJ)	排出 CO <sub>2</sub> 量 (kgCO <sub>2</sub> /kg)	排出 CO <sub>2</sub> 量 (kgCO <sub>2</sub> /t)
原油	38.2	0.069	2.995	2995
A 重油	39.1	0.0716	3.143	3143
ガソリン	34.6	0.0688	3.172	3172
灯油	36.7	0.0685	3.103	3103
液化天然ガス (LNG)	54.5 (MJ/kg)	0.0508	2.769	2769
石炭	26.6	0.090	2.394	2394 (*)
ポリエチレン (PE)	46.0	—	3.27	—
ポリスチレン (PS)	40.2	—	3.39	—
ポリプロピレン (PP)	44.0	—	3.15	—
ペット樹脂 (PET)	23.0	—	2.27	—
廃プラスチック類 (組成各種)	—	—	—	2600 (平均的推定)

参考: CO<sub>2</sub> 排出係数算出に必要な液体状物質の平均的比重 (g/cc)

原油=0.88 A 重油=0.89 ガソリン=0.75 灯油=0.81

PE, PP, PSが均等に混合した廃プラスチックについて, 燃焼に伴う発熱量を計算すると, 43.4MJ/kgである。この数値は, 原油の発熱量 (kgで換算) と等しい。

### 3.3.2 廃プラスチックのサーマルリサイクル化へ

2005年の国内未利用廃プラスチックは478万トンで, この内の255万トンが埋立されている。埋立廃プラスチックを全部燃焼させたと仮定して, 汎用プラスチック3種の平均発熱量を使い, 発熱エネルギーを計算すると $1.11 \times 10^{11}$  MJである。この値が発熱量換算で原油何リットルに相当するかを計算すると, 291万キロリットルになる。原油の比重は0.88g/ccであるから, 原油291万キロリットルは, 重さで約256万トンとなる。

即ち, 埋立廃プラスチックを燃焼させれば, 理論的には原油256万トンの節減になる。さらに, 熱利用をしていない単純燃焼の区分の廃プラスチック123万トンの熱エネルギーの有



効活用を図れば、埋立廃プラスチックと同様の計算によって、原油約123万トンの節減になる。未利用廃プラスチックは、原油379万トンのエネルギーと同等の価値を持っている。廃プラスチックのサーマルリサイクルは原油資源の節減と共に、ごみ低減化に貢献する。原油の節減は、排出CO<sub>2</sub>量の低減に資する。

図3の廃プラスチック再生利用48万トンが、有効利用廃プラスチック量に占める割合は7.6%にすぎないが、今後増大し続けるようならサーマルリサイクル処理の検討も一考に値する。

#### 4. 結言

地球環境破壊防止に関し考察を加えた。今日、世界の関心を集めているのは温暖化問題で、その対策が喫緊の課題となっている。しかし、「大量生産・大量廃棄」型の経済社会活動から発生する大量のごみも、地球環境に大きな負荷を与え続けている。本論文では、温暖化要因のCO<sub>2</sub>の低減に焦点を当てつつ、現代社会の利便性に欠かすことのできないペットボトルを始めとするプラスチックの廃棄物処理を検討した。

以下に重要点を記す。

- 1) 地球環境破壊防止は、CO<sub>2</sub>による温暖化のみでなく、人間の各種経済活動や日常生活の維持から廃出される廃棄物対策の面からも考察しなければならない。
- 2) 廃プラスチックは一般廃棄物からも産業廃棄物からも発生し、年間1千万トンにも及ぶ。廃プラスチックの処理法ならびに有効活用が重要である。
- 3) 飲料用ペットボトルは、リユース化にすべきである。廃プラスチックは、埋立処分をしないで燃焼させ、その発熱エネルギーを活用すべきである。リユースや発熱エネルギー活用は、原油の節減と排出CO<sub>2</sub>量の低減に貢献する。

#### 参考文献

- 1) 長戸路 雄厚：自然再生エネルギー活用による地球温暖化防止，千葉敬愛短期大学紀要 第28号（平成18年3月）
- 2) 金原 粂：“環境科学”，実教出版（2006年）
- 3) 田中 忠良：“環境エネルギー工学”，パワー社（1997年）
- 4) 社団法人化学工業会 SCE.Net 編：“図解新エネルギーの全て”，株式会社工業調査会（2004年）
- 5) 環境省編：“平成19年版 環境・循環型社会 白書”，株式会社ぎょうせい（平成19年）

- 6) 安井 至：“リサイクル 地球と人間の環境を考える 6”，日本評論社（2007年）
- 7) 宇留間 和基：“AERA Mook 新版環境学がわかる”，朝日新聞社（2005年）