

Accounts of Materials & Surface Research

廃棄プラスチックをゴミにしないための提案 (サーマルリサイクルの燃料として)

東京理科大学・総合研究院教授 兼 アクティブ株式会社副社長 阿部正彦
(千葉県野田市山崎 2 6 4 1 ; abemasa@rs.tus.ac.jp)

アクティブ株式会社 副社長(財務担当) 木戸 茂
(千葉県野田市山崎 2 6 4 1 ; s_kido@acteiive.jp.)

アクティブ株式会社 営業本部長 山室博巳
(千葉県野田市山崎 2641 2 6 4 1 ; h_yamamuro@acteiive.jp)

Consideration of Thermal Recycling of Plastic Wastes for Fuel

Plastic is a familiar chemical product which is utilized in diverse fields from daily household products to industrial products. Plastic products are, however, treated as a nuisance after use, showing a low recycling rate. Recently, there have been growing concerns. Marine animals are harmed due to plastic waste dumped at sea such as plastic grocery bags and straws. Effects of microplastic chips on human health are a significant problem. Although dumping plastic waste results in environmental degradation, plastic is a potential energy resource in efficient incineration. This study's aim is to develop thermal recycling of waste plastic, suggesting a chemical technique for

sharply reducing the volume of carbon dioxide emission in waste incineration as well as a physical technique for 0% volume of CO₂ emitted in incinerating waste plastic.

1. はしがき

プラスチックは、表1に示すように、日用品から工業製品まであらゆる分野で利用されている極めて馴染み深い化学製品である。しかし、使い終わった後はむしろ邪魔者(ゴミ)扱いされるため、リサイクル率は極めて低い。さらに昨今では、プラスチック製レジ袋やストローによる海洋動物への被害やマイクロプラスチックチップによる人体への影響等も問題視されており、プラスチックゴミは捨てれば環境破壊になる。もし、効率良く燃やすことができれば、有効なエネルギー源の一つになる可能性が

あるのではないのでしょうか。この稿では、ゴミの焼却時に発生するCO₂をどう削減すれば良い

か、さらにCO₂が発生しない設備などについて、筆者らの一考察を紹介する。

表 1. プラスチック類の使用量/年

用途 樹脂名	低密度ポリエチレン		高密度ポリエチレン		ポリプロピレン		ポリスチレン (GP/HI)		塩化ビニル樹脂	
	数量(t)	構成比(%)	数量(t)	構成比(%)	数量(t)	構成比(%)	数量(t)	構成比(%)	数量(t)	構成比(%)
フィルム	628,259	47.8	154,966	21.2	470,006	20.6				
ラミネート	252,544	19.2								
フラットヤーン			22,747	3.1	19,336	0.8				
射出成型	82,125	6.2	114,303	15.6	1,238,547	54.3				
中空成形	42,771	3.3	178,286	24.3	23,223	1.0				
繊維			39,080	5.3	96,307	4.2				
パイプ	16,872	1.3	58,546	8.0						
電線被膜	56,022	4.3								
その他	236,340	18.0	165,177	22.5	431,815	18.9				
電気工業用							87,474	13.2		
包装用							288,755	43.7		
雑貨用							91,211	13.8		
FS用							194	29.3		
硬質用									578,868	55.0
軟質用									250,653	23.8
電線被膜・他									223,663	21.3
合計	1,314,933	トン	733,105	トン	2,279,234	トン	467,634	トン	1,053,184	トン

出展：日本プラスチック工業連盟

2. ゴミ処理問題

日本のゴミ処理はそのほとんどが焼却処理されている。それは言うまでも無いことであるが国土面積が狭いためであり、たとえ埋め立てるにしても、ゴミ自体の体積を小さくしないと直ぐに過剰投棄となってしまう。

表 2. 世界のゴミ焼却場比較

日本	1,893
アメリカ	168
フランス	100
イタリア	51
ドイツ	51
スイス	29
スウェーデン	21
オランダ	9

(2008年 OECD統計 単位:ヶ所)

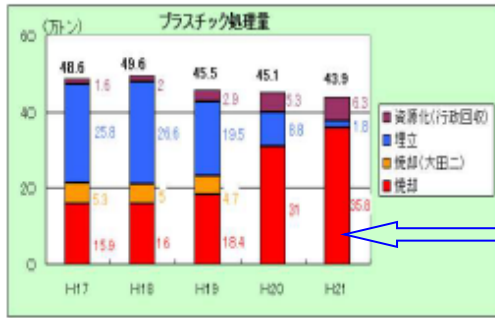
表2から分かるように、日本のゴミ焼却施設は他国を圧倒する 1, 893 ヶ所もあり、焼却にかかる期待は大きい。もしゴミをサーマルリサイクルの熱源として利用することができれば、環境

破壊ではない新たなエネルギー源とすることが可能である。

ここで、リサイクルに目を向けると、表3のプラスチックの処理量の推移を見ると、年を追う毎に資源化→埋立→焼却に推移しているのが分かる。

つまり、日本におけるプラスチックのリサイクル率は、ゴミ処理全体の約20%程度になり、環境省の発表(2008年 OECD 統計)によると日本のゴミ焼却施設のほとんどに熱回収施設が実装されており、焼却した熱を 発電・温水プール熱源などに多用している(参考:東京都廃プラ処理量明細)。これは国が提唱しているエネルギーの地産地消として最適な方法の一つであるが、問題は焼却時に発生するCO₂である。もし燃焼時に発生するCO₂を激減できる廃プラスチックを使用することができれば、画期的サーマルリサイクルになる筈である。

表 3. プラスチックの処理量の推移



H21年度の廃棄プラスチック 43.9万トンの処理
 資源化：6.3%
 埋立処分：1.8%
 焼却処分：36.8%

3. サーマルリサイクル

化石燃料の代替燃料として廃プラスチックを活用することによるメリットは、廃プラスチック燃料だから可能な、燃焼時のCO₂排出量の削減による地球温暖化防止効果、プラスチック製袋やストロー、マイクロチップなどによる魚介類や動物への被害やそれらを食する人体への影響の撲滅効果、プラスチックの埋立などによる数十年～数百年の単位で起こる地盤沈下などの抑制効果などが期待できる。

表4から明らかのように、火力発電所で使用されている輸入炭の発熱量は1kg 当たり6,203kcal(資源エネルギー庁公表 2018年)で

あるが、プラスチック3点(PS,PP,PE)の発熱量を平均化すると1kg 当たり約 10,370kcal(プラスチック循環利用協会、プラスチック製容器包装の処理に関するエコ効率分析 2006年9月)となり、A 重油や都市ガスよりも優れ、LNG に匹敵するほどとなり、プラスチックは発電のための十分な燃料となり得る。

ここで問題になるのが焼却時に発生するCO₂であり、この問題の解決策として現存する唯一の方法は、“グリーンナノ技術”によるプラスチック自体の品質向上であり、この方法の詳細は前報¹⁾に準ずるが、ここでは簡単に述べておくと、超微粒子状のCO₂削減剤を内包さ

表 4. 各種燃料の発熱量の比較

分類	品名	単位	MJ	kcal	出展
燃料	コークス用原料炭	Kg	28.94	6,914	資源エネルギー庁公表 「標準発熱量・炭素排出量」(2018年8月)
	輸入一般炭	Kg	25.97	6,203	
	灯油	ℓ	36.49	9,718	
	A重油	ℓ	38.90	9,293	
	LNG	Kg	50.06	11,958	
	都市ガス	Nm ³	41.21	9,844	
プラスチック	ポリエチレン	Kg	46.00	11,000	一社団プラスチック循環利用協会 「プラスチック製容器包装の処理に関する エコ効率分析」 (2006年9月)
	ポリプロピレン	Kg	44.00	10,500	
	ポリスチレン	Kg	40.20	9,600	
	PET	Kg	23.00	5,500	
	塩化ビニル樹脂	Kg	24.10	5,760	
廃棄物 (湿潤ベース)	紙	Kg	13.20	3,160	プラスチックごみ最適処理技術研究会編著 「プラスチックごみの処理処分」(日報1995年)
	厨芥	Kg	3.90	930	
	繊維	Kg	16.30	3,900	
	木草	Kg	6.60	1,570	
	焼却ごみ	Kg	10.00	2,390	

注: 1MJ(兆ジュール)=238.89kcal、1kcal=4.18605kj

表 5. 火力発電用燃料使用量/年

化石燃料の種類	輸入量
一般石炭	236万トン
液化天然ガス(LNG)	97万トン
石油	130万トン
合計	463万トン

表 6. 燃料代替可能プラの使用量/年

プラスチックの種類	使用量/年
低密度ポリエチレン	131万トン
高密度ポリエチレン	73万トン
ポリプロピレン	228万トン
ポリスチレン(GP・HI)	47万トン
塩化ビニル樹脂	105万トン
合計	585万トン

表 7. 廃プラ燃料量/年

廃棄率	廃棄量/年
80%	105万トン
60%	44万トン
60%	137万トン
80%	37万トン
30%	32万トン
合計	355万トン

表 8. 火力発電所用燃料の CO₂ 排出量

燃料の種類	数量 (万トン)	排出係数 (t/GJ)	発熱量 (GJ/t)	単位当り CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	総CO ₂ 排出量 (万kg-CO ₂)
一般石炭	236	0.0247	26.6	2.409	56億8,524
液化天然ガス(LNG)	97	0.0135	54.5	2.698	26億1,706
石油	130	0.0185	36.7	2.489	32億3,570
合計					115億3,800

せたナノ粒子(リポソーム)を大量合成して、目的とするプラスチックに拡散させた材料を製造する。これを著者らは、グリーンナノ化と称している。このナノ化技術を施すと、例えば包装材料に使われるポリエチレンの場合、プラスチック全体に対して僅か 3%添加するだけで、約60数パーセントのCO₂が削減できた。

1年当たりの火力発電用燃料使用量を表5に、燃料代替可能プラスチックの使用量を表6に、廃プラスチック燃料量を表7に示す。表から明らかなように、使用済み廃プラスチック代替燃料を燃焼させた場合だけでも、化石燃料輸入量の場合(表5)の77%に相当する。

ここで、従来の火力発電用燃料を廃プラスチック燃料に代替した時のCO₂の削減効果を試算してみると、化石燃料(一般石炭、LNG、石油)を使用した場合のCO₂排出量は115億3,800万kg-CO₂となる(表8)が、驚くべきことに代替燃料として廃プラスチックだけを使用した場合でさえ(表9)も、そのCO₂排出量は44億5,150万kg-CO₂と、実に50%以上削減できる。さらに、廃プラスチックを上記のグリーンナノ化処理したときのCO₂排出量は5,341kg-CO₂となる。つまり、グリーンナノ処理した廃プラスチックを使用した場合のCO₂排

出削減量は26億7,090万kg-CO₂となり(表10)、最終的に化石燃料をグリーンナノ化処理した廃プラスチックを使用した場合のCO₂削減量は89億2,051万kg-CO₂となり、実に77.31%も削減できることになる。

4. 燃焼時のCO₂排出量をゼロ%にする方法

東京理科大学発ベンチャー企業のアクティブ(千葉県野田市)は、廃プラスチック等の燃焼時にCO₂排出量を削減できる技術を有しているが、それでもCO₂排出抑制量をゼロ%にはできていないことから、廃プラスチックの燃焼時に発生するCO₂をゼロ%にできる技術の開発を試み、達成していることを見出した。この技術は廃プラスチック以外の一般ゴミ焼却へも転用可能な焼却時に発生する「CO₂排出量ゼロ%」の世界初の画期的な技術である。

エネルギーの地産地消を推進するために廃プラスチックを利用した発電事業を企業や自治体に提案する。

高い発熱量(カロリー)を持つ廃プラスチックを輸入炭の代替燃料と位置づけ、サーマルリサイクル(熱回収)による発電を行う。発生した二酸化炭素(CO₂)を回収する方法としては、実体験が基となった物理的吸収に着目した。物理的吸収とは、例えば炭酸飲料水を持ち

表 9. 廃棄プラを代替燃料とした場合の CO₂ 排出量

廃プラスチックの種類	数量 (万トン)	kgCO ₂	CO ₂ 排出量 (万kg-CO ₂)
低密度ポリエチレン	1,05	1.24	13億0,200
高密度ポリエチレン	44	0.91	4億0,040
ポリプロピレン	137	1.03	14億1,110
ポリスチレン(GP・HI)	37	2.44	9億0,280
塩化ビニル樹脂	32	1.36	4億3,520
合計	355		44億5,150

表 10. グリーンナノによる CO₂ 削減効果

グリーンナノによる CO ₂ 削減量 (万kg-CO ₂)	グリーンナノによる CO ₂ 増加量 (kg-CO ₂)	グリーンナノによる CO ₂ 削減量 (万kg-CO ₂)
7億8,120	1,562	7億6,558
2億4,024	480	2億3,544
8億4,666	1,693	8億2,973
5億4,168	1,083	5億3,085
2億6,112	522	2億5,590
26億7,090	5,341	26億1,749

運ぶ際に、落としてしまった炭酸飲料水のプルタブを切ったときに、大量に放出して着衣はもとより周囲に飲料水を巻き散らかした体験は、誰もが一度は経験しているものと思われる。炭酸飲料水が吹き出た要因は、周知のように飲料水中に炭酸ガスが吹き込まれているからである。揺らしてすぐに開封しても炭酸水が吹き零れないようにはできないかとの観点から思考した。通常は揺らされた炭酸飲料水を暫く放置(1時間以上)してから開封すると吹き零れが発生しないことは周知の事実であることは言うまでも無い。それは時間をかければ自然に飲料水に炭酸が溶け込むからである。然らばすぐに開封しても吹き零れが起きない状態にするためにはどうする事が良いかとの仮説を立てて実験を開始した。さまざまな実験の結果、揺らした炭酸飲料水を平らな場所に置いて4分の1回転を15回ほど廻して開封したところ吹き零れが解消される結果を得ることが

できた。さらに炭酸飲料水を手で持って25回ほど上下に振って、同様の回転を加えて開封したところ、炭酸飲料水の3分1程度が吹き零れたため、次には25回程度の回転で開封したところ、全く吹き零れが起きなかった。仮説の領域ではあるが、狭い空間に吹き出てバラバラな状態の炭酸が回転させることによって集合させる事ができたことにより、加圧スピードの増大によって短時間で飲料水に吸収されたのではないかと考えられる。前述のような実験結果から焼却による灰煙に含まれるCO₂を吸着または吸収をさせる方法として、ウォータースクラバーで回収し、飲料向けなどに供給することを想定している。すでに大手商社やプラントメーカーが関心を示しており、計画の具体化を目指す。

日本のごみ処理問題について、国土面積の制約もあって埋め立て処理は不向きであり、サーマルリサイクルを積極的に推

表 11. 化石燃料とグリーンナノ化した廃プラスチックを燃焼させた場合の CO₂ の削減効果

⑤ 化石燃料を使用した発電用燃料によるCO ₂ 排出量 (①)	115億3,800 万kg -CO ₂
化石燃料を代替燃料の廃棄プラにしたときのCO ₂ 排出量 (②)	44億5,150 万kg -CO ₂
グリーンナノによる廃プラのCO ₂ 排出量 (③×40%)	17億8,060 万kg -CO ₂
グリーンナノによる廃棄プラのCO ₂ 削減量 (②-③)	26億7,090 万kg -CO ₂
グリーンナノ生産時によるCO ₂ 増加量 (④)	5,341 万kg -CO ₂
⑥ グリーンナノ廃プラ燃料によるCO ₂ 排出量削減効果 (③-④)	26億1,749 万kg -CO ₂

※ 化石燃料と比較して、CO₂削減剤(グリーンナノ)を付与した廃棄プラスチックを燃料にしたときのCO₂排出量の排出抑制効果(⑤-⑥)は、89億2,051万kg-CO₂であり、化石燃料に比べて、廃棄プラスチック燃料のCO₂排出量の抑制効果は、約77.31%であった。

進するべきとしている。「発熱量が高い廃プラスチックを燃料として有効活用すれば、各地域で発電事業(国が提唱しているエネルギーの地産地消)を立ち上げることが可能ではないか」(同社)。

輸入一般炭の発熱量は約6203^{キロワット}。これに対して包装材料などに使われるポリエチレン(PE)は1万1000^{キロワット}、ポリプロピレン(PP)は1万500^{キロワット}、ポリスチレン(PS)は9600^{キロワット}。液化天然ガス(LNG)の約1万2000^{キロワット}に近い水準だ。

廃プラスチックを焼却し、発生した熱で蒸気タービンを回転させて発電する。課題の一つは焼却した際に発生するCO₂の処理だが、同社はウォータースクラバーでCO₂を全量回収できる技術を開発した⁵⁾。特許の関係もあるので現段階で詳細を記述することはできないが、極簡単に記述すると、メッシュで区切られたいくつかの槽に水を流し、そこにCO₂を吹き込む。流れる水にCO₂を吸収させた後、焼却時の熱を使って加熱しCO₂を回収する。CO₂は

炭酸飲料の原料に使ったり、植物工場の光合成に使ったりすることなどを想定している。

火力発電に使う燃料を廃プラスチック燃料に置き換えた場合のCO₂排出削減効果を試算してみた。一般炭、LNG、石油の使用量は合計年463万ト_ンで、CO₂排出量は115億3800万^{キロワット}。これに対して塩化ビニル樹脂(PVC)を含めた廃プラ発生量を年355万ト_ンとした場合、CO₂排出量は44億5150^{キロワット}で70億^{キロワット}超の削減効果となる。

経済効果も試算している。表11を見ると、火力発電に使う燃料(年463万ト_ン)の輸入額は1898億円。発生した廃プラの全量を一般ごみとして回収すれば355万ト_ン分に相当する燃料費がゼロとなる。不足分となる108万ト_ンの輸入額(石炭)は443億円で、燃料費の削減効果は差し引き1455億円となる。仮に廃プラ(355万ト_ン)を有価物扱いとして1^{キログラム}当たり200円で回収しても費用は7億1000万円で、いずれにしても燃料費の大幅な削減が期待できる(表11)。

表 12. 事業化による経済効果 その1

- | |
|--|
| ① 化石燃料の使用量 463万ト _ン /年(石炭、石油、LNG等)の輸入金額は、約1,898億円(表5参照) |
| ② 代替燃料の廃棄プラスチック量 355万ト _ン の購入費用は、0円(企業の産廃の場合は有料) |
| ③ 代替燃料(廃プラ)の不足分 108万ト _ン の輸入金額は、約443億円(石炭輸入)(表5参照)
(①463万ト _ン - ②355万ト _ン = ③108万ト _ン) |
| ④ 燃料費の削減効果の金額 1,455億円(①1,898億円 - ③443億円) |

5. あとがき

あとがきとして、ここの提案で示す事業化を進めた場合の経済効果の予測を表13に纏めておくので、机上の空論ではないことをご理解いただけるものと推測する。

表 13. 事業化による経済効果 その2

(経済効果を算出して、廃棄されるプラスチックをゼロにする)

- ⑤ 問題視されている廃棄プラスチックの撲滅に貢献
 廃棄されるプラスチックを、200 円/kg で購入して、化石燃料の代替燃料に利用する。
 (試算 : 355 万トン (表 7 参照) × 200 円 = 7 億 1000 万円)
- ⑥ 電気料金の引下げ効果の期待
 購入金額 1,455 億円 - 7 億 1000 万円 (④ - ⑤) = **1,438 億円**は、世帯数に換算すると、
約 959 万世帯分の 1 ヶ月分の電気料金に相当する。
 (根拠 : 1 世帯当りの 1 ヶ月間の電気使用量は、約 555kw (4 人家族の平均使用量))
 計算式 : $555\text{kw} \times 27 \text{ 円/kw} = 14,985 \text{ 円}$ (1 世帯当りの平均電気料金)
 $1,438 \text{ 億円} \div 14,985 \text{ 円} = 9,596,263 \text{ 世帯分}$ (959 万世帯)
- ⑦ 企業は、生産時に発生する端材等の廃棄プラスチックの処理費用が 0 円になるばかりか、1 kg 当たり 200 円で売却できる。また個人も 1 kg 当たり 200 円で売却できるため、**企業や個人の収入が増えることで大きな経済効果も産出**できる。(ペットボトル換算の場合、約 32 本に相当 : 31.1g)
- ⑧ 街中や山間部・河川などでのプラスチック類の廃棄物がゼロとなり、環境対策に貢献できる。
- ⑨ **また、破壊的イノベーションにより、プラスチック類の焼却時に発生する CO₂ をゼロに**できることで、**地球の温暖化対策に大きな貢献を成す事が可能**となる。

参考文献

- 1) K. Otake, T. Imura, H. Sakai, M. Abe, *AIST*, WO2002-032564.
- 2) 阿部 正彦, 木戸 茂, 山室 正己, *環境ビジネス* 8月号, 2019, 8.
- 3) K. Otake, T. Imura, H. Sakai, M. Abe, *Langmuir*, **2001**, 17, 3898.
- 4) Masahiko Abe, *Acc. Mater. Surf. Res.*, **2016**, 1, 44.
- 5) 阿部 正彦, 木戸 茂, 長浜 正光, 難波 茂一, *特願2020-031940*.
- 6) 阿部 正彦, 木戸 茂, 長浜 正光, 難波 茂一, *特願2020-031941*.