

材料リサイクルから燃料利用へ（Ⅴ） －「その他プラ」の燃料利用と二酸化炭素の排出について－

技術士（衛生工学・建設・環境）
環境計画センター 会長代行 鍵谷 司

はじめに

『環境施設』第177号（令和6年9月）と第178号（令和6年12月）では、緊急寄稿として「大阪万博建設現場におけるメタンガス爆発」について、週刊ポストおよび読売新聞の電話取材を受けていたので、この問題を取り上げることにし、廃プラシリーズを2回休刊とした。

さて、容器包装プラスチック（以下、容リプラ）は、容器包装リサイクル法に基づいてペット（PET）や発泡ポリスチレンが対象であったが、令和元年からこれら以外のプラスチック（以下、その他プラ）が追加された。その他プラは、容器包装類に使用されるさまざまなプラ素材であるので、回収物はさまざまな材質の混合物であり、良質な再商品を製造することは難しい。

このため、その他プラを回収できたとしても再商品化できない事態が懸念された。材料リサイクルが難しいことを見越し、ケミカルリサイクルと称して還元燃焼等をリサイクル手法として認め、回収量と再商品化量の整合を図るとともに、緊急、一時的措置として燃料化を認めたのである。

このように、ケミカルリサイクルにおいて、化学原料のほかに燃焼利用（還元燃焼）を認め、かつ緊急避難的に燃料化が認められている。

つまり、廃プラをコークス代替として燃焼（還元燃焼）利用することができる。しかし、石炭の代替燃料（酸化燃焼）はリサイクルとして認められていない。なお、世界的にも、質の悪い廃プラの材料リサイクルは問題あるので、これらをケミカルリサイクルする手法に関心が高まっている。なお、後述するように熱分解に伴う原料化であり、

燃焼利用が対象とは明記されていない。

プラは、もともと原油を原料として製造した製品であり、利用された後に燃料として再利用することは理に適っている。その視点から、前回の『環境施設』第176号（2024.6）で「廃プラスチック⑨ 材料リサイクルから燃料利用へ（Ⅳ）－「その他プラ」の燃料利用に伴う資源節約について－」と題して、その他プラを燃料として利用した場合の石油や石炭の化石燃料の資源節約効果について紹介した。

今回は、令和4年度から始まったプラスチック資源循環推進法に基づいて容器包装以外のプラのリサイクルが始まっているので、その効果を含めて令和5年度のリサイクルについて化石燃料の節約効果を見直した。また、廃プラの燃料利用については、地球温暖化の原因である二酸化炭素（以下、CO₂）排出量が必ず問題になり、燃料利用を言い出せない社会的な風潮がある。廃プラの燃焼利用は、問題になるほどのCO₂を排出するのであるだろうか？

ところで、最近、プラによる環境汚染問題を取り上げた条約交渉がクローズアップされている。10年以上も前から廃プラによる海洋汚染が地球規模で起きていることが問題になり、国際会議が開催されるたびに話題になってきた。今回も2024年12月に韓国で開催されたことから大きく報じられているが、条約合意には至らなかった。プラの生産量を抑制したところで不法投棄が無くなるとは思えない。捨てるにあたって高い費用を必要とすることが根本原因である。機会があれば取り上げたい。

1. 「その他プラ」の燃料利用に伴う資源節約について

これまで、多くの問題が指摘されている容リプラ、とくに、その他プラに注目してその実態と問題点について取り上げた。その他プラは、さまざまな種類のプラの混合物として回収されるので、不適物も多く混入し、かつ再商品化製品の品質が劣るので、良質な製品を製造することは難しい。このため、これまで燃焼利用を極力避けてきた経緯の中で、主にコークス代替物（還元剤）として利用するケミカルリサイクルが大きな割合を占めている。最終的に燃料として燃やすのであれば、石炭（酸化反応）も同様にリサイクル対象とすべきであるが、認められていない。国際的にもケミカルリサイクルに関心が高まっているが、燃焼利用はリサイクルとして明記されていない。

なお、2022（令和4）年4月には、プラスチック資源循環促進法（以下、プラ促進法）が施行され、容器包装以外の製品プラがリサイクルの対象となった。併せて、緊急避難的な措置として熱利用がリサイクル手法として認められた。

1. 1 「その他プラ」の燃料利用に伴う資源節約（最新版；令和5年度）¹⁾

さまざまな種類の材質から成るその他プラを一括回収して製品に加工して、材料リサイクルすることは、理想的であるが、その実態は、回収したその他プラの多くは燃焼利用されており、材料（物質）としてリサイクルされる割合はかなり低い。それでも循環利用されていることは、大きなメリットではある。しかしながら、容リ法の最大の問題は、品質の劣るプラの不法な取り扱いが、不法投棄による環境汚染を引き起こしていることである。

プラの原料は原油であり、製品化、有効利用後に不要物として廃棄されたとしても原油と同等の燃料価値を有するのであり、燃料として有効に利用すべきである。廃プラの燃料利用については、CO₂排出量の増加を招くとして強く反対する主張も多いが、納得できるような科学的な根拠に基づく、つまり、説得性のある主張は見当たらない。

燃料利用は、化石燃料の節約になるので、ここでは、資源節約効果について検討した。なお、廃プラは固体であるので、固体の化石燃料である石炭と比較した。

以下に、燃料利用における基礎データを整理するとともに、燃料価値について紹介する。

（1）「その他プラ」のリサイクルについて

その他プラを燃料として利用した場合の廃プラ量を現状のリサイクル量を勘案して燃料としての利用量を設定する。ここでは、自治体により分別回収され、日本容器包装リサイクル協会（以下、容リ協会）に引き渡された廃プラの発熱量を設定し、化石燃料の節約量を試算する。令和4年度からプラ促進法が始まったことから令和5年度のリサイクルの実態と比較した。プラ促進法では、容器包装以外のすべての製品プラをリサイクルの対象としており、再商品化ルートは、①容器包装廃棄物と同じ容リ協会に委託、あるいは②国の認定した再商品化事業者への直接委託の2ルートがある。なお、国の認定した再商品化事業者はまだまだ少なく、①ルートが主流と推測される。

容リ協会による令和5年度（令和6年3月；容リ協会データ）におけるプラ製容器包装のリサイクルフローを図1に示す。家庭から排出された容器包装廃棄物は、自治体が収集・回収を行い、容リ協会に再商品化を委託するルートによりリサイクルされる。協会に容器包装プラの再商品化を委託している特定事業者が、容リ法における再商品化（リサイクル）義務に基づいて①市町村が分別収集し、②協会に引き渡された分について費用を負担する。再製品化事業者によって「材料リサイクル」あるいは「ケミカルリサイクル」が行われ、再商品化製品（原材料）になり、利用者に販売される。

また、令和4年度からプラ促進法に基づく、容器包装以外の製品プラのリサイクルが開始された。そのリサイクル手法は、①容リ協会への委託ルートと②国に認定された再製品化事業者への自主ルートがある。市町村の収集量が、令和4年度の71.6

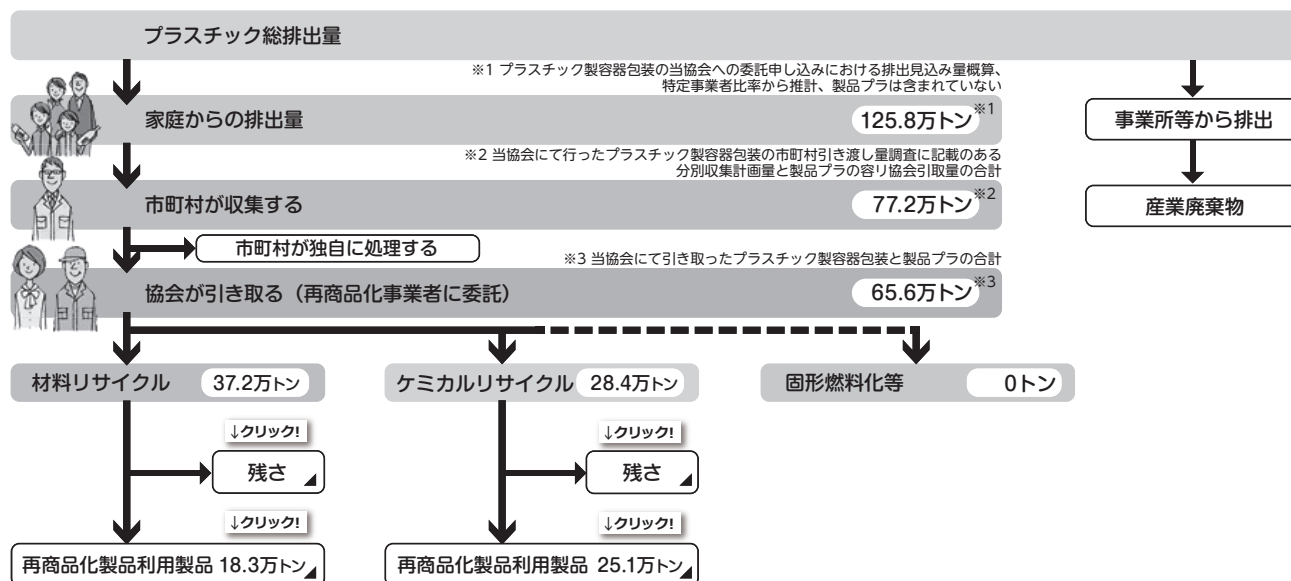


図1 プラスチック製容器包装のリサイクルフロー（令和5年度）¹⁾

万トンから令和5年度に77.2万トンに約5.6万トン増えている。収集対象自治体数がほとんど変わらないので、容器包装以外の製品プラが追加されたことを示唆する。

【容リ協会ルートによるリサイクル】

プラ製容器包装廃棄物のリサイクルまでの流れは次のとおりである。〔 〕内は令和4年度の実績値である。なお、製品プラの取り扱いに注意が必要である。

- ①家庭からの排出量は125.8〔127.9〕万トンであり、2.1万トンの減少

※令和5年度の排出量には、製品プラは含まれていない。

- ②市町村の収集量は、77.2〔71.6〕万トンで5.6万トン増加し、排出量の61.4%を収集

※令和5年度の収集量には、製品プラが含まれている。市町村が独自に処理する分は、計上されていない。

- ③容リ協会が引き取る量（再商品化事業者へ委託する量）は、65.6〔68.2〕万トンで、2.6万トンの減少。排出量の52.1%であり、市町村収集量の85.0%に相当

※再商品化委託量であり、リサイクル量（商品化）ではない。

家庭からの排出量は、約2万トンも減少しているが、収集量は5.6万トンも増加している。排出量には、製品プラを含まないが、収集量には製品プラが含まれる。分別収集実施予定市町村数および全市町村数は、前年度とほとんど変わらないので、製品プラによる増加と考えられる。分別収集実施自治体数は全体の約80%であり、もう少し増加する余地がある。再商品化量は、容リ協会への委託分であり、自主ルート分は含まれていない。

つまり、容器包装廃プラの排出量は125.8万トンで、回収量は77.2万トンと6割に過ぎない。このうち、リサイクルは、43.4万トンであり、回収量の6割弱であり、4割は焼却されたと推計される。さらに再商品化過程で発生する残渣や還元燃焼利用を焼却に計上すると、実質的に物質リサイクルは、半分以下に過ぎない。

【注意事項；プラスチック残渣の処理について】

- ①材料リサイクルで発生するプラは2006（平成18）年から、原則、埋立禁止
- ②2008（平成20）年から単純焼却の禁止
- ③ケミカルリサイクルで発生する残渣についても2008（平成20）年から埋立禁止

(2) 材料リサイクル（マテリアルリサイクル）の実態²⁾

容リ協会では、再商品化事業者に引き渡すまでを「リサイクル」と称しているが、これは原料であり、商品ではない。つまり、商品化するためには、加工が必要であり、当然、残渣が発生する。残渣はもはや原料とはなり難いので、おもに燃料原料（固形燃料等）あるいは燃焼利用により処理されている。

再商品（製品）までの流れを図1（令和5年度）に、材料リサイクル製品の内訳を図2に示すように再生樹脂とパレットで8割弱を占める。

○市町村収集量：77.2万トン

○再商品化委託量：37.2万トン（収集量の約48.2%）

○再商品化・製品販売量：18.3万トン（収集量の23.7%）

※原料が各種プラの混合物であり、材料の強度が低いので、丈夫な高品質の製品の製造は難しい。なお、加工現場ではバージンポリマーを添加して強度を補強している。

○残渣発生量：18.9万トン（再商品化委託量の50.1%）⇒半分は燃料利用（埋立は禁止）

(3) ケミカルリサイクルの実態³⁾

ケミカルリサイクルは、材料リサイクルとサーマルリサイクルの中間的な位置づけにあり、高炉還元剤、コークス炉ガス化、ガス化等がある。しかし、最終的にはその多くを燃焼しているので、循環利用とは言い難い。唯一、合成ガスは化学原

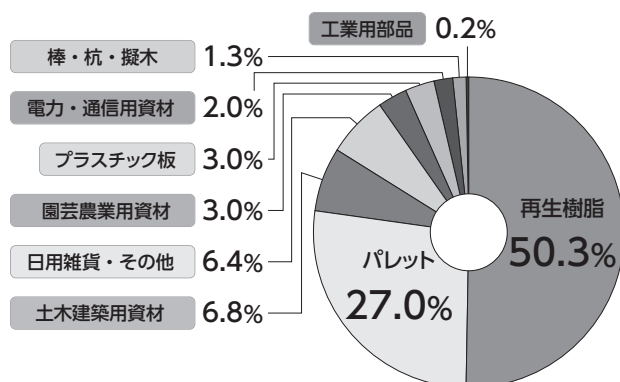


図2 材料リサイクルの製品内訳（令和5年度）

料としての物質利用と捉えることができるので材料リサイクルに分類しても、わずか15%弱である。

○再商品化委託量：28.4万トン（収集量の36.8%）

○再商品化製品利用量：25.1万トン（収集量の32.5%）

※材料（合成ガス）：4.6万トン（14.9%）

※サーマル（燃焼、還元）：22.3万トン（72.1%）

○残渣発生量：3.3万トン（再商品化委託量の13.5%）

以上のリサイクル方法を厳密に判断すると、容リプラのリサイクル率は約85%と公表されているが、これは回収したプラを容リ協会へ委託した量であり、リサイクル率ではない。実際に再商品化される量は、わずか30%程度であり、7割以上が燃焼利用なのである。プラ資源循環施策には経済性がまったく考慮されておらず、収集・回収・運搬・保管・加工の段階で水の汚染、運搬車の排気ガス排出やガソリン消費など膨大な労力と資源を費やしている。資源節約効果や環境負荷低減などの総合評価に基づいたリサイクルを進めるべきであろう。

ところで、ケミカルリサイクルとは、本当に物質として使用されているのであろうか？

主要な利用事例は、図3および図4に示したように高炉還元剤として消費、コークス還元剤、炭

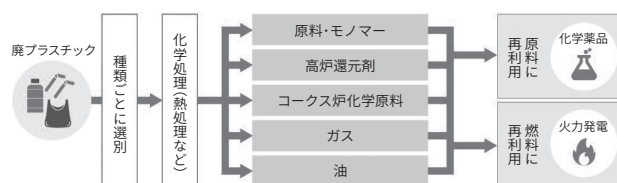


図3 ケミカルリサイクルのイメージ

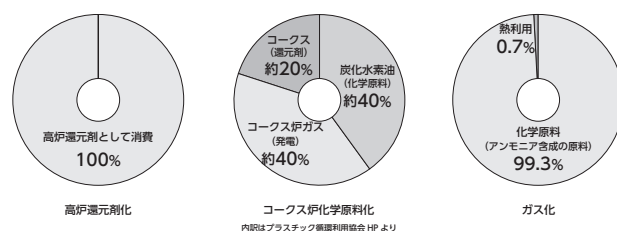


図4 ケミカルリサイクル製品の内訳（令和5年度）

化水素油、コークス炉ガス（発電）、アンモニア合成の原料とあるが、還元剤や発電利用は、燃焼利用であり、物質として循環利用できないので、リサイクルの範疇から除外されよう。原料名目は、物質として循環利用が可能であるが、コークス炉化学原料化にアンモニア合成と明示されているが、これはプラの水素分を活用しただけで、炭素のゆくえは記載されていない。再商品にドライアイスとあるので、燃焼したことを示すが、その製造量は記載されていない。プラの熱分解では、多くの炭化水素が生成するので、化学原料として用いるためには、高度に精製する必要がある。かなりのコスト高になり、現実的とは思えない。物質として利用しているとの名目だけで、かなり少量の可能性が高いと予想している。

【ケミカルリサイクルの位置づけ】

これには、循環型社会形成推進基本法の制定により、廃棄物の循環利用を優先することが明記されている。つまり、容易な燃焼利用を認めると材料リサイクルは頓挫しかねない。とはいえ、材料リサイクルだけでは収集した容リプラが過剰になると懸念され、制度の崩壊を招きかねない。回収量と利用量のミスマッチを避けるために、直接的な燃焼利用ではないケミカルリサイクルが、回収物の有効利用を担保するために導入されたと推測している。回収後に廃プラが余った場合に、分別したにもかかわらずごみ焼却施設で焼却する事態だけは避ける必然性があったと考えている。

【EUにおけるケミカルリサイクルの取り組み】

諸外国においても、質の劣る廃プラは再商品化が難しく、ケミカルリサイクルに関心が高まっている。材料としての利用が難しくても、プラを化学的に分解し、元の原材（モノマーやオイル）に戻すことができる。これにより、低品質の廃プラの原料化が可能になる。例えば、次のような技術がある。

①熱分解；廃プラを高温で分解し、オイルやガスを生成し、これを原料として新たな化学製品や

プラ製造原料として利用。

②ガス化；高温でプラをガス状態まで分解し、合成ガスを生成し、エネルギー源や化学品の原料に利用。

③解重合；PETなどのポリマーをモノマーに分解し、再生が可能。

④溶媒抽出法；特定の溶媒を使用してプラから不純物を除去し、精製する。

[メリット]

○品質の向上；原材料レベルで再生可能なため、新品と同等の品質を実現。

○処理範囲の拡大；混合プラや汚染された廃棄物も対応可能。

○CO₂排出削減；埋立や焼却を減らし、炭素循環を促進。

[課題]

○コストとエネルギー消費；機械的リサイクルに比べてコストやエネルギー使用量が高い場合がある。

○インフラ整備；ケミカルリサイクル施設の開発や拡大が必要。

○規制と標準化；技術や製品の規格化が進行中。

○市場の需要と供給のバランス；リサイクル原料の需要増加が必要。

○現在の進展と展望；ケミカルリサイクル市場は今後10年で大幅な成長が予測されており、従来のリサイクル手法を補完する技術として期待されている。

1. 2 容器包装廃プラ等の燃料化に伴う資源節約について

容器包装廃プラを「燃料として利用するためには、フラフ状あるいは固形化（RPF）して利用することになるので、固体燃料として利用することを想定する。固体の化石燃料として石炭があり、発電用に使われる一般炭と比較した。

容器包装および製品プラを収集して石炭代替燃料として利用する場合を想定し、今後、収集市町村数の増加と製品廃プラの増加を勘案し、燃料対象量を80万トンに想定した。

(1) 廃プラの燃料価値；電力換算について

廃プラや化石燃料を燃焼した際に発生する熱の表し方には、低位発熱量と高位発熱量がある。燃焼時に生成する水蒸気をそのまま大気へ放出するので低位発熱量で示され、これを電力に換算（1 kW = 860kcal）することができる。例えば、家庭ごみの低位発熱量は、おおよそ1,000～3,000（kcal/kg）であるが、これを電力に変換すると、ごみトン当たり1,162～3,500kWの電力に相当し、これに発電効率を乗じると実発電量を算出することができる。

当然、ごみの水分が多いと低位発熱量は低くなり、発熱量の高い廃プラが多く混合すると高くなる。なお、石炭や廃プラなどは、水分が少ないので、低位発熱量と高位発熱量は大きな差がない。石炭の取引きにおいて、品質評価は、高位発熱量で行われている。

廃棄物等の可燃物および化石燃料の発熱量を表1に示す。廃プラと化石燃料を比較するにあたり、石炭火力発電所では一般炭が使用されるので、これと比較する。廃プラの発熱量は、一般炭よりも25%程度高いので、燃料として約25%節減できることになる。なお、RPFの場合は、紙ごみなどと混合すると発熱量は低下するが、紙ごみ（バイオ分）のCO₂排出量をカウントしなくてもよいので、排出量の削減に寄与する。

以下に検討対象燃料の発熱量を抜粋し、併せて電力換算値を示す。

○1 kW = 860kcal

○一般炭；6,150kcal/kg ⇒ 7,150kW/t

○廃プラ；8,000kcal/kg ⇒ 9,300kW/t

●RPF（紙ごみ50%と廃プラ50%）；

6,000kcal/kg ⇒ 6,980kW/t

(2) 容器包装廃プラおよび製品プラの持つエネルギー

以下に容器包装廃プラ80万トンを燃料として利用した場合、石炭に換算した場合のエネルギー価値について検討した。その結果、80万トンの廃プラのエネルギー価値は一般炭約100万トンと同等であると算出した。

①廃プラの持つエネルギー

- 発熱量を8,000kcal/kgに設定すると、
80万t × 8,000kcal/kg = 64 × 10¹¹kcal

②石炭換算の場合

- 石炭の発熱量を6,150kcal/kgに設定すると、約104万トンに相当する。
64 × 10¹¹kcal/6,150kcal ÷ 104 × 10⁴t

以上のように、廃プラを燃料とした場合、石炭で約100万トン以上の資源節約に寄与すると算定される。日本の石炭消費量は年間約1億トン以

表1 廃棄物および化石燃料の発熱量^{4) 5)}

可燃物の種類		発熱量 (MJ)	発熱量 (kcal)	可燃物の種類		発熱量 (MJ)	発熱量 (kcal)
廃棄物等	廃油	34.7	8,300	化石燃料等	一般炭	34.1	8,150
	合成繊維	22.2	5,300		灯油	36.7	8,780
	廃タイヤ	35.5	8,500		軽油	37.7	9,020
	廃プラ	33.4	8,000		A重油	39.0	9,350
	RPF	33.4	8,000		B重油	40.4	9,670
	RDF	18.8	4,500		C重油	41.7	9,980
	木材	14.4	3,440		コークス	30.1	7,200
	紙くず	16.7	4,000		都市ガス	41.1	9,830

※RDF：ごみ固形燃料、RPF + プラ・紙ごみ固形燃料。

※単位はkgあたり、あるいはリットルあたり。都市ガスはNm³あたり。

※低位発熱量（真発熱量）は、分子中の水素が水蒸気として放出されるので若干低くなる。

上であるので、容器包装廃プラを燃料にすればおよそ1%を節約できる。また、石炭の購入単価を、概略でトン当たり2万円とすると、年間約2兆円以上になる。容器包装廃プラを石炭の代替燃料として使用することで、200億円の節約効果がある。なお、自治体が収集した80万トンの容器包装プラは、再商品化事業者がトン当たり約6万円で引き取っており、約480億円を投じてリサイクルを実施している。ここには、自治体の保管設備、人件費、運搬費などは含まれていないので、費用対効果を評価するならばさらに不利になり、推進すべき制度とは言いがたい。

ところで、廃プラの燃焼時の環境負荷について、いくつかの報告書があるが、いずれも廃棄物処理の視点から単純焼却を想定したものであり、燃料利用として算定していない。なお、平成20年から法律で燃焼熱を有効に利用しない「単純焼却」は禁止されており、現実離れしている。その後の環境負荷に関する報告書でも従前の検討結果である廃プラの単純焼却の結果を引用しているので、リサイクルが圧倒的に優位であるとの評価である。

2. 「その他プラ」の燃料利用に伴うCO₂排出量について

廃プラの燃焼利用を提案すると、必ずCO₂排出量の増加が問題視され、あたかも社会悪のような批判が渦巻く。公的機関によるリサイクルに関する環境負荷検討書も公表されているが、最も重大な問題は、廃プラを熱利用しない「単純焼却」した場合を想定あるいは発電効率を低く設定して比較していることである。平成20年に廃棄物処理法で熱利用を伴わない単純焼却は禁止されているのである。燃料として利用しやすい方法は、発熱量の高い石炭との混焼である。石炭火力発電あるいは石炭ボイラー利用等が想定されるので、発電効率あるいは熱利用効率を設定して比較するとともに、石炭燃焼利用を基準として資源節約およびCO₂排出の視点から総合的に評価する必要がある。

[参考]

①プラスチック製容器包装再商品化手法に関する

環境負荷等の検討（概要版）；財団法人日本容器包装リサイクル協会（平成19年6月）

②プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討Ⅱ；公益財団法人日本容器包装リサイクル協会（平成24年6月）

③廃プラスチックの有効利用状況のLCAによる評価手法の開発；一般社団法人プラスチック循環利用協会が発行した技術報告書（2013年）

（1）日本におけるCO₂の排出実態

廃プラを燃焼利用した場合、CO₂を排出することは避けがたいが、その程度が大きな意味を持つ。とくに、排出全体に対してごくわずかな排出量なのか、無視できない程度の排出量なのかについてほとんど議論は行われていない。わずかでもCO₂排出量が増加するとマスコミを巻き込んで大騒ぎになる。仮に、廃プラを有価で購入して燃焼利用することにより、環境汚染が大きく軽減されるのであれば許容されるのではないか？

容器包装リサイクル法が制度化された当初には、材料リサイクルの社会システムが確立されていなかったため、収集量と再商品化量にミスマッチが生じ、社会問題になりかねないことから、燃焼利用の手法として、保管、運搬の容易な固形燃料化を用意し、ごみ固形燃料（RDF）の規格化、その後、廃プラ主体のRPF（紙ごみ、廃プラ固形燃料）のJIS化が検討され、商品価値の認知に供した。

とくに、循環型社会の形成に向けた取り組みを実効あるものとするために、2000年に循環型社会形成推進基本法が制定され、3Rの考え方が明文文化され、リデュース（排出抑制）、リユース（再使用）、リサイクル（再生使用）、熱回収、適正処分の優先順位が定められた。

①我が国のCO₂排出量の推移

環境省によると、2022年度の日本の温室効果ガス排出量は、CO₂換算で11億3,500万トンになった（図6）と発表された。日本が掲げる「2050年ネットゼロ（カーボンニュートラル）」目標に向けて「順調な減少傾向を続けている」としている。

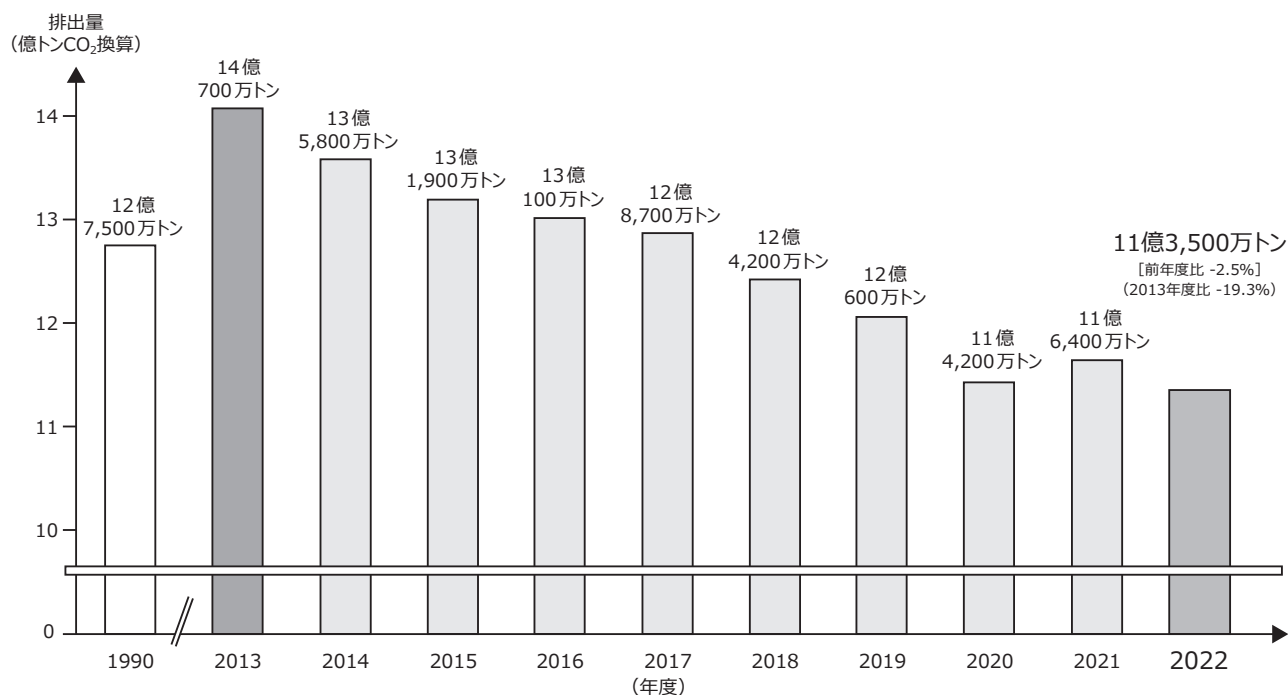


図6 日本の温室効果ガス排出量

減少の要因は、工場やオフィス、家庭での節電や省エネ努力の効果が大きいとされている⁶⁾。

一方、森林などからの吸収量は、5,020万トンであり、排出量から吸収量を差し引いた実排出量は10億8,500万トンであった。基準年である2013年度（14億700万トン）比で22.9%減となった。日本の削減目標は、2050年ネットゼロに向けて、2030年度に2013年度比で46%減の約7億6千万トンとする目標を掲げている。なお、今回は、海洋生物の働きによって海洋環境に吸収・貯留される炭素「ブルーカーボン」に関連して、海藻類の吸収量を35万トンと算定して、世界で初めて国連へ報告した。

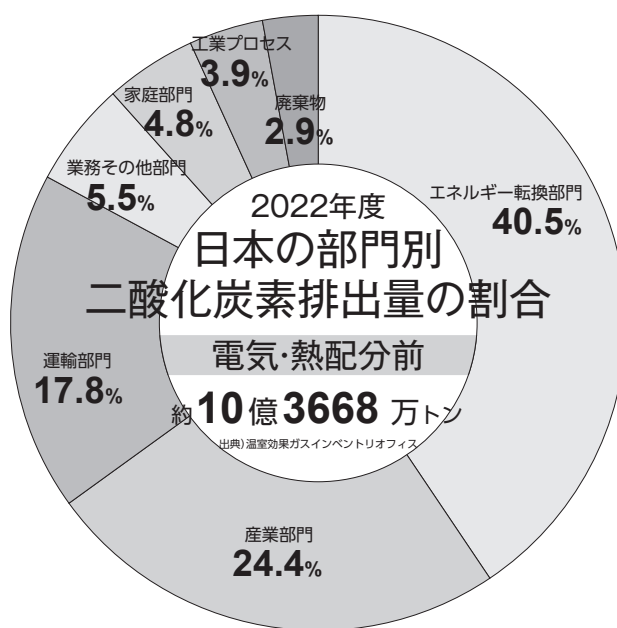


図7 日本の部門別CO₂排出量の割合

②CO₂の部門別排出量と石炭火力発電における排出量

我が国のエネルギー起源CO₂排出量は、図7に示したように、約10億4千万トンであり、部門別に見ると、電気・熱配分前排出量では、エネルギー転換部門からの排出が最も多く、全体の約40.5%の約4億2千万トンを、次いで、産業部門が24%強（2億5千万トン）、運輸部門が17.8%の約1億8,500万トンで、3業種で8割強を占める。他方、

エネルギー転換部門の2022（令和4）年度の石炭火力発電所からのCO₂排出量は、図8に示したように、約2億5,900万トンであり、これは発電に伴うCO₂排出量の約60.9%を占める。なお、2021年度の廃棄物分野から排出されるCO₂排出量は、約1,800万トン程度である。

エネルギー転換部門とは、一次エネルギー（原

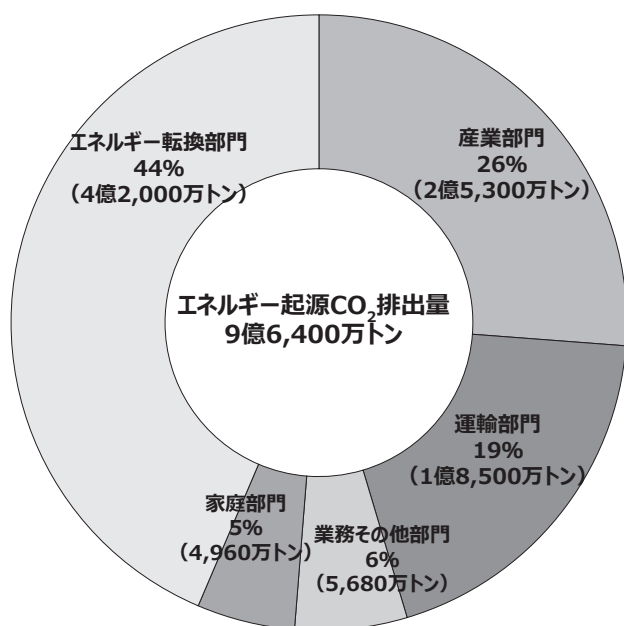


図8 電気・熱配分前エネルギー起源排出量

油、石炭、天然ガス、再生可能エネルギーなどを、最終的に消費者が利用できる形態（電力、熱、燃料など）に変換する過程を担う分野やセクターを指す。また、同年度のエネルギー起源CO₂排出量は約9億6,400万トンで、これは日本の総温室効果ガス排出量の約84.9%に相当する。

このように、エネルギー供給における石炭火力発電のCO₂排出が依然として大きな割合を占めている。その対策として①発電効率の向上、②CO₂の分離・貯留、③石炭ガス化複合発電（IGCC）、④石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）などの取り組みが実施されている。ほかに、⑤燃焼してもCO₂排出量に計上しないバイオマスの利用があり、バイオマス混焼発電がある。石炭に一定割合のバイオマス燃料（木材チップ、ペレット、稲わらなど）を混ぜて燃焼。例：石炭に対して20%のバイオマスを混焼すると、CO₂排出量を約20%削減できることになる。

石炭火力発電所におけるCO₂排出量削減は、技術革新（高効率化、CCS、混焼技術）と、再生可能エネルギーやバイオマスの活用による低炭素化が鍵である。バイオマスの有効利用は、CO₂削減だけでなく地域資源の活用にもつながるため、促進すべき施策の一つである。

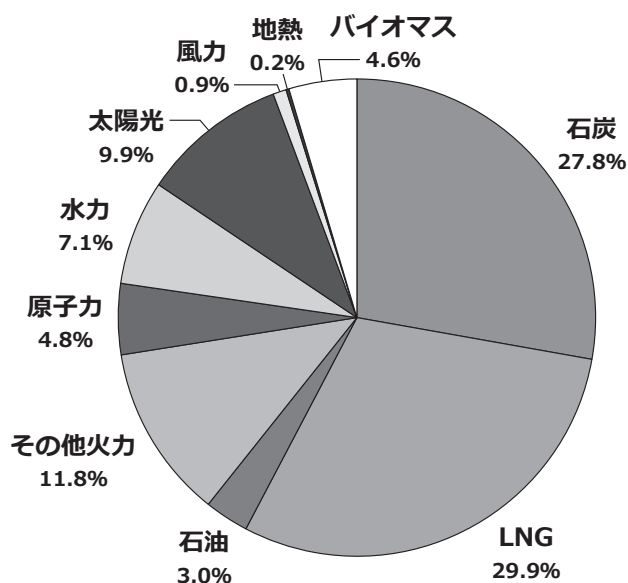


図9 2022年度における電源構成

※「電気・熱配分前排出量」とは、発電所や熱供給施設など、エネルギー供給施設において直接的に排出されたCO₂量を指す。供給段階で発生した排出量そのものを指す。

（2）日本の電源構成について

日本の2022（令和4）年度における発電割合は、発電量が約1兆kWであり、図9に示すように、7割強が火力発電である。火力発電のうち、約8割がLNGと石炭火力であり、それぞれ約4割を占める。図10に示すように、発電量当たりのCO₂排出量は、LNGが最も少なく、石炭が最も多い。LNGは、精製されているので大気汚染物質が少ないが、高価である。一方、石炭は、大気汚染物質が多いが、最も安価である。自然エネルギーは、水力を含めると約20%を超えているが、不安定電源であり、安定電源の原子力や火力による給電が必要不可欠である。

一方、温室効果ガスを排出しない発電方法では、原子力発電が5.6%（対前年度比1.3%減）、再生可能エネルギーが21.7%（同1.4%増）である。原子力発電と再生可能エネルギーを合わせた非化石燃料による国内発電割合は27.3%であり、まだ、3割にも達していない。2024（令和6）年12月に策定された第7次エネルギー基本計画案によると、

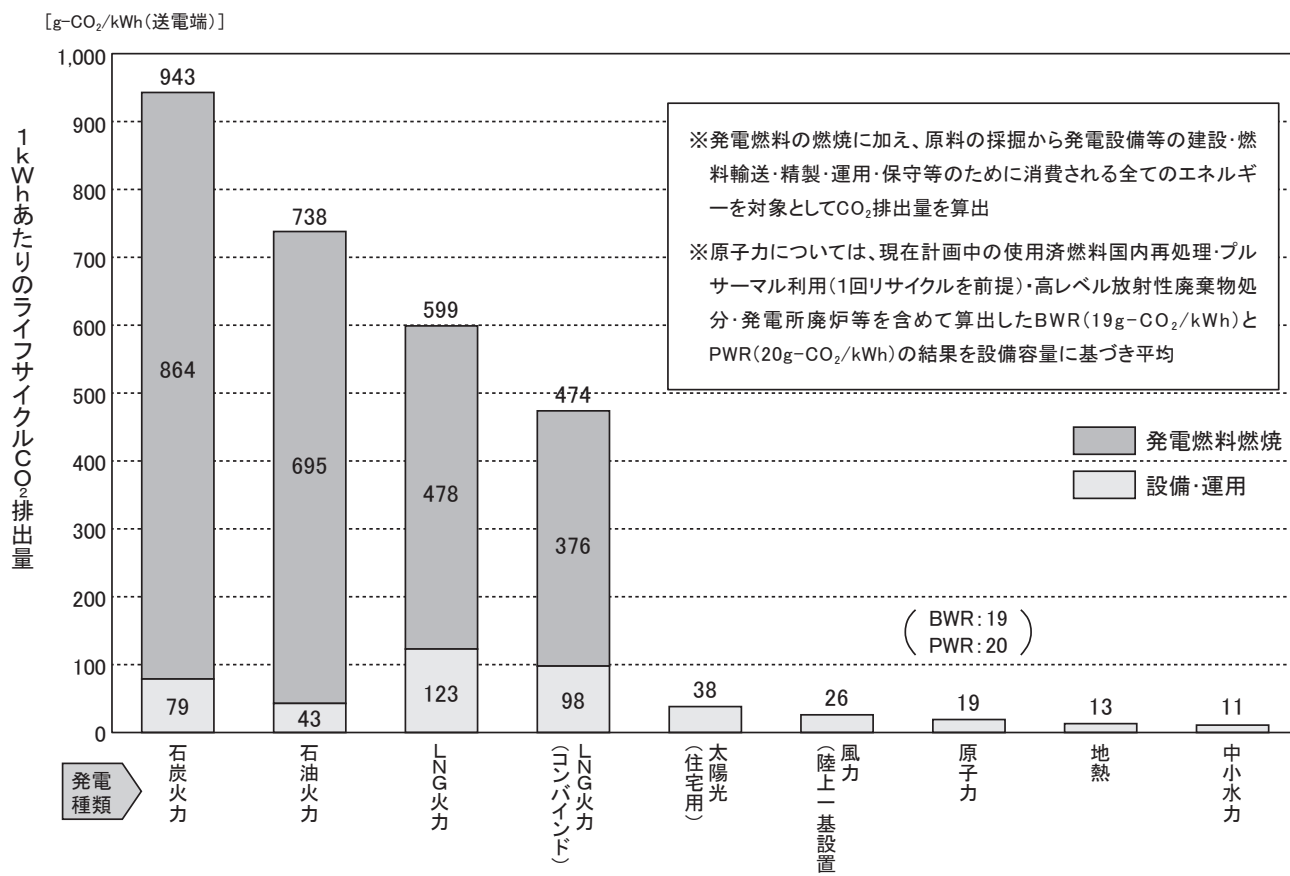


図10 電源別CO₂排出原単位

2040(令和22)年度には、CO₂排出量の多い化石燃料による発電を41%程度に抑え、「太陽光・22~29%」で最大電源にする構想であり、CO₂排出量も約70%の削減が予定されている。

ところで、CO₂排出量の多い化石燃料をすべて輸入に依存し、膨大な燃料代を支出していながら、他方で、CO₂の排出削減に取り組まなければならないことが、第7次エネルギー基本計画のベースである。当然、発電効率が向上するとCO₂排出量を大きく削減できることから技術革新が求められているが、国内で調達できるバイオマスや廃プラを燃料として活用できないのであろうか？

(3) 容器包装廃プラ燃焼時のCO₂排出量

2022(令和4)年度の日本における石炭火力発電所からのCO₂排出量は、約2億5,900万トンであり、これは発電に伴うCO₂排出量の約6割を占める。図10に示したように発電量はLNGとほぼ同じであるが、CO₂排出量は排出源単位が1.5~2倍

であるので、異常に多いのである。

廃プラの燃料化に伴うCO₂排出量を固体化石燃料の石炭と比較するにあたり、それぞれの発熱量を把握し、燃料価値を設定する必要がある。つまり、発熱量の高い廃プラは、発熱量の低い石炭と比較して燃焼価値が高いため、同じ電力を得るための使用量が少なくて済む。これは、CO₂排出量が少ないことを意味する。表3に示した化石燃料と廃棄物の発熱量とCO₂排出原単位を用いて廃プラと石炭を燃焼した場合のCO₂排出量を計算して示す。なお、石炭の発熱量は、産炭地による品位あるいは火力発電所の発電効率により変動するが、ここでは平均的な公表数値を用いた。

①容器包装廃プラを燃料として利用；分別収集した廃プラ

- 容器包装廃プラの燃料使用量；80万t/年
- 発熱量を8,000kcal/kgに設定すると、
80万t×8,000kcal/kg=64×10¹¹kcal
- CO₂発生総量；2.49kg-CO₂/kg×80万t≒200万t

表2 2040年度における電源構成の見通し（目標）⁸⁾

	2023年度 (速報値)	2040年度 (見通し)
エネルギー自給率	15.2%	3～4割程度
発電電力量	9854億kWh	1.1～1.2兆 kWh程度
電源構成	再エネ 22.9% 太陽光 9.8% 風力 1.1% 水力 7.6% 地熱 0.3% バイオマス 4.1% 原子力 8.5% 火力 68.6%	4～5割程度 22～29%程度 4～8%程度 8～10%程度 1～2%程度 5～6%程度 2割程度 3～4割程度
最終エネルギー消費量	3.0億kL	2.6～2.8億kL程度
温室効果ガス削減割合 (2013年度比)	22.9% ※2022年度実績	73%(注)

(注) 中環審・産構審合同会合において直線的な削減経路を軸に検討するとされていることを踏まえた暫定値。

表3 化石燃料および廃プラ等の発熱量とCO₂排出原単位

種類	重量・容量あたり排出原単位 (t-CO ₂ /t、kL)	発熱量あたり排出原単位 (t-CO ₂ /kcal)	高位発熱量 (kcal/kg)
一般炭	2.41	0.38	6,360
原油	2.62	0.29	9,340
灯油	2.49	0.28	8,780
軽油	2.62	0.29	9,140
産廃（廃プラ）	2.49	0.34	※8,000
一廃（廃プラ）	2.49	0.34	※8,000
RPF	1.57	0.25	※6,000
RDF	0.759	0.17	※4,500

※原油等の液体燃料の単位は容積あたりの二酸化炭素重量である。

※印は、筆者による設定値

②石炭に換算した場合

- 石炭の発熱量を6,200kcal/kgに設定すると、約103万トンに相当する。

$$64 \times 10^{11} \text{kcal} / 6,200 \text{kcal} \div 103 \times 10^4 \text{t}$$

- CO₂発生総量；

$$2.41 \text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 103 \text{万t} \div 250 \text{万t}$$

以上の結果、容器包装プラを石炭の代替燃料として使用した場合、石炭を約100万トン節約でき

るので、その購入代金約200億円を節約できると、ならびにCO₂排出量は、石炭単独では250万トンであるが、80万トンの廃プラを石炭代替燃料に使用することにより200万トンに低減、つまり、50万トンの削減が期待できることがわかった。

[結果]

廃プラ80万トンのエネルギーは、石炭104万トンに相当する。廃プラ燃焼時のCO₂排出量は、約

200万トンであり、石炭104万トンでは250万トンになる。つまり、同じエネルギーを回収するためには、廃プラを使用すれば、CO₂排出量は約50万トン削減できる。なお、従来の検討では、廃プラを単純焼却して燃料として使わないこと、あるいは発電効率を低く設定することを前提条件としている。

石炭火力発電所では、約4億トンのCO₂を排出しており、50万トンの削減は、わずか0.1%強の削減であるが、これを容器包装廃プラや製品廃プラに限らず、産業廃棄物にも拡大し、すべての廃プラを対象にするとその量は数倍になると想定できる。CO₂の削減効果は小さいが、増加することではなく、むしろ排出量が減少することに意義がある。

〈容器包装廃プラを燃料利用した場合〉

- ①現状の自治体収集量を80万トンに想定する。
- ②実質、材料リサイクルとケミカルリサイクル（原料のみ；熱利用除く）は、約30%強であり、7割は焼却利用されている。
- ③これらを石炭代替燃料に換算すると、約104万トンの資源節約、CO₂排出量は約50万トンの低減ができる。
- ④従来、廃プラ焼却に伴う環境負荷の影響は、いずれも単純焼却方式との比較であり、燃料利用ではないことに留意する必要がある。
- ⑤容器包装プラに限らず、産廃系廃プラを含めた燃料利用により、その数倍もの石炭節約、CO₂

削減に寄与する。

廃プラ燃料利用技術を確立することにより、廃プラを有価で買い取ることにより、環境汚染防止が実現できると考えられる。

おわりに

容器包装リサイクルの対象品に「その他プラ」が追加されて以来、リサイクルは大きく前進したが、制度が複雑になり、材料リサイクルでは回収量の約3割、ケミカルリサイクルでは約4割であるが、実際は焼却利用が主であり、物質循環とは思えない。

一方、容器包装廃プラを燃料として使用すると、おおよそ80万トンが利用が可能である。同じ、固体の化石燃料である石炭に代替すると、約100万トンに相当し、おおよそ200億円の節約になり、しかも、CO₂排出量が50万トンほど削減できるのである。

従来の廃プラの燃料化に伴う環境負荷の影響は、いずれも廃プラを燃料利用ではなく、単純焼却と比較したものである。

今回は、容器包装以外の廃プラに拡大した場合の資源節約とCO₂の削減について検討する。結論は、「廃プラ環境汚染を抑止するためには、廃プラを燃料として購入」することであり、有価であれば、環境に散乱した廃プラの回収に大きな力となり、環境汚染を防止することができる。検討する価値はありそうだ。

〈引用・参考資料〉

- 1) リサイクルのゆくえ プラスチック製容器包装；(公財)日本容器包装リサイクル協会（令和5年度）
- 2) リサイクルのゆくえ 材料リサイクル；(公財)日本容器包装リサイクル協会（令和5年度）
- 3) リサイクルのゆくえ ケミカルリサイクル；(公財)日本容器包装リサイクル協会（令和5年度）
- 4) 物質の性質：燃料の発熱量；(株)八光電機ホームページ（www.hakko.co.jp/library/qa/qakit/html/h01110.htm）
- 5) 廃棄物熱回収施設設置者認定マニュアル（平成23年2月）；環境省
- 6) 2022年度の温室効果ガス排出・吸収量（詳細）；環境省
- 7) 日本国温室効果ガス排出インベントリ報告書 2024年；国立研究開発法人 国立環境研究所
- 8) 2040年度におけるエネルギー需給の見通し；経済産業省資源エネルギー庁