

# バイオマス活用・リサイクルは 適正に行われているか

北海道大学 松藤 敏彦

## はじめに：ごみ処理の変化

わが国は、長く焼却処理をごみ処理の中心に据えてきた。そのため、ごみを可燃ごみ、不燃ごみに分け、これに破碎を必要とする粗大ごみを加えた3分別が標準的な分別区分であった。ごみ処理計画とはごみの増加を予測した施設計画であり、収集は全国画一的であった。ところが1990年代後半以降、大きく変化した。「循環型社会」と、地球温暖化対策の必要性を背景とした「低炭素化社会」である。前者は容器包装を始めとするリサイクルの推進、後者は未利用エネルギー、特に廃棄物においては未利用バイオマスの利活用推進を促した。

自治体のごみ処理においては、まずリサイクルの取り組みが積極的に行われ、バイオマス利用を実施あるいは検討する自治体も増えている。そのため、従来の3分別と較べて分別数の増加、処理選択肢の増加、特に新たな技術の導入により、ごみ処理のシステムは多様化、高度化している。しかし、本来の循環型社会、低炭素化社会の目的にかなったものかどうかは、十分考えられているとは思えない。本稿では、バイオマス活用・リサイクルが適正に行われているどうかを考えることにする。

## エネルギー生産となっているか

### (1) バイオマスはカーボンニュートラル？

バイオマスの利活用が低炭素化対策のひとつに考えられるのは、バイオマスのエネルギー利用がカーボンニュートラル（炭素中立）とされるからである。例えば木質系バイオマスから製造したペレットを燃焼するとCO<sub>2</sub>を排出するが、植物の成長過程で吸収されたCO<sub>2</sub>が再放出されるにすぎない。CO<sub>2</sub>は循環するだけなので、CO<sub>2</sub>排出量としてカウントしなくてよい。サトウキビ、トウモロコシなどから製造されるバイオエタノールも、同様の考えである。また、生ごみ等の有機性廃棄物の利用技術として注目され、補助金対象となったメタン発酵は、廃棄物として処理されていたごみからエネルギーを取り出すことができる。こうした説明をされると、バイオマス利用は低炭素社会の切り札であるかのように思える。本当に正しいだろうか。

### (2) バイオマス利用の盲点

バイオマスエネルギーとは、バイオマスからすぐに燃料が得られると思われているのではないだろうか。だが、木質ペレットの場合、まず木材が間伐あるいは伐採され、運ばれ、ペレットを製造し、さらに利用先までの輸送が必要であり、これらの過程で化石燃料由来のエネルギー消費、CO<sub>2</sub>排出がある。間伐材利用の場合、森林での作業は簡単ではなく、費用とエネルギー

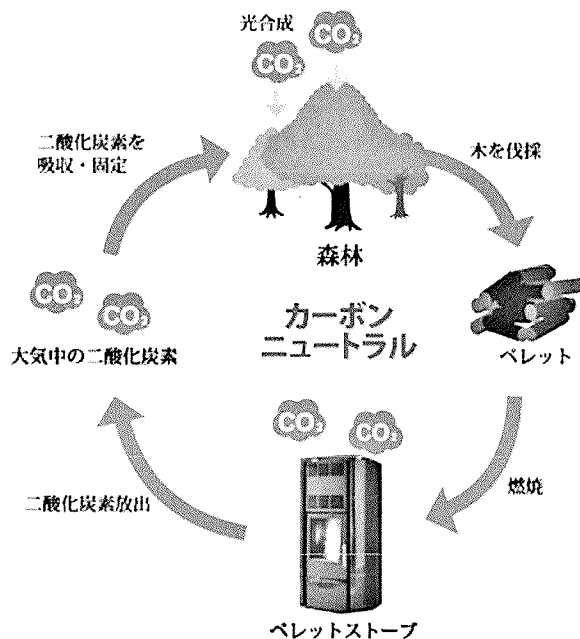


図1 木質ペレット燃料はカーボンニュートラル？

一、そしてCO<sub>2</sub>排出は大変に大きいかもしれない(図1)<sup>1)</sup>。木質バイオマスのペレット化には破碎、成形などが必要だが、バイオエタノール製造もエネルギー、薬品の投入が必要である。

メタン発酵にも、いくつか注意すべきことがある。ごみからバイオガスが発生し、電力が生産されると言われれば素晴らしい施設に見えるが、メタン発酵槽の加温が必要になるため生成ガスの一部を燃焼するかもしれない。発電を行う場合、生産された電力の一部(あるいは多く)が施設の運転に使われた結果、正味、どれだけのエネルギー生産となるかはわからない。また、有機性廃棄物はすべて分解してガスになるのではなく、残りは消化液に残留する。生ごみの場合、通常、分解率は70%程度である。消化液脱水後に下水処理相当の、生物処理、物理化学処理からなる水処理が必要となり、ここでもエネルギー消費がある。

### (3) LCA的視点の必要性

以上のような誤解は、バイオマスから得られる「生産物」しか見ていないことから生じてい

る。ある製品には、原材料採取から始まって使用、廃棄に至るライフサイクルがあり、図2のように表すことができる。消費・使用段階のみに注目しがちだが、天然資源採取に始まるすべての段階でエネルギー消費、二酸化炭素排出がある。低炭素化となっているか(CO<sub>2</sub>排出削減となっているか)どうかは、ライフサイクルを通じた合計で考えなければならない。メタン発酵については図2を施設のフローを読みかえると、原料の収集・輸送、前処理、反応槽、水処理・ガス精製・固形物処理などのプロセス全体での収支を評価しなければならない。

バイオマスエネルギーが低炭素化に寄与するのは、化石燃料を代替し、電力生産に伴うCO<sub>2</sub>排出を回避できるからである。これをAvoidanceという。木質ペレット、バイオガスなどは燃料として、化石燃料を代替するとの意味がある。焼却による熱回収・発電は燃料生産ではないが、回収した熱や電力を利用することで同様のAvoidance効果がある。すなわち、燃料を生産するかどうかではなく、化石燃料利用

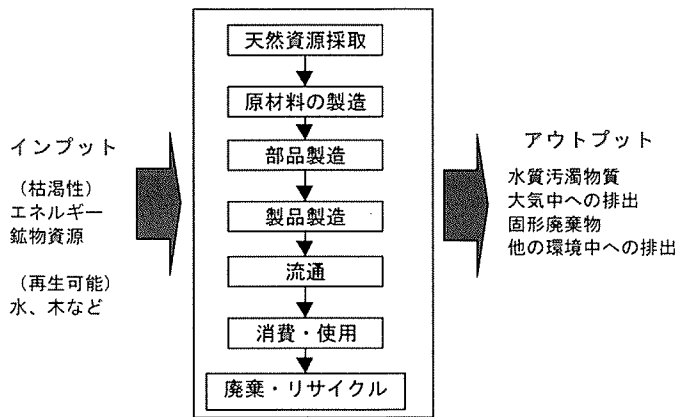


図2 製品のライフサイクル

を回避できるかどうか、重要である。

## エネルギーの収支

### (1) エネルギーの元

バイオマス利用は、価値のないごみから「エネルギーを生み出す」と考えられがちである。それではメタン発酵は、廃棄物のエネルギー利用の代表的技術である焼却に較べて、何が優れているのだろうか。この質問に答えるには、「エネルギーの元」を考えなければならない。

バイオガス化と焼却を較べると、次のように表すことができる。

- バイオガス化：

有機物 + 水 → メタンガス + 二酸化炭素

- 焼却：

有機物 + 酸素 → 排ガス + 灰 + 熱

焼却は有機物の燃焼熱により高温となった排ガスから、熱交換によって高温高圧の蒸気を得、タービンを回して発電する。バイオガスは有機物の持つエネルギーをメタンガスの形で取り出し、燃焼して発電する。どちらも有機物が保有するエネルギーが「元」である。つまり、有機物を起点として最終的なエネルギー回収効率を比較しなければならない。

### (2) 有機物の保有エネルギー

バイオマス系の有機物には、木質系、畜産廃棄物、生ごみなど、さまざまな種類がある。有

機物の特性は、三成分（水分、灰分、可燃分）の割合で表すことができる。可燃分 + 灰分 = 固形物量であり、可燃分はVS (Volatile solid) で評価する。水分、灰分を含めた有機物に対し、可燃分は乾重量であり、以下、有機分と書くことにする。三成分のうち、エネルギーを有するのは有機分であり、水分と灰分はエネルギーをもたない。メタン発酵の効率として廃棄物重量あたりのガス発生量を比較することがあるが、ガス化するのには可燃分である。含水率が高い有機物は重量あたりにするとガス発生量は小さくなるので、VSあたりで比較しなければ意味がない。また代表的な有機分はタンパク質、脂質、炭水化物であり、脂質は他の2つよりも保有熱量が大きい。すなわちバイオマス系有機物の保有エネルギーは、有機分の多さ（水分、灰分の少なさ）と有機分の種類によって決まる。焼却もメタン発酵も、ここからどれだけエネルギーを取り出せるかを比較しなければならない。

メタン発酵のうち、固形物量の少ない乾式と呼ばれる方法では、紙類も処理することができる。それでは、生ごみ1kgと紙類1kgをメタン発酵すると、どちらのガス発生量が多いだろうか。直感的には生ごみの方が多いように思えるが、生ごみの含水率が80～90%と高いため、水分 + 灰分が10%以下と低い紙の方が4～5倍のメタンガスを発生する。なお、両者のVS分

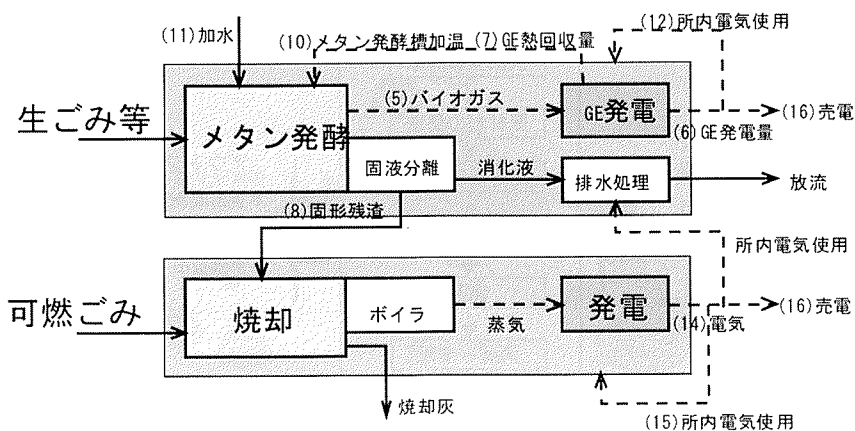


図3 メタン発酵と焼却のコンバインドシステム

解率はほぼ同じである。

### (3) システムの総合効率

最近では、焼却とメタン発酵を組み合わせたコンバインドシステム<sup>(1)</sup> (図3) が注目されている。メタン発酵、焼却でそれぞれ発電を行い、メタン発酵の固形残さを焼却して、エネルギー回収効率を高めようとするものである。家庭や事業所から発生した紙類は、メタン発酵、焼却のどちらで処理するのがよいだらうか。上述の考察より、紙類をメタン発酵処理して、より多くのメタンガスを回収したほうがよいだらうか。

有機物を焼却、メタン発酵してエネルギーを取り出す過程には、図4のようにいくつかの効率が関与している。有機物の保有熱量（有機分の発熱量）あたりで比較すると、メタン発酵はガス発電タービン効率は高いが、有機分の分解率は60～80%程度にとどまる（未分解の有機分が残る）。焼却は、発電効率はガス発電より低いが、燃焼による熱発生効率はほぼ100%で、ボイラ熱回収率も高い。これらの総合的な効率を比較しなければ、どちらがよいかはわからない。施設内のエネルギー消費も考慮に入れなければならない。

## リサイクルによるエネルギー削減

### (1) 物質回収のエネルギー節減効果

バイオマスの有効利用方法として、もうひと

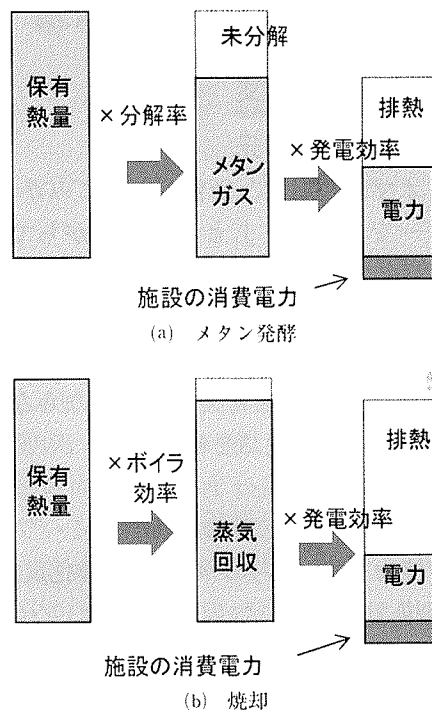


図4 有機物の保有熱量から発電までの総合効率

つの古くからの資源化方法に堆肥化がある。堆肥化は資源循環であり、エネルギーとは無関係と思われるかもしれない。しかし、生産された堆肥中にはリン、カリウム、窒素などの栄養分が含まれている。堆肥は遅効性であり、即効性のある合成肥料と特性が異なるが、栄養分として合成肥料の使用量を削減できる。合成肥料の製造には、図2で示したような過程が必要であ

るから、そのエネルギー消費を削減することができる。

一般的に、リサイクルには同様の効果がある。その代表例がアルミ缶であり、天然資源のボーキサイトからの抽出は電気分解によるため、回収したアルミを溶解利用すると、エネルギー消費量は20分の1となるとされる。スチール缶などの鉄くず、ガラスびん、古紙利用も、同様のエネルギー削減効果をもち、しかも大変に大きい。エネルギーを「作りだす」だけでなく、物質として回収することによりエネルギー節減効果があることも、考慮しなければならない。電力使用の節減は、発電と同じ効果がある。

## (2) ライフサイクルの健全性

自治体も市民もリサイクルに熱心に取り組んでいるが、リサイクルがすべてエネルギー削減になるとは限らない。ライフサイクルの視点から、注意すべきことを以下に挙げる。

### ① 回収したものが

きちんと利用されなければならない

容器包装リサイクル法の施行によって自治体の回収が進み、回収されたペットボトルが焼却されていたとの例<sup>2)</sup>があった。ガラスびんの回

収に、押し込み、圧縮機能をもつ機械式収集車(通称パッカー車)を使うと、収集段階で割れてしまい、選別施設で少なからぬ割合が残さとなり、ごみとして埋め立てされてしまうことがある。堆肥も、利用者が見つからずにごみになることもある。利用に至らなければ、エネルギー削減にはならない。

### ② 質の高い用途に使われなければならない

回収された資源物の利用方法はただひとつではない。例えばガラスびんは茶、透明のびんは再びびんの原料になりうるが、それ以外の色のものは大部分が路盤材となる。びんの製造に較べると、路盤材製造に要するエネルギーははるかに小さく、エネルギー節減効果が得られない。

### ③ リサイクルプロセスが

エネルギー多消費であってはならない

資源リサイクルには、収集、破碎、選別などのプロセスがある。回収物による削減だけでなく、これらのプロセスにおけるエネルギー消費を考慮する必要がある。資源回収ではないが、焼却発電の例<sup>3)</sup>を図5に示す。ごみ1トンあたりの電力を、焼却、焼却(灰溶解あり)、ガス化溶解で比較した。ボックスは25~75%を示

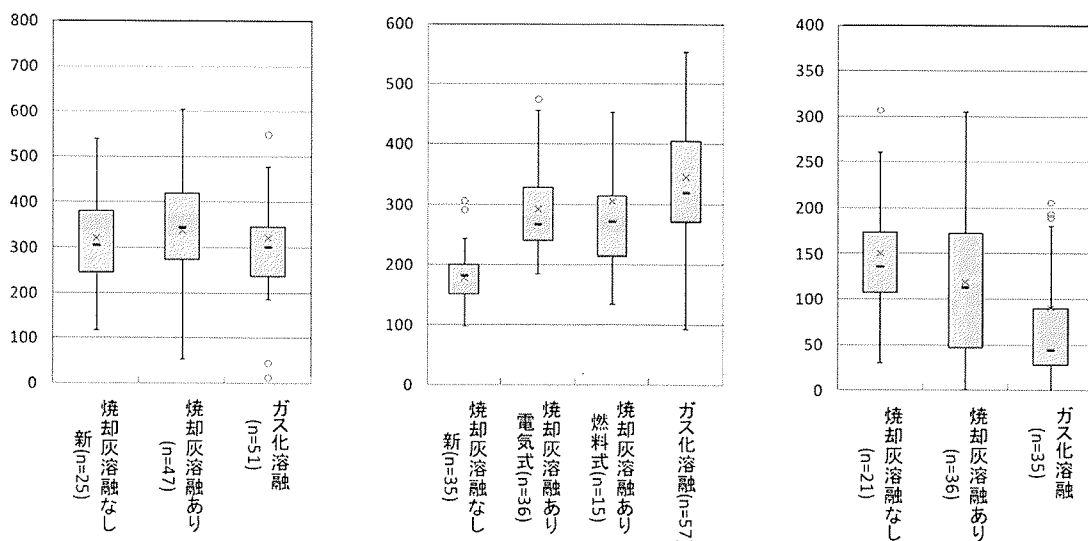


図5 ごみ焼却施設のごみ1トンあたり発電量、施設内電力、外部供給電力(単位:kWh/t)

している。発電量には違いがないが、使用電力が大きいと、正味の電力生産は焼却>焼却+灰溶融>ガス化溶融の順となっている。ダイオキシン問題の後全国に広まった溶融は、エネルギー生産能力が劣るということである。発電については一般に発電量や発電効率を比べるが、正味の効率で見ることが必要である。これは、メタン発酵のエネルギー生産についても同じである。

### おわりに

この20年間、ダイオキシン対策などの安全・安心な処理処分、資源循環のための数々のリサイクル政策、そして低炭素化社会に向けた未利用廃棄物のエネルギー利用など、ごみ処理は大きく転換した。いずれも大きな「進歩」ではあるが、現実の施設やシステムを調べると、ほとんどの場合に問題が見つかる。その原因は、「全体」を眺める視点がないことにある。自治体ではリサイクルに熱心に取り組み、分別数を増やして資源化を図ろうとしている。しかし、集めることが目的化し、その後の選別施設でのロスや、どのように再生利用するかについては関心が低いように思われる。バイオマスの利用も、「無価値なごみからエネルギーが取り出せる」

ことに力点が置かれて、システム全体として「エネルギー生産」ができるかどうかによる技術選択となっているとは限らない。

本稿のキーワードは、ライフサイクル的視点と物質（エネルギー）収支である。「リサイクルは環境に優しい、バイオマス利用は温暖化抑制になる」といったイメージに先行されない、工学的な技術選択が必要である。

### <参考文献>

- (1) 森下建設㈱HP  
<http://morishita-co.jp/eco/pellestore>
- (2) 井上陽仁・松藤敏彦：“乾式メタン発酵を用いた焼却施設とのコンバインドシステムのエネルギー評価”、土木学会論文集G（環境）、Vol.70、No.2、pp.32-41（2014）
- (3) 松藤敏彦：ごみ問題の総合的理解のために、技報堂（2007.12）
- (4) 松藤敏彦：“一般廃棄物全連続式焼却施設における電力・熱回収利用の現状”、都市清掃、65（310）、pp.566-571（2012）

### 【筆者紹介】

松藤 敏彦

北海道大学 大学院 工学研究院  
環境創生工学部門 環境管理工学分野  
廃棄物処分工学研究室 教授

## Web講座

# 情報セキュリティ入門講座 講師：瀬戸 洋一

受講料：10,300円（税込）単行本「情報セキュリティ概論」（3,800円+税）を教材として一冊進呈  
ウェブ&メールベースのオンライン講座です。暗号技術、電子透かし、バイオメトリクス、コンピュータウイルス、情報セキュリティマネジメントなど、基礎から応用、理論から実務、広範囲にわたる情報セキュリティについて、必要な技術を登録後6ヶ月の間、効率よく学ぶことができます。修了後、理解度テストに合格した方には、修了証を発行いたします。

日本工業出版(株)

フリーコール 0120-974-250 [netsale@nikko-pb.co.jp/](mailto:netsale@nikko-pb.co.jp)