

エネルギー源としての廃棄物利用

まつとう としひこ
松藤 敏彦

北海道大学大学院 工学研究院 教授

1. はじめに

本稿のタイトルは、「エネルギー源としての廃棄物利用」とした。その背景となっているのは、循環型社会においては廃棄物の「有効利用」が重要であり、なかでも化石燃料使用量削減のため「エネルギー利用」がよい、との考えを検証してみたかったことにある。

そもそも社会一般では、ごみとなるものを資源にするのだから「リサイクルは環境にやさしい」、さらにエネルギーとなると単なる資源より化石燃料の代わりになるのだからもっと望ましい、と信じられているのではないだろうか。

廃棄物のエネルギー利用を計画している自治体も多いと思うが、本稿では廃棄物の研究者として、表題について注意してほしいことを述べたい。

2. 炭素中立としてのバイオマスエネルギー

2012年に始まったエネルギーの固定価格買取制度（FIT）によって、いわゆる再生可能エネルギー利用が大きく進んだ。

太陽光、風力などと並んで「バイオマス」

が含まれ、そのエネルギー利用がカーボンニュートラル（炭素中立）とされることから、特に望ましい方法とのイメージが強い。

バイオマスの炭素中立とは、例えば図1に示すように、木質ペレットを燃焼したときに放出されるCO₂は、もともと植物の成長過程で吸収されていたものであり、循環するだけなのでCO₂排出量としてカウントしなくてよいということである。廃棄物系バイオマスとしては、生ごみ、下水汚泥、家畜ふん尿、木くずなどが該当する。

図1にはCO₂が循環するように描かれて



図1 木質ペレット燃料はカーボンニュートラルなのか？（株式会社サンボットホームページ¹⁾より引用）

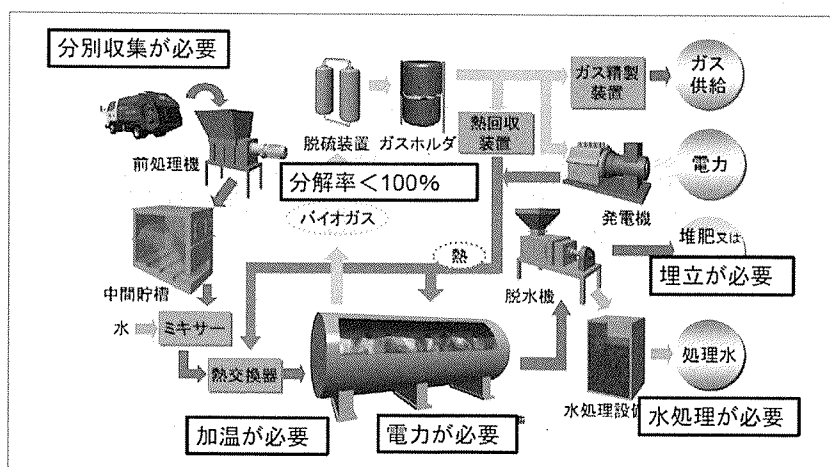


図2 メタン発酵のプロセス例（日立造船株式会社ホームページ²⁾をもとに加筆）

いるが、「循環するCO₂」だけ取り出した図にすぎない。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、CO₂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、そしてCO₂排出は大変に大きいかもしれない。

本稿のテーマはエネルギーであるが、化石燃料が主たるエネルギー源である場合、エネルギー消費とCO₂排出はほぼ同じと考えてよく、燃料を作り出すためにエネルギーを消費するならば、正味取り出せるエネルギーがゼロまたはマイナスということもある。

一般廃棄物のバイオマスエネルギー利用としては、メタン発酵が注目されている。水分の多い生ごみからエネルギーを取り出す素晴らしい技術と見られがちだが、生ごみを入れたらメタンガスに変わるわけではなく、図2のようなプロセスが必要である。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、生産された電力の多くを施設の運転に使うかもしれない。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ので、消化液脱水後に下水処理と同等の生物処理、物理化学処理からなる水処理が必要となる。

メタン発酵の原理をわかりやすく示すため、ごみからメタンガスが発生するところだけを描いた図も見られるが、「エネルギーを取り出すには様々な手順（プロセス）があり、その各々でエネルギーが消費される」ことに注意しなければならない。

3. エネルギーの元とは

「価値のないごみからエネルギーが生み出される」ことも、誤解のひとつである。廃棄物を焼却すると、廃熱からエネルギーが回収でき発電も可能であるが、メタン発酵からエネルギーを回収するのはどう違うのだろうか。

メタン発酵と焼却を比べると、次のように表すことができる。

- ◆メタン発酵：
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

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、ごみがエネルギーに変化するのではなく、ごみの持っているエネルギーが取り出されるのである。

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。メタン発酵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。エネルギーの取り出し方が違うだけであり、エネルギー回収効率を比較しないとどちらがよいかは判断できない。

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り、非バイオマスであるプラスチックもまた、エネルギー源となる。これらの特性は、図3のように三成分（水分、灰分、可燃分）の割合で表すことができる。可燃分+灰分=固形分であり、バイオマスの場合、可燃分=有機分となる。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。脂質、たんぱく質、炭水化物が代表的な有機分であるが、脂質は最も保有熱量が多いという、成分による違いもある。つまり、有機分の種類と有機分の割合によって、廃棄物のもつエネルギー量が決定する。

したがって、バイオマスなら何でもよいのではなく、エネルギー源として利用する前にどれだけのエネルギー量を持つか（低位発熱量で表される）を計画のスタートとしなければならない。例えば、メタン発酵では紙類も処理できるが、生ごみ1kgと紙類1kgを比べると生ごみの含水率が80~90%と高いため、紙のほうが4~5倍のメタンガスを発生する。

4. エネルギーの取り出し方法

わが国では補助金がつくと、その技術を採用する自治体が増える。これは財政措置というメリットもあるが、一方で特定の方

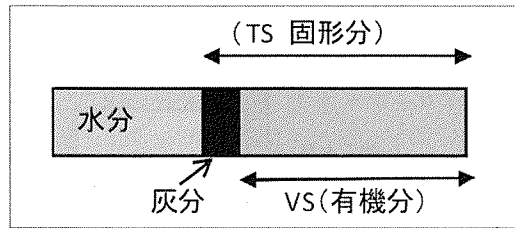


図3 廃棄物の三成分

法に集中してしまう流れを生んでいる。

しかし、「エネルギーの元」からエネルギーを取り出す方法は、数多くある。熱的技術としては「焼却」のほか、無酸素状態で加熱して熱分解により可燃ガスを得る「ガス化」、いわゆる炭（炭化物）を得る「炭化」、水分共存のもとで加熱し炭化物を得る「水熱処理」などがある。「ガス化」には、酸素不足下で未燃ガスを得る方法や、数秒間で熱分解する「急速熱分解」もある。生物処理技術としては、「メタン発酵」以外にも、「エタノール発酵」「水素発酵」がある。例えば、燃料ガスは熱分解によっても、メタン発酵によっても得ることができる。

しかし、木質ならば熱的ガス化、水分の多い有機性廃棄物はメタン発酵や水熱処理など、それぞれ処理の適正範囲がある。破碎、脱水、乾燥、加水分解などの前処理を行えば処理可能な範囲にすることができるが、全体としては非効率になるかもしれない。廃棄物の特性に応じた処理方法を選択しなければならない。

以上挙げた技術は、どれも燃料を得る方法である。低炭素化のためには化石燃料代替の燃料を得る必要があるように思えるが、化石燃料の使用を削減することもまた、低炭素化に役立つ。ごみの焼却発電はその代表であり、燃焼による発生熱を高温蒸気として回収し発電を行うと、火力発電所等における化石燃料消費量が削減できる。ごみの焼却から直接的に燃料を生産するわけではないが、間接的なエネルギー削減効果が高いことを、もっと評価すべきである。

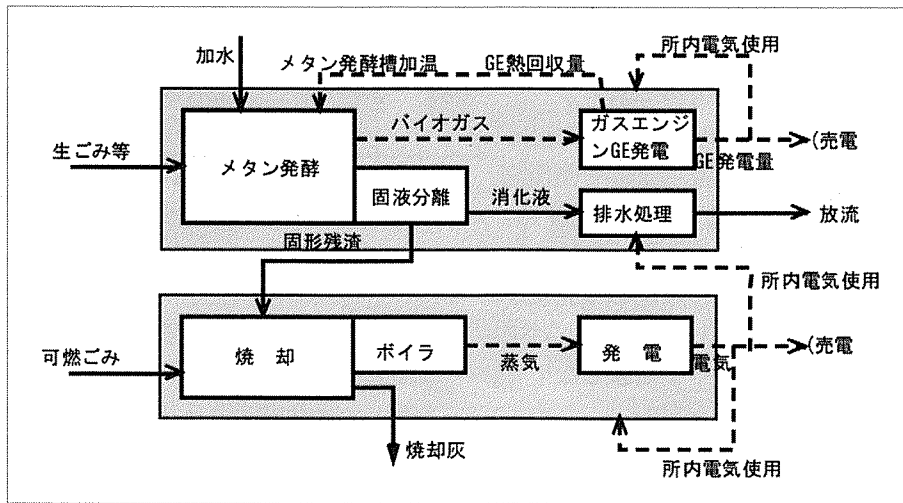


図4 メタン発酵と焼却のコンバインドシステム

燃料を作り出すのではなく、どれだけ化石燃料削減につながるかを考えなければならない。

上記の単独技術利用に対し、複数技術を組み合わせるコンバインドシステムは、技術の利用可能性を高める方法である。代表的なコンバインドシステムは、図4³⁾のようにメタン発酵、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。このとき、廃棄物をどのように両技術に分配するかを考えなければならない。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するか、あるいは焼却するか、どちらがよいだろうか。

まず、メタン発酵は①有機分の分解率、②ガス利用率、③ガスタービン発電効率、焼却には④有機分の分解率、⑤ボイラ効率、⑥発電効率など、各段階に効率があって、①<④、③>⑥のように有利・不利がある。また、図にはないが、メタン発酵、焼却の運転には電力が必要となり、これが大きいと不利になる。前処理を必要とするならば、効率は低下するだろう。このように、システムの総合的な効率を比較しないとどちらがよいかわからないし、組み合わせ

れば必ず効率がよくなるとは限らない。

筆者は、システムが複雑となるほど効率を低下させる要素が増えると考えている。

5. システムのライフサイクル的視点の重要性

バイオマスペレット、メタン発酵と聞くと、利用時点での効果を想像する。

しかし、図1、図2に示したように、原料採取～製造～利用までの全体を考えなければならない。これは、生産しようとするものの「ライフサイクル」全体を見るということであり、このときマテリアルフローを把握することが重要である。図1は、伐採した木からペレットが製造されるように描いているが、伐採された木が100%ペレットになるわけではない。図2のメタンは国では、未分解の有機物は消化液中に残るので、固形分、排水、さらには原料の前処理で発生する残渣の処理が必要である。また、最後の段階で発生したメタンガスをどのように使うのか、施設外へどれだけエネルギーとして取り出せるかが、「廃棄物のエネルギー利用」というためには絶対的に重要となる。

実は、廃棄物のエネルギー利用と言いながら、「エネルギー生産効率」に関する意識は極めて低いと言わざるを得ない。その代表例が、焼却施設の発電効率である。発電効率は「ごみの保有熱量」に対する「発電量（熱量基準）」であり、高効率発電に対しては補助率が1/2に優遇されている。しかし、焼却施設においては運転のための電力が必要であり、発電の一部を所内で消費する。したがって、いわゆる送電端効率<発電効率となる。筆者らの調査⁴⁾によれば、ガス化熔融施設および灰熔融施設を併設する焼却施設は所内電力消費が大きく、正味の電力生産率は従来の焼却施設に比べて大きく劣っている。ダイオキシン問題の後全国に広まった熔融は、エネルギー生産能力が劣るということである。

またメタン発酵についても、150Nm³/ごみt以上が高効率原燃料回収施設の要件⁵⁾となっているが、筆者らの調査（未発表）によると、電力あるいは熱として外部へエネルギーを取り出している割合は大変小さい。電力だけ見ると、買電量が発電量を上回り、エネルギーを投入して有機物を処理している施設も少なくない。

エネルギー回収を目的とするならば、エネルギー収支をしっかりと把握することが必要である。運転データの分析は当然だが、設計時点で推定し、システムの採用を決定すべきである。

6. おわりに

最後に、廃棄物のエネルギー利用に関して、念頭におくべきことをまとめる。

第一に、エネルギー回収の方法はひとつではない。熱的処理、生物処理などいくつ

かの方法があることを知り、廃棄物の特性に応じて選択しなければならない。

第二に、廃棄物からエネルギーを取り出すにはエネルギーが必要だ、ということである。一般に、前処理が複雑になるほど、原料を得るまでが面倒なほど、製造プロセスが高度であるほど、正味取り出すことのできるエネルギーは小さくなる。システム全体としての「エネルギー収支」を考えて選択しなければならない。

第三に、途中で発生する廃棄物の処理、生産されたエネルギーの利用を考えなければならない。処理すべき廃棄物量は、原料の質に大きく依存するので、インプットの選定が重要である。また、生産されたエネルギーをどのように利用するか(できるか)は、さらに重要である。リサイクルを含めて、わが国では技術が先で、回収物の利用はあとで考える傾向がある。製品を製造するときには、まず利用(需要)からスタートし、製造方法や原料を決定する。リサイクルやエネルギー回収についても、同様に考えるべきであろう。

参考文献・Webサイト

- 1) サンポット(株)
<http://pellet-sunpot.jp/about.html>
- 2) 日立造船(株)
<http://www.hitachizosen.co.jp/products/products004.html>
- 3) 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
- 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
- 5) 環境省リサイクル対策部廃棄物対策課：エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル、平成26年3月