

ごみが売れる時代へ

環境理工学創造専攻 吉川 邦夫 研究室

吉川 邦夫 教授 1953年東京都生まれ。東京工業大学大学院総合理工学研究科エネルギー科学専攻修士課程修了。1998年より、同大学院総合理工学研究科環境理工学創造専攻教授。



普段の生活の中でごみが出ることは避けられない。毎日大量に出るごみを処理するためにはコストがかかってしまうが、世界にはごみ処理のためにお金をかけられない地域も存在する。そこで吉川研究室では、ごみに付加価値を与え、販売可能な資源に作り変えるような処理方法を提案している。先生はといったどのようにしてごみを資源に転換しようというのだろうか。

新しいごみ処理

私たちが普段出しているごみがどのように処理されているのかを皆さんはご存じだろうか。ごみ処理にはリサイクルをはじめとしたいくつかの方法があるが、行政単位ごとの処理方法としては大きく分けて焼却処理と埋め立て処理の2種類の方法が用いられている。

焼却処理は日本において一般的な処理方法であるが、処理の際に毒性の強いダイオキシン類が発生してしまうことが問題となっている。ダイオキシン類は、プラスチックなどの塩素を含む物質を不完全燃焼させた際に副生成物として発生するものであり、800℃以上の高温のもとで完全燃焼に近い形で焼却すれば発生を防ぐことができるとされている。高温を維持するためには高い発熱量が必要であり、それを供給する物質の一つにプラスチックがある。しかし、近年リサイクルのためにプラスチックが別に処理されているため、焼却す

るごみの発熱量が低下している。結果として、焼却炉によっては必要な温度を維持するために補助燃料を要する場合がある。これにより燃料代がさらにかかる上、燃料を用いてごみを焼却するため、二酸化炭素の排出量も増加する。これは焼却処理でのごみ処理が主流である日本において、重大な問題となっている。

世界的に見るとごみは焼却処理を行わずに直接埋め立てて処理されている場合が多い。ごみの埋め立て処理は、運搬費用以外のコストがあまりかからないため、特に発展途上国では一般的な処理方法となっている。しかし埋め立て場として使える土地が少なくなっていることや、埋め立て場周辺の土壌汚染などの環境問題により、発展途上国を含めた各国が埋め立て処理を制限、もしくは禁止する方向に動いている。

以上のことから、焼却でも埋め立てでもない、新しいごみ処理方法の需要が高まっている。世界中がこのような課題を抱えているなかで、吉川研

研究室では、ごみを処理するだけでなく、付加価値のついた販売可能な製品に作り変える、持続可能なごみ処理方法の開発を目指して研究を行なっている。先生はどのような技術でごみを作り変えようとしているのだろうか。

分解する技術

まずは、ごみを処理するために、具体的にどのような技術を用いるかについて説明しよう。先生は研究のなかで主に2種類の分解技術を用いている。それは熱分解技術と水蒸気加熱技術である。

1つ目の技術である熱分解技術について説明する。これは無酸素状態で物質を加熱・分解し、複雑な組成の高分子を切断して、より単純な組成へと低分子化する技術である。例えばプラスチックを熱分解すると、温度の上昇に伴ってプラスチック中から水分、塩素が順に抜けて低分子化される。最終的にプラスチックの分子が分解して炭化水素や水素、一酸化炭素などを主成分とする熱分解ガスと炭化物が生成される。

この技術を利用したごみ処理として、廃プラスチックの油化技術がある。プラスチックは石油を原料として製造されている。そこで先生は廃プラスチックを集めて熱分解することで石油に似た油を取り出し、再利用しようと考えた。ここで問題となるのが油の質である。廃プラスチックを熱分解する過程で通常得られる油は、軽質油と重質油が混じり合った質の悪いものであり用途が限られてくる。これを解決するために、先生は廃プラスチックを熱分解して得られた油を触媒に通し、より低分子化することでガソリンや灯油、軽油に近い油の生成を目指している。現在は、より高品質な油を生成するための熱分解条件や触媒の研究をしている。

2つ目の技術である水蒸気加熱技術は、ごみを高温高压状態の水蒸気と反応させて、可燃物を加水分解するものである。これは、水自体の反応性が高温高压状態で常温よりも高くなることを利用している。手順は次のようになる。まず反応容器内にごみを投入し、ボイラーで生成した約200℃の飽和水蒸気を充填する（図1）。続いて、温度と圧力

を上昇させながら反応容器内にある攪拌翼を回転させてごみと水蒸気との良好な接触を保つ。そして反応温度に達した後、そのまま一定時間攪拌し続けることで反応を完了させる。反応後に得られる生成物は、元のごみの状態にかかわらず、土のような粉末状の物質である。

水蒸気加熱技術は、ごみの中でも特にバイオマス系の残渣やプラスチックのような可燃物に対して有効である。バイオマスとは、生物由来の再生可能な有機性資源のうち化石燃料を除いたものである。通常の場合では、バイオマスやプラスチックは酸や塩基を使わなければ分解しにくいですが、水蒸気加熱技術を用いれば、水のみで加水分解することができるのだ。

先生はこの水蒸気加熱技術の応用として、新たなごみ処理方法も提示している。以降ではそのごみ処理方法を、その特徴とともに紹介する。

ごみに付加価値を

吉川研究室では、小規模でも持続可能なごみ処理の実現を目指し、付加価値のついた製品を作りだすごみ処理方法の研究を続けてきた。その研究

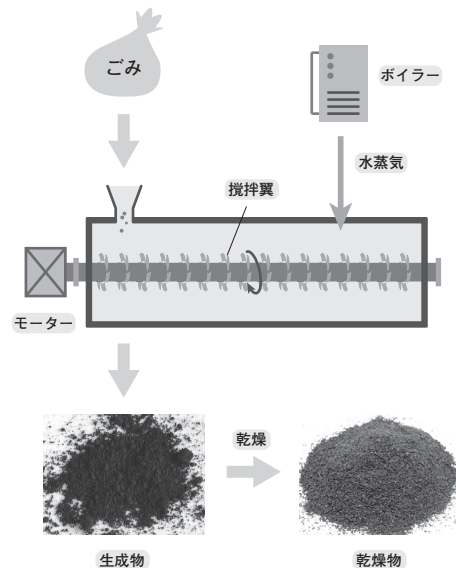


図1 水蒸気加熱技術

反応容器内にごみを投入し、ボイラーで生成した高温高压の水蒸気を充填した後、攪拌翼で攪拌する。これにより、土のような粉末状の物質が得られる。

内容の一つとして、先に述べた水蒸気加熱技術がある。これは高温高压の水蒸気を用いて、さまざまなごみやバイオマスを粉末状の固体燃料に転換する処理方法である。先生はこのプロセスを通して石炭の使用量を削減することを目指している。

水蒸気加熱プロセスでは回収したごみを反応容器に直接投入し、高温高压の水蒸気と反応させる。そして反応後に残留する水蒸気を排出してから、生成物を回収し乾燥させて燃料が得られる。このように、水蒸気加熱プロセスは特別複雑な作業を必要としない。また事前にごみを分別する必要もない。なぜなら、処理を終えたプラスチックを含む可燃物は粉末状の物質へと変化しているのに対し、ビンや缶などの不燃物は反応せずに元の状態で残るので、ふるい分け等によって簡単に分別できるからである。そのためこの技術は、ごみが分別されない状態で廃棄される発展途上国において特に有用な技術である、と先生は考えている。

この処理方法には事前の分別が不要である点以外にも、大きく分けて3つの利点が存在する。1つ目は、乾燥に必要なエネルギーを小さく抑えることができる点である。ものを乾燥させるためには、ある程度破碎した後に加熱して水分を蒸発させる必要がある。しかし、ごみを乾燥させることを考えたとき、特に生ごみを乾燥させることは難しい。なぜなら、生ごみ中の水分は多くが細胞膜中に含まれており、その外にある細胞壁を壊さない限り細胞膜中の水分を蒸発させることはできないからである。一方で水蒸気加熱プロセスでは、加水分解により細胞壁を壊すことで水分が細胞外に出て、自然乾燥させることも可能となるのだ。また、生成物が粉末状の物質であるので破碎する手間もかからない。よって、機械による簡単な脱水と通風などの自然乾燥の組み合わせだけで乾燥が完了するのだ。

2つ目は、ごみの処理後に得られる生成物が燃料として販売可能な点である。これは、生成物の組成や状態が石炭に似ているためである。以降では水蒸気加熱プロセスにより得られる燃料を固体燃料と呼ぶ。先ほど述べた通り、このプロセスでは生成物の乾燥にエネルギーをほとんど必要としないことにくわえ、加熱に使用した水蒸気が水に

戻る際に放出する熱を利用できる。そのため、ボイラーで高温高压の水蒸気を生成するのに必要なエネルギーは、生成した固体燃料の約15%を燃焼させることで自給することができる。これにより、残りの約85%の固体燃料は製品として販売できるのだ。この処理方法は余分なコストをかけずごみを資源に変えることのできる画期的な技術である。ここ10年で石炭の価格が約2倍になるなど、燃料価格が近年高騰している。そのため、先進国でも価値のある技術だが、経済規模の小さい途上国では特に有用な技術だといえる。

3つ目は、得られる固体燃料がクリーンな点である。石炭や石油などの化石燃料を燃やす場合、燃料中の硫黄も一緒に燃焼するため、排気ガス中に硫黄酸化物が混入し公害を引き起こす可能性がある。しかし、ごみに硫黄はほとんど含まれていないため、固体燃料は燃焼時に硫黄酸化物を排出しない、より環境にやさしい燃料として利用できるのだ。くわえて、ごみの大部分が生ごみや紙ごみなどのバイオマスであることにも注目できる。このバイオマスの原料となる植物は、生育過程で二酸化炭素を吸収する。そのため、バイオマスを燃やして発生する二酸化炭素は、もともと植物が吸収していたものに相当するので、燃焼させても大気中の総二酸化炭素量は変化しないと考えられる。この考えをカーボンニュートラルといい、固体燃料は石炭などの化石燃料よりも排出する二酸化炭素が少ないと見なせるのである。このように、固体燃料は環境面でも優れた利点をもっている。

以上のように水蒸気加熱プロセスは利点が多い画期的な処理方法だが、2つの課題が存在した。その一つが、プラスチックに含まれる塩素をどのように除去するかである。プラスチックの処理において、塩素を含む燃料を燃焼させる際に、塩化水素やダイオキシン類などの大気汚染物質が発生してしまうので、塩素を取り除く必要がある。塩素を除去する方法について、先生はプラスチックに水蒸気加熱を施すと、脱離した塩素が水蒸気と一緒に回収できると考えていた。ところが実験すると、反応後に抜き出した水蒸気の中には塩素が含まれていなかった。そこで、生成物を詳しく分析してみると、プラスチック中から脱離した塩素

の多くがごみ中のアルカリ成分と反応し、水に溶ける無機塩素に変化して生成物に混じっていることがわかった。つまり、生成物を水洗処理することで塩素の除去が可能となったのだ。その結果、硫黄のみならず塩素も含まない、クリーンな固体燃料の生成が可能となったのである。

もう一つの課題とは、固体燃料を用いることでボイラーの性能が落ちることである。この原因は、石炭から排出される灰に比べて、固体燃料から排出される灰にはナトリウムやカリウムが多く含まれているために、固体燃料を燃やした際に残る灰の融点が低いことにある。融点の低い灰はボイラーの内壁に付着しやすくなる。付着した灰は層を形成しながら次第に成長し、炉の伝熱性の低下や開口部を塞ぐなどのトラブルが生じることがある。その結果として、ボイラーの効率低下を招くことになるのだ。このため、既設の石炭燃焼設備では、固体燃料を単体で燃焼させることができないので、石炭に1割程度のみ混ぜた状態でしか使用できない。先生は現在、塩素の除去と同じ原理で無機物としてカリウムを除去できるかを研究している。もしも除去できれば、固体燃料を単体で使えるようになるだけでなく、除去したカリウムを豊富に含んだ洗浄水を液体肥料として販売することも可能である。

課題はあるものの、水蒸気加熱プロセスを利用したごみ処理方法では、手間やコストを省きつつ石炭に代わる環境に配慮した燃料を生産することができる。今回紹介したごみは、プラスチックや生ごみなどが混ざった混合ごみであるが、このプロセスをバイオマスのみを用いた場合、生成物は肥料や飼料として利用できる。この技術は発展途上国で特に有用だが、さまざまな利点をもっているため、日本国内でも徐々に普及し始めている。

国際色豊かな研究室

吉川研究室では、これまでに紹介してきた研究だけでなく、ごみから燃料、電力、肥料など付加価値の高い製品を生成する技術の研究開発を行っている。研究は国内外のさまざまな企業や大学、研究機関と共同で行なっているため、吉川研

究室に所属している学生の多くが、海外を含め学外での共同研究に参加しているという特徴がある。

くわえて、さまざまな国籍の学生が所属していることも吉川研究室の特徴の一つである。主にアジアの発展途上国からの留学生が多く、その人数は日本人をはるかに上回る。そのため日常会話やゼミは英語で行われている。

また、吉川研究室には海外から共同研究のオファーが来ることがある。例えば、紅茶で有名なスリランカでは、現在紅茶の栽培に用いる化学肥料を輸入に頼っているため、肥料がとても高価であることが問題となっている。先生はこの問題を解決してほしいとの依頼を受けた。そこで水蒸気加熱技術を用いて茶葉の残渣から有機肥料を生成する研究をスリランカからの留学生に担当させることにより、現地の企業と共同で実証実験を行っている。このように、先生は留学生に対して、自国が抱える問題の解決を目指した研究テーマを与えることもある。

現在、研究の多くは実用化の段階にさしかかっており、吉川研究室では技術のさらなる進歩を目指して、研究室での基礎研究と国内外のプラントを用いた実証研究の両方が行われている。プラントで発見した新たな問題点を研究室に持ち帰り、基礎実験を行うことで問題の解決策を得る。そして、その解決策を実際のプラントに反映させていくのだ。先生は定年退職までの間に、今まで行ってきた研究がそれぞれに花開いて世界中で使われることが目標であると語った。燃やして埋めるだけのごみから、付加価値の高い製品へと転換する。先生の長年の研究成果を至る所で見ることができる日は近いのかもしれない。

執筆者より

取材の際には、記事で紹介した内容以外にも大変興味深い研究のお話をたくさん聞かせていただき、勉強になりました。ごみから燃料だけでなく、肥料までも生成できるという話がとても印象に残りました。最後になりますが、大変お忙しい中で快く取材に応じてくださった吉川先生に、心より御礼申し上げます。(沖原 麻耶)