

## バイオマスエネルギーの有効活用への取り組み

特集 1

大阪大学燃焼工学研究室  
教授 赤松 史光

### ●はじめに

本日は大阪大学燃焼工学研究室が取り組んでいる「バイオマスエネルギーの有効利用」を通じ、産学連携をすることによってイノベーションをおこし、持続可能社会や中山間地域の活性化などをクリアするためにフレンドシップサロンがどのような役割が可能なのかについて、夢を持ったお話をしたいと思います。昨今、環境問題への対応が大きな課題となっていて、全世界のエネルギーの90%を占める化石燃料の枯渇問題も生じています。化石燃料のクリーンかつ高効率な燃焼技術に関する研究開発が急務であるとともに、化石燃料代替エネルギーとして様々な自然エネルギーが研究されています。その中で本日はバイオマスを取り上げ、どのような可能性があるのかを話させていただきます。

### ●私の「夢」

映画「バックトゥザフューチャー」に登場するスーパーカー「デロリアン」は、ゴミを食べて走る車です。この夢の車がどんな活躍をするかは映画の中で語られていますが、昔、これに似た車に木炭自動車がありました。天皇陛下もお乗りになられたという木炭自動車は、炭を燃料としてエンジンを動かして動くというものです。我々が提案するのは、炭ではなく木屑を炭に変えていきながら、炭をガス化して発電する装置です。例えば工場等から出た廃材をガス化発電装置に入れて、温水と電気を工場等で利用します。廃材は従来、お金を払って処理業者に処理してもらっていたものを自らのシステムで処理することで処理費が削減され、利益向上にもつなげられます。

このようなシステムを考えるにあたって、世の中にバイオマス資源がどの程度出てくるのかを市場調査しました。発電規模50kWh（家庭用電気50軒分を賄える規模）のバイオマスガス化発電装置をつくるためには、1時間あたり50kgのバイオマス資源が出る所であれば稼働できます。バイオマスはどこ

かから運んでくるのではなく、その場で原料として使って処理費用を削減した上で、さらに電気と温水を取り出すシステムです。装置のコンセプトはシンプルでコンパクト。最終的には、トラックの荷台に積んで搬出地点に自ら行って稼働でき、短時間起動が可能、低コスト・高効率であることを目標に研究開発を進めています。

未来のエネルギー社会を想定した場合、その中にガス化発電装置を組み込み、ガス化発電で出てくる熱と電気を利用するとともに、CO<sub>2</sub>を食物工場で高い濃度で活用、植物を育成すれば厄介者扱いのCO<sub>2</sub>も有効利用ができる。そこで育成された植物を家庭で消費し、食物残渣も森林からの間伐材・原木もすべてガス化発電装置の原料に使うという一連のシステムを組みたいと思っています。これについては、今度のハイテクセミナー（11月8日）「将来のエネルギー社会のあるべき姿」の中で専門家の方に紹介していただく予定になっています。

### ●専門分野の協力と通訳者の必要性

こうしたガス化装置単独でないシステムとして、さらにビジネスモデルとして利益を上げていくためには、いろんな学問分野の協力が必要になってきます。産学連携では、大学と会社では組織形態も異なる



講師 赤松 史光 氏

り、いわゆるバリア（障壁）があるといわれます。日本における大学と会社間のバリアの存在に対し、日本の大学と海外の企業、日本の大学と海外の大学の関係は、比較的連携がうまく行われています。なぜかと言えば、外国同士で得意ではない言語でコミュニケーションを行う際には、相手の意見を真剣に聞こうとします。日本の大学にはない通訳者が、懸命に双方の意思疎通を図ろうと対応します。言語の壁を乗り越えて一生懸命にコミュニケーションをする海外での産学連携に対し、日本国内での産学連携を阻むバリアを超えるために、通訳者という存在があって、通訳者が会社と大学の意向をくみ取り、コミュニケーションの円滑化に関わることが重要ではないでしょうか。いろんな分野のことが分かる人材を、フレンドシップサロンで通訳者として構築し、日本の大学と会社の間に通訳者が立つことによって、産学連携が促進できないものかと考えています。

ガス化発電装置を作った時に、バイオマスエネルギーに関わる研究は無意味だったというような報道がありました。そこには大きな構造的な問題が横たわっていて、現段階の例えばガス化装置は自動車に例えれば1台で1億円もするF1レベルのものを作っている段階に過ぎません。今の系統電力、系統熱エネルギーに比べればコストが2倍、3倍高いから使い物にはならないといった評価がされています。例えば自動車会社では、数百にのぼる関連会社に関わるラインが形成され、もともと1台作るのに1億円かかったものを200万円で作るというシステムができています。エネルギー社会においても、そうしたシステムを構築できるのではないかと、また

バイオマスガス化発電にその可能性があるのなら本当にうれしいと思っています。

### ●燃焼工学研究室の紹介

ここで、燃焼科学研究室ではどんなことをしているのかについて、簡単に説明します。我々は数年前まで燃焼に関する基礎研究しかやっていませんでした。小さなバーナーを対象に計測装置をつくり、コンピュータのシミュレーションを使って、そこでどんなことが起こっているかを具体的なターゲットを持たないままに研究してきました。最近、研究室でモットーにしているのは、高効率・クリーン・高付加価値の燃焼を、エネルギーとして利用するだけでなく金属性ナノ粒子をつくらせて、燃焼で材料をつくらせようとしています。研究テーマですが、「高効率かつクリーンな燃焼技術の研究」として、人工衛星のクラスターや航空機用ガスタービンエンジンの研究のような、従来の化石燃料を使った燃焼技術高効率化に対する研究を行っています。また、「化石燃料代替エネルギーに関する研究」として、バイオマスエネルギーの有効利用に関する要素技術の研究を行っています。「機能性微粒子の燃焼合成」では、10 nm 以下のサイズにすると量子サイズ効果が出て、レアメタルに代替できるものができますので、材料分野での有効利用をしたいと考えています。

研究室では、モデル燃焼室という小さな装置での研究しかできていないというのが現状ですが、その中でとくに注目していただきたいものがあります。それは「植物育成用高機能チャンバーを用いたバイオマス生産」というもので、これは特許を申請中の



段階にあります。我々が生きている環境は1気圧、CO<sub>2</sub>濃度 380 ppm、酸素濃度 21%という状況がありますが、この環境が植物にとって最も育つ環境かといえは疑問です。例えば恐竜全盛期だった時代には、シダ植物のような巨大植物が存在していて、その時代のCO<sub>2</sub>濃度は今の何十倍もあったといわれています。そのような環境を密閉容器の中で実現し、発光ダイオードを使い最も光合成が促進されるような光源を開発中で、CO<sub>2</sub>も有効利用しようといった試みにも取り組んでいます。

### ●化石燃料の現状

化石燃料の現状について触れたいと思います。石油、LNG（液化天然ガス）、石炭、ウランなど化石燃料による世界のエネルギー供給可能量（可採年数）は、数十年から百数十年とされています。化石燃料が世界のエネルギーのどれだけ供給しているかといえば、石油、LNG、石炭をあわせて87%、原子力、水力で13%程度。ですから太陽光・風力・バイオマスといった新エネルギーは非常に少ないということです。可採年で表される石油の埋蔵量は1兆数千億バレルといわれ、その量は富士山1杯分に相当するそうです。富士山1杯分の石油を66億人の人口が分け合っていかなければならないわけです。石油採掘のためにメキシコ湾で2,000mの海底から3,000m掘っている作業の中で事故が発生したように、最近ではかなり無理な採掘を強いられるようになっていきます。

### ●バイオマスとは

化石燃料の代替エネルギーとして、今日はバイオマスに焦点を合わせて話したいと思います。エネルギー分野ではエネルギーの多様化、分散化が言われていて、我々の町の身近な場所に発電エネルギーを創出する所があって、我々自身がエネルギーをつくり、雇用を創出し、まちづくりをしようという動きがあります。バイオマスとは動植物由来の再生可能な資源の総称で、資源作物、未利用バイオマス、廃棄物系バイオマスなどを言います。夢のような話として、例えば50世帯くらいのマンションから出てきたバイオマス系のゴミを有効利用し、エネルギーと熱を取り出して暖房、冷房に使うことも考えられます。

バイオマスエネルギーはカーボンニュートラルといわれています。森林から木質バイオマスを切り出してエネルギー利用として燃やすとCO<sub>2</sub>が出ますが、植物が光合成でCO<sub>2</sub>を固定化することによって、バイオマスエネルギーから出てくるCO<sub>2</sub>は排出CO<sub>2</sub>に算定されないという京都メカニズムが適用されます。この特性を活かすことでCO<sub>2</sub>排出量の削減につながるといわれています。森林の現状はといえば、価格の安い洋材に押され国内需要がないために、伐採期を迎えているのに枝打ち・間伐ができない人工林が放置されるといった状況にあります。日本の森林はヨーロッパとは異なり急斜面であるため、間伐をしないと日光が地表に届かず、下草が枯れるとともに土が流され、地表がむき出しになっています。間伐しても搬出されないために倒木のまま放置され、大雨の時には山は保水するどころか材木もろとも土石流を発生させることが危惧されています。

### ●バイオマス・ニッポン総合戦略

政府もバイオマスの利用促進のために「バイオマス・ニッポン総合戦略」（平成14年12月閣議決定）を打ち出しました。その概要は、①地球温暖化防止、②循環型社会の形成、③戦略的産業の育成、④農山漁村活性化等の観点から、省庁横断型のプロジェクトとなっています。平成18年度の各省庁のバイオマスエネルギー関連の予算は約8,500億円。2010年までに原油換算で34万kLを発電に、308万kLを熱利用にというように発電と熱利用にかなりの期待が込められていましたが、最近ではあまり成果が上がっていないと報道されています。



## ●燃焼の基礎研究からバイオマスエネルギーの有効利用に関する研究に至る経緯

私は燃焼の基礎研究だけをしていたのですが、先輩から「あなたは燃焼の研究をしているから化学反応などのことが分かっている。1～2年のうちにバイオマスの研究ができるようにしてあげよう」と言われ、先輩はその後にバイオマスエネルギーの有効利用に関する研究課題を持ってきてくれました。私はアプリケーションがある中で課題に関係するどんな基礎研究分野があるのかを考え、このガス化発電装置をやってみることになりました。

バイオマスをやるにあたって、基礎研究と応用研究について多くの方の話を聞きました。その中でいろんな感銘を受けた言葉がありました。例えば、①基礎研究者もアプリケーションから自由ではない、②アプリケーションが無い基礎現象は研究対象にならない、③開発研究は新しいアプリケーションを創造する、④新しいアプリケーションには新しい基礎研究が隠れている。そして産学連携の入り口としての開発シーズと、それを開発するための基礎現象は表裏一体の関係であり、どちらも知った上でやるのが真の産学連携であるということ学びました。その1つとして学問的に重要だと思ったのは、具体的にゴミを炭にした上でガス化をしていくということ。ゴミには水分や揮発性物質などが含まれているが、炭にすれば99%がカーボンです。カーボンであれば、燃焼工学の反応論が使えます。反応論を使えば、ガス化炉の出口部分で炭と気体の反応だけになると、理屈上での燃焼の説明ができることになります。

## ●バイオマスエネルギーの有効利用

我々が研究しているバイオマスガス化発電は、中外炉工業との共同研究ですが、すでに200kw級というかなり大きな技術があって、それは愛知万博で愛・地球賞を受賞しています。ところが200kw級で24時間運転すると4,800kgのバイオマスが必要になり、どこから運んでこないといけません。輸送費などいろんなコストが嵩みます。そのため、1日400kg程度のバイオマスが出る所で直接、ガス化発電装置を動かしてエネルギーと電気を取り出すことにしました。研究開発課題としては、50kw級の装置をつくることです。ビジネスモデルはないか



と全国的に調べたところ、中小製材工場など50kw程度を使っている工場が6200カ所あって、さらに芝や木などのバイオマスが出るゴルフ場などもあります。ガス化発電システムが移動型になれば、現地で出たバイオマスをエネルギー化することができます。例えば今回の震災のように多くの建築廃材が出たところに行って、その場で熱と電気を供給することもできるわけです。

## ●2段階ガス化炉

どんなガス化炉かといいますと、ロータリーキルン型とダウンドラフト型による2段階化ガス化炉を考えました。ドラム缶が横になりごろごろ回るような、ロータリーキルン型ガス化炉にバイオマスを受け入れます。そこから出てきたガスを取り出すとともに、出てきた形状の整った炭をダウンドラフト炉に敷き詰め、空気を入れてガス化します。ロータリーキルン型はバイオマスのどんなものでも受け入れて発電ができ、さらにダウンドラフト型は生成ガス中のタール含有量が少ないという特徴があって、双方の利点を組み合わせたものです。研究用途的にはロータリーキルンの中で熱分解と水分蒸発が終わり、出てくるのは炭(チャー)だけなので、その後の運転条件は反応工学の知見を用いた理屈上での説明ができます。ダウンドラフトは炭に空気を加えて燃やすため、温度が非常に高くなってタールが出てこない。さらにロータリーキルンは外から熱だけを加えるので、出てくるガスの発熱量が非常に高いという特徴があります。

チャーガス化炉に求められる性能には、①高冷ガス効率、②高カロリーガス、③低タール濃度、④バイオマス処理量および含水率の変動に対して

定常運転するために制御の容易性、などが求められます。そこで、研究室で50分の1スケールのガス化実験装置をつかって実験を行いました。上段のロータリーキルンから出てくるガスを、実際にはガスボンベから供給し、混合ガスをキルンから出てきた時の温度にして実際に炭を充填し、炭が積み重なった中でどのようにガス化するかという研究を行いました。基礎研究としていちばん有効だと思うのは、後半の炭の充填のところの反応がうまくモデリングできたことです。

### ●パイロットプラント

この研究結果を基に中外炉工業では、50倍のスケールアップをしたロータリーキルンとダウンドラフト型によるガス化炉設備を自社の工場につくり、ここにはトヨタ自動車製のハリヤーのエンジンを2台設置しました。ガス化発電に使われるエンジンは通常1,000万円程度しますが、ハリヤーのエンジンは1台80万円。それを2台使うことによって50kwの発電をしました。現在は森林総合研究所が飛騨の高山で実証試験を実施し、技術としてはできているわけです。ところが経済性の評価をするにはエネルギー供給単価というものがあって、これは年間維持管理費を年間の送電電力量と熱供給量をあわせて割ることで算定することになっています。これをkWhに直して算定すると1kwhのエネルギーをおこすのにどれだけのお金がかかるかの試算ができます。巨大な送電線網を持つ系統電力に対して、経済性が無いとだめだという話になりますが、じつはそれだけではないと思います。この技術を一品物で作ったということは、今のところコストが10倍かかっていたとしても、量産化のメリットを出せば可能



性は十分にあると思います。

しかし、そこまで行くための組織が全くできていないのが現状だと私は感じています。例えば事業採算性では、設備費用が5,000万円、公的補助50%、投資費用が2,500万円、これを15年で償却したとして、年間170万円の年間収入があれば今の政策でも十分に成立するという試算もできています。太陽光発電では、全量買取制度として1kwh当たり35円で買い取るという法律が近く成立することになっています。ところがバイオマスについてはこうした法律が適用されていませんので、こうしたことが可能になったらもっと促進ができるはずです。

### ●バイオマスを液体へ

一方で、電気と熱は蓄えることが難しい技術分野なのですが、当研究室ではバイオマスガス化装置で出てきたガスを液体化する研究を始めています。液体化には、南アフリカのアパルトヘイト問題への制裁として石油の輸入を禁じられたことをきっかけに開発されたフィッシャー・トロプシュ合成反応を用いることにしています。同合成反応で液体化するにはCOとH<sub>2</sub>の比が1:2の 때가ベストだとされていますが、これを反論的、基本的考察をすることによってCOとH<sub>2</sub>の比が1:2になるようなガス化炉を作りたいと思っています。

### ●産学連携研究の重要性

1990年代に企業の中央研究所が注目され、中央研究所では基礎研究をやって、先行開発・量産開発とは別の研究をしていました。「中央研究所の時代の終焉」という本によると、リニアモデル（基礎研究→先行開発→量産開発）は幻想であって、基礎研究と製品開発との双方の立場を理解した上での産学連携研究が必要だとしています。先ほども話したように、そのためには大学等の基礎研究と応用研究の技術者の間を取り持つ通訳者が絶対に必要だといわれています。大阪大学には社会人博士課程があり、大学での研究にどんなことを望むかということ、メーカーの方は試行錯誤による開発、製作上の問題、コスト・採算性に追われて基礎的なことができないということで、大学では専門知識、理論的アプローチのところをやっていただき、その間で研究をしたいということでした。

### ●未来のエネルギー社会へ向けて

研究の分野ではいろいろな学会があり、例えばガス化発電をするときに全ての要素の研究をしようとしたら、いろんなことを発表している全ての学会に行かないといけません。燃焼でもいろんな分野があり、協力し合うことが産学連携の醍醐味であると考えています。さらに大学と会社の間のゲート・キーパー（通訳者）をつくっていただくことによって、いろんな工学の分野が連携できます。ある技術ができたとしても、それを量産化し社会に普及させるためには、経営者、研究者、学生、弁護士、弁理士、建築士、税理士、農業家、林業家、公認会計士といったような、いろんな人たちがさらに大きなタッグを組んでこのようなシステムを形成する必要があります。そうすれば、今は1億円のフェラーリのような製品であっても、我々の身近に感じられる製品として普及できるようになるのではないかと考えています。そうしたシステムを通じて、我々の住んでいる所でエネルギーをつかって、地産地消を行いながら、エネルギーの多様化を図っていく社会にしたいと考えています。

システム実現のための課題として、例えば木材の収集、ガス化効率の向上、発電用エンジンの高効率化、災害時のリスク管理を含め様々にあります。こうしたことを考えるには、フレンドシップサロンで目指している「友達になる」ことが重要になってきます。

本田宗一郎さんが残した言葉が、私の心に残っています。「人間が、いろんな問題にぶつかって、はたと困る、ということは素晴らしいチャンスなのである。その人が過去に積み重ねてきた知識を総動員し、最良の手をうつ判断をしなければならぬからである。思いあぐねて人の手をかりることもあるだろう。そこで、自分の力の足りなさを自覚し、知恵や力をかしてくれる他人の存在を知るのもいい経験である。そうした中で成長していくためには、素晴らしい友達をつくることのできる能力、謙虚に他人にものをたずねることのできる性質が必要であろう」。本フレンドシップセミナーでこうした機会をつくっていただいたことが、もっともありがたいことだと思っています。ご清聴、ありがとうございました。

