

(2012年7月30日講演)

1. バイオマスのメタン発酵によるエネルギー拠点の形成

日本大学大学院教授、東北大学名誉教授 野池達也オブザーバー

こういった目的の高い、新エネ地域再生研究会発足の第1回に、私のような者をスピーカーとしてお招きいただき大変光栄に存じている。「バイオマスのメタン発酵によるエネルギー拠点の形成」ということであるが、私は東北大学の学生時代の大学院修士課程のときにメタン発酵の研究を教授から授かった。その当時は下水処理場、し尿処理場以外では日本ではメタン発酵が普及しておらず、その後ますます少なくなり焼却処理主体となったため研究者も限られ、メタン発酵の研究を学会で発表するのは私だけであった。非常に自信がなく、教授に研究テーマを変えたほうがいいのではないかと申したら、そんなことはない、この方法は欧米では古くからの伝統ある方法であり、下水処理した結果出てくる汚泥を正反対の嫌気性の微生物で分解処理してエネルギーを取り出すという方法が、必ず日本でもクローズアップされるようになるからやめてはならないということをやってきた。今は天に在られる先生に言われたことがその通りだということを感じている。本日はこの中で、特に日本におけるメタン発酵の最近の動向と高効率メタン発酵の技術についてお話したいと思う。

(バイオマスエネルギーへの期待)

私どもは、震災復興のためにバイオマスを役立ててもらいたいということで、全国的に、いろいろなところでわが国のメタン発酵の理解と普及を願って活動をしている。地球温暖化防止のため低炭素社会に向けて、クリーンエネルギーをつくるメタン発酵がようやく認められてきたわけである。ことに、再生可能性エネルギー生産の必然性ということで、レジュメには書いていないが化石エネルギーは2037年には枯渇し、ウランでさえも2055年に枯渇するというデータがアメリカのエネルギー情報局で出されたそうである。メタン発酵については、これまで焼却処分されてきた生ごみ、下水汚泥のほか、家畜排泄物を扱う北海道以外のところでは、あまり活用されてこなかった。そういったものをすべて含めてメタン発酵を行い、エネルギーを得ることにより、われわれは後世の人たちに、ぜひ化石エネルギーを1年でも長く使ってもらうように残していかなければいけないと思っている。先ほど放射性物質の話もあったが、放射性物質に汚染された農作物をメタン発酵しようということで、福島県の伊達市霊山町下小国に小さなメタン発酵装置をつくった。そこで放射性物質にあたった農作物や買ってもらえないような柿などを基にしたメタン発酵実験

を、NPO と一緒に行っている。やがては、地方で、ことに福島などで利用できない資源を基にバイオマスのエネルギーをつくっていきたいが、幸いバイオガスには放射性物質は移行しないということである。メタン発酵槽の中に放射性物質を閉じ込めてしまうということで、除去機能もあるのではないかとということで研究を行っている。

地球温暖化問題は相変わらず続いており、そのためにもメタン発酵を考えているが、再生可能エネルギーにはご存知のように、水力、地熱、風力、太陽光がある。今わが国の自給エネルギーのうちの4%は水力発電が担っているわけだが、地熱、風力、太陽光は最近行われてきた新しい産業である。その中でわれわれのバイオマス発電については、わが国は美しい緑に67%も覆われた国であり、こういった天から与えられたバイオマス資源を利用してエネルギーをつくるとともに、発電以外にも廃棄物処理や肥料生産などいろいろな機能があるので、そうした意味でもバイオマスにわれわれは着目していくべきだと思っている。再生可能エネルギーのうちバイオマスだけは、風力や太陽光と異なり、電力、液体、気体、固体、マテリアルのすべてにおいて再生可能なものであり、太陽のエネルギーがある限り枯渇しないエネルギーである。植物として生命がつくり出すものであり、燃焼しても二酸化炭素を増大させないカーボンニュートラルなエネルギーであるということは言うまでもない。

これは最近の朗報だが、再生可能エネルギー特措法により、再生可能エネルギー電気の買い取りが進められるようになった。陪席している地域環境資源センター・バイオマスチームの岡庭リーダーが、私たちのバイオマス事業推進協議会の代表をされて交渉にあっている。われわれの分野はバイオマスが39円/kwh というところまで認めていただいたわけだが、これは実施にあたりさまざまな問題があり、そういったことについてはあとで岡庭リーダーがご紹介くださると思う。いずれにせよメタン発酵の電気の値段が4~5円/kwh ぐらいで、一躍こういったいい値をつけていただけたことは朗報であり、ぜひ実施できるように努力していかなければならないと思う。

(バイオマスのメタン発酵)

メタン生成古細菌といわれる35億年前にこの地球上に現れた最古の生命が、空気のないところで発生し、その糸状性のもの、連球状のものが私たちのメタンを生成してくれるわけであり、これは人畜無害でわれわれの体に全然危害を与えない有益な微生物である。バイオガスプラントというのは、下水汚泥や生ごみ、家畜の糞尿のような廃棄物系のバイオマスを無酸素の状態に閉じ込め加温すると、嫌気性細菌、メタン生成細菌が活動し、バイオガスを発生する。そのバイオガスはメタンが60%、二酸化炭素が40%ぐらいのものであるが、そのまま利用できるのはガス発電のエンジンである。燃料電池にするには少し濃縮しエネルギー化をした方がよい。さらに発酵物は液肥として大地に循環し、農業利用

ができるのである。何といてもメタン発酵の効果は、バイオマス燃料が生産できるということと、廃棄物系バイオマスの減量効果が大きいということで、後者の減量効果は非常に重要であり、大量の下水汚泥や畜産廃棄物、生ごみを非常に小さな量にすることができる。なぜかというとその分だけバイオガスができるからである。

さらに病原性微生物の死滅効果が大きく、発酵液はそのまま液肥として利用できるのも、コンポストをつくる際にも臭気が出ず、非常に短い期間でのコンポストが製造できるといったたくさんのいいところがあるわけだが、なぜか日本ではこのようなことに対して関心が持たれてこなかった。メタン発酵によるバイオガス生産の特徴は何と言っても材料で、メタン発酵の材料は全国どこにおいても常時豊富に存在しており、われわれの排泄するし尿、生ごみ、畜産廃棄物など目の前にあり、決してエネルギーをつくるための資源作物をつくる必要がないのである。バイオガス原料は、種類を選ばないし、食料原料とも競合しない。トウモロコシやお米などを使ってエタノールをつくってしまうと食料問題になる。アメリカなどではトウモロコシをたくさんエタノールにしているので、それだけ家畜の飼料もできず、飼料が高騰し世界的な問題になっている。食糧難の人々に対しても大きな影響を与えているが、私たちは、これまで焼き捨てていた廃棄物を材料としてエネルギーにするので、その点は非常に有益なのである。

製造に要するエネルギーが極めて少なく、嫌気的条件、温度、滞留時間を保持することにより、誰にでも容易にバイオガスを生産できる確実な技術であり、農家の庭先にもつくることができる。私も今、福島県伊達市でバイオマスのメタン発酵実験を行っているが、原理さえちゃんとすれば簡単にできるのである。バイオエタノールやバイオディーゼル、バイオガスといったそれぞれのバイオマスからできるエネルギーだが、その中でバイオガスのプロセスだけは非常に単純であり、廃棄物系バイオマスをメタン発酵により発生させることができる。バイオエタノールやバイオディーゼルをつくるには複雑なプロセスと外からエネルギーを使わなければならない、エネルギーを入れて少しのエタノールができるわけである。農水省も世界的な動向と捉えてバイオエタノール事業をひところ巨額なお金を投じて行っていたが、本当にもったいないことであった。私は最初からやれるわけではないと思っていたが、結局、メタン発酵中心のバイオマス産業都市をつくるという政策に達したわけである。

バイオガスプラントの特徴は、太陽光、風力と比べて、また、堆肥のような肥料をつくるプロセスと比べて、バイオガスのプロセスだけは廃棄物処理能力、エネルギー生成、二酸化炭素削減、有機肥料製造と4つの機能をすべて持っており、太陽光や風力に比べて気候や気象の影響を受けない安定的なエネルギー生成が可能である。わが国にどのぐらいのバイオマスが今発生しているかというところ、2010年発表の下水汚泥、食品廃棄物、家畜排泄物に加えて生ごみを計算してみたところ、ほとんどがエネルギー生産のために使われている

ない。下水汚泥は建設資材、堆肥、あるいはセメントの材料に使われている。食品廃棄物の80%は焼却され埋め立て処分されており、エネルギーになるものを焼却炉で焼いていたわけである。畜産排泄物は、北海道のほうではメタン発酵を行っているところが50カ所ぐらいはあるのだが、本州のほうではほとんどは、直接に農業の堆肥として使われている。

わが国で年間に発生するバイオマスをもし全部メタン発酵にするとしたら、どのぐらいのエネルギーになるのか計算してみたところ、原油換算で458.1万kLである。これを電力に換算すると188億5,185万kwhで、471万3,000世帯への年間電力供給ができるという計算になる。もっと原単位を高くすればもっと大きくなる。出力100万kw原子力発電所の発電量と比べると、私たちの廃棄物系のバイオマスのメタン発酵により、100万kw規模の原発の2.15基分に相当する電力が生まれるということである。小さな電力と思われるかもしれないが、そうでもないのである。原子力発電所2カ所分になるので、福島第一原子力発電所は一号基が46万kwであるので、その約4倍の電力を生み出すことができるのである。

(わが国におけるメタン発酵の現状)

わが国のメタン発酵の現状をみると、北海道は牧場が多いので家畜排せつ物のメタン発酵が最近多くなっており、全国的に生ごみも増えてきたが、何と云っても下水処理場における下水汚泥のメタン発酵が多い。今2,100カ所ほど下水処理場がわが国各都市にあり、そのうちの305カ所がメタン発酵施設を持っているが、実際に動いているのは280カ所ぐらいである。そのほかに全部合わせるとわが国で約600カ所とみられるが正確な統計はまだない。ところがドイツは現在6,000カ所あり10倍の違いがある。それは政策の違いである。古くから欧州では発達しており、普通の安い電力を使ってバイオマス電力を生産して売り、その差額で非常に栄えている。中国でも大連などの寒いところでは無理なのだが、家庭で何の手も加えずにメタン発酵ができ、台所やお風呂の燃料にしている。私も行って見てきたが、4,300万基もある。これほど確実な技術なのである。

私は若いころ旧建設省（国土交通省）にいて土木研究所で働いていたので、いつも国土交通省のメタン発酵の状況を紹介しているが、国土交通省がメタン発酵について一番前向きで熱心な事業を今も行っている。その1つが、各下水処理場にあるメタン発酵槽で、これまでは下水汚泥だけメタン発酵していたのだが、周辺の生ごみや公園の剪定廃材、家畜廃棄物を持って来てここでたくさんのエネルギーをつくるために使っている。新しくメタン発酵槽をつくらなくても、既存の下水汚泥メタン発酵槽でより多くのバイオマスを生み出すという政策を進めており、それを混合メタン発酵と言っている。混合という意味は本来の下水汚泥に対して他のバイオマスも混ぜてメタン発酵するということで、その混合消化がここでできるということである。下水汚泥だけをメタン発酵する場合と生ごみだけを

メタン発酵する場合には、それぞれいろいろ長所短所はあるが、下水汚泥に対して生ごみを10～15%混合することにより、発生バイオガスは2倍になるという結果が国土交通省の実証事業（LOTUS Project）でわかっている。

この事業の第1号が石川県珠洲市の過疎地帯にある浄化センターだが、下水処理場量が豊富なところであり、ここでメタン発酵を行い、5種類のバイオマスを投じて電力を起こしている。ここには魚のアラなども入っており、消化汚泥を乾燥して農業用肥料として提供し、農家の方々が予約して入手するほどに人気がある。その次は、山形市浄化センターである。熱心にやっているところなのでご紹介するが、古い既存の下水処理場の汚泥消化槽を利用してたくさんのバイオガスを生産し、燃料電池を使って発電している。バイオガス発電機を使っているが燃料電池も使っており、非常に電力生産量が多い。下水処理場で使う電力量の61.6%はメタンガスからの電力であり、どれだけ山形市の財政に効果を与えているかわからない。通常どんなに努力してもメタン発酵からの電力は30%と言われていたが2倍も生産し、処理場で使う電力を補っている。その次は熊本県八代北部流域下水道の熊本北部浄化センターである。燃料電池を使って電力を起こしている。山形市ほどではないが、46%バイオガスからの電力でやっている。燃料電池を使っているので発電効率が非常に高い。燃料電池を使っている下水処理場は昔、横浜市がやっていたが、横浜市の燃料電池が耐久年限が来て使えなくなったので、現在は山形市と熊本の処理場だけであるが、これをぜひ将来普及していくべきではないかと思っている。

それと、何といっても一番模範的なのは神戸市の東灘下水処理場である。ここでは阪神淡路大震災ですべて破壊されたが、復興のシンボルとしてメタン発酵をつくった。非常にたくさんのガスが出て、半分ぐらい余るということでガスの生成装置をつくり、天然ガス自動車としてメタン濃度を98%に濃縮し、天然ガス自動車を公用車、バス、ごみ収集車、トラックに使っている。都市ガスへの導入も行い、2,000世帯の一般家庭でも直接メタンガスを使っている。バイオガスステーションが市民の方々に使われていて、市バスや宅配便などに使われており、行って見て驚いた。また、長岡市では国土交通省出身の市長が非常に熱心で、各家庭の生ごみを全部集めて電力にするという全国で初めての試みを行っている。この生ごみはもちろん企業の生ごみもあるが、長岡市全体の家庭からも集めるという究極の生ごみ保有エネルギーの回収ということで、全部電力に換えているというプロセスを今つくり上げており、2013年に完成する。市民の方々のごみ分別に対する理解を得やすいように、赤ちゃんや老人の紙おむつを生ごみと一緒に捨てても分別機が選別するなど、いろいろな方策を考えて生ごみを集めようとしている。メタン発酵消化液は脱水し、脱水汚泥は焼却して発電の燃料にすることにしている。傍らに焼却場がある。

(高効率メタン発酵の技術開発)

新しい技術開発のためには、どうしてもメタン発酵の有機物の分解のメカニズムを考えなければ無理である。バイオマスからメタン発酵によってメタンと二酸化炭素になるわけであるが、その間に非常に複雑な嫌気性細菌の分解過程がある。まず、大きなバイオマスを可溶化、加水分解し、酸発酵し、その結果メタンにするわけで、大きく4段階になっている。2つに分けると酸生成相とメタン生成相で、このどこを高速化すればメタン発酵の効率化ができるかという研究を、何年間にもわたってたくさんの学生と一緒にしてきた。研究をして得た結論として、例えば炭水化物のうちのグルコース、でんぷん、セルロース、酢酸を全部それぞれ材料にしてメタン発酵した結果、分解速度の一番遅いのがセルロースの分解で、1.11 という分解速度であり、セルロースの分解はそれを可溶化し、細菌が食べやすいように促進することが重要だということがわかった。速度の順はグルコース、でんぷん、酢酸、セルロースで、セルロースの分解を促進することが高効率化の基本である。私どもの行った研究はオゾン処理を用いた高効率嫌気性消化システムである。普通のメタン発酵は35℃で行われているが、55℃の高い領域で分解する力を持った高温細菌を加えると分解速度が増大する。従来の35℃のメタン発酵から引き抜き、オゾンで分解して微生物が分解できないものをオゾンで酸化して小さなものにするなどすれば、これまで50%ぐらいの有機物分解率だったものが70~80%ぐらいまで増大できる。

下水道事業団の研究では、メタン発酵の中を引き出し170℃、30分で可溶化するが、170℃、30分という結果は、私どもの研究室で生み出した成果であり、これを下水道事業団が採用し、効率化の技術を確立したのである。この技術は中国の方々に関心を持たれており、ぜひこれを実行したいということまで言われている。これを使うと分解率が上がり、有機物分解率は普通50%以下であるが70%ぐらいの分解率になるので、もっともっと高めていきたい。バイオガスの発生率も20~40%ぐらい増加する。なお、担体充填型高速メタン発酵技術というのは、メタン発酵の中に細菌を濃縮する担体を入れるものである。しかも55℃の高精度のメタン発酵槽を使って行うという技術開発も行われた。これは先ほどの熊本県八代北部浄化センターで行ったもので、本日の第一回研究会に出席しておられる塚原さんの勤務されているメタウォーター社によって開発された。燃料電池も同じ処理場でやっている。メタン発酵の中に担体を入れると滞留時間が非常に短くなり、普通20~30日の滞留時間が5~10日に短縮できる。担体充填型消化タンクでは、担体を詰めて細菌を濃縮してメタン発酵をするのである。これも画期的なもので、世界でも初めてだと思うが、高速メタン発酵では分解率も非常に増大している。

国土交通省が最もメタン発酵に対して熱心な省庁であり、現在新たに、B-DASHプロジェクトを行っている。2011年から3年間で、東日本大震災で国の財政状態の厳しい時にかかわらず、新しくB-DASHプロジェクトを立ち上げ、最初は大阪市中浜下水処理場と神

戸市東灘下水処理場で2つのメタン発酵の高効率化の新しいプロジェクトを行っており、今それが盛んになってきたところである。大阪市中浜下水処理場は、メタウォーター社でやっているのだが、超高効率固液分離技術を用いたエネルギーで、時間の関係で詳細は省略するが、先ほどの担体を入れた高速のメタン発酵を開発し、今大きなプラントをつくってやっている。もう一つは神戸市の東灘下水処理場である。阪神淡路大震災で壊滅的な被害を受けたが、メタン発酵をつくったおかげで、神戸市全体がメタン発酵を全国に向かって発信していこうと燃えている。これまではコンクリートのメタン発酵槽が多かったが、鋼板製のメタン発酵槽をつくった。このほうが小規模の発酵槽もつくりやすく、工期も短いということでもうでき上がっている。そこに何を入れるかということ、神戸市のB-DASHプロジェクトにおいては、「こうベスイーツバイオ」といい、神戸はお菓子工場が多いのでお菓子工場からのエネルギー状態の高いバイオマスと、「こうベグリーンバイオ」といい、神戸には六甲山を初め公園がいっぱいあり公園で切った木を切り刻んですりつぶしてメタン発酵槽と一緒に入れるという、もう何でもエネルギーを回収するという姿勢で、これが成功することがわが国におけるメタン発酵のさきがけになると思うので応援している。

(バイオマス事業化戦略)

最後に、バイオマス産業都市の構築ということで、バイオマス事業化戦略が今、案としてつくられている。2012年6月に第8回バイオマス事業化戦略検討チーム会合があったが、第9回をもって終了とのことで、8月の月上旬に第9回が行われる予定である。内閣府とほとんどすべての省で協力し合い、それぞれ分担し合い、バイオマス産業都市をつくりたいということ、60カ所の産業都市をつくる構想である。これは各市町村長に推進計画を出させて、採択したら各首長がそれぞれかかわりのあるところ全部が協力し、横割で計画を実現するというものである。

次にバイオマス産業都市のイメージについては、地域活性化と雇用創出にもつながるといえる。地域エネルギーの供給のステーションになるのは、バイオガス施設である。木質利用については、農水省の課長の話によると、一番やりやすいのは焚き物にすることだそうで、たくさんの山から木を切り出してチップにするなりして燃やすことがいいということになっている。いろいろ技術開発をしても原始的な方法が一番いいということになった。バイオマス・バイオガスによって地域のエネルギーを供給していくことがバイオマス産業都市のイメージであり、取りかかれそうな市町村があればぜひ推薦していただきたいと言われている。仙台市北方の大崎市で実行できればと思う。大崎市には山があり、畜産も温泉もある。