

## エネルギー問題とバイオマス

世界,特に中東地域の不安定化と,アジア等における工業化の進展に伴うエネルギー需要の拡大や,投機筋の資金流入等の複合的な理由により原油価格の上昇が生じています.日本では,1970年台前半の一次エネルギーに占める原油比率は80%弱と大きく,「石油ショック」と呼ばれる原油価格の上昇をきっかけに過剰反応を起こすことがありました.その反省を踏まえ石油備蓄や依存度抑制策が取られ取り組みにより,現在では一次エネルギーに占める原油比率は50%前後に低下しています.この原油比率を低下させた代替エネルギー源は天然ガスと原子力で,ほぼ半分づつを賄いました.また,今回の原油価格上昇においては,為替が円高傾向となっていることも幸いし,これまでのところ日本国内での混乱は表だってはいません.

「石油製品」のみならず,現在では,身の回りに「物」や「サービス」が溢れており,対価を支払えばこれらを簡単に入手できる生活が当たり前となっています.この結果,生存のために不可欠な要素とも言える「食料」や「エネルギー」でさえ,簡単に手に入るものと考えがちになっているように思えてなりません.しかし,地球規模で見ると既に「食料」や「エネルギー」供給能力は生産や資源の面から「厳しい状況」に近づいているように見えます.これらの問題を悲観的に考えても何の解決にもなりません.今回のテーマは,「エネルギー」問題の全体像をイメージした上で,「バイオマスエネルギー」の将来を考えてみようと言う試みです.「バイオマスエネルギー」のみでエネルギー問題が解決できる訳ではありませんが,工業国という一面にとらわれることなく,本質的に森林国や農業国でもある日本にとって非常に有用なエネルギー資源となり得る,という視点から考えてみたいと思います.

さて,「バイオマス」について考える前に日本における「エネルギー」の現状に関してある程度認識しておくことは有効と考えます.日本の一次エネルギーの供給に関する推移データを表1に示します.「一次エネルギー」という用語はわかり難いのですが,「エネルギーの源」となるものを示す言葉で,例えば石油,石炭,天然ガス等の化石燃料,原子力で燃料として使うウラン,水力・太陽・地熱等の自然エネルギー等の「自然界からの恵み」として人間が利用できるエネルギーのことを言います.

日本における一次エネルギー自給率(カッコ内は原子力を国産エネルギー扱いとしない場合)は20%(4%)に過ぎません.諸外国の一次エネルギー自給率の一例としてアメリカ73%(64%),フランス51%(9%),イギリス117%(108%),ドイツ40%(27%)等の数値と比較すると,日本の自給率の低さはある意味で際立っています.

表1 日本の一次エネルギー供給の推移 (%)

	1973年度	1990年度	2000年度 (速報値)
一次エネルギー供給 (原油換算百万k l)	414	526	604
	構成比 (%)		
石油	77	58	52
石炭	15	17	18
天然ガス	2	10	13
原子力	1	9	12
水力	4	4	3
地熱	0	0.1	0.2
新エネルギー等	1	1	1

(出典：資源エネルギー庁ホームページ)

表1の「一次エネルギー」として「バイオマスエネルギー」という記載はありませんが、「新エネルギー等」の一つが「バイオマスエネルギー」ということとなります。「バイオマスエネルギー」は、国産の一次エネルギーという位置づけにあります。

ところで、「新エネルギー」という用語は日本独自のものであり、海外で通用する用語ではありません。海外では、一般に「再生可能エネルギー」「Renewable Energy (リニューワブル・エネルギー)」と称されており太陽エネルギー、風力エネルギー、海洋エネルギー等が代表例です。すなわち「再生可能エネルギー」は、「一度に利用できる量は限られているが、その限られた範囲内で利用すれば枯渇しないエネルギー源」と理解することができます。日本の一次エネルギーの区分では、水力、地熱や新エネルギー等が該当します。

さて、「新エネルギー」ですが、「新エネルギー法（正式名称：新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法、略称：新エネ法）」において、以下に示すエネルギー源が具体的な「新エネルギー」として扱われています。ややこしいのですが、海外では「再生可能エネルギー」という位置づけにある「地熱」や「一般水力」は「新エネルギー」ではなく、実用段階にある既存エネルギーとして扱われています。すなわち、「新エネルギー」＝「再生可能エネルギー」ではありません。

#### 1) 供給サイドの新エネルギー

- ・太陽光発電
- ・風力発電
- ・太陽熱利用
- ・温度差エネルギー
- ・廃棄物発電
- ・廃棄物熱利用
- ・廃棄物燃料製造
- ・バイオマス発電 (\*)

- ・バイオマス熱利用（＊）
- ・バイオマス燃料製造（＊）
- ・雪氷熱利用（＊）

## 2) 需要サイドの新エネルギー

- ・クリーンエネルギー自動車
- ・天然ガスコージェネレーション
- ・燃料電池

（＊）は、改正「新エネ法」（2003年1月25日公布・施行）により新たに追加。

今回のテーマである「バイオマス」エネルギーは、改正「新エネ法」では供給サイドの新エネルギーとして位置づけられ、「発電」、「熱利用」、「燃料製造」に分類されています。

## 「バイオマス」って何？

「バイオマス」って何？という疑問が沸きます。「バイオ」+「マス」だから、何となく「生物」+「大量」、というような感じがします。ちなみに、改正「新エネ法」では、「バイオマス」を「動植物に由来する有機物であってエネルギー源として利用することができるもの（原油、石油ガス、可燃性天然ガス及び石炭並びにこれらから製造される製品を除く。）」と定義しています。

「バイオマス」は、太陽、風力、水力などとともに、地球の自然環境の中で繰り返し得られるエネルギーであり、「再生可能エネルギー」の一つです。特に自然界で炭素を循環できる点は魅力的です。植物は光合成を行うために二酸化炭素（ $\text{CO}_2$ ）を吸収します。逆に、植物からエネルギーを取り出す過程で $\text{CO}_2$ が排出されます。排出される炭素の源は大気中にあった $\text{CO}_2$ が植物に固定化されたものと考え、燃焼させた分だけ再度、植物を育成すれば大気中に排出される $\text{CO}_2$ 量は増加しないことになります。この性質を「カーボンニュートラル（「 $\text{CO}_2$ 量の増減には中立」の意味）」と呼んでいます。このため、京都議定書で定められた先進各国の温室効果ガス削減目標上も、バイオマス由来の $\text{CO}_2$ は排出量としてカウントされません。

このような特性をもつ「バイオマス」の将来性から、日本政府は、2002年6月25日に閣議決定した「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2002」に、「バイオマス」の利活用を推進する計画を盛り込みました。そして、「化石資源使い捨てニッポン」から脱却し、持続可能な循環型社会「バイオマス・ニッポン」への転身をビジョンとして明確にしました。

2002年7月30日には経済産業省、文部科学省、農林水産省、国土交通省、環境省が共同で、バイオマスの総合的な利活用（動植物、微生物、有機性廃棄物からエネルギー源や生分解素材、飼肥料等の製品を得ること）に関する戦略（「バイオマス・ニッポン総合戦略」）を策定し、2002年12月に閣議決定されました。

このような国レベルでの総合戦略を踏まえて、各省や各自治体を中心に様々なプロジェクトが立ち上がっています。これらの今後の展開を期待している訳ですが、ここで、改めて何故今頃になってバイオマスなのか、という問題の原点について考えておく必要があります。そこで、具体的な国内における「バイオマス」資源の例、年間発生推定量と現在の利活用状況を示します。

表2 バイオマスの種類ごとの年間発生量と利活用状況

バイオマスの種類	年間発生量	利活用の状況
家畜排せつ物	約9,100万トン	約80%をたい肥等として利用。
食品廃棄物	約2,000万トン	約90%以上は焼却・埋立処理, 残り10%未満がたい肥, 飼料として利用。
紙	約3,100万トン	約半分がリサイクル, 残り約1,400万トンの大半は焼却。
製紙工場が発生する黒液	約1,400万トン (乾燥重量)	ほとんどがエネルギー(直接燃料)として利用。
下水汚泥	約7,600万トン	約40%が埋立, 残り約60%は建設資材やたい肥として利用。
し尿汚泥	約3,200万トン	大半が焼却・埋立。
木質系廃材・未利用材	約610万トン	ほとんどが再生利用。
間伐材・被害材を含む林地残材	約390万トン	ほとんどは未利用。
建設発生木材	約480万トン	約60%が未利用で, 残り40%は原材料(製紙原料, ボード材料, 家畜敷料等)とエネルギー(直接燃焼)利用。
農作物非食用部	約1,300万トン	約30%はたい肥, 飼料, 畜舎敷料等として利用, その他は大半が低利用。

(出典:「バイオマス・ニッポン総合戦略」2002年12月)

表2からわかるとおり、日本では、バイオマスの大部分を焼却や埋立で処理してきました。バイオマスに限らず、これまで一般廃棄物、すなわち家庭からのごみはどのように処理されていたのか、ということ振り返る必要があります。

表3 欧米日における一般廃棄物の焼却実施状況比較。

	日本	米国	カナダ	デンマーク	ドイツ	オランダ	スウェーデン
発生量 (百万トン)	50.2 <sup>(*1)</sup>	207	23.2	2.3	43.5	12.0	3.2
焼却量 (百万トン)	37.3 <sup>(*1)</sup>	32.9	1.2	2.0	11.0	2.8	1.7
焼却率 (%)	74 <sup>(*1)</sup> 75 <sup>(*2)</sup>	16	5	23	25	23	55
焼却施設数	1841 <sup>(*3)</sup>	148	17	31	53	11	21
統計年	<sup>(*1)</sup> 1992 <sup>(*2)</sup> 1997 <sup>(*3)</sup> 1991	1993	1992	1993	1993	1993	1991

(出所: 神力達夫著, 活かそう生ごみー生物系資源活用のビジョンと具体策ー, 日報出版株式会社, 2003年10月1日発行, p. 13)

日本は、これまで廃棄物処理と言えどとにかく「焼却」処理に偏りがちでした。「焼却率」の高さは世界的に見ると、極めて特異な存在です。弊害としてダイオキシン発生等も大きな問題となっています。ところで、「焼却」以外の選択肢としては「埋立」がありますが、既に処分場の確保が年々困難になっている状況を踏まえれば、残された方法は発生量の「削減（リデュース）」か、「リユース」、「リサイクル」しかありません。その一例が、「バイオマス」を「廃棄物」ではなく「資源」としての「バイオマス」利活用です。

まず、バイオマスを「エネルギー資源」と捉えて考えてみましょう。国内における年間当たりのバイオマス資源を合計し、エネルギー量に換算すると約1,300PJ（ペタジュール）になると見積もられています（出所：バイオマス・ニッポン総合戦略）。これを原油に換算すると約3,500万キロリットルとなります。表1に示した日本の一次エネルギー原油換算供給量は約60,400万キロリットルですから、国産バイオマスをできるだけ有効活用することで一次エネルギー供給の約5%を賄うことができる可能性があります。この数値を『たった』5%と感じるか、逆に5%『も』と感ずるかは人それぞれと思います。

一次エネルギー供給可能量として5%は少ないという印象かもしれませんが、「廃棄物」を新たなエネルギー「資源」に変えることができれば、回収できるエネルギーのみならず、焼却や埋立処分の削減等の大きな効果が期待できます。CO<sub>2</sub>排出削減にも大きく寄与できます。「新エネルギー」全体での一次エネルギーに占める比率が1%前後という現状を考えれば、とにかく使えるものは何でも活用する、という考えが大切です。そこで、実際の「バイオマス」の利活用法について考えてみましょう。

## 「バイオマス」の利活用

「バイオマス」は一般に、含水系、乾燥系とそれ以外に分類されており、それぞれの特定に応じた利活用方法が提案されています。これらの利活用方法としては、「マテリアル利用」と「エネルギー利用」に大別されます。この中の「マテリアル利用」の具体例を以下に示します。

- (1) 飼料化、たい肥化
- (2) ボード化による再生利用
- (3) 炭化による再生利用

「飼料化」の例としては、残飯のような家庭生ごみ等をそのまま、ペットや家畜の餌として活用する方法があります。しかし、実際には最近のペットの食事は人間以上に贅沢ですし、家畜の餌として用いると言っても、様々な衛生管理上の課題もあり容易ではありません。しかし、素材として活用できる点から、理想的な利用法とも言えます。北海道札幌市や山形県鶴岡市等に導入例があります。

「たい肥化」は、「コンポスト」化とも呼ばれ、家庭用生ごみ処理等への導入も進められ、馴染みのある方法です。しかし、大量に処理する際には、たい肥化された肥料の用途確保も不可欠であり、

決して万能な方法ではありません。

「ボード化」は、その名が示すように廃木材を粉体等として、それを加圧成型して種々の複合材としての「ボード」を製造する方法です。木材の特性をそのまま生かす用途として有望と考えることができます。

「炭化」は、バイオマスを酸素のほとんどない状態で熱分解、すなわち蒸し焼きすることで「炭」を製造する方法です。もちろん、得られる「炭」は材料により異なりますので、用途は素材に応じて検討する必要がありますが、脱臭剤、ろ過材、土壌改良材としての応用も期待されます。富山県富山市や鹿児島県屋久町に導入例があります。

「マテリアル利用」は、「バイオマス」をできるだけ、素材としての特性を生かして活用しようとする方法でした。しかし、「素材」としてそのまま利用できない場合、「エネルギー源」として活用する「エネルギー利用」を行うこととなります。先述の「炭化」の場合でも燃料用「炭」として活用する場合には、この「エネルギー利用」のための変換ということになります。

さて、「エネルギー」としての利活用ですが、これも決して単純ではありません。素材となる「バイオマス」の特性により、適用される方法も様々です。特に、対象物の生物化学変換性と、対象物に含まれる水分量が利用法と大きく関連します。

「エネルギー利用」の方法は種々の視点から捉えることができるため、分類するのも容易ではありませんが、あえて分類すると、焼却処理等として最も身近な「燃焼」、微生物発酵という「生物化学的」反応を利用するメタン化やエタノール化、「熱化学的」反応を利用するガス化やエステル化があります。これらの技術の詳細は、バイオマス関連の書籍やインターネット検索で多くの情報を入手することができます。ここでは、一例として燃焼、メタン化、エタノール化、ガス化、エステル化について簡単に紹介します。

「燃焼」は、燃料として用いる「バイオマス」の直接燃焼、混焼、固体燃料化等に分類できます。いずれの方法でも、「エネルギー利用」としては、「燃焼」処理を行った際に生じた熱を直接利用したり、この熱を用いてボイラーで蒸気を発生させ、蒸気タービンで電気を得たりします。酸素共存下での熱化学反応であることや、エネルギー効率面での制約が課題となりますが、技術的に実証された方法であり、積極的な活用が期待されています。秋田県能代市、宮城県石巻市、岩手県葛巻町に木質系燃料を用いた導入例があります。

「メタン化」は、バイオマスから、燃料となるメタンガス（ $\text{CH}_4$ ）を取り出す技術の一つで、嫌気性菌によるメタン発酵を利用した「含水率」の高いバイオマスに対する処理法と位置づけることができます。最近では、「バイオガス化」という名称で呼ばれています。「嫌気性」発酵というのは、その名のごとく空気のあまりない条件下で行う「発酵」です。具体的には「湿式」や「乾式」等の種々の方法が提案されています。北海道滝川市、宮城県白石市、新潟県上越市や津川市等に主に生ごみを対

象とした「メタン化」導入例が、また北海道別海市、京都府八木町に家畜糞尿を対象とした「メタン化」導入例があります。

「エタノール化」としては、バイオマスを原料とする燃料用アルコール（バイオマスエタノール）の製造があります。バイオマスエタノール製造は海外ではアメリカ、ブラジルで実用化されていますが、今のところ国内ではあまり注目されていません。食料用の農作物でさえ自給が十分ではない状況で燃料用の植物を栽培することは無理との観念が根強いのかもしれません。実際、燃料用アルコールの利用は広い国土を有し、大規模な植物栽培が可能であるアメリカ、ブラジルでさえ、コスト面では不利なため税制優遇など政策措置が取られています。日本でも燃料用アルコールを実用化することになった場合には、広範囲な政策的支援が不可欠なようです。

ところで、バイオマスエタノール原料としてはブラジルではサトウキビ、アメリカではトウモロコシデンプンが利用されています。アメリカの場合、これらの大部分はE10燃料（エタノール10%／ガソリン90%混合燃料）として一般自動車用燃料として使用されています。一方、よりエタノール含有量が高いE85燃料（エタノール85%）が使用できるのがFFV（Flexible-Fuel-Vehicle）と呼ばれている自動車で、ガソリンやエタノール等の種々の燃料に対応できる車と位置づけることができます。アメリカにおけるFFV車の普及台数は2000年で75万台程度です。ちなみにE10は一般車で利用できますが、E85を利用するためにはエンジン仕様の変更が必要となっています。アメリカではこの費用（1台あたり300\$／台）はメーカーで吸収され一般車価格で購入できるようです。

次に、最近注目されている技術として「ガス化」について考えてみたいと思います。「バクテリア」ではなく「熱化学反応」を利用した「ガス化」は、木質系廃棄物等を対象とした「燃焼」処理の代替技術と位置づけることができます。無酸素あるいは低酸素濃度条件で「バイオマス」を熱分解し、メタン、水素、一酸化炭素等を生成させ、これらをガスエンジンに導入し、直接発電を行う技術です。酸素濃度の非常に低い条件での熱分解反応が中心であるため、ダイオキシン生成を回避できることや、ガス化生成物を直接エンジン内で燃料させることで、既存バイオマス発電の中心技術である「燃焼」と「ボイラー」を組合せた既存技術と比較してエネルギー効率面で有利、等の利点があります。ヨーロッパでは、原則として廃棄物「焼却（燃焼）処理」が困難な状況にあることから「ガス化」技術が徐々に活用され始めています。日本でも国産技術の開発が行われるとともに、海外技術の導入等が行われており、今後、これらの技術を用いたプラントが国内に建設されることが期待されます。

また、「ガス化」により得られた「メタン」を改質することで「水素」を製造することも可能であり、将来の「新エネルギー媒体」である「水素」供給技術として期待できます。ここで、「水素」を「新エネルギー媒体」と呼んだのは、太陽エネルギー等の再生可能エネルギーを用いて直接「水」からの水素製造が可能となれば「新エネルギー源」と呼べますが、化石燃料を原料あるいは変換エネルギーに用いて製造した水素は「新エネルギー源」ではなく、既存エネルギー資源の「転換」による「新エネルギー媒体」としての新しい「エネルギー貯蔵」様式と捉える必要があると考えます。ちなみに再生可能なエネルギー資源である「バイオマス」を原料として製造した「水素」は、「新エネルギー媒体」としての新しい「エネルギー貯蔵」様式と捉える必要があると考えます。

「エステル化」としては、バイオディーゼル燃料（BDF）の製造があります。「エステル化」はあまり馴染みのない用語ですが、原料となる油脂にアルコール等を混ぜて反応させ、粘性や引火点の低い物質（エステル）を得て、ディーゼルエンジン用の軽油代替燃料として活用しようという手法です。ちなみにディーゼルエンジンは、吸入行程でシリンダー内に空気を吸入し、高温・高圧に圧縮してノズルから燃料を噴射し、自己着火によって爆発させるタイプのエンジンで、ガソリンエンジンのようなプラグによる点火は必要ありません。BDFは、石油から製造する通常のディーゼル燃料（軽油）とは異なり、バイオ原料を用いた再生可能な燃料です。原料としては植物性あるいは動物性油脂を用いることができ、廃食用油等を原料とすることで、これらの廃油による環境汚染も抑制できることも期待されています。また、BDFは石油起源ではないため、硫黄分を含まず、排出されるガスは硫酸化物（ $SO_x$ ）を伴うことがなく、また浮遊粒子状物質の排出も低減できます。滋賀県愛東市や京都府京都市に廃食用油BDF実証プラントの導入例があります。

## バイオマスエネルギーへの期待

バイオマス産業社会ネットワークのホームページには、全世界で光合成によって植物細胞の総量は年間1,000～1,500億トンで、これらから生産できるエネルギー総量は、現在世界で消費されているエネルギーの総量のおよそ10倍に相当すると記載されています。実際の利用となると様々な制約を受けますが、量的にも決して小さいものではありません。現時点でも「バイオマス」は、世界の一次エネルギーの約12%（大部分は開発途上国）を占め、石油、石炭、天然ガスに次ぐ量となっています。

「バイオマス」は資源循環という観点から非常に理想的なものです。日本では再生可能エネルギー関連の研究開発予算としては「太陽光発電」と「地熱」の比重が大きく、続いて「風力」、「バイオマス」の順となっており、「バイオマス」に対してもかなりの投資がなされています。また、自治体を始めとして種々のバイオマス利活用の取り組みが積極的に行われており、種々の実証プラントが建設、運転されています。「バイオマスエネルギー」の利活用に際しては技術的な課題も決して少なくありませんが、これらの課題を乗り越え、今後、より一層の展開を期待したいと思います。

以上