

3.4.5 バイオマス発電

バイオマス発電は、木材や植物性廃棄物など生物資源を燃料にする発電です。生物資源ですから、燃焼にともなって発生する二酸化炭素は生育段階で大気から吸収した量と同じです。このため、地球温暖化に影響しない再生可能エネルギーとされています。発生電力は、出力と燃料の要件を満たせば国による固定価格買取制度が適用され、長期間にわたって販売価格が保証されます。

バイオマス発電は、石油や石炭など化石燃料による発電と比べていくつかの特徴があります。一つは燃料が生物資源ですから発生源が広く薄く分散しており、収集する費用が大きくなります。このため、発電所は燃料源立地の傾向が強く大規模化が困難です。二番目の特徴は利用できる燃料の種類が多く形状や性状が異なるので、燃料の特性に応じた前処理が必要です。三番目の特徴は、化石燃料より水分が多いので発生する熱量が少なく、

発電効率を高めるのが困難な点です。

1. バイオマス発電燃料の種類

表1に一般的なバイオマス発電燃料の種類と、燃料としての形態を示します。広大な森林資源があるスウェーデン、フィンランド、デンマーク、オーストリアは、木材を発電用に伐採・搬出・集荷しています。日本も森林資源に恵まれています。多くが傾斜した山林にあるので

伐採と搬出の生産性が低く、発電には使用されていません。木材や林地残材(間伐材)を発電に使用する場合は、乾燥して水分を減らし、ペレットまたはチップにして使用しています。製材の残材も発電に使用しますが、製材所が分散しているので規模が小さく自家消費が中心です。樹皮は主に貯木場で発生しますが、水分が多いので単独での発電利用は非常に困難と推察されます。農産物残渣は稲わらやトウモロコシの残渣で、発電に利用する

場合は熱分解でバイオガスに変換し燃焼させます。牛豚糞尿は液体なので、発酵させてメタンガスにします。

一般廃棄物に含まれている紙・繊維・草木・生ごみもバイオマスですから、清掃工場のごみ発電がバイオマス発電に寄与しています。産業系廃棄物では、製紙工場がパルプ廃液を濃縮して液体燃料に変換し、発電燃料に使用しています。出力は1工場で6万kWの事例があるので、全国では100万kWを超えるかもしれません。従来は工場内の利用を目的にしてい

表1. 発電に使用される主なバイオマス燃料の種類と形態

バイオマス資源	燃料の種類	燃料の形態
木材	木材	ペレット・微粉・チップ
	林地残材(間伐材)	ペレット・微粉・チップ
	製材廃材	ペレット・チップ
	建設廃材	ペレット・チップ
	樹皮(バーク)	直接利用
農業廃棄物	農産物残渣	バイオガス
	パーム椰子殻	直接利用・ペレット
	牛豚糞尿	メタンガス
生活系廃棄物	一般廃棄物	紙・繊維・草木・生ごみ
産業系廃棄物	パルプ廃液(黒液)	液体燃料
	製紙スラッジ	バイオガス
	廃食品	メタンガス
	下水汚泥	メタンガス

注1: バイオエタノールは自動車燃料で発電には使われない。

注2: 廃油(植物油)起源のディーゼル油は発電には使われない。

ましたが、固定価格買取制度ができたので、発電量を増やして余剰電力を外販する計画を進めている工場もあります。ホテルや飲食店の主に厨房で発生する廃食品は、一部ですが回収されて発酵処理され、発生するメタンガスが発電に使用されています。これも一部ですが、下水処理汚泥も発酵処理でメタンに変換し、ガスエンジンで電力に変換しています。

2. バイオマス発電方法の種類

2.1 石炭混焼方式

バイオマス発電の方法には、主に図1に示す5種類があります。図中の実戦で困った枠が発電関連物質で、点線で困った枠が装置です。1番左に示すのは石炭混焼方式で、木材や林地残材を石炭火力発電所の燃料に使用します。石炭との混合燃焼になるので、石炭と一緒に粉砕して微粉化する

方法と、木材専用の粉砕機を設置し、微粉化してから微粉炭と混合する方法があります。ボイラで発生させた高圧蒸気は、タービンを回転させて直結している発電機が発電します。石炭と混合粉砕して微粉化する場合は、既設の微粉炭ボイラがそのまま使えるのが長所ですが、木材の粉砕性に課題があるので混焼率は1~3%程度とされています。ただし、実証事業では5~10%という例もあります。木材専用の粉砕機を設置すれば粉砕性の課題は解決できますが、新たな設備費が必要になります。石炭との混焼方式はバイオマスの寄与率が小さく見えますが、大型の火力発電所が採用しているので、大量のバイオマスを燃焼させることができます。現在、約15か所の石炭火力発電所が混焼方式を採用しており、出力の合計は約1500万kWに達しています。したがって、バイオマス燃焼の寄与率が3%としても約50万kWになり、他のバイオマス発電と比べて少なくありません。

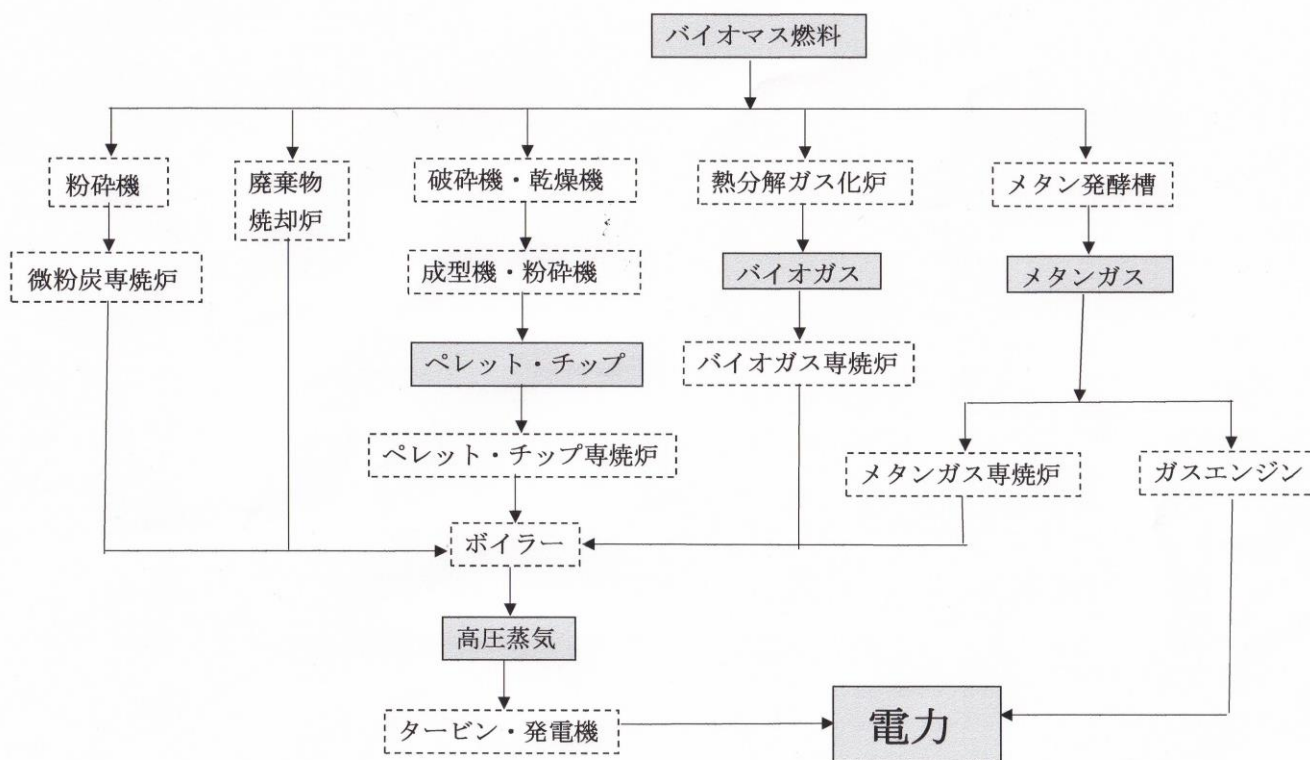


図1. バイオマス発電の方法

2.2 一般廃棄物混焼方式

図2の左から2番目に示すのが一般廃棄物混焼方式です。一般廃棄物は、年に約3400万トンが全国の清掃工場で焼却処理されています。そのうちの約10%(熱量では20~30%)のプラスチックを除く紙類・繊維類・生ごみ類・木草類がバイオマスです。清掃工場はごみを焼却して発生する排熱で高圧蒸気を作り、タービンを回転させて直結する発電機で電力を得ています。環境省の資料によると、2018度には全国で約210万kWの発電出力を得ています。したがって、プラスチックの熱量寄与分を除く概ね150万kWがバイオマス発電に相当します。なを、清掃工場のごみ発電効率は2018年度が平均で約11%ですが、2000年度以降に建設された清掃工場は約20%です。また、欧米諸国のごみ発電効率は25%~30%です。したがって、日本の清掃工場も近い将来は発電効率が20%を超えるでしょう。そうなればバイオマス発電として全国で約300万kWの出力を期待できるでしょう。

2.3 木材ペレット・チップ発電方式

図1の左から3番目は木材ペレット・チップ発電方式です。燃料は主に林地で伐採された木材で

すが、林地残材(間伐材)も対象になります。通常は破碎と乾燥を経てセンチサイズの細片(チップ)にするか、または成形機でペレットに加工して専焼炉で燃焼させます。図2に工程を示しますが、専焼炉には燃焼効率が高い循環流動ボイラを採用する場合があります。ボイラ発生する排熱で高圧蒸気を作り、タービンと発電機で電力に変換する方法は、石炭混焼方式や一般廃棄物混焼方式と同じです。近年は輸入木材を使用する事例が増えていますが、その場合は船舶の輸送効率を高めるため、輸出国でペレットに加工しています。国産木材の場合はペレットではなく、安価なチップにしている場合があります。林地残材や製材の廃材を使用する場合も、小規模な自家用が多いので主にチップにして使用しています。木材ペレット・チップ発電所に限定した立地状況が不明だったので、各種のデータから類推すると発電所は全国で30か所程度と思われます。出力は0.5kWから7.5kWに分散しており、日本全体での出力は50kW~80万kWと思われます。近年は臨海地区に輸入ペレットを燃料に使う近代的な発電所が増えていきます。

2.4 熱分解ガス化発電方式

図1の右から2番目が熱分解ガス化発電方式で、

燃料を熱分解炉でガス化し、専焼炉で燃焼させます。発生する排熱で高圧蒸気を作り、タービンに送って発電機で電力に変換するのは多くの発電方式と同じです。対象とする燃料は木くずや樹皮など木質系が多いですが、農産物残渣や製紙スラッジなど広範囲の燃料を使用できます。熱分解炉には図3に示す固定

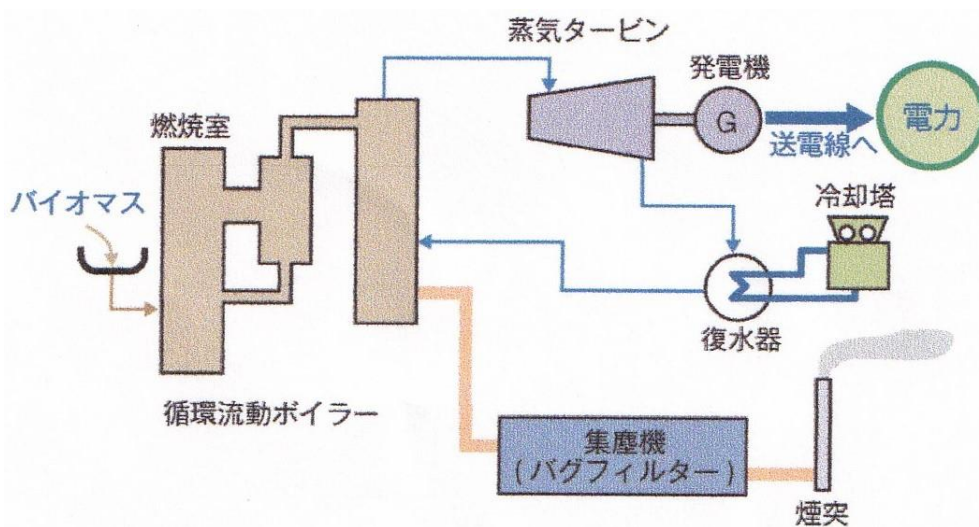


図2. 循環流動ボイラによる木材燃焼方式による発電工程
出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書

床、流動層、噴流床、ロータリーキルンの4種類があり、燃料の種類と処理規模に応じて選ばれます。固定床は構造が単純なので低コストですが、熱分解時間が長く炉内温度が600℃以下と低いので、タールが発生しやすい点が課題です。流動層では一般的に砂を流動媒体に利用するので、層内が均一な状態になるとともに、流動媒体の保有熱でガス化が安定します。噴流床はバイオマス燃料の含水率や性状(1mm以下の微粉状)に制約がありま

すが、炉内温度が高いためタールが発生しにくいのが長所です。一般的にダウンドラフト式固定床と外熱式ロータリーキルンが小規模向け、アップドラフト式固定床とバブリング式流動層が中規模向けです。循環式流動層と噴流床は大規模向けとされています。

2.5 メタン発酵発電方式

図1の1番右側に示すのがメタン発酵発電方式

ガス化方式 および炉型式	固定床		流動層	
	ダウンドラフト式	アップドラフト式	バブリング式	循環式
ガス化炉概略図 F: 木質系バイオマス O: 酸化剤 (空気, 酸素, 蒸気) P: 発生ガス				
ガス化温度	700 ~ 1,200 °C	700 ~ 900 °C	800 ~ 1,000 °C	800 ~ 1,000 °C
ガス出口温度	600 ~ 800 °C	100 ~ 300 °C	500 ~ 700 °C	700 ~ 900 °C
タール含有量	低い (< 0.5g/m3N)	非常に高い (30 ~ 150g/m3N)	中 (< 5g/m3N)	中 (< 5g/m3N)
ガス化方式 および炉型式	噴流床	ロータリーキルン		
		内熱式	外熱式	
ガス化炉概略図 F: 木質系バイオマス O: 酸化剤 (空気, 酸素, 蒸気) P: 発生ガス				
ガス化温度	1,000 ~ 1,500 °C	850 ~ 1,000 °C	700 ~ 850 °C	
ガス出口温度	1,000 ~ 1,200 °C	800 ~ 950 °C	650 ~ 800 °C	
タール含有量	非常に低い (< 0.1g/m3N)	中 (< 5g/m3N)	中 (< 3g/m3N)	

図3. 熱分解ガス化炉の種類

出典: NEDO 再生可能エネルギー技術白書

です。対象とする燃料は主に食品加工施設や飲食店で発生する水分の多い廃食品、牛豚糞尿、下水汚泥などです。メタン発酵発電は図 5 に示すように、発酵槽に投入した有機物を微生物による嫌気性発酵で分解します。分解で発生するのは二酸化炭素が約 4 割、メタンが約 6 割のガスで、ガスエンジンを使って発電させます。ガスエンジンの排熱は温度が高いため、熱交換器で蒸気か温水を発生させて熱源に利用することもできます（コジェネレーション）。ガスエンジンを使わずに燃焼させ、発生する蒸気でタービンを回転させて発電機で電力に変換する方法もありますが、規模が小さいと費用対効果が劣るので採用例は少ないです。

メタン発酵には液状かスラリー状のバイオマス燃料を使用する湿式と、水分が 80%程度で固形状の燃料を利用する乾式があります。メタン発酵ではアンモニア濃度が高いと発酵が阻害されますが、湿式は水分の調整でアンモニア濃度を制御できる利点があります。一方、乾式は処理廃水が少なく済む長所があります。発酵温度は概ね 35℃～

55℃で、温度が高いと発酵速度が速くなります。したがって高温操作を採用すれば発酵槽の滞留時間が短くなり（通常は 30 日～40）、発酵槽を小さくできます。発酵槽の形状は円筒形が多いですが、下水処理汚泥の場合は大型になるので、汚泥の内部循環効率を高めるために卵型を採用する場合があります（横浜市・神戸市）。一般的な発酵処理では、消化液や発酵残渣が残るので、排水処理や焼却処理が必要です。海外では消化液を液肥として農地に還元することが多いですが、日本では適切な用途がないので廃水として処理する必要があり、経済性の阻害要因になっています。日本国内のメタン発酵による発電は数百 kW が多く、1MW 以上の規模は存在しません。このため、発生電力は自家消費と近隣施設への提供が多く、商用規模の事例は報告を見ていません。

日本では主に牛豚糞尿や下水汚泥の処理に湿式のメタン発酵が導入されてきました。しかし最近では設備の維持管理費を軽減する目的で、厨芥類や廃食品などの原料を組み合わせる事例が増えています。海外のメタン発酵も表 2 に示すように、家畜排せつ物に加えて牧草や厨芥類・農業系残渣など複数のバイオマス燃料を投入し、より多くのバイオガスを得る取り組みが行われています。

2. バイオマス発電の効率

バイオマス発電の効率を図 6 に示します。広く採用されている蒸気タービン方式は、規模により概ね 20%～40%です。熱分解ガス化発電方式では蒸気タービン以外に、ガスター

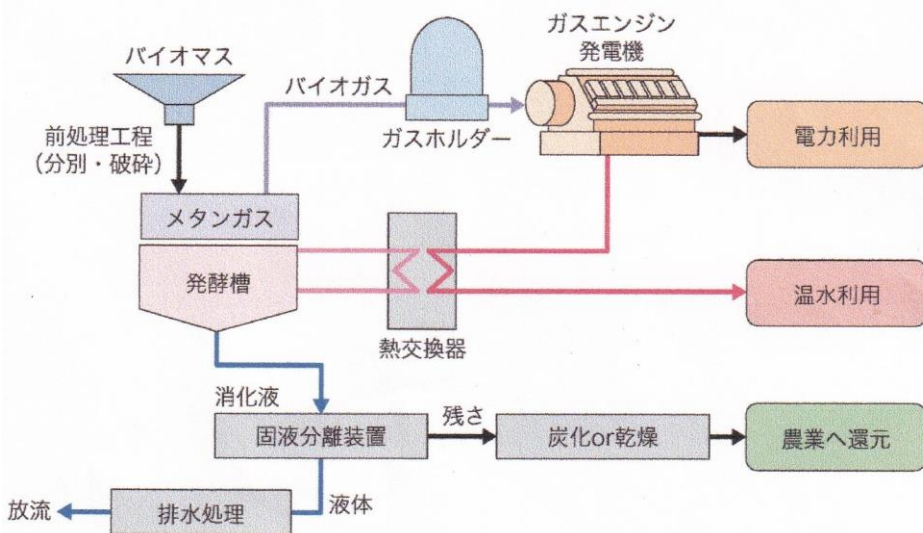


図 4. メタン発酵発電方式の工程
出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書

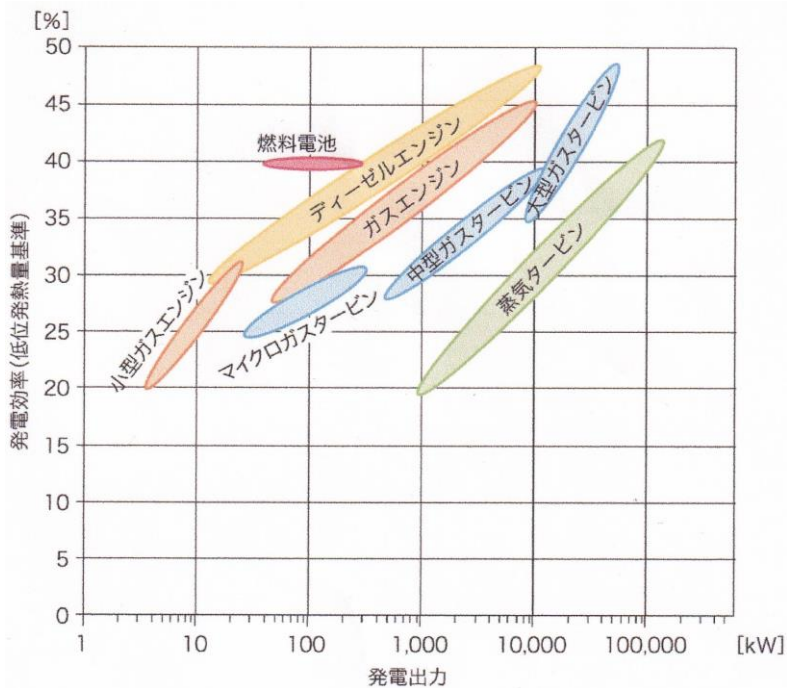


図5：
バイオマス発電
の発電効率

出典：NEDO 再
生可能エネルギー
技術白書

ビンやディーゼルエンジンも利用が可能で、小規模な場合はガスエンジンも広く採用されています。ガスエンジンやマイクロガスタービンは、設備がコンパクトで起動と停止が容易ですが、100kW以下の利用が多く発電効率は概ね25%~30%です。小規模だと温度の高い排気ガスからの熱回収が困難だからです。

(おわり)

参考：

NEDO 再生
可能エネルギー
技術白書

表2. 海外のメタン発酵状況 出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書

発酵形式	プラントメーカー名	原料となるバイオマス	導入実績
乾式	Kompogas (本社：スイス)	果樹、野菜くず	・発電規模：600~1,000 kW ・18年間で50施設の導入
	Axpo Kompogas AG (本社：スイス)	牧草、野菜くず	・発電規模：330~625 kW ・導入件数：65件
	Organic Waste Systems (本社：ベルギー)	厨芥類、牧草、下水汚泥	・発電規模：220~440 kWh/t ・導入件数：31事例
乾式 湿式	BioConstruct (本社：ドイツ)	牧草、家畜排せつ物	・発電規模：500~5,460 kW ・導入件数：101件
	Strabag Umwelthanlagen GmbH (本社：ドイツ)	メイズ、牧草、家畜排せつ物、下水汚泥、厨芥類	・発電規模：500~4,000 kW ・導入件数：58件
湿式	ArrowBio (本社：イスラエル)	厨芥類	・発電規模：上限2,500 kW (中温発酵)
	Biogas Nord AG (本社：ドイツ)	家畜排せつ物	・発電規模：75 kW から ・導入件数：ドイツ、オランダ、米国、イタリア、英国、ベラルーシ、アイルランド、タイ、キューバ、ルーマニアなどに300件以上
	Biotechnische Abfallverwertung (本社：ドイツ)	家畜排せつ物、メイズ、下水汚泥、厨芥類	・発電規模：130~625 kW ・導入件数：46件
	Envitec Biogas AG (本社：ドイツ)	家畜排せつ物、下水汚泥、排水	・発電規模：160~4,000 kW ・導入件数：工事中の案件も含め418件、ドイツ、イタリア、チェコ、フランス、インド、ハンガリーなどに納入
	Haase (本社：ドイツ)	家畜排せつ物	・発電規模：170~2,000 kW 発電ユニット、制御装置、フレア燃焼装置などモジュールがパッケージ化されている
	Wehrle (本社：ドイツ)	牧草、家畜排せつ物	・発電規模：2,000 m ³ のバイオガスで電力量14,000 kWhを得られる
	Weltec BioPower GmbH (本社：ドイツ)	家畜排せつ物	・発電規模：30~1,590 kW ・導入件数：250件