

## (2) 木質バイオマスエネルギーの各種変換技術の概要

### ①直接燃焼方式

#### a) チップボイラー

チップを原料として燃焼させて熱を得る方法として、チップボイラーがある。技術的には実用段階にあり、乾燥原料を使用するタイプや水分率が高い生チップの燃焼が可能な生チップボイラーなど様々な仕様がある。

以下では例として、我が国での導入事例が多い生チップボイラーの概要を述べる。原料供給は、スプリングアームによってチップを積出して燃焼炉内に自動投入することで行う。燃焼状態によって自動で原料の送り速度が制御され、無人運転が可能である。燃焼炉はストーカー方式による火格子構造となっており、煙管式熱交換部において熱交換されている。

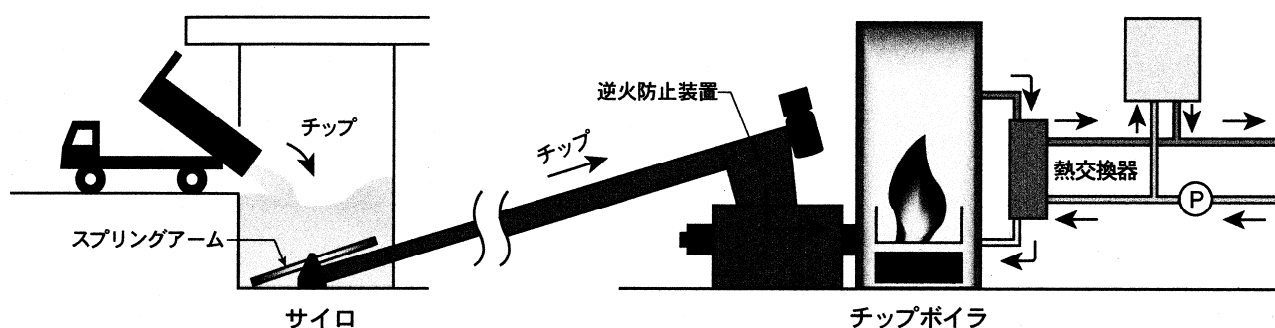


図 チップボイラーシステムの概念図

#### 【主な特徴】

##### ○全体的な特徴

バイオマスボイラーは、ON-OFF で着けたり消したり出来る油焚きボイラーと違って、追従性が遅い（点火しても所定温度に達するまで時間が掛かり、又消火しても直ぐには熱が下がらない）。そのため、低負荷状態で長時間運転を続けると燃焼が不安定になることが懸念されるため、一度高温に達すればそのまま定常運転をすることが好ましい。

また、バイオマスボイラーは30～100%の比例制御を自動的に行えるが、30%以下の低負荷が長く続くことは望ましくない。夏季などの低負荷時に負荷が30%以下まで低下する場合には運転ができないケースも考えられるため、そうした点も踏まえて年間通じて安定的な運用が可能な適切な規模設定を行う必要がある。

##### ○運転について

24時間全自動無人運転が可能である。冷間状態からの立ち上げには約一時間掛かる。（種火モード状態からの立ち上げの場合はもっと短時間で立ち上がる。）運転停止に掛かる時間は、その時の炉の燃焼状態によって大きく変わる。

一日の発停止可能回数は基本的に一回である。

その他、運転に際して、具体的に必要となる作業は、燃料チップの残量チェックと定期

的な補充・投入の連絡や、定期的な灰の処分などである

### ○システム構成

温水供給・加温・暖房、吸収式冷凍機を組み合わせることで複数系統の熱供給を行うことが可能である。

### ○メンテナンス

年間2回程度の点検が標準的である。主な作業内容は、基本的な着火・作動チェックと主要部の掃除および潤滑油の補充などである。費用は1回（1人・1日）約10万円である。

補修部品の交換については、4年以降から電子部品など消耗品を中心に年10万円以下、7年以降からサイロの駆動部や搬送装置などに機械的な磨耗などが、また炉内部のレンガなどに消耗が起これるので年間平均20万円程度の補修費用が必要となる。

### ○残渣の発生

燃焼灰が原料の灰分の割合に応じて発生する。バークなどの灰分率が高い原料の場合は約5%（重量比）程度、ホワイトチップの場合1%程度である。

タールについては、木酢液の状態が発生することがあるが、煙道・煙突をしっかりと断熱することで防止できる。

排水は、当該ボイラの加熱は熱交換間接加熱方式であるためボイラ水の排水はほとんど発生しない。

### ○関連法規制

労働安全衛生法の「ボイラ及び圧力容器安全規則」に基づく届出及び取扱者の資格免許は、開放タンクを取り付けて熱交方式で大気開放している為不要である。

大気汚染防止法に基づく「ばい煙発生施設設置届」は伝熱面積が20㎡以上になると必要になる。

消防法に基づく「火気使用設備の設置届」は必要、「指定可燃物貯蔵所届出」はサイロの容量が10㎡以上になると必要になる。

### ○その他

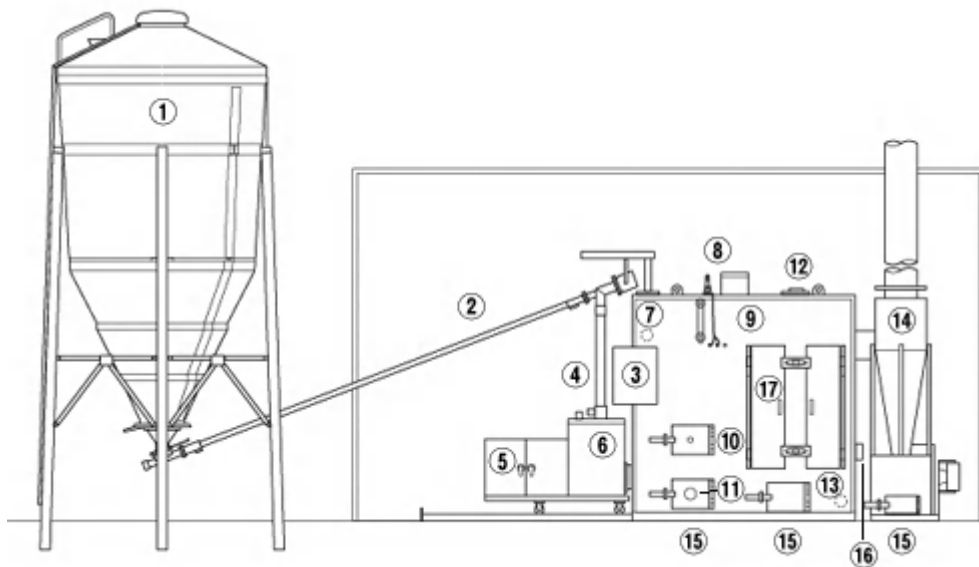
負荷の変動や温度、時間に応じて設定をすれば、サイロからの燃料の送り量から燃料搬送量、燃焼出力の制御など、24時間を通しての全自動無人運転が可能である。

出力は定格出力から30%までの間で連続的に制御され、負荷のない停止状態からも自動着火装置によって着火し缶水温度は自動的に維持される。日常的には、燃料の監視と補給手配、灰の処理の二点を管理すればよい

## b) ペレットボイラー

ペレットボイラーは、ペレットを原料とするボイラーで、供給タンク（サイロ）や供給系、ボイラー等で構成される。成型されたペレットを原料とすることで、使い勝手は油焚きボイラーとほぼ同等、性能も遜色ないと言われている。また、木質バイオマスボイラー特有のメリットも数々持っており、今後、業務用・産業用により広く導入が進むことが期待される。

### 【主な特徴】



- ①木質ペレット燃料タンク
- ②燃料搬送装置  
スプリングフィーダー
- ③ボイラ制御盤
- ④レベルコントローラー
- ⑤バーナ(機械室)
- ⑥燃料ホッパー

- ⑦温水出口
- ⑧水位検出器
- ⑨水面計
- ⑩バーナ点検ドア
- ⑪二次空気口
- ⑫開放部

- ⑬温水環口
- ⑭集塵機
- ⑮灰出しドア
- ⑯感電装置
- ⑰水管掃除ドア

### ○ペレット燃料の貯蔵・搬送

燃料は木質ペレットのため、ハンドリングが容易で貯蔵運搬が簡単に出来る。ペレット燃料は、バルク車（燃料運搬専用車）またはクレーン車によってタンク容量 9～12 m<sup>3</sup>程度（5t～7t）のタンクに供給される。タンク・バーナー間の搬送方法は、スプリングフィーダーが用いられホッパーに内蔵されたレベラーによって自動制御される。消費量の少ない場合には、バーナーホッパーへ直接投入することもできる。

### ○ペレットの燃焼について

点火を灯油等の化石燃料で行うタイプや電気式および種火で行うタイプなど様々ある。

中でも、種火で着火するタイプは、制御面や燃焼性能、エネルギー効率などの点でさまざまな優位性を持っており、古くからわが国で導入されている。

### ○ボイラーの効率

ペレット焚きボイラーは、次の理由により、油焚ボイラーと同等以上の高い効率を安定して発揮できる。

- ・排ガス温度が低くできる（硫黄分等腐食分が少ないため）
- ・油焚バーナーとほぼ同等の空気比で燃焼できるバーナーのため、燃焼温度を上昇させ、排ガス損失を最小にすることができる。
- ・伝熱面積が大きい

### ○ボイラーの耐久性

燃焼灰はアルカリ性のため、燃焼ガス側の缶体腐食はほとんどなく、長く使用できる。（油焚の場合は、油中の硫黄分が含まれ、燃焼ガス側が酸性になり、缶体腐食が進行する。）

### ○ボイラーのメンテナンスについて

年に1～2回のバーナー駆動部（回転ロストル、回転羽根、スクリーシャフト）等の点検、缶体水の薬品処理のみが必要である。



### ○燃焼灰の処理・利用

木質等のバイオマスの燃焼灰は肥料として農地に還元できる。

### ○燃料タンク

燃料タンクは、夏場でもタンク内に結露しないFRP樹脂製となっている。底部の傾斜は、ペレットがブリッジを起こさないような角度に設計されている。ナイロンチューブとスプリングフィーダーによってバーナー上のホッパーに送られる。

表 チップボイラーとペレットボイラーの比較

	チップボイラー	ペレットボイラー
外観		
主要機器	チップサイロ→供給フィーダー→ボイラー	ペレットサイロ→供給フィーダー→ボイラー
所要面積	△大きい	○小さい
負荷対応	△負荷変動への追従が遅い △細かい制御は難しい	○負荷変動への追従が早い ○細かい制御が可能
	(油焚きと比べて、チップもペレットボイラーとも) 灰の温度などが残るため、炉の温度の低下が緩やか 逆に、負荷が下がったときに出力の低下が追いつかない場合がある。	
運用特性	△炉の温度が低下し、効率が下がる等のため、低負荷運転に限界がある(30%程度) □連続運転が望ましい	○種火式のもの、炉の温度が下がりきらず、低負荷運転も可能 □種火方式のものは間欠運転も可能
コスト	□高価	○安価
製造メーカー	□ほとんどが海外	○国内メーカー有り
用途	□業務用(温浴施設等)が主 □ベース負荷に対応	○業務用(温浴施設等)の他、農業用等幅広い(油焚きボイラーの代わりに設置できる)
その他	△負荷対応や非常時のために、バックアップボイラーが基本的に必要	○バックアップがなくてもよい。油焚きボイラーに置き換えることができる。
用途・規模	□業務用のボイラーが主 □小型でも 100Mcal/h 程度、大型では数 MW の火力発電所クラス	○家庭用のストーブや小型ボイラー・業務用の小型～中型・大型ボイラーまで幅広い

(凡例: ○:良い点 △:課題 □:一般的特徴)

### c) ペレットストーブ

家庭や小規模な事業所などで利用できるペレット燃料専用のストーブが多数市販されている。価格は灯油等の油焚きのストーブより高く、設置に際しても工事費を要するが、石油ストーブのような臭気がないことや炎の癒しの効果などの経済面以外のメリットもある。

表 ペレットストーブの一般的特徴

項目	特徴
燃料の種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ストーブの種類によっては、ペレットの種類(全木、ホワイト、バーク)を使い分けたり、部品を変更する必要がある。</li> <li>・ ペレットの形状(長さ等)によっても供給特性が異なる場合がある。</li> <li>・ 灰分が多い原料(樹皮など)から製造されたペレットからは、灰が多く発生する。その場合、ストーブによってはクリンカー(灰が高温下で溶融した固形物)の生成により、稼働が困難になる場合がある。</li> </ul>
燃料供給	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ペレットは燃料室に一定量貯留する。そこから燃焼時は自動供給される。</li> <li>・ 数段階の温度センサーにより、供給量を制御することで火力の制御をおこなう。</li> </ul>
着火	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電熱ヒーターによって自動着火するタイプが多い。</li> </ul>
燃焼方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ファンで燃焼空気を送るなどして燃焼させる。</li> <li>・ 燃焼空気を外気から取るタイプと、室内の空気をを用いるタイプがある。</li> </ul>
燃焼ガス排気方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 強制排気筒から排出されるタイプと、煙突によって屋外に排気するタイプがある。</li> </ul>
メンテナンス	<p>【日常メンテナンス等】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 燃料の供給が必要(使用時間・利用条件にもよるが、10～20kgの燃料タンクを持つ機種が多く、燃料消費量は1kg/h前後が多いことから、ほぼ毎日供給を行うことが多い。)</li> <li>・ 灰の掃除が1日1回～週1回程度必要。</li> <li>・ 燃焼室内の窓ガラスが灰で曇ってきたらふき取る。</li> </ul> <p>【定期メンテナンス等】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1回ごとに、排気筒内の清掃等のメンテナンスを行うことが望ましい。</li> </ul>
価格	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 20万円前後～30万円前後。設置工事費が10万円弱程度かかる。</li> </ul>

### 【主なペレットストーブのタイプ】

ペレットストーブには、その暖房方式によって自然対流型と強制対流型に、燃焼方式（給排気方法）によってFF式（強制給排気式）と煙突式とがある。

表 自然対流型と強制対流型

方式	自然対流型	強制対流型
内容	ストーブ本体を熱して部屋を暖めるタイプ(輻射式)	熱交換により温風を送風するタイプ

表 FF式と煙突式

方式	FF式(強制給排気式)	煙突式
燃焼方式	外気から空気を取り込んで燃焼し、燃焼空気は屋外に放出する	室内の空気を吸って燃焼し、燃焼ガスは外へ放出する
排気法	ファンで強制的に排気	煙突の上昇気流で排気
換気	不要	必要
付帯設備	給排気管を室外に配管する(壁面に穴をあけるなど)	煙突を設置し、室外に配管する(天井や上壁面に穴を開けるなど)

### 【主なペレットストーブの仕様例】

出力	12,000kcal/h	6,400kcal/h	4,000kcal/h	7,000kcal/h	
暖房面積(目安)	木造 33畳まで コンクリート 46畳まで	木造 21畳まで コンクリート 29畳まで	木造 21畳まで コンクリート 33畳まで	木造 21畳まで コンクリート 33畳まで	
暖房方式	直接送風式 (煙突式) 自然対流形	直接送風式 (煙突式) 強制対流形	強制給排気形 (FF式) 強制対流形	強制給排気形 (FF式) 強制対流形	
燃料消費量	1.2~3.8kg/h	0.8~2.0kg/h	0.58~1.31kg/h	0.73~2.23kg/h	
点火方式	ヒーター自動点火	ヒーター自動点火	ヒーター自動点火	ヒーター自動点火	
消費電力	燃焼時23/27W	燃焼時56/60	燃焼時43/46W	燃焼時53/59W	
燃料タンク容量	18kg	18kg	13kg	20kg	
外形寸法	高さ	930mm	757mm	950mm	1,430mm
	幅	870mm	570mm	580mm	490mm
	奥行	470mm	520mm	530mm	511mm
重量	57kg	68kg	78kg	90kg	
価格例	230,000円	320,000円	350,000円	550,000円	
外観例					

注: 価格は一例である。販売店等により異なる、なお、ここには設置のための工事費は含んでいない。

## ② ガス化

ガス化とは、酸素が少ない還元雰囲気中で木材を熱分解し、可燃性ガス（水素、一酸化炭素、メタン等）を取り出す方式である。

バイオマスのガス化は、通常 700℃以上の高温で、空気・酸素・水蒸気などのガス化剤とバイオマスを反応させて、気体に変換するものである。反応式としては下記の様になる。

ここでは、主なガス化方法として、原料を直接加熱してガス化する方法と、間接的に加熱してガス化する方法という大きな2区分の分類例のもとで示している。ガス化には、温度や圧力などの反応条件や反応器の形状などによって、さらに様々な方式に分けられるが、基本的な反応の流れは同様である。

表 ガス化の熱化学的反応式

反応工程	直接ガス化	間接ガス化
① 燃焼 $C+O_2 \rightarrow CO_2$ (発熱) $H_2+1/2O_2 \rightarrow H_2O$ (ガス) (発熱)	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑	
② 部分酸化 $C+1/2O_2 \rightarrow CO$ 発熱)		
③ 発生ガス化 $C+CO_2 \rightarrow 2CO$ 吸熱)		↑
④ 水性ガス化 $C+H_2O$ (ガス) $\rightarrow CO+H_2$ (吸熱)		
⑤ 水素化 $C+2H_2 \rightarrow CH_4$ (発熱)		
⑥ シフト化 $CO+H_2O$ (ガス) $\rightarrow CO_2+H_2$ (発熱)		
⑦ メタン化 $CO+3H_2 \rightarrow CH_4+H_2O$ (ガス)(発熱)		
⑧ リフォーム $CH_4+H_2O$ (ガス) $\rightarrow CO+3H_2$ (吸熱)		↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓



## 【ガス化の反応器について】

ガス化炉の形式には、固定床、移動床、流動床、噴流床などがあり、それぞれに直接加熱（直接ガス化方式）と間接加熱（間接ガス化方式）の方法があり、それらの組み合わせでさらに様々な種類がある。

### 固定床（アップドラフト）

- ・ 固定床式には原料とガス化剤が逆に流れる向流型（アップドラフト）と同一方向に流れる並流型（ダウンドラフト）がある。
- ・ 向流型は熱効率は高いが、生成ガスがタール分や炭素微粒子を多く同伴するため、そのままボイラーなどで燃焼することが多い。
- ・ ガスをエンジン等の内燃機関で利用するためには、それらの除去の工程が必要になる。

### 固定床（ダウンドラフト）

- ・ ダウンドラフトでは、ガス化剤と原料の流れが同じである
- ・ 熱効率はアップドラフトに比べて低いが、生成ガス中のタール分が非常に少ない。
- ・ よって、タービンやエンジンなどの内燃機関で利用する燃料ガスの生成に適している。

### 流動床

- ・ 流動床とは、バイオマスと固体熱媒体（砂やドロマイト<sup>1</sup>等の鉱物）の接触が良好で、熱効率やガス化率は一般に固定床よりも優れる。
- ・ また、炉内温度が一定となるので平衡に近い均一な組成のガスが得られる、装置の大型化が可能で大量生産に適する、などの特徴がある。
- ・ その一方で、生成ガス中のタール分は固定床向流型と並流型の間程度程度の値で、タールトラブル、タールクラッキングのおそれがある。
- ・ 循環流動床のように熱媒体が循環移動し、ガス化炉と燃焼炉が分離する方式や、浮遊床（噴流床）のように、微粉原料とガス化剤を急速に炉内に吹き込む方法などがある。
- ・ また、ロータリーキルン（円筒式で回転する反応器を使用する方式）も、広義には流動床の一種といえる。

---

<sup>1</sup> 鉱物(炭酸塩鉱物)の一種、白雲石とも呼ばれる。

表 バイオマスガス化反応器の種類

ガス化炉方式 及び炉形式	固定床		流動床		ロータリーキルン	
	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	内熱式ロータリーキルン方式	外熱式ロータリーキルン方式
ガス化炉概略図 ( F: 木質バイオマス O: 酸化剤(空気, 酸素, 蒸気) P: 発生ガス )						
ガス化温度	700~1,200℃	700~900℃	800~1,000℃	800~1,000℃	850~1,000℃	700~860℃
ガス出口温度	600~800℃	100~300℃	500~700℃	700~900℃	800~950℃	650~800℃
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 )	中 ( < 5g/m³N )	中 ( < 3g/m³N )
制御性	良	非常に良い	中	中	中	良
運転性	負荷変動: 敏感 減量運転: 40~100%	負荷変動: 敏感ではない 減量運転: 50~100%	負荷変動: 敏感 減量運転: 30~100%	負荷変動: 敏感 減量運転: 30~100%	負荷変動: 敏感 減量運転: 30~100%	負荷変動: それほど敏感で ない 減量運転: 30~100%
原料の条件	制約厳しい ( 含水率: < 25w% サイズ: 20~100mm 灰分含有量: < 6d% )	制約あり ( 含水率: < 60w% サイズ: 5~100mm 灰分含有量: < 25d% )	制約少 ( 含水率: < 60w% サイズ: < 20mm 灰分含有量: < 25d% )	制約少 ( 含水率: < 60w% サイズ: < 20mm 灰分含有量: < 25d% )	制約あり ( 含水率: 15w% サイズ: < 50mm )	制約あり ( 含水率: 40w% サイズ: < 50mm )
適正容量 (参考値)	< 5MWth	< 20MWth	20 < MWth < 60	> 60MWth	?	< 600kWth
適性処理量 (参考値)	< 15ton/day	< 60ton/day	60 < ton/day < 180	> 180ton/day	?	< 2ton/day (実際は 5t/d 規模も有。)
備考	・欧米の設置数の約 75% を 占める。			・常圧式のほかに、加圧式(IGCC 用)がある。		・タール分は後段の高温改質で < 0.05g/m³N 程度まで除去す る。

### ③ガス化経由の液化

バイオマスのガス化ガスの利用方法として、近年注目されているのが、ガス化ガス中のH<sub>2</sub>とCOを触媒によって液体燃料へと合成する手法である。

こうした手法により液体燃料や化学品に転換することによって、用途において格段に汎用性が増すと同時に、運搬性や貯留性が良くなり、燃料・エネルギーとしての品位が著しく向上する。

バイオマスのガス化を経て合成される燃料としては下図のような種類がある。いずれの製造工程においても、燃料合成に使用されるのは、H<sub>2</sub>（水素）とCO（一酸化炭素）からなる合成ガスで、燃料の製造プロセスは、その合成ガスを製造するガス化プロセスと、合成ガスから燃料を合成する燃料合成プロセスとに大別される。前段のガス化工程では、原料（バイオマスをはじめとして、天然ガスや石炭、C重油やアスファルトなど広範な原料を使用しうる）をガス化し、精製等により燃料合成に適した組成・性状のガスを得る。後段の燃料合成プロセスでは、前段で得られた原料ガス（合成ガス）から触媒を用いて燃料を合成する。ここで、使用する触媒を換えることで、下図に示されるような様々な燃料を製造できる。

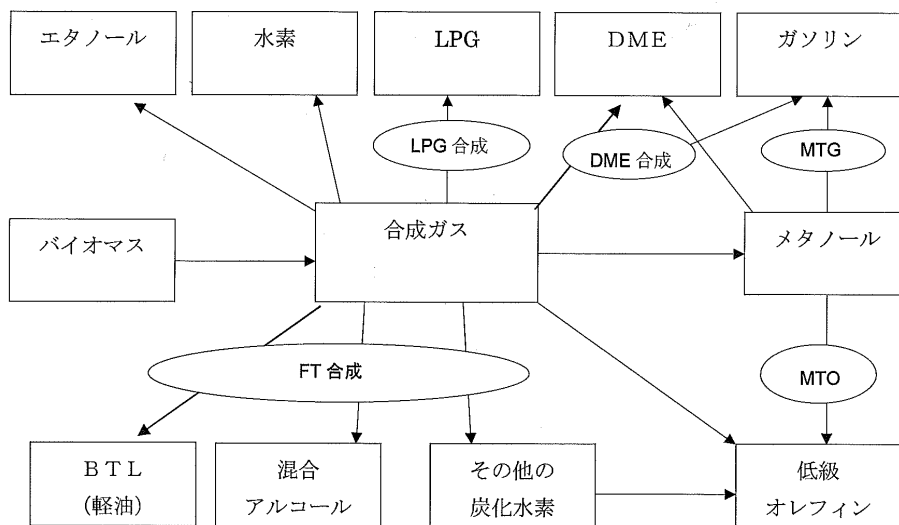


図 ガス化を経由して製造される各種燃料の合成フロー

(資料:第7回エコ燃料利用推進会議(H20.10.2、環境省) 配布資料)

### ③ エタノール化（発酵法）

バイオエタノールの製造プロセスは、原料を糖化して、得られた糖を発酵することによりエタノールを得るもので、基本的な製法は酒造と同様である。酒類の製造とは、エネルギー利用（ガソリン添加）する場合は蒸留・脱水によってエタノール濃度 95%以上（無水エタノールでは 99%以上）まで蒸留する点異なる。

原料としては、糖質系の原料（サトウキビ等）やデンプン系の原料（トウモロコシ等）のほか、セルロース系の原料（草本・木本）も利用できる。酒造原料としても用いられる糖質系やデンプン系の原料からのバイオエタノール製造法と、従来酒造原料としては利用されないセルロース系原料からのバイオエタノール製造法とでは、セルロース系原料の場合は糖化するためにより高度な前処理が必要で、糖化後も通常のグルコース発酵酵母では発酵しづらいため別の酵母を用いる必要がある点などが異なる。セルロース系原料の中でも木質系原料は、糖化原料となるセルロース・ヘミセルロース以外にリグニンを比較的多く含有しているためその分離が必要である。セルロース系バイオマスからのエタノール製造技術については、前処理・糖化・発酵の各プロセスで課題があり、それぞれの要素技術の開発が必要とされている。

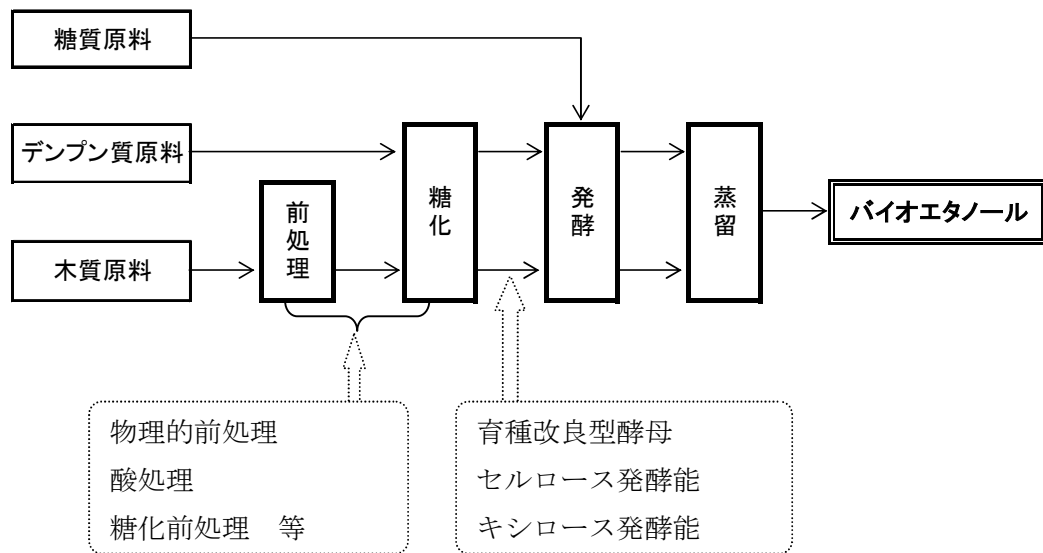


図 各種エタノール原料からのバイオエタノール製造プロセスの概念図

木質系バイオマス資源は、セルロースおよびその分子鎖間隙に位置するヘミセルロース、それら全体を包含するように存在するリグニン、の三者から構成されている。建造物にたとえると、セルロースが「鉄筋」でその周辺をとりまく「針金」がヘミセルロース、それら全体覆っている「コンクリート」がリグニンというイメージである。

リグニンは、細胞壁を形成する主要な物質で芳香族化合物である。ヘミセルロースは非晶質の多糖で重合度はセルロースより低い。セルロースは結晶質の多糖で重合度が高く、等間隔で直列に並んだ分子鎖の束（セルロースマイクロフィブリル）になっている。その間隔は数 nm と、セルラーゼの大きさ（20nm 程度）に比べて小さいため、セルラーゼがセルロースに取り付いて糖化機能を発揮するためには、何らかの方法でセルロースマイクロフィブリルの構造を緩める必要がある。その方法が、物理的前処理（破碎等）や化学処理（酸・アルカリ処理）である。

糖化後も、ヘミセルロース由来の 5 炭糖は通常自然酵母では発酵できないため、遺伝子組み換え酵母の利用等の開発が行われている。

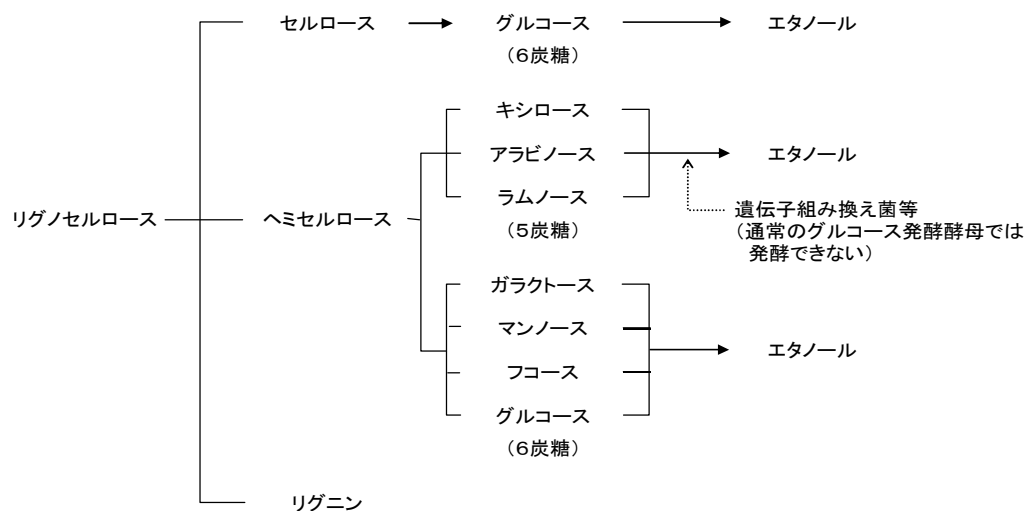


図 リグノセルロース資源からのエタノール製造の経路

(3) 各変換技術の比較<sup>※1</sup>

項目		直接燃焼	ペレット化	ガス化	ガス化経由液化	エタノール発酵
技術段階		実用	実用	実用	実証	実証
適規模		小～大 (発電の場合大)	小～大	小～大 (大規模が望ましい)	大	大
対応原料	種類	木質	木質・草本等 多様な原料を処理可	木質	木質	糖質・デンプン系が 望ましい
	形状	チップ等	オガコ	チップ	チップ	微粉(nm オーダー)
	性状	比較的高水分でも可	(成型前)水分 15%前後	水分約 30%以下	水分約 30%以下	糖化時は加水も前処理時 は低水分が望ましい
生成物	主生成物	熱(温水・蒸気) (蒸気電気も可)	ペレット →熱(発電も可)	ガス →熱・電気	ガス →合成ガス(H <sub>2</sub> ,CO) →合成燃料	発酵液 →無水エタノール
	副生物	灰	灰(利用後)	チャー・灰	チャー・灰(ガス化から) ワックス(FT 合成)	発酵残渣
効率 <sup>※2</sup>	燃料ベース	約 80%	製品歩留 約 90%	約 70%	約 50%	約 60% (原料等により異なる)
	最終		約 70%	約 50% (発電・熱利用合計)	約 40% (熱利用時)	約 50% (熱利用時)
	所内エネルギー	小	中～大 (前処理により異なる)	小～中 (ガス化法により異なる)	～中～	中～大 (蒸留・脱水、残渣処理等)
設備費		中	大	大	大	大
ランニングコスト		小	中～大 (ダイ・ローラ等消耗品)	中～大 (ガスエンジンのメンテ等)	中～大 (触媒等による)	中～大 (蒸留・脱水、残渣処理等)
用途		熱利用	熱利用	コジェネ	灯油・LPG・ガソリン等代替 熱源・ディーゼル	輸送用燃料(ガソリン添加)
利用機器汎用性		チップボイラが必要 業務・産業部門等中大規模需 要向き	ペレットボイラやストーブが必要 家庭等小規模需要への 対応可	ガス専用の発電機が必要 業務・産業部門等中大規模需 要向き	既存機器利用可 既存燃料油と同等の高品位	法規上ガソリン添加上限 3% 既存ガソリンエンジンで 10%程度まで混和可
付加価値		熱単価相当	熱単価相当	熱・電単価相当	対応燃料単価相当 ワックス販売(FT 合成)	ガソリン単価相当
課題		・ 熱需要とのマッチング ・ 発電は効率低い	・ 熱需要とのマッチング ・ 前処理・成型の手間・エネル ギー	・ 電力利用・売電単価 ・ 熱利用 ・ 設備費低減	・ ガス精製 ・ 触媒実用化 ・ 設備費低減	・ 木質原料に最適な前処理・ 糖化・発酵法

※1 あくまで概要であり、前提条件等の詳細により異なるケースがある

※2 最終は、燃料をエネルギー変換した後に回収されるエネルギー量をベース

### 3.1.3 森林資源の生産・供給について

#### (1) 森林資源の供給方法

##### ①高性能林業機械の利用

高性能林業機械とは従来のチェーンソーや刈払機等の機械に比べて、作業効率、身体負担の軽減等、性能が著しく高い林業機械である。15年ほど前から開発・普及が進められており、約3,200台（平成18年度）が林業の現場で使用されている。主な高性能林業機械として、フェラーバンチャ、スキッド、プロセッサ、ハーベスタ、フォワーダ、タワーヤーダ、スイングヤーダなどがある。

ただし、その性能を發揮してコスト低減を実現するためには、機械稼働率の向上（事業量の確保、団地化等）やオペレーターの育成、路網等の基盤整備といった取り組みが必要となる。またより我が国の地勢等の利用条件に合わせたベースマシンの開発などがもめられている。

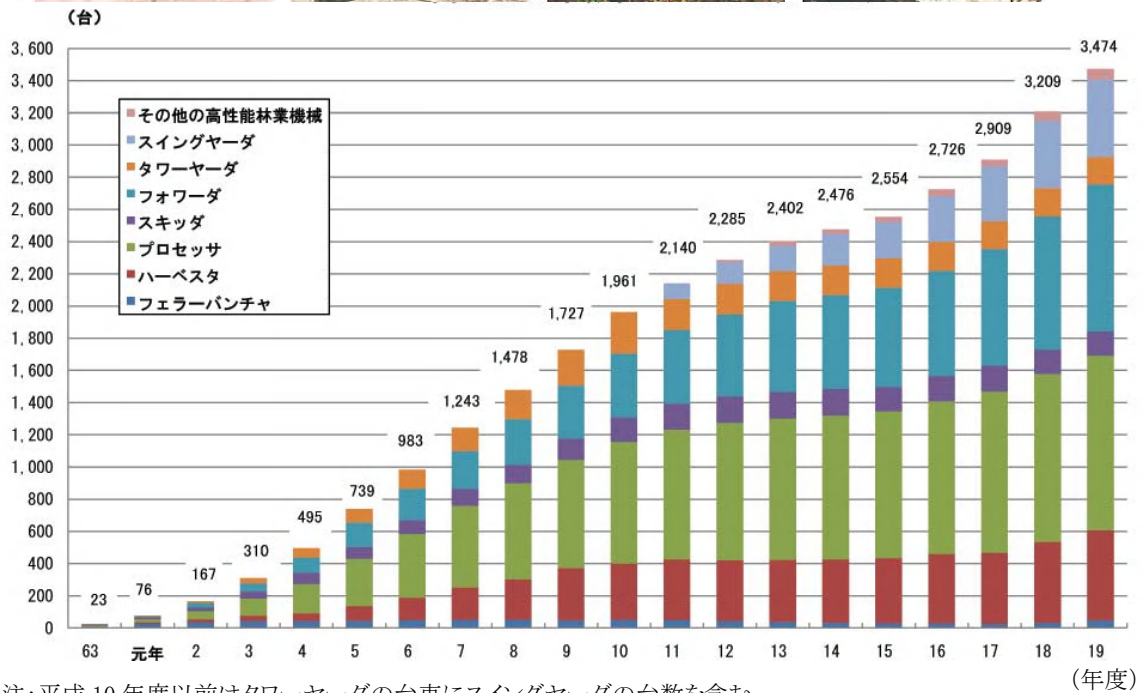
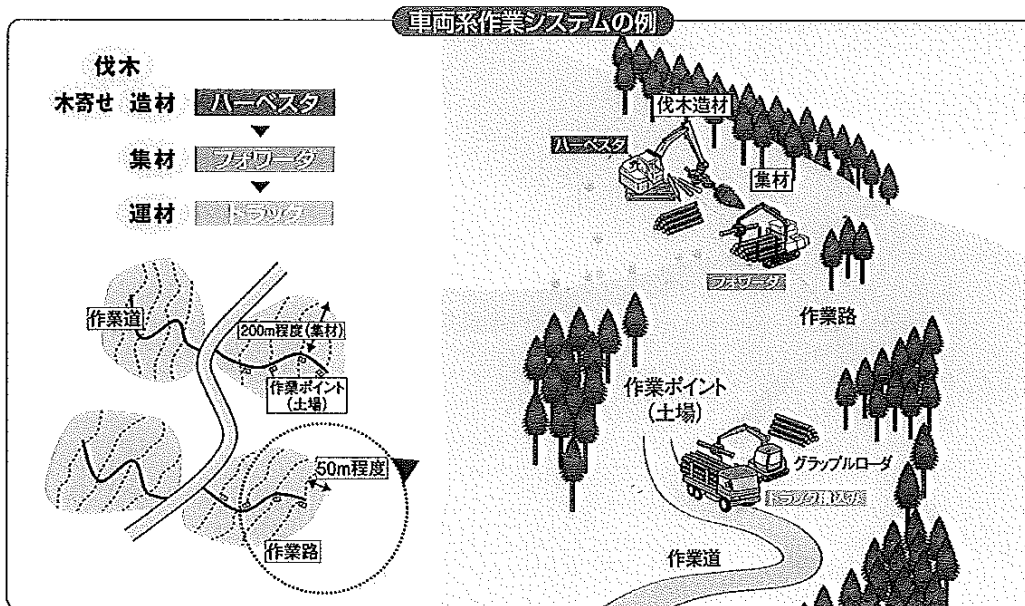
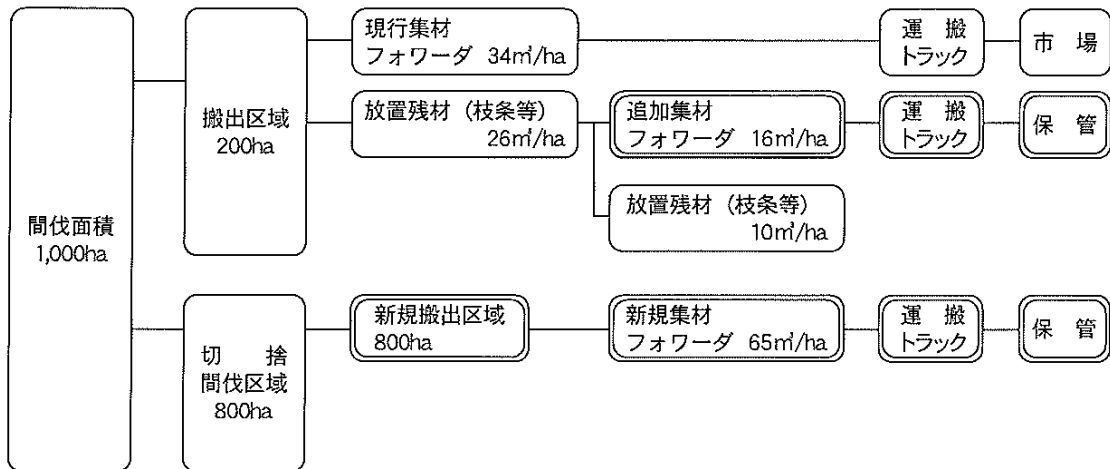


図 主な高性能林業機械(上)と高性能林業機械の保有台数の推移(下)

(資料:林野庁)

(参考) 森林バイオマスの集積作業システム



- ① 対象林  
6 齢級 (30年林)
- ② 対象面積  
北秋田市の年間間伐面積 (1,000ha) の内搬出されている200ha及び切捨されている800ha
- ③ 収集可能量  
搬出区域からの追加搬出分 16m³/ha 切捨区域からの新規搬出分 65m³/ha

●高性能林業機械と路網の組合せによる森林整備の例



林道上からのスイングヤードによる全木集材



林道上から届く範囲は伐木から造材までハーベスタ機能の付いたプロセッサが実施



林道沿いに造材した丸太を集積し、プロセッサで積み込み

(資料:「秋田県バイオエタノール戦略」(秋田県、平成 21 年 2 月)より)



## ②未利用森林バイオマスの集積・利用

現在、若齢級の間伐材や除伐材、また枝葉についてはほとんど利用されていない。これらの未利用森林バイオマスを集積利用することが考えられる。

### 【枝葉の利用】

山口県では、枝葉を集積してバンドラーという装置で枝葉を圧密化して効率的に集積するシステムの実証を行っている。



(資料：山口県)

## (2) 森林資源を利用する体制について

### 提案型施業・団地化等による合理化

「提案型施業」とは、「施業提案書」により、森林所有者に事業の内容と所有者のメリットや負担などを明確に示した上で施業を受託する方式である。森林施業の必要性等についての認識が不十分な所有者も昨今は多い。資源を利用するためには、こうした所有者の合意を得る取り組みは不可欠といえる。

また、我が国の所有者は小規模林家が多く、そうした林家単位で行う規模的に非効率な施業がコストを押し上げている面がある。所有者の合意を得て団地化して合理化を図る取り組みも行われている。

### (3) エネルギー森林

エネルギーとしてのみ利用するのであれば、植栽や伐採などを徹底的に低コスト化できるような植生特性を有する樹木を生産する、という考え方もある。

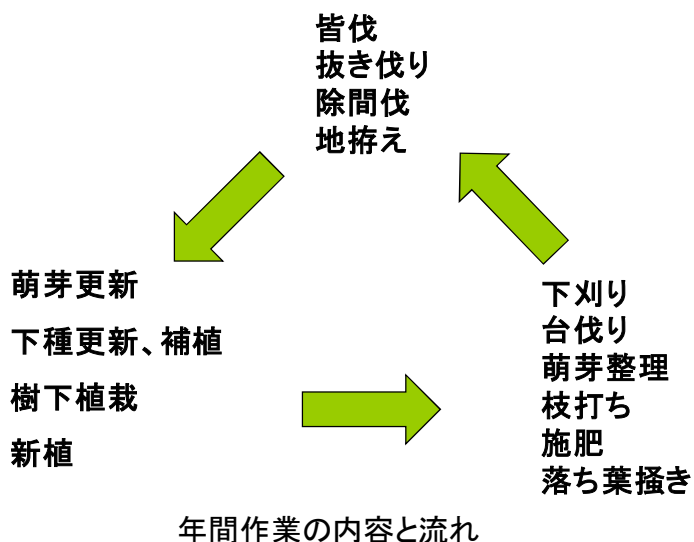
表 木質系目的生産バイオマスの収量ポテンシャル

植生地域	種類	収穫サイクル	乾物収量	データ取得地域
熱帯	ユーカリ	6~8年	32~33	オーストラリア
亜熱帯	ユーカリ	2年	32	ギリシャ
温帯	ポプラ	3~4年	12~14	ドイツ
	ユーカリ	3年	11~14	オーストラリア
	ヤナギ	3年	8~20	イギリス
	アカシア	4年	18	九州

(資料：東京大学大学院農学生命科学研究科 鮫島正浩教授 講演資料)

#### ①コナラとクヌギ (在来広葉樹種)

コナラとクヌギはほぼ日本全国に分布し、収穫サイクルが短く、自然萌芽による更新が可能である。薪として良質で、萌芽力の強い陽樹であるなど似た特徴を持っており、両者が混生する雑木林も多い。



更新周期: 17年、2代目、3代目(約50年間)までは萌芽更新可能

生産性: 100m<sup>3</sup>/ha(1代目)、150 m<sup>3</sup>/ha (2代目、3代目)

→400 m<sup>3</sup>/ha・50年→8 m<sup>3</sup>/ha・年(5.6t/ha・年)

日本の気候との相性: どちらも在来種なので、問題ない

## ②ユーカリ（外来種）

オーストラリア南東部とタスマニア島に主に分布し、成長が非常に早い木材で製紙パルプの原料生産目的での植林などが既に海外で行われている。

根を非常に深くまで伸ばし地下水を引き寄せる力が強く、砂漠化した土地の緑化に使われて成功した例がある一方、熱帯雨林伐採後の安易な緑化樹として用いられた結果、逆に生態系の回復を阻害している事例もある。

年間作業の内容：下刈り 2 回（在来広葉樹 6 回）、枝打ち 0 回（同 3 回）、間伐 0 回（同 2 回）

更新周期：3 年

生産性：約 20～30 m<sup>3</sup>/ha・年

日本の気候との相性： 風に弱く、台風の多い日本には向かない

（資料：中村元（2008）「植林ビジネスとバイオ燃料」より）

## ③ポプラ（外来種）

ポプラは、ヤナギ科ヤマナラシ属（*Populus*）の植物の総称。一般にはセイヨウハコヤナギ（*Populus nigra* var. *italica*）を指すことが多い。中国の内陸部では成長が早く活着が良いことに着目し植樹が行われている。成長に水分を多く要するようになる樹齢 20 年以前を目安に伐採されることが多い。

更新周期：3 ～4 年

生産性：約 12～13 t/ha・年（乾重量）

日本の気候との相性：北海道に分布

（機械システム振興協会（2008）「革新的バイオマス有望シナリオに関する調査研究報告書」より）