

## 第3部

# 木質バイオマスエネルギーに係る基礎知識

## <第3部 章目次>

<b>第3部 木質バイオマスエネルギーに係る基礎知識</b> .....	<b>441</b>
<b>1章 木質バイオマス原料および燃料に係る基礎知識</b> .....	<b>445</b>
バイオマスとは.....	445
1.1 原料および燃料の種類.....	446
1.2 燃料の品質規格.....	461
1.3 伐採方法・林業機械.....	465
1.4 燃料製造設備.....	468
1.5 選別装置.....	476
1.6 原料・燃料の乾燥方法.....	478
<b>2章 バイオマスエネルギー設備・技術に係る基礎知識</b> .....	<b>484</b>
2.1 発電.....	484
① 直接燃焼技術(BTG/ORC).....	486
② 熱分解ガス化技術.....	535
2.2 熱利用.....	555
① 温水ボイラー設備.....	555
② 蒸気ボイラー設備.....	560
③ バイオマスボイラーに係る法令対応.....	563

## ＜第3部 目次＞

図 3.1.1 バイオマスエネルギー利用の全体像(赤枠は NEDO バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業の対象範囲).....	445	図 3.2.22 ORC 熱電併給設備における燃料投入設備(燃料ホッパー)の位置.....	513
図 3.1.2 切削チップ(左)とピンチップ(右).....	448	図 3.2.23 BTG 発電設備における復水器の位置.....	515
図 3.1.3 全木ペレット(左)、ホワイト(木部)ペレット(中央)、パークペレット(右).....	448	図 3.2.24 ORC 熱電併給設備における復水器の位置(発電設備内に内蔵されている場合が多い).....	515
図 3.1.4 エリアンサスの栽培イメージ.....	449	図 3.2.25 BTG 発電設備における排ガス処理設備の位置.....	518
図 3.1.5 従来型収穫 収穫機とトラック並走による収穫.....	450	図 3.2.26 ORC 熱電併給設備における排ガス処理設備の位置.....	518
図 3.1.6 ロールベアラ収穫機械(FS 事業関係企業所有).....	450	図 3.2.27 BTG 発電設備における通風装置の位置.....	521
図 3.1.7 エリアンサス栽培フロー.....	451	図 3.2.28 ORC 熱電併給設備における通風装置の位置.....	521
図 3.1.8 製造コスト、エリアンサス栽培コスト、労務費の構造<15年シミュレーション平均>.....	452	図 3.2.29 BTG 発電設備における灰出し装置の位置.....	524
図 3.1.9 流通システム例.....	453	図 3.2.30 ORC 熱電併給設備における灰出し装置の位置.....	524
図 3.1.10 発電所における針葉樹チップ調達価格の推移(絶乾トン).....	454	図 3.2.31 直接燃焼設備に関する法規制の全体像.....	529
図 3.1.11 木質バイオマス原料の種類.....	455	図 3.2.32 熱供給事業の成立要件.....	533
図 3.1.12 木材資源の形態別かさ密度の比較例.....	458	図 3.2.33 Volter40 の概略フロー.....	535
図 3.1.13 木材水分率および含水率と高位および低位発熱量の関係(針葉樹 木部の例).....	459	図 3.2.34 典型的なインバート型ダウンドラフト炉.....	536
図 3.1.14 林業機械の例.....	465	図 3.2.35 全体プロセス概要.....	539
図 3.1.15 チップ生産システムのコスト試算範囲.....	470	図 3.2.36 ガス化技術の適用.....	540
図 3.1.16 チップ生産工場に移動式チップパー機を導入した場合のコスト試算範囲.....	471	図 3.2.37 アップドラフト方式固定床式ガス化炉.....	542
図 3.1.17 中間土場に移動式チップパー機を導入した場合のコスト試算範囲.....	471	図 3.2.38 Burkhardt 方式固定床式ガス化炉.....	543
図 3.1.18 ペレット化工程例.....	473	図 3.2.39 ダウンドラフト方式固定床式ガス化炉.....	544
図 3.1.19(左)処理能力当たりモーター動力数、(右)処理能力当たり設備費帯.....	474	図 3.2.40 バプリング方式流動床式ガス化炉.....	545
図 3.1.20 発熱量差から算出した灯油・重油単価に見合うペレット単価(山陽チップ工業株式会社検討結果).....	475	図 3.2.41 循環流動方式ガス化炉.....	545
図 3.1.21 ペレットボイラー使用で燃料代以外の経費のペレット 1kg 当たりのコスト.....	475	図 3.2.42 噴流型ガス化炉.....	545
図 3.1.22 FS 事業実施事業者の原料別ストック方法別水分率の調査結果の例.....	479	図 3.2.43 高速内部循環流動床式ガス化炉(FICB).....	546
図 3.1.23 FS 事業実施事業者による林地残材の天日乾燥での水分率調整の例.....	480	図 3.2.44 ヒートパイプ式ガス化炉.....	546
図 3.1.24 ソーラードライシステム概要イメージ.....	481	図 3.2.45 SYNCRAFT 社 ガス化プロセス.....	547
図 3.2.1 小規模木質バイオマス発電の燃料要件の例.....	484	図 3.2.46 外熱式ロータリキルン式ガス化炉.....	548
図 3.2.2 発電技術別の国内の導入状況.....	485	図 3.2.47 直接ガス化炉 加熱炉形式と取扱量.....	548
図 3.2.3 発電設備における位置.....	486	図 3.2.48 水蒸気改質法による水素製造工程.....	553
図 3.2.4 発電設備における位置.....	491	図 3.2.49 温水ボイラー模式図(炎管ボイラー).....	555
図 3.2.5 蒸気ランキンサイクルにおける発電出力とタービン発電効率の関係.....	492	図 3.2.50 温水ボイラーの概観の例.....	555
図 3.2.6 Turboden 社の ORC 発電機を使用したバイオマスボイラーにおける典型的なフロー.....	494	図 3.2.51 蒸気ボイラーの形状による分類.....	560
図 3.2.7 ORC 用バイオマスボイラーの構造.....	495	図 52 日本および欧州における温水ボイラー規制.....	564
図 3.2.8 低質バイオマス(50~60%wet)用バイオマス燃焼炉(スターカー炉).....	496	図 53 木質バイオマス温水ボイラーに対応する新たな規制区分(案).....	564
図 3.2.9 1000kW ORC 熱電併給設備のヒートバランス.....	497	図 3.2.54 蒸気ボイラーの最高使用圧力と伝熱面積による区分.....	565
図 3.2.10 イタリア Turboden 社の ORC 納入実績(左)と熱源の状況(右)(2018 年末時点).....	497	図 3.2.55 蒸気ボイラーの胴の内径と長の長さによる区分.....	565
図 3.2.11 ORCユニットの導入規模と熱利用先.....	498	図 3.2.56 開放管またはゲージ圧力 0.05MPa 以下の U 形立管を蒸気部に取り付けられたものによる区分 (いずれも内径 25mm以上).....	566
図 3.2.12 ランキンサイクルの構成.....	499		
図 3.2.13 バンブーエナジー株式会社にて森林組合に野積みされた土場パーク(左)と ORC の投入コンベアの燃料パーク(右).....	501		
図 3.2.14 イタリア Turboden 社の ORC 発電ユニット.....	503		
図 3.2.15 エネルギーフロー比較.....	504		
図 3.2.16 ORC における各種稼働媒体.....	506		
図 3.2.17 BTG 発電設備における燃料供給搬送装置(コンベヤ)の位置.....	508		
図 3.2.18 ORC 熱電併給設備における燃料供給搬送設備の位置.....	508		
図 3.2.19 BTG 発電設備における燃料貯留設備の位置.....	511		
図 3.2.20 ORC 熱電併給設備における燃料貯留設備の位置.....	511		
図 3.2.21 BTG 発電設備における燃料投入設備の位置.....	513		

## ＜第3部 表目次＞

表 3.1.1 木質バイオマス資源の種類と特性 .....	446	表 3.2.30 ガス化までの反応式.....	539
表 3.1.2 草本類バイオマスの種類 .....	447	表 3.2.31 直接ガス化炉 バイオマスガス化の代表的組成 .....	540
表 3.1.3 エリアンサス等草本類栽培マニュアル .....	450	表 3.2.32 ガス化条件による精製ガス組成の相違 .....	541
表 3.1.4 生産拡大のステップ.....	451	表 3.2.33 間接ガス化炉の代表的なガス性状 .....	541
表 3.1.5 生産拡大に向けた設備投資(15年) .....	452	表 3.2.34 Burkhardt 方式における炉内のゾーニング .....	543
表 3.1.6 エリアンサス栽培・ペレット製造原価<シミュレーション> .....	452	表 3.2.35 天然ガスと熱分解ガス比較.....	549
表 3.1.7 バイオマス燃料向け木材資源の発生場所と発生量の概算方法 .....	456	表 3.2.36 エンジン側の制限例 .....	549
表 3.1.8 バイオマス燃料向け木材資源の種類別特性 .....	456	表 3.2.37 ガスエンジンの適用事例 .....	550
表 3.1.9 主要な樹種の気乾密度( $t/m^3$ ) .....	457	表 3.2.38 直接ガス化炉 バイオマスガス化の代表的組成 .....	551
表 3.1.10 含水率別の丸太重量換算 .....	457	表 3.2.39 間接ガス化炉の代表的なガス性状 .....	551
表 3.1.11 含水率別の丸太材積換算 .....	457	表 3.2.40 熱分解ガス精製技術 .....	552
表 3.1.12 丸太 $1m^3$ をチップにした場合の層積 .....	458	表 3.2.41 近年の小規模ガス化発電事例 .....	554
表 3.1.13 木材の発熱量と含水率との関係(針葉樹・広葉樹の木部) ..	460	表 3.2.42 バイオマスを燃料としたボイラーの分類例 .....	556
表 3.1.14 木材の発熱量と含水率との関係(針葉樹・広葉樹の樹皮) ..	460	表 3.2.43 バイオマスを燃料としたボイラーの分類例 .....	557
表 3.1.15 チップの品質規格 .....	461	表 3.2.44 化石燃料ボイラーとバイオマスボイラーの比較 .....	557
表 3.1.16 チップの品質規格における区分表 .....	462	表 3.2.45 乾燥チップボイラーと生チップボイラーの比較 .....	558
表 3.1.17 木質ペレット欧州規格(ENplus).....	463	表 3.2.46 バイオマスボイラーの種類による負荷変動に対する特性 .....	561
表 3.1.18 木質ペレットの品質基準 .....	464	表 3.2.47 バイオマス燃料を利用した蒸気ボイラーの国内事例 .....	562
表 3.1.19 素材生産の各工程に適した林業機械の例 .....	465	表 3.2.48 バイオマスボイラーに関する法規制 .....	563
表 3.1.20 各種早生樹の概要調査 .....	467	表 3.2.49 蒸気ボイラーの労働安全衛生法の対応事項の概要 .....	566
表 3.1.21 チッパーの種類と特徴 .....	468	表 3.2.50 蒸気ボイラーの建築基準法の対応事項の概要 .....	567
表 3.1.22 チッパーの主要な確認項目 .....	469	表 3.2.51 蒸気ボイラーのダイオキシン類対策特別措置法の対応事項の概 要 .....	567
表 3.1.23 現状の切削チップ生産コスト .....	470		
表 3.1.24 工場加工チップコスト(チッパー機:1/2 補助) .....	471		
表 3.1.25 中間土場チップ製造コスト(チッパー機:1/2 補助) .....	472		
表 3.1.26 切削チップの生産コストまとめ .....	472		
表 3.1.27 造粒方式の比較 .....	474		
表 3.1.28 選別機の種類と特徴 .....	477		
表 3.1.29 乾燥方法や乾燥対象別のメリットとデメリット .....	478		
表 3.1.30 FS 事業実施事業者の人工乾燥検討例 .....	479		
表 3.1.31 国内バイオマス資源の水分率の例 .....	480		
表 3.1.32 天然乾燥と太陽熱乾燥の投資回収年数比較 .....	482		
表 3.1.33 乾燥方法別比較検討 .....	482		
表 3.2.1 ボイラーの種類と機能 .....	486		
表 3.2.2 ボイラーの燃焼方式の種類と特徴 .....	487		
表 3.2.3 ボイラーの選定条件例 .....	487		
表 3.2.4 主要な確認項目 .....	488		
表 3.2.5 発電用ボイラー設備の構成と機能 .....	489		
表 3.2.6 蒸気タービンの種類と特徴 .....	492		
表 3.2.7 主要な確認項目 .....	493		
表 3.2.8 ORC 発電と蒸気タービン発電の特性比較 .....	504		
表 3.2.9 ORC とダウンドラフト式ガス化の比較 .....	505		
表 3.2.10 ランキンサイクルに使用される各種稼働媒体 .....	506		
表 3.2.11 ORC 各メーカーと作動媒体 .....	507		
表 3.2.12 主な木質系チップ搬送コンベヤの種類と特徴 .....	510		
表 3.2.13 サイロあり/なしの場合の受入ホッパーの容量設定 .....	514		
表 3.2.14 復水器の形式と機能 .....	516		
表 3.2.15 主要な確認項目 .....	517		
表 3.2.16 排ガス処理方式と機能 .....	519		
表 3.2.17 通風設備の構成と機能 .....	522		
表 3.2.18 主要な確認項目 .....	522		
表 3.2.19 灰出し設備の種類と機能 .....	525		
表 3.2.20 用水設備の構成と機能 .....	526		
表 3.2.21 主要な確認項目 .....	526		
表 3.2.22 排水処理設備の構成と機能 .....	528		
表 3.2.23 主要な確認項目 .....	528		
表 3.2.24 原料調達に関連する法律一覧 .....	530		
表 3.2.25 エネルギー利用に関連する法律一覧 .....	530		
表 3.2.26 設備建設および設計に関連する法律一覧 .....	530		
表 3.2.27 プラント立地に関連する法律一覧 .....	531		
表 3.2.28 環境基準等に関連する法律一覧 .....	531		
表 3.2.29 熱供給事業登録申請書の内容 .....	534		

# 1章 木質バイオマス原料および燃料に係る基礎知識

## バイオマスとは

バイオマスとは「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」と定義される。バイオマス利用は原料としてのバイオマス資源、エネルギーの利用形態、そしてそれらを結びつけるエネルギー変換技術で構成される。バイオマスの利用方法は、製材等に用いるマテリアル利用とエネルギー利用に大別され、まずマテリアルとして利用し、最終的にはエネルギー利用するというカスケード利用を行うことで資源の有効活用が可能である。また、用途に応じて輸送燃料等の液体燃料への変換も可能である。エネルギー利用として燃焼させると CO<sub>2</sub> が発生するが、これは森林等の生態系が持続的に管理されていれば成長過程で大気中から吸収した CO<sub>2</sub> であり、再生可能エネルギーのひとつとして位置づけられている。

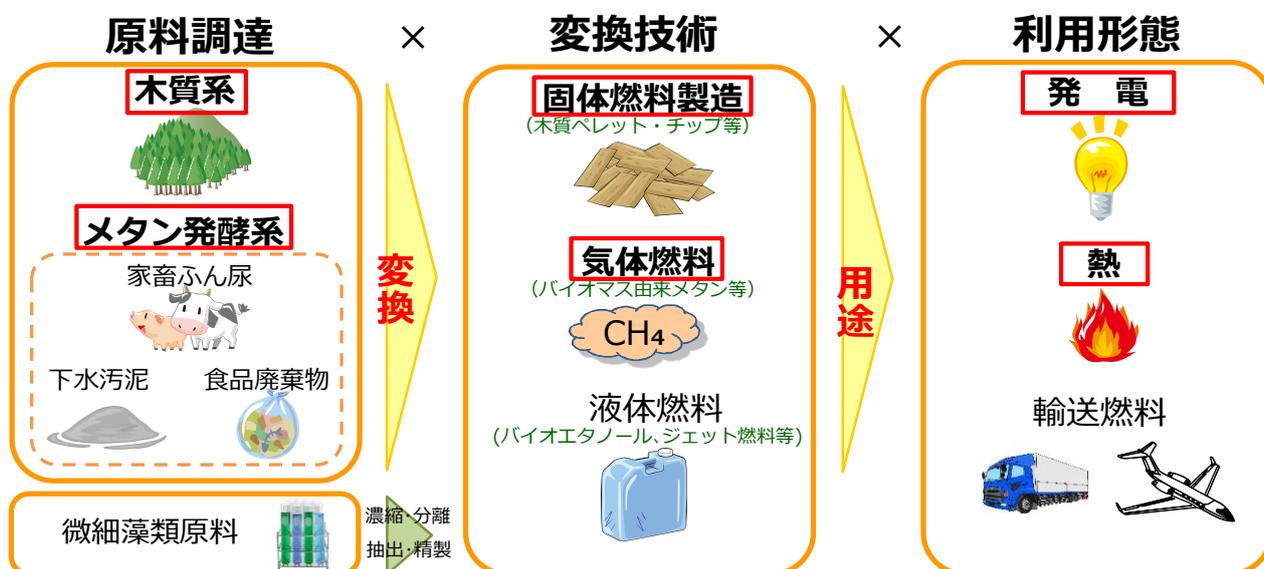


図 3.1.1 バイオマスエネルギー利用の全体像 (赤枠は NEDO バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業の対象範囲)  
(出所) NEDO 作成

バイオマスエネルギーの原料、変換技術、および利用形態は多様な選択肢が存在するが、NEDO バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業（以下、本事業）では、このうち近年国内で導入拡大が進む木質系およびメタン発酵系バイオマスについて、発電・熱利用を対象に様々な事業モデルの実証を行っている。

本ガイドラインの「木質系バイオマス編」において、次頁に示す木質由来のバイオマス資源について解説する。

# 1.1 原料および燃料の種類

## 種類と特性

木質系バイオマス資源には、下表のとおり様々な種類があり、それぞれ固有の特徴がある。現状国内では、発電利用向けにチップやペレットが多く使われているが、本事業では、樹皮や廃材など、これまで活用が難しく地域の中で課題となってきたバイオマス資源の利用も対象にFS・実証事業を行っている。

表 3.1.1 木質バイオマス資源の種類と特性

種類	特性
<p><b>チップ</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 切削チップ、スクリー切削チップ、破碎チップがある。</li> <li>・ 木材を細断する機械によりチップにする。</li> <li>・ ペレットより安価であり、小規模な温水ボイラーから大規模な発電施設の燃料として利用される。</li> <li>・ 適用するシステムに応じてチップの形状・水分量の調整が必要な場合がある。</li> </ul>
<p><b>ペレット</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 破碎チップや、製材等の加工過程で発生するおが粉、かんな屑、あるいは製材端材を粉砕して、乾燥させた原料を圧縮成形してペレットにする。</li> <li>・ 小規模な温水ボイラーから大規模な発電施設の燃料として利用される。特に欧州にて規格化が進んでいる。</li> <li>・ 燃料密度が高いため、保管施設が小規模にできる。</li> <li>・ 大きさを均一にすることによって、施設内の自動化等に取り組みやすい燃料であり、輸送や保管も有利である。</li> <li>・ 生産工程が複雑となるため、薪、チップと比べてコスト高のものとなる。</li> </ul>
<p><b>薪</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大割、丸薪、小割り、粗朶(そだ)、柴などがある。</li> <li>・ 樹木の幹、枝、梢、根を切って割る。</li> <li>・ ストーブやボイラーの燃料として利用されるが、バイオマスガス発電の原料として使用される例は少ない。</li> <li>・ 燃料としては水分、樹種、サイズが質を決定する。</li> </ul>
<p><b>おが粉</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ おが粉、かんな屑がある。</li> <li>・ 製材等の加工過程で発生する副産物および残余物。</li> <li>・ ペレットやブリケットの原料になる。</li> <li>・ 通常は幹から発生する材なので土砂の混入は少ない。</li> <li>・ 流下してしまうため、燃焼が安定せず一般に固定床式ガス化炉への適用は難しい。</li> </ul>
<p><b>樹皮</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 樹皮(バーク)</li> <li>・ 製材所の加工過程で発生する樹木の表皮で、副産物および残余物。</li> <li>・ 水分が55~60%(wb)と高いため、ガス化炉への適用は難しい。</li> <li>・ 灰分が多いため、燃焼時にクリンカとの問題を発生しやすい。</li> </ul>
<p><b>廃材</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 製材や土木・建設過程で発生する端材、建築物の解体時などに発生する。</li> <li>・ 直接燃料とする場合と、チップ、ペレットの原料とする場合がある。</li> <li>・ ベンキ、接着剤、防腐剤、金属、ゴム、プラスチック等の残余物が付着していることが多く、炉への影響が生じる可能性がある。</li> <li>・ 大量の薬剤処理がされている木材(枕木・電柱・塩化ビニル加工など)は使用できない。</li> </ul>

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## コラム：草本系バイオマス

草本類バイオマスをエネルギー利用の視点から見たとき、いくつか他のバイオマスにない特性がある。そのひとつに、エネルギー作物として育てることで、持続的、計画的な原料確保と収集運搬が可能となり収集運搬の低コスト化が進むということが挙げられる。一般的にバイオマスは収集、運搬、管理が課題となりやすいが、草本類バイオマスは農地で栽培でき、品種によっては多年生のため定植翌年以降は毎年定量収穫できる。そのため、例えば大規模なプランテーション形式で育てて計画的な収集運搬を行うことで、低コスト栽培の可能性が見込める。

また栽培地の将来的な用途の転用が容易な点や、ストレス耐性に優れ比較的栽培に手間のかからないといった視点からも、未利用な耕作不適地や耕作放棄地の対策として効果が高いと推察できる。特に生産性については、高乾物収量が得られるエリアンサスは、潜在能力の高い草本類バイオマスとして数ある品種の中でも注目されている。温帯地域での生育では冬期に立毛状態のまま乾燥するので水分率の低い原料となる点が利点となっていて、年間の乾物生産量が大きいと原料の安定確保にも適した作物である。高い乾物生産性とストレス耐性を示すこと、熱帯・亜熱帯気候で特にその能力を発揮することから適応域が広く、日本においても北関東以南で栽培が可能なることから、国内における今後の活用が大きく期待される。一方で、収穫機械における作業効率は改良の余地がある。収集形態としては、既存の飼料用収穫機による機械収穫が検討可能で、今後の課題として、低コスト化を実現する栽培モデルを構築すること、生産性向上、長期間にわたって高い生産性を維持できるような生産持続性を確立すること、技術開発においては機械収穫効率を向上させる栽植密度を明らかにすることや耐倒伏性の強化が挙げられる。

### 草本類の特徴

- 多年生草本植物が多く、地力の低い土地やストレスの多い場所でも旺盛に生育
- 病気や害虫に強く、高い生産性を示す
- 害獣対策が不要（種別による）
- 単位面積・単位エネルギー当たりのバイオマス生産性が高い
- 食料競合しない
- 計画栽培が可能で、農地への転用及び耕作放棄地対策として活用ができる。

表 3.1.2 草本類バイオマスの種類

名称	エリアンサス	ジャイアントミスカンサス	ネピアグラス	ソルガム
写真				
種類	イネ科多年草	イネ科多年草	イネ科多年草	イネ科一年草
栽培適地	北関東以南で栽培可能	九州以北北海道西部まで	熱帯・亜熱帯のみで永年栽培可能。九州以北では単年利用。	全国（夏季のみ、沖縄は通年）
利用	宿根性で移植後は10年以上継続利用可	宿根性で移植後は10年以上継続利用可	宿根性で移植後は10年以上継続利用可	毎年種まきが必要で手間がかかる
収量 <small>注1</small>	50t/ha	40t/ha	50t/ha	18t/ha
施肥	低肥料で永続的利用が可能	低肥料で永続的利用が可能	適切な施肥管理によって収量が維持できる	適切な施肥管理によって収量が維持できる
倒伏	台風による倒伏は認められない	耐倒伏性が高く越冬後も倒伏しない	耐倒伏性は高くはない	倒伏耐性は高くはない
乾物率	冬季は乾物率が70%となる	2月以降乾物率が80%を超える	年中生育期間であるため乾物率は50%以下	立毛乾燥条件では倒伏しない品種は限定
収穫	ケンパー式の収穫機で収穫可能	茎が適度に分散し機械刈適性に優れる	飼料との兼用種であるため機械化体系がある	作物なので体系が構築されている
更新	耕起・農地転換はパワーショベルで行う	水田での栽培にも適し、農地への転換も容易	耕起・農地転換はパワーショベルで行う	毎年度耕起するため体系は構築されている
雑草化	九州以北では種子は稔実しない	開花するが種子ができず、雑草化しない	種子稔性は乏しいが沖縄では繁茂	種子は穀類として利用できる
葡萄茎	葡萄茎はない	短い葡萄茎で徐々に株が広がる	倒伏した場合葡萄する	葡萄茎はない
写真の出展	小林 真氏	小林 真氏	<a href="http://www.tropicalforages.info/forages/Media/Html/entities/pennisetum_purpuraceum.htm">http://www.tropicalforages.info/forages/Media/Html/entities/pennisetum_purpuraceum.htm</a>	<a href="http://www.tropicalforages.info/key/forage/Media/Html/entities/sorghum_annual.htm">http://www.tropicalforages.info/key/forage/Media/Html/entities/sorghum_annual.htm</a>
資源作物適性	◎（福島沿岸部以南・九州以北）	◎（寒冷地で高い適性）	○（熱帯、亜熱帯のみ）	△（高い栽培管理が必要）

注1 収量は小プロットでの栽培試験のデータ(実収量は概ね半分程度となるので注意)

(出所) 高砂熱学工業株式会社「2018年度～2019年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業/栃木県におけるエリアンサスを含めたバイオマス資源を活用した公共施設への地域自立システム化の事業性評価(FS)」(NEDO)2019年

## 木質チップの種類

木質チップは生産方法によって**切削チップ**と**ピンチップ（破碎チップ）**に大別される。切削チップは主に機械的に刃物で切削したもので、形状は四角形のフレーク状である。ピンチップは主にハンマークラッシャー等の機械的な打撃により木質の繊維に沿って砕いたものである。バイオマス燃料としては切削チップが利用されることが多い。詳細は「**第 2 部 2. II. 1 ③ 燃料規格対応の確認**」を参照されたい。



図 3.1.2 切削チップ（左）とピンチップ（右）

（出所）株式会社バイオマスアグリゲーション提供

## 木質ペレットの種類

日本国内で製造、流通されている木質ペレットの種類は全木ペレット、ホワイトペレット、バークペレットの3種類がある。

全木ペレットは丸太の全てを材料として利用して製造する。木の皮まで入れるため外見は茶色となっている。ホワイトペレットは丸太の皮をむいた部分だけを使用して製造する。樹皮が含まれないため、他のペレットと比較して白いのが特徴である。バークペレットは丸太の皮だけで製造するもので、濃茶色の仕上がりとなる。



図 3.1.3 全木ペレット（左）、ホワイト（木部）ペレット（中央）、バークペレット（右）

（出所）一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会提供

## FS 事業者の検討：エリアンサス・ペレットの生産と経済性評価

高砂熱学工業株式会社および一般社団法人日本有機資源協会は NEDO の FS 事業において、エリアンサス栽培およびペレット生産の検討を行った。エリアンサスは永年性イネ科植物であり、高乾物収量が得られる潜在能力が高いセルロース系資源作物として、近年エネルギー利用やマテリアル利用の観点から注目されている。

エリアンサス等草本類の圃場には、耕作放棄地が有効とされる。これは、通常の作物と違い、それほど肥培管理等に手間がかからないことや、病害虫や獣害被害を受けないことから、荒廃農地の解消・再生後の圃場においても、維持管理が継続できるとされるためである。手間やコスト、効率の点からは、放棄されて年数を経た土地である荒廃農地（再生困難）は、伐根費用がかさむ可能性が高く、より容易に再生可能な 1 号遊休農地や、耕地とみなされる 2 号遊休農地が望ましい。耕作放棄地の中でもその状況いかんで土地改良コストは大きく変動する。また、実際には跡継ぎがない農家や、高齢で農業の縮小を考えている農家は多く、管理コストが大幅に削減されるのであれば継続できるというケースも多い。食物の栽培コストほど手間のかからないエリアンサス等草本類は、こういった問題の解決に最適である。耕地をそのままエリアンサスに転用することになるため、耕作放棄地の抑制に繋がる新しい価値を提供することが可能である。



図 3.1.4 エリアンサスの栽培イメージ

(出所) 高砂熱学工業株式会社「2018 年度～2019 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業／地域自立システム化実証事業／栃木県におけるエリアンサスを含めたバイオマス資源を活用した公共施設への地域自立システム化の事業性評価(FS)」(NEDO)2019 年

エリアンサスは多年生で長期的多収が得られる反面、初期成育が遅いという特徴がある。また、熱帯起源であるため、暑さに強いが寒さに弱いのが基本特性である。したがって、播種から育苗機関としておよそ 1 年を確保する必要があり、ビニールハウス等で冬季の低温を回避した状態で越冬させ、降霜の可能性がなく地温が上がり、かつ乾燥しにくい時期に定植を行う。

定植における再植密度は、雑草管理・施肥・収穫に使用する機械に合わせて設定する必要があるが、畝間 2～2.5m、株間 0.7～1m が標準と考えられる。1ha あたり 4,000～7,100 本の苗が必要となる計算になるが、欠株も考慮し 1ha あたり 7,000 本の苗は必要なものと考えべきである。

エリアンサスは初期成育に時間がかかるため、雑草の日陰になって成育不良に陥らないよう、定植当年の雑草管理が重要となる。特に、つる性雑草が繁茂していることがあり、放置するとエリアンサスの成長を阻害することになり、定期的な除草等の雑草管理が必要となる。肥料や堆肥は、定植時に行うのみで、定植後は不要なため手間がかからないといった点がメリットとされることもあるが、実際には定植後も最低限の肥料や堆肥等は必要である。

定植当年は収穫せず、定植翌年からの収穫となる。収穫可能な時期は 11 月下旬～4 月上旬である。この間立毛乾燥が進行するため、含水率 30%程度の低水分収穫ができる。収穫期間が長いので、栽培面積の規模を増大させても計画的な収穫が可能であり、また、低水分収穫により、乾燥工程を要せずペレット燃料への加工が可能となること等は資源作物の優位性である。

収穫は、ロールベア収穫機の使用により、刈取とロールベア梱包を 1 台で同時に行うことが可能となっている。

また、エリアンサスとジャイアントミスカンサスについては、事業規模で栽培を行うための播種・育苗・定植マニュアルが作成中となっている。

表 3.1.3 エリアンサス等草本類栽培マニュアル

マニュアル名称	制作	協力
事業規模でのエリアンサス栽培のための播種・育苗・定植マニュアル	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 構畜産草地研究所 那須研究拠点	国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター 一熱帯・島嶼研究拠点 株式会社タカノ
事業規模でのジャイアントミスカンサス栽培のための育苗・定植・管理・収穫マニュアル	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 構畜産研究部門 畜産飼料作研究拠点 東北農業研究センター 畜産飼料作研究領域 域東北農業研究センター 農業放射線研究センター センター北海道農業研究センター 作物開発研究領域	株式会社タカノ



図 3.1.5 従来型収穫 収穫機とトラック並走による収穫



図 3.1.6 ロールベア収穫機械（FS 事業関係企業所有）

（出所）高砂熱学工業株式会社「2018 年度～2019 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業／地域自立システム化実証事業／栃木県におけるエリアンサスを含めたバイオマス資源を利活用した公共施設への地域自立システム化の事業性評価(FS)」(NEDO)2019 年

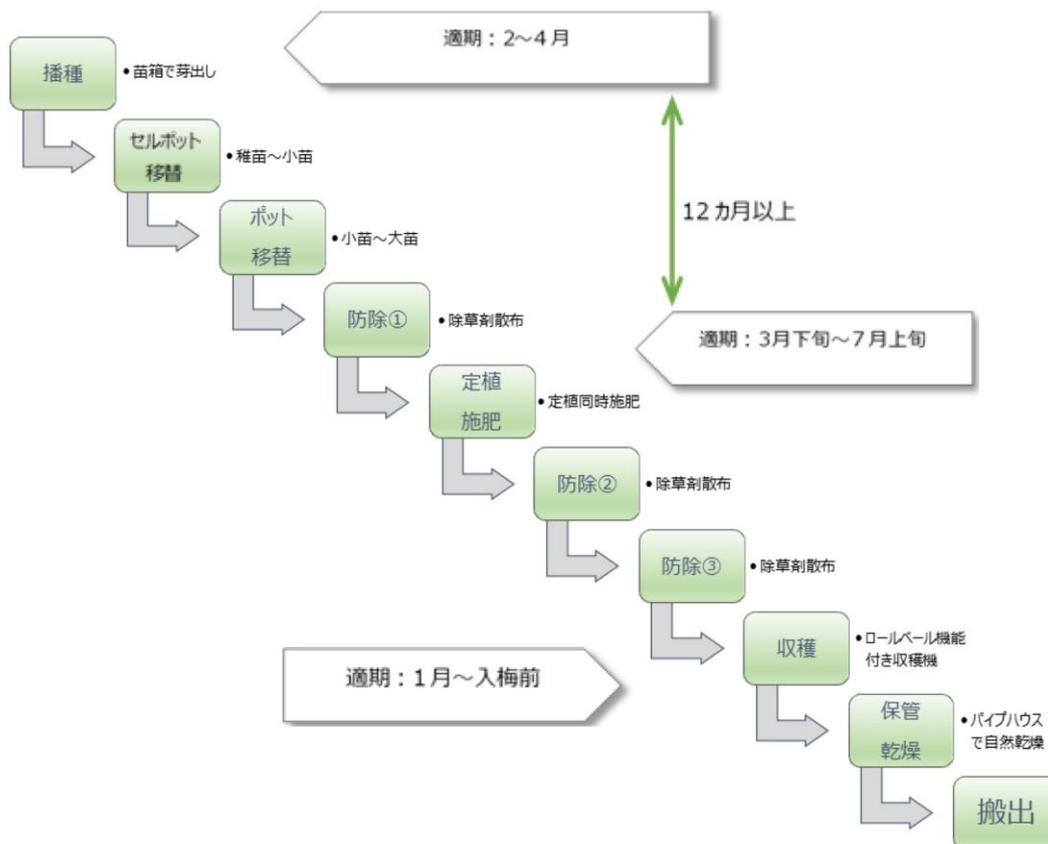


図 3.1.7 エリアンサス栽培フロー

(出所) 高砂熱学工業株式会社「2018 年度～2019 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業／地域自立システム化実証事業／栃木県におけるエリアンサスを含めたバイオマス資源を活用した公共施設への地域自立システム化の事業性評価(FS)」(NEDO)2019 年

**経済性試算の結果**

本FS では、既に栃木県内でエリアンサス栽培に取り組む某社を対象に生産拡大シミュレーションを行った。生産拡大に向けたステップは、現有設備を極力使用しながら投資額を控えつつ生産拡大を行い、下図のとおり段階的に投資を拡大することを想定した。4 年目以降の生産量（販売量）は、現在の 250t/年から 5.6 倍にあたる 1,400t/年をゴールイメージとした。

表 3.1.4 生産拡大のステップ

ステップ	対策	効果	1年目	3年目	5年目	10年目
第一段階	ペレット生産量を現状設備で増産	生産量：320t/年に増産	→			
第二段階	播種・育苗を増やし圃場を拡大	圃場面積：28haに拡大	→	→		
第三段階	栽培効率化（雑草対策、株補植等）	収量：25t/haに拡大	→	→	→	
第四段階	生産プラント更新へ	生産量：1,400t/年に増産	→	→	→	→

(出所) 高砂熱学工業株式会社「2018 年度～2019 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業／地域自立システム化実証事業／栃木県におけるエリアンサスを含めたバイオマス資源を活用した公共施設への地域自立システム化の事業性評価(FS)」(NEDO)2019 年

生産拡大を 15 年間のスパンで見た場合、発生する設備投資項目は下表のとおりである（個別のコストは非公開）。ここでは上記の第三段階までのステップを事業開始後に着手し、3 年目で第四段階に進み生産プラントの更新を行うことを想定している。

表 3.1.5 生産拡大に向けた設備投資（15年）

機器・設備	数	設置場所	備考
パイプハウス（育苗用）	1	工場	
パイプハウス（保管用）	2	圃場	
暖房機	2	工場	育苗用
プラント	1	工場	ペレット製造プラント一式
テントハウス（材料保管用）	1	工場	
汎用型収穫機	1	圃場	事業開始10年目に買替
トラクター	1	—	
ユニックトラック	1	—	

(出所) 高砂熱学工業株式会社「2018年度～2019年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業／地域自立システム化実証事業／栃木県におけるエリアンサスを含めたバイオマス資源を活用した公共施設への地域自立システム化の事業性評価(FS)」(NEDO)2019年

エリアンサス栽培によるペレット生産コストの総額は15年の期間全体で28,154千円、haあたりのコストは1,362千円/haと試算された。この時、燃料単価を40円/kgとして販売することができれば投資回収年数は約6年となる。

表 3.1.6 エリアンサス栽培・ペレット製造原価<シミュレーション>

科目	原価 [千円]	haあたり [千円/ha]	備考
材料費	504	63	種苗費、農薬代、肥料代、培土代、ポット代、木質材料費（運搬費含む）
労務費	3,694	462	土壌改良、農業生産、ペレット生産・供給
製造経費	3,866	483	地代、灯油代、軽油代、電気代、修繕費
減価償却費	4,783	598	
合計	12,847	1,606	

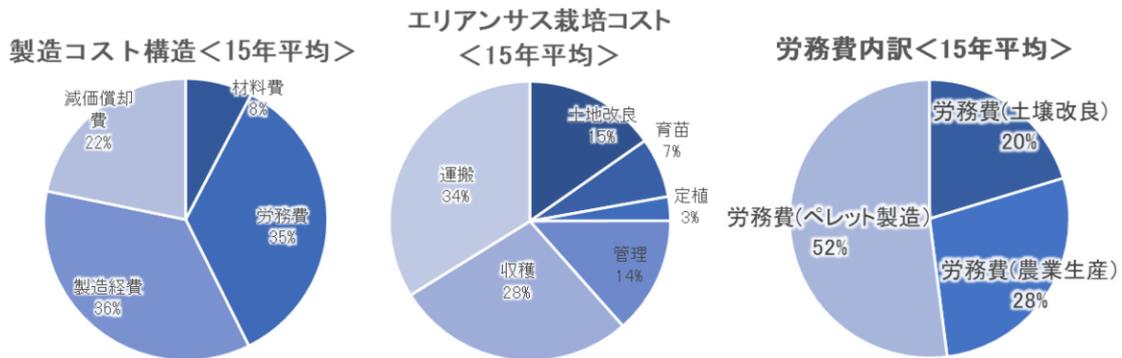


図 3.1.8 製造コスト、エリアンサス栽培コスト、労務費の構造<15年シミュレーション平均>

(出所) 高砂熱学工業株式会社「2018年度～2019年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業／地域自立システム化実証事業／栃木県におけるエリアンサスを含めたバイオマス資源を活用した公共施設への地域自立システム化の事業性評価(FS)」(NEDO)2019年

### エリアンサス栽培の課題

エリアンサス生産を拡大した場合には、圃場⇔工場間の輸送代に加え、木質燃料調達の輸送代、ペレット供給の場合の輸送代が格段に増えるため、運搬に係るコストは効率化が課題となると考えられる。

効率の良い生産拡大を図った場合、全体コストは大きな削減が可能であり、製造原価の改善が見込まれる。

## 原料およびバイオマス燃料の流通システム

チップやペレット等のバイオマス燃料を調達するにあたり、地域の既存のサプライチェーンを理解する必要がある。例えば、山林からの木材を原料としたバイオマス燃料調達の場合の流通システムは、以下の図のとおり、「ペレット工場またはチップ工場経由の調達」、「移動式ペレタイザーまたはチップャーによる現地燃料化」、「発電または熱利用プラントにおける燃料製造」に分類できる。

これらの流通システムにおいて、原料搬出、バイオマス燃料生産、プラントへの輸送のうち、**事業者自身がどこまで関与するかは、事業規模や利用技術、立地などを踏まえて検討**する必要がある。

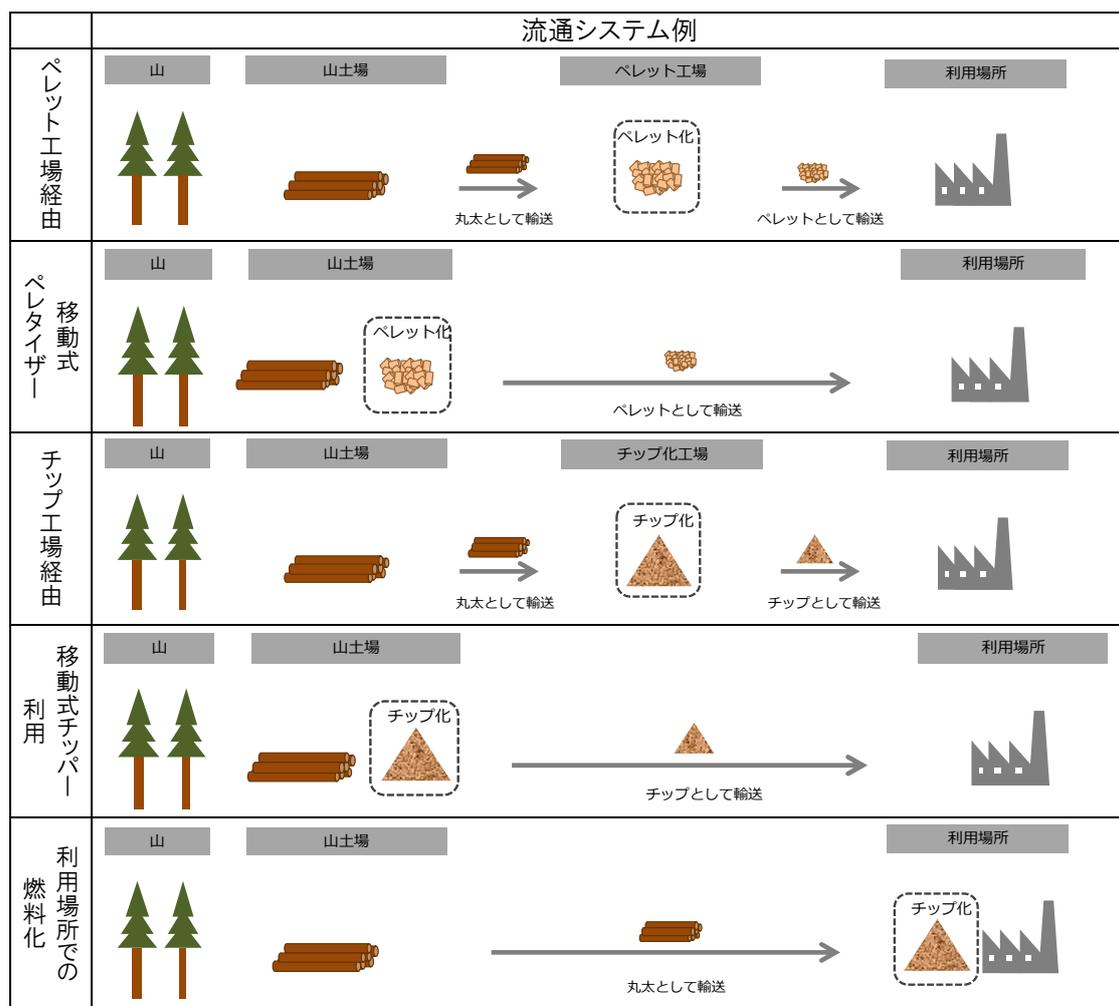


図 3.1.9 流通システム例

(出所)「国内におけるバイオマスエネルギー利用状況調査」(NEDO) 2014 年に基づきみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 価格動向

2012年にFIT制度が開始されて以降、木材資源の需給動向が大きく変化した。新たに発電用チップ向けの木材需要が高まったことで、地域によっては製紙用チップ向けに使われていた木材のみならず用材向けの木材価格も変化しつつある。また、バイオマス発電所の増加に伴い、発電所同士のバイオマス燃料用木材およびチップの競合が生じている地域もある。以下に発電所における針葉樹チップ調達価格の推移を示す。

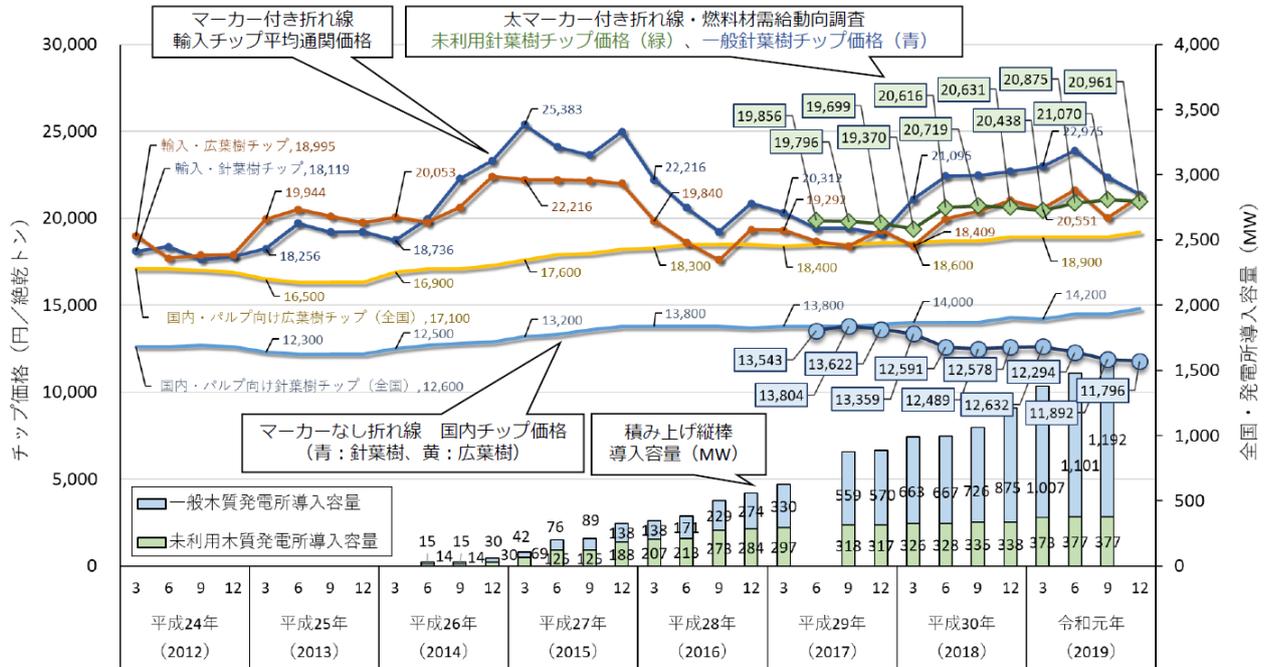


図 3.1.10 発電所における針葉樹チップ調達価格の推移 (絶乾トン)

(出所) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会提供資料

## バイオマス燃料向け木材資源の特徴

木質バイオマスは下図のとおり、様々な原料の種類が存在する。主なバイオマス燃料向け木材資源の発生場所と発生量の概算方法は次表のとおりである。また、それぞれの木材資源の特性について表 3.1.8 に示す。地域毎に利用可能な資源は様々で、それぞれ性状や利用可能性が異なるため、地域特性を考慮した持続的な調達形態を検討する必要がある。



丸太



建築発生木材



竹



林地残材 (末木枝条)



林地残材 (末木枝条)



端材 (末木枝条)



背板 (工場残材)



バーク (工場残材)



おが粉 (工場残材)

図 3.1.11 木質バイオマス原料の種類

(出所) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会提供

表 3.1.7 バイオマス燃料向け木材資源の発生場所と発生量の概算方法

種類	発生場所	主な調達形態	発生量の概算方法
建設発生木材	建築・解体・土木工事現場	チップ	40~100kg/m <sup>2</sup>
支障木や剪定枝等	道路脇や河川敷等	チップ	概算困難 ※実施地域でのヒアリング等が必要
工場残材	木材関連工場	端材 チップ ペレット	製材工場: 製品量の 30%程度 合板工場: 製品量の 30~50%程度 ラミナ工場: 製品量の 50~70%程度
輸入材	輸入相手国内	チップ ペレット	交渉次第
末木枝条	林内または土場	枝葉や伐根 チップ ペレット	素材生産量の 15~35%程度 先端部(枝葉含む): 立木の 12% 根元部: 立木の 24% (家具材等へも利用されている)
(切捨)間伐材	林内または土場	丸太 チップ ペレット	間伐実施前に林地に賦存する蓄積の 10~40%程度 (30%程度が一般的とされる)
短伐期のエネルギー用材	短伐期林	丸太 チップ ペレット	100%を燃料向けに利用可能
竹	竹林	チップ ペレット	概算困難 ※実施地域でのヒアリング等が必要

(出所) 一般社団法人日本建設業連合会ウェブサイト、林野庁各種統計、NEDO バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計等をもとにみずほりサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

表 3.1.8 バイオマス燃料向け木材資源の種類別特性

種類	水分率 (%)	水分の変動要因	密度 (t/m <sup>3</sup> )	低位発熱量 目安 (MJ/kg-wet)	灰分	不純物	有害物質	形状	主要発生地	エネルギー以外の用途
建設発生木材	25~40	季節 天候 収集条件	0.14-0.23 程度	水分に応じ 10~13	1~2% 程度	多 -金属 -土砂 -接着剤 -塗料 等	多 -塩素 -CCA (ク ロム、銅、 ヒ素) -接着剤 -塗料	破碎チップ	住宅地 土木・建 築現場	ボード原料
支障木や 剪定枝等	条件に応 じて大きく 変動	樹種 収集条件 発生場所	樹種に応 じて変化	樹種や 水分に応じ て変化	1~7%	多 -金属 -土砂 -小石 -草本 等	少	丸太状 梢端、枝 葉など	道路脇 河川敷 等	きのご栽培 用のほだ木 ガーデニン グ用途 等
工場残材	合板: 30~40 製材: 45~55	樹種	0.5-0.6 程度	水分に応じ 8~12	~2% 程度	少	少	木粉 のご屑 プレーナー 屑 背板・心 材樹皮	製材工 場、合板 工場、単 板工場、 集成材工 場 等	製紙チップ 敷料 木粉 等
末木枝条	50~60	季節 天候 収集条件	0.4-0.5 程度	樹種や 水分に応じ 6-10	~5% 程度	多 -土砂 -小石 -草本 等	少	たんころ (伐根)、 梢端、枝 葉 等 (幹以外)	林内 林道 山土場 (施業方 法依存)	未利用
(切捨) 間伐材	50~60	季節 天候 収集条件	0.45 程度	樹種や 水分に応じ 6-10	~1% 程度	少	少	小径木 (皮付丸 太材) 林地悪条 件による未 搬出材	林内	未利用
短伐期の エネルギ ー用材	樹種に依存					幹利用: 少 全木利 用:多	少	皮付丸太 材 全木	皆伐施業 しやすい林 地	日本: 取組黎明期 海外: 製紙向け

(出所) 各種公開資料よりみずほりサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## バイオマス原料の密度と材積

国内の主要な樹種の気乾密度（気乾状態（木材を乾燥させ、材の中に液体の水が存在しない状態）における重量と体積を用いて算出した密度）、含水率別の丸太重量および材積換算の係数は以下のとおりである。樹種によって密度には差があり、原料を山林から輸送する際には考慮する必要がある。より詳細な樹種別の各種データは林野庁「木質バイオマスボイラー導入・運用に関わる実務テキスト」<sup>1</sup>第9章を参照されたい。

表 3.1.9 主要な樹種の気乾密度 (t/m<sup>3</sup>)

樹種	値
スギ	0.38
ヒノキ	0.41
アカマツ	0.53
ブナ	0.5~0.7
ナラ	0.67
ベイマツ	0.53
レッドウッド	0.45

(出所) 木材工業ハンドブック（森林総合研究所）2004年をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

表 3.1.10 含水率別の丸太重量換算

含水率 %db	水分率 %wb	丸太 1m <sup>3</sup> 当たりの重量 t/m <sup>3</sup>					
		スギ	トドマツ	ヒノキ	エゾマツ	カラマツ	アカマツ
0	0	0.35	0.38	0.41	0.41	0.47	0.49
33	25	0.43	0.46	0.49	0.49	0.55	0.57
43	30	0.46	0.49	0.53	0.53	0.59	0.62
54	35	0.49	0.53	0.57	0.57	0.64	0.66
67	40	0.53	0.57	0.61	0.61	0.69	0.72
82	45	0.58	0.62	0.67	0.67	0.76	0.78
100	50	0.64	0.69	0.74	0.74	0.83	0.86
122	55	0.71	0.76	0.82	0.82	0.92	0.96
150	60	0.80	0.86	0.92	0.92	1.04	1.08
186	65	0.91	0.98	1.05	1.05	1.19	1.23
生材推奨値		0.80	0.80	0.70	0.80	0.65	1.00

(出所) 株式会社森のエネルギー研究所「木質バイオマスボイラー導入指針」をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

表 3.1.11 含水率別の丸太材積換算

含水率 %db	水分率 %wb	丸太 1t 当たりの材積 m <sup>3</sup> /t					
		スギ	トドマツ	ヒノキ	エゾマツ	カラマツ	アカマツ
0	0	2.86	2.63	2.44	2.44	2.13	2.04
33	25	2.35	2.18	2.04	2.04	1.81	1.74
43	30	2.20	2.04	1.90	1.90	1.69	1.62
54	35	2.04	1.89	1.77	1.77	1.56	1.51
67	40	1.88	1.75	1.63	1.63	1.44	1.39
82	45	1.73	1.60	1.50	1.50	1.32	1.28
100	50	1.57	1.46	1.36	1.36	1.20	1.16
122	55	1.41	1.31	1.22	1.22	1.08	1.04
150	60	1.25	1.16	1.09	1.09	0.96	0.93
186	65	1.10	1.02	0.95	0.95	0.84	0.81
生材推奨値		1.25	1.20	1.40	1.20	1.50	1.00

(出所) 同上

<sup>1</sup> [https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con\\_4.html](https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con_4.html)

丸太 1 m<sup>3</sup>をチップにする際の層積は以下のとおりである。文献および地域によって異なるが、概ね丸太 1 m<sup>3</sup>あたり 2.5～2.8m<sup>3</sup>程度となっている。

表 3.1.12 丸太 1m<sup>3</sup>をチップにした場合の層積

丸太材積 → チップ層積	出所
1 m <sup>3</sup> → 2.5 m <sup>3</sup>	オーストリア: www.biomasseverband.at
1 m <sup>3</sup> → 2.6 m <sup>3</sup>	岩手県林業技術センター(2006): 燃料用チップ供給の手引き
1 m <sup>3</sup> → 2.62 m <sup>3</sup>	アイルランド: www.nps.ie/wood-fuel-page.html
1 m <sup>3</sup> → 2.7 m <sup>3</sup>	荒瀬輝夫ほか: 信州大学農学部 AFC 報告書, 9.117-122(2011)
1 m <sup>3</sup> → 2.8 m <sup>3</sup>	紙パルプ協会編(1969): 紙パルプの製造技術全書. 原木・調木. 159-164
1 m <sup>3</sup> → 2.8 m <sup>3</sup>	スイス 岩手木質バイオ研編(2005): 森のエネルギーハンドブック

(出所) 株式会社森のエネルギー研究所「木質バイオマスボイラー導入指針」をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

木材資源の形態別のかさ密度の目安は以下のとおりである。図のとおり、丸太は 500-600kg/m<sup>3</sup> であるのに対し、枝条はかさ密度が 120～260kg/m<sup>3</sup> と低いため輸送する際の効率が悪い。そのため田島山業株式会社では現地でこれらの枝条をチップ化し輸送する実証を行っている。カタログ値であるが、枝条を現地チップ化した際にはかさ密度は丸太と同程度の 500kg/m<sup>3</sup> まで向上するとしている。

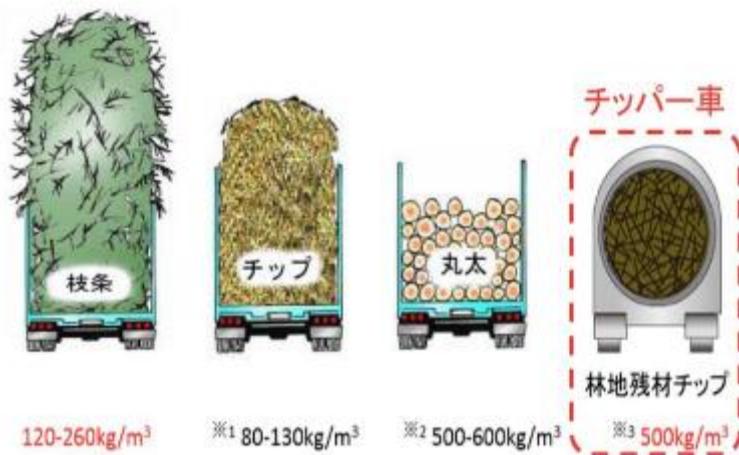


図 3.1.12 木材資源の形態別かさ密度の比較例

\*1: 「平成 22 年度芦別市木質バイオマス有効利用実証調査等業務報告書」(芦別市)、\*2: 「木質バイオマスの収集・運搬技術及び地域利用システムの開発動向」(陣川雅樹)、\*3: 「チッパー車カタログ」(富士車輛)

(出所) 田島山業株式会社「平成 27 年度～平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 持続可能な林業に資するバイオマスエネルギーの地域利活用の事業性評価 (F S)」(NEDO) 2017 年

## バイオマス燃料の発熱量

発熱量とは、**単位質量あるいは単位体積のバイオマス燃料を完全燃焼させた時に発生する熱量**であり、高位発熱量と低位発熱量がある。

**高位発熱量**は熱量計で計測された値で**水蒸気の蒸発熱を含んだ発熱量**である。一方、**低位発熱量**は高位発熱量から**水蒸気の蒸発潜熱を減じた熱量**である。**エネルギーとして実際に用いることができるのは低位発熱量**である。日本では一般に熱量表記には高位発熱量を用いるが、欧州では低位発熱量を用いる。より詳細な樹種別の各種データは**林野庁「木質バイオマスボイラー導入・運用に関わる実務テキスト」第9章**を参照されたい。

## 水分量と熱量の関係

木材の種類が同じであれば、**重量あたりの発熱量は水分が低下するにつれ増加する傾向**にある。

水分の低いバイオマス燃料の方が、変換設備に投入した後、蒸発に奪われる熱量が減るためエネルギー効率が高くなる。そのため、できる限り**水分が低い木材の調達、あるいは事業者自ら木材を乾燥することが望ましい**。

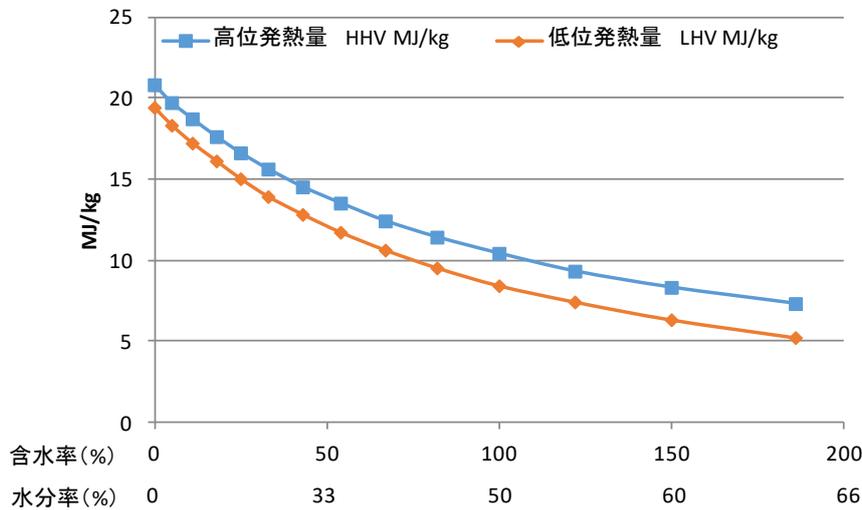


図 3.1.13 木材水分率および含水率と高位および低位発熱量の関係（針葉樹 木部の例）

(出所) 「木材工業便覧」(日本木材加工技術協会) 1952 年、「木質バイオマスボイラー導入指針」(株式会社森のエネルギー研究所) 2012 年

木材の水分量と発熱量は樹種および部位についても異なる。次頁に、針葉樹および広葉樹それぞれの木部および樹皮の発熱量を示す。

表 3.1.13 木材の発熱量と含水率との関係（針葉樹・広葉樹の木部）

含水率	水分率	針葉樹 木部						広葉樹 木部					
		高位発熱量 HHV			低位発熱量 LHV			高位発熱量 HHV			低位発熱量 LHV		
Dry%	Wet%	Kcal/kg	MJ/kg	kWh/kg									
0	0	4940	20.8	5.74	4620	19.4	5.37	4,700	19.7	5.47	4,380	18.4	5.09
5	5	4,690	19.7	5.45	4,360	18.3	5.07	4,470	18.8	5.20	4,130	17.4	4.80
11	10	4,450	18.7	5.17	4,090	17.2	4.76	4,230	17.8	4.92	3,880	16.3	4.51
18	15	4,200	17.6	4.88	3,830	16.1	4.45	4,000	16.8	4.65	3,630	15.3	4.22
25	20	3,950	16.6	4.59	3,570	15.0	4.15	3,760	15.8	4.37	3,380	14.2	3.93
33	25	3,710	15.6	4.31	3,310	13.9	3.85	3,530	14.8	4.10	3,130	13.2	3.64
43	30	3,460	14.5	4.02	3,050	12.8	3.55	3,290	13.8	3.83	2,880	12.1	3.35
54	35	3,210	13.5	3.73	2,790	11.7	3.24	3,060	12.9	3.56	2,630	11.1	3.06
67	40	2,960	12.4	3.44	2,530	10.6	2.94	2,820	11.8	3.28	2,390	10.0	2.78
82	45	2,720	11.4	3.16	2,270	9.5	2.64	2,590	10.9	3.01	2,140	9.0	2.49
100	50	2,470	10.4	2.87	2,010	8.4	2.34	2,350	9.9	2.73	1,890	7.9	2.20
122	55	2,220	9.3	2.58	1,750	7.4	2.03	2,120	8.9	2.47	1,640	6.9	1.91
150	60	1,980	8.3	2.30	1,490	6.3	1.73	1,880	7.9	2.19	1,390	5.8	1.62
186	65	1,730	7.3	2.01	1,230	5.2	1.43	1,650	6.9	1.92	1,140	4.8	1.33

表 3.1.14 木材の発熱量と含水率との関係（針葉樹・広葉樹の樹皮）

含水率	水分率	針葉樹 樹皮						広葉樹 樹皮					
		高位発熱量 HHV			低位発熱量 LHV			高位発熱量 HHV			低位発熱量 LHV		
Dry%	Wet%	Kcal/kg	MJ/kg	kWh/kg									
0	0	4,890	20.5	5.69	4,570	19.2	5.31	4,670	19.6	5.43	4,350	18.3	5.06
5	5	4,650	19.5	5.41	4,310	18.1	5.01	4,440	18.7	5.16	4,100	17.2	4.77
11	10	4,400	18.5	5.12	4,050	17.0	4.71	4,200	17.6	4.88	3,850	16.2	4.48
18	15	4,160	17.5	4.84	3,790	15.9	4.41	3,970	16.7	4.62	3,600	15.1	4.19
25	20	3,910	16.4	4.55	3,530	14.8	4.10	3,740	15.7	4.35	3,360	14.1	3.91
33	25	3,670	15.4	4.27	3,270	13.7	3.80	3,500	14.7	4.07	3,110	13.1	3.62
43	30	3,420	14.4	3.98	3,020	12.7	3.51	3,270	13.7	3.80	2,860	12.0	3.33
54	35	3,180	13.4	3.70	2,760	11.6	3.21	3,040	12.8	3.53	2,610	11.0	3.03
67	40	2,930	12.3	3.41	2,500	10.5	2.91	2,800	11.8	3.26	2,370	10.0	2.76
82	45	2,690	11.3	3.13	2,240	9.4	2.60	2,570	10.8	2.99	2,120	8.9	2.47
100	50	2,450	10.3	2.85	1,980	8.3	2.30	2,340	9.8	2.72	1,870	7.9	2.17
122	55	2,200	9.2	2.56	1,720	7.2	2.00	2,100	8.8	2.44	1,630	6.8	1.90
150	60	1,960	8.2	2.28	1,470	6.2	1.71	1,870	7.9	2.17	1,380	5.8	1.60
186	65	1,710	7.2	1.99	1,210	5.1	1.41	1,630	6.8	1.90	1,130	4.7	1.31

注：全乾状態での高位発熱量（99%下限地）と水素含有率を6%として求めた。

（出所）株式会社森のエネルギー研究所「木質バイオマスボイラー導入指針」よりみずほりサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 1.2 燃料の品質規格

日本では、現在 JIS 等の国の規格としての品質規格は定められていない。ただし、自主規格<sup>2</sup>であればいくつか策定されており、これらは欧米の規格を参考に作成されている。

### ①チップの品質規格

平成 22 年 12 月に「木質リサイクルチップの品質規格（全国木材資源リサイクル協会連合会）」、平成 24 年 5 月に「木材チップ規格原案（全国木質チップ工業連合会）」が発表されているが、いずれも自主規格という位置付けであり、これまで日本では燃料用の木質チップ全体を包括する品質規格は存在していなかった。しかし、これらの内容を包含し、より統合的な規格として、平成 26 年 11 月に一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会により「燃料用木質チップの品質規格」が策定された。こうした自主規格が、JIS 規格等の国の規格として整えられることで、よりその効果が増すと期待される。

表 3.1.15 チップの品質規格

品質項目	単位	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
原料		幹、全木 未処理工場残材	幹、全木 未処理工場残材 灌木・枝条・末木等	幹、全木 未処理工場残材 灌木・枝条・末木等 剪定枝等 樹皮 未処理リサイクル材	幹、全木 未処理工場残材 灌木・枝条・末木等 剪定枝等 樹皮 未処理リサイクル材 化学処理工場残材 化学処理リサイクル材
チップの種類		切削チップ	切削チップまたは破碎チップ		
チップの寸法 P		P16、P26、P32 および P45 から選択			
水分(湿量基準) M	%	M25、M35 から 選択	M25、M35、M45 および M55 から選択		
灰分 A	w-% dry <sub>1</sub> ※	A1.0 ≤ 1.0%	A1.5 ≤ 1.5%	A3.0 ≤ 3.0%	A5.0 ≤ 5.0%
窒素 N	w-% dry <sub>1</sub> ※	—	—	≤ 1.0 ※ <sup>2</sup>	
塩素 Cl	w-% dry <sub>1</sub> ※	—	—	≤ 0.1 ※ <sup>2</sup>	
砒素 As	mg/kg dry	—	—	≤ 4.0 ※ <sup>2</sup>	
クロム Cr	mg/kg dry	—	—	≤ 40 ※ <sup>2</sup>	
銅 Cu	mg/kg dry	—	—	≤ 30 ※ <sup>2</sup>	

注) 金属、プラスチック類、擬木（合成木材、複合木材）、土砂、石等の異物を含まないこと

※1 w-% dry : 質量パーセント（乾量基準）

※2 ただし、リサイクル材を取り扱わない工場を除く。リサイクル材を取り扱う工場では、重金属等について随時測定すること  
(出所) 木質バイオマスエネルギー利用推進協議会「燃料用木質チップの品質規格」

<sup>2</sup> チップについては、平成 26 年 11 月に木質バイオマスエネルギー利用推進協議会が策定した「燃料用木質チップの品質規格」がある。ペレットについては、日本木質ペレット協会が策定した「木質ペレット品質規格」やペレットクラブが策定した「木質ペレット燃料に関する自主規格」がある。ただしペレットクラブは、2014 年以降は ISO の規格を推奨するものとしている。

表 3.1.16 チップの品質規格における区分表

寸法区分(ふるいの目開き寸法)				
区分	微細部 (チップ重量の 10%未満)	主要部 (チップ重量 の80%以上)	粗大部 (チップ重量 の10%未満)	最大長
P16	<4mm	4-16mm	16-32mm	<85mm
P26	<4mm	4-26mm	26-45mm	<100mm
P32	<8mm	8-32mm	32-63mm	<120mm
P45	<16mm	16-45mm	45-90mm	<150mm
水分区分(到着ベース)				
区分	水分 M (湿量基準含水率)		参考 (乾量基準含水率)	
M25(乾燥チップ)	≤25%		≤33%	
M35(準乾燥チップ)	26-35%		34-54%	
M45(湿潤チップ)	36-45%		55-82%	
M55(生チップ)	46-55%		83-122%	
注)M>55%のチップは対象外				
灰分区分				
区分	灰分 %			
A1.0	A≤1.0			
A1.5	A≤1.5			
A3.0	A≤3.0			
A5.0	A≤5.0			

(出所) 木質バイオマスエネルギー利用推進協議会「燃料用木質チップの品質規格」

## 木質ペレットの品質規格

ペレット燃料についてもチップ同様、品質を担保するために欧米を中心に規格が定められている。日本では、現在 JIS 等の国の規格としての品質規格は定められていない。ただし、自主規格<sup>3</sup>であればいくつか策定されており、これらは欧米の規格を参考に作成されている。

ペレットについては 2014 年に国際規格である ISO 規格 (ISO 17225 : 2014) が定められた。このため、現在国際的に流通するペレットは、基本的に国際規格に則って製造されている場合が多い。

欧州のガス化技術で利用する場合は一様な燃焼形態を維持するため、形状・水分率などについて規格化された品質の高いペレットを使用している。

<sup>3</sup> チップについては、平成 26 年 11 月に木質バイオマスエネルギー利用推進協議会が策定した「燃料用木質チップの品質規格」がある。ペレットについては、日本木質ペレット協会が策定した「木質ペレット品質規格」やペレットクラブが策定した「木質ペレット燃料に関する自主規格」がある。ただしペレットクラブは、2014 年以降は ISO の規格を推奨するものとしている。

## 欧州の木質ペレット品質規格

欧州のペレット規格では、固定床式ガス化炉において A1 規格等高品質の物が必要な場合がある。欧州では品質確保のためにバインダー等の添加剤を使用することもあり、海外技術導入にあつては前提としている国産ペレットの適用性、品質が十分なものであるか確認が必要である。

表 3.1.17 木質ペレット欧州規格 (ENplus)

項目	単位	A1	A2	B
直径(D)	mm	6(±1)もしくは 8(±1)		
長さ (L)	mm	3.15 ≤ L ≤ 40		
かさ密度(BD)	kg/m <sup>3</sup>	≥ 600		
真発熱量(Q)	MJ/kg	16.5 ≤ Q ≤ 19	16.3 ≤ Q ≤ 19	16.0 ≤ Q ≤ 19
水分(M)	w-%	≤ 10		
微粉率(F)(<3.15mm)	w-%	≤ 1		
機械的耐久力(DU)	w-%	≥ 97.5		≥ 96.5
灰分(A)	w-%	≤ 0.7	≤ 1.5	≤ 3.0
灰融点	°C	≥ 1200	≥ 1100	
塩素(Cl)	w-%	≤ 0.02		≤ 0.03
硫黄(S)	w-%	≤ 0.03		≤ 0.04
窒素(N)	w-%	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 1.0
銅(Cu)	mg/kg	≤ 10		
クロム(Cr)	mg/kg	≤ 10		
ヒ素(As)	mg/kg	≤ 1		
カドミウム(Cd)	mg/kg	≤ 0.5		
水銀(Hg)	mg/kg	≤ 0.1		
鉛(Pb)	mg/kg	≤ 10		
ニッケル(Ni)	mg/kg	≤ 10		
亜鉛(Zn)	mg/kg	≤ 100		

(出所)「ENplus Handbook Part3: Pellet Quality version 3.0 2015」をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 国内の木質ペレット品質規格

日本国内においては、一般社団法人日本ペレット協会等が品質規格を規定している。

表 3.1.18 木質ペレットの品質基準

品質項目	単位	基準		
		A	B	C
直径の呼び寸法 <sup>(1)</sup> D	mm	6、(7)、8		
長さ <sup>(2)</sup> L	mm	L ≤ 30 mm が質量で 95% 以上、かつ L > 40 mm が無い		
かさ密度 BD	kg/m <sup>3</sup>	650 ≤ BD ≤ 750		
含水率(湿量基準) U	% <sup>(3)</sup>	U ≤ 10		
微粉率 F	% <sup>(3)</sup>	F ≤ 1.0		
機械的耐久性 DU	% <sup>(3)</sup>	DU ≥ 97.5		
発熱量 Q	高位発熱量	≥ 18.4 (4,390 kcal/kg)		≥ 17.6 (4,200 kcal/kg)
	低位発熱量	≥ 16.5 (3,940 kcal/kg)		≥ 16.0 (3,820 kcal/kg)
灰分 AC	% <sup>(4)</sup>	AC ≤ 0.5	0.5 < AC ≤ 1.0	1.0 < AC ≤ 5.0
硫黄 S	% <sup>(4)</sup>	S ≤ 0.03		S ≤ 0.04
窒素 N	% <sup>(4)</sup>	N ≤ 0.5		
塩素 Cl	% <sup>(4)</sup>	Cl ≤ 0.02		Cl ≤ 0.03
ヒ素 As	mg/kg <sup>(4)</sup>	As ≤ 1		
カドミウム Cd	mg/kg <sup>(4)</sup>	Cd ≤ 0.5		
全クロム Cr	mg/kg <sup>(4)</sup>	Cr ≤ 10		
銅 Cu	mg/kg <sup>(4)</sup>	Cu ≤ 10		
水銀 Hg	mg/kg <sup>(4)</sup>	Hg ≤ 0.1		
ニッケル Ni	mg/kg <sup>(4)</sup>	Ni ≤ 10		
鉛 Pb	mg/kg <sup>(4)</sup>	Pb ≤ 10		
亜鉛 Zn	mg/kg <sup>(4)</sup>	Zn ≤ 100		

(1) 6 mm または 8 mm が望ましい

(2) 円孔径 3.15mm のふるいに残るものを測定対象とすること。

(3) 到着ベース (湿量基準)

(4) ドライベース (乾量基準)

(出所) 一般社団法人木質ペレット協会ホームページをもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 1.3 伐採方法・林業機械

チップやペレット等の原料となる木材の素材生産のためには、次表のとおり、伐倒→木寄せ→枝払い・玉切り（造材）→集材→桧積（はいづみ）の工程が必要となる。それぞれの工程で必要となる林業機械は異なり、代表的な例を次図に示す。近年生産性向上およびコスト低減のため高性能な林業機械を導入する事例が増えている。

表 3.1.19 素材生産の各工程に適した林業機械の例

工程	説明	適する林業機械
伐倒	林内の立木を切り倒す作業	ハーベスタ、フェラーバンチャ
木寄せ	林内に散らばる丸太をまとめる作業	ウィンチ、フェラーバンチャ
枝払い・玉切り(造材)	伐倒した木の枝を切り落とし、用材として利用可能な丸太を切り出す作業	プロセッサ、ハーベスタ
集材	造材が終わった丸太を土場に集める作業	ハーベスタ、フォワーダ、スイングヤーダ、タワーヤーダ
桧積(はいづみ)	土場に集まった丸太を長さや径に応じて山積みにする作業	グラップル

(出所) 林野庁「森林・林業白書」平成 25 年度をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成



図 3.1.14 林業機械の例

(出所) 田島山業株式会社「平成 27 年度～平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 持続可能な林業に資するバイオマスエネルギーの地域利活用の事業性評価 (F S)」(NEDO) 2017 年

## FS 事業者の検討：早生樹導入に係る樹種の比較

一般財団法人石炭エネルギーセンターおよび遠野興産株式会社では、FS において各種早生樹の比較検討を行った。国内の現状の林業経営・生産の概況や従来樹種の特徴から、早生樹を導入する際の考え方としては以下のような点が挙げられる。

### ① 早生樹の導入により期待されるメリット

#### a. 収穫期間の短縮

従来林業では、収穫（売上回収）までに約 50 年を要する。早生樹により、この収穫までの期間の短縮が期待される。

#### b. 生産量の増大

従来林業では、植栽後約 50 年程度の生産期間を経て ha 当たり約  $400\text{m}^3/\text{ha}$  の生産が見込まれ、年・ha 当たりでは約  $8\text{m}^3/\text{年}\cdot\text{ha}$  相当の収穫量となる。単純に、この単年・単位面積当たりの生産量が増加できれば、売上増加も見込める。

#### c. 生産経費の低減

現状の林業では、山元立木価格が育林コストを下回っていると言われている。早生樹導入により、下刈り期間の短縮等が可能となればこの育林コストの低減が期待できる。

#### d. 造林コスト・手間の低減

c とも関連するが、造林に関わるコスト・手間が削減できれば望ましい。

特に、早生樹種では、萌芽特性や皆伐後の実生による更新が可能な樹種があり、その場合、初回の植栽以降は植栽頻度が大幅に低減できる可能性もあり、造林コスト・手間の大幅な削減も期待できる。

#### e. 素材の用途・品質等

この点については、各種早生樹等の特徴のほか、想定する用途、また生産・管理の方法（植栽密度等）によっても、収穫量や材質、形状、性状等が変わりうると思われ、それらの内容も長所・短所のそれぞれがあるものとする。主にバイオマス利用を想定する。よって、生産量（収穫量）が基本的にもっとも重要で、木材である以上、品質面で大きな差は生じないと考える。ただ、素材として高付加価値で利用可能な部位はそれらの用途に仕向け、低質な部位をバイオマスとして利用する等の考え方は早生樹の場合にも必要と考える。

### ② 早生樹の導入における留意点

一方、前記の期待されるメリットの反面、以下のような点でデメリット 不利益が生じないか確認する必要がある。

#### a. 自然環境（気象・土壌・標高等）への適性

スギ・ヒノキと違い、全国の気象条件・土地条件への適応が確認されていない場合もあり、こうした自然環境条件への適応が可能かどうか留意する必要がある（耐寒・耐候・耐湿等）。

#### b. 作業特性（植栽・育林）

植栽・育林工程の作業内容や作業量において、従来樹種と大きく変わる点がなく、費用や手間を増大させるような方向ではないことが重要となる。

#### c. 苗の入手

苗の入手が容易でコストも適当である必要がある。

#### d. 獣害や疾病リスク

生産過程でも、獣害や病害による枯死等のリスクがあり、その有無・程度を検討する必要がある。

### e. 収穫作業

収穫の際の作業（伐倒・搬出）において、従来樹種と大きく変わる点がなく、費用や手間を増大させるような方向ではないことが重要となる。特に、既存の林業機械や作業システムが適用できることが望ましいと考えられ、それらの作業性を関連する直材性や樹形等の要素に留意する必要がある。

### f. その他（環境影響等）

早生樹の中で、特に増殖特性が活発な品種の場合、竹のように周辺植生への侵入による影響を与えるようなケースを生じないか、また、在来種でない場合、導入に際して周辺地域の生産者等の抵抗感を惹起することがないかなども考慮が必要と考える。苗の入手に際しては、林業種苗法に基づいて適切に行うことも必要である。

一般財団法人石炭フロンティア機構(JCOAL)と遠野興産株式会社は、FS において国内の早生樹を調査し、以下のとおり総括している。

表 3.1.20 各種早生樹の概要調査

樹名	特徴	試植
1) コウヨウザン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・萌芽特性あり、萌芽更新後の成長・旺盛な繁殖力が特徴</li> <li>・三世代更新実績あり</li> <li>・育成後放置可、下草刈低減可能（枝葉の枯落で下草成長阻害）</li> <li>・成長が早いため年輪密度は粗い、乾燥後の材は割れやすい</li> <li>・寒冷地対応性あり（新潟、播磨実績あり）環境適用性、優良</li> <li>・初期保育で、獣害（野ウサギ、鹿）対策は必要</li> </ul>	○
2) チャンチン モドキ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・萌芽特性あり、芽かきなしで直材成長可</li> <li>・幹径 50cm・樹高 13m/20 年生</li> <li>・幹が縦割りし易い傾向</li> <li>・材の含水率高い、材硬い樹皮はがし難の可能性</li> <li>・比重はセンダンより大きく、成長はセンダンより早い</li> <li>・寒冷地耐性低く、天然北限は九州地域とのこと</li> <li>・獣害（鹿）対策は必要（2m 強防護ネット等、要物理的隔離）</li> </ul>	○
3) ホオノキ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・寒冷地適性あり</li> <li>・葉が燃えにくく、芳香もあり、食用利用の需要あり</li> <li>・乾燥容易、狂いが少なく、軽軟なため加工容易</li> </ul>	○
4) ユリノキ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・萌芽特性あり、種子から育てる、挿し木は不可</li> <li>・胸高直径 30cm 樹高 30m/30 年生（成長特性「3030」同等）</li> <li>・耐寒特性あり（北米カリフォルニア原産）</li> <li>・花咲き蜜が豊富、野鳥・昆虫等、他の植生他生態との共生真容</li> </ul>	○
5) センダン (栴檀)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・萌芽特性あり、種子からの発芽も容易、繁殖力旺盛</li> <li>・直材のため芽かき実施（燃料用途、作業不要の可能性高）</li> <li>・成長量 幹径 40-50cm・樹高 17m/20 年生</li> <li>・寒冷地適性低、陽光・平地～緩傾斜地が生育適地</li> </ul>	○
6) ケンボナシ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・萌芽特性、増殖特性は不明</li> <li>・国内全域で生育</li> <li>・結実し、柄の部が甘味食料になり多様な用途が魅力の広葉樹</li> <li>・材は木目が美しく楽器などにも利用、乾燥で割れ反り生じる</li> </ul>	—
7) ヤナギ(柳)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・萌芽特性あり、挿し木繁殖、収穫 3 年周期</li> <li>・生育期間 3 年、4 年目に 18-21 絶乾 t/ha、3 年毎 30 絶乾 t/ha の収穫</li> <li>・収穫機械の能力より、育成地は傾度 10 度以下の平地となる</li> <li>・寒冷地適用性あり、獣害対策必要</li> <li>・森林総研 北海道にて燃料材用途で積極的に取り組み中</li> </ul>	—
8) クワ(桑)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・萌芽特性あり、耐寒性あり、積雪地でも育成可</li> <li>・天然の山桑は、養蚕用の蚕桑と種類異なり特性も異なる</li> <li>・若木の成長速度が速く、以降の下刈草は不要</li> <li>・幹径 20cm/20 年（ただし幹径 40cm は希少、高値取引）</li> <li>・高級工芸木工材として珍重（近年は需要低迷）</li> </ul>	—
9) キリ(桐)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・萌芽特性、増殖特性あり</li> <li>・比重が軽く（スギ 0.35 &gt; 桐 0.15）、加工・扱いやすい</li> <li>・防火性に優れて高級家具材として珍重（最近はやや減）</li> <li>・火付きは悪いが、火持ちは良く、原型を留めた灰が残る</li> </ul>	—
10) エリートツリー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・成長速度の速い苗木の中から選ばれた杉</li> </ul>	—
11) キハダ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・寒冷地対応能力があり、全国で見られる</li> <li>・国内流通量の 50%以上が長野県産出</li> <li>・内樹皮部を乾燥させ、生薬や黄色染料に利用</li> </ul>	—
12) オビスギ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・萌芽特性は不明、挿し木で、増殖可、</li> <li>・九州で品種化されて広く認知されている</li> <li>・低い吸水性、軽量で強度強いことから、造船用に利用</li> </ul>	—
13) アカシア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・下種更新(萌芽更新極少)</li> <li>・収穫年 7 年前後</li> <li>・恒常的に気温 -5℃では寒害発生、関東以北で栽培困難</li> </ul>	—

(出所) 一般財団法人石炭エネルギーセンター 遠野興産株式会社「2018 年度～2019 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業/早生樹を軸とした農林エネルギー 地域循環サステナブル事業の事業性評価(FS)」(NEDO)2019 年

# 1.4 燃料製造設備

## (1) チップ化

### チップーのタイプ別比較

以下、国内にて主に使用されているチップーのタイプ別比較表を例示する。ここには固定式のチップーのみを提示したが、実際には海外製の移動式チップーを土場に固定して使っている例も少なくない。移動式チップーの方が固定式に比べて処理能力が大きい傾向にある。ただし、エンジン式、電気式なのか、比較対象の馬力の違い、ディスクチップーなのかドラムチップーなのかで、どちらが処理能力が大きいのか、は異なる。

表 3.1.21 チップーの種類と特徴

	ハンマークラッシャー	回転式切削機(ディスクチップー)	ドラムチップー
破砕対象材 (適正材)	建設廃材、家屋解体材	間伐材、背板、林地残材	間伐材、背板、林地残材
最大投入形状 目安	W1500×H350×L4000	Φ550×L4000	Φ750×L4000
適応水分率	生材のみの投入は不可の場合もある	生材のみの投入可能	生材のみの投入可能
破砕後形状	ピンチップ形状	切削チップ形状	切削チップ形状
構造上の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ フリースイング式ハンマー破砕機。</li> <li>・ 横型水平投入供給方式。コンベヤベルト付き。</li> <li>・ スクリーン変更により、破砕粒度の調整が可能。</li> <li>・ 投入ユニット部の上下ローラーにより、材料の安定供給、異常噛み込みの発生抑制を行い、安定した生産が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 回転式切削破砕機。</li> <li>・ 切刃の取付け角度変更により切削チップの厚みが調整可能。</li> <li>・ 投入口が大きいので、供給木材寸法は最大径 550mm 超まで投入可能。</li> <li>・ 投入コンベヤがチェーンフィーダーのため、安定供給が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 回転式切削破砕機。</li> <li>・ 投入速度、刃先の出寸法、スクリーンの変更により、切削チップの粒度、厚みが調整可能。</li> <li>・ 投入ユニット部の上下ローラーにより、材料の安定供給、異常噛み込みの発生抑制を行い、安定した生産が可能。</li> </ul>
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建設廃材、家屋解体材等の乾燥材料のみであれば、安定した大量生産が可能。</li> <li>・ ハンマー破砕機のため、金属等の異物に強い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 間伐材、背板、林地残材から製紙、燃料向けの切削チップの製造が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 間伐材、背板、林地残材からの製紙、燃料向け切削チップの製造が可能。</li> <li>・ ディスクチップー機に比べ、処理能力が大きい傾向にある。</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 生材のみの破砕はスクリーンで目詰まりが発生することがある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 切り刃のため、金属等の異物に弱い。</li> <li>・ 設備投資費やメンテナンス費が高い傾向にある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 切り刃のため、金属等の異物に弱い。</li> <li>・ 設備投資費やメンテナンス費が高い傾向にある。(ただし、定置式(電気)であれば、エンジン式に比べてメンテナンス費は安くすむ)</li> </ul>

(出所) 各種資料よりみずほりサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 燃料製造設備（チップパー）選定時の留意事項

木質チップは、用いるチップパーの種類によって形状が異なり、国内では主としてピンチップと切削チップが流通している。原料の硬さおよび形状等により適応機種が異なるため、原料の特性を踏まえてチップパーを選定する必要がある。

ピンチップは主にハンマークラッシャータイプのチップパーで生産される。比較的低コストで生産できるメリットはあるが、バイオマス燃料として利用する際、搬送設備やサイロで詰まりやブリッジを起こしやすいデメリットが存在する。また、国内で流通するピンチップは一般的にサイズや水分率について品質管理されたバイオマス燃料の入手が難しい場合が多い。

切削チップは主に回転式切削機（ディスクチップパー）やドラムチップパーで生産される。ある程度形状を一定にすることが可能なので、上記のような搬送設備やサイロにおけるトラブルは緩和される。ただし、設備投資費やメンテナンス費は高くなる傾向にある。なお、回転式切削機は丸太のみを機械に投入するケースに適しており、様々な形状のバイオマスが投入する可能性があるケースではドラムチップパーの方が適している。

## 設備仕様の決定

事業者は、契約前に設備メーカー等と十分に協議し設備仕様を決定する必要がある。これらの項目は、施設完成後の性能確認時にも重要なものである。なお、決定に際しては必要に応じサンプル分析を行う。

表 3.1.22 チップパーの主要な確認項目

項目			単位	項目			単位
原料種	水分率		w%	設備	チップ製造能力	t/h	
	かさ密度		t/m <sup>3</sup>		丸太処理能力	t/h	
	製造チップの寸法		mm		運転時間	h/日	

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

# FS 事業者の検討結果：チップ化工場と移動式チップパーの燃料化コストの比較

坂井森林組合では FS において、現状のチップ生産システムと、新規にチップ工場を建設する場合、中間土場において移動式チップパーで燃料生産する場合のコスト比較を行った。

## 現状のチップ生産コスト

年間生産量は、作業時間（後述）をもとにした年度の実績値 1,450t/年を想定した結果、現状の切削チップ生産コストは、20,084 円/t となった。

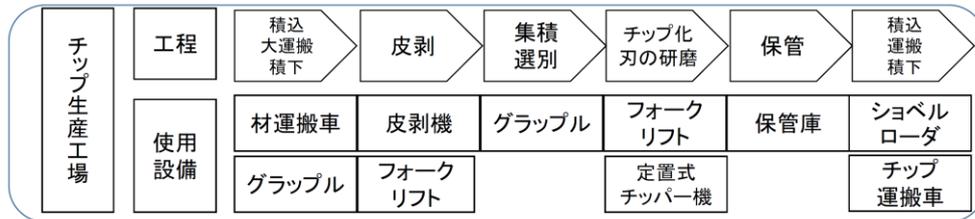


図 3.1.15 チップ生産システムのコスト試算範囲

(出所) 坂井森林組合「2018 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業/地域材を利用した木質バイオマス熱供給事業の事業性評価(FS)」2019 年

表 3.1.23 現状の切削チップ生産コスト

工程	費目	年間経費 (千円/年)	生産量 (t/年)	コスト (円/t)
大運搬	減価償却費	材運搬車	797	550
		グラップル	674	465
	維持修理費	材運搬車	319	220
		グラップル	337	232
	燃料費	材運搬車	472	325
		グラップル	721	498
人件費		2,172	1,498	
計		5,491	3,787	
皮剥	減価償却費	皮剥機	679	469
		フォークリフト	0	0
	維持修理費	皮剥機	64	44
		フォークリフト	55	38
	燃料費	皮剥機	644	444
		フォークリフト	21	15
人件費		2,452	1,691	
計		3,916	2,701	
集積・選別	減価償却費	グラップル	1,515	1,045
	維持修理費	グラップル	258	178
	燃料費	グラップル	1,181	815
	人件費		5,360	3,697
計		8,313	5,734	
切削	減価償却費	チップパー	768	530
		フォークリフト	0	0
	維持修理費	チップパー	110	76
		フォークリフト	55	38
	燃料費	チップパー	1,300	897
		フォークリフト	38	26
人件費		2,028	1,399	
計		4,298	2,965	
研磨	人件費	526	363	
計		526	363	
運搬	減価償却費	ショベルローダ	2,090	1,442
		トラック(10t)	952	657
		トラック(4t)	300	207
	維持修理費	ショベルローダ	170	117
		トラック(2t)	189	131
		トラック(8t)	280	193
		トラック(14t)	569	392
	燃料費	ショベルローダ	76	53
		トラック(14t)	569	392
		トラック(20t)	242	167
人件費		1,706	1,177	
計		6,576	4,535	
合計		29,121	20,084	

(出所) 同上

### チップ化工場加工における燃料生産

チップ生産工場に移動式チップパー機を導入した場合のチップコスト（工場チップコスト）を試算した結果は以下のとおり。

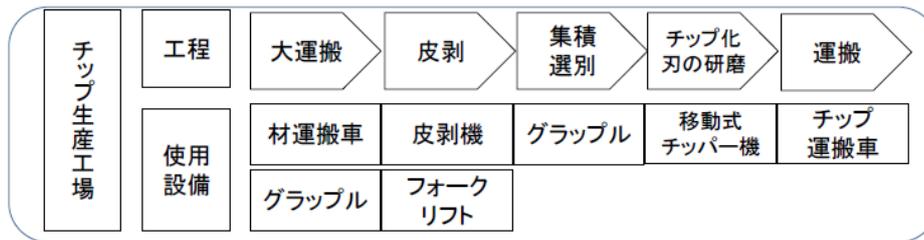


図 3.1.16 チップ生産工場に移動式チップパー機を導入した場合のコスト試算範囲

(出所) 同上

表 3.1.24 工場加工チップコスト（チップパー機：1/2 補助）

工程	費目		年間生産量(1年)							
			1,500		3,000		5,000		10,000	
			年間コスト (千円/年)	1tあたりコ スト (円/t)	年間コスト (千円/年)	1tあたりコ スト (円/t)	年間コスト (千円/年)	1tあたりコ スト (円/t)	年間コスト (千円/年)	1tあたりコ スト (円/t)
大運搬	減価償却費	材運搬車	788	525	1,091	364	2,129	426	4,259	426
		グラップル	666	444	666	222	666	133	931	93
	維持修理費	材運搬車	315	210	436	145	852	170	1,704	170
		グラップル	333	222	333	111	333	67	466	47
	燃料費	材運搬車	452	301	904	301	1,506	301	3,012	301
		グラップル	210	140	419	140	698	140	1,397	140
人件費		2,243	1,495	4,486	1,495	7,476	1,495	14,952	1,495	
計		5,006	3,337	8,334	2,778	13,661	2,732	26,720	2,672	
皮剥	減価償却費	皮剥機	679	453	679	226	675	135	2,109	211
		フォークリフト	64	43	64	21	64	13	200	20
	維持修理費	フォークリフト	110	73	110	37	110	22	110	11
		皮剥機	234	156	468	156	780	156	1,560	156
	燃料費	皮剥機	21	14	41	14	68	14	137	14
		フォークリフト								
人件費		4,407	2,938	8,814	2,938	14,689	2,938	29,379	2,938	
計		5,515	3,677	10,176	3,392	16,386	3,277	33,494	3,349	
集積・選別	減価償却費	グラップル	1,541	1,028	4,701	1,567	7,052	1,410	11,753	1,175
		グラップル	262	175	800	267	1,200	240	2,000	200
	維持修理費	グラップル	1,224	816	2,448	816	4,080	816	8,160	816
		グラップル								
燃料費		4,407	2,938	8,814	2,938	14,689	2,938	29,379	2,938	
人件費		7,434	4,956	16,763	5,588	27,021	5,404	51,291	5,129	
切削	減価償却費	移動式チップパー機	3,848	2,565	3,848	1,283	3,848	770	3,848	385
		移動式チップパー機	84	59	169	56	282	56	563	59
	維持修理費	移動式チップパー機	198	132	395	132	659	132	1,318	132
		移動式チップパー機	108	72	215	72	359	72	717	72
燃料費		4,237	2,825	4,627	1,542	5,147	1,029	6,446	645	
人件費		143	96	287	96	478	96	956	96	
計		143	96	287	96	478	96	956	96	
運搬	減価償却費	チップ運搬車(4t)	300	200	300	100	300	60	300	30
		チップ運搬車(10t)	944	629	944	315	944	189	1,850	185
	維持修理費	チップ運搬車(4t)	280	187	280	93	280	56	280	28
		チップ運搬車(10t)	188	125	188	63	188	38	368	37
	燃料費	チップ運搬車(4t)	36	24	36	12	36	7	36	4
		チップ運搬車(10t)	182	121	434	145	770	154	1,611	161
	人件費	チップ運搬車(4t)	1,481	987	2,302	767	3,396	679	6,133	613
		チップ運搬車(10t)								
計		3,409	2,273	4,483	1,494	5,914	1,183	10,578	1,058	
合計		25,745	17,164	44,670	14,890	68,606	13,721	129,486	12,949	

(出所) 同上

### 中間土場における移動式チップパー機による燃料生産

中間土場における移動式チップパー機を導入した場合のチップコスト（工場チップコスト）を試算した結果は以下のとおり。

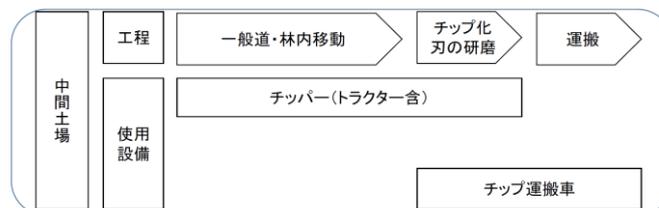


図 3.1.17 中間土場に移動式チップパー機を導入した場合のコスト試算範囲

(出所) 同上

表 3.1.25 中間土場チップ製造コスト（チップー機：1/2 補助）

工程	費目		年間生産量(t/年)							
			1,500		3,000		5,000		10,000	
			年間コスト (千円/年)	1t あたりコ スト (円/t)	年間コスト (千円/年)	1t あたり コスト (円/t)	年間コスト (千円/年)	1t あたりコ スト (円/t)	年間コスト (千円/年)	1t あたりコ スト (円/t)
移動・切 削	減価償却費	移動式チップー機	3,848	2,565	3,848	1,283	3,848	770	3,848	385
	維持整備費	移動式チップー機	84	56	169	56	282	56	563	56
	燃料費	移動式チップー機	303	202	607	202	1,081	216	2,022	202
	人件費		165	110	330	110	588	118	1,100	110
計			4,400	2,934	4,953	1,651	5,799	1,160	7,533	753
研磨	人件費		143	96	287	96	478	96	956	96
計			143	96	287	96	478	96	956	96
積込・運 搬	減価償却費	チップ運搬車	318	212	405	135	629	126	1,741	174
	維持整備費	チップ運搬車	284	189	289	96	346	69	567	57
	燃料費	チップ運搬車	218	145	470	157	806	61	1,647	165
	人件費		1,588	1,059	2,517	839	3,755	751	6,851	685
計			2,408	1,605	3,680	1,227	5,536	1,107	10,805	1,081
合計			6,951	4,634	8,920	2,973	11,813	2,363	19,294	1,929

(出所) 坂井森林組合「2018 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業/地  
域材を利用した木質バイオマス熱供給事業の事業性評価(FS)」2019 年

### 比較結果

移動式チップー機の導入により、工場でチップ化した場合も中間土場でチップ化した場合も、現状よりコスト削減効果があることが分かった。現状で使用しているチップー機は、中古購入で目付補助率が 3 分の 2 よりも高いものの、同程度（現  
状：1,450t、工場・中間土場チップ：1,500t）の生産量かつ、補助を利用しない場合でも、其々、356 円/t(現状と  
中間土場チップの差)、12,885 円/t の差がある（次表）。これは、移動式チップー機を導入し、運搬を 1 回減らすこと  
によって使用する設備機械の種類、木材の積込・積下時間、選別など木材を触る時間が大幅に削減できるためである。

表 3.1.26 切削チップの生産コストまとめ

	補助率	生産量 (t/年)	生産コスト (円/t)
現状	—	1,450	20,084
工場	なし	1,500	19,729
		3,000	16,172
		5,000	14,491
		10,000	13,333
	2 分の 1	1,500	17,164
		3,000	14,890
		5,000	13,721
		10,000	12,949
	3 分の 2	1,500	16,309
		3,000	14,462
		5,000	13,465
		10,000	12,820
中間工場	なし	1,500	7,199
		3,000	4,256
		5,000	3,132
		10,000	2,314
	2 分の 1	1,500	4,634
		3,000	2,973
		5,000	2,363
		10,000	1,929
	3 分の 2	1,500	3,779
		3,000	2,546
		5,000	2,106
		10,000	1,801

(出所) 坂井森林組合「2018 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業/地  
域材を利用した木質バイオマス熱供給事業の事業性評価(FS)」2019 年

## (2) ペレット化

### ペレット生産のシステムの流れ

木質ペレットの生産は一般的に下図のような流れで行われる。ただし、対象とする原料や施設の条件によって各工程の有無は異なる。

例えば乾燥後に二次破碎を行わないケースもある。NEDO の FS 事業者の長野森林組合では、地域に豊富に賦存する**広葉樹の利用も見込んでいたことから、乾燥後にハンマーミルで二次破碎を行い、スクリーンで粒度調整**する工程を採用している。

また、丸太からおが粉製造機でおが粉を作り、その後に乾燥、成型という工程をとっている事業者もいる他、ペレット化（成形）を行う前に**ペレットの強度を高め粉化を抑えるために添加剤を投入**するケースもある。

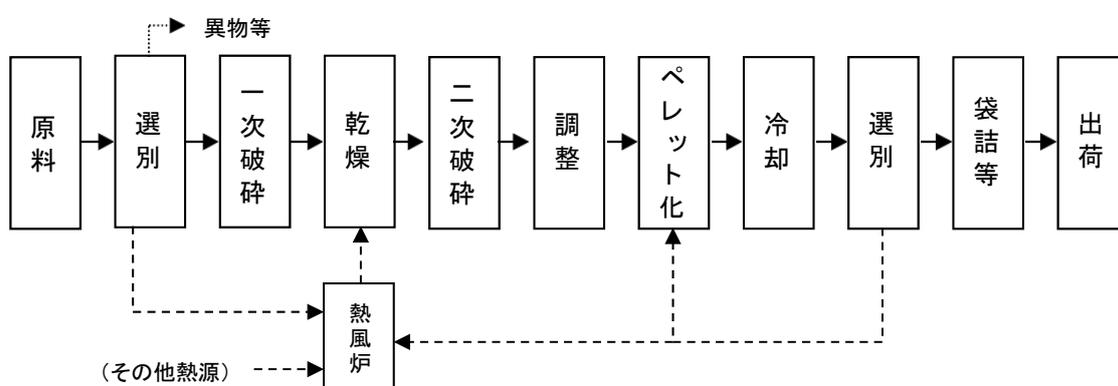


図 3.1.18 ペレット化工程例

(出所) 長野森林組合「平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業／地域自立システム化実証事業 中山間・内陸に適した木質バイオマスエネルギー需給複合型システムの事業性評価 (FS)」(NEDO) 2017 年

### ペレット成型時の造粒方式

ペレット成型時の造粒方式は、主に**フラットダイ方式**と**リングダイ方式**があり、主な特徴としては下表のような点が挙げられる。日本ではいずれの造粒方式も普及しているが、ペレット化が早くから普及している海外では、主に針葉樹を対象原料としてリングダイ方式が採用されることが多い。

なお、広葉樹のような硬質な原料の造粒は一般的には難しいとも言われているが、原料の前処理で**ハンマーミルを用いることで安定的に造粒を行っている**ケースもある。

表 3.1.27 造粒方式の比較

	リングダイ方式	フラットダイ方式
機構概要	原料が、成形径の孔が開いた環状のダイスの内側に投入され、ローラーによってダイスの内側から外側に向かって圧縮されながら原料が押し出されることで成型される	原料が、成形径の孔が開いた円盤状のダイス上に投入され、ローラーによってダイスの上から下に向かって圧縮されながら原料が押し出されることで成型される
主な特徴	一列当り製造能力を大きくできる ローラーとダイスの摩擦熱が大きい 成形に要する動力が大きい	一列当り製造能力に限界がある ローラーとダイスの摩擦熱が小さい 成形に要する動力を小さくできる
原料・規模等の適性	バーク、竹など繊維状の原料の造粒には不向きで微粉碎する必要がある 回転数により製造能力を調整でき、原料性状や条件の調整次第で定格の 1.5~2 倍の造粒能力が出る 高速回転のため原料巻き上げ防止と発火防止を兼ね水・蒸気添加などの付帯設備を設ける場合がある スケールアップや連続操業時に有利	幅広い原料に対応できる 小規模に比較的適する 定格以上の能力は期待できない 原料の巻き上げがないため水・蒸気の添加は不要
造粒品質	定常稼働時は均質造粒が可能	内周と外周の硬度や粉化率に差が出るケースがある
耐久性	ダイ・ローラーの摩耗性高い	ダイ・ローラーの摩耗性低い
運用特性	熟練を要する	比較的簡易・容易
設備費	やや高い 冷却器等の付帯設備が必要	比較的安価 全体機器構成をシンプルにできる

(出所) 長野森林組合「平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 中山間・内陸に適した木質バイオマスエネルギー需給複合型システムの事業性評価 (F S)」(NEDO) 2017 年

### ペレットの造粒方式によるコストの違い

長野森林組合では、フラットダイとリングダイとで処理能力（時間当たり処理量）、別のモーター動力数と設備費帯について調査した。リングダイではモーター動力が一律フラットダイに比べて大きい傾向がある。設備費帯については、**500kg/h 級以上の系列でリングダイの方が安価になる傾向**が見られた。

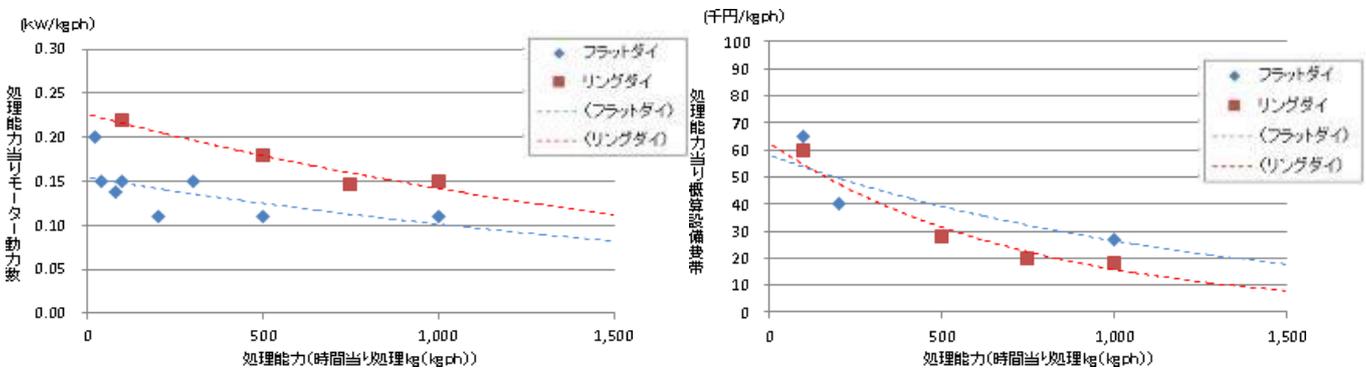


図 3.1.19 (左) 処理能力当たりモーター動力数、(右) 処理能力当たり設備費帯

(出所) 長野森林組合「平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 中山間・内陸に適した木質バイオマスエネルギー需給複合型システムの事業性評価 (F S)」(NEDO) 2017 年

## ペレットの生産コストの目安（山陽チップ工業株式会社）

バイオマス燃料を用いて熱供給事業を行う場合、化石燃料の価格と単位熱量を踏まえてペレット単価を設定する必要がある。例えば、NEDO の FS 事業者である山陽チップ工業株式会社の検討によると、灯油・重油単価が 60～80 円/L の場合、同様の熱量を供給する際のペレット価格は 25～35 円/kg に相当する。その上で、ユーザー側の燃料代削減効果を 1 割と仮定するとペレット単価は 23～32 円/kg となる。

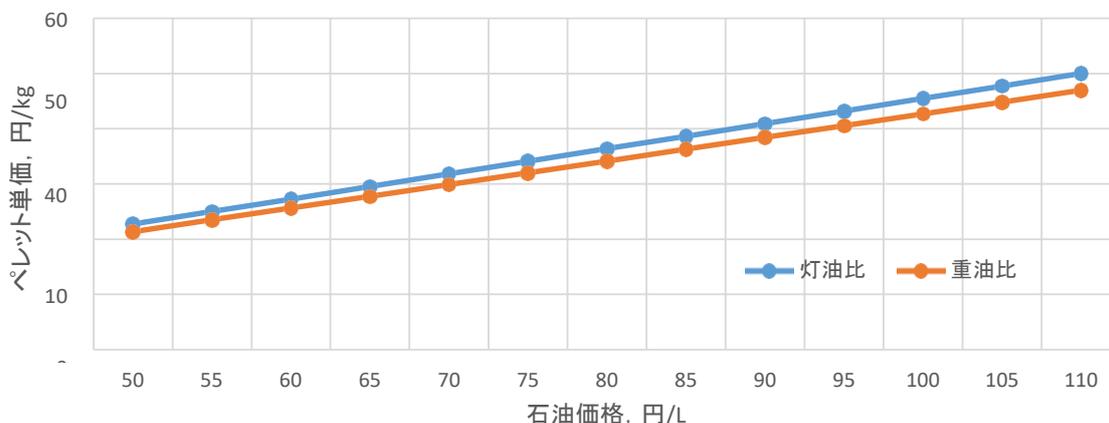


図 3.1.20 発熱量差から算出した灯油・重油単価に見合うペレット単価（山陽チップ工業株式会社検討結果）

※ 石油ボイラーとペレットボイラーのボイラー効率を同一として、ペレット単価を「石油単価÷石油発熱量×ペレット発熱量」で算出。灯油発熱量を 36.7MJ/L、重油発熱量を 39.1MJ/L、ペレット発熱量を 16.7MJ/kg と想定

(出所) 山陽チップ株式会社/株式会社 EECL「平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 山林住管再生をめざすバイオマスエネルギー活用地域自立システム化実証事業の事業性評価 (FS)」(NEDO) 2017 年

また、同 FS では、熱出力 150kW 程度のペレットボイラーを使用した場合の燃料代以外の経費は 350 万円/年、ペレット 1kg あたりのコストでは 10 円/kg となる結果となった。すなわち、ユーザー側に経済的メリットを提供するには、ペレット 13～22 円/kg を目安に販売する必要があることが明らかになった。

図 3.1.21 ペレットボイラー使用で燃料代以外の経費のペレット 1kg 当たりのコスト

項目	年間金額[円/年]	1kg 当たりのコスト[円/kg]
電気代	500,000	1.4
メンテ費	500,000	1.4
人件費	500,000	1.4
設備減価償却費	2,000,000	5.7
合計	3,500,000	10.0

※ 設備減価償却費は設備費 30,000,000 円のペレットボイラーを 15 年で償却すると想定し、「設備費÷償却年数= 30,000,000 円÷15 年=2,000,000 円/年」で算出。

※ 1kg 当たりのコストは「年間金額÷年間ペレット消費量」で算出。

※ 年間ペレット消費量は熱出力 150kW のペレットボイラー導入を想定し、「ボイラー熱出力×24h/日×365 日/年×電力のエネルギー換算係数÷ボイラー効率÷ペレット発熱量=150kW×24h/日×365 日/年×3.6MJ/kWh÷0.8÷16.7MJ/kg≒350,000kg/年」で算出。

(出所) 山陽チップ株式会社/株式会社 EECL「平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 山林住管再生をめざすバイオマスエネルギー活用地域自立システム化実証事業の事業性評価 (FS)」(NEDO) 2017 年

# 1.5 選別装置

## 選別装置の選定に係る留意事項

破砕機で製造されたチップ（主にピンチップ）は、所定の規格に合うように製造されることが前提であるものの、**一定割合は規格外チップが生産される**。木質資源の**水分率の変動、樹種や硬さの変動、樹皮および異物の混入**なども規格外の生産に影響を及ぼすことがある。

既存の事例では、所定の大きさ以上の規格外チップや異物等が、**チップ供給コンベヤやサイロ内部でブリッジ等**を起こしてトラブルになることが多く報告されている。特に**樹皮等（バーク）は、長尺のまま破砕機を通りぬける**ことも多い。

こうしたトラブルを防ぐため、**破砕機の後段に規格外チップの選別を行うための選別機を設置**することが有効である。また、建設廃材チップのように**金属類の混入がある際は篩やスクリーン等の選別機の他に磁力選別機**を設置することも必要である。

したがって、使用する**木質資源の特徴や製造量を踏まえて選別装置の機種を選定**する必要がある。

## 選別装置や篩処理の想定される処理能力

破砕機でチップ化したものを選別処理するためには、破砕機と同様の能力（t/h）が必要である。

また、篩処理設備における篩およびコンベヤ設備の能力・容量は、**ホッパーやコンベヤの能力とのバランスおよび破砕チップの形状、かさ密度等を加味して決定**する。

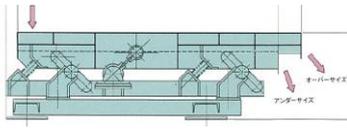
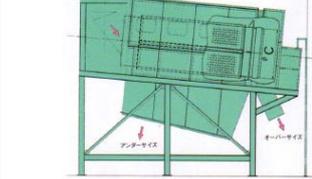
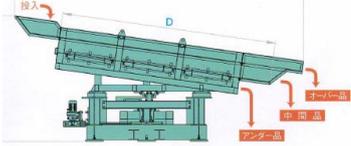
なお、いずれも負荷変動に対して対応できるよう適度に裕度をもった設備仕様とする。

## 篩目の設定

篩目（単位：mm）は供給コンベヤおよびボイラー投入定量供給機の規格との整合を図り、かつボイラー型式に適した大きさに決定する。

篩目をあまり細かく設定しすぎると**単位時間当たりの燃料の通過量（処理量）が少なくなる**ため、より処理能力の大きな設備を設置しなくてはならず、経済性が悪化することに留意し、最適な篩目の設定を行う。

表 3.1.28 選別機の種類と特徴

選別機	① 振動篩機	② トロンメル	③ 旋回式篩機
外観			
構造			
選別対象材	木質系チップ、破碎・粉碎された廃プラスチック等	木質系チップ、破碎・粉碎された廃プラスチック等	木質系チップ、破碎・粉碎された廃プラスチック等
適応水分率	木質系チップに関して、乾燥材・生材も選別可能	木質系チップに関して、乾燥材・生材も選別可能	木質系チップに関して、乾燥材・生材も選別可能
構造上の特徴	選別を行うスクリーンにジャンピング運動を生じさせ、処理物を投入側より排出側へ移動させながら分級を行う。	トロンメル本体の回転運動により発生するドラムアクションで、処理物を投入側から排出側へ移動させ、スクリーンを通過する物(アンダーサイズ)と通過しない物(オーバーサイズ)に分級する。	一軸クランク軸でスクリーン部分を旋回させる構造。旋回することで細長い処理物がスクリーンの上で立つ事が少なくなるため、スクリーンサイズより大きい物がスクリーンを通過する割合が少なくなる。二段スクリーン式のため、3つのサイズに分級が可能。
メリット	シンプル構造のため、メンテナンスが容易。	処理能力が大きい。 低速回転のため、低振動・低騒音。	旋回式のため、低振動・低騒音。 構造上長い物がスクリーンを通過し難い。 二段スクリーン式のため、3つのサイズに分級が可能。
デメリット	トロンメル、旋回式篩機に比べ高騒音・高振動	構造上長い物がスクリーンを通過する。	構造上4点ボール受けのメンテナンスが必要。

(出所) 写真：株式会社御池鐵工所提供

# 1.6 原料・燃料の乾燥方法

## 天日乾燥と人工乾燥

エネルギー変換設備の要求する燃料品質を確保するため、丸太またはチップは乾燥させる必要がある。乾燥方法は**天日乾燥**と**人工乾燥**に大別され、それぞれの方法にメリットとデメリットがある。

例えば、天日乾燥は初期投資や O&M 費が抑えられるメリットがある一方で、乾燥までに時間を要する他、乾燥を行うための広いヤードが必要となる。また、人工乾燥は省スペースで迅速に乾燥できる一方、コストが増大するデメリットがある。

こうした特徴を踏まえて最適な原料およびバイオマス燃料の乾燥方法を選択する必要がある。なお、天日乾燥と人工乾燥を組み合わせている事例も存在する。

表 3.1.29 乾燥方法や乾燥対象別のメリットとデメリット

乾燥方法	乾燥対象	メリット	デメリット
天日乾燥	丸太	太陽エネルギーを利用するためエネルギー効率が良い 樹皮が自然にはがれる 初期投資低(屋外あるいは簡易な屋根のみ)	貯木場が必要 乾燥に時間を要する 乾燥度合いに季節変動がある
	チップ	太陽エネルギーを利用するためエネルギー効率が良い 初期投資低(チップヤードのみ)	積み上げると発酵による発熱で発火の危険がある 積み上げると乾燥しないが、平積みでは丸太での乾燥以上に場所を必要とする 乾燥に時間を要する
人工乾燥	丸太	天日乾燥に比べ時間がかからない 省スペース	エネルギー収支の悪化 初期投資高(乾燥設備)
	チップ	天日乾燥に比べ時間がかからない 省スペース 乾燥系から直接ボイラー投入可	エネルギー収支の悪化 初期投資高(乾燥設備)

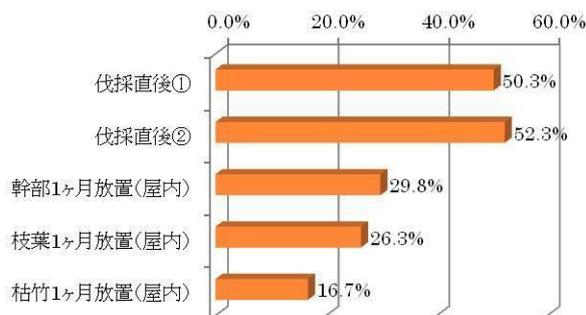
(出所) 各種公開資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

水分率を 50%超から 30%程度にまで下げるには、天日乾燥の場合、半年以上を要すると考える事業者が多い。ただし、外気状況や気象条件による。また、FIT 制度を利用した昨今の事例では、調達停止リスクをふまえて、木材資源を 1 年分貯蔵する例もみられる。

### (参考) 竹およびバークの水分変化

NEDO 実証事業者バンブーエナジー株式会社は竹およびバークについて、貯蔵方法別の水分率の変化を調査した。結果は次図のとおりである。竹材は伐採直後は 50%を超えているが、屋内で 1 か月放置した結果、部位にもよるが概ね半分以下の水分率となった。一方、バークは採取直後は 50%近いが、竹同様屋内で 1 か月放置しても内部の水分率はほとんど変化しなかった。また、野ざらしで 1 か月放置した結果、約 73%まで水分率が増加した。

◎ 竹材のストック方法別水分率の調査



◎ バークのストック方法別水分率の調査

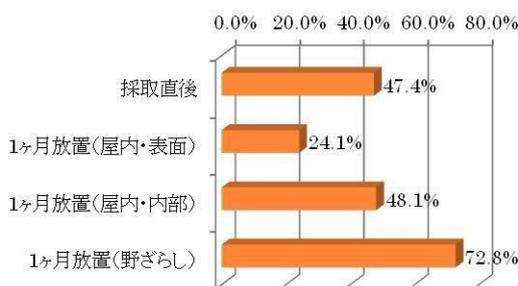


図 3.1.22 FS 事業実施事業者の原料別ストック方法別水分率の調査結果の例

(出所) バンブーエナジー株式会社/中外炉工業株式会社「平成 27 年度～平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 竹の新素材加工工場に併設したバイオマスの熱・電供給カスケード利用による地域再生自立システム“ゆめ竹バレー”の事業性評価 (FS)」(NEDO) 2016 年

## 人工乾燥の選択肢

人工乾燥設備は主なタイプとして連続回転式乾燥機と流動層式が挙げられる

FS 事業者の長野森林組合においてそれぞれの乾燥方式に対して、広葉樹と針葉樹の乾燥試験を行った際の検討結果を下表に示す。

表 3.1.30 FS 事業実施事業者の人工乾燥検討例

	連続回転式乾燥機		流動層式	
	広葉樹	針葉樹	広葉樹	針葉樹
乾燥温度 (°C)	150	150	150	150
乾燥前質量 (kg/h)	60.0	36	36	19.8
入口水分 (%WB)	40.2	61.7	43.2	61.8
入口見掛密度 (kg/m <sup>3</sup> )	315	290	315	290
出口水分 (%WB)	5.6	9.4	6.1	6.1
出口見掛密度 (kg/m <sup>3</sup> )	290	130	250	130
無水分質量 (kg/h)	35.9	13.8	20.4	7.6
乾燥後質量 (kg/h)	38.0	15.2	21.8	8.1
蒸発水分 (kg/h)	22.0	20.8	14.2	11.7
乾燥速度	47.9kg/m <sup>3</sup> h	45.3kg/m <sup>3</sup> h	105.4kg/m <sup>3</sup> h	87 kg/m <sup>3</sup> h
保有率 (%)	11.8	11.8	(130mm)	(130mm)
滞留時間 (min)	21	27	12	18

(注) 流動層式の保有率のカッコ書きは静止層厚

(出所) 長野森林組合「平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 中山間・内陸に適した木質バイオマスエネルギー需給複合型システムの事業性評価 (FS)」(NEDO) 2017 年

なお、上述の方式以外にも、CHP の温水を利用し乾燥熱源とするベルトドライヤー方式もある。バンブーエナジー株式会社では、CHP の熱を余さず利用するために、ラジエータの温風式乾燥機を導入し、ウォーキングフロアで温風吹き付けてチップを乾燥させている。

## 貯蔵方法

貯蔵方法は、屋内貯蔵と屋外貯蔵の 2 種類がある。天日乾燥を兼ねる場合には基本的に屋外貯蔵の方が適している。しかし、降水量の多い地域では、乾燥した木材が積雪や降雨によって再び水分を含んでしまうのを避けるため、季節限定で屋内に貯蔵する場合がある。

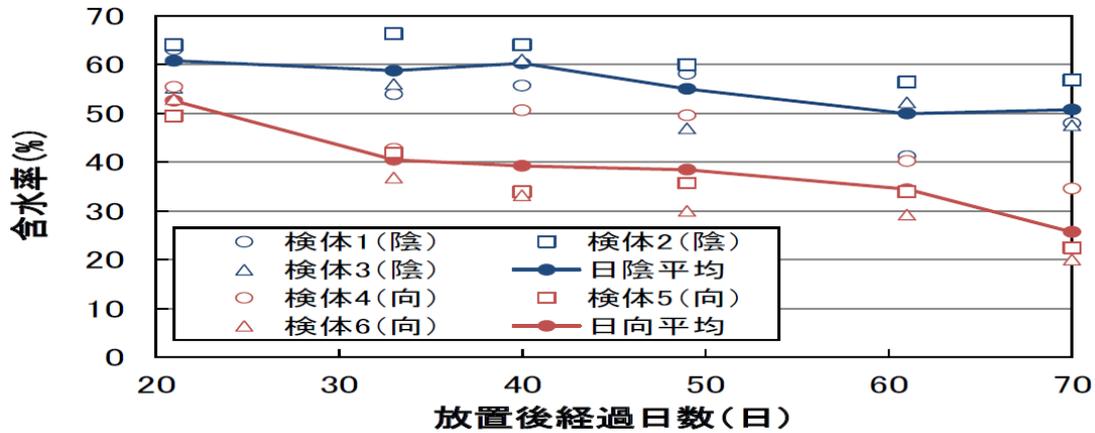


図 3.1.23 FS 事業実施事業者による林地残材の天日乾燥での水分率調整の例

(出所) 田島山業株式会社「平成 27 年度～平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 持続可能な林業に資するバイオマスエネルギーの地域利活用の事業性評価 (FS)」(NEDO) 2016 年

表 3.1.31 国内バイオマス資源の水分率の例

バイオマスの種類		水分率の目安(湿潤ベース)
丸太	伐採時	50～60%
	屋外で数か月自然乾燥した丸太	30～40%
薪	生木の薪	40～50%
	屋根下で 1 年乾燥させた割薪	30～35%
チップ	生チップ	50～60%
	屋根下で数か月間保管したチップ	30～40%
	製材所の残端材	25～60%
	建築廃材	10～40%
廃菌床	採取直後の廃菌床	55～80%
	天日干し後の廃菌床	30～50%
竹	採取直後の竹	50～60%
	屋内で数か月自然乾燥した竹	30～40%
バーク	採取直後のバーク	40～60%

注) 水分率は樹種や地域の気候により変動するため、本表の数値は「目安」とされたい。

(出所) NEDO FS 事業各種資料等よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## FS 事業者の検討：太陽熱を活用した燃料乾燥システムの検討

東急リゾート&ステイ株式会社では、長野県茅野市において運営している蓼科東急リゾートでは、従来、それまで灯油ボイラーを使用しており、年間 400 万円程度の燃料費が発生していた。そのため、自社が保有する森林で持続的に発生する森林残渣を用いて宿泊施設向けのバイオマスボイラーを導入した。バイオマスボイラーで利用可能な乾燥チップを生産するため、FS では以下のとおり複数の燃料乾燥方法を検討した。

### FS で検討した太陽熱乾燥システム（ソーラードライシステム）

ソーラードライシステムは、下図のとおり太陽熱を乾燥に利用するシステムである。屋根に設置した集熱パネルで集めた太陽熱を使い軒下に取り込んだ外気を温め、乾燥した空気を乾燥パネル上に集積したチップの下から吹き出しチップを効率的に乾燥させる仕組みである。乾燥に必要な主なエネルギーは温風を乾燥室に送るファンの電力のみとなるため、乾燥に掛かるエネルギー消費量が少なくドライヤーを使用した強制乾燥よりランニングコストが低いという特徴がある。チップ乾燥は、以下 4 つのステップにより行われる。

- 1) 集熱パネルにより太陽熱を吸収し、その熱で軒下から集めた外気を暖め、乾燥させた空気をダクトに送る。
- 2) 乾燥させた空気と室内の空気をファンにより混ぜ合わせ、乾燥室内に送風する。
- 3) 乾燥パネルには多数の穴があけられており、そこから温かい乾燥空気を均等に吹き出す。
- 4) 乾燥した空気がチップを乾燥させる。

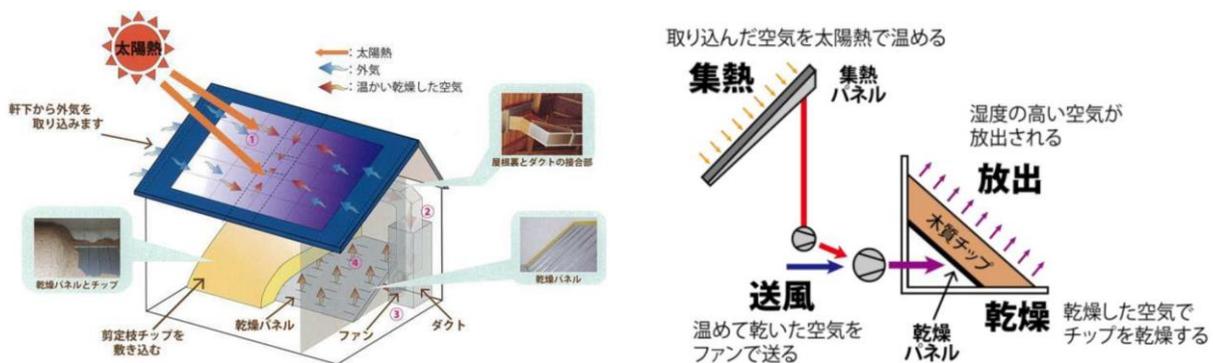


図 3.1.24 ソーラードライシステム概要イメージ

(出所) 東急リゾート&ステイ株式会社提供資料

### 天然乾燥と太陽熱乾燥との投資回収年数比較

上述の太陽熱乾燥と天日乾燥の投資回収年数の比較は、下表のとおりである。太陽熱乾燥は、天然乾燥に比べて乾燥装置代がイニシャルとして増え、また太陽熱乾燥のバッチ処理するための電気代および人件費が増えるため、投資回収年数が増える結果となった。

表 3.1.32 天然乾燥と太陽熱乾燥の投資回収年数比較

項目	単位	天然乾燥	太陽熱乾燥
ボイラー関連費用	千円	65,525	65,525
乾燥装置	千円	0	35,000
合計	千円	65,525	100,525
補助2/3有	千円	27,675	47,742
補助1/2有	千円	37,138	60,938
補助1/3有	千円	46,600	74,133
間伐利用可能量	m <sup>3</sup>	679	679
必要量	m <sup>3</sup>	579	579
売却量	m <sup>3</sup>	100	100
売却利益	千円	997	997
チップ調達費	千円	3,273	3,273
人件費	千円	0	126
乾燥コスト	千円	0	269
維持管理費	千円	200	200
煤煙測定費	千円	100	100
灰処理費	千円	37	37
化石燃料費削減額	千円	7,337	7,337
小計	千円	4,725	4,330
投資回収年補助なし	年	13.9	23.2
投資回収年補助1/3有	年	9.9	17.1
投資回収年補助1/2有	年	7.9	14.1
投資回収年補助2/3有	年	5.9	11.0

(出所) 東急リゾート&ステイ株式会社提供資料

### 乾燥方法によるイニシャルコストおよびランニングコストの比較検討

天然乾燥、太陽熱乾燥、地下水+太陽熱乾燥の3つの乾燥方法において各種項目を比較した結果、天然乾燥は、イニシャルおよびランニングコストが最も低いが、湿量含水率30%にするまで2.5ヶ月かかることがわかった。また、土場面積が600m<sup>2</sup>が必要となる。太陽熱乾燥は、重油乾燥に比べて年間約9万円のエネルギーコストを削減でき、また約1.3tのCO<sub>2</sub>が削減できることがわかり、本方式が最も効果的であることがわかった。ただし、FS終了後の事業化段階の検討においては、天日乾燥で1年間丸太を貯木するスペースがあり、含水率はこの期間で20%台まで低下することが分かり、また太陽熱乾燥は効果は高いものの3,500万円のコストがかかることから、最終的には天日乾燥を採用した。なお、天日乾燥はFS時はコンクリートを整備するため400万円のコストを掛ける想定であったが、現在は丸太の井桁の上に貯木する方式に変えたため、ほとんど初期投資なしで乾燥することができている。

表 3.1.33 乾燥方法別比較検討

項目	天然乾燥	太陽熱乾燥	重油乾燥
乾燥方法	コンクリート土場で丸太のまま自然乾燥を行う	太陽熱により乾燥した熱風をチップに送風する	重油ボイラにて乾燥する
乾燥前湿量含水率	50%-WB(湿量基準含水)	50%-WB	50%-WB
乾燥後湿量含水率	30%-WB	30%-WB	30%-WB
1バッチ量	—	16t	0.4t
乾燥期間	2.5か月	1~6週間	1時間
乾燥バッチ回数	—	21回/年	847回/年
太陽熱パネル面積	—	80m <sup>2</sup>	—
必要土場・建屋面積	600m <sup>2</sup>	80m <sup>2</sup>	30m <sup>2</sup>
作業日数	—	21日	212日
イニシャルコスト	480万円	3500万円	1000万円
使用エネルギー量	—	13,864kWh/年	234,034MJ/年
エネルギーコスト	—	271,734円/年	364,290円/年
CO <sub>2</sub> 排出量	—	7,681 CO <sub>2</sub> -kg	20,916 CO <sub>2</sub> -kg

(出所) 東急リゾート&ステイ株式会社提供資料

## (参考) チップ乾燥の計算方法

乾燥処理は、乾燥器が連続的に稼働しているとし、乾燥初期の温度上昇等に必要な熱量 ( $H_{1}$ ) は、木材の加熱に必要な熱量 ( $H_{1a}$ ) と、木材中の水分の加熱に必要な熱量 ( $H_{1b}$ ) を足し合わせた熱量とした。

$$H_{1} = H_{1a} + H_{1b} \quad (5.1)$$

水分を含んだ木材チップの加熱に必要な熱量 ( $H_{1a}$ ) は、式 (5.2) から求めた。

$$H_{1a} = V_{0} r_{0} C_{0} (\theta_{2} - \theta_{1}) \quad (5.2)$$

$V_{0}$  : 乾燥する材積 ( $m^3$ )、 $r_{0}$  : 木材の全乾密度数 ( $kg/m^3$ )、 $C_{0}$  : 木材の比熱 ( $kcal/kg^{\circ}C$ )、  
 $\theta_{1}$ 、 $\theta_{2}$  : 外気温度及び初期設定温度 ( $^{\circ}C$ )

一方、原料木材チップに含まれる水分の加熱に必要な熱量 ( $H_{1b}$ ) は、式 (5.3) から求めた。

$$H_{1b} = m (\theta_{2} - \theta_{1}) \quad (5.3)$$

$m$  : 水分量 ( $kg$ )、 $u_{a}$  : 初期含水率 (%)、 $\theta_{1}$ 、 $\theta_{2}$  : 外気温度及び初期設定温度 ( $^{\circ}C$ ) また、原料木材チップの水分蒸発にかかる熱量 ( $H_{2a}$ ) は、式 (5.4) から求めた。

$$H_{2a} = r_{0} V_{0} ( (u_{a} - 30) / 100 \times Q + (30 - u_{b}) / 100 \times (Q + 20) ) \quad (5.4)$$

$Q$  : 蒸発潜熱 ( $kcal/kg$ )、 $Q + 20$  : 含水率 30%以下の平均蒸発潜熱 ( $kcal/kg$ )、

$u_{a}$  : 初期含水率、 $u_{b}$  : 仕上がり含水率 (%)、蒸発潜熱は乾燥経過中の平均温度について考え、約 560kcal/kg とした。

総必要熱量  $H_{total}$  は、原料木材チップの乾燥初期温度上昇等に必要熱量 ( $H_{1}$ ) と、水分蒸発にかかる熱量 ( $H_{2a}$ ) を足し合わせた数値とした。さらに、乾燥処理中には、壁体からの放熱、空気および水蒸気の加熱等にも加熱が必要であるため、文献値を利用して、総必要熱量  $H_{total}$  を 1.57 倍した数値を実質的必要発熱量  $H_{all}$  として、コスト計算に利用した。

## (参考) チップ乾燥の計算条件

$V_{0}$  : 乾燥する材積 ( $m^3$ )、579 $m^3$

$r_{0}$  : 木材の全乾密度数 ( $kg/m^3$ )、500 $kg/m^3$

$C_{0}$  : 木材の比熱 ( $kcal/kg^{\circ}C$ )、0.38 $kg/kg^{\circ}C$

$\theta_{1}$ 、 $\theta_{2}$  : 外気温度及び初期設定温度 ( $^{\circ}C$ )、 $\theta_{1} = 40^{\circ}C$ 、 $\theta_{2} = 30^{\circ}C$

$m_{1}$  : 仕上がり含水量 30%時の水分量 ( $kg$ )

$u_{a}$  : 初期含水率 (%)、50%

$u_{b1}$  : 仕上がり含水率 (%)、30%

$Q$  : 蒸発潜熱 ( $kcal/kg$ )、560 $kcal/kg$

木材チップの初期質量  $M_{0}$  は、 $M_{0} = V_{0} \times 0.83t/m^3 = 480t$

$M$  = 全乾質量、 $M_{1}$  = 仕上がり含水量 30%時の木材質量とすると、 $u_{a} = (M_{0} - M) / M_{0} \times 100$

$u_{b1} = (M_{1} - M) / M_{1} \times 100$

$M = 240t$ 、 $M_{1} = 341t$  蒸発水質量  $m_{1}$  は、 $m_{1} = M_{0} - M_{1} = 141t$

## (参考) チップ乾燥の必要重油量

太陽熱乾燥により、含水率 50%-WB → 含水率 30%-WB の場合

$$H_{1a} = V_{0} r_{0} C_{0} (\theta_{2} - \theta_{1}) = 2,750,250kcal$$

$$H_{1b} = m (\theta_{2} - \theta_{1}) = 3,480,000kcal$$

$$H_{2a} = r_{0} V_{0} ( (u_{a} - 30) / 100 \times Q + (30 - u_{b}) / 100 \times (Q + 20) ) = 32,424,000kcal$$

$$H_{total} = H_{1a} + H_{1b} + H_{2a} = 38,654,250 kcal$$

$$H_{all} = 38,654,250 \times 1.57 = 60,687,172 kcal = 60,687,172kcal \div 238.85[kcal/MJ] = 254,081MJ$$

重油の熱量は 39.1MJ/L、ボイラー-燃焼効率は 0.842 より、年間必要重油量は、

$$254,081MJ \div 39.1MJ/L \div 0.842 = 7,718L$$

## 2章 バイオマスエネルギー設備・技術に係る基礎知識

### 2.1 発電

木質バイオマスのエネルギー変換技術はエネルギー供給形態に応じて複数の選択肢があり、利用可能な燃料種や性状も異なる。以下に、それぞれの技術の特徴を示すが、構想段階で重要なことは**技術そのものに注目するのではなく、調達可能な原燃料(“入口”)の種類と性状、並びにエネルギー需要(“出口”)に注目してシステムを検討**することである。

#### BTG (ボイラー・タービン発電設備)

BTG(ボイラー・タービン発電設備)は木質チップやペレットを直接燃焼し、ボイラーで生み出した蒸気の中でタービンを回転させて電力を発生させる技術である。現在、日本のバイオマス発電所のほとんどがこの技術を採用している。

刈草竹、鶏ふん、PKS (パーム椰子殻) 等の様々なバイオマスを扱うことが可能で燃料の許容度は大きい一方、2MW 以下の小規模では発電効率が 20%を下回るため、5MW 以上が一般的となっている。

#### ORC (オーガニックランキンサイクル)

ORC (オーガニックランキンサイクル) は沸点が水より低い高分子有機媒体を蒸発してタービンを回転させる技術で、発電と同時に 80℃程度の高温の温水熱が得られることから、熱利用が盛んな欧州で 300 を超える導入実績がある。低水分率や低質バイオマスに対応した燃焼炉を採用することで燃料の許容度が大きくなり、竹やパークの利用も可能となる。発電出力を下げても発電効率の低下は小さいが、発生する熱の需要先の確保が重要になる。

#### 熱分解ガス化

熱分解ガス化は木質チップまたはペレットを熱分解・還元反応により可燃成分をガス化し、そのガスを燃料として発電を行う技術である。小規模でも比較的高い発電効率が得られるが、利用可能な燃料種や性状に対する条件が非常にデリケートなため、チップ/ペレットの形状や水分率等の品質の安定確保が最大の課題となる。



図 3.2.1 小規模木質バイオマス発電の燃料要件の例

(出所) バイオマス熱電供給株式会社/E2 リバイブ株式会社「平成 27 年度～平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 アクアイグニス多気 ORC ユニットを活用した木質バイオマスコジェネレーションシステムの事業性評価 (F S)」(NEDO) 2016 年

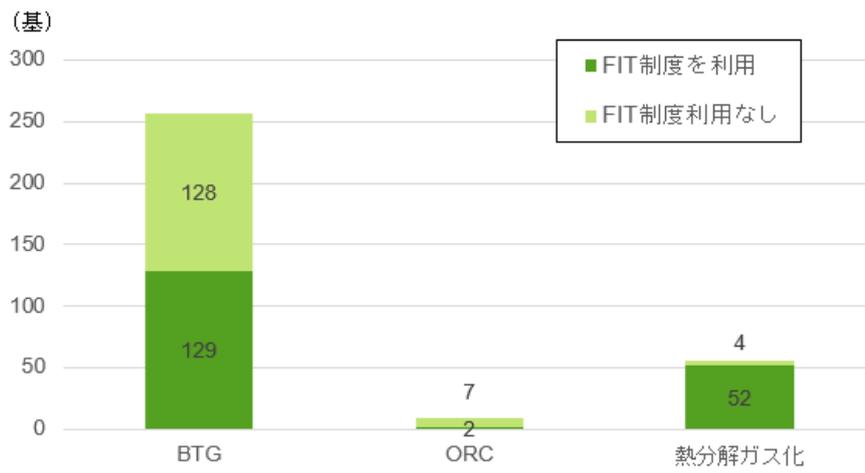


図 3.2.2 発電技術別の国内の導入状況

(出所) 林野庁「令和2年木質バイオマスエネルギー利用動向調査」よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

# ① 直接燃焼技術（BTG／ORC）

## (1) BTGに係る発電用ボイラー設備

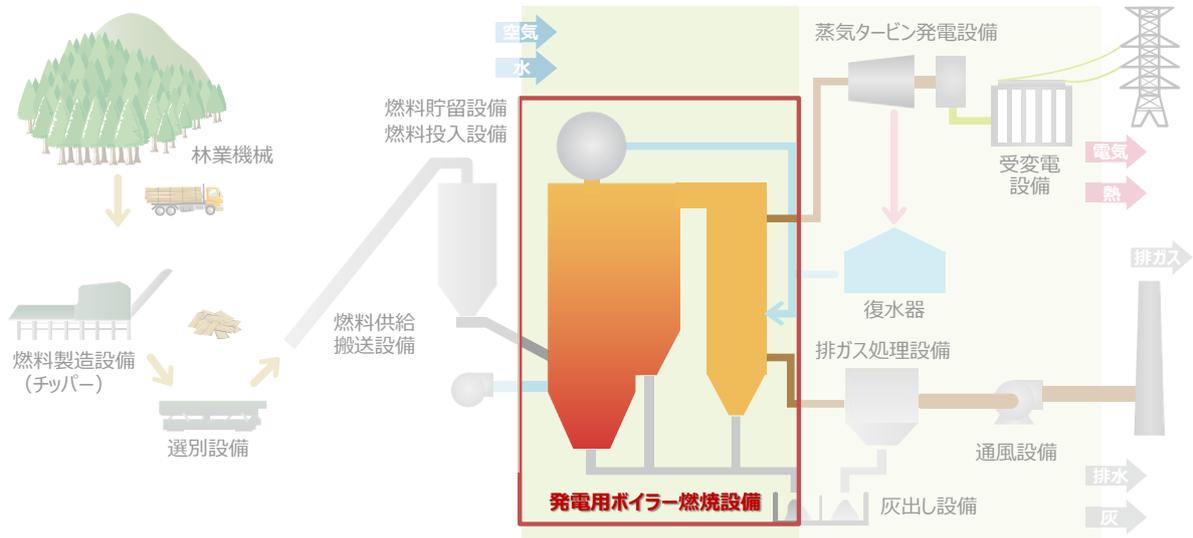


図 3.2.3 発電設備における位置

(出所) みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 発電用ボイラーの各種方式

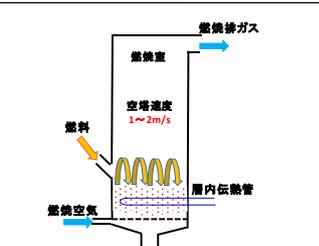
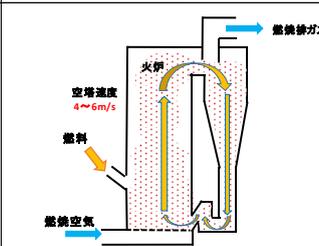
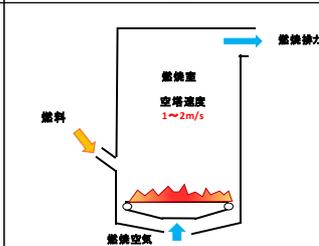
発電用ボイラーとして稼働実績あるのは、バブリング流動層ボイラー、循環流動層ボイラー、ストーカー式ボイラーの 3 方式である。各々の特徴を認識したうえで機種選定することが望ましい。

表 3.2.1 ボイラーの種類と機能

種類	機能
バブリング流動層ボイラー (Bubbling Fluidized Bed)	燃焼室底部の散気管から空気を噴出させて、流動媒体(砂)を沸騰状態(バブリング)にする。燃料は、概ね 50mm程度に破碎して流動媒体(砂)と接触させて燃焼させるボイラーである。燃焼速度はストーカ式より速い。
循環流動層ボイラー (Circulating Fluidized Bed)	燃焼室は、バブリング流動層ボイラーと同じであるが、空塔速度は、バブリングより速く粒子を火炉出口の燃焼域まで飛上し燃焼させる。未燃物および砂粒子は、火炉出口のサイクロンで捕集されて再び火炉に戻る循環型である。
ストーカ式ボイラー	燃焼室は、火格子によるキャタピラに似たストーカがゆっくり動きながら燃焼する形式である。燃料は、ストーカ上で燃焼し燃焼速度は流動層式より遅い。

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

表 3.2.2 ボイラーの燃焼方式の種類と特徴

項目	BFBバフリング流動層ボイラ	CFB循環流動層ボイラ	ストーカ式ボイラ
	内容	内容	内容
概念図 燃焼方式概念図			
ボイラ効率	86~88%	85~90%	80~85%
未燃損失	約0.5%	約0.5%	約1~1.5%
低空気比燃焼	空気比1~1.5	低空気比燃焼可能	困難(空気比:約1.5~約7%)
燃焼速度	早い 燃料供給の定量性が必要 燃料形状はコンベヤにて搬送するため、 サイズは最大100mm以下程度にする必要あり	早い 燃料供給の定量性が求められる 燃料形状・含水率の定常性が求められる。 サイズは50mm以下が望まれる	緩やか 燃料形状・物性が不均一でも対応可 サイズは50mm~最大100mm以下程度に する必要あり
負荷応答性	早い	早い	緩やか
燃焼ガス流速	遅い(流動層部:1~2m/s) ボイラチューブの摩耗は緩やか	早い ボイラチューブの磨耗が早くなる	遅い(1.5m/s以下) ボイラチューブの磨耗は緩やか
燃焼温度	燃料の性状により左右される	800~900℃(サーマルNOXの抑制可能)	やや高い
NOX対策	100~200ppm	50~150ppm(2段燃焼+低温燃焼)	250ppm以下
燃料の含水率	一般的に許容範囲は他より広い	高含水燃料については乾燥工程等必要	50%程度まで対応(熱風発生炉は不要)
高水分対策	流動砂が媒体となり、保有熱量が大きい ためある程度高水分まで対応可能	流動層が大きな熱媒体となるので、ある程度 対応可能	逆送ストーカで対応
最低負荷	約50~60%(総内温度維持のため高い)	約50%(層内温度維持のため高い)	約30%
起動時間	冷在時間約4時間(流動砂昇温に時間要する)	冷在時間約5時間(層内昇温に時間要する)	冷在時2時間
緊急時(瞬時、停電等)	短時間で立上立下が可能	短時間で立上立下が可能	炉内に焼却物が残留し、未燃分や未燃ガス滞留
構造	燃焼室内に可動部が少なくシンプル	機器点数が多くなる	シンプル
助燃(点火)設備	昇温バーナーのみ必要	必要	不要
炉内脱硫	困難(木質バイオマスは不要)	必要	困難
設置面積	小スペース(循環流動層より大)	設置面積小(高さが必要)	設置面積大
燃料の形状例	50mm~100mm程度	25~40mm以下	100mm以上でも対応可
実績	中型(5M)に実績多い	大型で効率向上10M以上に実績多い	小~大まで実績あり

(出所) 各種資料よりみずほりサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

### 燃料バイオマス性状に合った発電用ボイラーの選定

発電用ボイラーの各メーカーは、水分率 50%前後の生チップに対応可能なボイラー、水分率 20~30%の乾燥チップに対応可能なボイラー、水分率 10%以下のペレットに対応可能なボイラーなど、様々な水分率に対応した製品を開発し、商品展開している。想定されたバイオマス燃料の水分率や形状と異なるものを投入すると、メーカーが公表しているエネルギー利用効率を達成できない場合や、設備に不具合が生じたりする場合がある。したがって、各ボイラーの特性を理解したうえで、使用するバイオマス燃料の条件に合った発電用ボイラーを選定することが重要である。

また、発電用ボイラーのメーカーによって、定格出力時に発生する熱の性状(温水/蒸気の別、温度や圧力)も異なるため、エネルギー需要に応じたものを選定する必要がある。

表 3.2.3 ボイラーの選定条件例

項目	条件
バイオマスの燃料特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>形状(チップ/ペレットの別、チップのサイズなど)</li> <li>水分率</li> <li>低位発熱量</li> <li>灰分</li> <li>燃焼特性(示差熱分析値、熱重量分析値、組成など)</li> </ul>
規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃焼量</li> <li>用途(熱供給(温水、蒸気)、発電)</li> </ul>
運転条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>運転時間(連続、間欠)</li> <li>負荷変動</li> <li>制御方法</li> <li>取り扱い方法</li> </ul>
効率	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー効率</li> </ul>

(出所) 各種資料よりみずほりサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 設備仕様の決定

事業者は、契約前に設備メーカー等と十分に協議し、設備仕様を決定する必要がある。次表に示す主要な項目は、施設完成後の性能確認時にも重要なものである。なお、仕様決定に際しては、必要に応じ、バイオマス燃料のサンプル分析を行う。

また、発電用ボイラーや発電機の規模、エネルギー利用効率、燃料バイオマスの水分率や低位発熱量に基づいて、燃料バイオマス必要量が決定される。**設備が適正に稼働できるよう燃料バイオマスの水分率、投入サイズおよび燃焼室の容積などを予め設備メーカーと協議の上、決定する必要がある。**

表 3.2.4 主要な確認項目

項目	単位	項目	単位
水分率	w%	最大蒸発量	t/h
燃料消費量	t/日	蒸気圧力	MPa
燃料投入サイズ	mm	蒸気温度	°C
低位発熱量	MJ/kg	運転時間	h/年
燃焼室の容積	m <sup>3</sup>		

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 発電用ボイラーの腐食対策

発電用ボイラーが腐食する主な要因として、①塩化物塩、重金属塩および硫酸塩による高温腐食 ②酸露点以下による低温腐食 が考えられる。高温腐食対策としては、過熱器の適正な配置により管壁温度を抑制する。低温腐食対策としては、管壁温度が酸露点以上となるよう、給水温度や空気温度を決定する。

なお、ボイラーの材質を焼損、腐食等に対して優れたものを選定することも重要である。

## その他の関連機器

流動層ボイラーの場合、必要に応じて砂循環装置一式（砂貯留ホッパー、砂循環コンベヤ、砂搬送コンベヤ、振動篩、砂補充ホッパーとホイストおよび砂循環コンベヤ等）を設置する。また、間伐材等は土砂の付着は少ないが、林地残材やバークに土砂が付着している可能性もあるため、破碎後もこの付着土砂が炉内に投入されることがある。このような場合には、土砂の混入を想定した砂循環装置または抜き出し装置を設置する。

## 事業に適した機器の選定

発電用ボイラー設備は、下表にあるような機器で構成されている。事業内容および規模等に適した機器を選定する必要がある。

表 3.2.5 発電用ボイラー設備の構成と機能

設備		機能
発電用ボイラー	ボイラー本体	ボイラードラムおよび水管群の圧力容器で構成される。蒸気は、燃焼室で発生した燃焼ガスを水管群(放射伝熱面、接触伝熱面)により水管中の飽和水を加熱しボイラードラムで分離させたものである。
	ボイラードラム	ボイラー水の循環および蒸気と水を分離する容器。ボイラードラムにより発生した蒸気は、飽和蒸気のため一部水分が含まれており、過熱器(スーパーヒータ)で更に過熱した蒸気を作り、熱効率の向上等を図る場合が多い(飽和蒸気の場合もある)。
エコマイザ(節炭器)		ボイラー水の給水温度を予熱して、熱効率の向上およびボイラードラムの熱応力の低減等を図るために設置する。
空気予熱器		空気予熱器は、燃焼室で燃料を燃焼させるために必要な燃焼用空気を加熱する機器である。本機器は、燃焼ガスまたは蒸気を熱源にして熱交換するが、前者をガス式空気予熱器、後者を蒸気式空気予熱器と呼んでいる。 ガス式空気予熱器は、燃焼ガスから熱回収するため熱効率の向上が期待できる。
ボイラー補機類	ボイラー給水ポンプ	脱気器タンクの脱気処理水をエコマイザーおよびボイラーに給水するためのポンプである。
	脱気器	脱気器は、ボイラー給水中の酸素および炭酸ガス等を除去してボイラーの腐食防止とボイラー給水を加熱するための機器である。
	薬液注入装置	薬液注入装置は、ボイラー給水およびボイラー水を水質管理値以下に保持するための装置である。薬液は、清缶剤(ボイラー水のpH調整、スケール成分除去)および脱酸剤(ボイラー給水およびボイラー水中の溶存酸素除去)がある。 なお、ボイラー給水およびボイラー水は、ボイラー形式、容量、最高使用圧力により水質標準値が定められている。
	連続ブロー装置	ボイラー給水中の不純物および注入薬品の影響による濃縮を防止し、水質管理値以下にするために、ボイラー水を連続的に外部に排出する装置である。
	スートブロウ(すす吹き装置)	ボイラー水管部に付着したダストを、蒸気または圧縮空気を吹き込んで除去するための装置である。付着ダストを除去して熱貫流率の低下を防いで計画蒸気量の能力を確保するために設置する。
	安全弁	ボイラー圧力が規定圧力以上に達した場合に、蒸気を放蒸して内部圧力を下げるために設置する。
	水面計	ボイラードラムの水位が上下の規定水位にあることを確認するための計器である。

(出所) 各種資料よりみずほりサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 計画に即した設備能力の検討

燃料バイオマスの計画条件（消費量、可燃分、水分、灰分等の組成および発熱量）において、定格発電出力を達成するために必要とする各機器の空気、燃焼排ガス、蒸気、復水、給水等を対象に、各物質（流量、圧力、温度および熱量等）の収支を計算して**計画の妥当性を確認し、さらに各機器の能力、容量を検討する。**

物熱収支は、発電出力に関係する燃料バイオマスの水分率で設計値、最小値および最大値の 3 ケース別に検討し、発電用ボイラーの能力は、一般に MCR（Maximum Continuous Rating：ボイラー最大連続蒸発量）および ECR（Economical Continuous Rating ボイラー経済連続蒸発量）により計画されるため、前述の 3 ケースを対象に MCR、ECR 別に検討する必要がある。

## 放熱等の熱損失も考慮した収支計算

発電用ボイラーの伝熱面積を算定するために、燃焼計算を踏まえて物質収支計算および放熱等の熱損失を考慮した熱収支を計算する。

また、ボイラー、タービン、復水器、脱気器および給水タンク等の各機器を対象に、蒸気、復水および給水の物質収支および熱収支を計算し、**ボイラー効率および熱回収効率等の計画の妥当性を確認する。**さらに収支計算をもとに**各機器の能力、容量を計画する。**

## 発電用ボイラーおよび周辺装置等の考慮

ボイラーを支持する架構は十分な強度と剛性を有する自立耐震構造とする。ボイラードラムに容易に入れるマンホールを設け、管寄せは点検しやすい構造とする。汽水分離装置は十分な機能を有し、内部部品の分解、搬出、組立が容易な構造とする。また、周辺装置等もそれぞれの特徴を考慮して設計を行う。

## (2) BTG における蒸気タービン設備

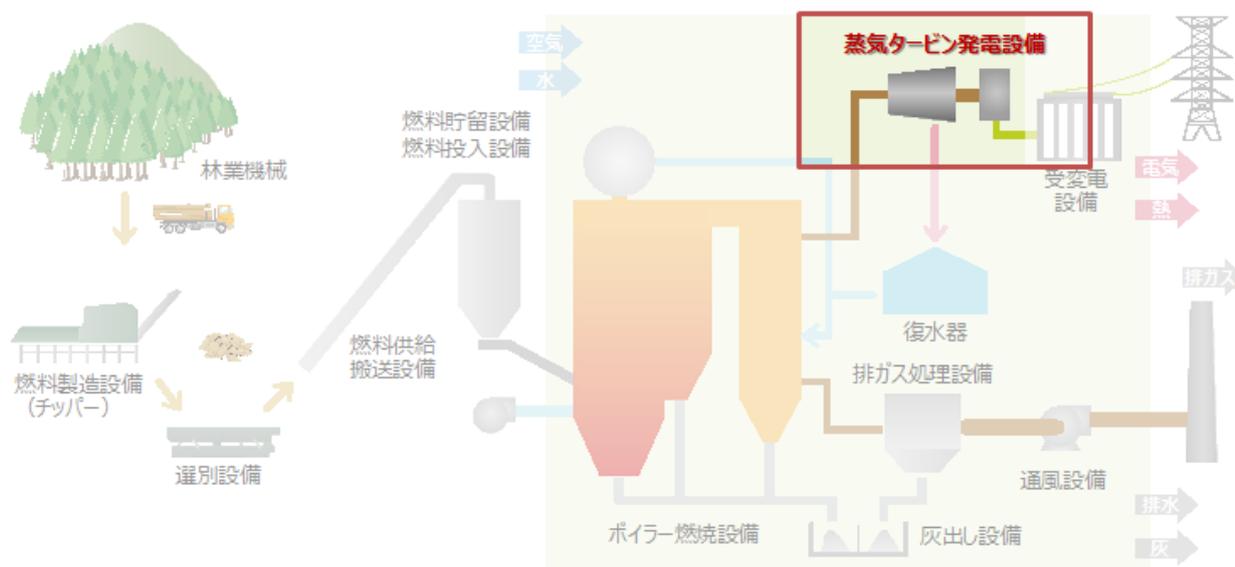


図 3.2.4 発電設備における位置

(出所) みずほりサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

### 蒸気タービンの概要

蒸気タービンは、ボイラーで発生した蒸気の熱エネルギーをノズル（静翼）により速度の機械エネルギーに変換し、この高速流を回転羽根（動翼）に吹き付けて高速回転させることにより動力を得る装置で、蒸気タービン発電機は、蒸気タービンに減速機を介して所定の回転数により発電機を回転させて電力を得る装置である。

蒸気タービン発電機は、タービン本体、発電機本体、減速装置、调速装置、ターニング装置、潤滑装置、グランド蒸気復水器、グランド蒸気ファン、ドレンタンク、ドレン移送ポンプ、タービンバイパス装置、非常用大気放出装置、タービン起動盤、油ポンプ、非常用油ポンプおよび非常用電源等から構成される。

### 蒸気タービンの蒸気圧条件と作動方式

バイオマス発電に採用される蒸気タービンは、タービン出口の蒸気圧条件から復水タービン、抽気復水タービンおよび背圧タービンに、作動方式から衝動式および反動式に分けられる。

衝動式は、ノズルからの高速流を回転羽根が受けて、この衝動で回転する方式である。反動式は、固定羽根からの蒸気流が回転羽根を通過する時にも膨張加速してその反動で回転する方式である。

表 3.2.6 蒸気タービンの種類と特徴

種類	機能
復水タービン	タービン出口に蒸気復水器(水冷式または空気式)を設置して蒸気を大気圧より低い真空圧まで凝縮させて蒸気を最大限利用する方式。発電を主とする事業を行う場合に適する設備である。
背圧タービン	タービン出口の蒸気圧が大気圧より高く蒸気飽和温度は 100℃以上あり、この排気蒸気はさらに熱利用できるため、小規模発電の他に高圧蒸気および排気蒸気を冷暖房、温室等に熱利用する場合に採用例がある。 背圧タービンの採用条件としては、売電を優先せずに構内の電力消費分程度を発電し、さらに構内または外部に熱供給需要がある場合は事業化の可能性が考えられる。
抽気復水タービン	復水タービンの途中で施設内で必要なプロセス用の蒸気を抽出し、残りの蒸気は低圧まで利用して復水器まで送気するタービン。抽気用の蒸気は、脱気器用、蒸気式空気予熱器用、スートブロウ用、スチームトレーサー用等がある。所内動力(熱等)にも利用する場合に適する。 プロセス用蒸気なども一部利用するバイオマス発電所では、衝動式抽気復水タービンを採用している例が多い。

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

### 蒸気タービンの規模と発電効率

発電のみを目的とした蒸気タービン (BTG) は下図に示したとおり、発電規模が小さくなると発電効率が著しく低下することが知られている。そのため国内では FIT 認定区分の境界値である 2,000kW に極めて近い規模で BTG が選択されるケースがいくつか存在するが、1,500kW 以下の事例は限定的である。

近年ではこのような小規模発電事業を行う事業者がガス化発電を検討する事例や、数としては少ないものの ORC 熱電併給技術の導入を検討する事例が増加傾向にある。

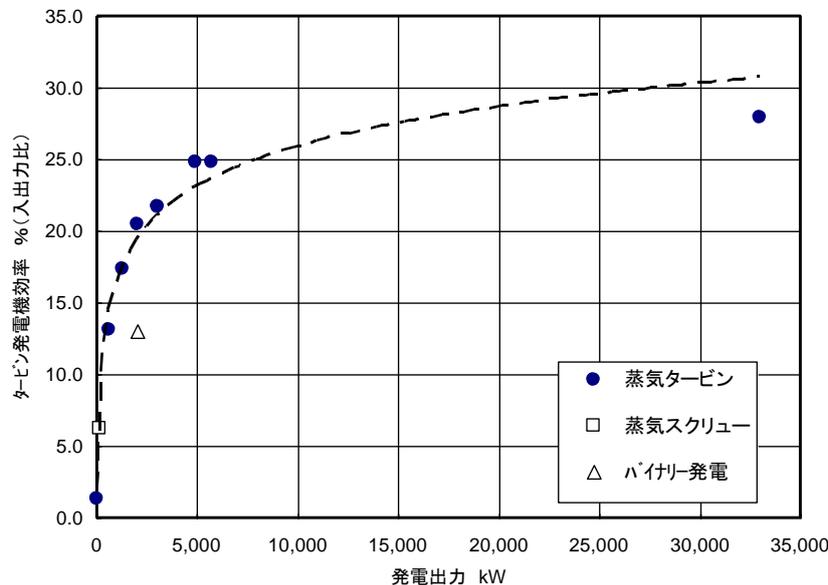


図 3.2.5 蒸気ランキンサイクルにおける発電出力とタービン発電効率の関係

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 蒸気タービン発電出力の算定

蒸気タービン発電出力は、蒸気条件（呑み込み蒸気量、圧力および排気出口圧力）、タービン効率、機械効率、発電機効率等により算定される。蒸気条件のうち、蒸気量、圧力はボイラーの能力によって決まり、タービン排気出口条件は、復水器の能力、方式によって決まる。

軽負荷から全負荷まで連続安定運転でき、年間を通して安定的に定格出力を維持できるよう、**復水器は水温、気温が高くなる条件の悪い夏季を対象に設計点（外気温度、相対湿度）を設定することが望まれる。**事業者は、機器仕様が事業に適したものであるか、設備メーカーに確認する。

表 3.2.7 主要な確認項目

項目	単位	項目	単位
蒸気消費量	t/h	タービン排気出口圧力	kPa
圧力	MPa	蒸気タービン発電出力	MW
蒸気温度	°C	運転時間	h/年
タービン効率	%		

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 設置すべき計器および機器の留意点

タービン各部のドレンを発電機室内で放蒸させない構造とする。タービン蒸気入口側や排気側に圧力計および温度計を設置する。タービン室にメンテナンス用のクレーンを設置する。等々の事業に適した機器設計となるよう、設備メーカーと十分に検討のうえ決定する。

## 非常時の対策

非常時の対策として、手動非常停止装置を現場および中央操作室に設けるとともに、下記のような場合には、タービンへの蒸気の流入を自動的に遮断する必要がある。

### <蒸気タービンへの蒸気の流入を遮断する場合>

- タービン速度が定められた限度以上に達したとき
- タービン入口蒸気圧力が規定限度以下に低下したとき
- 真空圧力が異常に上昇したとき
- 潤滑圧力が定められた限度以下に低下したとき
- スラスト軸受が異常摩耗あるいは限度以上に温度上昇したとき
- 軸受の振動が規定値以上になったとき
- 保護リレーにより発電機がトリップしたとき

### (3) ORC 熱電併給システム

#### ORC 熱電併給設備システムの概要

下図に欧州で広く普及しているイタリアの Turboden 社の ORC 熱電併給技術を使用したバイオマスボイラーにおける典型的なフローを示す。サイクルの動力媒体として炭化水素系（シリコンオイル）の有機媒体が用いられ、熱源にはバイオマスを原料としたボイラーで加熱されたサーマルオイルが用いられる。バイオマスボイラーでサーマルオイルを 300℃程度まで加熱し、このサーマルオイルを ORC 発電ユニットに送ることで、ORC 発電ユニット内を循環するシリコンオイルを加熱・蒸発させ発電を行う。

有機媒体を利用することで小規模でも高い発電効率を実現し、発電後の排熱が 80～90℃程度の温水として回収・利用可能なことから、欧州では中小規模のバイオマスコジェネレーションの領域で普及が進んでいる。熱源としてはバイオマスに限らず、地熱、廃棄物焼却炉、工場排熱、太陽熱などの組み合わせも可能である。

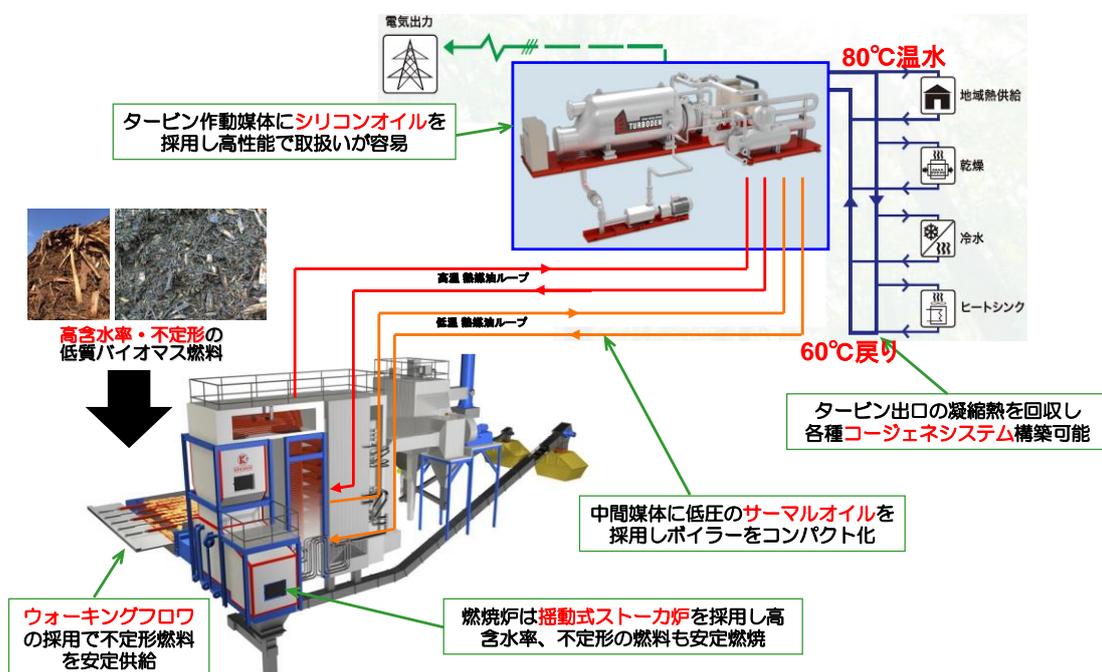


図 3.2.6 Turboden 社の ORC 発電機を使用したバイオマスボイラーにおける典型的なフロー

(出所)「ORC バイオマス発電技術とその適用」技術情報センターセミナー資料（株式会社 PEO 技術士事務所提供資料）

バイオマスを利用した発電を行う場合の設備は、下図に示すようにバイオマス燃焼炉＋サーマルオイル熱交換器からなり、これを総称してバイオマスボイラーと呼んでいるが、正確にはバイオマスを燃焼した熱でサーマルオイルを加熱しており、その工程内で蒸発は伴っていないことからサーマルオイルヒーターと呼ぶことが正しい。

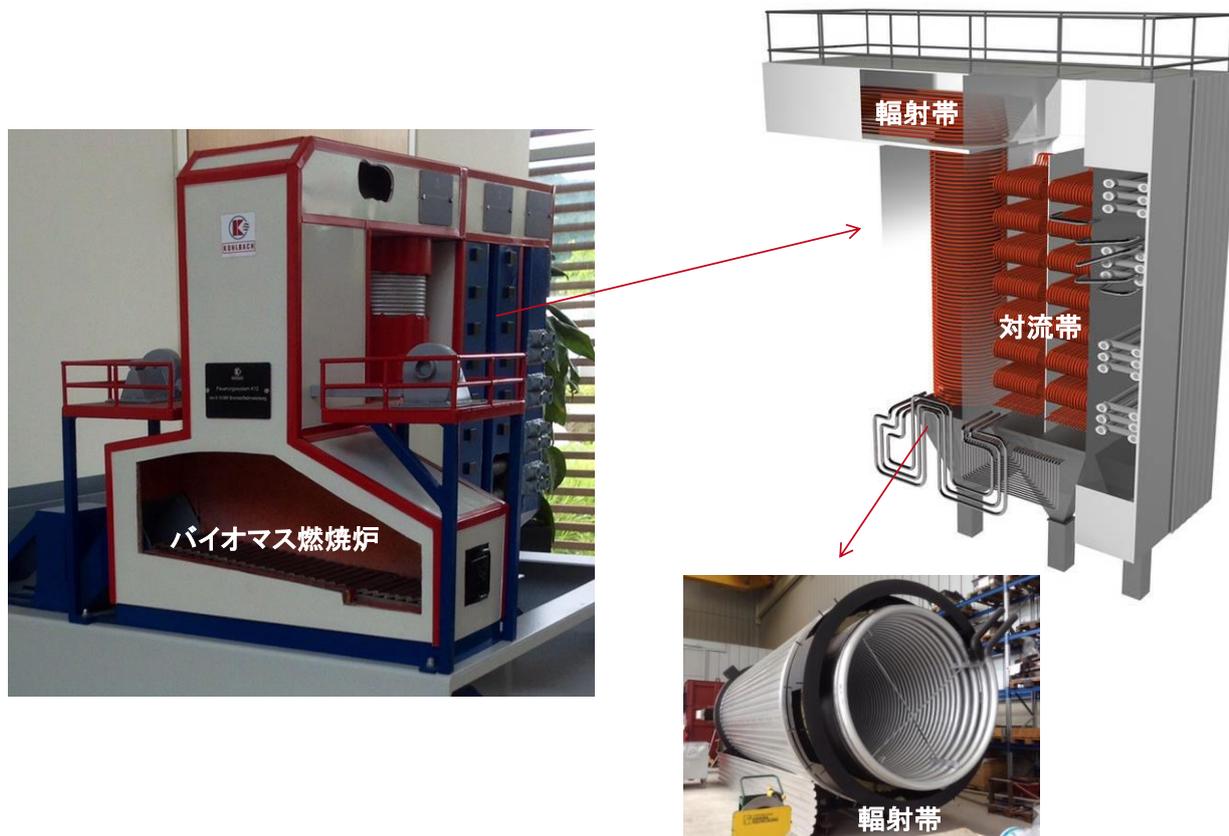


図 3.2.7 ORC 用バイオマスボイラーの構造

(出所) 「ORC バイオマス発電技術とその適用」 技術情報センターセミナー資料 (株式会社 PEO 技術士事務所提供資料)

サーマルオイルヒーターは 700℃以上の炉温で輻射伝熱で熱回収する輻射帯、それ以下の温度で対流伝熱で熱回収する対流帯に分かれている。輻射帯はバイオマスからの高温の飛灰による熱交換器の閉そくを避けるため、熱交換器は煙道の周囲にらせん状に配置されている。輻射帯での熱回収により、ある程度排ガス温度が下がると灰の付着力もなくなるため、対流帯では伝熱効率の良い対流熱交換器が煙道に対して垂直に配置されている。

## ORC 熱電併給設備用ボイラーの仕組み

ORC 熱電併給システムのバイオマス燃焼炉にはストーカー炉、流動床炉など一般的な各種バイオマス燃焼炉が使用可能である。欧州では水分率が高く形状も雑多な低質のバイオマス燃料を燃やしたいことから、ストーカー炉の採用が多い。低質バイオマス用の燃焼炉（ストーカー炉）の構造を下図に示す。

ウォーキングフロア式サイロから切り出されたバイオマスはコンベア、ショートストーカーを経て、バイオマス炉に押し込み投入される。炉は乾燥・燃焼・灰化の3ゾーンに分かれており、乾燥帯で乾燥されたバイオマスは自着火が可能な水分率まで乾燥されて燃焼帯で燃焼した後、灰化ゾーンで完全に灰化される。

製材端材など乾いたバイオマスを対象とするのであれば乾燥ゾーンは不要となり、炉の大きさは小さくできる。ORC 用バイオマスボイラーは下図の熱交換器の部分にサーマルオイル熱交換器に置き換えたものになる。

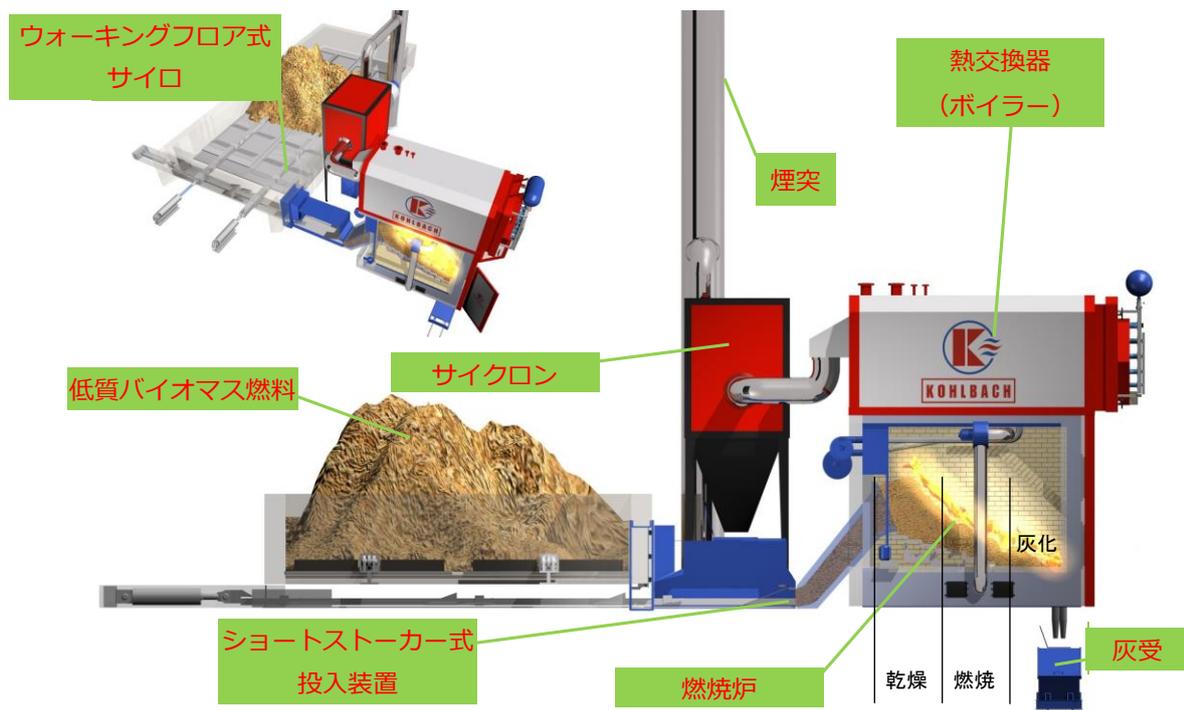


図 3.2.8 低質バイオマス（50～60%wet）用バイオマス燃焼炉（ストーカー炉）  
（出所）「ORCバイオマス発電技術とその適用」技術情報センターセミナー資料（株式会社PEO技術士事務所提供資料）

## ORC のヒートバランスおよびエネルギー効率

下図にバイオマス ORC 熱電供給設備のヒートバランスを示す。高水分率の生バイオマスでも 80%以上という高い熱効率を示すが、電気エネルギーの 4 倍にあたる全体の 8 割は熱エネルギーである。そのため、熱利用がなければ ORC 熱電供給設備を採算ラインに乗せることは難しい。

温水による熱利用の盛んな欧州では、ORC 発電ユニットは熱が主、電気が従という考え方で利用されており、電気主体の我が国とは大きく事情が異なることに留意が必要である。

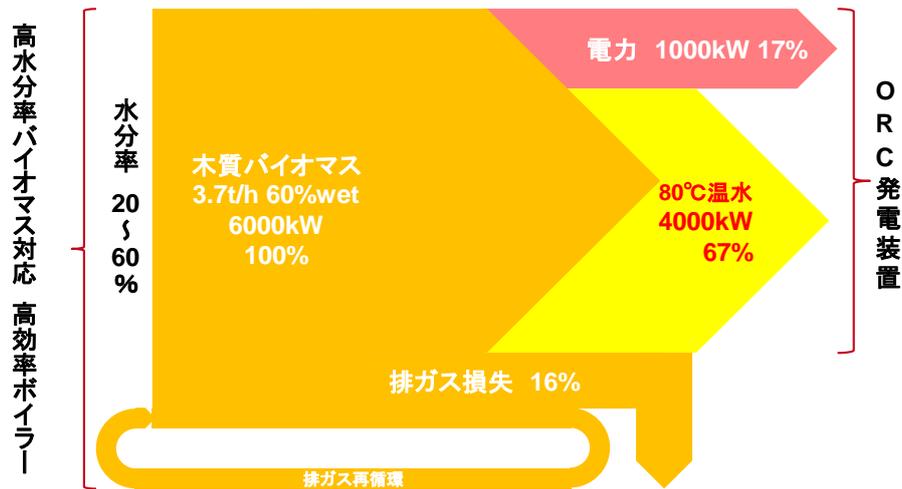


図 3.2.9 1000kW ORC 熱電供給設備のヒートバランス

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料

## ORC の実績

バイオマスを熱源とするシステムでは、イタリア Turboden 社（2013 年より三菱重工業株式会社グループ）の ORC 発電ユニットがドイツ、オーストリア、イタリアを中心に 300 基以上の導入実績がある。前述の特徴から、欧州で導入された ORC 発電ユニットの約半分は排熱を地域熱供給に利用しており、製材所や木材加工、ペレット製造（原料のおが粉乾燥）など木材産業での利用も多い。なお、Turboden 社のバイオマス分野での導入実績は、発電出力の規模としては 700kW から 1.8MW の小規模である。

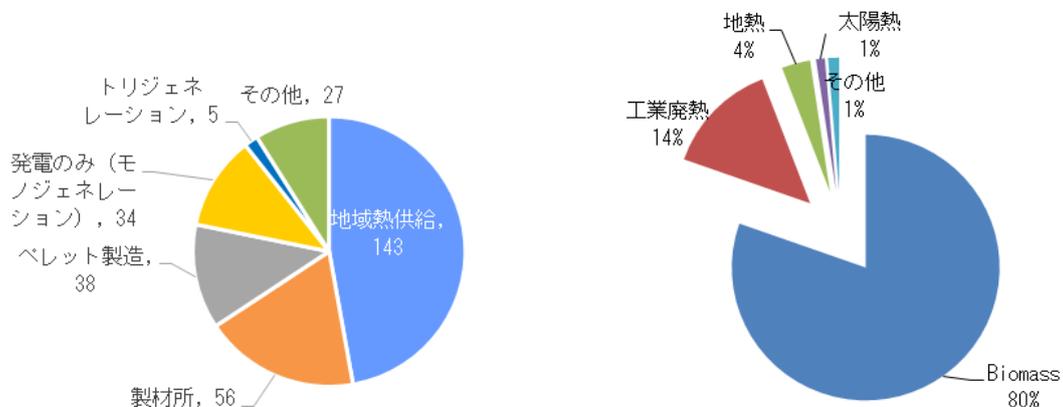


図 3.2.10 イタリア Turboden 社の ORC 納入実績 (左) と熱源の状況 (右) (2018 年末時点)

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料

ORC 熱電併給技術の熱源としてはバイオマスの燃焼以外にも工業排熱や地熱、太陽熱等を利用する事例も存在する。欧州では 300 基以上の ORC のうち 80%がバイオマスを熱源とし、14%は工業排熱を熱源としている。一方で日本国内での ORC の導入事例は地熱とバイオマスを熱源としたものが数件という現状である。

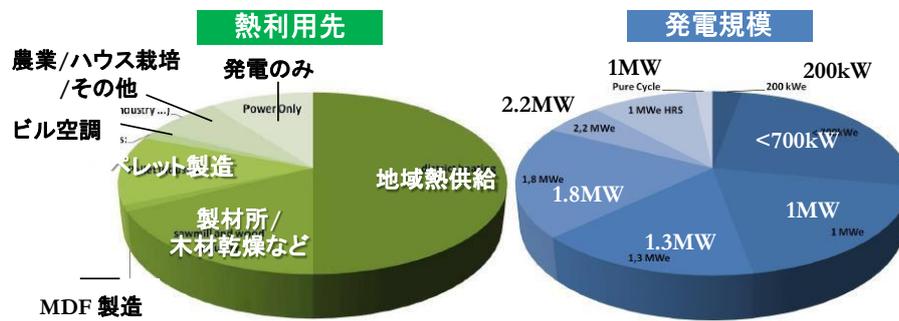


図 3.2.11 ORCユニットの導入規模と熱利用先

(出典) Turboden 社資料を基にみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## (参考) 発電および熱電供給の仕組み～ランキンサイクル～

ランキンサイクル(Rankine Cycle)とは 19 世紀にイギリスの物理学者 William John Macquorn Rankine (1820-1872)が発明した熱サイクルで、別名蒸気サイクルとも呼ばれている。一般的には蒸気(水)を動力媒体として使うが、ORCはこの動力媒体が水ではなく Organic すなわち有機媒体に置き換わっただけで原理的にはまったく同じである。蒸気サイクルを使った発電は、一般的な火力発電、原子力発電、そして木質バイオマス発電(通常 2 MW 以上)など、ほとんどこの蒸気ランキンサイクルを使用しており、蒸気ボイラーと蒸気タービン発電機を使用することから、BTG (Boiler Turbine Generator)とも呼ばれている。ランキンサイクルはバイオマス発電でもっとも普及している技術である。

下にランキンサイクルの構成を示す。循環ポンプ④で加圧された液体の動力媒体は蒸発器①で外部からの熱により蒸発する。BTGの場合はボイラーが蒸発器①に該当し、燃焼炉中の水管で動力媒体である水が蒸発、さらにその後の過熱器(スーパーヒーター)で過熱蒸気になる。蒸気はタービン発電機②でタービンを回して、それに直結した交流発電機で発電を行う。タービンで仕事を終えた蒸気は、温度と圧力が下がり凝縮器③へ送られる。凝縮器③は復水器(コンデンサー)とも呼ばれ、ここで冷却されることで、蒸気は液体に戻り、再度ポンプ④で加圧するというサイクルになる。

ORCの基本原理は蒸気ランキンサイクルとまったく同じであるが、動力媒体として水ではなく有機(Organic)媒体を使用する。

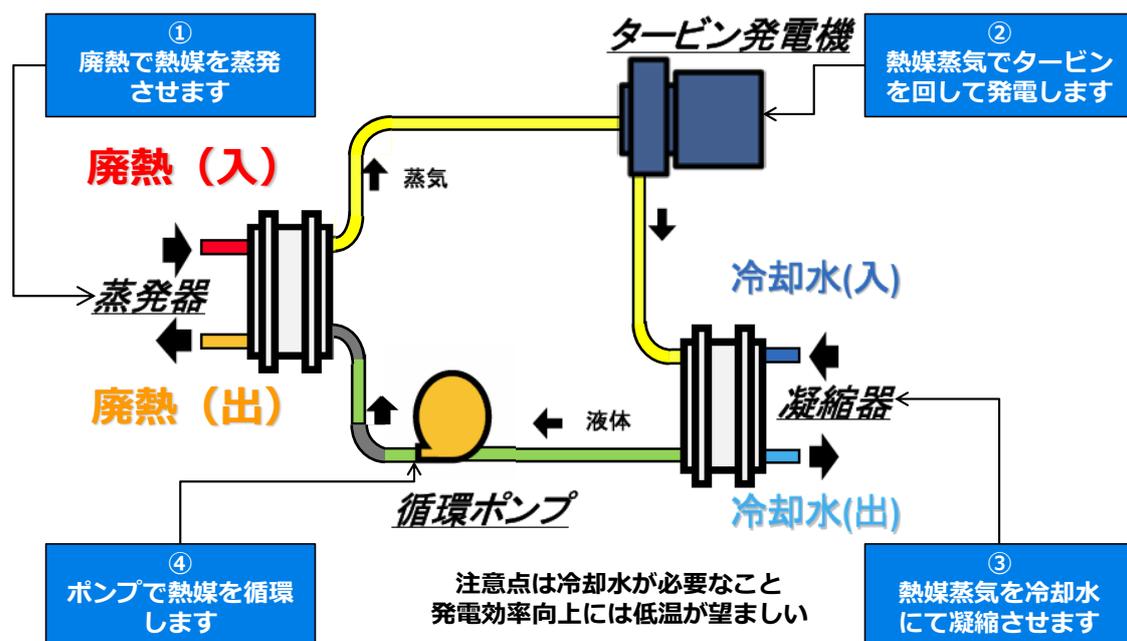


図 3.2.12 ランキンサイクルの構成

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料

以上より、与えるエネルギーとしては蒸発器①で液体を蒸気に変えるエネルギーと循環ポンプ④を回す動力であり、得られるエネルギーは②で発電される電力と凝縮器③で冷却水を温める熱エネルギーとなる。

<参考:ランキンサイクルにおける発電効率(η)の求め方>

**ランキンサイクルの効率の基本式**

ランキンサイクルの効率 η を表す式は、燃料による供給熱量を Qb、タービンで取り出せる仕事を Wt、ポンプで使用する仕事を Wp、とすると次のように表すことができる。

$$\eta = (W_t - W_p) / Q_b \text{ -----(1)}$$

この式をわかりやすくするためにエンタルピーで表す式に変換する。

まず、前頁の図の①⇒④までの流れを蒸気の流量を m[kg/s]としてエンタルピーで表す。

※エンタルピーは熱力学の概念であるが、ここではわかりやすく熱・圧力を加味した物質の持つ総エネルギーと理解可能

**プロセス①⇒②**

蒸発器を出た蒸気がタービンを回転させ、発生させる仕事は、入出のエンタルピー差で表すことができる。

$$W_t = m(h_1 - h_2)$$

**プロセス②⇒③**

タービンから出てきた蒸気が、復水器で冷却される熱量を Qc とすると

$$Q_c = m(h_2 - h_3)$$

**プロセス③⇒④**

復水器で冷却された復水をポンプで加圧するのに必要な仕事を Wp とすると

$$W_p = m(h_4 - h_3)$$

**プロセス④⇒①**

ボイラーに加圧された加圧水が蒸気になるのに必要な熱量を Qb とすると

$$Q_b = m(h_1 - h_4)$$

これらの式を効率を表す(1)式に代入すると

$$\eta = (m(h_1 - h_2) - m(h_4 - h_3)) / m(h_1 - h_4)$$

ランキンサイクルでは、タービンから取り出せる仕事に比べ、ポンプで加圧するのに必要な仕事は限りなく小さいため、h3=h4 と仮定すると、次のように表すことができる。

$$\eta = (h_1 - h_2) / (h_1 - h_3)$$

したがって、この効率を上げるためには、以下のことに留意する必要がある。

- タービン入口エンタルピーh1 を出来るだけ大きくする
- タービン出口エンタルピーh2 を出来るだけ小さくする
- 復水器出口のエンタルピーh3 を出来るだけ小さくする

例えば蒸気の温度をできるだけ上げて h1 を大きくする、復水器の真空度をできるだけ下げて h2 を小さくする、できるだけ低い温度で冷却するなどが発電効率の向上に有効となる。

蒸気サイクルの世界では過熱蒸気の温度を上げることで高温高圧力として h1 を高めて高効率化を図ろうとしている。ただしタービンの材質の限界があり 500～550℃程度が限界と言われている。

ORC とは稼働媒体に水蒸気(水)ではなく、有機媒体を使用したランキンサイクルシステムの一つで、例えば欧州のバイオマス発電で一番普及している伊 Turboden 社のものは沸点の低い有機シリコンオイル等の有機媒体を使用して、タービンで発電を行う。低沸点の稼働媒体を使用すれば、温水など比較的低温の熱源でも発電することが可能となる。

## ORC 技術の選定に関する留意事項

### バイオマス燃料

バイオマス発電では、発電経費に占める燃料費の割合が BTG で 6 割、ガス化発電でも 5 割を占めている。したがって、**燃料費の低減がバイオマス発電における事業性確保の鍵**となる。ORC 熱電併給設備は低質バイオマス燃料対応の炉と組み合わせることで、燃料費の大幅な削減が可能となる。

下左図は熊本県南関町に建設された我が国で最初のバイオマス ORC 発電で使用している無破碎バークである。ここでは近隣の森林組合の土場(下右図)から発生した土場バーク(原木丸太から自然に剥がれ落ちた樹皮)と竹製材工場から発生した竹残材を 7:3 の割合で混焼している。土場バークは土場の石や土、さらに土場に落ちているゴミ等の異物が混じっており、水分率も平均 50%と高く、燃料には利用できず土場に放置されている。さらに破碎すると破碎費用が 2,000 円/t 程度かかり、また異物で破碎機を傷めるという問題もある。これを無破碎のまま燃料として利用できれば、バイオマス発電に必要な燃料費は実質的に輸送費のみで済む。

一方、竹は単独で燃やすと塩素や炉内クリンカの発生でバイオマス燃料として問題があるとされている。竹をバークで希釈(混合)することで竹の燃料としての悪い性質が解消できる。さらに竹を混ぜることで絡まって塊になり燃焼性が悪化するバークの欠点も緩和できる効果もある。



図 3.2.13 バンブーエナジー株式会社にて森林組合に野積みされた土場バーク(左)と ORC の投入コンベアの燃料バーク(右)

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料

## 発電効率と所内電力消費率、総合効率

ORC は 600kW～1,800kW までの規模で BTG と発電効率はほぼ同じである。また半分の負荷で運転しても、発電効率の低下はフル出力時と比較して 1 割ほどである。

総合効率面では、ORC、BTG 共に熱電併給設備であり約 80%という高い効率を得られる。熱エネルギーは共に温水として回収しているが、ORC の場合、原理の項目で説明したように、温水はタービンの冷却水であるため、これを利用できないと冷却水の温度が高いままとなり、発電も不可能である。

## メンテナンス費用

欧州では ORC 発電装置はメンテナンスフリーである。ただし日本では電気事業法で定期点検や開放点検が義務づけられている。しかし、1,000kW 未満では自主点検で済むため、メンテナンス費用は低減できる<sup>4</sup>。

## 有資格者

ORC 設備は電気事業法上のボイラーに該当するため、ボイラー・タービン主任技術者が必要である。しかしながら、ORC ユニットは最高使用圧力が 1.2MPa 程度と比較的低いことから、発電出力 5,000kW 未満の場合、電気事業法による主任技術者の選任の緩和要件に該当し、ボイラー・タービン主任技術者の選任要件が緩くなり、エネルギー管理士や工業高校機械科卒以上等で代行することが可能である。なお、ORC は電気事業法上の汽力発電に該当することから常時監視が必要である。

## 稼働時間

欧州における年間稼働時間を見ると、ORC 発電もガス化発電もほぼ同等で 8,000 時間を超える例も少なくない。しかし、日本ではガス化に必要な高品質のチップを安定して用意できないケースが多いため、国内でこの稼働時間をクリアできている例は現状ほとんどない。バイオマス燃料に対する許容性は圧倒的に ORC 発電が広く、バンブーエナジー株式会社の実例を見ても、欧州と同じ年間稼働時間をクリアすることは容易だと考えられる。

<sup>4</sup> 一方、ガスエンジンは多くの消耗品から構成されており、メンテナンス費用だけで¥4～5/kWh 必要と言われている。

## ORC と蒸気タービンの比較

ORC 発電ユニットは欧州で確立した技術であり、熱利用の盛んな欧州で急速に普及している。ORC はシリコンオイルなどを利用することで小規模でも高い発電効率を実現可能であること、発電後の排熱が 80～90℃程度の温水として回収・利用可能なことから、欧州では中小規模のバイオマスコジェネレーションの領域で普及が進んでいる。

2MW 以下の小規模発電を想定した場合に発電効率が大きく低下する蒸気タービン発電に対して、ORC での発電効率は発電規模によらず 20%程度と一定である。また、排熱温度も 80℃～90℃と高く利用しやすく、熱利用までを目的とした設備導入を行えば、**木質バイオマスのエネルギー効率は 80%以上**と非常に高くなり、エネルギー供給事業の事業性を高める事ができる。

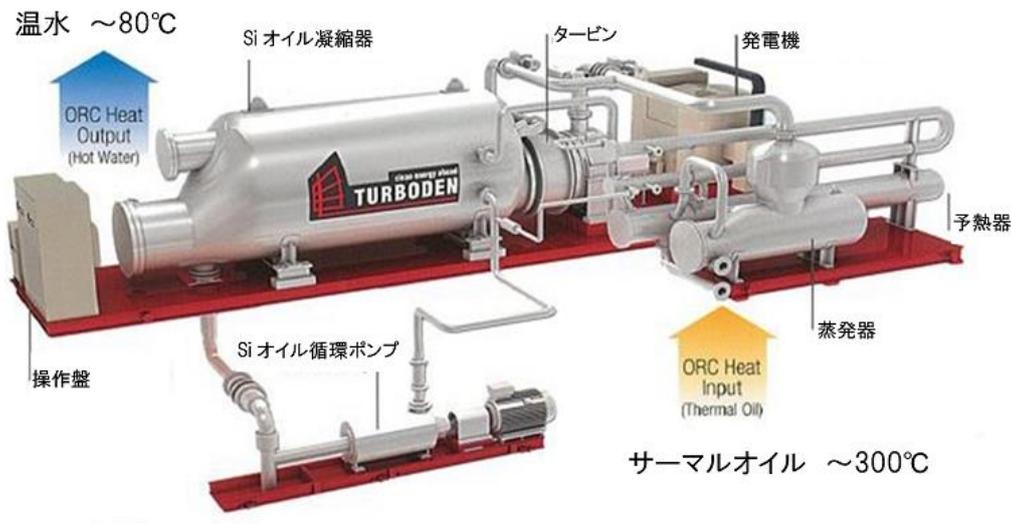


図 3.2.14 イタリア Turboden 社の ORC 発電ユニット

(出所) 第一実業株式会社提供 (株式会社 PEO 技術士事務所提供資料)

次表に ORC 熱電併給技術と蒸気タービンとの比較を示す。これまでに述べたとおり、ORC 熱電併給技術は小規模での発電効率と熱効率の面で蒸気タービンより優れている。

また、動力媒体にシリコンオイル等の有機媒体を利用することから、蒸気タービンと比較して設備の腐食や摩耗が発生せず、**維持管理費や人件費等のランニングコストを低くすることが可能**とされている。

発電出力が 5,000kW 未満の場合、ORC ユニットは最高使用圧力が 1.2MPa 程度と比較的低いことから、日本の電気事業法による主任技術者の選任の緩和要件に該当し、**ボイラー・タービン主任技術者の選任要件が緩和される**ことも優位性の一つとなる。

表 3.2.8 ORC 発電と蒸気タービン発電の特性比較

	ORC	蒸気タービン
発電効率	600kW の小規模でも 20%程度	大規模ほど効率が良く5,000kW で26%程度だが、1,000kW では 15%、600kWだと10%以下
排熱利用	フル出力時の排熱は 90℃程度で回収・利用可能	(復水式の場合) フル出力時は 40℃程度、有効熱の回収には発電用の蒸気の抽気が必要
蒸気の品質管理	熱媒が有機系液体であるため量的管理のみで維持コストが少ない	純水製造設備とブロー水の処理設備が必要でコスト高
有資格者	ボイラー・タービン主任技術者の選任要件が低い	ボイラー・タービン主任技術者の選任が必要
タービンの負担	有機系液体は非腐食性であり、腐食や摩耗の心配がない	タービン内の凝縮水により腐食や浸食が発生する
低負荷時の効率	発電規模が定格の 10%まで落ちても高効率を維持	低負荷時には急激に効率が低下

(出所) バイオマス熱電供給株式会社/E2 リバイク株式会社「平成 27 年度～平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 アクアイグニス多気 ORC ユニットを活用した木質バイオマスコジェネレーションシステムの事業性評価 (FS)」(NEDO) 2016 年よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

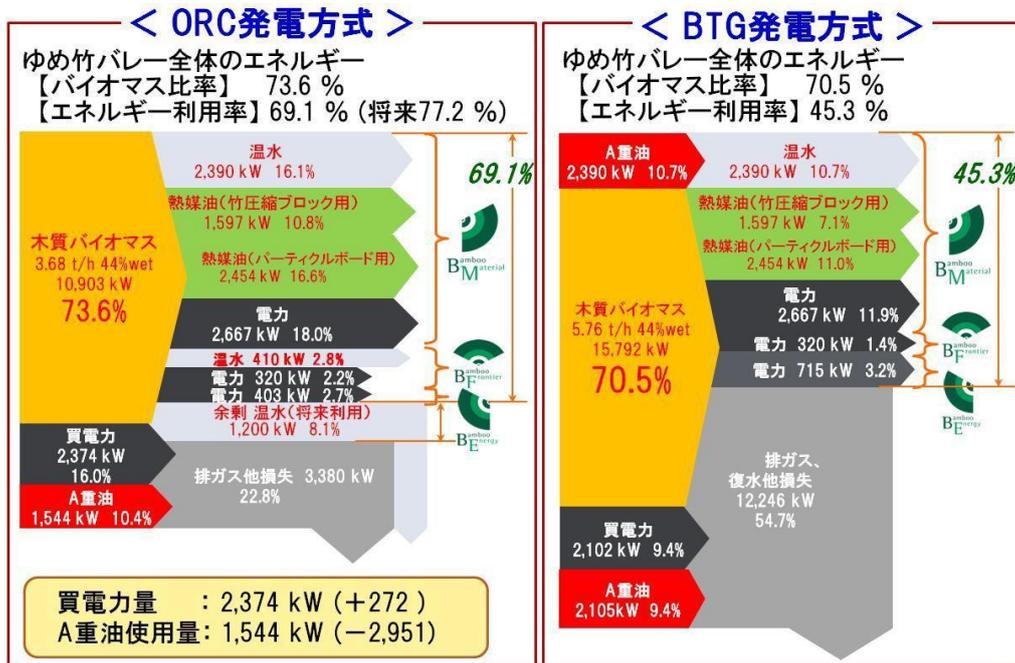


図 3.2.15 エネルギーフロー比較

(出所) パンプーエナジー株式会社/中外炉工業株式会社「平成 27 年度～平成 28 年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業/地域自立システム化実証事業 竹の新素材加工工場に併設したバイオマスの熱・電供給カスケード利用による地域再生自立システム“ゆめ竹バレー”の事業性評価 (FS)」(NEDO) 2016 年

## ORC と熱分解ガス化の比較

下表に ORC 熱電併給技術と熱分解ガス化と（代表的なダウンドラフト式）との比較を示す。**メンテナンス性、安定性で優る ORC は熱で事業性を確保できるとガス化発電よりも優位**と考えられる。

ORC は発電機の規模が小さくても発電効率は約 20%と一定であるところに利点がある。22～30%の発電効率があるガス化発電よりも効率は下がるが、このクラスの BTG に比べるとはるかに有利である。加えて発電量の 4 倍の低温熱（約 80℃）が得られることから、**熱需要がある施設や地域が導入先の候補**となる。

しかしながら、欧州のような地域熱供給や大型製材所、大型ペレット工場等の乾燥熱需要など、大きな熱需要先がない日本では ORC の導入は進んでいない。

表 3.2.9 ORC とダウンドラフト式ガス化の比較

	ORC 熱電併給設備	ダウンドラフト式ガス化
燃料バイオマス	水分率～50%	水分率 10%以下
	不定形	定形チップ
発電効率(発電端)	18～19%	22～30%
総合熱効率	80～85%	70～80%
所内電力消費率	20%	10%
メンテナンス費用	¥2～3/kWh	¥5～10/kWh
有資格者		
電気主任技術者	必要	500kWh 未満は不要(委託要)
ボイラー・タービン主任技術者	原則不要	不要
常時監視	必要	原則不要(兼務)
欧州における年間稼働時間	8,000 時間	7,500 時間

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## (参考) ORC の作動媒体の種類

ランキンサイクルに使用される動力媒体には様々な種類が存在し、それぞれに特徴が異なる。水とアンモニア以外は炭化水素類である。水と区別するために有機媒体、すなわち Organic を使用するランキンサイクルを Organic Rankine Cycle と呼び、略して ORC と称している。

水と比較すると ORC には低沸点の媒体が多いことと、媒体の分子量が大きいという特徴がある。低沸点であることは低温熱を熱源として利用する際に適しており、分子量が大きいことは蒸発後の気体密度が大きいことにつながり、水蒸気よりも簡便なタービンで発電可能というメリットがある。一方でエアコン等の冷媒として多用されている HFC-245a（代替フロン）以外の有機媒体は可燃性が高く、日本の消防法では危険物という取扱いとなっている。アンモニアは人体への毒性も高いため、実際に動力媒体として使用しているケースは今のところ存在しない。

表 3.2.10 ランキンサイクルに使用される各種稼働媒体

媒体名		水	シリコンオイル	n-ペンタン	HFC-245a	アンモニア
記号	—	H <sub>2</sub> O	[(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> Si] <sub>2</sub> O	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>
分子量	—	18	162	72	134	17
沸点	°C@1atm	100	100	36	15.3	-33.3
密度	g/cm <sup>3</sup>	1.0@15°C	0.76@25°C	0.63@15°C	0.52@15°C	0.69@15°C
融点	°C	0	-68	-130	—	-77.7
比熱	kJ/kgK	4.2@15°C	—	2.3@15°C	1.5@15°C	4.7@15°C
引火点	°C	不燃	-6	-49	不燃	180
発火温度	°C	不燃	340	309	不燃	651
液化ガス	沸点<40°C	×	×	○	○	○
消防法	—	—	第4類第1石油類	第4類第1石油類	—	危険物

(出所) 三菱重工業株式会社提供 (株式会社 PEO 技術士事務所提供資料) よりみずほりサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

前述のサイクルにおいて、タービン入り口での動力媒体の温度が高いほど、すなわち高い熱源を使う媒体ほど発電効率は高くなる。復水器での冷却には水を用いることが一般的であるため、熱効率は熱源温度レベルで決まることになる。

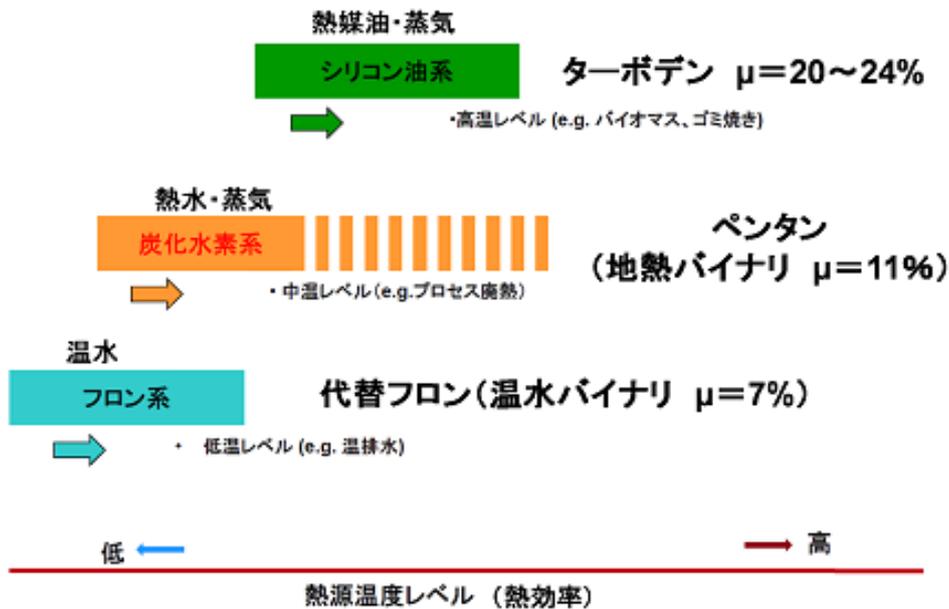


図 3.2.16 ORC における各種稼働媒体

(出所) 三菱重工業株式会社提供 (株式会社 PEO 技術士事務所提供資料)

「ランキンサイクルとは」で示したように、高いタービン前のエンタルピー  $h_1$ 、すなわち高い熱源を使う媒体の発電効率は高くなる。一方、復水器は水で冷却することが一般的であり、出口のエンタルピー  $h_3$  は下げる余地があまりない。結果として熱効率は熱源温度レベルで決まることになる。次表に各社の ORC 発電装置の熱源温度と発電規模、媒体の種類を示す。

表 3.2.11 ORC 各メーカーと作動媒体

メーカー	発電規模 kW	熱源温度 ℃	媒体	メーカー	発電規模 kW	熱源温度 ℃	媒体
富士電機	220～	135	イソペンタン	三井造船	150	70～250	HFC-245fa
IHI	20	70～95	HFC-245fa	日立造船	～2000	300～	シリコンオイル
	125	100～130			～2000	～250	代替フロン
神戸製鋼所	60	70～95	HFC-245fa	三機工業	125	中高温	HFC-245fa
	120	100～130					
川崎重工	250	80～120	HFE	アルバック機工	3	75～100	代替フロン
				Access Energy	125	135	HFC-245fa
三菱重工	700～5000	300	シリコンオイル	(第一実業)			
ターボデン		200	イソペンタン				
		～90	HFC-245fa	アネスト岩田	5.5	～90	HFC-245fa

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料

## (4) BTG および ORC に係る設備

### 1) 燃料供給搬送装置

#### 燃料供給搬送装置の概要

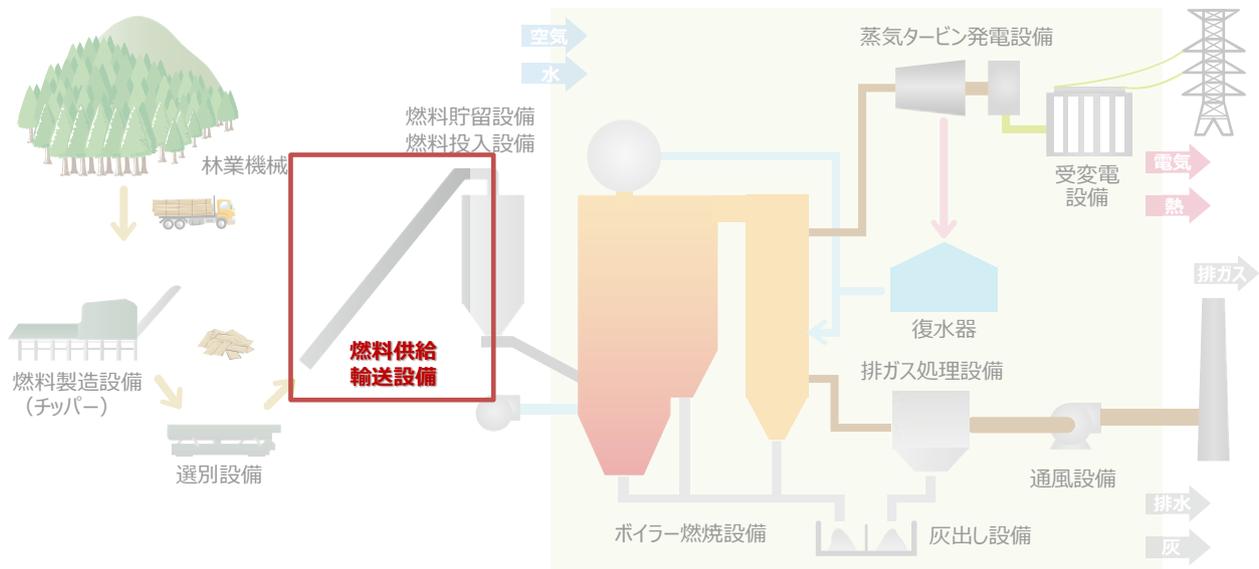


図 3.2.17 BTG 発電設備における燃料供給搬送装置（コンベヤ）の位置

(出所) みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

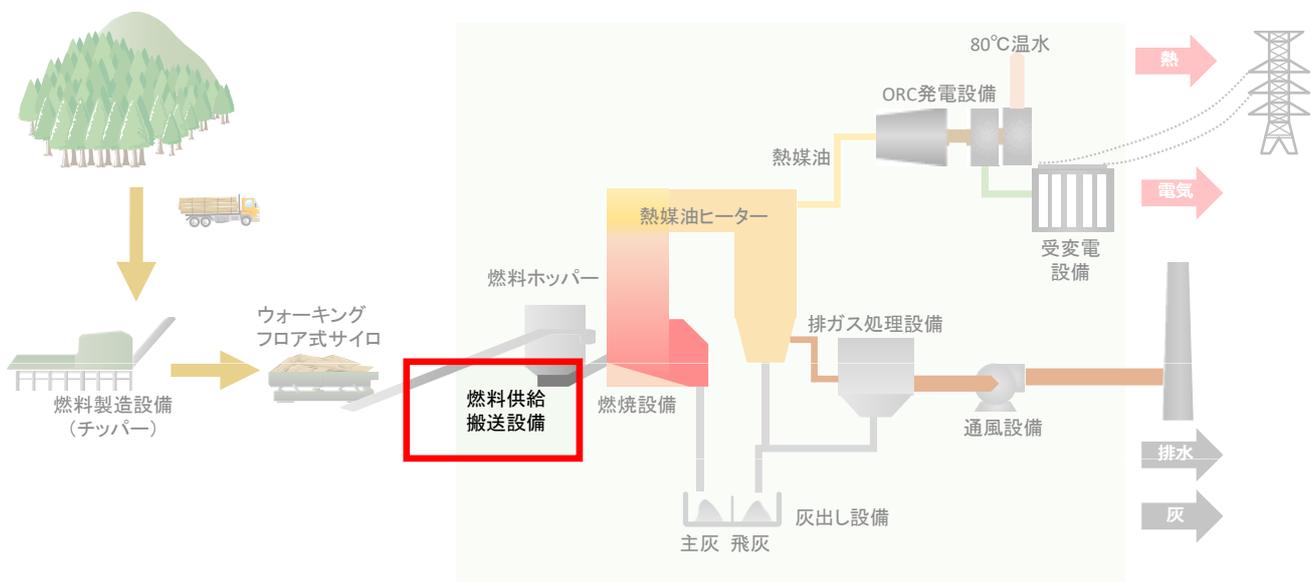


図 3.2.18 ORC 熱電供給設備における燃料供給搬送設備の位置

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 発電ボイラーの構造に適した搬送装置の選定

発電所が所定の電力を発電するためには、必要とするバイオマス燃料が安定的かつ一定量供給されることが絶対条件となる。したがって、ボイラーの定格出力を発揮させるには、燃料供給搬送装置の機種選定も重要となる。ボイラー燃焼設備の構造から、概ねいずれのボイラーのタイプでも高所から投入する必要があること、また、経済性を考慮してもコンパクトに配置する必要があるため、ボイラー燃料定量供給機までの搬送装置が急傾斜となることは避けられない。

先行事例では、ケースコンベヤ曲がり部での詰まり、底板の磨耗損傷およびチェーンの切断等のトラブルが確認されており、**計画時に細心の注意を払って機種選定することが重要**である。

## コンベヤの能力設計

燃料バイオマスは破碎後に容積が増加するため、**コンベヤの能力設計を行う際には、破碎後のチップのかさ密度（単位：t/m<sup>3</sup>）を用いて破碎後の重量および容積を算出する**必要がある。設定にあたっては、サンプル分析を行い、かさ密度の分析の結果、最も小さい値を用いて容量計算を、最も大きい値を用いて強度計算を行うのが望ましい。かさ密度は、密度測定に使用する容器のサイズや形状、容器への充填の仕方、容器内のチップの均し方などで測定値が変わるので、適用装置の使い方を勘案して、決めるのが良い。

## 搬送能力の設定

コンベヤの形状、構造の設計に際し、ボイラーの最大燃料消費量時（最大含水率における時間当たりの燃料消費量 t/h）の搬送できる能力を設定する。また、コンベヤの構造計算は、強度計算のかさ密度を採用することが望ましい。さらに、コンベヤは連続運転とは限らない。ホッパーレベルや運転中のボイラーの信号で間欠運転させるコンベヤもある。このようなコンベヤは 1 時間当たりの運転時間、すなわち運転率を考慮して能力を決める必要がある。

なお、**水分率が大きく変動するような燃料のケースでは、必要に応じて余裕率を見込む必要がある**ため、計画搬送能力は下記の計算式で算出する。

最大搬送能力 (t/h) × 余裕率 = 計画搬送能力 (t/h)

## バイオマス燃料の投入サイズ、こぼれ対策

メーカーや機種によって、燃料投入サイズ（単位：mm）の規定があるため、バイオマス燃料のサイズと整合を図る必要がある。また、コンベヤのトラブル時に詰まり箇所の特定制および修理が迅速にできるよう、コンベヤの点検が容易に出来る点検口や扉の設置が望ましい。さらに、コンベヤリターン部にバイオマス燃料が付着したり、搬送中に燃料がこぼれても日常を作業で簡単に清掃できるような対策を講ずる。

## 搬送装置（コンベヤ）の選択肢

以下に国内で採用されている主な搬送装置（コンベヤ）の種類を例示する。

表 3.2.12 主な木質系チップ搬送コンベヤの種類と特徴

選別機	① ベルトコンベヤ	② フレックスコンベヤ	③ フライトコンベヤ
外観			
構造	コンベヤベルトに棧付。棧に木質系チップを引っ掛けて搬送。 	コンベヤベルトが箱状の小部屋構造。箱状のベルト(フレックスベルト)で搬送。 	コンベヤが鋼板製の小部屋構造。鋼板製の仕切り(フライト板)ごとに搬送。 
搬送対象材	木質系チップ、破碎・粉碎された廃プラスチック等	木質系チップ、破碎・粉碎された廃プラスチック等	木質系チップ、固形燃料等
適応水分率	木質系チップでは、乾燥材・生材も搬送可能	木質系チップでは、乾燥材・生材も搬送可能	木質系チップでは、乾燥材・生材も搬送可能
構造上の特徴	コンベヤベルトの棧に木質系チップを引っ掛けて搬送する。木質系チップを引っ掛けて搬送するため、コンベヤ本体の傾斜は急傾斜にできない。早いコンベヤ速度に設定可能。	コンベヤベルトが箱状の小部屋構造になっており、箱状のベルトで木質系チップを搬送する。箱状のベルトのため、コンベヤ本体を急傾斜に設置することも可能。早いコンベヤ速度に設定可能。	コンベヤが鋼板製の小部屋構造になっており、鋼板製の仕切りで木質系チップを搬送する。鋼板製の仕切りで搬送するため、コンベヤ本体を急傾斜に設置することも可能。鋼板製の仕切りはチェーン搬送構造。チェーン搬送のため、コンベヤ速度は遅い。
メリット	シンプル構造のため、メンテナンスが容易。搬送量が多い。	急傾斜設置が可能。密閉構造のため、こぼれ落ちが少ない。搬送量が多い。	密閉構造のため、こぼれ落ちが少ない。急傾斜設置が可能。鋼板製のため、熱された鉄等に耐久可能。
デメリット	こぼれ落ちが発生する。急傾斜設置が不可。	フレックスベルトの交換が困難。イニシャルコストが高い。	コンベヤ速度が遅いため、搬送量が少ない。チェーンおよび鋼板製の交換が困難。イニシャルコストが高い。

(出所) 写真：株式会社御池鐵工所

## 2) 燃料貯留設備

### 燃料貯留装置の概要

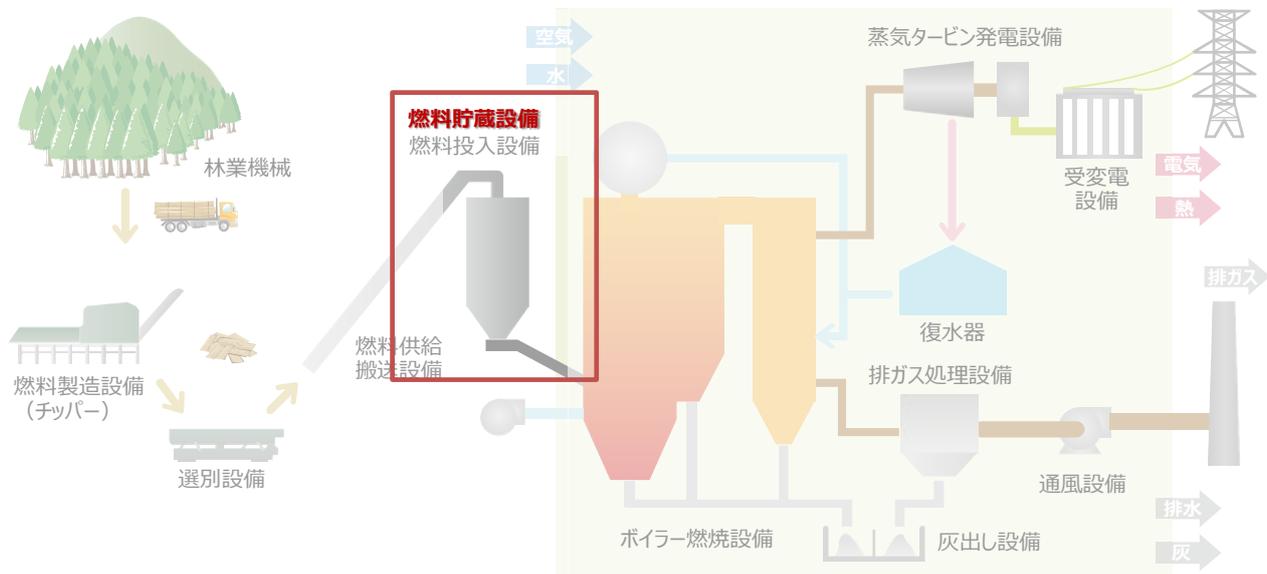


図 3.2.19 BTG 発電設備における燃料貯留設備の位置

(出所) みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

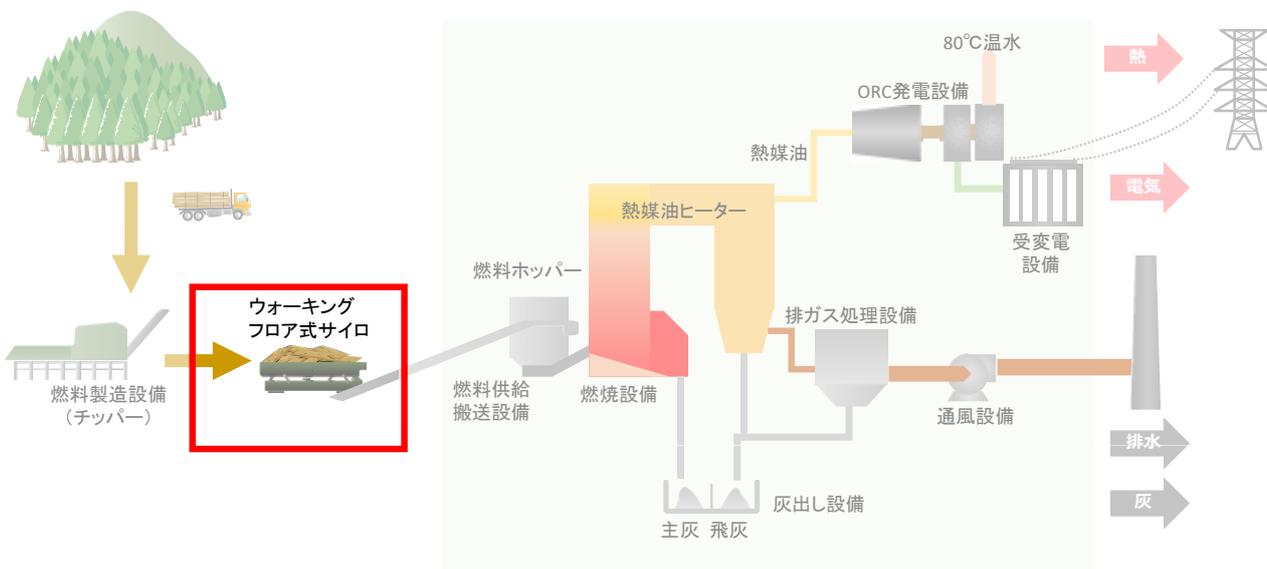


図 3.2.20 ORC 熱電併給設備における燃料貯留設備の位置

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 貯留設備の設置時の事前検討

燃料貯留設備（サイロ）は、比較的大型の木質資源を燃料とする発電所等で採用されている。サイロは、燃料をボイラーの直近に貯留するためのもので、地上式および地下式等がある。先行事例では地上式が多く採用されている。

**比較的大型の発電所では必要とするバイオマス燃料の量も多く、重機等で投入するには多忙を極め、また夜間作業等も発生するので、必要量と必要時間に応じてサイロを設置することになる。**自動的に定量的に貯留したバイオマス燃料を供給搬送コンベヤ等へ切り出し、その操作は自動制御によって管理される。しかし、先行事例では**サイロ内でブリッジ等を起こす等のトラブル**が多く報告されておりサイロ設置には十分な事前検討を要する。燃料の受入と払い出しを平面サイロ上で同時に行うウォーキングフロア方式であれば、ブリッジトラブルの心配はない。

## 最大貯留量（単位：t）の設定

受入ホッパーの夜間使用分の貯留、破砕機の故障時の対応、燃料バイオマスの発熱量の均一化（丸太チップおよびリサイクルチップ物の貯留）等を踏まえ、**建設費、寒冷地条件、発電所の規模、運転管理条件などを総合的に勘案**して決定する。特に夜間等のオペレーションを具体的にイメージし、何時間分の燃料を貯留するのがよいかを設備メーカーによく相談したうえで設定する。

## ブリッジ（アーチング）発生のトラブル防止策

先行事例では、サイロ内でのブリッジ発生のトラブルや排出機の磨耗、噛み込みを起こし易い等の問題が表面化している。そのため、**サイロの採用にはこれらの問題点等に対応した計画**が望まれる。サイロの形状、燃料フィーダや切り出し装置の方式等について、十分な検討を要する。

## 寒冷地ではサイロの凍結対策

寒冷地では、冬季のバイオマス燃料投入作業の厳しさ、また夜間作業の危険性も考慮してサイロを設置しているケースが多い。その場合、**冬季にサイロ内の燃料が凍りつく危険性**もあるので、サイロのケーシングは保温し、サイロ底部はヒーターまたは温水等による凍結防止対策を講ずる必要がある。

### 3) 燃料投入設備

#### 燃料投入設備（ホッパー）検討時の留意事項

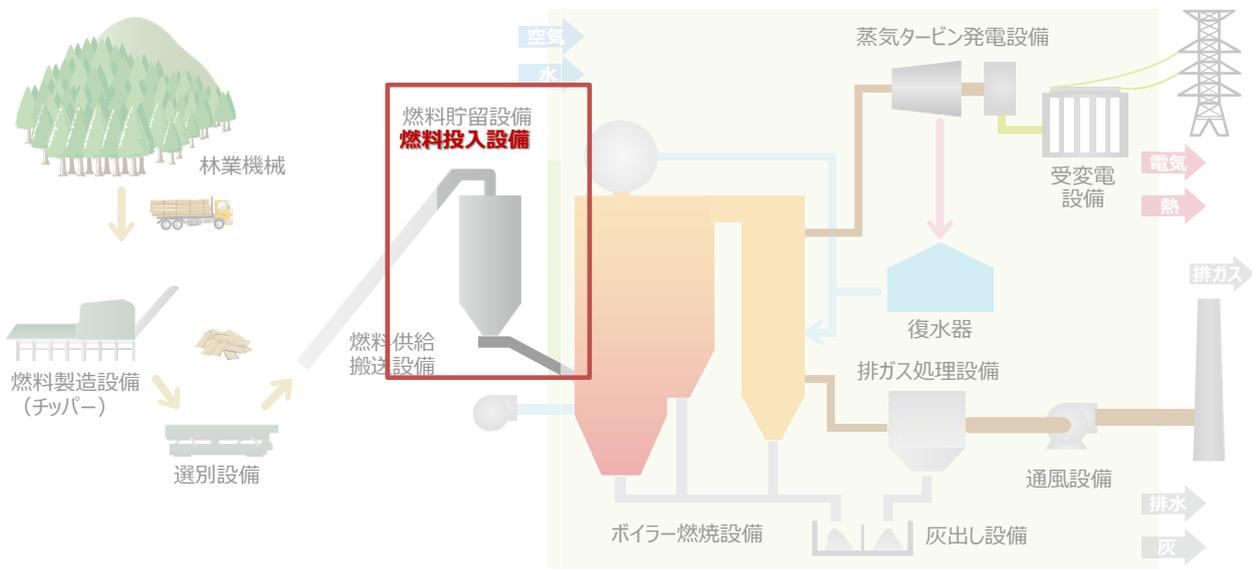


図 3.2.21 BTG 発電設備における燃料投入設備の位置

(出所) みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

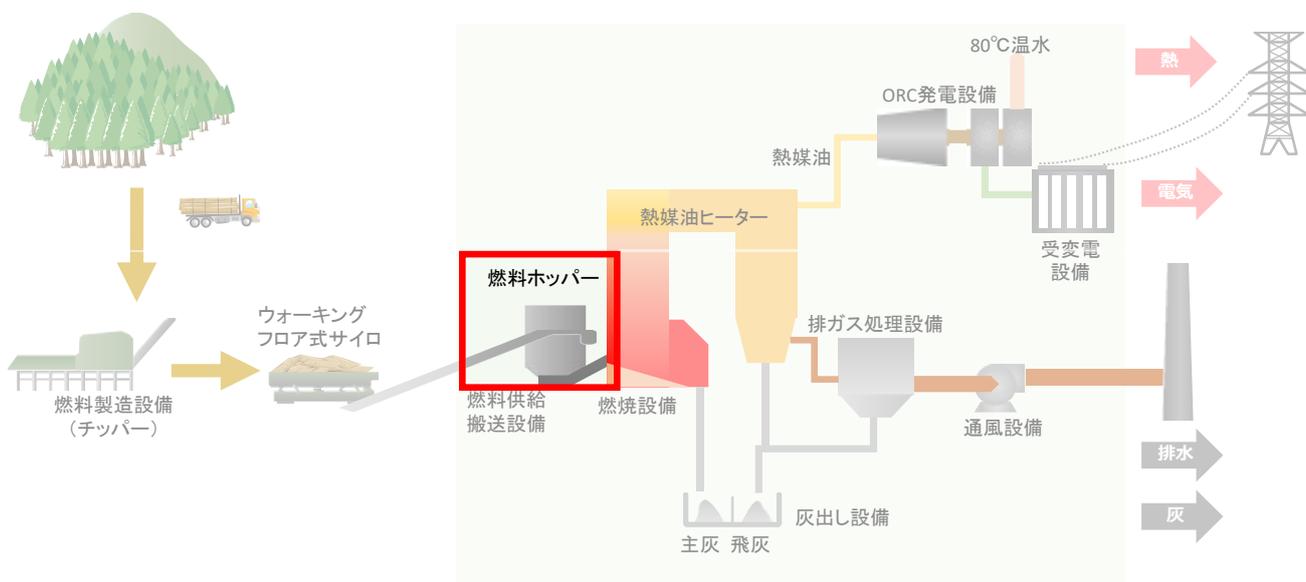


図 3.2.22 ORC 熱電併給設備における燃料投入設備（燃料ホッパー）の位置

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 受入ホッパー設計時の留意事項（チップの場合）

受入ホッパーは、木質燃料チップを一時貯留してサイロまたは燃料搬送コンベヤに安定的かつ円滑に供給するために設置する。受入ホッパーへの木質燃料チップの投入は、チップ貯留ヤードからホイールローダー等の重機により行うのが一般的である。

なお、破砕機からの破砕チップをチップ搬送コンベヤにより搬送して受入ホッパーに直投する事例もあるが、この場合、チップ貯留ヤードからの搬送作業を除いて重機による投入作業は不要である。また、林地にてチップ化したバイオマス燃料を運搬車両により構内に搬入して、直接受入ホッパーに投入する計画事例もある。

その他、**受入ホッパーは、ブリッジ等による詰りがなく円滑に貯留でき、定量供給装置やコンベヤに供給でき、重機および搬入車によるチップ投入に対して衝撃に耐えられる堅牢な構造とする。**また、設備メンテナンスおよび受入ホッパー周辺に飛散したチップの清掃にも配慮した設計とし、必要に応じてブリッジ除去装置や付属機器としてレベル計および ITV カメラを設置することも有効である。

## 計画条件を踏まえた適正な容量の設定

ボイラーの最大燃料消費量分（最大水分率における時間当たりの燃料消費量 t/h）の貯留時間、重機によるチップ投入作業時間間隔、場外からのチップ搬入車両の直投貯留分、サイロ設置の有無、チッパーからのチップ搬送コンベヤによる直投等の計画条件を踏まえて適正な容量（単位：m<sup>3</sup>）を設定する。

なお、サイロが設置されておらず、夜間も重機による投入作業を行う場合は、夜間作業における安全対策に留意する必要がある。

表 3.2.13 サイロあり／なしの場合の受入ホッパーの容量設定

ケース	内容
サイロなし	重機によるチップ投入作業間隔および最大燃料消費量分(t/h)の貯留時間等により受入ホッパーの容量を決定する。搬入車が直接受入ホッパーに投入する場合は、最低1台分以上貯留できる容量が必要である。 容量の算定は、下記の計算式により算定することが望ましい。 チップ貯留時間をベースにした受入ホッパーの容量(m <sup>3</sup> )=[最大燃料消費量(t/時間)×貯留時間(h)]÷かさ密度(容積計算用 t/m <sup>3</sup> )
サイロあり	受入ホッパーからチップを供給するコンベヤ能力およびサイロからの払い出しコンベヤ能力等を踏まえて出し入れ量のバランスを検討して容量を設定する。 サイロ容量を最大燃料消費量分の10時間程度を確保した場合は、夜間における重機投入作業が不要となる。 先行事例でも、燃料消費量の1時間分、2時間分、4時間分、6時間分程度に計画しており、発電所によってバラつきが見られる。

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 4) 復水器

### 復水器の選定時の留意事項

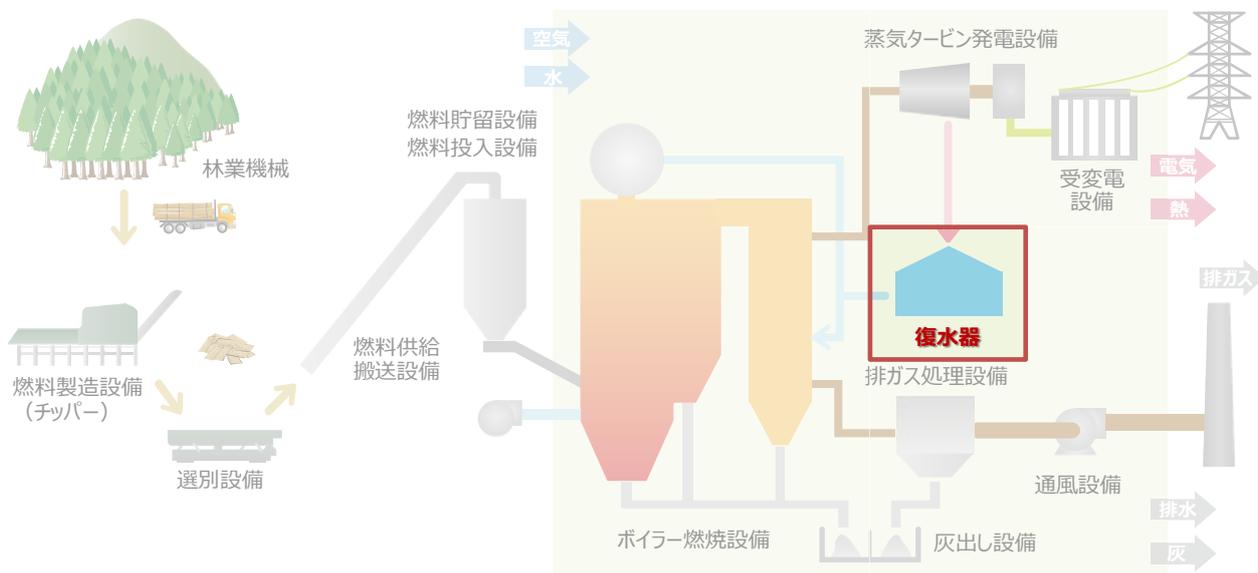


図 3.2.23 BTG 発電設備における復水器の位置

(出所) みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

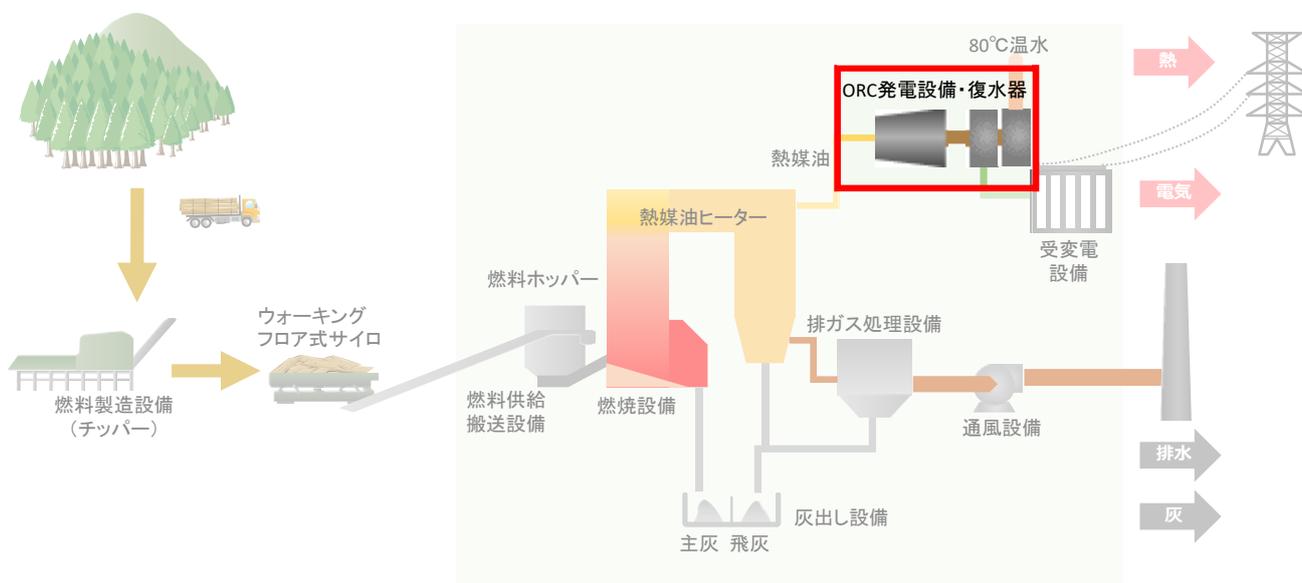


図 3.2.24 ORC 熱電併給設備における復水器の位置 (発電設備内に内蔵されていることが多い)

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 復水器の選択肢

復水器は、復水蒸気タービン通過後の蒸気を復水に戻す設備である。復水器の形式には、水冷式および空冷式がある。

復水器の形式は、タービン出力、用水量の確保（井水または工水の有無）、設置面積、騒音対策、維持管理の容易性、建設費および運転コスト面等を総合的に比較して選定することが望まれるが、発電効率面においては、水冷式の方が空冷式より数%優れており、かつ設備費用も安いいため、**冷却水の確保が可能であれば水冷式の方が望ましい**。

一方 ORC 方式の発電設備の場合、復水器（正確には有機媒体を液化する装置）は ORC 発電装置に内蔵されている場合が多い。

表 3.2.14 復水器の形式と機能

形式	機能
水冷式	<ul style="list-style-type: none"><li>水冷式の一般的な構造は、円筒圧力容器側に蒸気、伝熱管側に冷却水を循環させて熱交換する方式。機器構成は、タービン装置の下部に水冷復水器を配置して熱交換後の戻り冷却水は冷却塔で冷却させて再び復水器側に循環する。</li><li>冷却塔は熱交換時に水が多量に蒸発する。冷却水の補給水など多量の水を必要とするため、井水または工水等が確保できることが採用の条件となる。</li></ul>
空冷式	<ul style="list-style-type: none"><li>空冷式は、伝熱管側に蒸気タービン排気蒸気を流し、冷却媒体である空気を管表面に接触させて冷却、凝縮する方式。水冷式と比較して熱伝達率ははるかに低いため伝熱管にフィンをつけて伝熱面積を大きくしている。</li><li>伝熱管の冷却は、送風機により強制的に空気を送風するため、冷却能力は外気空気温度により左右される。（これに伴い蒸気タービン出力も変動する）</li></ul>

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## それぞれの特徴に応じた対策が必要

空冷式の場合、復水器下部のファンから空気を送風して伝熱管を冷却するため、伝熱管上部から熱風が吹き上がる。この**熱風が上空に拡散しないで壁面を伝わって再び下部のファンに流入するリサーキュレーション現象が生じることがある**ため、配置および構造に留意して設計する必要がある。

また、水冷式の冷却塔や空冷式の送風機の騒音、振動対策が必要であるほか、水冷式は水蒸気の拡散が周辺に影響が生じないかの検討も必要である。

ORC 方式の場合は、熱媒体を冷却した温水は 80℃と高温であるため、これを熱利用して温度差 - 20℃で発電装置に戻す必要がある。全量利用出来ない場合に備えて冷却用のクーリングタワーを設置する。

## 能力計算にあたっては蒸気圧や温度等の設定が重要

復水器の能力計算にあたっては、蒸気圧や蒸気温度、外気温等の設定が重要となる。事業者は、**地域特性等を考慮した設計**になっているか設備メーカーに確認する。

表 3.2.15 主要な確認項目

項目	単位	項目	単位
復水器蒸気圧	kPa	外気温度	°C
復水器蒸気温度	°C	相対湿度	%
冷却水温度	°C		

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 5) 排ガス処理装置

### 排ガス処理装置選定時の留意事項

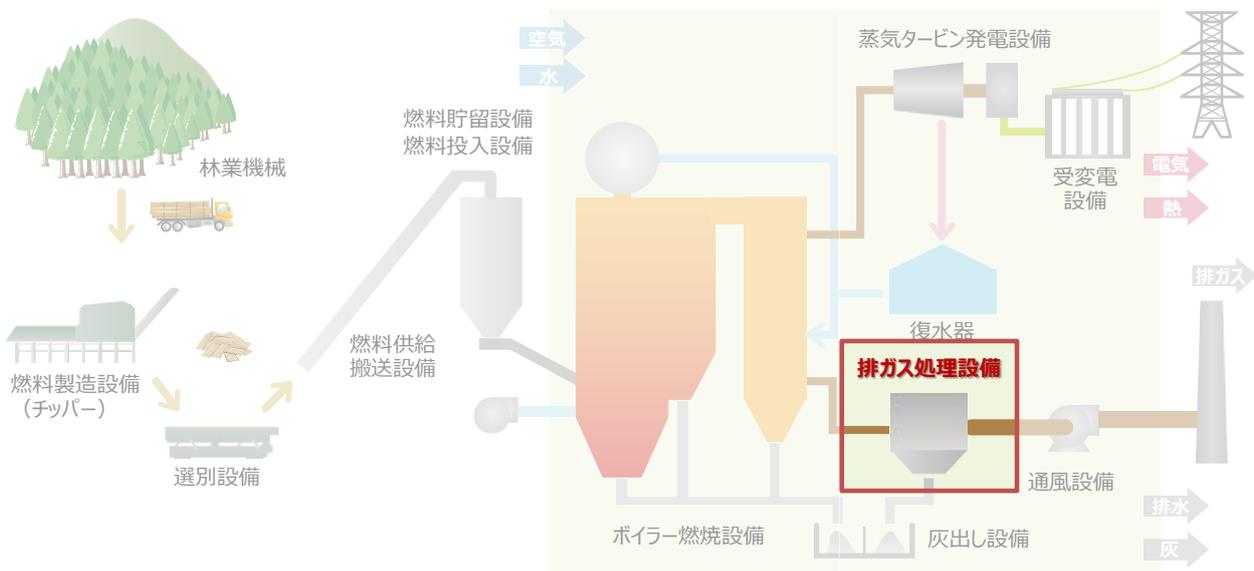


図 3.2.25 BTG 発電設備における排ガス処理設備の位置

(出所) みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

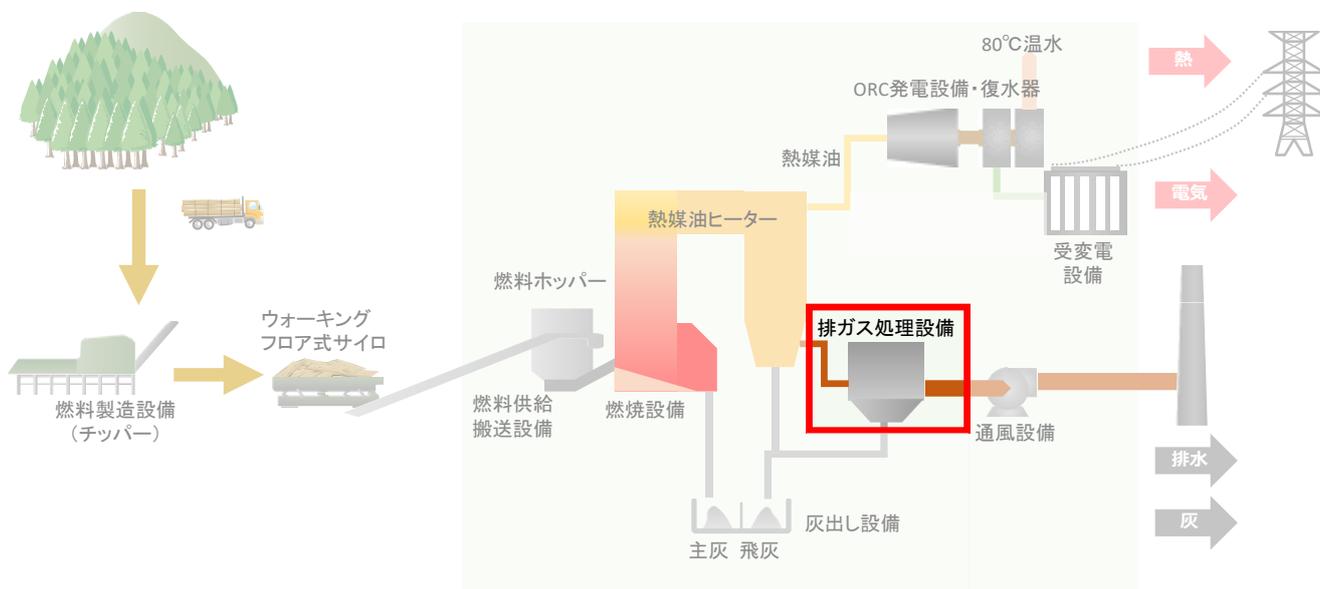


図 3.2.26 ORC 熱電併給設備における排ガス処理設備の位置

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 排ガス処理装置の方式と機能

バイオマス発電所から発生する燃焼排ガスは、**大気汚染防止法**でばいじん、窒素酸化物および硫黄酸化物について**排気筒からの排ガス基準値が定められている**。この排ガス基準値を順守するために排ガス処理装置を設置する必要がある。

また、バイオマス発電所で採用されている排ガス処理装置は、バグフィルター、電気集じん機、サイクロン方式がある。なお、サイクロンについては、補助的な集じん機として電気集じん機やバグフィルターと併用して設置している例がある。

その他、**燃料種や排ガス性状、設置場所等により、脱硫装置や脱硝装置が必要になる場合がある**。一般に木質バイオマスは塩素分がほとんどないため**ダイオキシン類は発生しにくい**が、**リサイクル材や竹など塩素を含む燃料ある場合は注意が必要である**。**燃料の組成分析を行った上で設備メーカーに確認しておくほうが良い**。

表 3.2.16 排ガス処理方式と機能

種類	機能
バグフィルター	<ul style="list-style-type: none"> <li>バグフィルターは、排ガスがろ布を通過するときばいじんを捕集する方式であり、集じん効率は高い。ろ布表面にばいじんの捕集層が厚くなると、通気抵抗が大きくなるため、間欠的に捕集層を払い落とすようになっている。</li> <li>払い落とし方法は、圧縮空気によるパルスジェット等がある。ろ布は、PTFE(ポリテトラフルオロエチレン)、ガラス繊維等が用いられている。</li> <li>ろ布は、劣化するため数年に1回交換する必要がある。</li> </ul>
電気集じん機	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気集じん機は、放電極と集じん極から構成され、放電極からのコロナ放電によりばいじんに電荷を与え、この帯電した粒子をクーロン力により集じん極に移動させて付着捕集する方式である。</li> <li>付着したばいじんは、間欠的にハンマリングにより振動を与えて剥離落下させる。</li> <li>集じん効率は、バグフィルターより劣るが通気抵抗は小さくなり通風上は有利である。</li> </ul>

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## バイオマス燃料条件を踏まえた排ガス処理方式の選定

排ガスの性状は、バイオマス燃料の性状（間伐材、リサイクル材、バーク等）により、ばいじんおよび硫黄酸化物等の濃度に変化するため、**バイオマス燃料条件を踏まえた排ガス処理方式の選定**が望まれる。特に**リサイクル材およびバーク等を対象とした場合は、塗料および土砂が付着することが想定されるため、ばいじん、硫黄酸化物および塩化水素等の濃度が高くなる**ことがある。

この場合は、バグフィルターを採用して必要に応じて排ガスダクトに消石灰吹込み等による排ガス処理を導入している設備もある。

なお、バイオマス燃料条件の他の選定比較項目としては、用地面積、排ガス処理性能、プラントコスト、補修費、維持管理費、耐用年数、排ガス排出基準および公害防止協定等が挙げられる。

## 装置能力 (m<sup>3</sup>N/h) の設定

排ガス処理装置の能力は、燃焼排ガス量が最大となるときにも適正に処理する必要がある。最大燃焼排ガス量は、燃料消費量最大時（燃料水分率が最大時）に発生するため、このケースにおける**最大排ガスを算定し、これを設計点にすることが望まれる**。

なお、この最大排ガス量に対して水分率の変動を考慮して**さらに 10～20%程度の余裕率を見込んで計画**することが望ましい。

## **各自治体の環境条例や公害防止基準等を順守する**

排ガス排出基準値は、大気汚染防止法に基づいて設定するが、この他に自治体の環境条例および公害防止協定により上乗せ基準等が設けられている場合は、これらを踏まえて排ガス処理装置の計画を行う必要がある。

## **方式等に応じて構造を検討し、事業に適した装置設計とする**

バグフィルターは、排ガス等による腐食に対して十分耐久性を有する材質および構造とし、ダスト搬出装置は十分な強度を有する構造とする、建設系チップおよびバーク等は土砂の混入により飛灰発生量が多いため、余裕を見込んだ装置容量とし、ろ布からの集じん灰除去は確実に払い落とせる機構とするなど、**事業に適した装置設計**とする。

## 6) 通風装置

### 通風装置選定時の留意事項

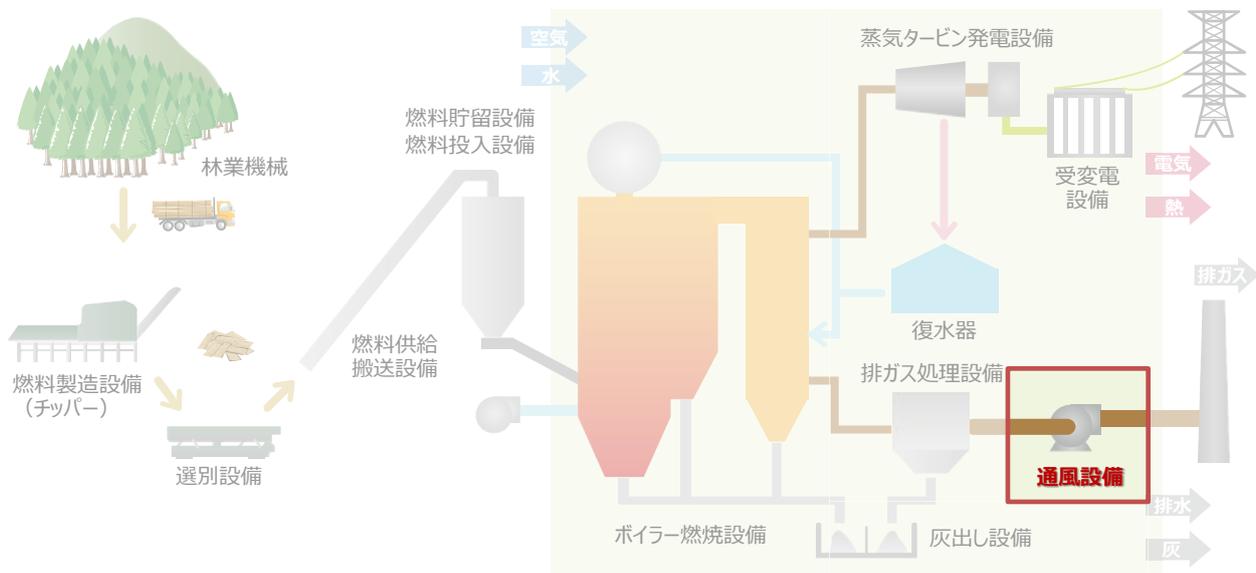


図 3.2.27 BTG 発電設備における通風装置の位置

(出所) みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

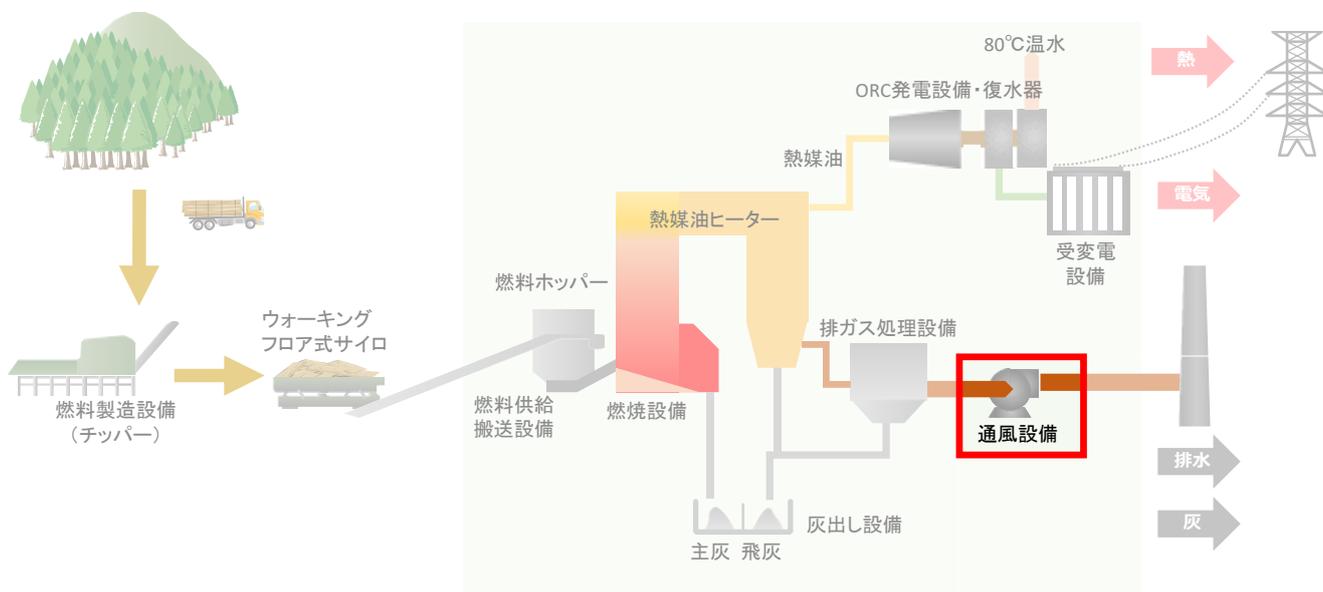


図 3.2.28 ORC 熱電供給設備における通風装置の位置

(出所) 株式会社 PEO 技術士事務所提供資料をもとにみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 通風装置の構成

通風装置は、燃焼用空気を供給する押込ファンおよび二次空気ファン、燃焼排ガスを煙突まで排気する誘引送風機および排気筒（煙道、煙突等）により構成される。

通風方式は、押込ファンと誘引送風機を併用して燃焼炉内の圧力を微負圧に保ちつつ運転する平衡通風方式である。

表 3.2.17 通風設備の構成と機能

種類	機能
押込ファン	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃焼用空気を供給するためのファンであり、ストーカー炉または流動層炉の下部から送られる一次空気と炉内の可燃性ガスを完全燃焼させるために燃焼室に吹き込む二次空気がある。</li> <li>流動層用の押込ファンは、砂を流動化させるための風量が必要となるため、電動機の容量はストーカー炉より大きくなる。</li> <li>例えば 6MW クラスの循環流動層の場合、燃焼ガス流速を大きくするために電動機容量を大きくしている。</li> </ul>
二次空気ファン	<ul style="list-style-type: none"> <li>空気を燃焼室内にノズル等から吹き込んで燃料バイオマスから発生する可燃性ガスとよく混合させて完全燃焼を行うために設置する。</li> <li>二次空気ファンは、空気予熱器により予め空気を昇温させて送気する方法もあり、この場合は燃焼ガス温度の低下を防止できる利点がある。なお、ストーカー炉では、一次押込ファンも空気予熱器により予め空気を昇温させて送気している施設もある。</li> </ul>
誘引送風機	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃焼排ガスを排気筒から排出させるための送風機である。</li> <li>誘引送風機の能力が不足した場合は、燃料の投入が制限されるため、定格の発電出力が達成できなくなる恐れがあり、重要な機器である。</li> </ul>
排気筒	<ul style="list-style-type: none"> <li>排気筒は、燃焼排ガスを大気に排出拡散するために設置する。</li> </ul>

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

上記に加えて NOx 防止と燃焼温度制御、空気比制御を兼ねた排ガス再循環ファン（EGR）を設ける場合がある。

## 通風設備の確認項目

事業者は、事業に適した設計になっているか設備メーカーに確認する。

表 3.2.18 主要な確認項目

項目	単位	項目	単位
電動機容量	kW	吐出圧力	MPa
一次押込ファン能力、 二次空気ファン能力	m <sup>3</sup> /min	排気筒高さ	m
誘引送風機能力	m <sup>3</sup> /min	排気筒排ガス吐出速度	m <sup>3</sup> /s

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 機器の設定における余裕率

押込ファンは最大風量に 10%～20%の余裕率を、誘引送風機は水分率の高い燃料を燃焼させた時に生じる最大湿り排ガスを送風できる能力に余裕率を見込んだ設定とする。また、それぞれの機器は付着ダストの除去や送風機の点検、清掃が容易

な構造とすることが望ましい。また誘引ファンはダストの付着や低温腐食により回転バランスが崩れることがあるため、振動計を設置して、常時監視することが望ましい。バランスが崩れた場合は清掃やバランシングウェイトによる調整を前もって行うことで不測のトラブルに備えることができる。

## **耐食性の考慮**

排気筒は硫黄酸化物による K 値規制やダウンウォッシュ、ダウンドラフト対策、ボイラーの高さ、建屋による影響、気象条件および周辺地形条件等を踏まえて決定する。また、排気筒先端部は腐食防止のために SUS 製等耐食性に優れた材料を採用し、排気筒下部には、掃除口およびドレン抜きを設け、**中段部には排ガス測定口、安全かつ容易に測定できる作業床、手摺、梯子および歩廊等を設置する必要がある。**



## ボイラー形式別の灰出し装置の種類

灰出し装置は、焼却主灰出しコンベヤ、飛灰搬送コンベヤ、焼却主灰貯留ホッパー、飛灰貯留ホッパー、飛灰加湿機等から構成される。**ボイラーの形式によって灰出し装置の種類が異なる**ため、即した装置を選定する。灰出し設備の種類と機能の概要を次表に示す。なお、ORC 発電装置ではストーカー炉の灰出し設備に準ずる。

表 3.2.19 灰出し設備の種類と機能

種類	機能
ストーカー式ボイラー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 燃焼に伴って焼却主灰と飛灰が排出されるが、燃焼主灰は、燃焼室のストーカー下のコンベヤにより燃焼主灰貯留ホッパーに搬送される。</li> <li>・ 飛灰はボイラーおよび集じん装置から排出されて、それぞれのコンベヤにより灰貯留ホッパーに搬送される。</li> </ul>
バブリング流動層式ボイラー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ バイオマスの燃焼灰は大変細かい粒子になって排ガスとともに排出され集じん装置で回収される。</li> <li>・ 燃焼炉下部から砂と不燃物が排出され、選別後に砂は砂貯留槽に貯留した後に随時流動層内に戻すのが一般的なフローである。不燃物は、燃料の性状にもよるが小砂利および金属類が排出される。</li> <li>・ リサイクル材は、家屋の解体等により釘等の金属が含まれており、必要に応じて磁選機を設置する場合もある。パークおよびリサイクル材は、土砂の混入が多い場合があり、流動層ボイラーの場合は、これらの土砂により層内の砂が多くなり、余剰砂として外部に排出処分する事例もある。</li> <li>・ 例えば 10MW クラスの場合、年間の灰発生量は、飛灰 3,000 トン、不燃物 1,550 トン程度の発生量となるが、燃料はリサイクル材を含んでいるため、間伐材を主体とした燃料より発生量が多いと推察される。</li> </ul>
循環流動層式ボイラー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 循環流動層式ボイラーは、燃焼炉下部から砂と不燃物が排出され、また、焼却灰は排ガスの集じん機で集められる。その後の扱いはバブリング流動層式ボイラーと同様である。</li> </ul>

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 燃料の種類、性状の事前調査

灰出し装置は、燃料中の灰分および土砂、金属等の混入可否を踏まえて発生量を把握して装置を計画するため、**燃料の種類（間伐材、リサイクル材、パーク等）、性状を事前に調査する**必要がある。なお、リサイクル材を燃料にする場合は、釘等の金属および土砂が含まれているため、**必要に応じて磁選機の設置について検討する**必要がある。燃料押込式のストーカー炉を採用している ORC 発電装置では、異物対応範囲が広いいため、原則磁選機などは不要である。また、**灰の発生量は、燃料の 3 成分（可燃分、灰分、水分）に基づいて、物質収支を検討して把握する**。

## 灰の処分費の考慮

燃焼主灰および飛灰は、産業廃棄物として適正に処理・処分する必要があるが、この処理・処分には、**委託処分費用が生じる**。その費用を軽減する方策としては、**灰をコンクリート固化して、森林組合所有の林道に路盤材として再利用**している事例もある。**再利用を計画する場合は、灰固化装置についても予め計画に含めておく必要がある**。ただし、再利用などは有害物質が含まれていない場合に限る。

## 灰コンベヤ類や飛灰ホッパー等の周辺機器の対策

灰コンベヤ類は粉塵の発生を防止するために密閉型とし、気密を保ち、燃焼灰および飛灰を途中で閉塞することなく搬送できる能力および構造とする。飛灰ホッパーは灰固結や結露への対策（ヒーターの設置）、詰まりやブリッジが生じないような対策を講じるなど、**灰の発生状況や性状に応じて適切な対策**を検討する。また、処分時の飛散防止として散水（加湿）が必要な場合もある。

## 8) 用水・排水処理

### 用水設備検討時の留意事項

#### 用水設備の構成

用水設備は、発電所が円滑に稼働するために必要な用水を給水する設備であり、用途別にはプラント用水および生活用水に区分される。設備は、受水槽、純水製造装置<sup>5</sup>、ポンプ類（揚水、送水）、復水器冷却塔（空冷式復水器は設置不要）、機器冷却塔、水槽類、配管および弁類、井水設備（必要に応じて設置）等から構成される。その他、水源によっては過装置も必要となる。これらのうち、特に水冷式復水器では、大量の用水を必要とする。

なお、ORC 発電装置の場合は純水を使用しないため、純水装置と復水器は不要である。

表 3.2.20 用水設備の構成と機能

構成	機能
受水槽	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラント用および生活用があり、それぞれ独立して設置する。</li> </ul>
純水装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボイラー用水を製造するための装置であり、原水中に含まれている不純物により水管等の腐食、スケールを防止するために設置する。</li> <li>純水処理装置は、一般的にイオン交換樹脂方法が採用されている。</li> </ul>
ポンプ類	<ul style="list-style-type: none"> <li>受水槽から各機器に送水するためのポンプ類および水冷式復水器を冷却するために、冷却塔用の循環ポンプが必要である。</li> </ul>
水冷式復水器冷却塔	<ul style="list-style-type: none"> <li>蒸気タービンの水冷式復水器を採用した場合に、循環水を冷却するために必要な装置である。</li> </ul>
機器冷却塔	<ul style="list-style-type: none"> <li>各機器を循環水により冷却するために必要な装置である。</li> </ul>

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

#### 事業に適した設計の確認

事業者は、事業に適した設計になっているか設備メーカーに確認する。

表 3.2.21 主要な確認項目

項目	単位	備考
受水槽	m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プラント用受水槽の容量は、断水等の緊急時に対しても問題が生じないような容量を確保する必要がある。</li> <li>発電出力の規模により異なるため、系統別に水量計算を行い、最大水量、水槽、ポンプ等の容量を設定する。</li> <li>生活用水は、建築給水設備を踏まえて必要給水量を設定する。</li> </ul>
給水タンク	m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>容量は使用水量に対して十分な容量を確保する。</li> </ul>
純水装置	m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>純水製造日量能力は、最大蒸発量および純水使用量をふまえて十分余裕を見込んで設定する。</li> </ul>
ポンプ類	m <sup>3</sup> /min ・MPa	<ul style="list-style-type: none"> <li>ポンプの能力および必要静圧は余裕率を見込んで設定する。</li> </ul>
薬品タンク	m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>薬品の搬入車両、容量を踏まえて必要容量を設定する。</li> </ul>
冷却塔	℃	<ul style="list-style-type: none"> <li>冷却水入口・出口温度、外気温度、相対湿度を設定する。</li> <li>スケールおよびスライムの薬注ポンプと薬剤タンクの容量を計画する。</li> </ul>

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

<sup>5</sup> 硬度成分(Ca、Mg)を Na に変換する軟水装置を指す場合もある。

## 建設用地に供給可能な給水の調査

上水道、工業用水、井水が対象となるが、特に井水は、周辺地域の既設井戸の用水量、水質を確認して、建設用地に井戸が設置可能か検討する。

## 最大水量、水槽、ポンプ等の容量の設定

プラント用水は、復水器の形式（水冷式および空冷式）により必要用水量が異なる。ボイラー水、復水器冷却塔および機器冷却水等が給水の対象であり、必要用水量は発電出力の規模により異なるため、**系統別に水量計算を行って最大水量、水槽、ポンプ等の容量を計画**する。

工業用水または井水が利用できる場合は、水冷式復水器の採用が可能である。井水利用のケースでは、多量の揚水が可能かどうか検討する必要がある。

なお、**井水は年々、揚水量が減っていく場合があるので、近隣の井戸の揚水状況や井戸堀業者の意見を聞いておくことも必要**である。生活用水は、建築給水設備を踏まえて必要給水量を計画する。

## 事前の水質検査

工業用水および井水を使用する場合は、配管内のスケール、スライムおよび再循環水による塩類濃縮等の問題が生じたり、井水は、除鉄、除マンガン、ろ過等の前処理が必要な場合もあり、事前に水質を検査する必要がある。

また、**機器冷却水は循環利用するため濃縮によりスケールおよびスライム等が発生する恐れがあるため、原水水質を確認して軟水処理の必要性を検討**する必要がある。

## その他設備の必要措置

給水タンクやポンプ類、薬品タンク、冷却塔についても、**寒冷地の場合に凍結防止対策を講じたり、点検、清掃が容易な構造とすることが必要**である。また、必要に応じて自動制御装置や故障時のバックアップ設備を用意することも検討する必要がある。

## 排水処理設備の選定時の留意事項

### 排水処理設備の構成

排水処理設備は、**発電所から排出された排水を放流基準値まで適正に処理**するために必要な設備である。排水の種類は、プラント系排水（ブロー排水、純水装置逆洗水、冷却塔ブロー水等）および生活排水である。

排水処理設備は排水貯留槽、ブロー排水タンク、中和装置、ポンプ類（送水、放流等）、放流タンク等から構成される。

なお、ストーカー式ボイラーでは、炉下から排出される焼却主灰を水封コンベヤにより加湿冷却して場外搬出する場合がある。水封コンベヤ内の水封水は、灰持ち出し水分の不足分を補給する。

生活排水は、建築基準法による浄化槽を設置して処理して放流する。また、公共下水道が整備されている地域は、直接放流とする。なお、ORC 発電装置ではブローは必要ないためブロー排水は生じない。

表 3.2.22 排水処理設備の構成と機能

構成	機能
排水貯留槽	プラント系排水を貯留して後段の中和装置の処理流量を調整するために設置する。
ブロー排水タンク	ボイラーブロー水を貯留するために設置する。
中和装置	プラント系排水は、おもにブロー排水のため無機系であり有機物は含まれていない。このため、pH 調整により放流基準値以下に中和処理して放流するための装置である。
ポンプ類 (送水、放流等)	排水貯留槽から中和装置等に送水するためのポンプおよび処理水を放流するためのポンプである。
消毒・滅菌装置	排水条例等が定められている地域では、消毒または滅菌処理して放流する必要があるため、消毒・滅菌装置が必要となる場合がある。
放流タンク	処理水を貯留するために設置する。

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 事業に適した設計の確認

事業者は、事業に適した設計になっているか設備メーカーに確認する。

なお、排水処理は、無機系排水のため一般的に中和処理方式を採用しているが、**公害防止条例、公害防止協定等が制定されている地域は、放流基準値をクリアできる処理方式を選定する必要がある**。その他、ポンプ類は自動制御運転とし、故障時のバックアップ用として予備機を設けることが望まれる。

表 3.2.23 主要な確認項目

項目	単位	備考
排水処理能力	m <sup>3</sup> /h	物質収支検討結果から原水排水量および水質を把握して処理フローおよび処理能力を設定する。 発電所出力および復水器の方式により異なるが、水冷方式で 6MW および 10MW の規模では 215m <sup>3</sup> 程度。
排水貯留槽容量	m <sup>3</sup>	発電所の稼働に支障が生じないよう十分な容量を確保する。
ポンプ能力	m <sup>3</sup> /min	ポンプの能力は、余裕を見込む。
ポンプ必要静圧	MPa	必要静圧は、機器・配管系の圧力損失に余裕率を見込む。

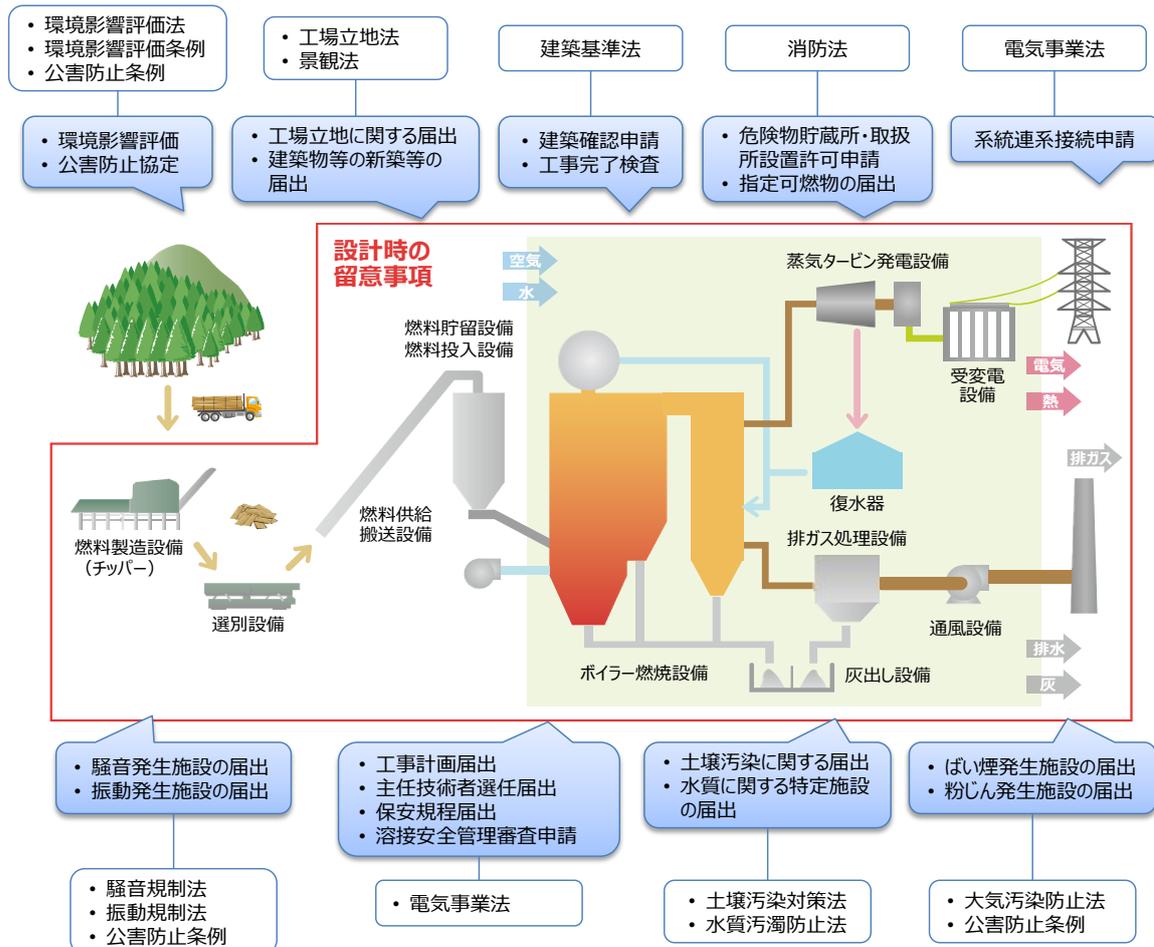
(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## (5) BTG および ORC に係る主な法律

事業に関わる**各種法規制は多岐にわたり、FS段階から許認可取得に向けた準備が必要**となるものもある。許認可取得が必要だということに**後から気づき、思わぬ費用が発生した事例**も過去に多数存在する。

また、**法律をクリアするだけでは事業実施できないケースも存在**することに留意する必要がある。例えば、悪臭や排ガスおよび水処理等に関する環境基準は、法律による基準値だけでなく、**条例で自治体が別途基準値を設定**している場合がある。

自治体の基準値を満たしていないことが**後から判明**すると、**設計時の機器選定や性能保証事項にも影響し、思わぬ費用増加につながる**。さらに、法律や条例の基準値を満たすだけでは**地域住民の理解を得られない場合**もある。



※熱供給事業の場合は、この他にボイラー・圧力容器設置届出（労働安全衛生法に基づく）等が必要となる

図 3.2.31 直接燃焼設備に関する法規制の全体像

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

表 3.2.24 原料調達に関連する法律一覧

関連法令	許認可・手続き等	手続きが必要となる場合	検討時期
森林法	森林計画制度における森林経営計画	FIT 制度において「間伐材等由来の木質バイオマス」区分での調達および売電を検討する場合	FS 段階
廃棄物の処理および清掃に関する法律	産業廃棄物収集運搬業の許可手続等	＜廃棄物処理業＞ 廃材処理費を徴収(逆有償)し、収集・運搬、処分を業として行う場合＜廃棄物処理施設＞一定規模以上の処理施設を設置する場合	FS 段階

表 3.2.25 エネルギー利用に関連する法律一覧

関連法令	許認可・手続き等	手続きが必要となる場合	検討時期
電気事業法	主任技術者の選任・保安規程・工事計画の届出 等	電気を供給する事業を行う場合(自家用でも同等対応が必要)	FS 段階
熱供給事業法	事業認可申請、供給規定認可・届出、導管工事計画届出、保安規程届出 等	熱を供給する事業を行う場合(加熱能力の合計が 21GJ/h 以上の場合)	FS 段階
エネルギーの使用の合理化に関する法律(省エネ法)	当該工場のエネルギー消費量に応じ一定人数(1~4 名)の「エネルギー管理者」を選任	第一種エネルギー管理指定工場に指定された場合(年間エネルギー使用量が原油換算 3,000kl 以上)	FS 段階

表 3.2.26 設備建設および設計に関連する法律一覧

関連法令	許認可・手続き等	手続きが必要となる場合	検討時期
建築基準法	建築確認申請・工事完了検査	建築物を建てる場合に申請。一定規模以上の建築物は適合性判定機関の審査も必要。	設計施工段階
消防法	危険物(取扱所、貯蔵所、製造所)設置許可申請書、消防用設備等着工届出書、予防規定認可申請書、危険物保安監督者選任届出書	潤滑油、非常用兼用発電機の燃料等が指定数量以上ある場合	FS 段階
高圧ガス保安法	高圧ガス製造許可申請、危険予防規定認可申請書、高圧ガス製造保安統括者等届出書、冷凍保安責任者届出書、特定高圧ガス取扱主任者届出書、高圧ガス貯蔵所設置許可申請書	(定義)常温で圧力が 1MPa 以上となる圧縮ガス等(製造)ガスを製造する能力が 100m <sup>3</sup> /日以上の場合(貯蔵)LPG 等の貯蔵量が 300m <sup>3</sup> 以上の場合(特定高圧ガス消費)LPG 等と 300m <sup>3</sup> 以上貯蔵・消費する場合	FS 段階
景観法	建築物等の新築等の届出	該当性および届け出内容、景観配慮の内容の確認	FS 段階
道路法	道路法に基づく車両制限	一般的制限値(最高限度):幅 2.5m、長さ 12.0m、高さ 3.8m、総重量 20.0t、軸重 10.0t、輪荷重 5.0t、最小回転半径 12.0m 等	設計施工段階
道路交通法	道路使用許可等手続	道路において工事、作業、祭礼行事を行う場合や工作物を設置する場合	設計施工段階
航空法	昼間障害標識設置物件の届出	煙突、鉄塔その他国土交通省令で定める物件で地表または水面から 60m 以上の高さのもの、航空機の航行の安全を著しく害するおそれがある場合	設計施工段階
電波法	伝搬障害防止区域における高層建築物等に係る届出	電波伝搬障害防止区域内に建築を予定している高層建築物(地表高 31m をこえる建築物)等が、重要無線通信に障害を及ぼすと判断される場合	設計施工段階
労働安全衛生法	共同企業体代表者届出書、総括安全衛生管理者専任報告、安全管理者専任報告、排熱ボイラー設置届出(報告)書、衛生管理者選任報告・産業医選任届出書・作業主任者選任届出書	(排熱ボイラー)発電用以外で、同法施行令で定義されたボイラーの場合	設計施工段階
港湾法	臨港地区の利用に関する届出	立地が港湾に近い場合、港湾法や条例における該当性、届出内容の確認	設計施工段階
労働基準法	労働者名簿、賃金台帳、時間外・休日労働に関する届出、就業規則(常時 10 人以上を使用している場合)等	労働者を雇い入れた場合	設計施工段階

表 3.2.27 プラント立地に関連する法律一覧

関連法令	許認可・手続き等	手続きが必要となる場合	検討時期
国土利用計画法	土地売買届出手続	土地売買等の契約を締結した場合 ・市街化区域:2,000m <sup>2</sup> 以上 ・市街化調整区域:全て ・都市計画区域:5,000m <sup>2</sup> 以上 ・上記以外の区域:10,000m <sup>2</sup> 以上	FS 段階
都市計画法	開発許可手続	開発行為をしようとする場合 ・市街化区域:1,000m <sup>2</sup> 以上 ・市街化調整区域:全て ・区域区分が定められていない都市計画区域および準都市計画区域:3,000m <sup>2</sup> 以上 ・都市計画区域および準都市計画区域外の区域:1ha 以上 ※再生可能エネルギー施設の建設にあたり、建築物の建築を伴う土地の区画形質の変更があれば開発許可が必要となるものであって、すべての再生可能エネルギー施設の建設が開発許可の対象となるわけではない。	FS 段階
土地区画整理法	土地区画整理事業の施行地区内における建築行為等の許可手続	施行地区内において、土地区画整理事業の施行の障害となるおそれがある土地の形質の変更若しくは建築物その他の工作物の新築、改築若しくは増築を行い、または移動の容易でない物件 <sup>*</sup> の設置若しくは堆積を行おうとする場合 ※その重量が5tをこえる物件(容易に分割され、分割された各部分の重量がそれぞれ5t以下となるものを除く。)	FS 段階
農地法	農地転用許認可手続	農地を農地以外のものにする場合または農地を農地以外のものにするために所有権等の権利を設定または移転する場合	FS 段階
農業振興地域の整備に関する法律		なお、農用地区域内の土地については、農用地区域から除外するために市町村の農業振興地域整備計画を変更しなければならない。	FS 段階
工場立地法	特定工場新設届出書、実施制限時間の短縮申請書	敷地面積 9,000m <sup>2</sup> 以上または建築面積 3,000m <sup>2</sup> 以上の規模の製造業等に係る工場を新設または変更する場合(水力、地熱および太陽光発電所は除かれている)	FS 段階

表 3.2.28 環境基準等に関連する法律一覧

関連法令	許認可・手続き等	手続きが必要となる場合	検討時期
大気汚染防止法	大気汚染に関する届出	熱供給事業、電気供給事業など、ばい煙発生施設を有する事業を行う場合 なお、電気事業法で規定される電気工作物において発生するばい煙を排出する場合には、上記手続に代わり、電気事業法に基づく届出が必要となる。	設計施工段階
騒音規制法	特定建設作業実施届出書	<特定施設の設置> 指定地域内において工場または事業場(特定施設が設置されていないものに限る)に特定施設を設置しようとする場合 ※例えば、チッパーを設置する場合など。なお、特定施設が電気事業法で規定される電気工作物である場合には、上記手続に代わり、電気事業法に基づく届出が必要となる。	設計施工段階
振動規制法	特定建設作業実施届出書	<特定建設作業の実施> 指定地域内において特定建設作業を伴う建設工事を施工しようとする場合	設計施工段階
水質汚濁防止法	水質に関する特定施設の届出	排水基準、特定施設としての該当性の確認	設計施工段階
土壌汚染対策法	土壌汚染に関する届出	要措置区域、形質変更時要届出区域等の該当性の確認	設計施工段階
建設リサイクル法	資材リサイクル措置の届出	届出の該当性、届出内容の確認	設計施工段階
環境影響評価法	環境影響評価	計画出力が法で定める第一種および第二種事業に該当する場合に必要。地元条例も確認要。	FS 段階
公害防止組織機構に関する法律	公害防止統括者選任届出書、公害防止管理者等の届出	(公害防止統括者)常時従業員が 20 人以下の場合には不選任	設計施工段階
公害防止条例	公害防止協定の締結	自治体の公害防止協定の有無、協定内容の確認	設計施工段階

## ORC 設備導入における法的な留意点

ORC システムは現状電気事業法解釈上はボイラー汽力発電に相当するが、**国内設置例がほとんど無く B T G 発電方式のように法規制に係る監督官庁の見解例もない**のが実情である。

国内 1 号機であるバンブーエナジー株式会社では、設置事業者および工事請負者が法規制対応のために様々な試行錯誤を行っている。以下に電気事業法上の課題を列挙するが、**電気事業法上のボイラー汽力発電に該当しなければ、不必要**となる項目がほとんどである。ORC ボイラーは実際はボイラーではなく、炉内で熱媒油を加熱している ORC ヒーターでありボイリングは伴っていないため、将来的に別の新たなカテゴリーが創設される可能性もある。

### <ORC 熱電併給システムにおける電気事業法上の課題>

- 設計から設備稼働までの間に**工事計画書、溶接事業者検査、使用前自主検査、使用前安全管理審査の届出と実施**が求められており、相当の時間および費用が必要となる。また系外送電(売電事業)がない場合には、異常発生時に外部へ与える影響はほとんどないので、**届出や実施内容等の簡略化が望ましい**。
- 電気事業法上の溶接事業者検査は高温高压の蒸気ボイラーを念頭としている。一方**熱媒油ヒーターは低圧であり、立会検査は省略することが適当**である。労基法ボイラーと同様に製造段階でメーカ責任とできれば、設置者および工事請負者の負担軽減になる。
- 工事計画書の内容に沿って製作・据付工事・試運転を進めるが、**各段階で変更が発生すれば、変更届を提出する必要**がある。これが試運転完了後に一括変更届で済めば、届出業務の軽減化が図れる。
- 現状では電事法業務アドバイザーの指導が必須と考えている。

一方消防法上は、**熱媒油、シリコンオイル共に危険物（第 4 類石油類）に該当**する。熱媒油については、沸点を超えると危険なため、欧州の TUV の基準に則った安全装置が二重三重に具備されている。熱媒油温度は 313℃を超えると設備は非常停止し、緊急冷却器で緊急冷却する。

また停電時はバイオマスボイラーの燃焼はすぐには止まらないため、熱媒油ポンプは停電後も運転を継続しなくてはならない。そのために非常用発電機はもちろんのこと、**非常用発電機が起動するまでの 10 秒間をバックアップするための UPS（無停電装置）まで備えている**。

### <ORC 熱電併給システムにおける消防法上の課題>

- 熱媒ボイラーと ORC 発電機は、双方共に危険物取扱所指定となり、**3 m の保有空地を確保しての設置が必要**との消防署見解であった。このため設置面積が拡大し接続配管等の工事量が増加した。
- ORC 機器据付時に防爆仕様の要否の議論が生じたが最終的には「熱媒油の温度上昇を防止する措置等、安全が確保されている状態であれば技術基準上問題ない」という所轄経産局の見解を受けて非防爆仕様で可となっている。**所轄消防関係者に計画時の事前説明および設計完了時(機器類発注前)の届出前説明を十分に行い、齟齬の生じないようにする必要がある**。

## 熱供給事業を行うための審査要件

外部に対して 21GJ/h 以上の熱供給を行う場合は、熱供給事業法で定められている審査要件を満たす必要がある。熱供給事業として成立するためには、下記のような審査要件がある。

### <熱供給事業法における審査要件>

- ・ 不特定多数の顕在的な熱供給の要請に応じて開始されるか。
- ・ 熱供給施設の能力が供給区域の需要に応じることができるか。
- ・ 熱供給事業を的確に遂行するに足りる経済的基礎および技術的能力があるか。
- ・ 熱供給事業の計画が確実かつ合理的であるか。
- ・ 熱供給事業の開始が供給区域における日常生活または事業活動上の利便の増進のために必要であり、かつ、適切であるか。

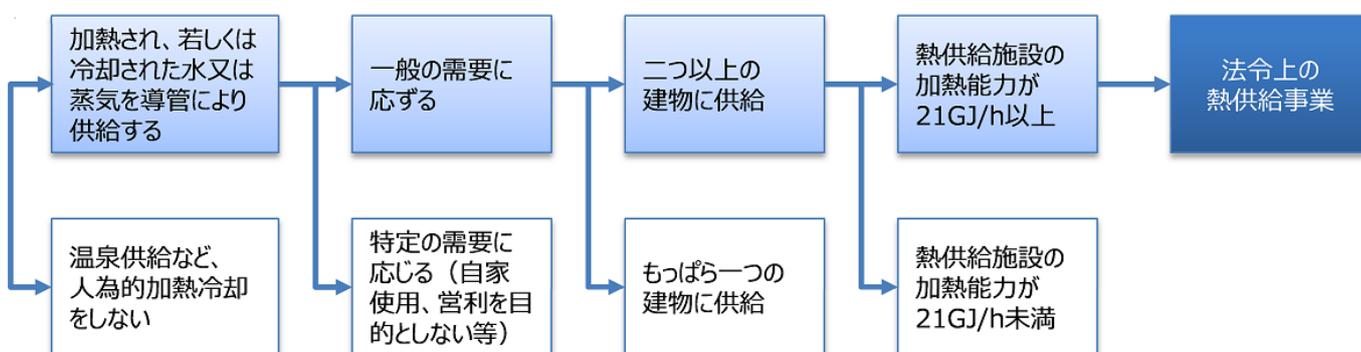


図 3.2.32 熱供給事業の成立要件

(出所) 経済産業省 HP「熱供給事業関連サイト」よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 各種規制に則った申請

熱供給事業を行うにあたっては、必要情報を記載して登録申請を行い、供給能力の確保、供給条件の説明、熱供給施設に係る保安規制等、熱供給事業法による規制に則り各種申請を行う。

表 3.2.29 熱供給事業登録申請書の内容

項目	内容
主たる営業所	名称、所在地
その他の営業所	名称、所在地
熱供給施設	ボイラー／ヒートポンプ／熱交換機／冷凍設備／温水または冷水の貯水槽の設置場所、種類、能力
輸送導管	設置の場所(区間、経過地)、内径、温水等の温度、温水等の圧力
他の者から温水等の供給を受ける場合における当該温水等の熱量等	契約の相手方の事業者名、事業者の所在地、契約締結日、契約期間、温水等の別、契約容量(GJ/h)
供給能力	温水等の別、供給能力(GJ/h)の内訳(熱源機器能力、蓄熱能力、他の者から調達する供給能力)
熱供給に対する需要	温水等の別、契約容量の見込み(GJ/h)、最大需要の見込み(GJ/h)
その他	事業開始の予定年月日、電話番号、電子メールアドレスその他の連絡先、その行う熱供給事業以外の事業の概要

(出所) 経済産業省「熱供給事業登録申請書」よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成



## 2) ダブルゲート弁

空圧ゲート式のバルブを 2 段重ねにして片側ずつ開放することでシール性を確保する。ゲート弁間の間隔を大きくすることで、ある程度イレギュラーなチップサイズにも対応できる。シール性には優れているがサイズが大きくなり価格も高い。

## 3) ダブルダンパー

モーターで上下するフラッパー弁を 2 段重ねにして片側ずつ開放することでシール性を確保する。シール性は 3 つの中で一番劣るが、異物が絡まっても数回転かすことで復帰することがある。3 つの中で価格は一番安い。

ダウンドラフト炉は空気をガス化剤に用いているため、入口からの空気の漏れ込みはガス化条件を乱し、炉内温度降下、可燃ガスの熱量低下、タールの発生などを招く。したがって万一シール弁のシール性が悪化しても炉内への空気の流入を防ぐため、入口部分のガス化炉内圧力をほぼゼロ圧から若干マイナス側に制御する例が多い。万一高いプラス圧となった場合は入口から可燃ガスが外部に流出し危険なため、緊急停止させる例が多い。

## ③ガス化炉

一般的には底部に酸化層を持ち、ここに空気を吹き込むインバート型が主流であるが、炉内における空気の流れの均一性が要求されるため、各社工夫を凝らしている。

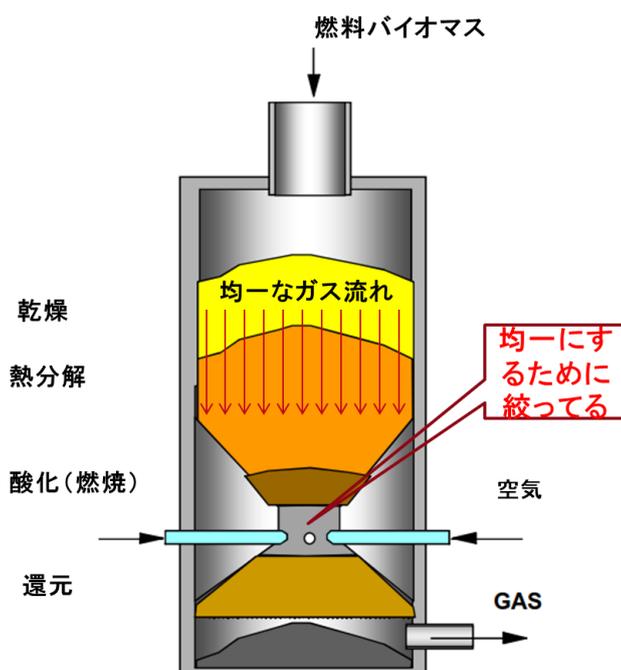


図 3.2.34 典型的なインバート型ダウンドラフト炉

(出所) PEO 技術士事務所提供資料

炉内の温度は入口と出口温度を見ていることが多い。ダウンドラフト炉は酸化層でタールを熱分解するため、この部分の温度が低下するとタールが分解出来ずに致命傷となる。ダウンドラフト炉はできるだけ乾燥されたチップが必要である。湿ったチップを投入するとタールが発生するのは水蒸気による温度低下が生じるからである。

還元層では吸熱反応により、さらに可燃ガス化が進行するが、ガス化できなかった C 分はチャーとして炉床から排出される。この排出が容易なように炉床はある間隔で回転出来るようになっているものが多い。

#### ④ オフガス炉（フレースタック）

ガス化炉立ち上げ時はガス化炉の温度が十分に上がっていないため、タール分の多いガスが発生する。タールは高温ではガス状で存在しているため、これをオフガス炉（フレースタック）で燃やすことで、後段のガス精製やガスエンジン部分が汚染されることを防止する。

#### ⑤1 次ガスクーラー

ガスをフィルターの耐熱温度まで冷却する外部に水を流した間接クーラーである。

後段の 2 次ガスクーラーの冷却水と連結して温水として熱回収する役割を兼ねている。ガス化炉で発生したススや残留タールが詰まりやすく、定期的に清掃する必要がある。

後段のガスフィルターに耐熱性の高い金属フィルターやセラミックフィルターを使用している場合はこの 1 次ガスクーラーは省略できる。

#### ⑥ ガスフィルター

ガス化炉内でタール（高分子の炭化水素）は CO、H<sub>2</sub>、C に分解される。このうち C は微粒子のススになる。またガス化炉内の木屑粒子も炭となって軽いものは生成ガスに同伴される。これをフィルターで捕捉してガスを綺麗にするフィルターである。フィルターは目詰まりを起こすのでフィルター前後の差圧を常に監視して、差圧が大きくなれば詰まってきたと判断し自動で清掃される。内側から高圧の空気（微量なら問題ではない）や窒素を吹いて飛ばす逆洗式や、フィルターが機械的に伸縮する蛇腹式などがある。またフィルターは寿命があるため、年に 1 回程度で交換するタイプが多い。

材質は一般的に耐熱性のある不織布が用いられている点は大きな発電所のバグフィルターと同じである。

またフィルターではなく水洗スクラバーにより、水でガスを洗って清浄化しているものもあるが、ススが大量のスカムとして発生することからこの処理が大変になる。ただ生成ガス内にタールが多い場合は、タールを除くには有効であるが、いずれにしても水処理が必要で複雑な設備になる。

#### ⑦ 2 次クーラー

生成ガスをガスエンジンが受入可能な温度（通常 50℃以下）まで冷却する。ガス中は木質チップ内の水分（乾燥チップと言えどもゼロではない）やガス化時に発生した水分を含むため、露点以上の水分はドレインとして回収する。

ここで水分を十分に回収できないとガスエンジン内で結露し、インタークーラーなどで腐食の問題を起こすことがあるため注意が必要である。

#### ⑧ ガスエンジン発電機

ガスはガスエンジンの自然吸気でガスエンジンに入れ込むタイプとガスエンジン手前にブースターファンを設けて押し込むタイプがある。さらにガスの平準化を図るため、ブースターファンの手前にガスホルダーを設けて一旦ガスを貯留する場合もある。

本図のものは一番簡単な自然吸気タイプとなっている。

ガスエンジンには高出力を出すためのターボ型とノーマルのノンターボ型がある。効率は前者の方が高いが、ターボチャージャーやインタークーラーなど複雑な部品が多く、特に木質バイオマス生成ガスのような清浄度が低い可能性のあるガスには注意する必要がある。メンテナンスや交換頻度が増すリスクが高い。効率より設備の安定運転性を重視するのであればノンターボ型を選定すべきである。

## ⑨熱交換器

ガスエンジンの排ガス温度は 400～500℃あるため熱交換器で熱を回収する。温度的には蒸気を回収することも可能であるが、欧州からの輸入ガス化システムはすべて温水回収となっている。さらに水冷エンジンの冷却水、ガスクーラーの冷却水と集合させ、温水エネルギーとして回収する。温水の使い道がない場合も、ガスクーラーと水冷エンジンの冷却水は冷却して循環する必要があるため、クーリングタワーなど何らかの冷却システムが必要となる。温水の使い道がない場合は、このクーリングタワーの動力は所内動力にカウントしなければならない。

### コラム：改正火技解釈への対応について

2019 年 2 月に起こった山形県上山市の木質バイオマスガス化発電装置の爆発事故の影響を受けて、2021 年 1 月に電気事業法の火技解釈が改正された。

具体的には“従来の火技解釈の「第 8 章 ガス化炉設備」に、「第 8 章の 2 バイオマス発電設備」が新設され、“第 102 条の 2”として規程が追加実施された<sup>6</sup>。（令和 3 年 1 月公布・施行）。

詳細の規定は別途参照されたいが、本項で示したような典型的な小型木質バイオマス発電設備の場合には、バイオガス製造設備等に見られるようなガスホルダーやガス導管に相当する部分がほぼないものが多いため、容器や導管に関わる電気事業法における技術基準の適用は問題とならないことも考えられる。

しかしながら運用面でオペレーターの省人化が進み、また保安技術スキルが期待出来ない状況下では、特に安全対策（防火対策、ガス滞留防止（建屋設計含む）、重故障時の緊急停止装置や遠隔警報システム）に触れている各規程には留意したい。

輸入品の場合、メーカースタンダード（例えば電気品（スイッチ、照明器具類）の防爆仕様）が国内安全基準と比較されて、従来より厳格に審査されることも予想しておくべきと考える。本件に関してはあくまで解釈について記載されているため、個別のシステムの適用の可否についてはメーカーやガス化技術の専門家と相談した上で、当該経産局と協議する必要がある。

<sup>6</sup> [https://www.meti.go.jp/policy/safety\\_security/industrial\\_safety/oshirase/2021/03/20210331-03.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2021/03/20210331-03.pdf)

## 熱分解ガス化の仕組み

バイオマスの熱分解によって製造されるガスは、主に一酸化炭素、水素、メタンおよび軽質の炭化水素ガス並びに窒素、二酸化炭素そして水蒸気から構成される。ガス化までの工程（ガス化プロセス）では液体（タール、油その他凝縮物）や、固体（チャー、灰）が副次的に生成される。

元々、ガス化プロセスは主に燃料や合成ガスを製造する目的で設計され、燃料として精製されたガスはガスエンジン、燃料電池その他発電機に使用される。また副次生成物はメタノールや FT 法による液体炭化水素等の化学物質合成に活用可能である。ガス化ガスは、燃焼させることにより既存の燃料と同様な活用が可能であるが、環境汚染対策や効率の点でより有利となる可能性をもっている。

ガス化プロセスは一般に 600～1,500℃の温度範囲で運用される。プロセスは全体として吸熱反応であるため、エネルギーを必要とする。外部熱源からの熱交換による間接加熱方式、少量の空気を加えて部分燃焼させる直接加熱方式、過熱水蒸気の注入を行う高圧水蒸気ガス化等の諸方法が存在している。蒸気の注入などを行う場合には生成されるガスの水素や一酸化炭素の濃度が高くなる。

原料がガス化されるプロセスは主として下表の反応式から成り立つ。

表 3.2.30 ガス化までの反応式

工程	反応式
燃焼	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
	$H_2 + 1/2 O_2 \rightarrow H_2O$ (気体)
部分酸化	$C + 1/2 O_2 \rightarrow CO$
ガス化	$C + CO_2 \rightarrow 2CO$
	$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$
	$C + H_2O$ (気体) $\rightarrow CO + H_2$
	$CO + H_2O$ (気体) $\rightarrow CO_2 + H_2$
	$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$ (気体)
	$CH_4 + H_2O$ (気体) $\rightarrow CO + 3H_2$

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

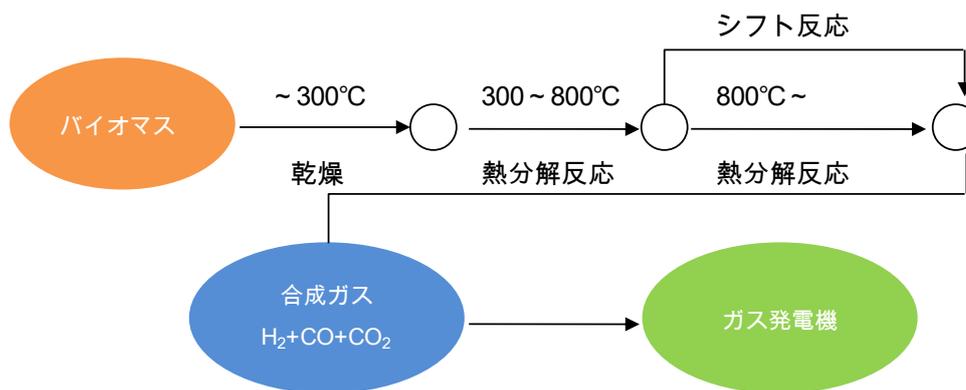


図 3.2.35 全体プロセス概要

(出所) 「Robert B. Williams, Stephen Kaffka. Public Interest Energy Research (PIER) Program DRAFT INTERIM PROJECT REPORT, Biomass Gasification – DRAFT」

前図に見るとおり、プロセスを成立させるために重要なことは、必要な化学反応を成立させる所定の温度であり、温度をいかに管理・維持するかが鍵となる。ガス化プロセスにより、合成ガス（Synthesis Gas）と呼ばれる製品ガスが得られるが、次図に示すように、ボイラー、エンジン、ガスタービン、燃料電池、化学原料等への適用の可能性があり、合成ガスの精製技術と相まって多くの適用可能性をもつ技術といえる。

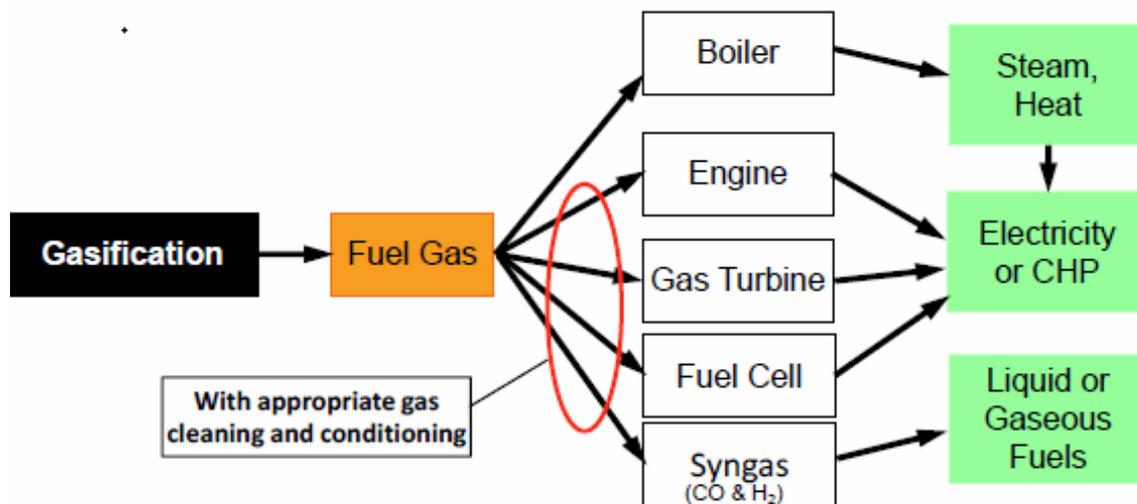


図 3.2.36 ガス化技術の適用

(出所) 「Robert B. Williams, Stephen Kaffka. Public Interest Energy Research (PIER) Program DRAFT INTERIM PROJECT REPORT, Biomass Gasification – DRAFT」

### (参考) ガス化炉の形式によるバイオマスガスの組成

空気流によるガス化炉は CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, 炭化水素, H<sub>2</sub>O, PM, アルカリ、窒素硫黄化合物と 40～50%の窒素から構成される比較的低発熱量のガスを生成する。窒素は希釈気体であり、空気ガス化の媒体となる。酸素流によるガス化炉の成分もほぼ同等となるが、窒素の濃度は非常に小さくなる。発熱量も大きくなる。

表 3.2.31 直接ガス化炉 バイオマスガス化の代表的組成

	空気供給時の生成ガス (vol.%)	酸素供給時の生成ガス (vol.%)	不燃焼-蒸気加熱による合成ガス(vol%)
CO	22	38	19
H <sub>2</sub>	14	20	20
CH <sub>4</sub>	5	15	8
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 以上の高分子炭化水素	低	5	3
H <sub>2</sub> O	2	4	38
CO <sub>2</sub>	11	18	11
N <sub>2</sub>	46	微量	微量
その他	タール分、PM など		

(出所) Robert B. Williams, Stephen Kaffka. Public Interest Energy Research (PIER) Program DRAFT INTERIM PROJECT REPORT, Biomass Gasification – DRAFT」

ガス化炉の形式により温度条件が異なるため、バイオマスガスの組成は変わる。熱分解ガスの発熱量は、固定床式ガス化炉の場合 3.8～5.9MJ/Nm<sup>3</sup>、流動床式バブリング方式で 4.6～6.7MJ/Nm<sup>3</sup>、流動床式循環流動方式で 10.5～14.7MJ/Nm<sup>3</sup>、噴流式で 10.5～14.7MJ/Nm<sup>3</sup>、間接加熱、ロータリーキルン方式で 8.4～13.4MJ/Nm<sup>3</sup>とされる。

表 3.2.32 ガス化条件による精製ガス組成の相違

	単位	固定床式	固定床式 ダウンドラフト方式	噴流型ガス化 方式	ロータリーキル ン+改質炉	(参考)天然ガス (ブルネイ)
H <sub>2</sub>	%	10~19.15	18	10.8	37	—
CO	%	15~28.5	20.4	16.8	32	—
CO <sub>2</sub>	%	8~14.27	14.2	11.8	19	—
CH <sub>4</sub>	%	0.29~3.9	3.3	2.6	4	89.8
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 等	%	—	—	—	—	10.2
N <sub>2</sub> 等	%	残り	44.1	58	8	—
低位発熱量	MJ/Nm <sup>3</sup>	5.5	5.9	4.2	9.2	40.2

(出所) Robert B. Williams, Stephen Kaffka. Public Interest Energy Research (PIER) Program DRAFT INTERIM PROJECT REPORT, Biomass Gasification – DRAFT]

一方、間接ガス化炉の場合は生成ガスに含まれる窒素量は少なくなるが、ガス化炉出口でのタール量が多い場合が多い。ただし、生成ガスの活用を考慮して、高温酸素改質法を採用して実用化している事例がある。高温酸素改質法とはタールを含む熱分解ガスに純酸素を付加し、1,100℃程度の高圧状態で数秒間保持するものである。

表 3.2.33 間接ガス化炉の代表的なガス性状

項目	単位	ガス化炉出口 (改質前)	改質後 (1,100℃)	
ガス組成	H <sub>2</sub>	Vol%	20.2	30.1
	CO	Vol%	36.1	26
	CO <sub>2</sub>	Vol%	15.8	17.9
	CH <sub>4</sub>	Vol%	16.6	2.5
	N <sub>2</sub>	Vol%	5.6	17.9
	その他	Vol%	5.7	5.6
低位発熱量	MJ/Nm <sup>3</sup>	15.2	7.5	
タール	g/Nm <sup>3</sup>	25	0.005	
ばいじん	g/Nm <sup>3</sup>	11	<0.002	

(出所) 株式会社エヌ・ティー・エス「バイオマスからの気体燃料製造とそのエネルギー利用」

## (2) 各種方式

ガス化炉の形式には固定床式（アップドラフト方式、Burkhardt 方式、ダウンドラフト方式）、流動床式（バブリング方式、循環流動方式）、噴流型、二段式、ロータリーキルン式などがある。また高温の反応を実現する加熱方法により直接加熱方式、間接加熱方式の分類もある。ただし、間接ガス化炉の場合は表 3.2.30 の燃焼と部分酸化の反応は除外される。炉内圧力は大気圧もしくは高圧での運用がある。またガス化の媒体としては空気、酸素、水蒸気並びにそれらの組み合わせ等の事例がある。表 3.2.30 の反応式において  $H_2O$  による吸熱反応は水蒸気改質とも呼ばれる還元反応であり、後述するタール対策を考える場合重要な反応である。

### 1) 固定床式ガス化炉

#### ①アップドラフト方式

固定床式ガス化炉のアップドラフト方式は最も簡略な構造である。空気の流れ方向は原料の投入・流れ方向と対向する。炉上部より木質チップ等の燃料を供給し、空気により燃焼・ガス化させるものである。空気をガス化炉下部から供給し、炉内下部より燃焼させる。直上部の高温となっている還元ゾーン（Reduction Zone）にて分解ガスの還元、そして熱分解ゾーン（Pyrolysis Zone）にて上部乾燥ゾーン（Drying Zone）にて乾燥された燃料の熱分解を実現する。燃料の乾燥は分解ガスが保有する熱を利用して乾燥ゾーン（Drying Zone）にて乾燥される。比較的湿分の高い材料（水分率 60%程度）に適用できる。

しかし、熱分解ガスが還元ゾーンを経ることなく上部に排出されてしまうため、一般にタールや副次生成物が多いガスとなる。

したがって、この方式はガスの精製やタールの除去があまり必要なく直接燃焼できるようなガス利用システムに向くとされており、発電や燃料代替に使用する際はより高度なガス精製設備が必要となる。アップドラフト方式の炭素転換効率は比較的高く、中小規模のシステムに適合できる。

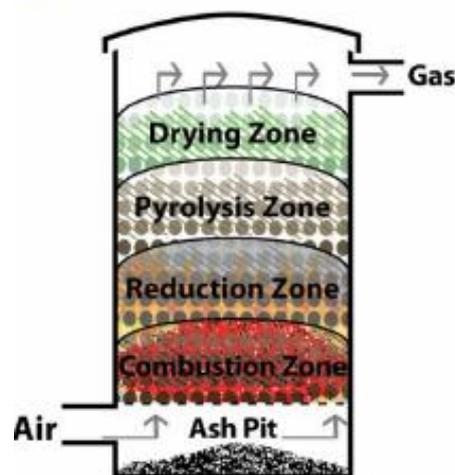


図 3.2.37 アップドラフト方式固定床式ガス化炉  
(出所)「Robert B. Williams, Stephen Kaffka. Public Interest Energy Research (PIER) Program DRAFT INTERIM PROJECT REPORT, Biomass Gasification – DRAFT」

## ②Burkhardt 方式

空気の流れ方向ではアップドラフト式と同等であるが、分解炉下部より定量的に原料が投入され、下部より順次熱分解反応が進められる。反応は静的なものであり、一旦定常運転に達すれば安定運転を可能とする。炉の中で定常的に反応層を形成し、タールの少ないガス生成を実現している。各層の温度領域、機能について下表に示す。

中央部に部分燃焼ゾーン（Oxidation zone）を形成させ、その燃焼ゾーンで発生した熱で炭化層すなわち熱分解ゾーン（Pyrolysis Zone）を形成し、木質原料を熱分解させる。部分燃焼ゾーンで未燃焼であった分解ガスがガス化炉頂部の還元ゾーン(Reduction zone)にて水蒸気改質されることによってタール分の少ないガスの生成を可能としている。バイオマス原料の導入が炉底部からフィーダで供給していることが大きな特徴である。ペレット間から導入される空気によって形成されるガスの流動が定常的である必要があり、炉内でのガスの偏流を防止するために均質性の高い木質ペレットを使用することを原則としている。

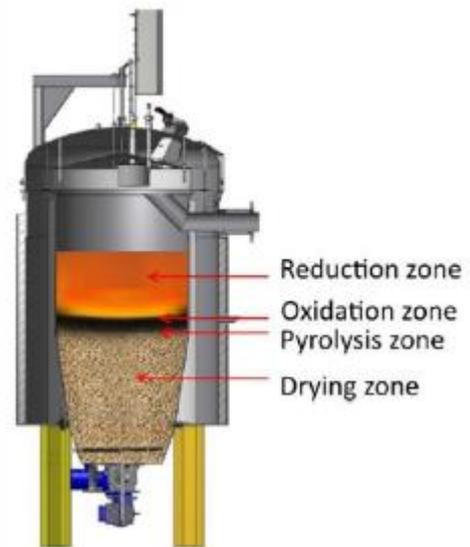


図 3.2.38 Burkhardt 方式固定床式ガス化炉

(出所) 三洋貿易株式会社「ブルクハルト社 木質ペレットガス化熱電供給システムの紹介」

欧州では適用事例・稼働実績ともに多く、欧州の ENplus – A1 といわれる規格の高品質で均一のペレットが使用されている。バイオマス原料としてあらかじめ製造された高品質で規格に適合する均一のペレットを利用することが大きな特徴である。ただし前述したように日本のスギでこの規格を満たしているにも関わらずグリントラブルを起こした例もあるので注意を要する。

表 3.2.34 Burkhardt 方式における炉内のゾーニング

ゾーン名	温度	反応
還元ゾーン (Reduction zone)	850～1,100℃	燃焼後の気体が流動の中で還元反応が行われる。
酸化ゾーン (Oxidation zone)	700～1,200℃	残留空気により炭化物が部分燃焼。ガスとフライアッシュへの変換がなされ、炉内の各反応を維持させるための熱源となる。
熱分解ゾーン (Pyrolysis zone)	350～650℃	少量の空気の環境での蒸し焼きにより、ペレット中の有機物を熱分解し、炭化物、ガス、蒸気などにする。
乾燥ゾーン (Drying zone)	25～275℃	燃料中の水分を蒸発させ、混合され上部へ移送され、熱分解のための予熱がなされる。

(出所) 三洋貿易株式会社「ブルクハルト社 木質ペレットガス化熱電供給システムの紹介」

### ③ダウンドラフト方式

固定床式ガス化炉であるが、右図に示すように空気の流れ方向と燃料の投入方向は同方向で、ダウンドローである。ただし原料の流れは空気の流速に比して十分遅いものになる。空気（あるいは酸素）は炉頂部より燃料とともに流入し、さらに炉下部、熱分解ゾーン（Distillation Zone）と還元ゾーン（Reduction Zone）の間の燃焼炉ゾーン（Hearth Zone）に空気・酸素が注入される。製品ガスは還元ゾーンの後流となる炉底部付近で生成される。タールは高温の酸化・燃焼ゾーン（Hearth Zone）で発生し、還元ゾーン（Reduction Zone）で分解する。

アップドラフト方式と比べて高温条件（還元ゾーンにて 800℃以上）を適切に維持するために原料の水分率に留意する必要がある。

本方式の利点は原料の適切な湿分を維持し粒径を満足させることでタールの発生を抑制できる点にある。炭素残渣は炉内下部に集積する。小規模の施設（発電量約 15kW～500kW）には適切であるが、炉の直径方向に均一な温度分布を形成するため大型化は難しいとされる。

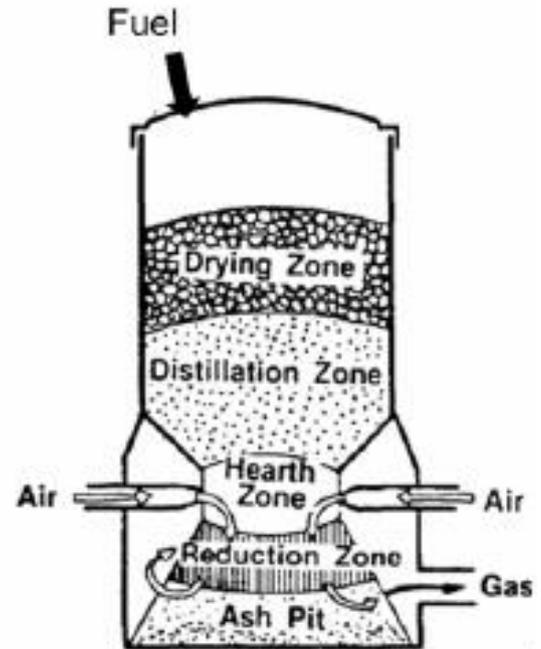


図 3.2.39 ダウンドラフト方式固定床式ガス化炉  
(出所) Robert B. Williams, Stephen Kaffka. Public Interest Energy Research (PIER) Program DRAFT INTERIM PROJECT REPORT, Biomass Gasification – DRAFT

## 2) 流動床式ガス化炉

流動床式ガス化炉は内部に比較的小さな無機物の粒子（砂やセラミック粉など）の流動媒体が充填される。底部より熱風が吹き込まれ、粒子が流動化される。個々の粒子は空気力学的に持ち上げられ、流動媒体の重量と同等以上の浮力によって維持される。流動材が流動化することにより、炉床は液体のように挙動する。媒体が十分高温となった状態でバイオマスが導入され、酸素量に応じて燃焼もしくはガス化が進展する。流動床式ガス化炉はもともと大規模石炭ガス化システム向けとして開発された。流動床式ガス化炉は一般に固定床式より複雑なものとなり、温度の維持のために、燃料と酸素の制御、流動のためのエネルギーの管理が重要となる。

#### <流動床式ガス化炉の特徴>

- ・ 混合性が良く、高効率伝熱、反応効率などで大容積のものを高効率に取り扱うことができる。
- ・ 大規模な処理能力を実現できる。
- ・ 原料の水分率、粒度、比重などについて適用性が大きい。
- ・ 温度が低めで取り扱えるため比較的低融点の物質も取り扱える。ただし、融点の低い物質が混入すると流動性が悪くなることがある。
- ・ タールの生成量はアップドラフト方式より少なく、ダウンドラフト方式よりは多くなる。

## ① バブリング方式

バブリング流動床方式は後述の循環方式と比べると比較的流速の遅い空気と水蒸気の気流があり、原料の投入量は比較的少ない。流動砂は底部（Plenum）で保持され、気流により流動化された層（Fluid Bed）にバイオマスが投入される。流動層上部で熱分解ガス化並びに還元反応が進む。循環流動床式に比べると構造はシンプルであるが、循環方式に比べて温度分布が均一でなく、処理能力も低い。

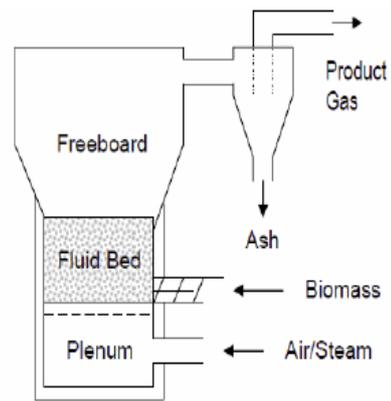


図 3.2.40 バブリング方式流動床式ガス化炉

(出所) Robert B. Williams, Stephen Kaffka. Public Interest Energy Research (PIER) Program DRAFT INTERIM PROJECT REPORT, Biomass Gasification - DRAFT

## ② 循環流動方式

循環流動床方式はより高速の気流により高い伝熱効率が得られる。炉高を高くし、断面を均一にすることで流動状態や燃料の混合状態を定常にする。流動媒体は流動気体と共に、サイクロンに導入される。流動材は流動気体により流動され、飛上してサイクロンに導入される。サイクロンで生成したガスからほとんどの流動媒体を分離させ、炉下部より再循環させる。バイオマス原料はサイクロンに達するまでに完全に反応するような細粒のものでなくてはならないが、粗粒の原料が混じっているとサイクロンで分離されて流動床に戻ってくる。

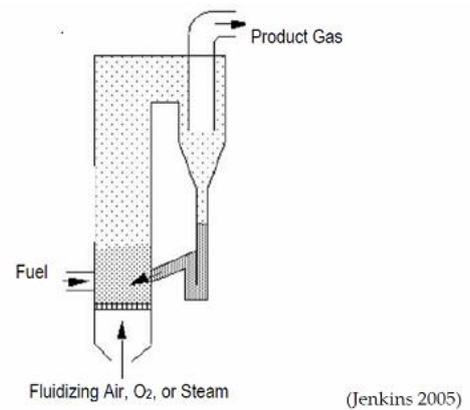


図 3.2.41 循環流動方式ガス化炉

(出所) 同上

## 3) 噴流型ガス化方式

噴流型ガス化炉は石油化学業界にて広く使用されている。石油精製時の残渣（石油コークス）を有効な製品やエネルギーに変換する石炭のガス化技術として知られており、ほとんどの石炭ガス化はこの方式が使用されている。本方式は高速のガス流で、多量の原料のガス化処理を可能とする。微小粒度の原料あるいは液体やスラリーが供給され、反応時間は短い。バイオマス燃料とする場合は、破砕機により 2mm 程度まで粉碎・乾燥させる必要がある。炉内は通例酸素を通風し、常圧もしくは加圧して酸素とともに燃焼させる。酸素下で燃焼することにより高温（ $>1,250^{\circ}\text{C}$ ）状態を生じ、炉廻り、炉内下部には冷却設備が必要となる。

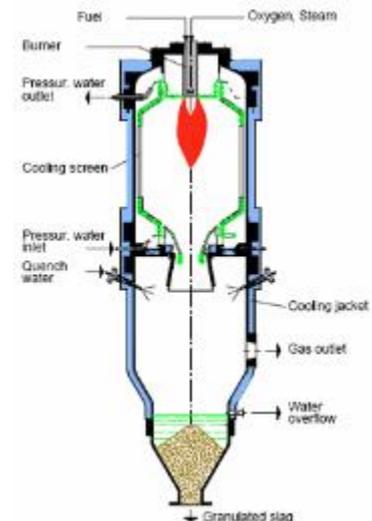


図 3.2.42 噴流型ガス化炉

(出所) 同上

高温であるためタールは極少となり、 $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  そして  $\text{H}_2\text{O}$  に変換することができる。噴流型ガス化炉は大規模な施設に適合できる。バイオマスからの液体燃料製造・化学原料等の製造販売事業の可能性もあるため、種々の機関で燃料や合成ガスの販売を前提とした研究開発も進められている。ただし主用途をガス化発電とした場合と比べるとこれらの用途を想定したガスはより高度な組成や品質が求められる。

## 4) 二段式ガス化方式

炉を二段の構成とし、熱分解で炭化物と可燃性ガスを得た後に、炭化物は過熱水蒸気と反応させ、可燃性ガスの必要な還元反応を実現する方式である。水蒸気を注入する場合には水蒸気改質・還元反応による水素化が行われ、タール発生を低減させる。空気などによる希釈量が極小であり、水蒸気が注入される場合には高い  $H_2/CO$  比が得られる。技術の主眼は加熱炉内への伝熱方法となる。

二段式間接加熱炉の場合は伝熱媒体（砂）が 2 つの炉を循環する。一方の炉で燃焼され、高熱の砂が他方の炉に流入することにより熱が伝えられる。冷えた砂やチャーは元の炉に循環され、再度燃焼炉内で加熱される。

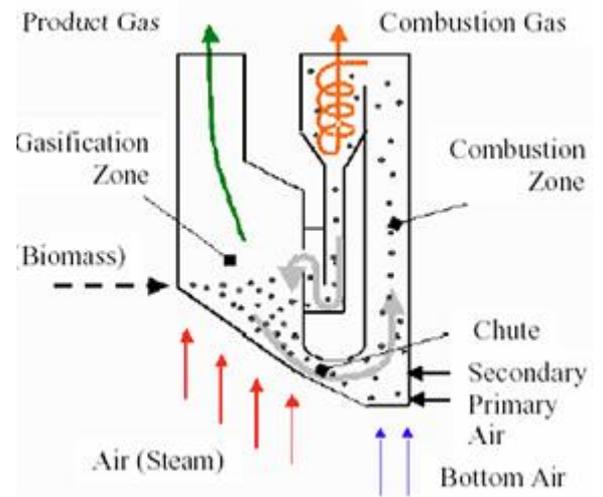


図 3.2.43 高速内部循環流動床式ガス化炉(FICB)  
(出所) 同上

高速内部循環流動床炉(FICB)による発電出力 2MW のバイオマスガス発電所がオーストリアのギュッシング市にて 2002 年より稼働を開始した。ガス化ゾーン(Gasification Zone)を形成する流動床ガス化炉（パブリック流動床）と燃焼ゾーン(Combustion Zone)を形成する燃焼炉（循環流動床）を組み合わせたものである。ガス化ゾーンに供給されたバイオマスは高温蒸気により熱分解ガス化され、未反応の炭素分は流動材（砂）とともに燃焼炉に入り、燃焼される。流動材はサイクロンにより捕集されてガス化ゾーンに流入し、ガス化に必要な熱量を供給する。ガス化炉の運転温度は 860℃、燃焼炉温度は 900℃が管理値とされている。

図はドイツの Agnion 社が開発した二段式ガス化方式である。流動燃焼炉からガス生成炉への熱伝達を砂の代わりに、ヒートパイプの技術を使用したシステム「Heatpipe-Reformer(ヒートパイプ改質炉)」である。本ガス化炉は流動床式改質炉(Fluidized Bed Reformer)、ヒートパイプ(Heatpipes)、流動床式燃焼炉(Fluidized Bed Combustion Chamber)の三要素から構成される。砂の代わりにヒートパイプを用いるものでシンプルで効率良い熱伝達を実現しようとするものである。

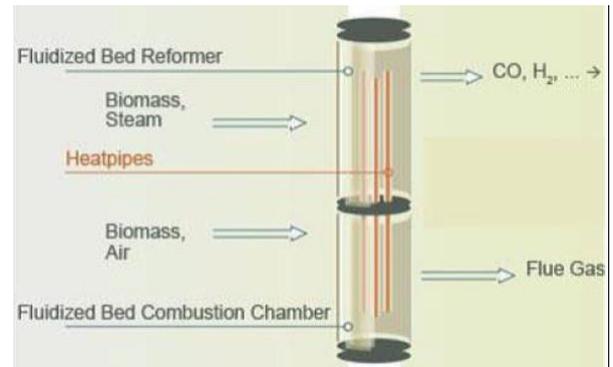


図 3.2.44 ヒートパイプ式ガス化炉  
(出所) 同上

さらに二段式ガス化方式の事例として、次図に示す、オーストリアの SYNCRAFT Engineering GmbH が開発したガス化プロセスがある。昇温を 2 段階とし加熱炉を直列に 2 基設置している。最初の加温（400℃）で昇温・熱分解を行う。その際のタール発生を許容し、タール分を後段の加熱炉の燃料としている。木質チップを原料としており、原料の品質に対する制約は比較的少ない。オーストリア（Stadl 市、Innsbruck 市、Schwaz 市）・イタリア（Vierschach 市）に実績を持ち、稼働中である。また日本では和歌山県新宮市に近々導入される予定である。

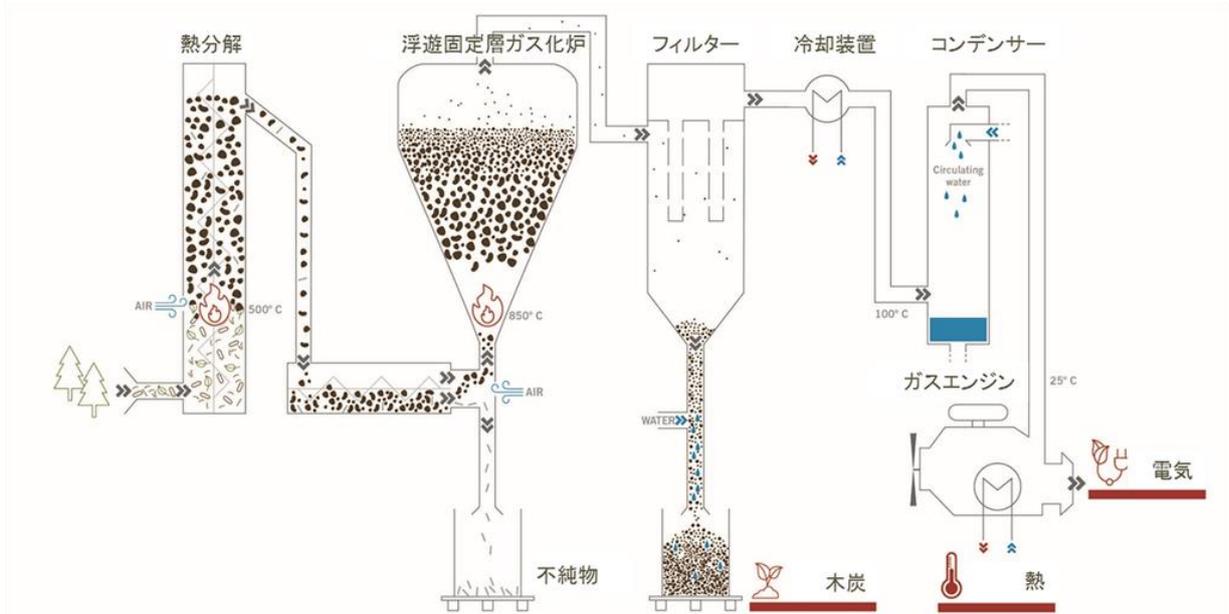


図 3.2.45 SYNCRAFT 社 ガス化プロセス

(出所) フォレストエナジー株式会社ホームページ

## 5) 外熱式ロータリーキルン式ガス化炉

間接ガス化方式と呼ばれ、固定床式直接ガス化方式に比し、高カロリー（2000～3000kcal/Nm<sup>3</sup>）のガスが得られることが特徴である。無酸素下あるいは低酸素濃度下で、原料バイオマスの熱分解を行う。

キルン式ガス化炉では、700～800℃で熱分解ガス化される。ガス中のタール量は、ガス化温度によるが 10～30 g/Nm<sup>3</sup> であり、ダウンドラフト式ガス化炉と比べると、10 倍程度、アップドラフト式ガス化炉と比べると 1/10 程度と言われている。タールを含んだ生成ガスは、その後段で改質炉に少量の酸素を供給して部分燃焼させ、約 1,100℃まで昇温する。この方式により C12～C36 のタールがメタン、プロパン、ブタンなどに分解され、高いタール除去率を実現する。

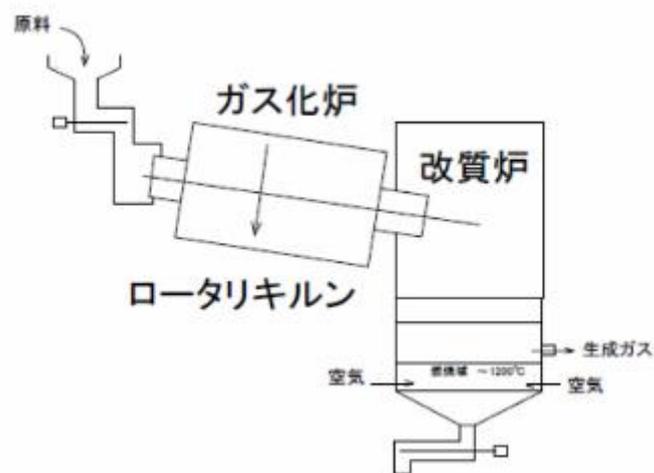


図 3.2.46 外熱式ロータリーキルン式ガス化炉  
(出所) 中外炉工業株式会社「外熱式多筒型ロータリーキルン式バイオマスガス化発電システム」

上述のそれぞれのガス化炉の方式の特徴から、各加熱炉型式と取扱量については一定の制約がある。

噴流型ガス化炉

加圧流動床式ガス化炉

常圧循環流動床式ガス化炉

常圧バブリング流動床式ガス化炉

アップドラフト方式

ダウンドラフト方式

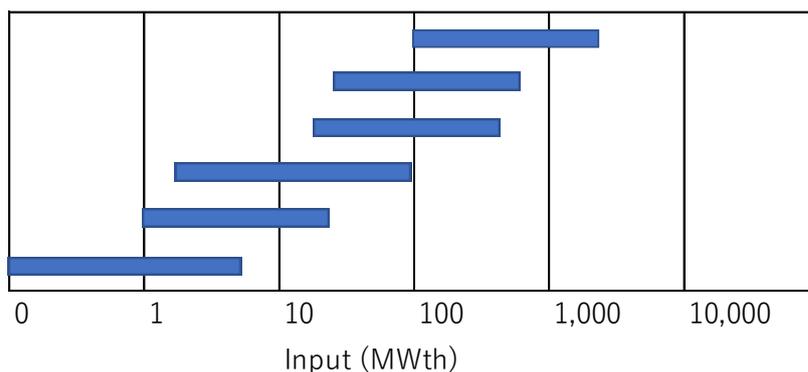


図 3.2.47 直接ガス化炉 加熱炉形式と取扱量

(出所) 「Robert B. Williams, Stephen Kaffka. Public Interest Energy Research (PIER) Program DRAFT INTERIM PROJECT REPORT, Biomass Gasification - DRAFT」

### (3) ガスエンジン選定に関する留意事項

#### 市販の天然ガス用のガスエンジンの適用可能性

熱分解ガス（分解温度 750℃以上の場合）は水素や一酸化炭素を主成分としているため、天然ガスと比較すると単位容量当たりの発熱量が小さく、燃焼特性も異なるため、天然ガス用エンジンをそのまま使用することは難しいと言われている。

さらに熱分解ガス専用としてエンジンメーカーにより開発されたガスエンジン発電機は一般に市販されていない。即ち組成・変動等が不明な熱分解ガスに対して性能保証するエンジンメーカーはなく、ガス化炉メーカーとエンジン専門メーカーで共同開発を行った事例が多い。

汎用のガスエンジンメーカーは燃料となるガスに対して天然ガス同等の無タールを要求（100mg/Nm<sup>3</sup>以下等とする例もあり）しているのが一般的である。そのため、タール濃度が比較的高いプロセスに対しては、付加的なガスの改質設備の設置もしくは若干のタールを許容できるように装置構造の改造をしている事例が多い。

表 3.2.35 天然ガスと熱分解ガス比較

	天然ガス (13A)	熱分解ガス (分解炉温度 750℃以上)
主成分	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> , CO
発熱量	41.6 MJ/Nm <sup>3</sup>	11.3 MJ/Nm <sup>3</sup>
燃焼速度	35~47m/s	天然ガスと比較し早い
着火温度	650℃	天然ガスと比較し若干低い
エンジン出力	100%	約 60%
燃料消費量(同出力時)	1	約 4 倍

(出所)「MAN 社製ガスエンジン」, クリーンエネルギー2010.5, 笹内謙一 (中外炉工業株式会社)

表 3.2.36 エンジン側の制限例

単位	内燃機関	ガスタービン	
粒子濃度	mg/Nm <sup>3</sup>	< 50	< 30
粒子径	μ m	< 10	< 5
タール濃度	mg/Nm <sup>3</sup>	< 100	not indicated
アルカリ金属	mg/Nm <sup>3</sup>	not indicated	0.24

(出所)「バイオマス発電の最新技術」, 堤 敦司 (東京大学)

原料やプロセスの特徴によってはガス化条件に大きな変動が生まれ燃料ガスの組成に時間変動が生じる場合がある。組成変動に柔軟に対応しながら、安定して運転できる仕組み（高度な制御機能あるいはガス貯留設備など）も必要である。このように市販のエンジンをそのまま適用できる例が皆無であり、構築したガス化プロセスに応じてバイオマスガス燃料の組成・発熱量を設定し、燃料理論混合比での混合気の熱量を算出し、目標定格出力を確保できるエンジンを選定することが必要となる。ガス組成の変動は無視できないものであり、実際には実証的な検討が必要となる場合が多い。

ガスエンジンの実際の適用事例を次表に示す。ガス化炉の形式・規模に応じてベースとしたエンジンの形式が異なっている。国外のガスエンジンの適用例が多い傾向にある。

表 3.2.37 ガスエンジンの適用事例

型式	プラント名	原動機/出力 [kW]	所在地	国籍	運用開始年	備考
ダウンドラフト方式	株式会社サタケ広島環境研究所	ガスエンジン/30	東広島	日本	2003～	(IISc)固定床ガス化発電実験炉
	パイロフォース	ガスエンジン/200	シュビーツ	スイス	2002～	(AHT)固定床ガス化熱併給発電実証炉
	ウィナーノイシュタット	ガスエンジン/500	ウィナーノイシュタット	オーストリア	2004～	固定床ガス化発電所、湿式 EP
	SRC ガゼル	ガスエンジン/150	ブリュッセル	ベルギー	2000～	コピス用固定床ガス化実証炉
アップドラフト方式	サーモセレクト	ガスエンジン/900	アンスバッハ	ドイツ	2003～	標準的な廃棄物用ガス化商用炉
	フェルント	ガスエンジン/1500(イエンバッハ)	ハーボーレ	ドイツ	2000～	フェルント炉熱供給炉を熱電併給に改造
ロータリキルン方式	八木建設株式会社	ガスエンジン(MAN 社 MSG610AE)/30	徳島	日本	2005～	神鋼造機株式会社
	ライト工業株式会社 宇部テクノエンジ株式会社	ガスエンジン(MAN 社 MSG610AE)/40	島根	日本	2006～	神鋼造機株式会社
	YGC	ガスエンジン(MAN 社 MSG12V12TAE)/180	新山口	日本	2003～	神鋼造機株式会社
	岩国市	ガスエンジン(MAN 社 MSG12V12TAE)/180	山口	日本	2007～	神鋼造機株式会社
	阿蘇市	ガスエンジン(MAN 社 MSG12V12TAE)/180	熊本	日本	2007～	草本系バイオマス/神鋼造機株式会社
内部循環流動床	株式会社荏原製作所	ガスエンジン(200kW規模; 都市ガス混合)	袖ヶ浦	日本	2000～	一般廃棄物用の内部循環流動床炉
	ギュッシング	ガスエンジン/2,000(GE-イエンバッハ)	ギュッシング	オーストリア	2002～	大容量 FICFB ガス化発電
	カンタベリー大学	ガスエンジン	クライストチャーチ	ニュージーランド	2005～	高効率内部循環流動床実験炉
噴流床	一般財団法人電力中央研究所	ガスエンジン/300(新潟原動機)	横須賀	日本	2004～	炭化器を用いた上昇流型噴流床試験炉/ガスエンジンは新潟原動機との共同開発

(出所) 株式会社エヌ・ティー・エス「バイオマスからの気体燃料製造とそのエネルギー利用」

## (参考) 熱分解ガス化設備で発生するバイオマスガスの高度利用

現状、国内のほとんどのバイオマス利用施設では電気または熱としてエネルギー利用を行っているが、**熱分解ガス化システムでは発生するガスを水素等に変換して高度利用することが可能**であり、一部で検討が進められている。

### バイオマスガスの組成

空気流によるガス化炉は CO、H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、炭化水素、H<sub>2</sub>O、PM、アルカリ、窒素硫黄化合物と 40～50%の窒素から構成される比較的低発熱量のガスを生成する。窒素は希釈気体であり、空気ガス化の媒体となる。

酸素流によるガス化炉の成分もほぼ同等となるが、窒素の濃度は非常に小さく、発熱量も大きくなる。

表 3.2.38 直接ガス化炉 バイオマスガス化の代表的組成

	空気供給時の生成ガス (vol.%)	酸素供給時の生成ガス (vol.%)	不燃焼-蒸気加熱による 合成ガス(vol%)
CO	22	38	19
H <sub>2</sub>	14	20	20
CH <sub>4</sub>	5	15	8
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 以上の高分子炭化水素	低	5	3
H <sub>2</sub> O	2	4	38
CO <sub>2</sub>	11	18	11
N <sub>2</sub>	46	微量	微量
その他	タール分、PM など		

(出所) 「Robert B. Williams, Stephen Kaffka. Public Interest Energy Research (PIER) Program DRAFT INTERIM PROJECT REPORT, Biomass Gasification – DRAFT」より作成

間接ガス化炉の場合は生成ガスに含まれる窒素量は少なくなるが、ガス化炉出口でのタール量が多い場合が多い。生成ガスの活用を考慮して、高温酸素改質法を採用して実用化している事例がある。高温酸素改質法とはタールを含む熱分解ガスに純酸素を付加し、1,100℃程度の高温状態で数秒間保持するものである。代表組成については下記のとおりである。

表 3.2.39 間接ガス化炉の代表的なガス性状

項目		ガス化炉出口 (改質前)	改質後(1100℃)
ガス組成	H <sub>2</sub>	vol%	20.2
	CO	vol%	36.1
	CO <sub>2</sub>	vol%	15.8
	CH <sub>4</sub>	vol%	16.6
	N <sub>2</sub>	vol%	5.6
	その他	vol%	5.7
低位発熱量	MJ/Nm <sup>3</sup>	15.2	7.5
タール	g/Nm <sup>3</sup>	25	0.005
ばいじん	g/Nm <sup>3</sup>	11	<0.002

(出所) 「バイオマスからの気体燃料製造とそのエネルギー活用」株式会社エヌ・ティー・エス 2007.10 pp89-110 「外熱式多筒型ロータリキルン式バイオマスガス化発電システム」 pp392-394 「バイオガス供給事業の将来展望」より作成

## バイオガスの精製方法

ガス精製技術の開発・進展により高度利用を検討する事業者が増加しつつある。バイオガスは一般に天然ガス等に比べて発熱量が低く、不純物も含まれる。ガスの精製により、バイオガス供給事業等の高度利用の可能性が生まれるが、ガス精製技術の開発・進展と相まって可能となる。ガス精製技術としては下記のものがある。

### PSA (Pressure Swing Adsorption)法

PSA 法は、ゼオライト等の圧力を上げるとあるガス（CO<sub>2</sub>）を吸着し、圧力を下げると脱着する性質を用いた技術である。吸着塔の加圧・減圧を繰り返し行うことにより、連続的にバイオガスの精製を可能とする。

### 高圧水吸収法

二酸化炭素が水に溶解しやすい性質を利用した技術である。水管に一定の圧力をかけた水を満たし、その水管にバイオガスを通す方法である。水管内にて二酸化炭素が溶け出すことにより、高純度のメタンガスが回収される。

### 膜分離法

特殊な膜にガスを吹込み、分子構造による膜透過速度の違いを利用してガス分離する技術である。

表 3.2.40 熱分解ガス精製技術

	PSA 法	高圧水吸収法	膜分離法
原理・概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>ゼオライト、炭素系等の固体吸着剤で CO<sub>2</sub> を吸着する。</li> <li>圧力変化により脱着する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>メタノール等の吸収液にて、高圧・低温で物理的に CO<sub>2</sub> を吸収する。</li> <li>減圧、加熱により CO<sub>2</sub> と吸収液を解離させて再生する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ポリイミド、酢酸セルロース膜などにより CO<sub>2</sub> を選択的に透過する。</li> <li>膜にて CO<sub>2</sub> を分離する。</li> </ul>
技術特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術的に確立している。</li> <li>低い圧力での吸着・脱着が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術的に確立している。</li> <li>劣化が少なく、加圧、低温化での精製に適する。</li> <li>吸収液の蒸発損失が大。</li> <li>大量の水を必要とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロセスが簡単であり、省エネルギーが可能である。</li> <li>モジュール増設による大容量化が容易に行える。</li> <li>高圧を要するため、消費電力量が多い。</li> </ul>
事業性	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型化が容易であり、幅広い用途への展開が可能である。</li> <li>システムがシンプルであるため低コスト化が可能</li> <li>消費電力量が低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模発生源では投資対効果が得やすい。</li> <li>一方で、小規模化が困難である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高圧での分離が必要であるため、システムが複雑になる。</li> <li>消費電力量が高い。</li> </ul>

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 熱分解ガス化設備からの水素製造

原油等から水素を製造するプロセスと同様の方法を用いてバイオガスを改質した後に水素を得るプロセスが考えられる。技術開発要素としては効率の良い水蒸気改質と、CO<sub>2</sub> 吸収（放出）をいかに達成するかという点にある。ただし、水蒸気による改質は大きな吸熱反応であり、高温（900℃以上）を維持させるため、多量のエネルギーを消費することとなる。

CO<sub>2</sub> 吸収については、CO<sub>2</sub> の吸収剤と PSA 装置を組み合わせる。CO<sub>2</sub> の吸着・放出にもエネルギーを必要とし、十分なエネルギー収支・物資収支の評価をする必要がある。水素を製造すると同時に多量に CO<sub>2</sub> を生成することから、CO<sub>2</sub> が有効利用されることが望ましい。工業用ガス（水素・CO<sub>2</sub>）の販売など事業の形態・規模と、熱分解プロセスとの整合性（温度等）が重要である。

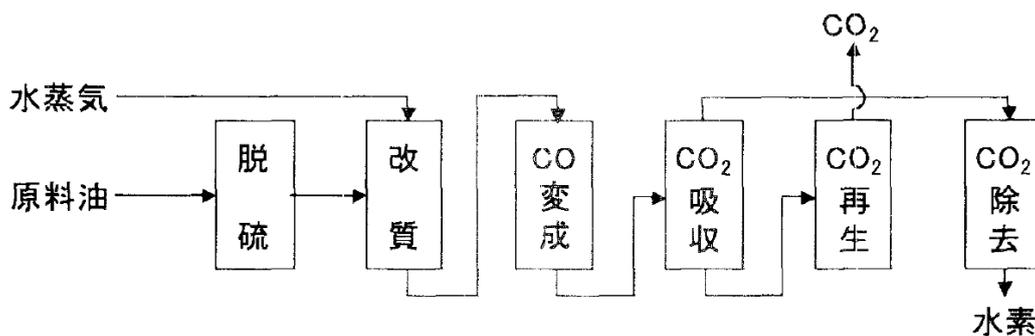


図 3.2.48 水蒸気改質法による水素製造工程

(出所) 「水素の製造と利用に関する最近の話題」水素エネルギーシステム

## (4) 導入事例

### 国内における熱分解ガス化の実績

固定価格買取制度における買取価格が 40 円/kWh（2,000kW 未満）となったことを契機に、ガス化技術が進展し、近年では海外技術の新規参入が多くなってきている。近年増えてきた小規模ガス化発電技術の例は下記のとおりである。

表 3.2.41 近年の小規模ガス化発電事例

名称	技術/サプライヤ	ガス化方式	備考
ブルクハルト Burkhardt	Burkhardt 社(ドイツ) /三洋貿易株式会社・シンエナ ジー株式会社	固定床式 独自 方式(上向並行 流型)	発電端出力 ユニット当たり 165 kW
AHT	AHT(ドイツ)/気仙沼地域開発 株式会社	固定床式独自 方式(上向並行 流と下向並行流 の混合型)	発電端出力ユニット当たり 400kW
SYNCRAFT	SYNCRAFT (オーストリア) /フォレストエナジー株式会社	二段式ガス化	発電端出力 250kW～ 400kW
BME G500	バイオマスエナジー株式会社	噴流式	発電端出力 480kW
高速内部循環流動層 (FICFB)	REPOTEC (オーストリア) /株式会社トーヨーエネルギー ソリューション・エジソンパワー 株式会社	二段式ガス化	発電端出力 2MW/5MW
Bubcok&WilcoxVolund (フェルト)	フェルト(デンマーク) JFEE・三機工業株式会社	アップドラフト	発電端出力 2MW
Spanner	Spanner Re2(ドイツ) /Spanner 株式会社	ダウンドラフト	発電端出力 45kW～2MW
Volter	Volter(フィンランド)/ボルター 秋田・フォレストエナジー	ダウンドラフト	発電端出力 40KW
BioMax	CPC (アメリカ) /シンテックジ ヤパン株式会社	ダウンドラフト	発電端出力 ユニット当たり 100～155kW
Urbas	コーレンス(オーストリア)/	ダウンドラフト	発電機出力約 100 ～ 200kW

(出所) 各種公開情報よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 2.2 熱利用

### ① 温水ボイラー設備

温水ボイラーは、燃料を燃焼させることで生成した蒸気と給水管の水とを熱交換させ、その温水を取り出す技術で、民生用や産業用に広く普及している。重油や天然ガスの他、チップやペレット等の木質バイオマス燃料も利用されている。以下にバイオマス燃料を利用した温水ボイラーの特徴や法規制などを記すが、詳細は以下の文献を参照されたい。

- 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「木質バイオマスによる産業用等熱利用をお考えの方へ」
- 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「地域ではじめる木質バイオマス（熱利用）」
- 林野庁「木質バイオマスボイラー導入・稼働にかかわる運用テキスト」<sup>7</sup>

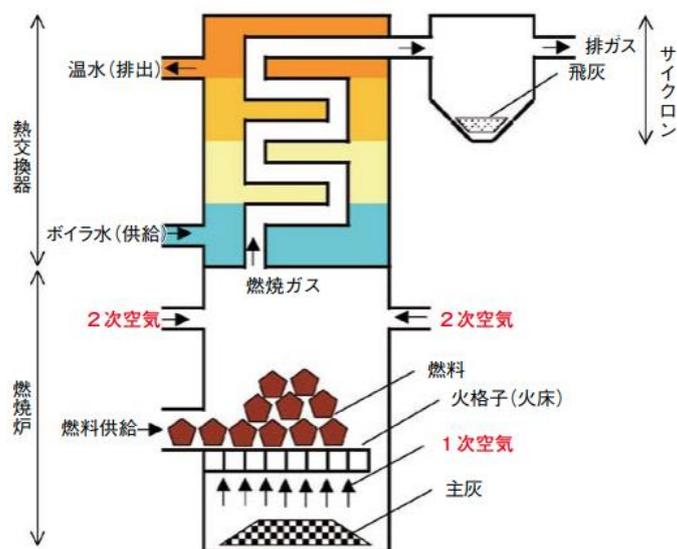


図 3.2.49 温水ボイラー模式図（炎管ボイラー）

（出所）林野庁「木質バイオマスボイラー導入・稼働にかかわる運用テキスト」

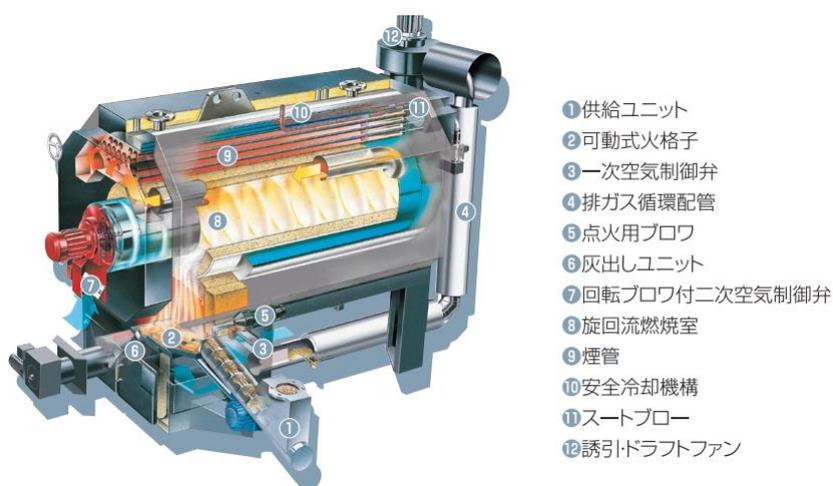


図 3.2.50 温水ボイラーの概観の例

（出所）株式会社ヒラカワホームページ<sup>8</sup>

<sup>7</sup> （国内事例集） <https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/250610biomass4.pdf>、  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/250610biomass5.pdf>

<sup>8</sup> [https://www.hirakawag.co.jp/pdf/product/13052-i-1908PYROT\\_200818.pdf](https://www.hirakawag.co.jp/pdf/product/13052-i-1908PYROT_200818.pdf)

## 各種方式

バイオマスボイラーには複数の種類があり、出力規模による分類では以下のとおり、200kW 未満を「小型」、200kW 以上 1,000kW 未満を「中型」、1,000kW 以上を「大型」として大別される。このうち、一般的に小型と中型が温水ボイラーの対象となる。また、蒸気ボイラーは中型および大型が対象となり、詳細は次項にて記載する。

小型ボイラーは、主に温水や暖房利用を目的として導入されることが多く、断続運転が基本となる。燃料はチップの水分が 35% 未満の乾燥木質チップが利用されている。

中型ボイラーは、温水、暖房の他、蒸気利用など様々な用途で、運転形態も断続運転、連続運転ともに機種により様々である。燃料は水分が 55% 未満の生チップでも対応可能である。

大型ボイラーは次項で示す蒸気利用が対象であり、連続運転が基本である。中型同様に生チップも利用可能である。

表 3.2.42 バイオマスを燃料としたボイラーの分類例

	小型	中型	大型
出力(kW)	200kW 未満	200kW 以上 1,000kW 未満	1,000kW 以上
用途	主に温水・暖房利用	温水・暖房・蒸気利用など様々	主に蒸気利用
燃料タイプ(水分)	乾燥木質チップ (チップの水分が 35% 未満)	生チップ(チップ水分が 55% 未満)でも対応可能。 一部乾燥木質チップ(チップの水分が 35% 未満)のボイラーもある	生チップ(チップの水分が 55% 未満)でも対応可能
運転形態	主に断続運転	断続運転・連続運転ともに存在	主に連続運転

(出所) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「地域ではじめる木質バイオマス(熱利用)」

バイオマスボイラーは燃料によっても分類可能であり、「薪ボイラー」、「チップボイラー」、「ペレットボイラー」の 3 種類がある。

その他、チップボイラーは内部構造および燃焼方式の違いでも分類されることがあり、「移動床式」と「固定床(火格子)式」に分かれる。

移動床式はチップが火床を移動しながら燃焼するため、炉内下部では乾燥した燃料が燃焼する特徴がある。出力は 100kW 以上と比較的大型が対象で、連続運転が前提となる。また、価格が割高ない傾向がある一方で、生チップなど高い含水率チップでも燃焼可能な利点がある。

固定床式は、移動床と異なりチップが移動せず、炉内乾燥ができないため、乾燥チップの利用が基本となる。水分の高いチップを投入した場合、必要な熱量が得られないばかりか鎮火してしまう場合がある。出力は 15kW 以上と小型からラインナップがあり、移動床式よりも価格が安い傾向がある。

このように、ボイラーの形式により要求させるチップの品質が異なることに留意する必要がある。したがって、調達可能なチップの品質からボイラーの機種を決定し、適切な設計とチップの品質管理を行う。

なお、チップの水分はボイラーにおける燃焼に不具合を引き起こすだけでなく、寒冷地では、水分の高いチップサイロ内で凍結してボイラー内への供給が停止するといった問題も発生している。そのような場合、ボイラーの廃熱を利用してサイロのチップを乾燥する等の対処が有効である。

表 3.2.43 バイオマスを燃料としたボイラーの分類例

	移動床式	固定床式
概観		
特徴	チップが火床を移動しながら燃焼するため、炉内下部では乾燥した燃料が燃焼する。 ・出力 100kW 以上 ・価格が割高 ・連続運転が前提(手動着火)	チップが移動せず、炉内で燃料は乾燥しない ・出力 15kW から ・移動床式に比べて小型で価格が安い ・自動着火
対応する水分	低～高 生チップ適応可能 (45% (w.b.)以上)	低 乾燥チップの使用が原則 (45% (w.b.)以上)

注) 一般的な特性を示しており、実際は燃焼炉の構造や燃料の性状等によっても特性が異なる。

(出所) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「地域ではじめる木質バイオマス(熱利用)」

## バイオマスボイラーと化石燃料系ボイラーの比較

### 化石燃料ボイラーとの比較

化石燃料ボイラーは、立ち上がりが早く、負荷変動に合わせて稼働できるが、**バイオマスボイラーは瞬時に出力を変化できない**。そのため、安定的な熱供給のためには蓄熱槽に蓄熱し負荷変動を吸収しながら運用することが必要となる。

バイオマスボイラーは化石燃料系ボイラーに比べ導入実績が少ないほか、**建屋およびサイロ等の付帯設備と併せると設備費が高くなる**傾向にある。さらに、バイオマスは化石燃料に比べ水分が多いこともあり、機種によっては燃焼効率も低い。一般的に化石燃料系ボイラーは90%以上の燃焼効率を達成可能だが、バイオマスボイラーの場合には高くても80%、状況によっては70%を切ることもありうる。

表 3.2.44 化石燃料ボイラーとバイオマスボイラーの比較

	化石燃料ボイラー	バイオマスボイラー
立ち上がり	○(早い)	△(遅い)
熱需要変動への調整力	○(高い)	△(低い)※蓄熱槽(貯湯槽)が必要
設備コスト	○(比較的安い)	△(比較的高い)
燃焼効率	○(高い:90%程度)	△～○(やや低い:70～80%) ※欧州製の固定量ボイラーでは94%の機種もある
燃料コスト(熱量あたり)	△(比較的高い)	○(比較的安い)

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

表 3.2.45 乾燥チップボイラーと生チップボイラーの比較

	乾燥チップボイラー	湿潤チップボイラー
要求される燃料の水分率	30%以下	50%～60%でも対応可
イニシャルコスト	○ ボイラー自体は量産型で低価格が多い、但し、規模により建屋、燃料庫のコストが割高になる傾向がある。	△ 機器自体も大きく頑丈でイニシャルコストが高い。
ランニングコスト (燃料費以外)	○ 比較的メンテナンスが容易。	△ メーカーにメンテナンスを依頼する部分もあり、高価になる傾向がある。
燃料費	△ 乾燥させる分燃料費は比較的高い。	○ 乾燥が不要のため燃料費は安い。
需要変動への対応力	△ 化石燃料と比較した場合、柔軟性は劣るが、蓄熱槽などにより対応可能。	× 基本的にはベースロードとして利用。負荷変動が大きいと、止めなければいけないことがある。

(出所) 各種資料よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 経済性の考え方

年間に必要な熱量を使用する木質バイオマス燃料の低位発熱量とボイラー効率で割り、1 kg あたりの木質バイオマス燃料費を掛けることで年間の木質バイオマス燃料費を算出できる。

**<バイオマス燃料コストの求め方>**

$$\text{年間の木質燃料費 (円)} = \text{年間に必要な熱量 (kWh)} \div \text{使用する木質燃料の低位発熱量 (kWh/kg)} \div \text{ボイラー効率} \times \text{木質燃料単価 (円/kg)}$$

そのうえで、年間の木質燃料費から化石燃料費と点検補修費を引いた分が年間の削減費用になり、機器のイニシャルコストとの費用対効果を検討する。バイオマスボイラーの運転コスト検討時には、以下の点を留意する必要がある。

- <バイオマスボイラーの運転コスト検討時に考慮すべきポイント>**

  - メンテナンスコスト (ユーザーメンテナンスコスト)
  - トラブルがあった際の復旧体制
  - 電気代
  - ボイラー効率
  - 排ガスの処理
  - 灰処理費

※ 薪の場合は人件費、保管コスト

## バイオマスボイラーのトラブル要因

バイオマスボイラーで生じるトラブルは、大きく分けて以下の4つに分類される。このうち、**規格外の燃料を使用してトラブルになるケースが多い**が、既存事例では事業者がコストの観点等の理由で、意図的に使用している場合も散見される。また、チップ中の灰分が伝熱管や排気筒にダストやタール、スス等が排気筒に付着して**効率低下や火災等の原因**になる場合もある。

### <バイオマスボイラーの主なトラブル要因>

1. 熱利用回路やチップ搬送システム等のシステム設計ミス
2. 規格外のバイオマス燃料（形状・サイズ、水分等）
3. 伝熱管へのダスト付着と効率低下
4. ユーザーに起因する運用上のトラブル（クリーニング等のメンテナンス不足、消耗品の交換頻度が長い、など）

## バイオマスボイラーの設計ミスの要因

バイオマスボイラーでは設計ミスが発生するポイントは主に以下の3つである。なお、初期不良に関しては、木質バイオマスボイラーに関わらず一定数は発生するので、発生した場合に、迅速に復旧できる体制を確立しておく。

### <バイオマスボイラーの設計ミスの要因>

#### その1 過剰な稼働時間

- 年間の稼働時間がメーカー推奨値以上であり、消耗品の交換頻度、故障が増える。

#### その2 燃料搬送系トラブル

- 使用するバイオマス燃料の規格を把握せず設計・導入したことで、燃料搬送機が燃料の規格と合わず詰まりの原因になる。
- バイオマス燃料に問題がなくても、ボイラーと燃料搬送機が異なるメーカーで作られて上手く搬送制御できないこともある。
- 燃料庫貯留場所からボイラーまでの、搬送距離が長く、搬送角度が急である、等の燃料搬送系の構造が複雑であれば詰まる閉塞の原因になる。

#### その3 蓄熱タンク槽、貯湯槽の規模

- 3年から5年前以上までの導入事例には貯湯槽だけで蓄熱タンク槽が設置されていない事例が多く見受けられる。
- 貯湯槽に温水を貯めておくことで、負荷変動に対応することができるが、木質バイオマスボイラーは立ち上がりが遅いので、貯湯槽の規模容量が小さいと負荷変動に対応できないことがある。
- そのため、立ち上がりも含め余裕を持って貯湯槽容量を選定する必要がある。また、蓄熱タンク槽を設けることで、給湯や加温、暖房等の負荷変動に柔軟に対応することもできるので、ボイラー規模も小さくできるので、適正な規模容量の蓄熱槽を設置することが望ましい。

国内のバイオマス燃料を利用した温水ボイラーの導入事例は林野庁「木質バイオマスボイラー導入・稼働にかかわる運用テキスト／木質バイオマスエネルギー利用事例集」<sup>9</sup>を参照されたい。また、木質バイオマスのボイラーメーカー一覧は一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会のホームページ<sup>10</sup>を参照されたい。

<sup>9</sup> <https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/250610biomass4.pdf>、<https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/250610biomass5.pdf>、<https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/250610biomass6.pdf>

<sup>10</sup> <https://www.jwba.or.jp/database/list-small-woody-biomass-boiler/>

## ② 蒸気ボイラー設備

蒸気ボイラーは、ボイラー中につないだ水管または煙管の周りを燃焼ガスで温めることにより、蒸気を発生させる設備で、基本的に産業用として導入される。重油や天然ガスなどを燃料としている場合が多いが、木質バイオマス燃料も利用されている。以下にバイオマス燃料を利用した蒸気ボイラーの特徴や法規制などを記すが、詳細は以下の文献を参照されたい。

- 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「木質バイオマスによる産業用等熱利用をお考えの方へ」
- 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「地域ではじめる木質バイオマス（熱利用）」
- 林野庁「木質バイオマスボイラー導入・稼働にかかわる運用テキスト」<sup>11</sup>

### 各種方式

蒸気ボイラーには複数の種類があり、形状による分類では「貫流／煙管／水管」の3つ大別される。

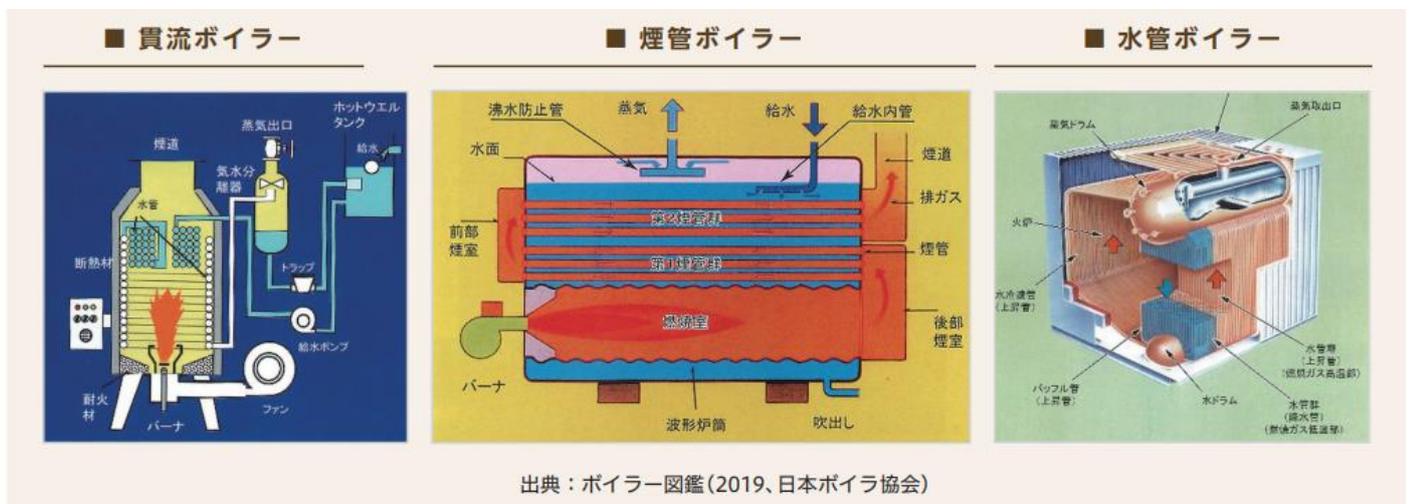


図 3.2.51 蒸気ボイラーの形状による分類

(出所) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「木質バイオマスによる産業用等熱利用をお考えの方へ」

貫流ボイラーは、水管のみで構成されており、燃焼ガスにより水管を加熱し、水管内の水を蒸気に変える仕組みとなっている。通常、約 1t/h 程度の蒸気出力であり、廃熱ボイラーとの組み合わせで増量が可能である。伝熱面積あたりの保有水量が大変小さいため、起動から必要な蒸気の発生までにかかる時間が短い利点を有する。

煙管ボイラーは、太い円筒形状の胴の中に煙管群を収めたもので、燃焼ガスを煙管内を通過させて、胴内の水を蒸気に変える仕組みとなっている。通常、約 1～15t/h 程度の蒸気出力である。伝熱面積あたりの保有水量が大きいため、起動から必要な蒸気の発生までにかかる時間が長いという欠点がある一方で、負荷変動に強い利点がある。

水管ボイラーは蒸気ドラム、水ドラムおよび多数の水管で構成されており、燃焼ガスにより水管を加熱し、水管内の水を蒸気に変える仕組みとなっている。通常、約 1～300t/h 程度の蒸気出力である。伝熱面積あたりの保有水量が小さいため、起動から必要な蒸気の発生までにかかる時間が比較的短い利点を有する。

<sup>11</sup> <https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/250610biomass4.pdf>、<https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/pdf/250610biomass5.pdf>

表 3.2.46 バイオマスボイラーの種類による負荷変動に対する特性

	貫流ボイラー	煙管ボイラー	水管ボイラー
仕組み	水管のみで構成されており、燃焼ガスにより水管を加熱し、水管内の水を蒸気に変える	太い円筒形状の胴の中に煙管群を収めたもので、燃焼ガスを煙管内へ通過させて、胴内の水を蒸気に変える	蒸気ドラム、水ドラムおよび多数の水管で構成されており、燃焼ガスにより水管を加熱し、水管内の水を蒸気に変える
蒸気出力	約 1t/h 程度(廃熱ボイラーとの組み合わせで増量が可能)	約 1～15 t/h 程度	約 1～300 t/h 程度
負荷変動に対する一般的な特性	伝熱面積あたりの保有水量が大変小さいため、起動から必要な蒸気の発生までにかかる時間が短い	伝熱面積あたりの保有水量が大きいため、起動から必要な蒸気の発生までにかかる時間が長い一方で、負荷変動に強い	伝熱面積あたりの保有水量が小さいため、起動から必要な蒸気の発生までにかかる時間が比較的短い

注) 一般的な特性を示しており、実際は燃焼炉の構造や燃料の性状等によっても特性が異なる。

(出所) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「木質バイオマスによる産業用等熱利用をお考えの方へ」

その他、電熱形態で分類した場合は、「対流／輻射／流動／」等の分け方がある。

設置位置による分類では、「燃焼炉一体型／燃焼炉別置型（排熱ボイラー）」等の分け方がある。ただし、日本には蒸気で一体型はバイオマスではほとんど事例がない。

循環方式による分類では、「自然循環／強制循環」等の分け方がある。

### 温水ボイラーと蒸気ボイラーの運転形態の違い

断続運転することのできる小型の温水ボイラーと違って、蒸気ボイラーは連続運転が基本となる。

一般的に、断続運転タイプのボイラーは、鋼鉄製の溶接・量産型で製造コストが安価である。一方、連続運転タイプは、耐火煉瓦による築炉のため製造コストが割高であり、大型設備向きといえる。ただし、低質の燃料に対応するので、燃料代を抑制することができる。

## バイオマス燃料を利用した蒸気ボイラーの導入事例

国内のバイオマス燃料を利用した蒸気ボイラーの導入事例は以下のとおりである。詳細は日本木質バイオマスエネルギー協会の「木質バイオマスによる産業用等熱利用をお考えの方へ 導入ハンドブック」を参照されたい。その他、林野庁「木質バイオマスボイラー導入・稼働にかかわる運用テキスト」にも事例集がある。

表 3.2.47 バイオマス燃料を利用した蒸気ボイラーの国内事例

業種	事業所名	所在地	導入年	ボイラー容量	ボイラー種	主な製品
食品	井村屋 本社工場	三重県津市	2015 年	7.5t/h (廃熱ボイラー含む)	貫流	肉まん、あんまん
	サーフビレッジ 山梨工場	山梨県塩山市	2007 年 2010 年	3 t/h	煙管	ミネラルウォーター
	太子食品工業 十和田工場	青森県十和田市	2009 年	4 t/h	煙管	豆腐、油揚げ
	カルビーポテト 帯広工場	北海道帯広市	2011 年	6t/h	水管	じゃがいもの菓子
	白松 浜御塩工房竹敷	長崎県対馬市	2011 年	1t/h	貫流	塩
	兼平製麺 本社工場	岩手県盛岡市	2007 年 2011 年	5.8 t/h	炉筒煙管	麺類
製紙	大王製紙 可児工場	岐阜県可児市	2004 年	117.5 t/h	水管	家庭紙 各種用紙、特殊紙
	大王製紙 可児工場 川辺製造部	岐阜県川辺町	2009 年	16.5t/h	水管	塗工紙
化学	DIC 北陸工場	石川県白山市	2018 年	2.5t/h	水管	合成樹脂
	ニプロファーマ 大館工場	秋田県大館市	2014 年	11t/h (廃熱ボイラー含む)	貫流	注射剤
繊維	セーレン 勝山工場	福井県勝山市	2016 年	10t/h	煙管	衣料品
クリーニング	マルセンクリーニング	北海道釧路市	2007 年	6 t/h	煙管	リネン クリーニング品
機械	リコー 環境事業開発センター	静岡県御殿場市	2016 年	700 kW (温水)	煙管	複写機等のリユースリサイクル
	コマツ 粟津工場	石川県小松市	2015 年	3,200kW	(不明)	建設機械
セメント	住友大阪セメント 栃木工場	栃木県佐野市	2005 年	- (直接加熱)	-	各種セメント

(出所) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「木質バイオマスによる産業用等熱利用をお考えの方へ」

### ③ バイオマスボイラーに係る法令対応

バイオマス燃料を利用した蒸気ボイラーに関する法規制は以下のとおりである。

表 3.2.48 バイオマスボイラーに関する法規制

法規の名称	概要	手続き	規制条件等
廃棄物の処理および清掃に関する法律	産業廃棄物の収集、運搬、処理を行う場合	許可	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 焼却能力 200 kg/h 以上、または火格子面積 2m<sup>2</sup> 以上</li> <li>・ 廃棄物を引き取って処理する事を業とする</li> <li>・ 破砕能力が 5t/日以上</li> </ul>
電気事業法	一定規模以上の発電施設の場合	許可届出	事業許可、電気工作物の届出、特定規模電気事業の届出、保安規定の届出、工事計画の認可等
エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）	エネルギーを一定以上利用する施設では有資格者が必要	届出	電力を 600 万 kWh/年以上または熱を原油換算で 1,500kl/年以上利用する施設(施設内での自家消費分は除く)
大気汚染防止法	一定規模以上の施設について規制値あり	届出	伝熱面積 10m <sup>2</sup> 以上、またはパーナ―燃焼能力重油換算 50L/h 以上
騒音規制法	一定規模以上の施設について規制値あり	届出	原動機の定格出力が 2.25kW 以上
振動規制法	一定規模以上の施設について規制値あり	届出	指定地域内の施設で定格出力 2.2kW 以上
特定工場における公害防止組織の整備に関する法律	公害防止統括者、公害防止主任管理者、公害防止管理者の選任	届出	<p><b>ばい煙発生施設</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①大気汚染防止法による「ばい煙発生施設」のうち、有害物質を発生させる施設(14 種類指定されている)を設置している工場</li> <li>②工場全体の「ばい煙発生施設」からの排出ガス量が 10,000Nm<sup>3</sup>/時以上の工場</li> </ul> <p><b>特定粉じん発生施設</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大気汚染防止法による「特定粉じん発生施設」</li> </ul> <p><b>一般粉じん発生施設</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大気汚染防止法による「一般粉じん発生施設」</li> </ul> <p><b>汚水等排出施設等</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水質汚濁防止法による「特定施設」のうち「汚水等排出施設」(として指定されている 74 種類の施設)が設置されている工場の中で</li> <li>①有害物質を排出する施設を設置している工場</li> <li>②排出水量が 1,000m<sup>3</sup>/日以上の工場</li> </ul> <p><b>騒音発生施設</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①機械プレス(呼び加圧能力が 100t 以上のもの)</li> <li>②鑄造機(落下部分の重量が 1t 以上のハンマー)</li> </ul> <p><b>振動発生施設</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①液圧プレス(矯正プレスを除く。呼び加圧能力が 300t 以上のもの)</li> <li>②機械プレス(呼び加圧能力が 100t 以上)</li> <li>③鑄造機(落下部分の重量が 1t 以上のハンマー)</li> </ul>
労働安全衛生法	一定規模以上のボイラーがある場合	届出	貫流ボイラー伝熱面積 5m <sup>2</sup> 超え 10m <sup>2</sup> 以下
消防法	燃料貯蔵量が一定数量以上の場合	届出	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 指定可燃物 10m<sup>3</sup> 以上の燃料保管</li> <li>・ 外部への指定可燃物の表示と保管場所に消火器類を常備</li> </ul>
熱供給事業法	他施設へ一定規模以上の熱供給を行う場合	許可	21GJ/h 以上 (=5,834kW=502 万 kcal/h 以上)
水質汚濁防止法	水質汚濁に関する規制値	届出	<ul style="list-style-type: none"> <li>①特定施設を設置する事業場等(特定事業場)から公共用水域に排出される水</li> <li>②有害物質使用特定施設から地下に浸透する汚水等を含む水(特定地下浸透水)</li> <li>③貯油施設等を設置する事業場から事故により排出される油以上の 1~3 に該当する事業所等はこの法律の適用を受ける</li> </ul>

(出所) 林野庁「木質バイオマスボイラー導入・稼働にかかわる運用テキスト」等よりみずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社作成

## 労働安全衛生法に関する留意事項

労働安全衛生法では、ボイラーは、以下に示す通り規模などによって「簡易ボイラー、小型ボイラー、ボイラー」という区分がなされ、その順番に段階的に規制が厳しくなり、ボイラー取扱者の要件が変わる。

### 温水ボイラーの区分

木質バイオマス温水ボイラーは、労働安全衛生法によりその区分が規定されており、これまでは危険性が最も高い「ボイラー」または危険性が中程度の「小型ボイラー」の区分が適用されていたが、令和 4 年 3 月 1 日より一定の規格以下の木質バイオマス温水ボイラーについて危険性が最も低い「簡易ボイラー」となり規制が緩和される。

欧州では、高温にならず爆発の危険性も低いことから、温水ボイラーは日本の簡易ボイラーと同等程度の規制となっている。日本の現行のボイラー規制は欧州と比較し基準が厳しく、小型ボイラーであっても資格保有者の配置や設備の設置報告等が必要であった。このような背景から、バイオマス燃料を活用したバイオマスボイラー普及のため規制の見直しが行われ、以下のいずれかの規格に当てはまるボイラーについて、簡易ボイラーの区分が適用されることとなった<sup>12</sup>。

- (1) ゲージ圧力 0.1MPa 以下の木質バイオマス温水ボイラーで、伝熱面積が 16 m<sup>2</sup>以下のもの
- (2) ゲージ圧力 0.6MPa 以下 かつ 100℃以下で使用する木質バイオマス温水ボイラーで伝熱面積が 32 m<sup>2</sup>以下のもの

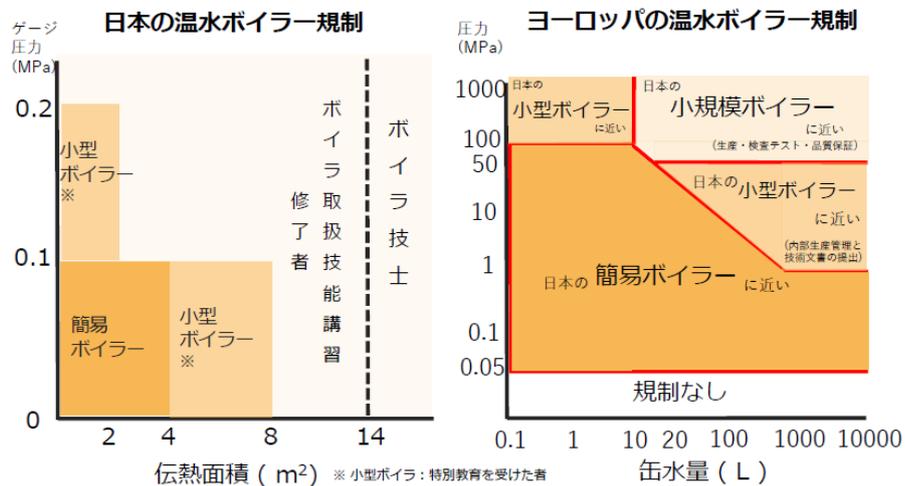


図 52 日本および欧州における温水ボイラー規制

(出所) 日本木質バイオマスエネルギー協会「木質バイオマス温水ボイラーに関する規制緩和等」「木質バイオマス熱利用(温水)計画実施マニュアル(仮称)の作成」に関する報告

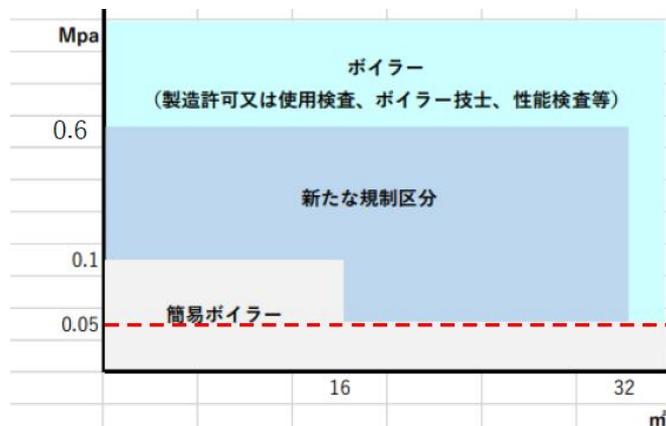


図 53 木質バイオマス温水ボイラーに対応する新たな規制区分(案)

(出所) 同上

<sup>12</sup> 労働安全衛生法施行令の一部を改正する政令案及び簡易ボイラー等構造規格の一部を改正する件の施行について <https://www.mhlw.go.jp/hourei/doc/hourei/H220221K0020.pdf>

また、令和 4 年 10 月より、大気汚染防止法におけるボイラーの規模要件が改正される。バイオマスを燃料とした場合、他の燃料と比べ伝熱面積が広がる場合が多く、これまで規制対象となりやすく公平でないという要望を踏まえ、伝熱面積の規模要件が撤廃され要件は燃料の燃焼能力のみとなる<sup>13</sup>。

### 蒸気ボイラーの区分

蒸気ボイラーは(Ⅰ)最高使用圧力と電熱面積による区分、(Ⅱ)胴の内径と長さによる区分、(Ⅲ)開放管またはゲージ圧力 0.05MPa 以下の U 型立管を蒸気部に取り付けたものによる区分で、以下の図のような分類がなされる。

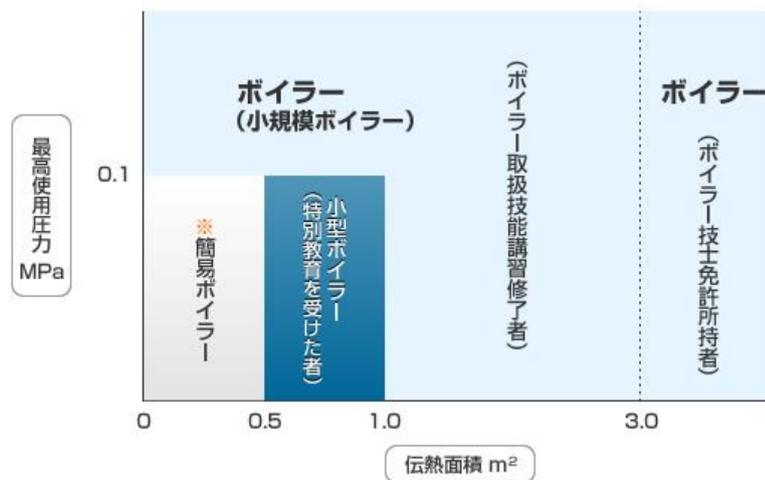


図 3.2.54 蒸気ボイラーの最高使用圧力と伝熱面積による区分

注 ※「簡易ボイラー」には伝熱面積にかかわらず、使用圧力 $\leq 0.3$ MPa、かつ、内容積 $\leq 0.0003$ m<sup>3</sup>のボイラーが含まれる。  
(出所) 一般社団法人日本ボイラー協会ホームページ



図 3.2.55 蒸気ボイラーの胴の内径と胴の長さによる区分

注 ※「簡易・小型ボイラー」の場合は、ゲージ圧力 0.1MPa 以下で使用する場合に限る。

<sup>13</sup> 環境省 HP 「大気汚染防止法施行令の一部を改正する政令の閣議決定について」 <http://www.env.go.jp/press/110025.html>



図 3.2.56 開放管またはゲージ圧力 0.05MPa 以下の U 形立管を蒸気部に取り付けたものによる区分  
(いずれも内径 25mm 以上)

(出所) 一般社団法人日本ボイラー協会ホームページ

表 3.2.49 蒸気ボイラーの労働安全衛生法の対応事項の概要

施設の種類	義務づけられている内容 (下線部は許可、届出等)	ボイラーの取扱者に係る規制
簡易ボイラー	<b>【導入時】</b> ・構造規格の遵守 〈法第 42 条、簡易ボイラー等構造規格〉	ボイラー取扱者：資格は不要
小型ボイラー	<b>【導入時】</b> ・構造規格に基づく製造 〈法第 42 条、小型ボイラー及び小型圧力容器構造規格〉 ・製造時または輸入時に個別検定の受検 〈法第 44 条、施行令第 14 条〉 ・設置後の設置報告【事後】 〈安全規則第 91 条〉 <b>【運用時】</b> ・定期自主検査(年 1 回) 〈法第 45 条、施行令第 15 条、安全規則第 94 条〉	ボイラー取扱者：「特別教育を受けた者」以上〈安全規則第 92 条〉
ボイラー	<b>【導入時】</b> ・製造許可【事前】 〈法第 37 条、施行令第 12 条〉 ・製造または輸入、設置等の各段階での検査 (溶接検査、構造検査、落成検査) 〈法第 38 条、安全規則第 5 条・第 7 条、第 14 条〉 ・設置届【事前】 〈法第 88 条、安全規則第 10 条〉 <b>【運用時】</b> ・登録性能検査機関による性能検査(年 1 回) 〈法第 41 条、安全規則第 12 条〉	・ボイラー取扱者：ボイラー技士※〈法第 61 条、施行令第 20 条、安全規則第 23 条〉 ・ボイラー取扱作業主任者 (ボイラー技士※)の専任が必要 〈法第 14 条、施行令第 6 条、安全規則第 24 条〉

注 1) 「法」は安全労働衛生法、「施行令」は労働安全衛生法施行令、「安全規則」はボイラーおよび圧力容器安全規則を示す。

※小規模ボイラーに該当すれば、「ボイラー取扱技能講習終了者」でも可。

(出所) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「地域ではじめる木質バイオマス(熱利用)」

## 建築基準法、ダイオキシン類対策特別措置法

その他、建築基準法、ダイオキシン類対策特別措置法等の規制もある。

表 3.2.50 蒸気ボイラーの建築基準法の対応事項の概要

施設の種類の種類	規模等の要件	義務づけられている内容
建築物に設ける煙突	煙突全般 〈施行令第 115 条〉	【導入時】 ・構造に係る規定の遵守 〈施行令第 115 条〉
工作物 (煙突、サイロ)	・高さが 6m を超える煙突 ・高さが 8m を超えるサイロ 〈施行令第 138 条〉	【導入時】 ・技術的基準の遵守 〈法第 20 条、施行令第 139 条〉 ・工作物に係る各種規定 〈法第 88 条〉

(出所) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「地域ではじめる木質バイオマス(熱利用)」

表 3.2.51 蒸気ボイラーのダイオキシン類対策特別措置法の対応事項の概要

法規名称	施設の種類の種類	規模等の要件	義務付けられている内容(下線部は許可、届出等)
ダイオキシン類対策特別措置法	特定施設(廃棄物焼却炉)※バイオマスボイラーの燃料廃棄物扱いとなった場合に適用	焼却能力 50kg/h 以上または火床面積 0.5m <sup>2</sup> 以上 廃棄物焼却炉〈DXN 特措法施行令第 1 条〉	【導入時】 ・特定施設設置の届出 【事前】 〈DXN 特措法第 12 条〉 【運用時】 ・排出基準に適合しない排出ガス等を出してはならない 〈DXN 特措法第 20 条〉 ・排出ガス等のダイオキシン類による汚染の状況の測定(年1回以上) 〈DXN 特措法第 28 条〉

(出所) 一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会「地域ではじめる木質バイオマス(熱利用)」