



第3章 熱需要の把握

木質バイオマスボイラーは化石燃料と大きく異なり、急激な出力調整が苦手です。また、一定の出力以上で運転することが前提です。

毎朝起動して毎晩停止するような運転パターンをDSS運転（Daily Start and Stop：日次発停）と呼びますが、木質バイオマスボイラーは基本的に、DSS運転には向いていません。木質燃料は着火と出力上げに時間がかかるうえ、発停時の不完全燃焼の排気管理が難しく、毎日の温度変化で炉内の耐火レンガが徐々に傷むなど、コストと環境、管理の面で問題が多いからです。

つまり、木質バイオマスボイラーは一定の出力以上で連続運転することがふさわしく、できるだけベース・ロード（定常負荷）に近い形で運用するよう設計することが肝心です。

設計に際しては、こうしたバイオマスボイラーの特性を踏まえて、ボイラーと貯湯槽の大きさを考えることが特に重要となってきます。だからこそ、バイオマスボイラーの計画においては、熱需要を的確に把握する必要があります。

本章では、熱需要をどう把握し、分析したらいいかについて解説します。

I. 化石燃料ボイラーとの違い

(1) 出力調整ができるか

まず技術面から、化石燃料ボイラーと木質バイオマスボイラーでは、図表 3.1 のように本質的に大きな違いがあります。

図表 3.1 化石燃料とバイオマス燃料とのボイラーの特性の違い

側面	化石燃料	木質燃料
燃料形態	バーナーで微粒化噴射（石油・石炭）され、良好に空気と混合	大きさと熱量を塊で持つ固体燃料
燃焼のしかた	火室に噴射されながら瞬時に完全燃焼	表面から内部へ燃焼進行。一次燃焼（ガス化）と二次燃焼（完全酸化）
火室と燃焼形態		火格子上を時間かけて順次移動。火室内に燃料の滞留量がある
火室壁	水管や炉筒煙管など、火炎を囲む鉄等から直接水に伝熱	燃焼専用の耐火物壁（伝熱は後段）



これら特性の違いから、熱源としての木質バイオマスボイラーの使い勝手は、石油・ガスとは全く異なってきます。木質に固有の制約を十分に踏まえておかないと、図表 3.2 のような失敗につながってしまいます。実際に、このようなことは国内では頻繁に起こっています（第 8 章参照）。

図表 3.2 木質バイオマスボイラーの特性と国内における失敗事例

木質バイオマスボイラーの特性・制約	失敗の例
出力変動や起動停止は時間がかかり、容易にできない	その時々需要对し過大・過小な出力で無駄の多い燃焼
低出力では、不完全燃焼になる。制御された燃焼が維持できない	黒煙の排出、タール・ススのボイラー内・煙道への付着
出力の変動速度に上限があり、緩やかな変化を必要とする	耐火物の早期劣化・破損

これらへの対処としては、以下の二つがあります。

- ①どのような負荷変化があるか、即ち時間帯毎にどのような熱の使われ方をしているかを知り、貯湯槽を入れる等で、木質バイオマスボイラーの急な負荷変動を減らすこと。
- ②夜間や休日、春夏秋など、熱負荷の低い時間パターンや長さを知り、木質バイオマスボイラーが最低出力以下にならない範囲で連続運転できるよう、ボイラーと貯湯槽の組み合わせ等とすること。

(2) 稼働率が容量か

もう一つの大きな違いは、容量を中心に設計するか、稼働率を中心に設計するかです。図表 3.3 のように、初期投資とランニングコストが、化石燃料とバイオマスではまったく対照的です。このため、設計の考え方もがらっと変わります。

図表 3.3 化石燃料と木質燃料の初期投資と燃料費の違い

	設備初期投資	燃料費	設計の中心観点
化石燃料	安い (業務用でも数百万)	高め、高騰懸念	十分な容量 (ピーク対応、バックアップ)
木質燃料	高い (業務用で数千万～億) ただし、欧州では日本のコストの5分の1以下	相対的に安め	相対的に安い燃料を使って稼働率を高める(投資回収)



たとえば、出力調整が容易な化石燃料ボイラーの場合は、最大負荷を把握して、大きめの容量を入れればすみました。ボイラーの価格も安いので、それでも大したコスト増にもなりません。ところが、バイオマスの場合は、燃料は割安ですが、ボイラーの設備費が高いため、その容量は抑えめにして、稼働率（設備利用率）を高めることが求められます。だからこそ、丹念な熱需要の情報収集と、より細やかな設計や経済計算が求められるのです。

II. 熱需要の内訳

(1) 熱需要の把握と設計の論点

熱需要とは、ユーザーがいつどれだけ熱を使うか、ということです。木質利用において必要な情報は、その内訳や様々な特性です。例えば熱の用途、温度帯、消費率、使用時間、消費率の変化や分布、伝熱方法など多岐に亘ります。

図表 3.4に、設計にて考えなければならない論点と、掘り所とする熱需要のデータを示します。

図表 3.4 熱需要の内訳と設計上の論点

熱需要内訳	設計論点	設計での検討例
年総需要	・ 機器サイズ (容量)	年間の単純平均の需要（消費率）を設備の出力とすると、理論的には稼働率100%となるため、一つの目安とする
月別需要 (季節 パターン)	・ 機器サイズ (容量) ・ 最低稼働	通年稼働できる分と、冬など季節のみ稼働できる分が分かる。冬など需要の多い季節は、月別単純平均が、その季節の稼働率100%となり、一つの目安とする また、低需要の時期と期間を見て、最低稼働への対策を決める
日次需要 (時間帯 パターン)	・ 平準化、 機器サイズ (初期費用)抑制 ・ 最低稼働	24時間の中で、負荷の高い時間と低い時間をにらみ、木質バイオマスボイラーの出力と貯湯槽、一部化石燃料ボイラーの組合せで、木質バイオマスボイラー出力を抑えながら負荷のカバーを計画する。また、夜間など最低稼働の長さ等を見て対策を決める
需要強度の 頻度分布	・ 経済性、稼働率 ・ 化石燃料との 組合せ	需要の強度（熱負荷の高さ）の時間が年間何時間出現するかを分析する。最も高い熱負荷の発生頻度が低ければ、化石燃料にその部分は任せる、などの定量的な判断を行う
用途	・ ピーク抑制、 稼働率	特定用途の熱負荷のピークがある場合、それ用の貯湯槽などの対策を考える
温度帯	・ 省エネ、 ランニング 経済性	利用温度帯に合わせて、低めに熱を作る方がエネルギー効率は上がりランニング費用は下がる。実際には安全幅を大きくとり、必要以上に温度帯を上げる事例が観察される
現場状況	・ 需要側省エネ	浴槽に夜間はふたを掛けるなど、木質の熱供給の前に、省エネで熱需要を絞る



過去においては、このような熱需要の分析をせずに設計が行われ、結果として過剰設備や、燃料種とボイラー種の不適合による問題などを引き起こしてきています。ユーザーとしては、熱需要の調査分析をして、上記のような論点を踏まえての設計提案や協議を求めることが、失敗しないための防衛手段になります。

(2) 熱需要分析と設計の例

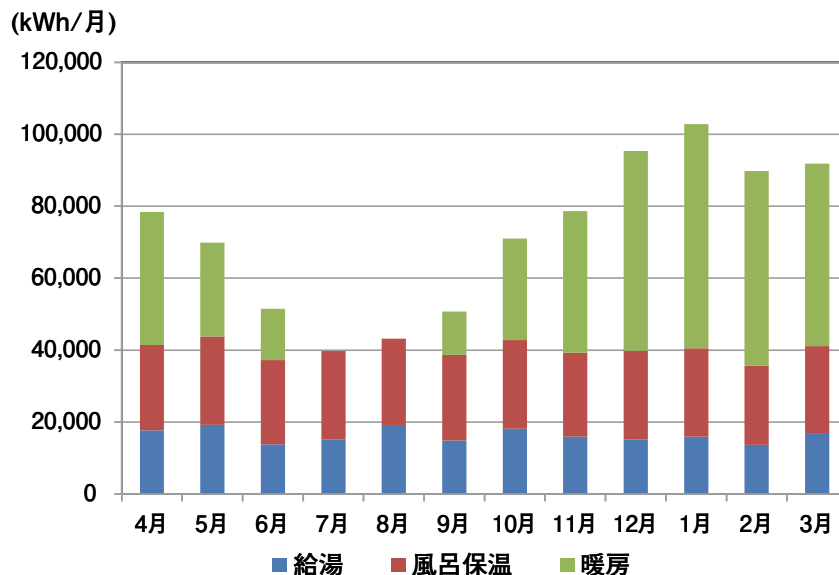
熱需要の分析の例として、北海道の温泉宿泊施設の概要をご紹介します。

図表 3.5 モデル温泉宿泊施設の概要

施設概要	建物	900m ²	客室	18室
	レストラン	48席	温泉営業時間	11～21時
温泉のみ利用客	平日	45～96人/日	休日	平日の倍
最大負荷	暖房	198kW	冷房	113kW
年間負荷	暖房	39万kWh	冷房	3万kWh

施設のデータと立地・気象データ等から試算しました、月別熱需要を図表 3.6に、夏季と冬季の1日の時間帯別熱需要を図表 3.7～図表 3.9に示します。

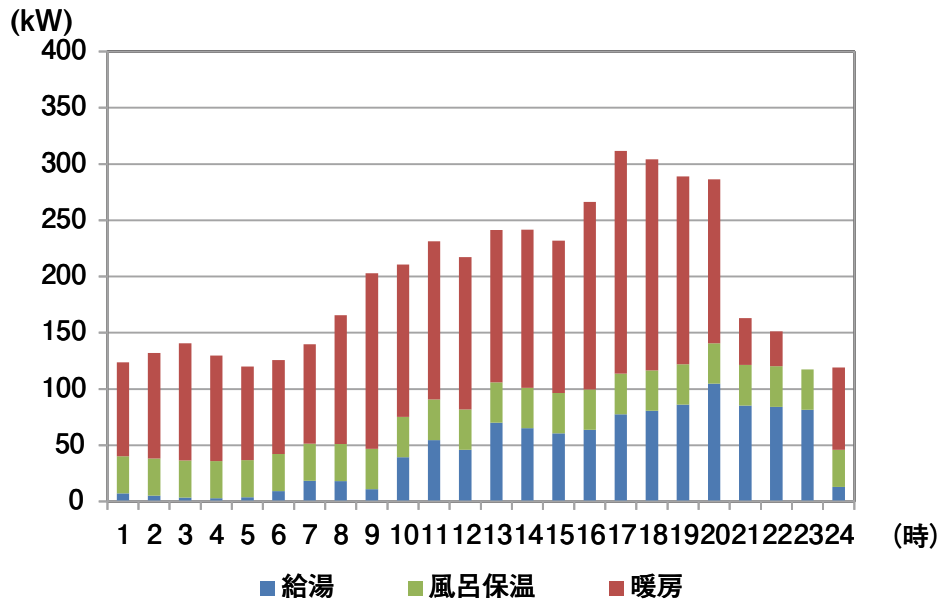
図表 3.6 月別熱需要



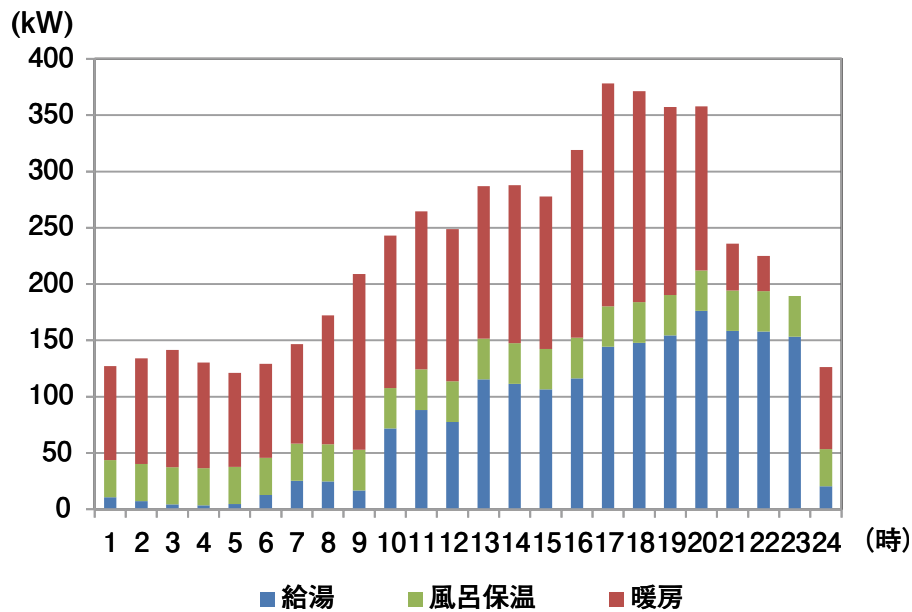
給湯と風呂保温のため熱が恒常的に必要で、通年の熱需要が比較的あります。



図表 3.7 時間別負荷 (冬季平日)



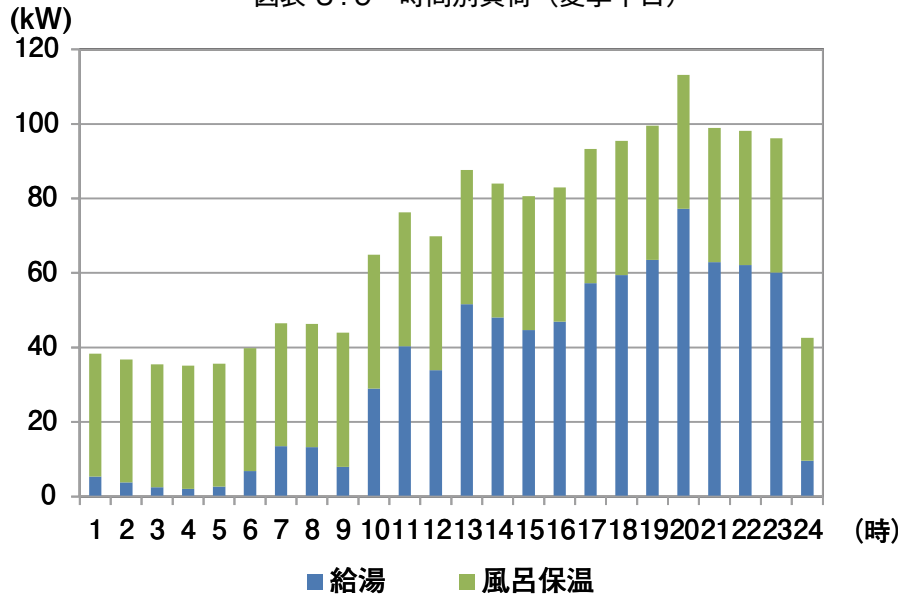
図表 3.8 時間別負荷 (冬季休日)



冬は暖房負荷が晩の時間を除き大きく、次いで給湯負荷が10時～23時台に大きいのが分かります。縦軸は時間当たり必要熱量です。休日は客数が増え、負荷が増えます。平均すると平日が194kW、休日が228kW、最大負荷は378kWです。



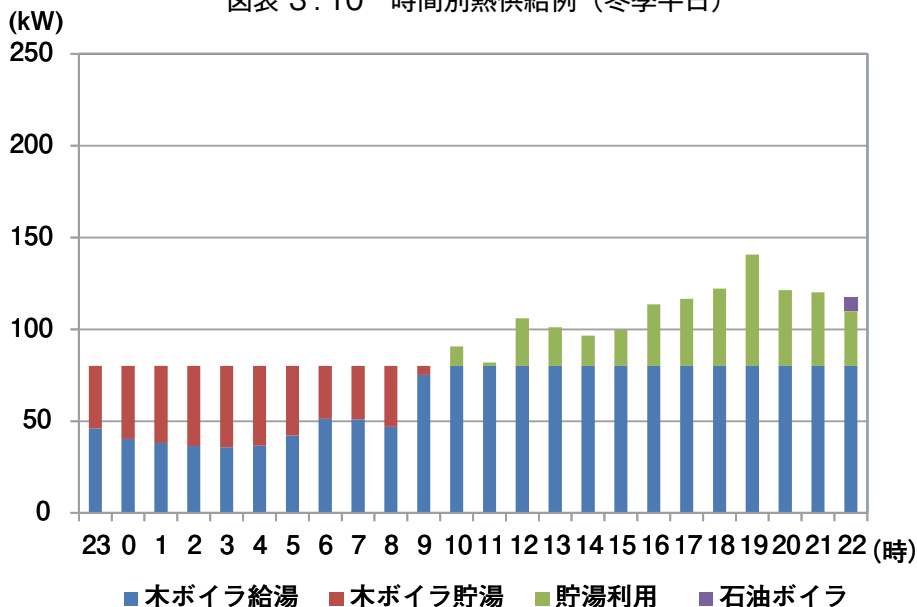
図表 3.9 時間別負荷 (夏季平日)



本施設では夏季の平日が、年間で一番負荷が少ない期間です。夏季平日平均68kW、最小負荷は35kWです。

例として、本施設の給湯（と風呂保温）を木質バイオマスボイラーで行うと計画いたします。日中の大きな熱需要（ピーク負荷）に木質バイオマスボイラーの容量を合わせると、設備が大きめで高額になりますから、夜の負荷の少ない時に熱湯を作り貯湯槽に貯めて昼に熱を放出することを考えます（図表 3.10）。

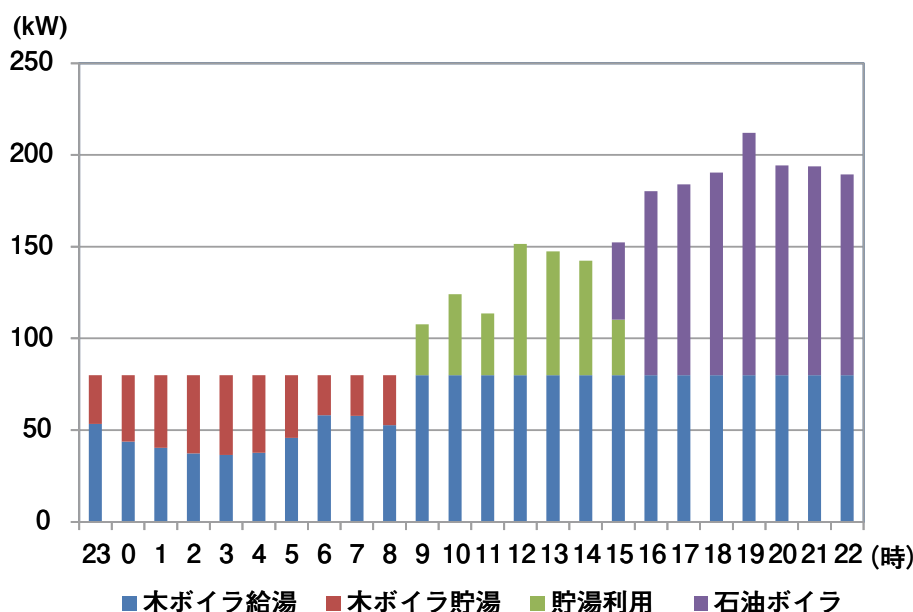
図表 3.10 時間別熱供給例 (冬季平日)





最大需要に対して約140kWの熱供給能力が必要なところ、夜間の貯湯により、木質バイオマスボイラーの能力は80kWで済んでいます。夜間の貯湯熱量が累積で380kWh程度必要ですので、例えば43℃の利用温度に対して85℃で貯湯すると、温度差×水の熱容量より、貯湯槽の必要容量は7.8t以上と計算されます。

図表 3.11 時間別熱供給例（冬季休日）



次に、約1.5倍の熱需要となる休日への対応例です。

平日で計算した木質バイオマスボイラー容量と貯湯量で供給していくと16時台に熱供給が足りなくなるため、そこから23時台までを化石燃料のボイラーで補っていく計画としています。休日のみですので、化石燃料の消費は全体の量としてはさほど大きくはなりません。

以上のように、貯湯槽及び化石燃料ボイラーとの組合せにて、木質バイオマスボイラーの稼働率を高めることができます。(モデル例ではありますが、この例では冬100%、夏75%)

Ⅲ. 熱需要把握の実務

熱需要は一般に計測されていないことがほとんどのため、把握することは容易ではありません。限られた手がかりから如何に実像に迫るかは、色々な工夫を要します。

(1) 石油・ガス・電気のデータを用いる

新築建物などでの新たな熱需要であれば、従来から設備計画の中で熱負荷計算は行われていますので、設計士からのデータを活用できます。

ただし、実際には既存建物の化石燃料消費を木質の熱で置換えるケースが多く、その場合、新築時の熱負荷計算はされていなかったり、資料が残っていないケースがほとんどです。このため、熱需要の把握は、現状のエネルギー消費量、即ち石油・ガス・電気のデータをスタートとして用います。

石油・ガス・電気の金額は、ほぼどこでも月単位にて把握されており、伝票を見れば数量を拾えます。熱対策を行う対象は一部の建物なのに対し、それら費用支払は事業所全体であるなど、利用解釈の難しいデータの場合もあります。できる限り分けられ内訳のあるデータを使います。

(2) 実測する

状況が許される限りは、熱需要、即ち既存熱源の負荷の実測を行うのが良いです。すべての季節にわたり実測することは困難ですが、少なくとも平日と休日などサンプル日のデータを採ることは、時間帯別の熱需要の内訳・パターンを知る大きな手がかりになります。

計測方法の例としては、管の外に取り付ける非破壊型の流量計と、往きと還り管の断熱被覆の下に潜らせる熱電対をセットし、データロガーで記録します。ある程度の器材投資はかかりますが、設計や経済計算の信用度が上がりますので、有益と言えます。

(3) 内訳を推測する

熱需要データは不完全なので、それを補完し、熱需要の特性を理解して設計への応用を考えるために、理論的な分解と解釈をします。例えば月々の消費量をグラフ化すると、季節変動から熱の用途や内訳が推計できるようになってきます。中間期と呼ばれる春や秋の暖房の始まる前の月を基準にして、11月～3月に消費量が増える分との差を出せば、その分はおおよそ暖房の熱需要と推測できます。

また、新築で行われる熱負荷計算を応用して、対象建物の仕様を置いて計算してみることも、内訳の推測につながります。例えば事務所の暖房であれば、窓・壁等から熱の漏れる負荷、換気で熱が漏れる負荷、人や機械による発熱分、が内訳です。それら理論的分析をしながらも、実データを参照しながら現実性を確認します。



(4) 温度帯を整理する

浴槽とタンクに貯める給湯や産業用途では、それぞれに必要なとする温度帯が違います。資料やヒアリングで把握できることが大半です。必要とされる温度に対してある程度の温度差をもって供給することは物理的に必要ですが、その余裕度を大きすぎないように設定すると、ボイラーの熱効率が上がり省エネになります。また、排熱を有効利用できることは意外に多いもので、場合によってはかなりの省エネになります（例えば、蒸気を利用したあと捨てていたドレンの熱回収をし補給水の予熱に充てると10%の省エネになるなど）。それらの機会は温度帯の整理から生まれます。

(5) ヒアリングで補完する

限定的な実在データを補完するのに、ヒアリングで題材集めをします。ユーザーの熱の使い方を多面的に聞き取ります。その1つは営業時間や運転時間、利用人数、休日、稼働率等の施設の営業に関わる情報です。もう1つは必要温度や給水温度、外気温度等の運転設定条件などです。これに、例えば風呂であれば夜間ふたやカバーをしているかなどの現地確認を組み合わせ、省エネルギーの可能性を総合的に把握します。

IV. まとめ

化石燃料ボイラーと木質バイオマスボイラーでは、技術面と経済面が大きく違うため、木質バイオマスボイラーを有効に設計するには、熱需要の内訳の把握分析が大事です。ユーザーがそれら論点について把握していれば、過剰設備や不適合な設備を売り込まれることへの防衛になります。熱需要から設計を行っていくと、運転方法から経済計算まで、専門家でないユーザーでも、なぜそうするのか意味が分かるようになります。

また、貴重な木質資源を燃やす前に、省エネをして消費を減らすのが先です。熱需要をいくつかの面から見える化すると、「もったいない」ところがあぶり出され、省エネ・低コストで持続可能な木質利用の第一歩にできます。

第4章 燃料の特徴と品質

木質バイオマス燃料は、薪やチップ、ペレットなど種類も多く、さらには同一の種類でも、形状や水分が様々で、品質にばらつきがあるのが大きな特徴です。このため、木質バイオマスは、種類、品質によって使うボイラーなどの燃焼機器も異なってきます。

この点、木質バイオマスは、品質が一定でボイラーの選定が容易な、都市ガスや灯油・重油などの化石燃料の延長で考えることはできません。ボイラーや燃料供給装置に適合しない形状や水分の燃料を投入すると、定格出力が出ない、鎮火してしまう、燃料供給装置が詰るなど、化石燃料にはなかったトラブルが起きやすくなります。

もっとも、最近ではイノベーションも進み、自動燃焼など、バイオマスボイラーの利便性も大幅に高まってきています。したがって、これらの特性をよく理解したうえで、燃料とボイラーの組み合わせを決め、適切に運営していけば、木質バイオマス導入のメリットを十分に引き出すことができます。

本章では、木質バイオマス燃料の種類を整理したうえで、品質確保で最も重要な水分について解説し、次いで木質バイオマスの一般的な利用形態である、薪、チップ、ペレットの種類別について解説します。

I. 木質バイオマス燃料の種類と品質

(1) 燃料の種類

燃料は森林から直接産出する燃料と、木材加工から生じる端材・木屑、あるいは産業廃棄物由来の燃料に大きく二分されます。

森林から直接産出する燃料は、木材生産に伴う林地残材といった副産物利用が中心となります。

他方、木材加工過程から産出する燃料は、無垢材の製材端材を加工した燃料、集成材の表面加工に伴う接着剤などが付着した燃料、あるいは土木や建築廃材を原料とした燃料があります。なお、製材などの加工過程や産業廃棄物由来の原料は、既存の取引が行われていることが多く、量的な確保は困難な場合があります。

以下に、主な木質燃料の種類と特性を整理します。



図表 4.1 主な木質燃料の特性

種 類	特 性
薪 	<ul style="list-style-type: none"> ・大割り、丸薪、小割り、粗朶、柴などがある ・樹木の幹、枝、梢、根を切って割ります。また、小木・枝・柴を束ねて使用する ・木質燃料の中では容易に加工でき、自家生産も可能 ・ストーブやボイラーの燃料として利用されている ・燃料として質を左右するのは水分、樹種、サイズ ・ボイラーへの投入は人力となる
チップ 	<ul style="list-style-type: none"> ・切削チップ、スクリュウ切削チップ、破砕チップがある ・木材を細かくする機械を使ってチップにする ・ペレットより安価なため、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ている ・ボイラーシステムの違いで、適合するチップの形状・水分が変わる ・ボイラーへの自動投入、自動運転が可能
木質ペレット 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホワイト・ペレットなどがある ・製材など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型してペレットにする ・ストーブやボイラーの燃料として利用されている ・燃料密度が高いため、保管施設が小規模 ・大きさが均一で、木質燃料の中で最も扱いやすい ・生産工程が複雑なため、薪、チップと比べて高価 ・ボイラーへの自動投入、自動運転が可能
おが粉 	<ul style="list-style-type: none"> ・おが粉、かんな屑がある ・製材などの加工過程で発生する副産物および残余物 ・製材工場の乾燥用ボイラーなど専用の比較的大きなボイラーに利用されている ・ペレットの原料になり、家庭用ストーブの燃料としても利用される。また、ブリケットの原料にもなる ・通常は幹から発生する材なので土砂の混入は少ない ・畜産の敷藁の代替品として引き合いがある
樹皮 	<ul style="list-style-type: none"> ・樹皮（バーク） ・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 ・水分が55~60% (w.b.) と高いため、特別な燃焼炉や火力発電の混焼燃料として利用される
廃材 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・直接燃料とする場合と、チップ、ペレットの原料になる ・熱供給や発電ボイラーの燃料として利用されている ・水分は少なく10~15% (w.b.) 程度 ・ペンキ、接着剤、防腐剤、金属、ゴム、プラスチックなどの残余物が付着していることが多く、ボイラーへの影響があり、燃焼灰を産業廃棄物として処理する必要がある ・なお、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



(2) 水分と熱量の関係

木質燃料の発熱量は、図表 4.2 に示すとおり水分が高いほど低くなります。これは、燃料中に含まれる木質部分が少ないことがほとんどの理由ですが、加えて燃料中の水分を蒸発させるのにも熱が使われるためです。このため、同じ重さの燃料を燃焼させた場合、燃料に含まれる水分で得られる熱量に差が出ます。

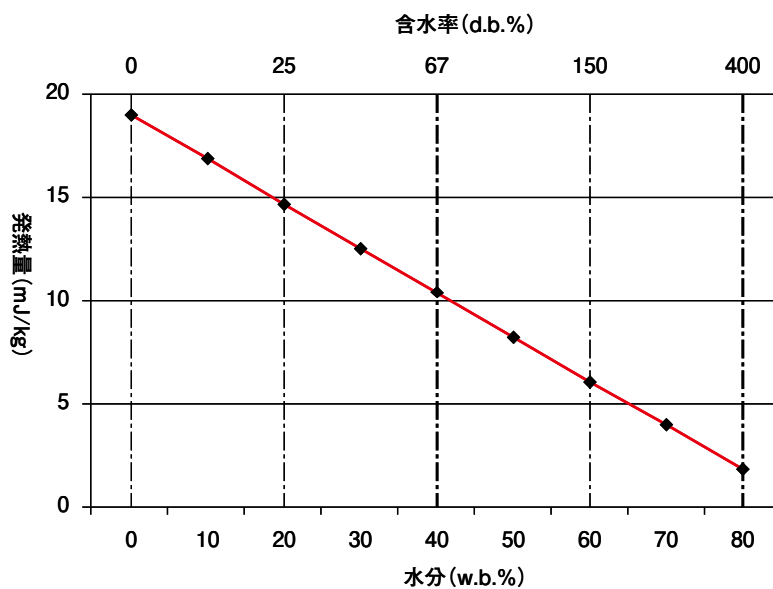
ボイラーの定格出力は、それぞれ指定されている水分の燃料を用いた場合の出力表示です。このため、指定された水分の燃料を用いれば、燃料消費も最適化され、安定出力が維持されると同時に、ボイラーへの負担も小さく、維持管理が容易になります。

他方で、指定された水分よりも高い場合、表示されている定格出力が得られず、出力を維持するためには燃料を余計に消費することになります。不完全燃焼による乾留ガス、有害物質および臭気の発生や、鎮火することもあります。このような場合、ボイラーに負担がかかりトラブルが発生したり、排気部分の維持管理コストが増大することもあります。

また、指定された水分よりも低い場合、発熱量が大きすぎて熱を捨てることにもなりかねません。燃焼が早すぎて、燃料消費量も増えてしまいます。さらに、炉内が高温になりすぎると、耐火レンガの劣化が進む原因になります。

このように木質燃料の水分管理は、木質バイオマス利用の最も重要なポイントといえます。

図表 4.2 水分および含水率と発熱量の関係



(出所) Wood Fuels Handbook, Biomass Trade Center, 2009



(3) 燃料に含まれる水分の基準

本テキストでは、木質燃料に含まれる水分の比率を「水分」と表していますが、これは、木材業界で一般に使われる「含水率」とどう異なるのでしょうか。

日本工業規格 (JIS)⁶ に含水率として規定されている計算方法が「乾量基準」に当たります。「乾量基準」とは、完全に乾燥させた木材の重量に対する水の割合を正確に表すことを目的にした計測法で、用材利用や研究分野の基準に使われています。

一方、「湿量基準」とは、水分を含んでいる状態の木材 (生木) の重量に対する水の割合を表しています。たとえば、水分35%とは、燃料となる部分が65%、水分が35%という意味です。「湿量基準」の方がバイオマス計測方法として適切で、国際的に定着しています。本テキストでも水分の比率は、湿量基準を表す「水分」を用います。

図表 4.3 湿量基準と乾量基準の基本的な考え方

湿量基準 単位：% (w.b.) 水分	・水分を含んだ木材 (生木) の重さに対する水の重さの比 $\text{水分\% (w.b.)} = \frac{\text{乾燥前重量 [kg]} - \text{全乾重量 [kg]}}{\text{乾燥前重量 [kg]}}$
乾量基準 単位：% (d.b.) 含水率	・完全に乾燥させた木材の重さに対する水の重さの比 $\text{含水率\% (d.b.)} = \frac{\text{乾燥前重量 [kg]} - \text{全乾重量 [kg]}}{\text{全乾重量 [kg]}}$

図表 4.4 湿量基準と乾量基準の関係

湿量基準 (水分% (w.b.))	0	20	25	30	35	40	45	50	55	60
乾量基準 (含水率% (d.b.))	0	25	33	43	54	67	82	100	122	150

* 伐採直後の立木は、湿量基準 (水分55~60% (w.b.))

* 欧州の木質燃料の基準値は、湿量基準 (水分35% (w.b.))

図表 4.5 水分の典型的な数値

薪		チップ		製材所等端材	
生木の薪	40~50% (w.b.)	生チップ	20~50% (w.b.)	製材所の残端材	25~60% (w.b.)
割った薪を屋根下で1年乾燥	30~35% (w.b.)	屋根下で保管されたチップ	20~30% (w.b.)	建設業の残端材	13~20% (w.b.)
割った薪を屋根下で2年乾燥	20~25% (w.b.)	空気乾燥されたチップ	15~20% (w.b.)	木工所の残端材	7~17% (w.b.)

(出所)「木のエネルギーハンドブック」岩手・木質バイオマス研究会より作成

⁶ 日本工業規格 JIS Z2101 (木材の試験方法)

(4) 水分の計測と確認

安定した燃焼のためには、ボイラー規格に合致した水分の燃料が必要です。このため、木質燃料の水分管理を適宜行う必要があります。一般的には、燃料供給時は販売者や生産者が確認を行い、燃料購入者は定期的にサンプリング試験を行って確認します。水分の確認方法は、図表 4.6のとおりです。

図表 4.6 水分の確認方法

確認方法	測定時期	測定方法
計測器	納品時	<ul style="list-style-type: none"> 水分計や含水率計と呼ばれる計器を使用 電気抵抗やマイクロ波等を用いた計器などを使用 迅速に計測結果を確認できるが、計測値は近似値で誤差を含むことに注意が必要
簡便法		<ul style="list-style-type: none"> 事前に計測容器（バケツ）当たりの水分を測定して数値の一覧表作成して、容器の重量測定値で水分を推定 測定値は、近似値で誤差を含むことに注意が必要
室内試験（全乾法）	一定量取引ごとに実施	<ul style="list-style-type: none"> 専門の乾燥器を用いて一定量の試料（サンプリング）の絶乾質量と乾燥前の質量から、正確な水分を計測 測定時間は1～2日程度必要

(5) 木質燃料の単位

木質燃料の取り扱い単位には、重量や材積、層積などいくつかの表し方がありますが、本テキストでは薪を除き、重量（円/t）で表します。

その理由は、発熱量が燃料の価値を決める要素の1つであることから、同じ水分の場合、樹種の違いによる重量当たりの発熱量の差が小さく、樹種の違いを考慮せずに発熱量（価値）を取り扱うことができるためです。なお、欧州の木質燃料の水分の基準値は35%（w.b.）となっており、この水分のときの単位重量（t）当りの発熱量は図表 4.7に示すとおりです。

図表 4.7 水分35%（w.b.）の重量単位当りの発熱量

水分	区分		高位発熱量 HHV			低位発熱量 LHV		
			Mcal/t	GJ/t	MWh/t	Mcal/t	GJ/t	MWh/t
35% (w.b.)	針葉樹	木部	3,210	13.5	3.73	2,790	11.7	3.24
		樹皮	3,180	13.4	3.70	2,760	11.6	3.21
	広葉樹	木部	3,060	12.9	3.56	2,630	11.1	3.06
		樹皮	3,040	12.8	3.53	2,610	11.0	3.03

（出所）「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より作成



コ ラ ム 【樹種と比重】

例えば、水分35% (w.b.) 時の針葉樹のスギの比重は約0.5t/m³、広葉樹のミズナラの比重は約0.9t/m³で、重量差は約1.8倍あります。一般的に広葉樹は針葉樹より比重が重たい傾向にあります。重量当たりの発熱量は針葉樹と広葉樹であまり変わらないため、同じ体積の場合は重量差が発熱量の差になります。したがって、スギ（針葉樹）とミズナラ（広葉樹）を同じ体積で比べた場合、約1.8倍もの発熱量の差があるということになります。

II. 薪

薪は、加工が容易で、加工コストも相対的に低めです。他方、チップやペレットと異なり、薪をつくるために木を伐採利用する主産物利用が主体になります。したがって、伐採コストをどう下げるのかが、大きなポイントになります。

薪は自家生産が可能ですが、ボイラーへの投入は人力となります。そのため、比較的小規模の熱需要で薪が自給自足できる地域に適しています。

薪の品質を左右するのは水分、樹種、サイズです。また、ボイラーとの適合があり、ボイラーごとに使用可能な水分、投入できる長さが決まっています。

(1) 薪とボイラーの適性

ボイラーごとに燃焼室の大きさが異なるため、ボイラーの仕様に適合した長さ、断面の薪を確保しなければなりません。

薪の水分の基本は、20% (w.b.) 以下です。燃焼させる数日前には野外からボイラー室に移して後乾燥させてからボイラーに投入します。なお、ボイラーによっては高い水分の薪を燃焼できる機種もありますので、ボイラー仕様に適合した薪を使用します。

薪はボイラーへの投入まで人力による小運搬が必要です。このため、保管場所はボイラー室から近くて運びやすい場所にする必要があります。

(2) 薪を購入する場合の確認事項

薪の原料には、森林からの材以外に建築廃材が使われている場合があります。化学的な処理（塗料、接着剤、防腐剤など）が施されている場合は、燃焼灰を産業廃棄物として取り扱う必要があります。また、土石の混入は炉内の損傷の原因になるため、これらの材や土石が混入していないか確認が必要です。

薪を購入する場合、水分と樹種について確認する必要があります。ボイラーに適合する水分があり、樹種によって比重が異なり体積当たりの発熱量が違ってくるためです。



(3) 薪の単位

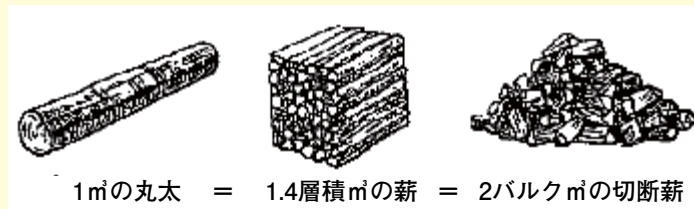
薪の取り扱い単位は、薪 m^3 【層積】で表します。薪 m^3 は、薪を極力空隙の無いように積んだ材積です。なお、薪をカゴなど一定の容積に空隙を含む状態で投入（バルク積・ばら積）した場合は、バルク材積と言います。

薪を層積単位で取り扱う理由は、国内および欧米でも一般的な薪の取引単位とされているためです。

コ ラ ム 【薪の材積と層積の換算】

- 1 m^3 に積上げ大割りした薪 = 0.7 m^3 （隙間を含まないかたまり）
- 1 m^3 の木（隙間を含まないかたまり） = 1.4 m^3 （積上げた大割りした薪）
- 1 m^3 角に積まれた乾燥した大割りの針葉樹の薪 = 400 kg
- 1 m^3 角に積まれた乾燥した大割りのブナの薪 = 540 kg
- （大割りした薪：長さ1.0mに切り割ったもの）

丸太	1 m^3 の薪	切断薪
		バルク
m^3	薪 m^3 （積）	バルク
1	1.4	2.0



（出所）「森林組合No506（木質バイオマス用語と単位，小島健一郎）」より



Ⅲ. チップ

チップは林地残材が利用しやすく、生産・運搬も比較的容易です。また、燃料供給・燃焼の自動化が進んでおり、大量利用に対応できることなどから、今後、最も利用が増えると思込まれるバイオマス燃料です。

他方、チップ燃料の取り扱いには、他の木質燃料以上に、形状や水分などに注意することが必要です。特に、形状・水分と、ボイラーの適合性が重要で、この組み合わせを誤ると、出力不足やトラブルの原因になります。また、不純物が混入すると不具合につながりますので、品質管理を適切に行うことが必要です。

以下に、チップの形状や水分、不純物の混入について解説します。

図表 4.8 チップの品質とボイラーの不具合に関する問題

形状の不具合 (規格・粒径)	<ul style="list-style-type: none"> ・不完全燃焼（細粒物が多い場合） ・燃料供給装置の詰まり ・燃料供給停止による鎮火 	
水分の不具合	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼不足による定格出力不足、鎮火、過剰出力、消費量の増減 ・サイロ及び供給装置内における結露・凍結 	
不純物の混入	<ul style="list-style-type: none"> ・原料由来の不純物（化学物質） 	<ul style="list-style-type: none"> ・灰処理の問題 ・排気ガス対策
	<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（土砂・石・金属等） 	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料供給装置の詰まり、損傷 ・ボイラー燃焼炉の損傷

(1) チップの形状と燃料供給システムの適性

国内で燃料として使われているチップは、図表 4.9に示すとおり、切削チップと、破碎チップがあります。これら2タイプのチップは流動性が大きく異なるため、それぞれに適した燃料供給システムを選択しなければなりません。

特に気を付けなければならないのは破碎チップです。破碎チップはもともと廃棄物処理用であり燃料用ではありません。破碎チップは流動性が悪く、長尺物のチップが混入して、サイロ内でブリッジ⁷を形成したり、搬送装置内が詰まるなどの不具合が多く発生しています。

スクリュウコンベア⁸には、長尺物が混じらない切削チップを使用することが必要です。

写真 4.1 スクリューコンベア



(出所)「ETA社カタログ」より

⁷ 燃料細片の絡み合いや圧力により、供給装置に燃料が付着する等して燃料が供給出来なくなる状態

⁸ らせん状の羽を回転させることで軸方向に物質を送り出す搬送装置



図表 4.9 チップのタイプと燃料供給方法の適性

	切削チップ（チップパーによる）	破碎チップ（破碎機による）
形態	 <p>薄い方形状、チップ形状は一定</p>	 <p>細長い繊維状、チップ形状は細長く不均等。（スクリーンをかけてある程度形状を揃える）</p>
製造方法	<ul style="list-style-type: none"> ・木材をカッターで削り取る方法で作成される ・品質が均等で流動性が良い ・生産速度が速くなるほど品質が不均で流動性が悪くなる傾向があるため注意が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンマーミル方式（ハンマーの打撃衝撃で破碎）とカッターミル方式（受刃と切断刃によるせん断力で破碎）によって製造される ・長尺物の発生など、品質が不均質で流動性が悪い
ボイラーへの供給方法等	<ul style="list-style-type: none"> ・スクリュウコンベア式 ・燃料供給装置でブリッジが形成しにくく、燃料供給トラブルの可能性が比較的低い 	<ul style="list-style-type: none"> ・プッシャー式、チェーン・ベルトコンベア式 ・燃料サイロでブリッジを起しやすい ・スクリュウ搬送装置でチップが詰まりやすい

（2）チップの水分とボイラーの適性

木質燃料は図表 4.2に示すとおり、水分の違いにより燃焼時の発熱量が異なります。また、ボイラーには機種毎に使用する燃料の水分が指定されています。

ボイラーの燃焼方式には、水分が45%（w.b.）以上でも燃焼可能な移動床式ボイラーがありますが、出力規模が100kW以上で価格もその分割高になります。また、安定した出力を維持するためには連続運転が前提です。なお、移動床式ボイラーの場合には水分の高い燃料を使用するため、着火は手動となります。

乾燥したチップしか燃焼できない固定床式ボイラーに水分の高いチップを投入した場合、必要とする熱量が得られないばかりか、鎮火してしまう場合があります。

また、寒冷地では水分の高い燃料がサイロ内で凍結してチップが供給されないといった問題も発生しています。この場合、本来なら、ボイラーの廃熱を利用してサイロのチップの乾燥に使うような設計にすべきです。

このように、チップの品質によってボイラー形式が異なります。利用するチップの品質を決めてからボイラー機種を決定し、適切な設計をすること、ならびにチップの品質管理を適切に行うことが必要です。



図表 4.10 チップボイラーの燃焼方式と水分の適応範囲

チップボイラーの燃焼方式	 <p style="text-align: center;">移動床式</p>	 <p style="text-align: center;">固定床式</p>
特 徴	チップが火床を移動燃焼するので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）	チップが移動するなど、炉内で乾燥するシステムではない ・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	<p style="text-align: center;">低 ～ 高 生チップ適応可能 (45 % (w.b.) 以上)</p>	<p style="text-align: center;">低 乾燥チップの使用が原則 (45 % (w.b.) 以下)</p>

(出所) スイス 木質バイオマス専門家アンドレアス・ケール氏資料より作成

(3) 不純物の混入による不具合

チップ原料には林地残材の他に、製材端材や産業廃棄物の建設端材、並びに建築物の解体材などが原料になっているため、土石や砂利、釘やクサビ、プラスチックや塩化ビニルなどの異物が混入している場合があります。

異物の混入は、チップパーを損傷させるとともに、ボイラーの燃料供給システムに大きな損傷を与えかねません。また、土に含まれるガラス成分は、燃焼時に溶けて炉内の損傷の原因にもなります。

チップ原料が廃棄物由来で化学的な処理（塗料、接着剤、防腐剤など）が施されている場合は、燃焼灰を産業廃棄物として取り扱う必要があります。このため、燃料供給者に対して、事前に原料の由来や原料の追跡確認の可否についても確認しておくことが必要です。

写真 4.2 原料に混入する土・グリ石・碎石・金物など





コ ラ ム 【欧州のチップ品質規格と国内の燃料用チップ規格】

欧州ではチップの大きさ、含水率、窒素含有量、針葉樹の含有率、灰含有率、生産工程などから分類が行われ、燃料チップの品質基準が整備されています。

欧州のチップのサイズ（大きさ）は、主要物の割合、細粒・長尺物の許容限度等で示されています。従って、品質が定められることで、ボイラーや燃料供給システムの最適な運転につながるようになります。

参考 欧州規格EN14961非産業用の木質チップの粒度

粒度 (P)	最小限75%のチップの割合	微粉の割合重量%(<3.15mm)	粗い粒子（重量%）、粒の最大長（mm）、横断面の最大面積（cm ² ）
P16A	3.15 ≤ P ≤ 16mm	≤12%	16mm超は3%以下、全てが31.5mm未満、オーバーサイズの横断面積は1cm ² 未満
P16B	3.15 ≤ P ≤ 6mm	≤12%	45mm超は3%以下、全てが120mm未満、オーバーサイズの横断面積は1cm ² 未満
P31.5	8 ≤ P ≤ 31.5mm	≤8%	45mm超は6%以下、全てが120mm未満、オーバーサイズの横断面積は2cm ² 未満
P45	8 ≤ P ≤ 45mm	≤8%	63mm超は6%以下で100mm超は最大3.5%迄、全てが120mm未満、オーバーサイズの横断面積は5cm ² 未満

（出所）「森林組合No.511」より

現在国内では業界団体などからチップの規格・ガイドライン案が公表されていますが、燃料に特化した規格は現在検討中です。現状では、水分の問題も含めて、ボイラー導入者とチップ供給業者が試行錯誤のうえ、ボイラーと燃料のマッチングをはかっている状況です。このような状況からも、国内では燃料としての品質項目の試験表示の義務化により、チップの需要・供給サイドへの浸透が求められています。

参考 日本における木質チップ燃料の自主規格（案）

	表記	閾値	単位
粒度 (P)	P 16	3.15 ≤ P ≤ 16mm	mm
	P 31.5	8 ≤ P ≤ 31.5mm	
	P 45	8 ≤ P ≤ 45mm	
水分 (M)	M 10	≤10	湿重%
	M 25	≤25	
	M 35	≤35	
	M 45	≤5	
灰分 (A)	A 1.0	≤1.0	乾重%
	A 1.5	≤1.5	
	A 3.0	≤3.0	
	A 5.0	≤5.0	

（出所）「森林組合No.511」ペレットクラブ小島氏作成資料より粒度、水分、灰分部分を抜粋。



IV. 木質ペレット

ペレットは、薪、チップに比べ均質で取り扱いが容易なため、家庭用のストーブから事業者向けのボイラーまで様々な場面で利用されています。接着剤などの添加物を使わずに圧力と熱により固形化して製造されているため、化学的な処理を受けていない森林からの材を原料にしている場合は100%自然由来の燃料といえますが、建築廃材などを原料にしているペレットも流通しているため注意が必要です。

(1) ペレットの品質規格

ペレットは世界的にも規格化が最も進んだバイオ燃料です。この分野で先進的な欧州におけるペレットの規格化は、SIS（スウェーデン）やÖNORM（オーストリア）、DIN（ドイツ）などの国家規格を経てEN（欧州規格）として2010年に体系化されました。現在、より上位のISOにおいてペレット規格のドラフトが提示されておりますが、内容はENと同じなため、EN規格が実質的な国際規格といえるでしょう。

図表 4.11 ペレットの欧州規格

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 ³	≥ 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	℃	≥ 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		



日本における規格化は、ペレットクラブが2005年に自主規格を発表、2011年にはENとほぼ同じ内容に改定しています。それとは別に、(一社)日本木質ペレット協会も2011に自主規格を制定しており、こちらは独自の計測法と閾値を設定しています。現状、国内には2つの規格が並存しているため、両規格の統合に関する協議を行っています。

ペレットは、形状や水分が一定しているため、灰分が評価ポイントとなります。これは樹皮の混入度合いや樹種で決まります。A1クラスはホワイト・ペレットで、ストーブや小型のボイラーに最適です。原料は剥皮した針葉樹、つまりおが粉やかんな屑など製材の副産物で、欧州では家庭用ペレットといえはホワイト・ペレットを指します。日本で生産が多い全木ペレット(丸太のすべてを原料に利用)はA2もしくはBに分類されますが、Bに属するペレットはボイラー利用が望ましいでしょう。

(2) 認証システム

規格通りに燃料が製造されているか、また決められたとおりに流通しているかを担保するため、ペレット燃料に対する第三者認証が始まっています。先行する欧州ではEN規格に対してEPC(欧州ペレット協議会)が「ENプラス」という認証システムを運用しています。日本ではペレットクラブとペレット協会が別々に認証を行っています。

写真 4.3 ペレットクラブ(左)と日本木質ペレット協会(右)の認証ラベル





第5章 燃料の生産方法

燃料は、ボイラーの運転コストに直接影響しますので、低コストで安定量の確保が必要です。欧米の燃料生産は、森林整備や製材・木材加工から生じる副産物を利用することで低コスト化を図っています。また、燃料生産方法についても低コストで生産供給する方法が確立されています。

一方、国内では、燃料生産に伴う低質材の間伐実施など主産物利用の燃料生産体系や製紙用チップの生産ラインおよび産業廃棄物処理システムを使用した供給体制などが主流で、森林から直接産出する低コスト化を目指した生産方法は、現場で試行錯誤がなされている段階です。

今後、一定の水分の燃料を低コストで生産・供給するには、①副産物利用の徹底、②自然乾燥による水分調整、③可能な限り生産・輸送経路を単純（短縮）化する方法を構築していかなければなりません。

以下に、薪、チップ、ペレットについて欧州の事例を参考にしつつ、これからの燃料生産のあり方を提案します。

I. 薪

薪は、森林から直接産出する主産物利用が主体で低質間伐材や林地残材のほか、製材端材や産業廃棄物の建設端材、建築物の解体材などが原料に使われます。

(1) 製造方法

ボイラー燃焼室に入る長さ（長い薪と丸太1 m、小割薪25cm、33cm、50cmなど）に切って、2～10cm程度の厚さに割って自然乾燥させます。

自然乾燥は、必要な長さに切ったあと、直ぐに割り、高さ1 m程度、奥行き1 m程度に積上げて上部のみにカバー（屋根）をかけます。薪を割ると木質部が出て乾燥しやすくなります。

自然乾燥させるには、風通し、日当たりの良い凸地で、積み下ろしが容易な場所を選ぶことが大切です。ボイラーに使用できる水分20%（w.b.）の薪にするためには、最低2年保管が必要です。なお、薪を暖かいボイラー室に保管できる場合は、水分が早く下がるため保管期間を短くすることができます。

家庭用ボイラーなど小規模の場合は、丸鋸やチェーンソーでの切断、斧で割るなど人力による加工で対応出来ます。しかし、商業利用など継続的に多くの量を使用する場合には、生産効率が良く労働負荷の少ない薪製造機械を使用することが必要です。

写真 5.1 野外での自然乾燥（国内）



写真 5.2 トラクター動力による薪割り機械（国内）



（2）価格

一般的な販売価格は樹種により異なりますが、国内の工場渡し価格は針葉樹が6,000～9,000円/薪 m^3 、広葉樹が8,000～15,000円/薪 m^3 で取引されています。欧州の林道端渡し価格は、針葉樹が4,800～6,000円/薪 m^3 、広葉樹（ブナ）が6,000～8,500円/薪 m^3 で取引されています。

Ⅱ. チップ

チップは、林内に放置された副産物を集積して利用することで、原料価格を抑えることができます。林内に放置された副産物とは、例えば、間伐に伴う根部、枝条、あるいは林業専用道開設に伴う支障木などが有効な資源になります。この場合、製造にかかる経費はチップ製造および輸送コストのみです。

低質材の間伐など木材生産を行う「主産物」利用の場合、チップ製造コストのみならず、木材生産経費もかかってきてしまいますので、大幅なコスト高になります。

写真 5.3 森林内に放置された未利用材（残材）





(1) チップの製造と輸送

欧州でチップを製造して輸送する手段は大きく分けて、2通りあります。1つは、森林内の土場ないし林道端で積置きされた林地残材をチップ化して、直接トラックに積み込み、それをボイラーサイロに輸送する方法です。これは欧州での低コストチップ製造システムとして、広く普及しています。機械、人件費、積下ろし回数など最小で済みます。課題は冬季間の安定供給です。

写真 5.4 欧州の林道端でのチップ化



2つ目は、中間施設を介してボイラーサイロに輸送する方法です。土場ないし林道端でチップ化したあとに中間倉庫に保管する場合と、林地残材（丸太など）を中間のストックヤードに輸送保管後、チップ化しサイロへ持ち込む場合があります。降雪量の多い山間地での冬季の安定供給やチップの乾燥化に有効ですが、中間保管施設が必要になることや積み下ろしの回数が増加するため経済性は劣ります。

いずれの場合も、トラックの通れる林道ないし林業専用道が整備されていることが前提です。

なお、日本では、丸太ないし林地残材をチップ工場に輸送し、そこでチップを製造してから、ボイラーサイロへ輸送するというも行われています。この場合、輸送が複数回必要で、その度に積み込み積み下ろしの作業が発生します。使用する機械も増えるため、コストは相応に割高になります。

写真 5.5 国内チップ製造工場の土場と機械設備



(2) 自然乾燥

チップの水分を下げる基本は、自然乾燥です。水分を下げる方法は、原木のまま積置き乾燥させる方法と、チップ化してから乾燥させる方法の2通りがあります。

原木のまま積置き乾燥させる方法は、チップパーとトラックが入り込める林地内（土場を含む）の風通しや日当たりの良い凸地で、5～8ヶ月放置して自然乾燥させます。この方法が最も安価です。乾燥したチップをつくるのに最も適した方法は、立木の水分が少ない秋に伐採し、翌春から秋にチップ化することです。

なお、広葉（ブナ）などの残材は、1年半以上積置くと腐りますので注意が必要です。また、欧州では厳冬期にチップ化は行いません。原料の凍結でチップが細粒化して、品質が低下するためです。

チップ化してから乾燥させる方法は、チップを屋根のある風通しの良い構造の壁を持つ小屋に保管して乾燥させる方法です。チップを保管する地面は、アスファルトやコンクリートなどで覆われ地面の水分を吸い上げない構造になっていなければなりません。チップ化してからの乾燥は、水分や積み上げる大きさ、小屋の換気方法、チップの粒径などにより左右されます。欧州では、チップの表面は空気に触れて水分が20%（w.b.）まで乾燥し、内部はチップの発酵熱によって25%（w.b.）程度まで下がること知られています⁹。

チップを保管する場合には、自然発火による火災の発生に注意しなければなりません。災害廃棄物の屋外仮置場などではしばしば火災が発生しています。これは木くずなどが好気性微生物の代謝による発熱、嫌気性微生物の代謝による可燃性ガスの発生、蓄熱と酸化反応などによって引き起こされます。降雨により堆積物の温度も上昇するので、屋外でチップを大量に長期間保管する場合は注意が必要です。切削チップよりも、破碎チップの方が発火の危険性が高いので、より注意が必要です。主な火災予防策¹⁰は次のとおりです。

写真 5.6 林地残材の自然乾燥（オーストリア）



写真 5.7 チップ乾燥小屋



⁹ 「木のエネルギーハンドブック」岩手・木質バイオマス研究会より

¹⁰ 「東日本大震災後の災害環境研究の成果」独立行政法人 国立環境研究所より詳細は第9章参考資料に記載。



- ・ 積み上げる高さを 5 m以下で一山あたりの設置面積を200㎡以下にする。
- ・ 積み上げた山と山の距離間隔を 2 m以上とする。
- ・ 重機で毎日同じ場所に乗らない。
- ・ 数週間に一度は堆積物の切り返しを行い、積み上げたまま長期放置しない。

(3) 製造コスト

ボイラーサイロのある土場に原材料を運んでチップにするケースでは、そこで自然乾燥ということになりますが、そのための土場が必要となります。規模の小さいボイラーなら空き地に置く程度で対応できますが、発電所などの大型ボイラーになると専用の土場を用意する必要が出てくるので、コストが大幅にかさんでしまいます。

上記のほかに製材工場の残材をチップ化する方法もあります。この場合、品質の高いチップを作ることが可能です。また、副産物利用ですので、コスト的にも有利になります。

以上、森林からの直接搬出によるチップ製造を、概念図として図表 5.1 にまとめました。

図表 5.1 チップ製造の概念図

区分	伐採 2,200 円/t	造材 2,400 円/t	現地 チップ化 2,200 円/t	搬出 1,800 円/t	林地残材 運送 2,400 円/t	中間施設 積込 500 円/t	工場 チップ化 2,000 円/t	チップ 運送 1,600 円/t	ボイラー サイロ 着価格 円/t
欧州	①								3,800
	②								4,300
	③						発電工場		4,400
国内	④								6,000
	⑤								7,800
	⑥								12,400

※各作業行程及びコストはイメージであり、実際は規模・移動距離の違いなどによりコストが異なってくる。
 パターン⑥の場合、搬出後に造材となる場合あり。
 現地チップ化のコストは切削チップパー14万ユーロ、トラクター20万ユーロ、1ユーロ=130円として計算。

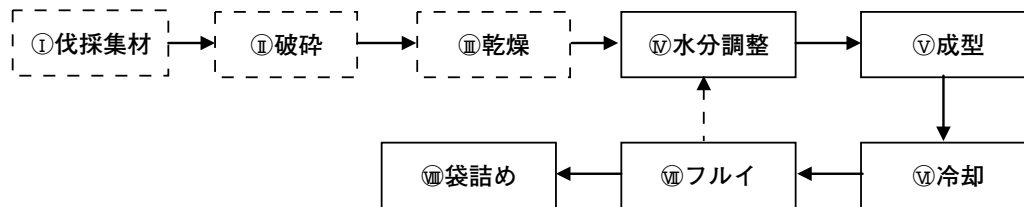
Ⅲ. ペレット

木質ペレットの加工技術は、家畜の餌を成型する技術をもとに木質系原料へと改良された技術であり、1976年に米国で開発されたものです。日本には1980年代初頭に技術導入されました。

(1) 製造方法

木質ペレットの製造は原料の種類によって工程に違いがあるものの、概ね以下のプロセスによって加工されます。

図表 5.2 ペレットの製造プロセス



- ①伐採集材：原料を伐採・集材して破碎工場まで運搬する。
- ②破碎：原料を一定サイズに破碎する(サイズは成型機による。破碎は時として1次、2次に分かれる)。
- ③乾燥：原料の水分を10% (w.b.) まで乾燥させる。
- ④水分調整：過乾燥は成型不良につながるため水分を調整する。
- ⑤成型：リング・ダイ方式もしくはフラット・ダイ方式により押し出し成型する。
- ⑥冷却：押し出されたペレットは軟らかいため、冷却して硬化させる。
- ⑦フルイ：粒子サイズの小さな成型不良品は選り分けてプロセスに戻す。
- ⑧袋詰め：小袋もしくは大袋に詰める (サイロに投入するケースもある)。

欧米では大多数の原料が製材所のおが粉なので、プロセスは③乾燥から始まります。集成材の板などから出る乾燥済みのおが粉やかんな屑の場合は、④水分調整から始まります。他方、日本の場合は原木からペレットを作ることが多いため、①伐採集材から始まるので大幅なコスト高になってしまいます。⑤成型は大きく二つの方式があり、ダイスの形状によってリング・ダイ方式、フラット・ダイ方式と呼ばれています。それぞれに特徴があり、リング・ダイは原料サイズに敏感ですが水分に対する許容性があります。また、ダイスが100℃以上の高温になります。フラット・ダイは水分には敏感ですが、原料サイズに対する許容性があります。ダイスの温度は低く、100℃以下で運転可能です。大型化に有利なのはリング・ダイ、小型化に有利なのはフラット・ダイです。



写真 5.8 リング・ダイ (CPM三洋貿易)



写真 5.9 フラット・ダイ (土佐テック)



(2) 製造コスト

ペレットの製造コストは原料の種類や価格、製造ラインのレイアウト、乾燥用熱源のコスト、電気代、人件費、初期投資、規模によるスケールメリット、稼働時間など様々な要素で決まります。

日本は原料に原木を使っていること、規模が小さいこと、初期投資が規模の割に大きいこと、稼働時間が短いことなどから世界的にもコスト高だといえます。欧州での調査では、年産4万t、8,000時間稼働のケースにおいて136.6ユーロ/tとされています。これは日本に比べ格安だといえます。その際の、コスト構造やエネルギー消費は図表 5.3および図表 5.4に示すとおりです。

今後、国内ペレットの世界的なコスト水準のためには、原料の副産物（製材発生材）利用、ならびに生産規模の拡大のためにも、ペレット燃料の利用拡大が必要不可欠です。

図表 5.3 ペレットの製造コスト（おが粉を原料とする場合）

要素	原料	乾燥	成型	人件費	貯蔵	周辺機器	破碎	減価償却
%	42.9	35.2	6.7	6.3	2.8	2.6	2.0	1.2

(出所) The Pellet Handbook, I. Obernberger and G. Thek, 2010

図表 5.4 ペレット製造時のエネルギー消費

要素	乾燥	成型	破碎	周辺機器	冷却
%	93.1	3.9	1.4	1.4	0.2

(出所) The Pellet Handbook, I. Obernberger and G. Thek, 2010

IV. 生産の低コスト化の提案

前述のように、副産物を原料にした燃料生産では、現地でチップを生産して、直接サイロに持ち込む方法が、最も低コストです。また、自然乾燥を利用することで、無駄なコストをかけずチップの付加価値を高めることができます。

いずれにせよ、残材のチップ化のためには路網が整備されていることが不可欠です。現在、林野庁では「森林・林業再生」の重点政策として路網整備の加速化を進めています。

このような運送用トラックが走行できる林業専用道の整備を推進することが必要です。

また、原料をより低コストで集積利用するためには、運送トラックが乗り入れられる土場に残材が集まるような作業システムとすることが必要です。伐倒後林内で枝払い・玉切りを行い、短幹集材するシステムでは残材の多くが林内に分散しており、改めて残材を集積するには非常に手間がかかりコスト高の要因となります。

写真 5.10 林業専用道
(10 t 積みトラックが通行可能)



写真 5.11 ハーベスタ・フォワーダによる短幹集材作業システム（残材が林内に散らばる）



集積の手間を省きチップ化の生産コストを抑えるためには、全幹または全木集材により土場で造材作業を行い、残材を一箇所にまとめ置くシステムがあります。林地残材の利用を考慮したこのような作業システムを素材生産者に提案し、連携して進める必要があります。

写真 5.12 高密路網によるウインチシステム・スイングヤーダ等による
全木・全幹集材の作業システム（土場に残材が集中する）

