

## 第6章 プロジェクト・マネジメント

木質バイオマスボイラーの導入に際しては、①熱需要に合った規模のボイラーと貯湯槽を組み合わせること、②現地で調達可能なチップの品質に合ったボイラーとすること、③設備費を一定の範囲内に抑えることが不可欠です。つまり、バイオマスボイラー導入に際しては、設計と施工管理が極めて重要だということです。

現状では、設計・見積もりをボイラーメーカーに依頼することが一般に行われていますが、この場合、設計の専門性や第三者性が担保されず、メーカー主導の機器選定となりがちです。その結果、設備が過大でコストが大幅にかかるのみならず、適切な運転ができず燃料を無駄に消費してしまう、構造的に使い勝手に問題がある、現地で調達できるチップにボイラーが合っておらず、適切な燃焼ができないなどのことが起こりかねません。こうした事例に関しては、第8章にて調査結果をまとめていますので、参考にしてください。

木質バイオマスボイラーを導入するに際しては、ユーザーの立場に立って設計・施工管理をする体制（プロジェクト・マネジメント）を構築することが不可欠です。利用を実践から普及へと進めていく中で、設備の低コスト化、高効率化、運用性の向上は避けて通れません。とはいえ、バイオマスを最新の方法でエネルギー利用する仕組みはまだまだ事例も情報も少ないため、担当レベルではどうやってプロジェクトを進めればよいのかが分からないのも無理はありません。そこで、本章ではプロジェクト・マネジメントの手順を説明します。

### I. 事業企画段階でのマネジメント

#### (1) 事業性調査

いうまでもなく、プロジェクトの担当者は、本テキスト等を参考にバイオマスの特性をよく理解することが不可欠です。また、先行事例をよく調査し、できれば現地を訪問して課題を分析することが重要です。しかしながら、担当者の知識や経験には自ずと限界があることから、第三者による調査の実施が必要となります。

この段階の調査として重要なのは事業性調査（Feasibility Study：FS）と呼ばれるもので、目的の遂行のための手段や採算性から事業化の可能性を検討するものです。これによりボイラーなどの「基本設計」が導き出されます。

FS調査の実施にあたっては、国や自治体の補助金を活用できる場合があります。ただし、事業メニューによっては実施内容や実施主体に制限があるので注意が必要です。林業関係の補助では施設を導入する際の「経営診断」の実施が事業の費用対効果を判断するための手続きとして用意されていますので、この仕組みでFS調査をしっかりと実施すべきです。



多くの場合、調査は外部のコンサルタントに委託されますが、コンサルの経験や能力には大きな差があるため、その選定に際しては実績について厳しく評価する必要があります。この際の実績とは受注実績ではなく、そのコンサルが実際に設計したボイラーが適切なものであるかどうかです。今後はコンサルが設計士の役割を演じられるよう、コンサルの評価を適切に行うとともに、プロジェクト・マネジメントを徹底すべきです。また、設計のためのソフト費用を必要経費として施設の導入の際には計上しておく必要があります。

## (2) EPC契約の種類と特性

木質バイオマスボイラーの導入に際しては、ユーザーのニーズに合わせた設計と機器の調達、適切な施工管理が不可欠です。これらをエンジニアリング業界では、EPC（Engineering：設計、Procurement：機器調達、Construction：工事）業務と呼びます。EPCには様々な契約方式があります。

### ① 個別発注契約

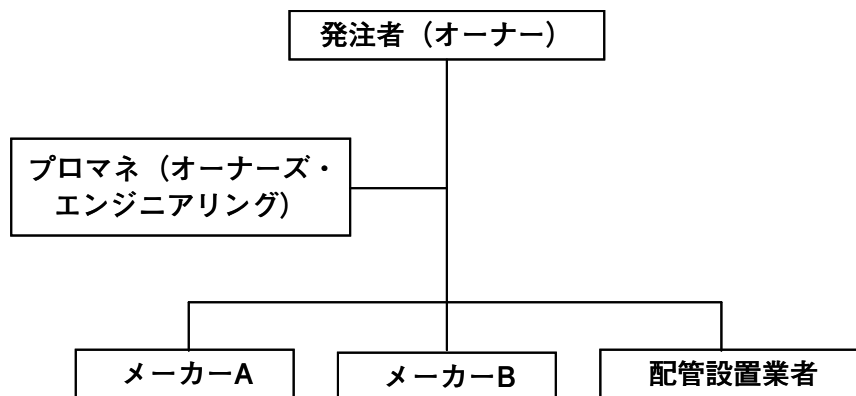
発注者が自前で個別に発注をする契約です。既存の石油ボイラーを木質バイオマスボイラーへと転換するなど、設備の一部を更新する時などに適用されます。コストが安くなる反面、発注者にそれなりの能力が要求されるため、自らが負うリスクが大きくなります。

このリスクを回避するために、発注者が専門家を雇用し、適宜必要なサポートを受けながらプロジェクトを進める方法があります。発注者＝オーナー／クライアントであることから、「オーナーズ・エンジニアリング」あるいは「クライアント・エンジニアリング」と呼びます。バイオマスの場合、日本では歴史が浅いためオーナーズ・エンジニアリングは必須であるといえます。



図表 6.1 プロジェクト管理の流れ（個別発注方式）

(FS調査)				
	実施設計 (オーナーズ・エンジニアリング)	入札	設計監理	完成・引渡し

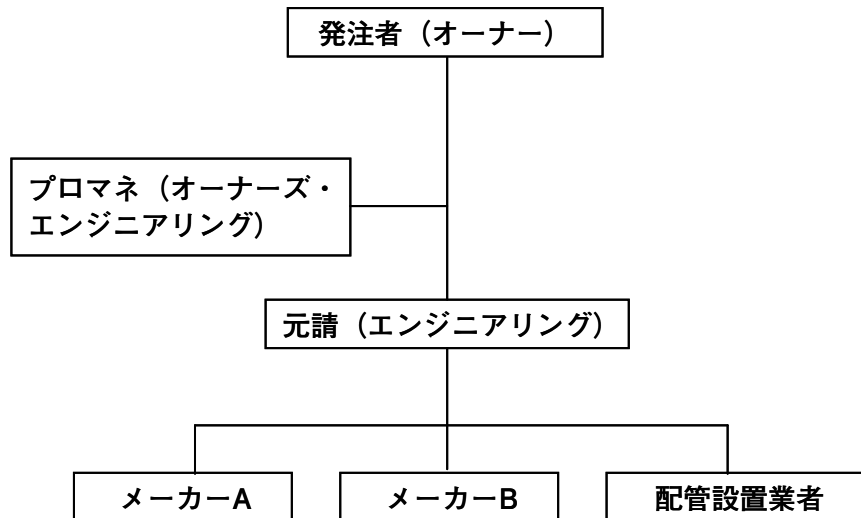


## ② ターンキー契約

設計から機器の調達、建設及び試運転までの全業務を受注企業が一括して請け負う契約です。工場のキー（鍵）を回せば稼働する状態で発注者に引き渡すことからこの名前がつけられました。バイオマス事業の中でも、ペレット工場など個別のエンジニアリング要素が強いケースにおいてはこの契約が有効です。発注者は受注者（元請）に発注するだけで全てが済むため、リスクを分散させることができる一方、個別発注よりも割高になります。

図表 6.2 プロジェクト管理の流れ（ターンキー方式）

(FS調査) 基本設計			
	提案型入札 (プロポーザル方式)	設計監理	完成・引渡し



### (3) 各段階でのマネジメントのポイント

プロジェクトの成否は、FS調査あるいは基本設計の段階から運転開始に至るまでの全ての期間を統括するプロジェクト・マネージャー（プロマネ）の有無にあると言っても過言ではありません。発注者側にプロマネを置くことが難しければ、外部の専門家にその機能を委託することも構いませんが、いずれにせよ、オーナーの視点でプロジェクトを統括する者の存在が非常に重要となります。また、プロマネが関わる契約期間も重要で、実施設計が済んで入札が終わったからといってあとは受注者任せではいけません。プロマネには設計監理も取り仕切ったうえで、運転開始までサポートする能力が求められます。

#### ① 実施設計

実施設計はFS調査、あるいは基本設計よりもさらに踏み込んで、詳細な設計を行うことです。仕様書には導入する機器のメーカー名や仕様、数量、設計基準など必要となる全ての情報が記載されます。また設計図書にはプラントやボイラーの図面などが含まれます。

提案型の入札の場合（ターンキー契約）は、基本仕様と概略の予算、参考図面での入札となります。応札するメーカーが実施設計書に相当する資料を用意して入札に参加することとなります。また、最終的な仕様の決定は入札後に行います。



## ② メーカー等の選定

メーカー等、設備を納入する業者の選定は入札により行います。機器が特殊で世の中に1社しか存在しないといった場合には随意契約もありますが、基本的には入札を実施するのが望ましいといえます。入札には以下の方法があります。

1つはメーカーと機種を絞り込んだ上での価格入札です。1つの製品に対して複数の代理店が存在する場合に、工事費込みでの入札を行います。ペレットストーブなどの入札で用いられます。

2つめは、メーカーを指定せずに機器の仕様のみ指定して、複数の競合メーカーによる価格入札を実施するケースです。個別発注契約の典型的な入札方式です。機器と工事を別々に入札するケースと機器と工事をセットで入札するケースがあります。ボイラー設備の入札で用いられます。

3つめは、提案型の入札です。プラントに納める機械類を新規に一式で発注するようなターンキー契約の場合に用いられます。価格は発注者側の予算(上限のみ)を設けた上で、提案内容に従って査定を行い、総合評価の高い応札者が落札する形となります。熱供給プラントやチップ工場、ペレット工場などの発注では提案型の入札が望ましいでしょう。

## ③ 設計監理

入札後は速やかに契約業務に移ります。また、この時点から設計監理が始まります。予定された期間内に、決められた仕様・図面で製品が納められたかどうかなど工事を監理します。工事は時に予定外のトラブルが発生して、工期が延びることが多々ありますが、コスト・オーバーランや、スケジュール・オーバーラン等のリスクがあるため、個別発注の場合もターンキーの場合も、契約において発注価格や完工保障、納期遅延時の予定損害賠償金などの条項をよく検討しておくべきです。

## ④ 完成・引渡し

予定内に工事が完了すると、性能試験を実施し、仕様書に定められた内容通りに製品が納入されたかどうかを確認します。万が一、性能が要件に達していない時のリスクに備えて、瑕疵担保責任期間の設定や性能未達リスク条項を契約時に定めなければなりません。

性能試験に合格すると、発注者に施設の引渡しを行います。と同時に、運転・保守訓練を実施し、運転・保守マニュアルの整備を行います。また、保守計画の策定や発注者との保守管理契約なども不可欠となります。



## II. 運転段階でのマネジメント

### (1) O&M契約の種類と特性

引渡しを終えると運転開始に入ります。この時点での契約は運転（Operation）と保守（Maintenance）という意味でO&M契約と呼ばれます。O&Mの双方を外部に委託する場合と運転は自社で行うが、定期点検等の保守作業は外部に委託する場合があります。

### (2) 運転（Operation）・保守（Maintenance）

運転・保守マニュアルに基づく適切な運転が必須となります。また、日々の状態を記録してエラー防止と効率化を達成するために運転記録簿を毎日作成しましょう。記録簿には作業者の氏名や労働時間のほかに、燃料の受け入れ量、品質（水分、異物の有無）、生産量（蒸気、熱、電力）を記録します。また、灰が出るような施設の場合はその処理を適切に行うとともに、発生量や処理量も記録します。

保守には2種類あり、1つは日常点検です。これは運転・保守マニュアルに基づく点検で、通常は容易な作業であり、道具等を揃えて自前で行います。

もう1つは定期点検です。これはメーカー等に依頼して実施する点検で、最低でも年に1回は実施してください。普段は作業しないポイントを点検することで、重大な問題がないかを確認します。

#### コ ラ ム 【プロジェクトの進行と担当】

石油化学プラントなど大型のエンジニアリング事業において、プロジェクトは通常、基本計画→詳細計画→基本設計→詳細（実施）設計→機器調達→工事→試運転の順に進みます。基本計画、詳細計画のところで何回かFSが行われます。基本設計、詳細（実施）設計、機器調達のところをエンジニアリングと呼ぶこともあります。多くの場合FSはコンサルティング会社が行います。エンジニアリング部分は複雑であるため、①顧客自身が行う場合、②エンジニアリング会社が行う場合、③主要機器のメーカーが行う場合があります。工事は詳細（実施）設計・機器調達を担当した企業が実施し、試運転は基本設計を担当した企業が中心になります。エンジニアリング部分をどこが担当するかは極めて重要であり、プラントに対する習熟度、専門性、品質・環境・安全等を含む総合技術力が必要となります。また、基本設計と詳細（実施）設計の前段をシステム・エンジニアリングとも呼びますが、この部分をエンジニアリング会社が行い、詳細（実施）設計の後段と機器調達を顧客自身が行うケースも多くなってきています。

（出所）城子克夫氏（工学博士）からのコメント



### Ⅲ. 灰処理

バイオマス燃料は燃焼によって0.5～12wt% (d.b) の灰が必ず発生します。成分や量については第7章の灰の項目を参考にしてください。

灰の量は燃料の使用量に比例するため、燃料の消費量が多いと処理に係る問題が大きくなります。木質バイオマスは自然の植物から得られたミネラルを含むため、灰は元の土地に肥料として還元するのが理想的ですが、一方で灰には重金属類なども含まれるため廃棄物として処理すべきだという見方もあります。それゆえ、灰の取り扱いには様々な基準が存在します。また、木灰は陶芸や染色、食品加工、茶室など様々な用途において需要も存在します。灰の取り扱い基準や利用事例については第9章の参考資料を参照ください。





## 第7章 ボイラー技術の解説

木質バイオマスエネルギーとして利用するためには装置の選定が重要です。容量や対応する燃料種、得られる熱の種類、金額（初期投資、運転経費）も様々であるため、現場に最適な装置を検討しなければなりません。また、装置から生み出されたエネルギーをどのように利用するかといったシステム設計も重要です。こちらは既製品ではないので、ケース毎に対応します。

本書では10～1,000kW（1 MW）で、家庭用ならびに業務用として用いられる温水ボイラーを対象とします。従って、10kW以下の家庭用のストーブや1 MWを超えるボイラー（特に蒸気ボイラー）は対象としていません。

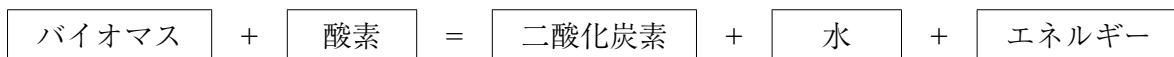
図表 7.1 本書の適用範囲

容量（出力）	用途	分野	熱媒	導入条件
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 10～100kW</li> <li>・ 100～500kW</li> <li>・ 500kW ～ 1MW</li> <li>・ 1MW ～</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 暖房（冷房）</li> <li>・ 給湯</li> <li>・ プロセス蒸気</li> <li>・ 発電</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 家庭用</li> <li>・ 業務用（温浴施設、農業）</li> <li>・ 産業用（製材所、発電）</li> <li>・ その他（地域熱供給）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 温水（&lt;100℃、&gt;100℃）</li> <li>・ 温風</li> <li>・ 蒸気</li> <li>・ その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新設</li> <li>・ 既設つなぎ込み</li> </ul>

燃焼技術を理解することで、燃料品質に合致したボイラーの選択や効率的なエネルギー利用、燃料の品質管理の重要性、メンテナンスのポイントなどを知ることができます。

### I. 木質バイオマスを燃やす

バイオマスを燃やして熱や光を取り出すことは、バイオマスの最も古典的な利用方法の一つです。非常に単純な表現をするならば、バイオマスは空気中の酸素と反応して二酸化炭素と水、そしてエネルギーを発生させます。



#### (1) ボイラーと焼却炉

バイオマスを単に燃やすだけでは効率的にエネルギーを取り出すことができません。最適な燃焼管理を行いつつ熱を最大限に回収する装置をボイラーと呼びます。熱回収に頓着



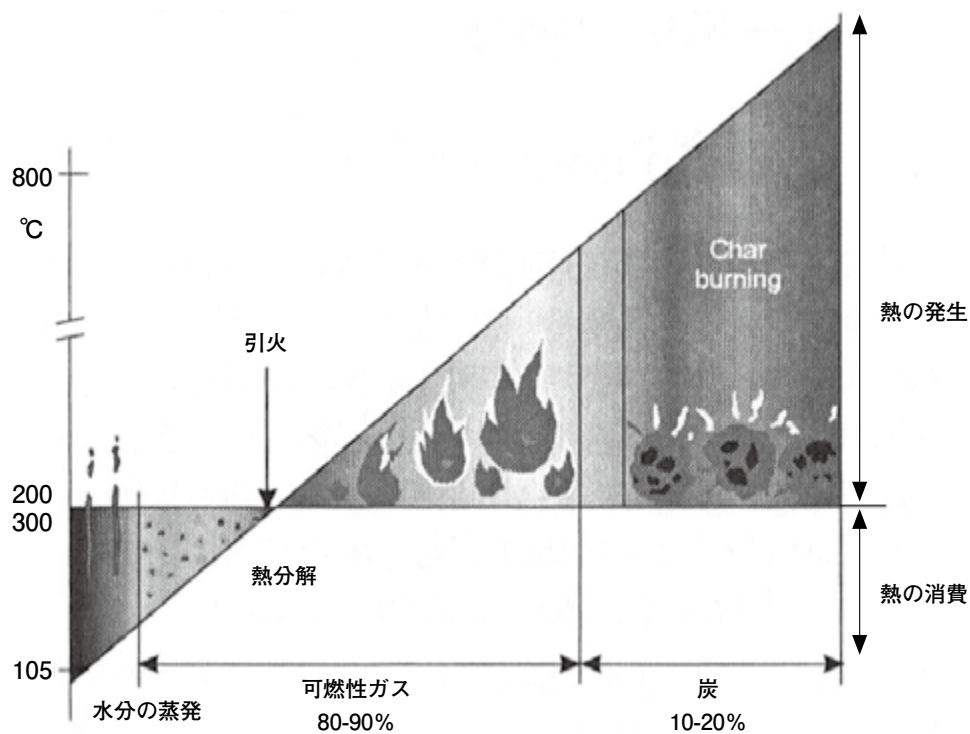


せずに減容だけを目的とした装置は焼却炉です。日本では、焼却炉の発想の延長で設計されたボイラーもあります。その場合、本来のボイラーに比べエネルギー効率が劣るので、注意が必要です。

## (2) 燃焼のプロセス

では、燃焼とはどのような手順で進むのでしょうか。木質バイオマスの燃焼はバイオマスが空気中の酸素とすぐさま反応して起こるのではなく、実際は温度によっていくつかの段階に分かれて進行します。そして、物を燃やすためには、「燃料」と「空気（酸素）」、「熱源」が必ず必要です。今後、木質ボイラーなど燃焼機器を導入して運用しようとする担当者にとって、燃焼の原理を理解することは、どうして自動車が動くかをドライバーが知っていなければならないのと同様、非常に重要な基本事項なのです。

図表 7.2 木質バイオマスの燃焼と発熱



Source: VTT Energy

(出所) Wood fuels basic information pack, 2000に筆者加筆

燃焼の第一ステップとして、バイオマスに外部から熱を与えると水分の蒸発が始まって、100°Cに達する辺りで絶乾状態になります。つまり、水分が多ければ多いだけ、乾燥にエネルギーを必要とします。200~300°Cにかけてバイオマスは緩やかに熱分解を始め、水蒸気や二酸化炭素のような不燃性ガスと一酸化炭素、メタン、エタン、水素のような可燃性



ガスが発生します。バイオマスの表面は黒く変色し、変形し炭のようになります。この状態になるまで、外部から熱を与え続けなければなりません。

バイオマスの種類にもよりますが、250℃を超えると急速に熱分解が始まり、可燃性ガスの生成も一挙に増大します。これによりバイオマスは引火します。通常、引火温度は300～350℃です。

350～400℃でガスの状態の揮発性成分（一酸化炭素、水素、その他炭化水素類）の放出量が最大化します。揮発性成分はバイオマスに含まれる可燃成分の75%にも達することから、バイオマスの燃焼は主にガスの燃焼といえます。

400℃になると熱分解ガスの生成が終了し、450℃までの温度でタール分が生成、ガス化します。また、これ以降は炭が急激に形成されます。この段階に達すると、燃焼によって熱エネルギー（一部は光として）が生み出され、連鎖反応に必要なエネルギーも自己完結します。

800～900℃では可燃性ガスがほとんど存在せず、固体の炭素（木炭）が残ります。高温加熱した炭は強力な還元力をもつため、酸素と激しく反応して水素や一酸化炭素を発生します。このガスが燃えることが炭の燃焼です。これによって、バイオマスのエネルギーを最大限引き出すことができます。

バイオマスの燃焼とは、可燃性ガスと炭の燃焼であり、一連の反応が連続的に起こることなのです。

## II. 効率的な燃焼と空気

焼却が目的でないのならば、良い燃焼とは最大限のエネルギーを取り出すことであり、効率的な燃焼が不可欠です。そのためには所謂「3つのT」が重要となります。それは、燃焼の時間（Time）と温度（Temperature）と乱流（Turbulence）といった要素です。時間と温度は前項の説明で理解できると思いますが、乱流については可燃ガスを適切に空気と混ぜることだと理解してください。

### （1）空燃比

これらの要素を最適化するためには空気のコントロールが欠かせません。空気と燃料との質量比を空燃比とよび、完全燃焼に必要なだけの酸素を含む空気量を理論空気量といいます。バイオマスの空燃比は6.3（バイオマス1gに対して空気6.3g）です。参考までにガソリンの空燃比は14.7、石炭は11.4、エタノールは9.0です。

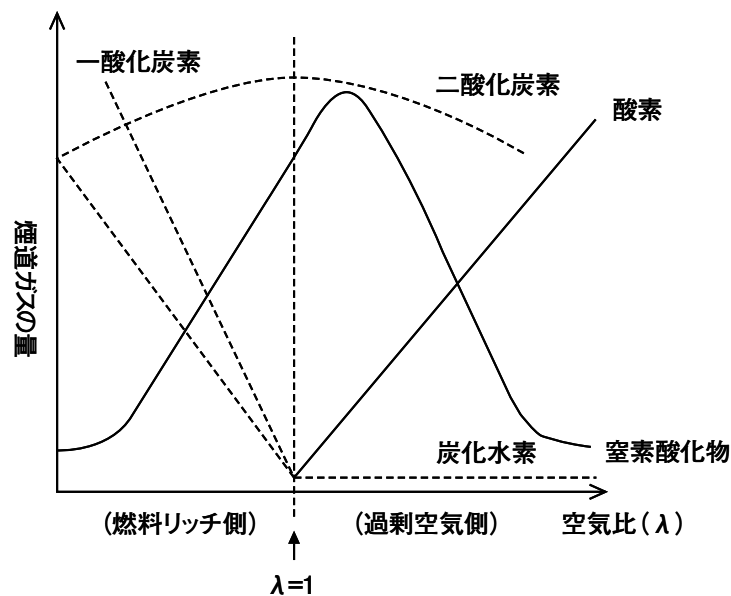
### （2）空気比

実際の空気量を理論空気量で除した値を空気比（空気過剰係数）と呼びλ（ラムダ）で表します。計算上、空気比1が最適な燃焼状態ですが、実際には少し過剰に空気を供給し

ないと完全燃焼しません。バイオマスの場合、最適な空気比は1.25～1.40となります。

空気比が1よりも小さくなると燃焼に必要な酸素を供給できないため不完全燃焼につながり、一酸化炭素や炭化水素が発生し、煙突から紫煙・黒煙が出ます。また、空気量は多すぎても燃焼に不必要な空気が増えるため、排ガス量が増加し、熱損失につながります（エネルギー変換効率が悪くなります）。

図表 7.3 空気比と燃焼ガス量の関係



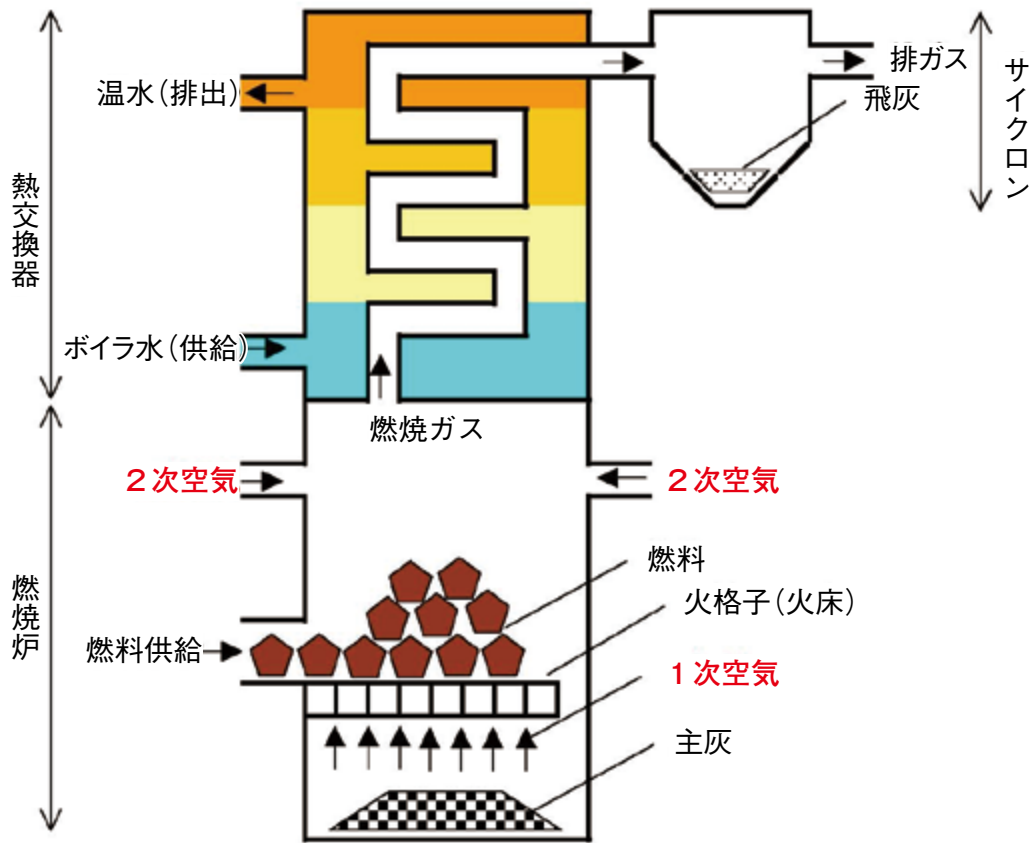
（出所）Biomass Boiler Design, D. Harfield et al., 2011に筆者加筆

欧州製のバイオマスボイラーには煙道にラムダ・センサ（ $O_2$ センサ）が取り付けられています。燃焼の具合は酸素濃度に現れるため、この装置によって排ガス中の酸素濃度を計測し、燃焼を最適化しているのです。

### （3）効率化のための工夫

また、空気の供給は、その絶対量もさることながら、どのような段階で供給するのかといった設計も効率的な燃焼にとって大変重要です。したがって、バイオマスの燃焼装置では最適な炉の構造を設計し、燃料の投入方法や空気の供給方法（1次空気、2次空気、場合によっては3次空気）を工夫して燃焼を管理しているのです（図表 7.4）。加えて、供給する空気を予め余熱する（空気予熱器という）ことで熱損失を少なくするなど、先進的な燃焼機器においては様々な工夫がなされています。

図表 7.4 ボイラーの模式図 (炎管ボイラー)



(出所) 小島作成

### Ⅲ. 効率的な燃焼と燃料の質

効率的な燃焼のためには、ボイラーだけでなく燃料の品質も大変重要です。バイオマスが石油やガスなどの化石燃料と大きく違う点は、燃料に大量の水が含まれていることです。当然のことながら水は燃えません。そればかりか燃焼のためには燃料中の水分を蒸発させる必要があるため、湿った燃料はそれだけ熱量が小さくなってしまいます。それゆえ、できるだけ水分の少ない燃料が理想的です。

#### (1) 灰の量

灰は燃料に含まれるミネラルや重金属などの不燃物であり、その比率は灰分（カイブン）で示します。灰は燃えないため灰分の多寡は発熱量に影響を及ぼすほか、燃焼機器に対して悪影響を与え、メンテナンスの手間が増加します。したがって、灰分の少ない燃料が理想的です。灰は発生箇所によって2種類あり、燃焼室の底部から排出されるものがボトム・アッシュ（主灰）で、実際には未燃物（炭状の燃えカス）やクリンカ（珪素が高温でガラス化した固形物）を含みます。もう1つは煙道のサイクロンから排出されるフライ・アッ



シュ（飛灰）で、重量の軽い灰で構成されます。重量比では主灰が圧倒的に多く排出されます。灰分は量だけでなく、その組成や融点（何℃で溶け出すか）もランニングコストに関係します。

## （2）エミッション

燃焼によって煙突から排出される大気汚染物質（ガス）の総称がエミッションです。二酸化炭素以外に、ススなどの粒状物質（PM）や一酸化炭素、炭化水素、窒素酸化物、硫黄酸化物、塩化水素、ダイオキシンなどがあります。エミッションを低下させるためには、ボイラーの最適な構造、空気量などの管理、燃料の品質に注意が必要です。

## （3）ボイラーの耐久性

さらに、燃料の品質はボイラーの耐久性に影響を及ぼします。腐食をもたらす要因は燃料中の塩素分と硫黄分です。塩素分は樹木の葉にも若干含まれていますが、注意が必要なのは海水起源の塩や塩化ビニルなどの廃棄物です。塩素ガスは腐食性が非常に高いため、管体や煙道を強力に酸化させる作用を持っています。一方、硫黄分は低温部において硫酸に変化し管体を腐食させますが、木質バイオマスの硫黄分は微量なのであまり気にしなくて良いでしょう。

# IV. ボイラーと燃焼炉

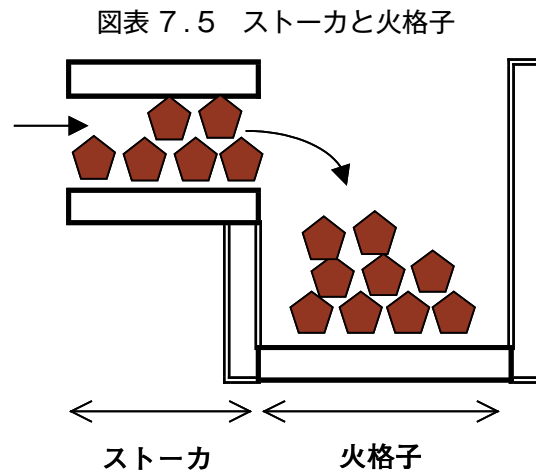
バイオマスのボイラーは性能（効率、環境、安全）やデザイン、種類、メーカー数、生産量といった点で欧州製が日本を含む他地域を圧倒しており、日本の20年ほど先を進んでいます。その理由は、欧州が伝統的に石炭を中心とする固体ハンドリング及び燃焼技術を得意としており、その技術をバイオマスに受け継ぎ発展させてきたことや、1990年代からの政策としてバイオマスのエネルギー利用を積極的に展開してきたことから、マーケットが発達した結果です。ここでは欧州を参考に記します。また、ボイラーの出力を表す単位として、kW（キロワット）で示します。

## （1）ボイラーの構造

ボイラーは燃焼室（炉）と熱交換器で構成される装置です（図表 7.4参照）。バイオマス燃料は種類によって形状や水分、灰分などの品質が大きく異なるため、様々な炉が開発されています。日本では「なんでも燃やせるボイラー」などと宣伝しているメーカーもありますが、そのようなものは世の中に存在しません（それは焼却炉です）。また、ボイラーには熱交換器が不可欠ですが、利用者が必要とするエネルギーの種類により、温水（低温、中温、高温）や蒸気など熱媒体が異なります。

## (2) 燃焼炉の構造

燃焼炉はストーカ（給炭機）と火格子（グレート）で構成されます。ストーカのタイプはバイオマスの投入方法、火格子タイプは燃焼方法を規定します。ストーカ方式と火格子方式の選択は燃料の品質やボイラーの容量によって決定されます。特に火格子は燃料の品質（形状、水分、灰分）によって様々なタイプが存在しています。



(出所) 小島作成

### ① 火格子

火格子は固定床とも呼ばれ、文字通り固定されたレンガや金属によって構成されています。この場合、ストーカはバッチ式（ドアを開けて投入する方法）が一般的で、薪ボイラーや製材所にある所謂木屑焚きボイラーに多く採用されています。安価ですが、高い水分の燃料には対応できず、またエミッションも多めです。

### ② 振動火格子

これは火格子タイプ①の進化形です。揺り動かすことで空気との反応性を高めることで高効率化、低エミッション化を図っています。

### ③ 階段振動火格子

これは火格子タイプの最終形で、階段状にした火格子の高いところからスクリー式（ふるい）のストーカにより燃料を投入します。高い水分の燃料を徐々に乾かしながら効率的に燃やすことが可能ですが高価でもあります。このタイプは、乾いた燃料が入った場合に火格子の過熱を防止するための水冷式もあります。



#### ④ ポット式

ポット式はペレットストーブや小型ペレットボイラーで採用されている燃焼方式で、水分や灰分の少ない高品質な燃料を小さな容量で効率的に燃やすことに適しています。多少灰分の多い燃料に対応するため、クリンカ除去装置を備えたタイプもあります。

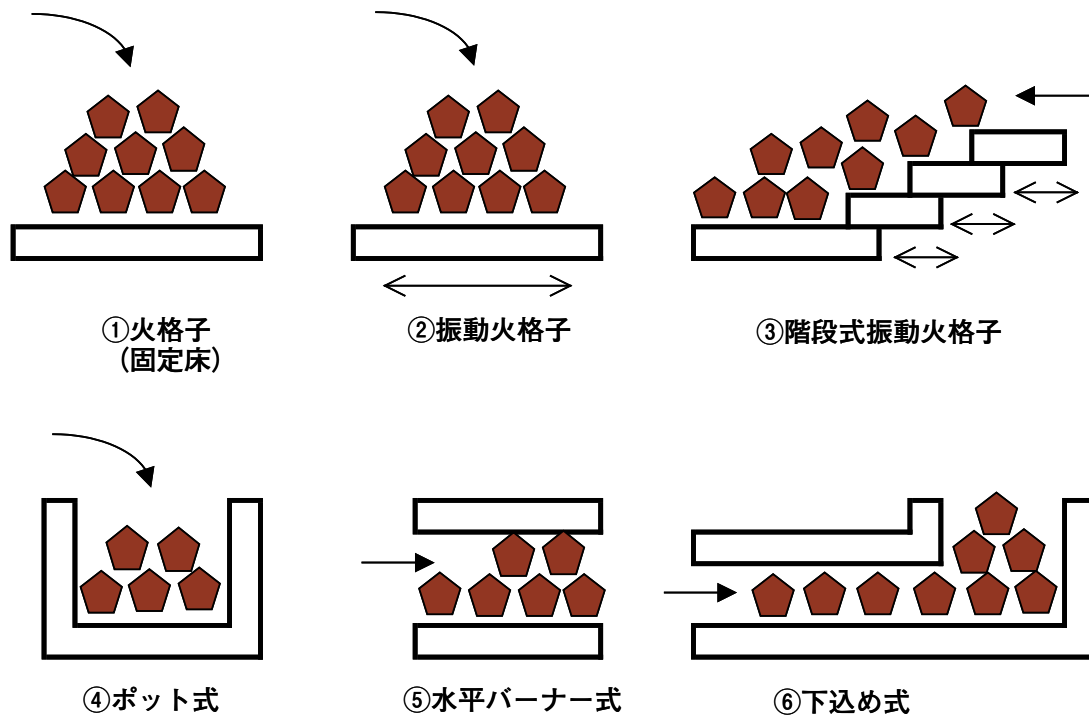
#### ⑤ 水平バーナー式

これもペレットに適した燃焼方式で、小型ペレットボイラーや農業用ペレットボイラーなどに採用されています。既存の石油ボイラーのバーナーだけ取り替えてバイオマス転換される場合もあります。

#### ⑥ 下込め式

これは水分と灰分の少ないチップやペレットの燃焼方式として、小型から中型まで幅広く採用されています。スクリー式のストーカーと火格子が一体となっており、安価で堅牢、信頼があります。しかしながら、水分の高い燃料には対応できず、また発停時のエミッションも多めです。

図表 7.6 様々な燃焼方式



(出所) 小島作成



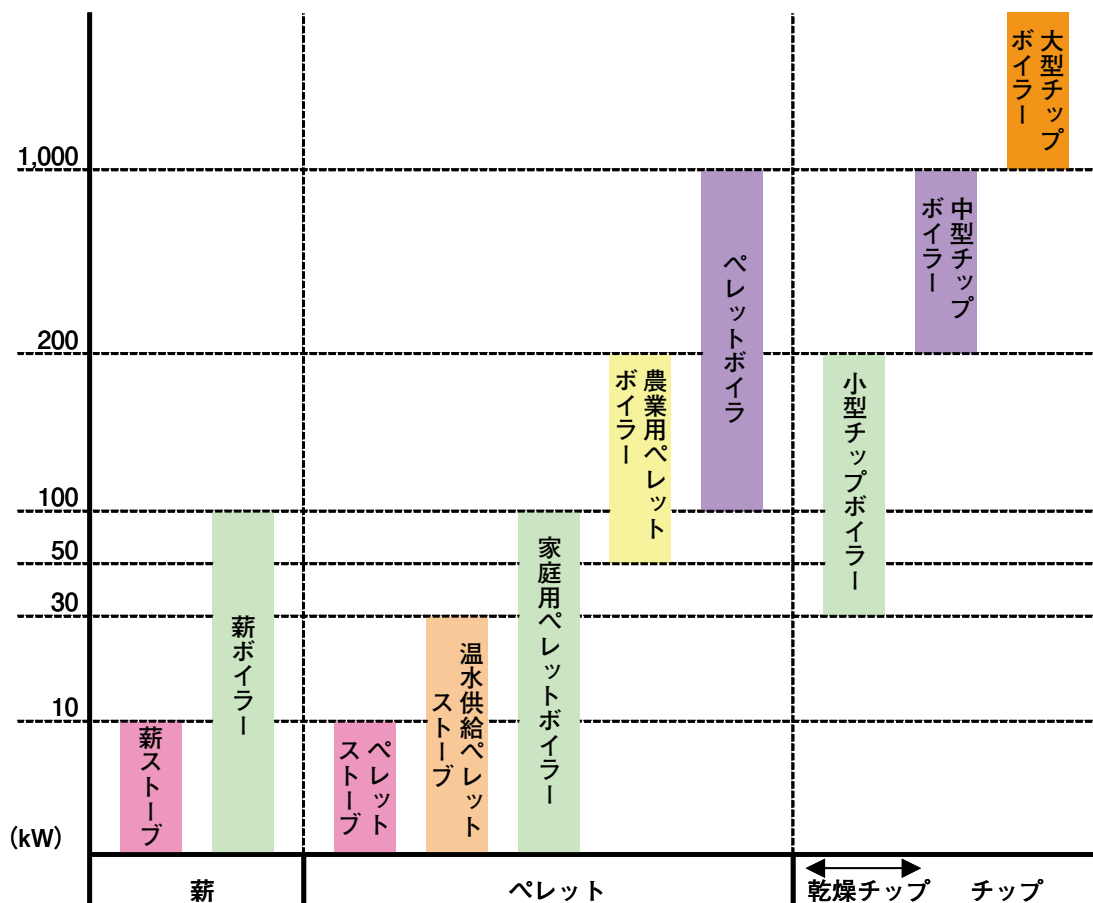
## V. 様々なボイラーの特徴

家庭を中心とする住宅の暖房部門で主に使用される小型ボイラーは炉と熱交換器が一体になった状態で販売されており、これをパッケージ型ボイラーと呼びます。これはメーカーの製造ラインで計画量に応じて生産されます。

中型ボイラーになると炉と熱交換器は別々に設計製造されているので、様々なタイプの炉と熱交換器を組み合わせることが可能となります。同じメーカーから販売されているパッケージ型ボイラーでも、実は炉と熱交換器はいくつかのパターンで設定が可能となっています。多様なバイオマス燃料に対して低エミッションな燃焼と高効率なエネルギー回収を行おうとすると、最適な炉の選択が不可欠なのです。

また、発電所などの大型ボイラーになるとラインでは製造できないので受注生産となります。ボイラーの熱容量が大きくなるため、炉のタイプはある程度限られますが、利用者が使おうとする燃料の種類や必要とするエネルギー（この場合蒸気が主流となります）に応じて専用の設計がなされます。

図表 7.7 燃料とボイラーの組み合わせ



(出所) 小島作成



### (1) 薪ボイラー (<100kW)

薪ボイラーの歴史は日本でも古く、風呂用の薪ボイラーは今でも農村で数多く利用されています。また、震災後は薪が見直されつつあります。薪ボイラーは欧州でも伝統的で、薪はバッチ式（扉を開いて人が手で投入する）で供給されます。最近ではブリケットなどを用いた自動化や薪とペレットのハイブリッドタイプも商品化されています。

最も古典的なスタイルの上方通風式の薪ボイラーは、単純かつ安価な家庭用暖房給湯機器です。多くの場合、燃焼に必要な空気は自然に供給される仕組みを採用しており、1次空気は燃料の下部の火格子に、2次空気はガスの燃焼部分に供給されます。灰は火格子の下に溜まります。

この方式の場合、ボイラーの低負荷時には未燃による炭化水素のようなエミッションが比較的多く発生します。環境負荷の小さな最適燃焼を達成するためには、定格出力での運転が望ましいといえます。したがって、欧州では薪ボイラーは貯湯槽とのセットで運用することで、ボイラーの負荷を安定化させ、エミッションを最小化するようにしています。

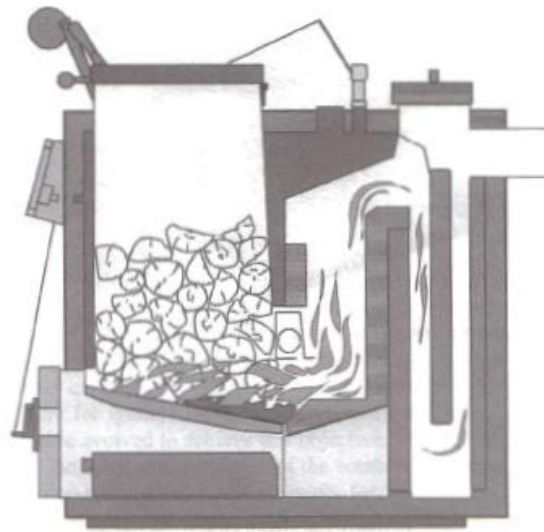
図表 7.8 伝統的な薪ボイラー（上方通風式）



(出所) Biomass Combustion & Co-firing, S.V Loo & J. Koppejan, 2008

改良型の薪ボイラーは、炉の構造を見直すことで、より少ない薪で高効率、低エミッションの燃焼を可能としています。燃料をホッパーに詰め込むと、低部でガス化して別室で燃焼します。燃料は薪のほかにブリケットやチップを用いることも可能です。通常、燃焼に必要な空気は自然通気ですが、電気ファンで燃焼空気を供給したり、排気ファンで燃焼ガスを引いたりする機種もあります。導入費は古典的なタイプに比べ2倍ほど高価ですが、燃焼が安定しており、低エミッションです。

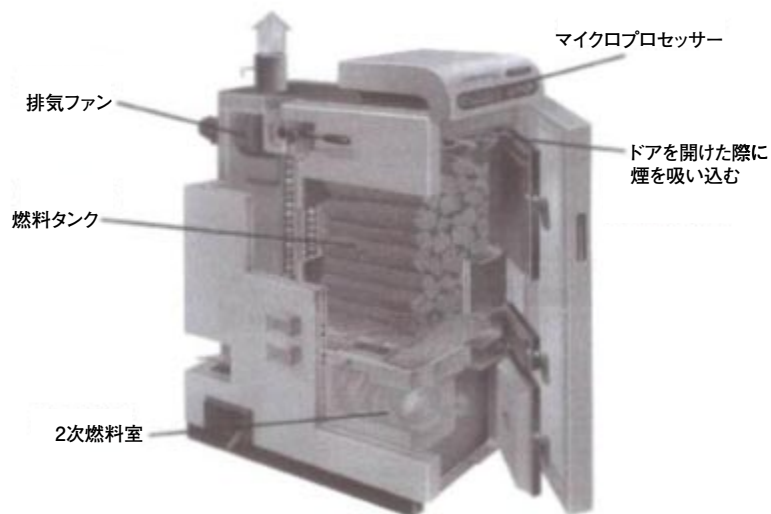
図表 7.9 改良型の薪ボイラー



(出所) Biomass Combustion & Co-firing, S.V Loo & J. Koppejan, 2008

最新型の薪ボイラーは1次燃焼室でガス化させたガスをセラミックあるいは耐熱性の鉄で覆われた2次燃焼室で燃やすことで非常に高い燃焼温度を達成しています。この機構から「ガス化薪ボイラー」と呼ばれています。燃焼に必要な空気の量は、排ガスをラムダ・センサーで計測することで多段階に最適化しており、マイコンによるファジー理論制御と相まってエミッションを非常に低く抑えることが出来ます。しかしながら、ガス化薪ボイラーは改良型の薪ボイラーよりもさらに高価です。日本では試作段階にあります。

図表 7.10 最新の薪ボイラー（ダウンドラフト型）



(出所) Biomass Combustion & Co-firing, S.V Loo & J. Koppejan, 2008



## (2) 温水供給機能付ペレットストーブ (10~35kW)

一般的に、ペレットストーブは空気の対流（温風）により部屋を暖房します。また、その特徴である炎が見える効果で輻射熱（遠赤外線などの熱線による放射熱）も正面から放射されます。対流熱と輻射熱が得られる点では薪ストーブも同様ですが、近年では温水の供給機能を持つペレットストーブが商品化されています。欧州では確立されていますが、日本では試作段階にあります。

写真 7.1 温水供給機能付ペレットストーブ（ラベリ）と貯湯槽の導入事例（京都府）



## (3) 小型ペレットボイラー (10~100kW)

家庭用のペレットボイラーは薪ボイラーと基本的な構造は同じですが、燃料の外形が異なるため、薪ボイラーでペレットをそのまま利用することはできません。また、薪ボイラーは燃料を燃焼室に手動で投入しなければなりません。ペレットは粒状ですので、スクリーンやエアールによる自動搬送が可能となります。

欧州では2000年代の中頃から、ペレット専焼のボイラーの開発が目覚しく発展しました。燃焼炉（室）や熱交換器も専用に設計され、かつコンパクトで、効率も高く、エミッションも低い製品がオーストリアやドイツ、イタリアなどから販売されており、住宅部門の温水暖房市場において大量に流通しています。例えば2011年のドイツでの小型ペレットボイラー（50kW未満）の年間販売数は15,000台、オーストリアは10,400台でした。残念ながら日本製の製品はありません。



写真 7.2 家庭用ペレットボイラー導入事例

(左：シュミット製 (群馬県)、右：テルモロッシ製 (和歌山県))



#### (4) 農業用ペレットボイラー (50~200kW)

日本において、ペレットは農業分野での利用が広がっています。海外の施設園芸では多くが温水式の暖房ですが、日本では温風式が多く利用されています。ペレット専用が開発された温風ボイラーのほか、既存の石油焚き温風ボイラーにバーナーを取り付ける方式も存在します。温風は大口径のビニル製の円筒を通じて温室の隅々に届けられます。

写真 7.3 国産ペレット焚き農業用温風ボイラー (株丸文製作所)



(出所) 株丸文製作所ウェブサイト





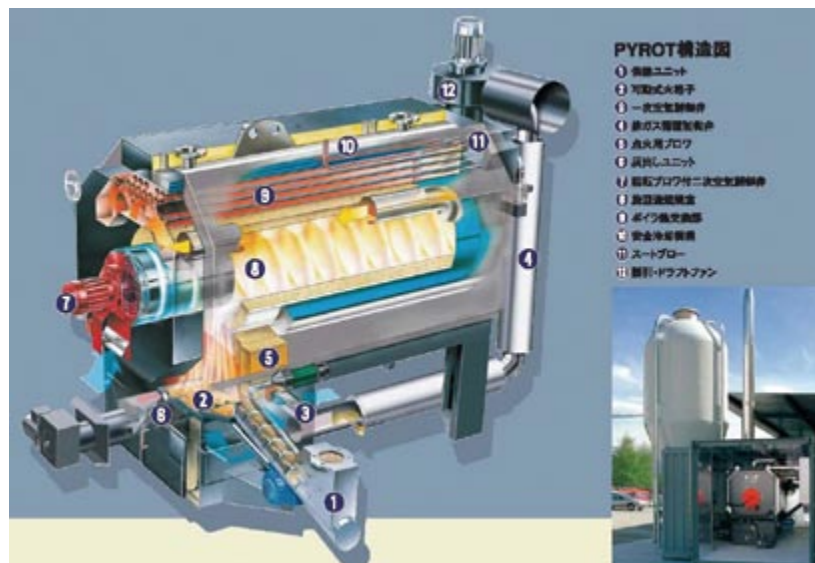
### (5) 中型ペレットボイラー (100~1,000kW)

欧州では集合住宅や学校、施設などのブロック暖房や小規模な地域熱供給などに使われています。日本では役場や学校などの暖房のほか、温浴施設の加温などに使われています。

写真 7.4 国産ペレット焚き温水ボイラーとバーナーの構造 (二光エンジニアリング)



図表 7.11 先進的なガス化旋回流燃焼ペレットボイラー (KOB社オーストリア)

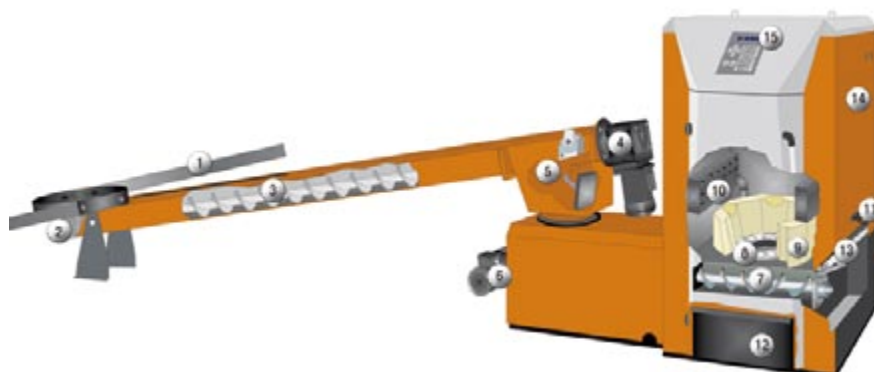


(出所) 株ヒラカウェブサイト

### (6) 小型チップボイラー (30~200kW)

剥皮した切削チップ (ホワイトチップ) は、乾燥済みであればペレットと同様の流動性、少ない水分・灰分といった高品質燃料の要素を満たします。それゆえ、少し大きめの小型ペレットボイラーであればチップを利用できます。燃焼機構は下込め式ストーカが主流です。ただし、サイロや搬送設備はチップ専用のものが必要となります。日本では、低水分の燃料用ホワイトチップの供給ネットワークが整備されていないため、ほとんど普及していませんが、燃料代を考慮すると今後の有望分野といえます。

図表 7.12 小型チップボイラー (シュミット)



(出所) シュミットウェブサイト

### (7) 中型チップボイラー (200~1,000kW)

このクラスのチップボイラーには大きく3つのカテゴリーが存在します。1つは低水分、低灰分の高品質チップに対応するボイラーです。小型チップボイラーを大型化したもので、燃焼機構は固定床や下込め式ストーカです。ボイラー自体は比較的安価ですが、燃料の品質に敏感です。

図表 7.13 高品質チップ用ボイラー (左: シュミット、右: ㈱タカハシキカン)



(出所) シュミットウェブサイト、ヤンマーグリーンシステム(株)



2つめのタイプは、高い水分のチップに対応できるタイプです。ペレットと違ってチップの品質、特に水分の調整は燃料供給業者の経験や手順で左右されるため、利用側が品質の変動に幅広く対応するためには、ある程度高い水分のチップでも効率的に燃焼させることのできる機構をもつボイラーを選択する必要があります。その場合、振動火格子などにより燃料と空気との反応性を向上させています。当然、ボイラー自体の価格は高品質チップ用ボイラーより高くなりますが、低品質なチップが使えるため、運転経費が安く、燃料調達の変動にも寄与します。日本製は試作段階です。

図表 7.14 高水分チップ対応型ボイラー（シュミット）



(出所) (株)トモエテクノウェブサイト

3つめはマルチ対応のチップボイラーです。高い水分だけでなく、高い灰分にも対応しており、逆に低い水分（乾燥し過ぎ）にも対応できます。バイオマス燃料の品質は水分が重要な要素ですが、高すぎる水分だけでなく低すぎる水分も時に問題になります。それは燃焼炉が高温になり過ぎるという過熱の問題です。それゆえ、この種のボイラーは火格子や炉壁を水冷式で冷却する装置を備えています（オプション設定）。ペレットやチップだけでなく、バークや製材系の副産物、非木質のバイオマス燃料など多様なバイオマス燃料が利用可能です。日本製はありません。

図表 7.15 マルチ型チップボイラー (シュミット)

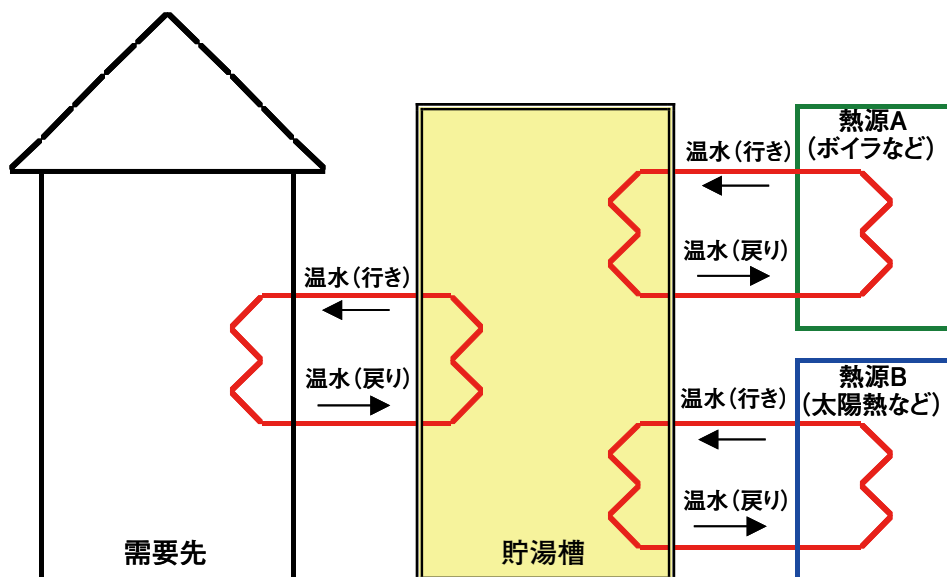


(出所) シュミットウェブサイト

## VI. 熱供給システム

家庭用や業務用の暖房・給湯の場合、熱の媒体となる温水はボイラーと貯湯槽（蓄熱槽）の間で熱交換を行うのが一般的です。需要先の家庭や学校、温泉などは貯湯槽から温水を引き込み、熱交換器によって空気を暖房したり、水道水を暖めてお湯を作ったりします。基本的な構造は夜間電力を使うエコキュートなどと同じです（電気でお湯を作るかバイオマスを燃やしてお湯を作るかの違い）。

図表 7.16 貯湯槽と熱源の関係





貯湯槽を媒介するのは以下のようなメリットがあるからです。

- ・蓄熱することで需要変動に対する余裕が生まれ、ボイラーの応答性、環境性、経済性が改善する
- ・様々な熱源（石油、ガス、電気、太陽熱等）を組み合わせることができる

システムの上で根幹となるのは貯湯槽とその管理です。容量の設計もさることながら、どのような温度帯でどのエネルギーを使うのか、ボイラーの発停プログラム、燃料供給のタイミングなど、ソフトウェアの固まりといっても過言ではありません。単に木質ボイラーを導入するのではなく、より上手に木質ボイラーを使うためにも、この辺の設計や運用が重要です。

日本の家庭では温水暖房（あるいはセントラルヒーティング）が定着していないため、この種のシステムを使おうとすると室内に配管を張り巡らし、熱交換器（パネルヒーター）を設置する必要があります。また、効率よく暖房するためには建物の暖房が前提条件になります。日本型のコタツ文化（個別暖房）から欧米型のセントラルヒーティングへと生活スタイルを転換するだけではエネルギーの総需要が増えてしまうので、総需要を以前よりも減らすという「賢い熱利用」のための努力も不可欠です。



## VII. 燃料の配送と貯蔵、搬送

暖房システムの円滑な運転のためには、燃料の配送、貯蔵、搬送が不可欠です。ここでは以下のポイントが重要となります。

- ・ 様々な事業者による供給が可能となるよう、標準的な車両による配送を想定した設計とすること
- ・ 迅速かつ単純な燃料の排出機構により、人件費を抑制する
- ・ サイロは外からの水分進入を防ぎかつ内からの蒸発水分を逃がすものであること
- ・ 所与の条件に従い、安全に微粉を放出し管理できるものであること
- ・ 建築基準法や健康・安全基準に即したものであること

### (1) 燃料の配送

燃料の配送と受け入れの方法は様々ですが、最終的には以下の条件に従います。

- ・ 燃料種（薪、チップ、ペレット等）
- ・ 立地条件（面積、アクセスの制限等）
- ・ 配送車両（どのような種類の車両が設計上想定されているか、また供給業者の所有する車両の種類）

図表 7.17 燃料の配送方法、特徴

配送方法	写 真	燃料種	容 量	備 考
小袋		ペレット	10~20kg/袋	ペレットストーブ、家庭用ペレットボイラー
バルク車（エア一圧送）		ペレット（チップにも適用可能）	ペレット（15~20m <sup>3</sup> 、10~14t）	欧州の家庭用ペレットボイラーでは標準的
大袋（フレコンバッグ）		ペレット（チップにも適用可能）	1~2 m <sup>3</sup> /袋	日本のペレットボイラーでは標準的
棚詰め		薪		薪の配達方法のひとつ
ビニル包装		薪		薪の配達方法のひとつ（大口需要）
アームロール		チップ	小型から大型まで様々な車両に対応	コンテナが脱着可能、ダンプアップも可能
チップトラック		チップ	大型トラック、トレーラー	主に製紙チップを配送
移動床トラック		原木、チップ	大型トラック	床面が前後に動くことで積荷を自動排出する

## (2) 燃料の貯蔵

暖房システム全体の整備費の中で、燃料の貯蔵施設の費用は大きな比率を占めます。貯蔵庫からの燃料の排出機構は確実な構造が求められますが、上屋は雨や雪が入らないだけの簡単なフタでも良く、費用をかける必要は全くありません。

また、その設計は使いやすさに影響します。最適な燃料貯蔵はその場所によって異なりますが、基本的に以下の要素により決まります。

- ・ 燃料供給業者の配送方法との適応性
- ・ 予定地の面積など土地の物理的な環境
- ・ 既存あるいは新設する施設（プラント）との関係
- ・ 景観など外観からの制約
- ・ 燃料の種類による貯蔵量への制約
- ・ 円滑な運転に必要なだけの容量（概ね消費量材積の10日分×1.4）
- ・ 土質、地質的な制約
- ・ 費用

燃料の貯蔵方法はだまかに以下の3種類です。

### ① 地下もしくは半地下の貯蔵

写真 7.5 地下貯蔵（オーストリア）



写真 7.6 半地下貯蔵（高知県）



### ② 地上の貯蔵

写真 7.7 チップ（オーストリア）



写真 7.8 ペレット・サイロ（群馬県）







### ③ ボイラーに燃料サイロが組み込まれた方式

写真 7.9 小型ペレットボイラー (KWB)



燃料貯蔵庫の設計における注意点は以下の通りです。

- ・ 外部からの水分の浸入を防ぎつつ、内部からの通気性を保っていること
- ・ 燃料の重量に対する耐力性（地下の場合は周囲の土からの圧力）
- ・ 単純な燃料計測方法を有すること（ハッチや窓、ウェブカメラ等）
- ・ 関連する建築基準などに合致していること
- ・ 貯蔵庫からボイラーまでの搬送距離をできるだけ小さくすること
- ・ 燃料投入時の安全性を確保すること（例えばストップバーを設ける等）
- ・ 外部から建物等への侵入に対して適切な警備手段を講じること
- ・ 搬送車両から全ての積荷を降ろすだけの容量を確保すること

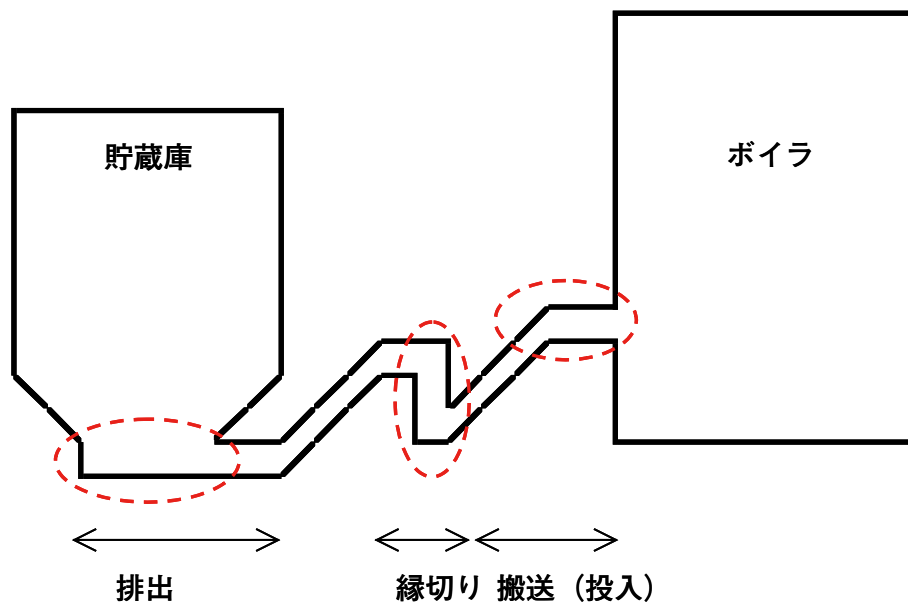
また、チップとペレットは異なる物理特性を有するため、それぞれの特性に配慮した貯蔵が必要です。特にチップはペレットほど流動性がよくないため、注意深く貯蔵庫を設計しないとサイロ内で「ブリッジ」（燃料細片の絡み合いや圧力により、供給装置に燃料が付着する状態）を形成し、燃料を送ることができなくなります。したがって、チップの場合は完全な自動化ではなく、施設の所有者もしくは管理者が若干の人手によって管理することがトラブルの減少につながります。



### (3) 燃料の搬送

貯蔵庫からボイラーまで燃料を移動させることを搬送ラインと呼びます。燃料系トラブルのほとんどは、詰まる、ブリッジを形成するといったことによる送り不良です。また、火災を想定した設計が求められます。

図表 7.18 搬送ラインの模式図



(出所) 小島作成

搬送ラインは大きく3つのパートに分かれており、貯蔵庫（サイロ）からの排出、逆火を防止するための縁切り（段差をつける、シャッターやバルブを設ける等）、搬送ならびにボイラーへの投入です。搬送ラインは燃料の種類に応じて設計されます。

写真 7.10 縁切りの例





図表 7.19 排出方法の例

方式	写真	特徴
重力方式		ペレットなど流動性の高い燃料はサイロの形状により自重で落下する（小規模）
回転アーム式		傾斜のついた回転円板に鋼板製のスプリングアームが取り付けられており、チップやペレットを排出（小～中規模）
レシプロ式・チェーン式		油圧で作動する梯子状の鉄骨が床面を往復、またはチェーンにより回転することによりチップを排出（中～大規模）
移動スクリー式		モーターで回転する長いスクリーが床面を往復することでチップを排出（発電所などの特大規模）
クレーン式		プログラム制御された無人クレーンがカメラと連動しつつ燃料を掴み取りベルトコンベアあるいはホッパーに投入（パークなど繊維が長く水分の高い燃料用）



図表 7.20 搬送方法の例

方式	写真	特徴
エアー圧送式		ファンにより空気輸送する(ペレット、チップ)、交互に吸引するためパイプが2本ある
スクリーュー式		スクリーューにより搬送(チップ、ペレット)
バッチ式		扉を開けて投入する(薪や製材副産物など)
プッシャー式		油圧で押し出されるプッシャーにより投入(工場の副産物など)
ベルトコンベア式		大規模な発電所など