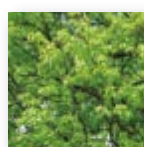


木質バイオマスボイラー 導入・運用にかかわる 実務テキスト






株式会社
森林環境リアライズ
Harmonization, Innovation, Aspiration

FUJITSU 富士通総研

環境エネルギー普及株式会社

目次

第1章 はじめに～バイオマスボイラー導入の意義と導入のポイント…	1	
I. 本書の趣旨	1	
II. 木質バイオマス導入に際して特に留意すべき点	2	
第2章 コスト構造	4	
I. バイオマスエネルギー利用のコスト構造	4	
(1) コスト構造の全体	4	
(2) kWあたりの標準コスト	5	
(3) ランニングコスト	6	
II. 収支計画手法	12	
(1) 収支計画策定にあたっての考え方	12	
(2) 収支計画の手順	13	
III. 欧州におけるバイオマスエネルギー利用のコスト構造	17	
(1) 標準的なコスト構造	17	
(2) 収支計算例	19	
IV. コスト低減に向けて	21	
(1) 設備費用	21	
(2) 稼働時間	22	
(3) 燃料単価	22	
第3章 熱需要の把握	23	
I. 化石燃料ボイラーとの違い	23	
(1) 出力調整ができるか	23	
(2) 稼働率か容量か	24	
II. 熱需要の内訳	25	
(1) 熱需要の把握と設計の論点	25	
(2) 熱需要分析と設計の例	26	
III. 熱需要把握の実務	30	
(1) 石油・ガス・電気のデータを用いる	30	
(2) 実測する	30	
(3) 内訳を推測する	30	
(4) 温度帯を整理する	31	
(5) ヒアリングで補完する	31	
IV. まとめ	31	

第4章 燃料の特徴と品質 32

I. 木質バイオマス燃料の種類と品質 32

- (1) 燃料の種類 32
- (2) 水分と熱量の関係 34
- (3) 燃料に含まれる水分の基準 35
- (4) 水分の計測と確認 36
- (5) 木質燃料の単位 36

II. 薪 37

- (1) 薪とボイラーの適性 37
- (2) 薪を購入する場合の確認事項 37
- (3) 薪の単位 38

III. チップ 39

- (1) チップの形状と燃料供給システムの適性 39
- (2) チップの水分とボイラーの適性 40
- (3) 不純物の混入による不具合 41

IV. 木質ペレット 43

- (1) ペレットの品質規格 43
- (2) 認証システム 44

第5章 燃料の生産方法 45

I. 薪 45

- (1) 製造方法 45
- (2) 価格 46

II. チップ 46

- (1) チップの製造と輸送 47
- (2) 自然乾燥 48
- (3) 製造コスト 49

III. ペレット 50

- (1) 製造方法 50
- (2) 製造コスト 51

IV. 生産の低コスト化の提案 52

第6章 プロジェクト・マネジメント 53

I. 事業企画段階でのマネジメント 53

- (1) 事業性調査 53
- (2) EPC契約の種類と特性 54
- (3) 各段階でのマネジメントのポイント 56

II. 運転段階でのマネジメント 58

- (1) O&M契約の種類と特性 58
- (2) 運転 (Operation)・保守 (Maintenance) 58

III. 灰処理 59



第7章	ボイラー技術の解説	60
I.	木質バイオマスを燃やす	60
(1)	ボイラーと焼却炉	60
(2)	燃焼のプロセス	61
II.	効率的な燃焼と空気	62
(1)	空燃比	62
(2)	空気比	62
(3)	効率化のための工夫	63
III.	効率的な燃焼と燃料の質	64
(1)	灰の量	64
(2)	エミッション	65
(3)	ボイラーの耐久性	65
IV.	ボイラーと燃焼炉	65
(1)	ボイラーの構造	65
(2)	燃焼炉の構造	66
V.	様々なボイラーの特徴	68
(1)	薪ボイラー (<100kW)	69
(2)	温水供給機能付ペレットストーブ (10~35kW)	71
(3)	小型ペレットボイラー (10~100kW)	71
(4)	農業用ペレットボイラー (50~200kW)	72
(5)	中型ペレットボイラー (100~1,000kW)	73
(6)	小型チップボイラー (30~200kW)	73
(7)	中型チップボイラー (200~1,000kW)	74
VI.	熱供給システム	76
VII.	燃料の配送と貯蔵、搬送	78
(1)	燃料の配送	78
(2)	燃料の貯蔵	80
(3)	燃料の搬送	82
第8章	国内事例調査結果の分析	85
I.	国内事例調査に基づくバイオマス利用の課題・ポイントと今後の方向性	87
(1)	計画段階	87
(2)	運用段階	92
II.	まとめ	95
第9章	参考資料	96



第1章

はじめに～バイオマスボイラー 導入の意義と導入のポイント

I. 本書の趣旨

森林資源由来の木質バイオマスは、戦後間もなくまでは、当たり前のように燃料利用されていましたが、やがて石油などの化石燃料にとってかわられてしまいました。近年では、CO₂ニュートラルな燃料源として、木質バイオマスはあらためて注目を集めるようになってきています。

特に、戦後植林した森林資源が成熟し蓄積も大幅に増加してきていること、化石燃料の価格が上昇してきていることなど、バイオマス利用の可能性はここにきて大幅に広がってきています。

バイオマスには電力利用と熱利用があります。電力利用だけではエネルギー効率もせいぜい20%台にしかありませんが、熱利用であれば、効率を80%以上引き出すことができます。また、熱利用では比較的小規模な利用から始めることができること、需要者も供給者も地元主体となることから、熱利用は地域にとって、もっともメリットを引き出すことのできるバイオマス利用といえるでしょう。

バイオマス熱利用が拡大することによって、化石燃料を代替していけば、資金が地域で循環するだけでなく、地域において新たな付加価値を生み出すことにもなります。つまり、バイオマスの熱利用は拡大すればするほど、地域経済への貢献、CO₂削減、環境負荷軽減と、一石二鳥三鳥もの効果をもたらすこととなります。

バイオマスは近年のイノベーションの進展で、燃焼効率向上や自動制御・自動運転など使い勝手も大幅に向上していますが、化石燃料とは特性が異なることから、化石燃料に比べ留意しなければならない点も少なくありません。このため、バイオマスのメリットを十分に引き出すためには、その特性を十分に踏まえて設計・施工、運用をすることが不可欠です。

現実には、バイオマス利用は日本では新しい分野であり、かならずしもこうした点が十分に認識されたうえで利用されているわけではなく、現場では試行錯誤が続いているのが実態です。また、ボイラーの設備にかかわるコストも、欧州に比べると相当に割高で、これもバイオマスの本格普及を妨げる大きな要因となっています。

そこで本事業（平成24年度林野庁事業「木質バイオマスの効率的利用を図るための技術支援」）では、まず現地事例調査を行い、日本におけるバイオマス利用の現状と課題がどうなっているかを整理しました。そのうえで、20年以上のバイオマス利用の歴史がある欧州の理論・技術を参考にして、日本のどこが問題でどこをどう解決していけばいいのかに



ついて分析を加えました。本テキストはこのような作業をベースにして、日本でこれからバイオマスボイラーを導入・運営する場合の理論・技術を体系的に整理したものです。

本書の作成においては、これに先行して作成された「木質バイオマスボイラー導入指針」(森のエネルギー研究所。平成24年3月)も参考にしました。

本書が、これからのバイオマスボイラーの本格普及のための大きな一歩となれば幸いです。

Ⅱ. 木質バイオマス導入に際して特に留意すべき点

これから木質バイオマスボイラーを導入するに際して、是非とも検討すべき点を以下にまとめました。本書では、これらについて詳しく解説していきます。

(1) 可能な限り稼働率を高める

化石燃料代の上昇によりバイオマスの価格が相対的に有利になってきていますが、他方で、バイオマスは設備費が相対的に高くなること、化石燃料とは使い勝手が異なることなどから、トータルコストで化石燃料よりも有利にならない限り、ユーザーがバイオマス導入のメリットを引き出すことは困難です。

このため、バイオマスボイラー導入に際しては、設備費を可能な限り抑えること、年間稼働時間が一定以上あることなどの条件をクリアーすることが必要です。本テキストでは、そのためのコスト計算方法を解説するとともに、稼働時間ごとのシミュレーションをしています。

(2) 適切なボイラーの規模と貯湯槽を選定する

年間の熱需要が一定として、稼働率を高めるために重要なのは、ボイラーと貯湯槽の大きさです。

化石燃料は熱需要の変動に応じて出力を調整することが可能です。このため、ボイラー設備の規模は、需要のピークに合うように設計すればすみました。ところが、バイオマスボイラーは出力調整が苦手であり、基本的に一定の出力以上で燃焼を続ける必要があります。

このため、ピーク需要に合わせてボイラーを決めてしまうと、効率的な熱利用ができなくなります。バイオマスボイラー導入に際しては、熱需要の変動を日、年で把握のうえ、ボイラーの稼働を最適化できるようボイラーの大きさと貯湯槽の大きさを決めることが重要です。場合によってはピーク需要に対しては、化石燃料を使うなどして、その分ボイラーを小さめにして、稼働時間を上げるなどの対応も考えなければなりません。



(3) チップの品質管理と適切なボイラーの選定

木質バイオマスは、化石燃料と異なり、燃料が均質ではありません。水分や形状など様々であり、ボイラーによって対応できるチップが異なってきます。たとえば、小型のボイラーでは、水分が一定以下の乾燥したチップでないとうまく燃焼しないなどです。反対に湿ったチップ用のボイラーに乾燥チップを投入すると、燃焼が早すぎて温度が上がりすぎるなどの問題も発生します。

このため、ボイラーの選定に際しては、地域で手に入るチップの質を勘案したうえで、チップに適合したボイラーを選定しなければなりません。

また、チップのボイラーへの供給もトラブルが発生しやすい部分であること、チップを貯蔵するサイロも大きすぎるとコストがかかりすぎるし、小さすぎれば頻繁に供給しなければならないなどのことが起こります。

(4) 設計・施工と運営体制を明確にする

バイオマスはこのように化石燃料のボイラーとは異なる点が多く、これらのことを十分に考慮の上、ユーザーのニーズに合わせて設計していかなければなりません。施工もバイオマスの特性をよく理解した人が行うことが重要です。

また、当初の設計に合致した品質のチップの供給を確保することも重要です。メンテナンスも適切に行わなければなりません。これらのことから、木質バイオマスの導入に際しては、ボイラーの管理者が研修を受け、こうしたバイオマスの特性を理解して運営を行うことが必要です。

(5) ペレット・チップ生産

チップ生産の基本は、製材や合板用に伐採したあとの残りの木を使う副産物利用です。チップのために木を伐採したのでは、その分、コストがかかってしまいます。また、チップ加工は可能な限り林地で行うこと、それを直接、バイオマスボイラーや発電所のサイロに届けるようにして、輸送経路も簡略化することが不可欠です。

残材をチップ工場に運んで、そこでチップ化してサイロに運んでは、輸送コストが2倍になるのみならず、積み込み・積み下ろしのコストも発生してしまいます。

このシステムが機能するためには路網が整備されていること、チップパーの稼働率を高めるための安定した木材生産により、一定の残材が出てくるのが前提になります。

ペレットも、副産物利用が原則です。欧州でのペレット生産は、乾燥した材を二次加工する製材工場ですでてくるおが粉を原料とするのが一般的です。日本のように丸太を伐採してペレット工場に運んで、その丸太を破碎・乾燥させるのでは、採算をあわせるのはムリです。しかも、バークが混入してしまい、品質が落ちてしまいます。

第2章 コスト構造

近年、化石燃料代の上昇によりバイオマスの価格が相対的に有利になってきています。他方で、バイオマスはボイラーの設備費が相対的に高くなること、燃焼技術や自動制御などイノベーションが進んだとはいえ、使い勝手ではまだ化石燃料に優位性があります。したがって、トータルコストで化石燃料よりも有利にならない限り、ユーザーがバイオマス導入のメリットを引き出すことは困難です。

このため、バイオマスボイラー導入に際しては、設備費を可能な限り抑えること、年間稼働時間が一定以上あることなどの条件をクリアし、一定期間内で、化石燃料よりもバイオマス利用がコスト的に有利になることが、重要な判断基準になるといえます。

本章では、木質バイオマス導入を判断するための基準となるコスト構造をまずは明らかにし、次いで収支計算方法について解説します。

なお、日本の木質バイオマスボイラーの設備費は、国際水準からすると相当に割高で、このままでは本格的な普及は困難な状況です。どの程度割高であり、今後どの程度まで下げる必要があるかをイメージしてもらうため、バイオマスの商業利用が進み、定量的なデータが整備されているドイツやイギリスの事例も分析しました。

I. バイオマスエネルギー利用のコスト構造

(1) コスト構造の全体

バイオマスエネルギー利用に必要なコストは、おもに設備費（初期費用）とランニングコストの2つに分けることができます。

○ 設備費（初期費用）

- ・ 機器費用（ボイラー本体、配管等の付帯設備費用）
- ・ 建屋、サイロ
- ・ 建設費（建設費には計画・設計費用を含む）

○ ランニングコスト

- ・ 燃料費
- ・ 運転・維持管理費（メンテナンス、電気代、灰の処理費用）
- ・ 固定資産税等



(2) kWあたりの標準コスト

次に、これらの標準的なコストを見てみましょう。

現在市販されている木質バイオマスボイラーは、高い熱効率（80%以上）で、自動運転・自動制御の能力を備えた機種がほとんどです。ここで想定するのもそうしたボイラーです。

ボイラー本体の価格は、同じ出力規模のものであっても、対応できる燃料の幅（水分量、チップ形状）や、自動制御の度合いなどの仕様の違いにより変動します。水分の高い燃料にも対応できるボイラーは、相対的に高くなります。

バイオマスボイラーのイニシャルコストは、燃料の種類（チップ、ペレット、薪）によっても異なりますが、ここでは今後もっとも普及が拡大するとみられるチップボイラーを想定します。

① 設備費（初期費用）

残念ながら、日本ではバイオマスボイラーのイニシャルコストの一般的な傾向について、信頼できる定量的なデータが存在しません。

今回行った事例調査（訪問調査及びアンケート調査）とメーカーヒアリングによれば、300kWボイラーの場合の一般的な設備費は、7,000万～1億2,000万円、kW当たり単価で23万円～40万円でした（図表 2.1）。

後ほど分析しますが、ドイツやイギリスにおける同規模の設備費は1,000万円～1,500万円、kW当たり4～5万円程度です。つまり、日本のバイオマスボイラー設備費は、欧州の4～8倍にも達します。このコストをどう圧縮できるかによって、今後の普及が大きく左右されると言えるでしょう。

なお、バイオマスの設備費は、一般に規模が大きくなるとkW当たりのコストは低減していく関係が見られます（図表 2.2）。

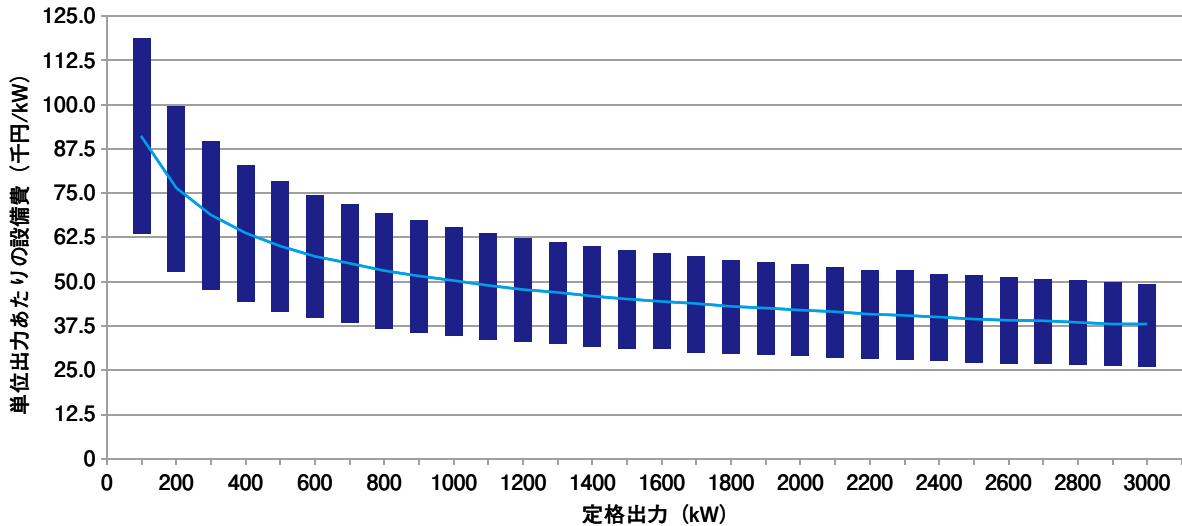
図表 2.1 日本におけるバイオマスボイラーの標準的な設備費（300kWの例）

費用項目	価 格	(参考) ドイツ (270kW)
ボイラー本体価格	3,000～4,000万円	585万円 (4万5,000ユーロ)
工事費	2,000～4,000万円	42.2万円 (3,250ユーロ)
サイロ・建屋	2,000～4,000万円	351万円 (2万7,000ユーロ)
合計	7,000万～1億2,000万円	978.2万円 (7万5,250ユーロ)
kW単価	23～40.0万円/kW	3.6万円/kW (278ユーロ)

(注) 1ユーロ=130円で計算。ドイツの場合、ボイラー本体価格にチップ搬送装置等が含まれている。



図表 2.2 バイオマスボイラーの定格出力と出力あたりのイニシャルコストの関係
(イギリス)



注) 1 英ポンド=125円で計算。設備費はイギリスでの価格で、日本のものよりかなり安くなっている。
(出所)「Biomass heating: A practical guide for potential users」Carbon Trustより作成

(3) ランニングコスト

① 燃料費

チップ燃料については、フィンランドやスウェーデンなどでは、エネルギー単位 (kWh) あたりの価格で取引が行われていますが¹、ドイツなどでは日本同様、エネルギー単位ではなく重量ベースで表記・取引されています。本テキストにおいても、重量ベースでコストを表記します。その場合の基準水分は、35%となっています。バイオマス燃料利用では、水分を用います (第4章「燃料の特徴と品質」参照)。

日本での木質チップの取引価格は、おおむね8,000~15,000円/tです。

ただし、その際の水分は、35%から55%までまちまちです。35%程度に管理されて取引されている事例の方が稀なのが実態です。

燃料利用として標準的な35%の水分に管理されたチップは、日本ではかなり高品質な部類に該当します。その価格を12,000円/tとすると、欧州の一般的なチップ価格に相当することになります。

トン当たりの木質チップの低位発熱量を3,240kWh (水分35%)、12,000円、重油価格を80~85円/Lとした場合、木質チップは重油価格の5割弱の価格となります。

¹ IEA Bioenergy Task40: Sustainable International Bioenergy Tradeにおいては、GJあたりの表示になっている。エネルギー単位で取引は、燃料供給者が一者である場合に可能となる取引形態。



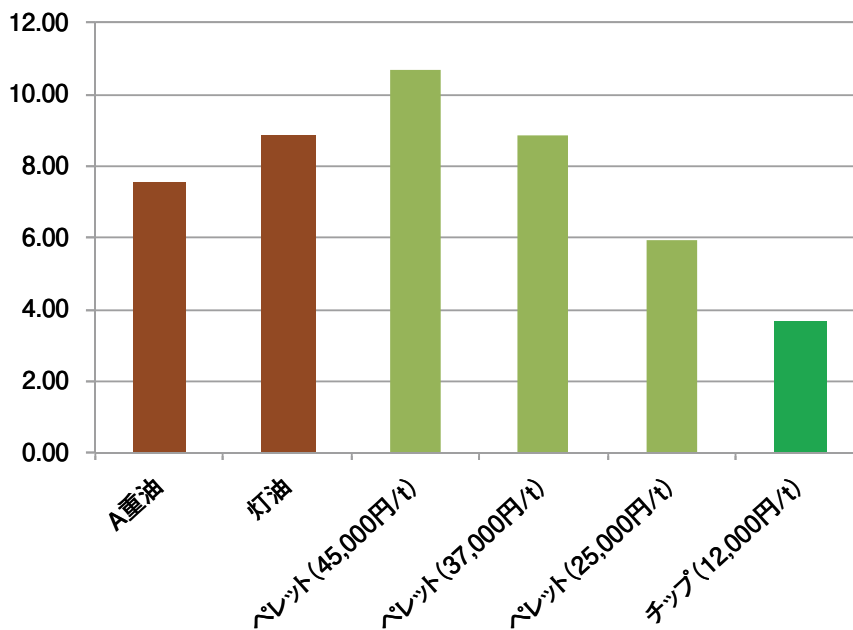
木質チップの燃焼において、水分の管理は決定的に重要です。木質バイオマスを普及させていくためには、適切に水分を管理することにより質のよいチップを生産し、適正な価格を形成していくことが重要です。

水分35%のチップ価格12,000円/tは、スギで立方当りに換算すると約6,000円/m³に相当します。ただし、これはチップ化コストも含んだ価格である点に留意する必要があります。

他方、ペレットの価格については、今回の事例調査では、ボイラー向けを含む小口の配送価格は45,000円/t、やや大口のボイラー向けは40,000円弱/tが一般的でした。この水準では、重油よりも割高になるため、ペレットの商業利用は不可能です。

灯油と同等の燃料単価になるのは、およそ37,000円/tになりますので、経済的なベースでペレットボイラーの普及を図るためには、少なくとも25,000~30,000円/t程度まで販売価格を引き下げる必要があります。

図表 2.3 燃料別のエネルギー価格の比較 (円/kWh)



(出所) A重油価格：資源エネルギー庁石油製品価格調査による産業用小型ローリー搬入価格、灯油価格：石油情報センターによる民生用灯油配達価格。燃料あたりの熱量は、A重油：10.8kWh/L、灯油：10.2kWh/L、ペレット：3.24kWh/kg、チップ：4.20kWh/kg（水分35%）として計算。



② 保守・点検費用

保守・点検費用は、ボイラーメーカー等との契約内容により大きく異なります。特に、一年間に複数回、東京から技術者が出張してメンテナンスを行うなどのケースでは、ボイラー一台あたりの保守・点検費用は100万円にもなります。

反対に、木質バイオマスボイラーの特性をよく理解し、適切な運転を行い、かつ日常的な保守・点検は自ら行い、一部の専門的な保守・点検についてのみ、適切な訓練を受けた地域企業を発掘して委託することができれば、保守・点検費用を10万～30万円程度に抑えることができます。

なお、ボイラー指定範囲外の水分のチップを投入したり、負荷を頻繁に上下させる運転方法は、不完全燃焼を招き、タールやススの付着量を増加させます。また、耐火壁に負担がかかるなど、長期的には部品交換の頻度が上がってしまいます。ボイラーを適切に運転することは、保守・点検費用を一定の範囲内に抑えるための不可欠の前提であることをよく理解しておく必要があります。

③ 灰処理費

ボイラーの燃焼灰は産業廃棄物として処理しなければならないため、処理委託費用が発生します。

灰の発生量は燃料の質に依存し、日本のバイオマスボイラーで使われることが多い樹皮付きのチップでは、灰分量は1.0～2.5%程度です。

灰の処理費用単価については、10,000円/t程度が相場のようなようです。

図表 2.4 木質バイオマス燃料の種類と灰分量

木質バイオマス燃料	原料	灰分量
樹皮	製材工場、木材市場等の残材	5.0～8.0%
樹皮付のチップ	間伐材（低質材）	1.0～2.5%
製紙用チップ（樹皮無）	間伐材（低質材）	0.8～1.4%
おが屑	製材端材	0.5～1.1%
廃木材	建築廃材	3.0～12.0%

（出所）季刊木質エネルギー No.19（熊崎実）より



④ 電気代

現代的な木質バイオマスボイラーは全自動運転となっており、燃料の搬送から燃焼制御の各プロセスが、電子的に制御されています。そのため、電力容量及び電気料金は比較的大きくなります。

ボイラーのカタログには、定格電気容量 (kW) が示されていますが、それらの内訳は以下のようになっています (図表 2.5)。

また、これらボイラー本体で消費される電力以外にも、循環ポンプ、熱量メーター、電灯、サイロシャッター等でも電力が必要です。

図表 2.5 木質チップボイラーの電気容量の内訳 (240kW)

1. 排ガスファン：1.5kW
2. 燃料空気ファン：0.18 kW
3. ストーカースクリュウモーター：0.25 kW
4. ドージングスクリュウモーター：0.25 kW
5. サイロディスチャージモーター：0.55 kW
6. スワイベルアームモーター：1.1 kW
7. 火格子油圧ポンプ：0.37 kW
8. 火格子灰出しスクリュウ：0.25 kW
9. 熱源ポンプ：0.4 kW
10. エアーコンプレッサ：1.5 kW
合計：5.3kW

(出所) トモエテクノ社資料

したがって、事前に電気代を正確に推計することは難しいですが、ボイラーメーカーでは経験的に、ボイラー電気容量 (kW) に稼働時間 (h) を乗じて、消費電力量 (kWh) を見積もっており、実績ベースでも大きな差は生じていないようです²。

仮にボイラーの年間稼働時間を2,500時間と設定すると、年間の電気料金は定格出力240-360kWで、26.5万円程度になります (図表 2.6)。

図表 2.6 バイオマスボイラーの電気容量の例

ボイラー定格出力	電気容量 (kW)	年間稼働時間 (h)	年間電気料金 (円)
100-180kW	4.6	2,500	230,000
240-360kW	5.3	2,500	265,000
450-550kW	7.9	2,500	395,000
700-900kW	14	2,500	700,000

(出所) バイオマスボイラーの電気容量は、トモエテクノ社パンフレットより、シュミット社製UTSRシリーズの数字を採用し、電気料金は20円/kWhで計算した。

² 環境エネルギー普及(株)へのヒアリングによる。



コ ラ ム 【チップボイラーの設備費用】

1. はじめに

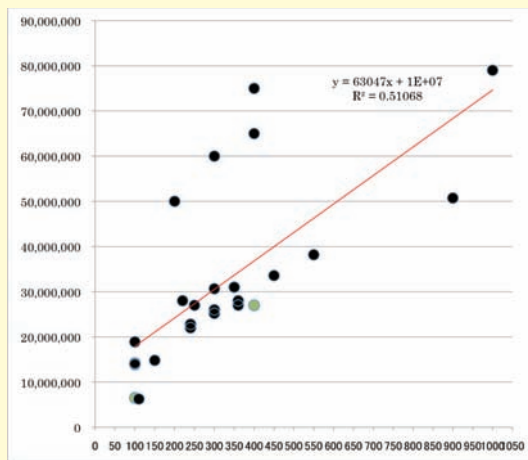
日本では、これまで高性能のバイオマスボイラーが、チップボイラー100数十台、ペレットボイラーが500台程度導入されていますが、その設備費用については、体系的に整理されておらず、ボイラーの導入を検討している人が、その相場感を得ることは困難でした。株式会社森のエネルギー研究所では、過去にボイラーメーカー等から収集・蓄積した見積りデータを元に、設備費用について精度の高いデータのみを抽出して分析を行っています。分析対象とした設備費等のデータは全部で28件（海外製26、国内製2）で、全てチップボイラーになります。データは、各社の見積書を参照しているため、価格根拠は見積価格であり、実勢価格ではないことに注意が必要です。

2. ボイラー本体価格

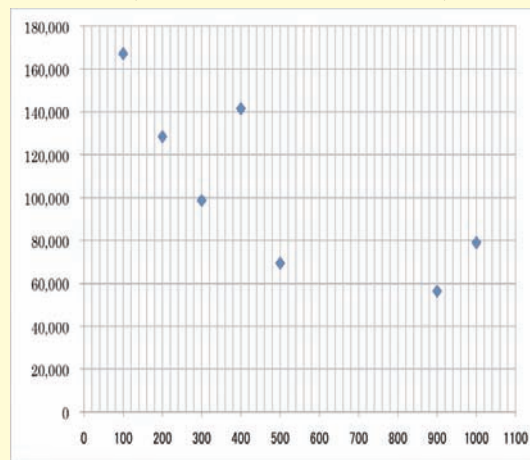
まず、図表Aにボイラー本体価格と定格出力の関係を示しました。黒点は海外製、緑点は国内製を示します。国内製は、2件のみのデータですが、海外製とほとんど変わらない水準であることが分かります。

単位出力あたりのボイラー本体価格については、出力規模が大きくなると、低下傾向にあることが分かります（図表B）。具体的には、100kWクラスでは167,136円/kW、1,000kWでは79,000円/kWと、出力クラスが小さい機種は単価が高いことが分かります。なお、100～1,000kWのkWあたりの総平均価格は105,792円になっていました。

図表A ボイラーの定格出力と本体価格の関係



図表B 単位出力あたりのボイラー本体価格 (100kWクラスごとの平均値)



出力 (kW)	価格
100	¥167,136
200	¥128,434
300	¥98,649
400	¥141,536
500	¥69,424
900	¥56,363
1000	¥79,000
平均	¥105,792

※本コラムは、株式会社森のエネルギー研究所 大野氏作成のレポート「チップボイラーの出力あたり単価について」を引用しています。

コラム 【チップボイラーの設備費用（つづき）】

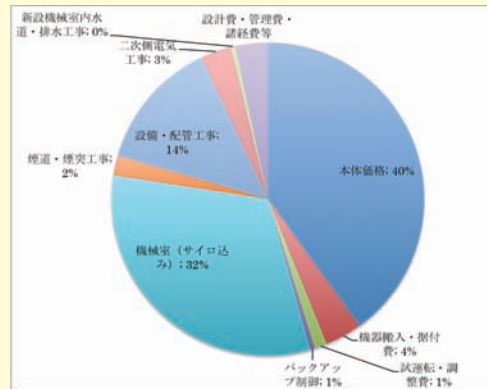
3. 総設備費

(1) 内訳

次に、総設備費を見てみましょう。ここには、ボイラー本体価格以外に、機器搬入費、試運転・調整費、機械室、サイロ、煙道・煙突工事、設備・配管工事、土木工事、電気工事、設計費・管理費・諸経費等、既設配管への繋ぎ込み費用、熱管理システム、バックアップボイラー、バックアップボイラー煙突、建屋等になります。

図表Cには、総額に対し各種費用が占める割合を示しました。最も大きな割合を占めるのは、ボイラー本体価格の40%であり、次に機械室（サイロ込み）が32%、設備・配管工事が14%と続きます。なお、本分析では、バックアップボイラー、建屋についてはデータ個数が少なく、平均値の精度に影響を与えるため、総額から除外していますが、これらの設備が必要な場合は、相応のコスト割合を占めることになります。

図表C 総額に対する各種費用が占める割合



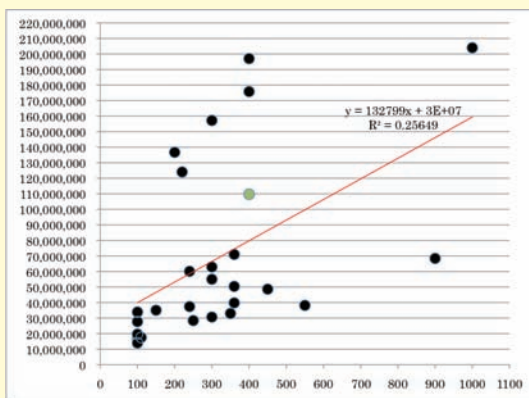
(2) 総額

総設備費と定格出力の関係を、図表Dに示します。

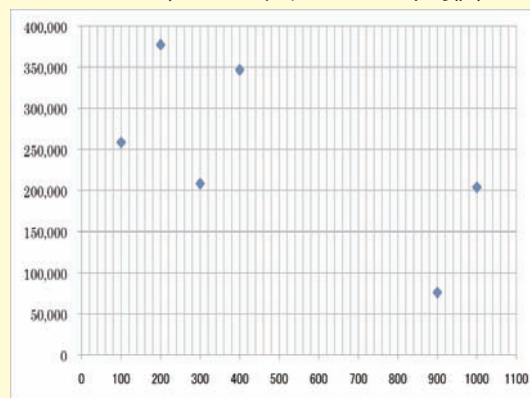
設備費は個別ケース毎に条件が大きく変動するため、ケース毎に費用が異なることに注意が必要です。今回のデータでも、小規模でも総額が1,000kWクラスと同等のケースもあり、同規模でもケースによって、価格帯の幅があることが分かります。

なお、メーカーによっては、ボイラー本体と最低限の工事（機械室、配管等）以外は、地元の設計事務所、設備業者、土木工事業者に委託するケースがあり、その場合の委託費は以下に反映されていません。

図表D ボイラーの定格出力と総設備費の関係



図表E 単位出力あたりの総設備費用（100kWクラスごとの平均値）



出力 (kW)	価格 (海外)
100	¥258,515
200	¥377,456
300	¥208,438
400	¥346,676
900	¥76,019
1000	¥204,000
平均	¥245,184

図表Eに、出力毎（100kW単位）のkWあたり総額コスト平均を示します。総額を含めると、本体価格平均の場合と異なり、規模増大と価格低減の関係性は明確にはなりません。これは、ケースごとに工事条件が大きく異なることが原因だと思われます。

（注）ただし、平均を算出する際、ボイラー本体価格以外の費用が極端に少ない（地元業者へ工事等委託している）ケース（6件）は除外しています。平均算出に使用したデータは、28件中、22件です。

※本コラムは、株式会社森のエネルギー研究所 大野氏作成のレポート「チップボイラーの出力あたり単価について」を引用しています。

II. 収支計画手法

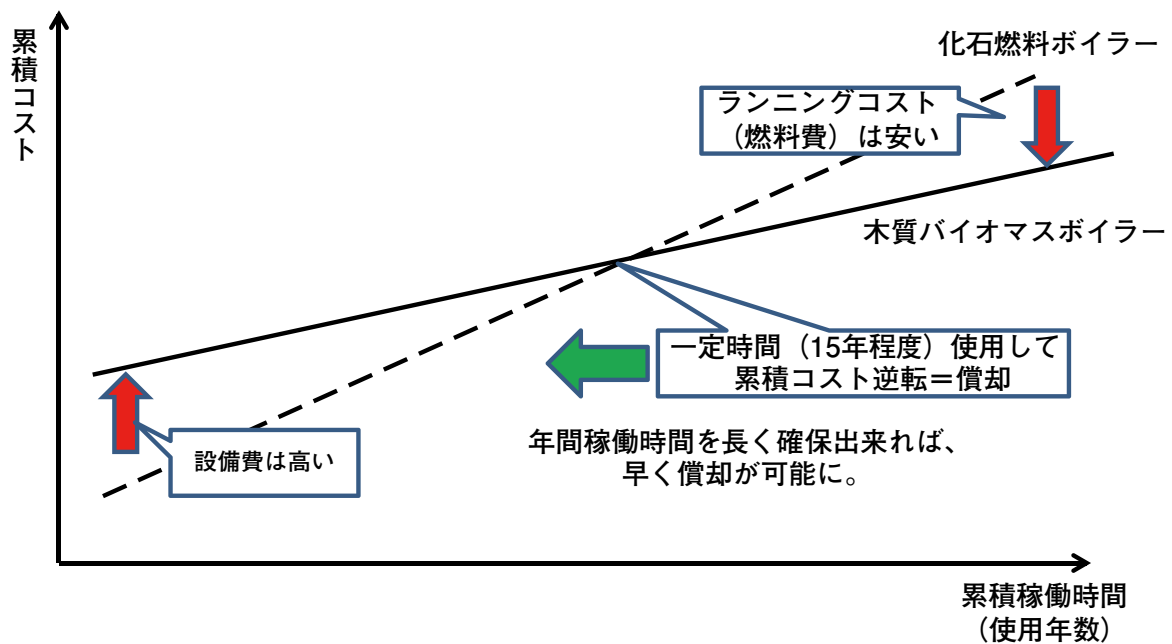
(1) 収支計画策定にあたっての考え方

以上のようなコスト構造を踏まえ、化石燃料ボイラーに替わって、木質バイオマスボイラーを導入する場合のベースとなる収支計算をします。

本テキストでは、バイオマス燃料費を化石燃料費価格の5割（≒12,000円/t、水分35%）と仮置きし、一定の年間稼働時間を想定して、化石燃料とトータルコストが同じになる期間（投資回収年）を計算しました。

図表 2.7に示すように、設備費はバイオマスボイラーの方が高いですが、ランニングコストは燃料費の削減効果で安くなります。したがって、一定時間使用すれば、このランニングコストの削減費用が累積されて、設備費の差額を償却することができます。つまり、年間の稼働時間を長く確保することができれば、それだけ償却を早めることができます。

図表 2.7 バイオマスボイラー導入による累積コスト削減のイメージ



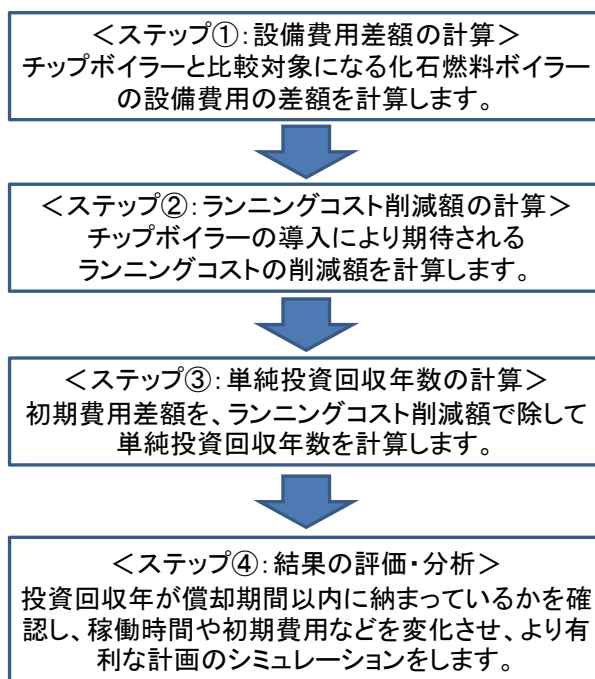
(出所)「鹿児島県木質バイオマス利活用指針」(鹿児島県)を改変して作成

(2) 収支計画の手順

それでは、次に基礎的な収支計画を検討してみましょう³。

実際の収支計画策定の手順は、図表 2.8のとおりになります。以下、この手順に従って、300kWの中規模チップボイラーを例にとり、計算をしてみます。

図表 2.8 収支計画策定の手順



① 初期費用差額の計算

ここでは全国的な事例調査等に基づき、300kWの定格出力の場合の設備費用を、チップボイラーで約9,000万円、化石ボイラーは300万円とします。

また、現状では木質バイオマスボイラーの導入は、公的な補助金が活用できるケースが多いので、ここでは50%の補助金を活用し、設備費用が4,500万円で済んだとします。

このように仮定すると、設備費用の差額は、以下のとおり計算できます。

$$\begin{aligned}
 \text{設備費用差額} &= \text{チップボイラー初期費用 (自己負担分)} - \text{化石ボイラー初期費用} \\
 &= 9,000,000\text{円} \times 1/2 - 3,000,000\text{円} \\
 &= 4,500,000\text{円}
 \end{aligned}$$

³ 正確には、単純投資回収年を計算することになります。

② ランニングコスト削減額の計算

ランニングコストの内、最も大きな割合を占めるのは燃料費ですが、使用する燃料の量はボイラーの稼働時間で決まります。

ここでは、年間の稼働時間を2,500時間（日平均6.8時間）と置いて、計算をします。

使用する燃料量は、ボイラーの定格出力に稼働時間を乗じて必要な熱量を計算し、それぞれの燃料の持つ熱量（低位発熱量）で除して計算します（図表 2.9）。

チップの場合に必要な燃料費は、以下のとおり計算できます。

$$\begin{aligned}
 \text{燃料費} &= \text{必要燃料量} \times \text{燃料単価} \\
 &= (\text{必要熱量} \div \text{チップ低位発熱量}) \times \text{燃料単価} \\
 &= ((\text{定格出力} \times \text{稼働時間}) \div \text{チップ低位発熱量}) \times \text{燃料単価} \\
 &= ((300\text{kW} \times 2,500\text{h}/\text{年}) \div 3.24\text{kWh}/\text{kg}) \times 12,000\text{円}/\text{t}
 \end{aligned}$$

図表 2.9 燃料費の算出

	①定格出力 (kW)	②稼働時間 (h/年)	③=①×② 必要熱量 (kWh/年)	④必要燃料量 (チップ：t/年、 重油：L/年)	⑤燃料費 (円/年)
チップボイラー	300	2,500	750,000	231	2,777,778
重油ボイラー				72,718	6,181,039
差額	—	—	—	—	3,403,261

注) 燃料の低位発熱量は、チップ：3.24kWh/kg、重油：10.31kWh/Lとした。
また、燃料の価格はチップ12,000円/t、重油85円/Lとした。

この他のランニングコストとして、チップボイラーの場合は、灰処理費用や保守・点検費用、電気代などを見込んでおく必要があります。

- ・ 灰の発生量は使用燃料の2%、灰の処理費用は10,000円/tとしました。
- ・ 保守・点検費用は、日常的なものは自社で行い、年に一度の定期点検をメーカーに委託することを前提に、15万円/年としました。
- ・ 電気代は、電気容量（300kWボイラーの場合5kW程度）に稼働時間と電気料金単価（20円/kWh）を乗じて計算しました。



図表 2.10 その他のランニングコストの算出

項目	計算式
灰処理費用	灰発生量×灰処理費用単価＝(231t×0.02)×10,000円/t＝46,200円
保守・点検費用	15万円
電気代	電気容量×稼働時間×電気料金単価＝5kW×2,500時間×20円/kWh＝250,000円

注) 電気代(電気使用量)は、ボイラーの使用条件により変動するが、経験的に電気容量に稼働時間を乗じて求めた値と概ね一致するため、本テキストでもその計算方法を採用した。

以上の前提を元に、ランニング費用削減額を計算すると以下のようになります。

$$\begin{aligned}
 \text{ランニングコスト削減額} &= \text{化石ボイラーランニングコスト} \\
 &\quad - \text{チップボイラーランニングコスト} \\
 &= \text{化石ボイラー燃料費} \\
 &\quad - (\text{チップボイラー燃料費} + \text{灰処理費} + \text{保守・点検費用} \\
 &\quad \quad + \text{電気代}) \\
 &= 6,181,039円 - (2,777,778円 + 46,200円 + 150,000円 \\
 &\quad \quad + 250,000円) \\
 &= 2,957,061円
 \end{aligned}$$

③ 単純投資回収年数の計算

最後に、以上の計算を元に、③ 単純投資回収年数を計算すると以下のようになります。

$$\begin{aligned}
 \text{単純投資回収年数} &= (\text{初期費用差額}) \div (\text{ランニングコスト削減額}) \\
 &= 42,000,000円 \div 2,957,061円 = 14.2年
 \end{aligned}$$

④ 結果の評価・分析

以上の計算では、単純投資回収年数は14.2年となり、ボイラーの償却年数が15年であることから、一応投資は回収できる計算となります。

ただし、ここでは支払金利や租税公課(主に固定資産税)などを見込んでおらず、キャッシュフローはこれより厳しくなることに留意しなければなりません。

そこで、今度は稼働時間を変化させ、単純投資回収年数を試算してみたのが、図表2.11になります。

例えば年間の稼働時間が2,000時間(＝日平均5.48時間)の場合、投資回収には18年かかることになります。



反対に、十分な熱需要があり、3,000時間（日平均8.2時間）程度の稼働時間を確保することができれば、投資回収年数は12年弱となり、チップボイラーの導入がより魅力的になります。

図表 2.11 稼働時間別の投資回収年数の試算

年間稼働時間	1500	2000	2500	3000
設備費差額（万円）	4200			
チップ使用量（t/年）	139	185	231	278
年間ランニングコスト削減費用（万円）	171	234	296	358
投資回収年数	24.5	18.0	14.2	11.7

次に、日本の現状は、諸外国に比べて初期費用が割高であるため、仮に、今後普及が進むことで、設備費用がドイツやイギリスの2～3倍程度、300kWのチップボイラーで3,000万円に下がったと想定して、収支を計算してみましょう。この場合、補助金の導入は前提としていません。

同じく稼働時間を変化させて単純投資回収年数を試算すると、年間3,000時間（平均8.2時間/日）で8年以内、年間2,000時間（平均5.5時間/日）で12年以内で投資回収が可能となりました。このような状態になれば、民間事業者にとっても魅力的な投資になり、飛躍的に導入量が増えることが期待できます。

図表 2.12 日本における投資回収年試算のための前提条件（設備費低減ケース）

年間稼働時間	1500	2000	2500	3000
設備費差額（万円）	2700			
チップ使用量（t/年）	139	185	231	278
年間ランニングコスト削減費用（万円）	171	234	296	358
投資回収年数	15.8	11.6	9.1	7.5



Ⅲ. 欧州におけるバイオマスエネルギー利用のコスト構造

(1) 標準的なコスト構造

日本では、バイオマスの設備費、ランニングコストとともに、まだまだ高い水準にありますが、ここでは低コスト化により商業利用が進んでいる欧州におけるコスト構造を紹介します。

規制や社会条件等が異なるため単純に比較できるとは限りませんが、日本においてバイオマス熱利用を本格的に普及させるためのコストを考えるうえでの参考にしてください。

ドイツとイギリスの標準的なコストを調査した結果、ドイツ・イギリスともにコストはほぼ同じ水準にあることが分かりましたので、以降は、イギリスの事例を中心に紹介します。

主なデータは、イギリスにおいて再生可能エネルギー導入や省エネの取組を支援している「Carbon Trust」という団体が発行している「Biomass heating: A practical guide for potential users」という冊子から引用しています⁴。

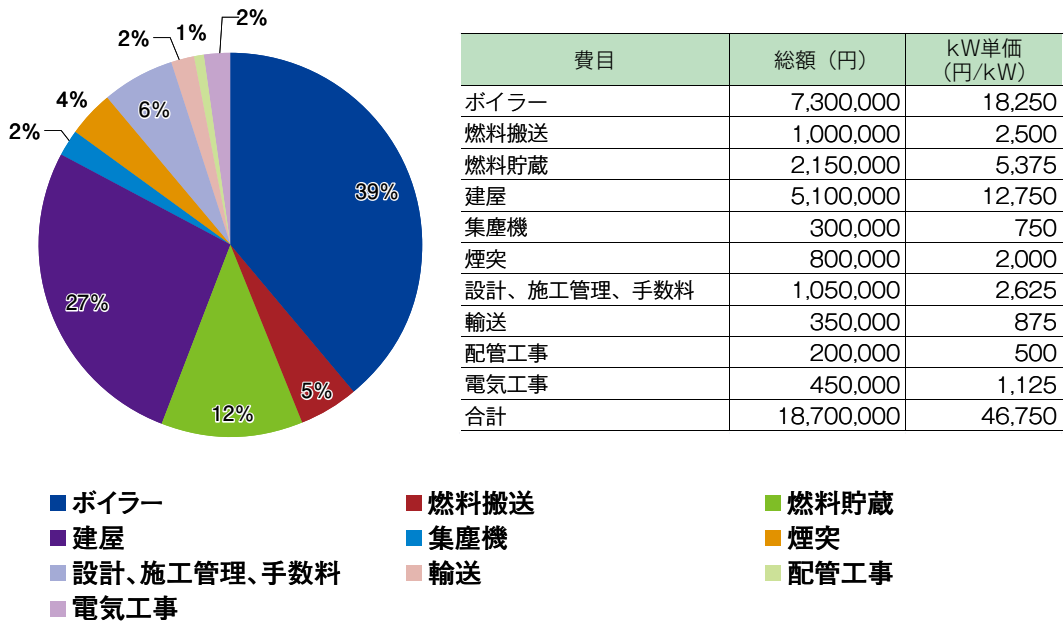
① 設備費用

400kWのボイラーの設備費用は、総額で1,870万円です。

その内訳は、ボイラー本体（730万円：39%）、建屋（510万円：27%）、燃料貯蔵庫＝サイロ（215万円：12%）、設計、施工管理、手数料（105万円：6%）、燃料搬送装置（100万円：5%）等になります（図表 2.13）。

⁴ http://www.carbontrust.com/media/31667/ctg012_biomass_heating.pdf

図表 2.13 イギリスにおける典型的なバイオマスボイラーの設備費 (400kW)



(出所) 「Biomass heating: A practical guide for potential users」 Carbon Trust

② ランニングコスト

○ 燃料費

木質チップの工場着価格は、水分35%が標準で、7,500～9,000円/t程度（工場着、税抜き）で取引されています。ただし、ここでは、日本のチップ価格に合わせて、12,000円/tで計算しました。

なお、ペレットについては、20,000円/tが相場でしたが、近年上昇傾向にあり、ドイツなどでは25,000円/tにまで価格が上昇しています。

○ 保守・点検費用

保守・点検費用は、400kW程度の小型のボイラーでは、自社による日常的な点検による人件費（0.5～1.5人工/月）に加え、メーカー等による年に一度の定期点検の合計で10万円/年弱の費用が計上されています。



(2) 収支計算例

ここでは、Carbon trustのマニュアルに基づき、400kWのチップボイラーを例に、収支計算の例を見てみましょう。

① 設備費用差額の計算

イギリスでは、400kWのチップボイラーの設備費は約2,500万円です。

一方、化石燃料ボイラーの設備費用は、400万円です。

したがって、設備費用の差額は以下のとおりです。

$$\begin{aligned} \text{設備費用差額} &= \text{チップボイラー初期費用} - \text{化石ボイラー初期費用} \\ &= 25,000,000\text{円} - 4,000,000\text{円} \\ &= 21,000,000\text{円} \end{aligned}$$

② ランニングコスト削減額の計算

イギリスでの標準的な稼働時間は以下のとおりに設定されています。

- ・一般的な建築物 (General occupying building)・・・約1,700時間
- ・サービス利用 (温水プールや病院など: Service applications)・・・約4,000時間
- ・産業用プロセス熱 (Process applications)・・・約5,200時間

ここでは、サービス利用の場合を想定して、4,000時間の稼働時間で計算します。

また、チップ価格は、日本の水準に合わせて12,000円/t (35%水分) としました⁵。

図表 2.14 燃料費の算出 (イギリス400kWボイラーの場合)

	①定格出力 (kW)	②稼働時間 (h/年)	③=①×② 必要熱量 (kWh/年)	④必要燃料量 (チップ:t/年、重油:L/年)	⑤燃料費 (円/年)
チップボイラー	400	4,000	16,000	494	5,925,926
灯油ボイラー				155.1	9,695,747
差額	—	—	—	—	3,769,822

(注) チップ: 12,000円/t、灯油: 62.5円/L (0.5ポンド/L)

⁵ Carbon Trustのマニュアルでは、7,500円/t (60ポンド/t) が標準的な価格とされている。



この他のランニングコストとして、保守・点検費用75,000円/年が計上されています。
 灰は、建築廃材を含まないチップを前提としており、林地に還元できるため、処理費用は計上されていません。
 以上の前提を元に、ランニング費用削減額を計算すると以下ようになります。

$$\begin{aligned}
 \text{ランニングコスト削減額} &= \text{化石ボイラーランニングコスト} \\
 &\quad - \text{チップボイラーランニングコスト} \\
 &= \text{化石ボイラー燃料費} \\
 &\quad - (\text{チップボイラー燃料費} + \text{保守・点検費用}) \\
 &= 9,695,747\text{円} - (5,925,926\text{円} + 75,000\text{円}) \\
 &= 3,769,822\text{円}
 \end{aligned}$$

③ 単純投資回収年数の計算

最後に、以上の計算を元に、単純投資回収年数を計算すると以下ようになります。

$$\begin{aligned}
 \text{単純投資回収年数} &= (\text{初期費用差額}) \div (\text{ランニングコスト削減額}) \\
 &= 21,000,000\text{円} \div 3,769,822\text{円} = 4.3\text{年}
 \end{aligned}$$

④ 結果の評価・分析

イギリスの事例では、4.3年という極めて短期間での投資回収が期待できることが分かりました。

次に、年間の稼働時間として、一般的な建築物の1,700時間、産業用プロセス熱利用の5,200時間、そして先ほど日本の収支計算で設定した2,500時間の場合を計算したのが、図表2.15となります。

図表 2.15 稼働時間別の投資回収年数の試算（イギリス400kWボイラーの場合）

年間稼働時間	1,700	2,500	4,000	5,200
設備費差額（万円）	2,100			
チップ使用量（t/年） 削減費用（万円）	210	247	494	642
年間ランニングコスト 削減費用（万円）	153	181	369	642
投資回収年数	10.3	8.7	4.3	3.3



IV. コスト低減に向けて

これまで見てきたように、バイオマスボイラーへの投資を経済的に見合ったものにするためには、バイオマスボイラーの「設備費用」を可能な限り下げ、それに対する毎年の「ランニングコスト削減額」を可能な限り増やす努力が必要です。後者のランニングコストについては、適正な「燃料費」の下で「稼働時間」をしっかりと確保することがポイントになります。また運転面では、木質バイオマスボイラーの特性をよく理解して適正運転に努めることが稼働時間の確保と、保守・点検費の削減を通じてランニングコストの抑制に寄与します。また、更に保守・点検を自社で行うことにより、この費用を削減することができます。

以下に、それぞれの項目について、コスト低減に向けた方向性を見てみましょう。

(1) 設備費用

日本の木質バイオマスボイラーの初期費用は欧州などと比較すると極めて高い水準にあり、ボイラー本体価格で6～8倍、総工費で10倍近い差があります。バイオマスボイラーの普及のためには、この初期費用の削減が急務です。ただし、単純に高いか安いではなく、期待される性能を十分に引き出す設備・設計になっていることを確認することが不可欠です。

欧州では、ボイラーの規格があり、最低限の性能が保証されていますが、日本にはそのような規格が存在していません。そのため、価格の高い欧州製の輸入ボイラーを避けて比較的安価な国産ボイラーを選択すると、性能面で劣った買い物になる可能性があります。特に、国産ボイラーの中には、焼却炉の延長で設計されているため、エネルギーを得るためと言うよりも廃棄物の減容が目的となっておりエネルギー効率が低いものが散見される点に注意が必要です。

なお、設備費用の抑制のためには、第3章で解説しているような熱需要の適切な把握により、出力を抑えた小型のボイラーを導入するといった努力も重要です。

また、建屋やサイロなどについても、欧州と比較すると、大きなコスト削減余地があります。日本では、これらの工事についてノウハウの蓄積が十分ではないことに加え、補助金を活用する際に、コストをかけてでも可能な限り安全かつ頑丈なものを建設するケースがあり、全体的なコストを押し上げている可能性があります。第6章で解説しているような発注契約の方法のあり方と合わせて、契約や保険でヘッジできるリスクを洗い出し、初期費用の一つ一つの項目を再点検していく作業が重要です。

以上のことの前提として、可能な限り先行的に導入している施設について現地に足を運び、価格や運営状況等を調べる必要があります。



(2) 稼働時間

稼働時間の確保も、コスト削減の重要な要因です。

これまで見てきたように、稼働時間により、収支内容は大きく変化します。この点、温泉施設などは、年間を通して熱需要がありますので、バイオマス導入が容易になります。

稼働時間の確保で重要なのが、ボイラーの規模です。

比較的規模の小さなボイラーでベース・ロードを負担し、化石燃料ボイラーをバックアップに、需要のピークに対応するという方法が望ましいでしょう。

本テキストでは、第3章において熱需要の把握方法や、ピークカット等による適切な規模のボイラーの導入についても解説しています。これらを参考に、適切な稼働時間が確保できるように、計画してください。

(3) 燃料単価

チップ価格は、35%水分で12,000円/tが相場となっています。この水準は、化石燃料の5割以下であり、燃料価格そのものはすでにバイオマスは相当有利です。

ただし、現状では水分調整のノウハウが十分ではなく、水分管理ができない、水分調整にコストがかかりすぎるなどの問題を抱えています。また、燃料供給者が所有するチップの稼働率が高くなくコスト高になることも起こっています。チップの生産方法や水分調整の方法については、第5章を参照してください。



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るのです。

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、拠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

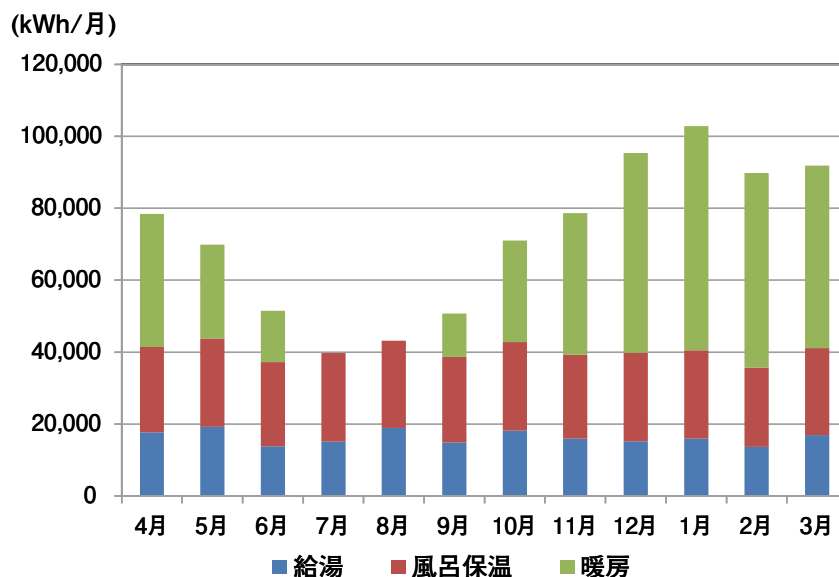
熱需要の分析の例として、北海道の温泉宿泊施設の概要をご紹介します。

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。

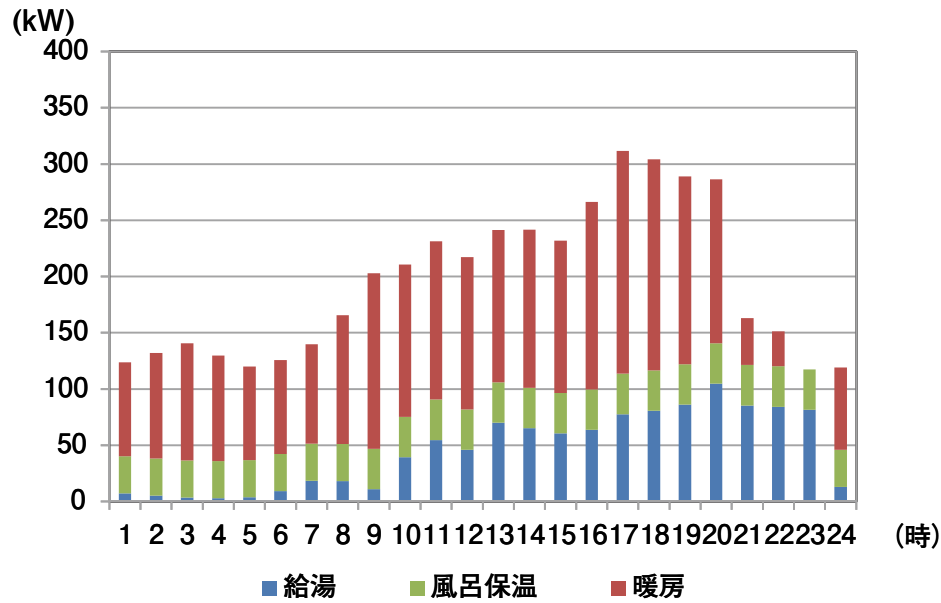
図表 3.6 月別熱需要



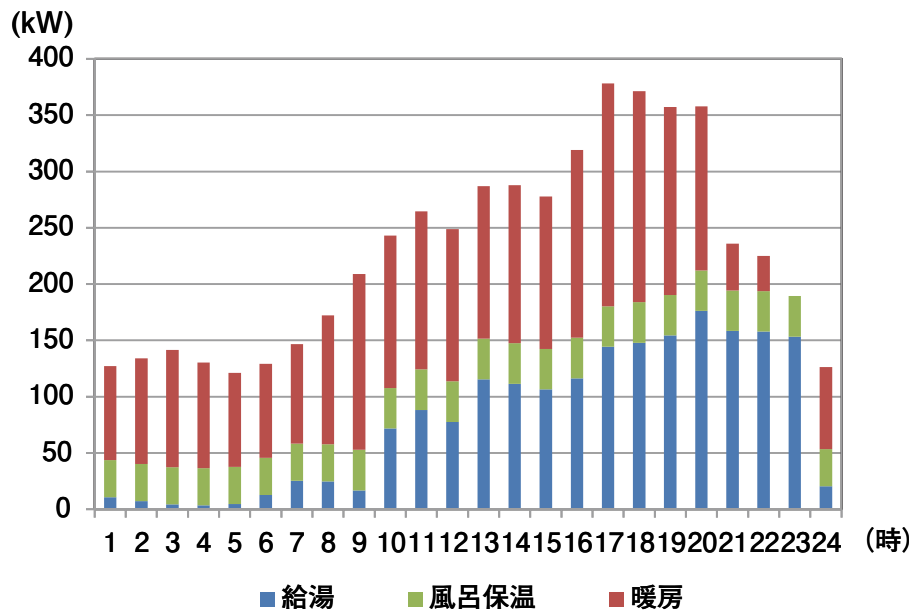
給湯と風呂保温のため熱が恒常的に必要で、通年の熱需要が比較的あります。



図表 3.7 時間別負荷 (冬季平日)



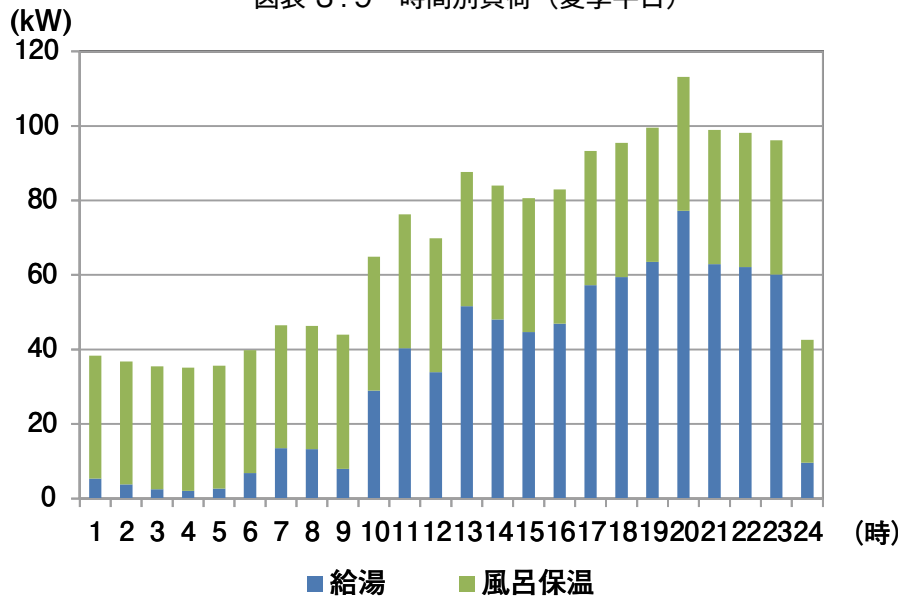
図表 3.8 時間別負荷 (冬季休日)



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。



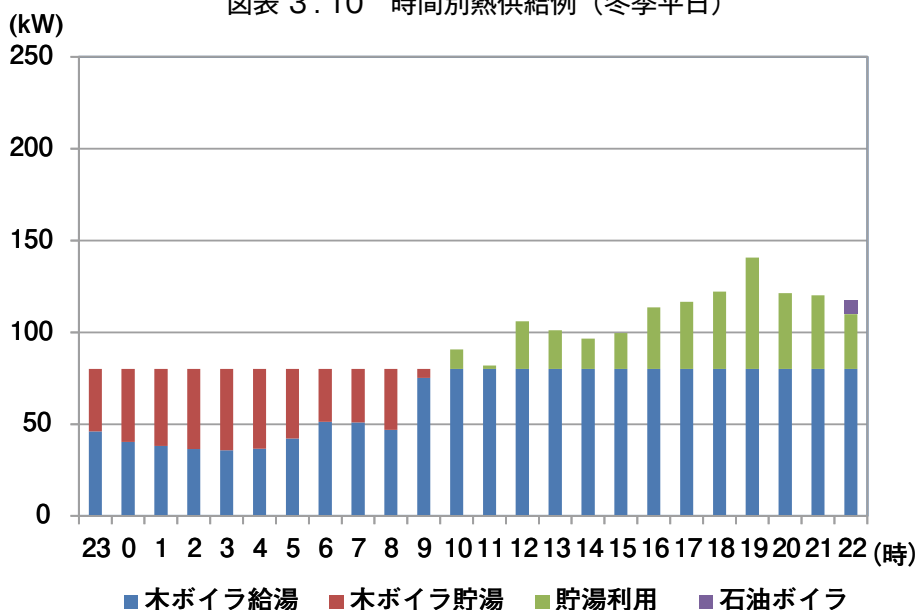
図表 3.9 時間別負荷（夏季平日）



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）。

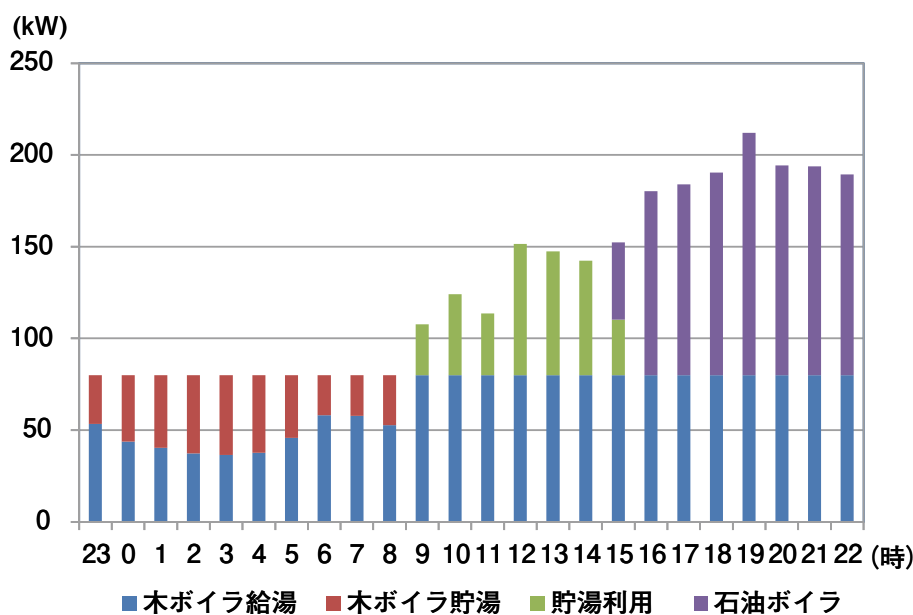
図表 3.10 時間別熱供給例（冬季平日）





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。できる限り区分けさ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。

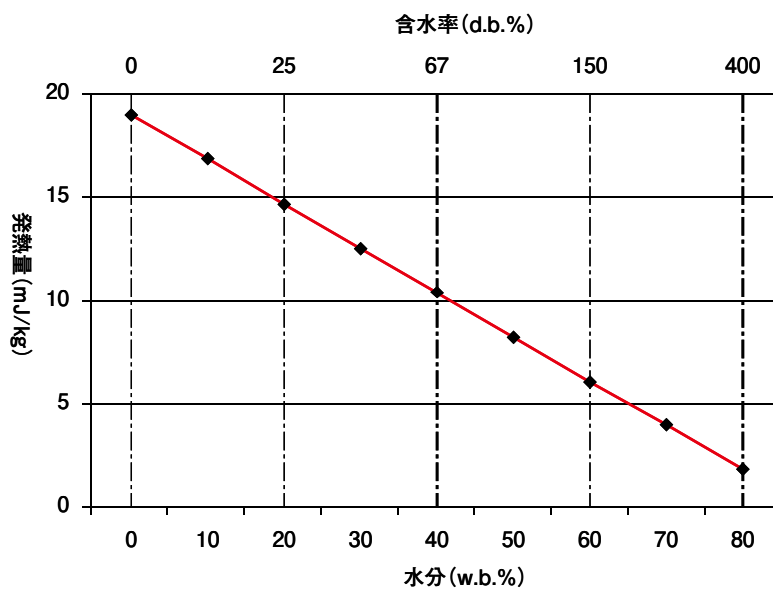
ボイラーの定格出力は、それぞれ指定されている水分の燃料を用いた場合の出力表示です。このため、指定された水分の燃料を用いれば、燃料消費も最適化され、安定出力が維持されると同時に、ボイラーへの負担も小さく、維持管理が容易になります。

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

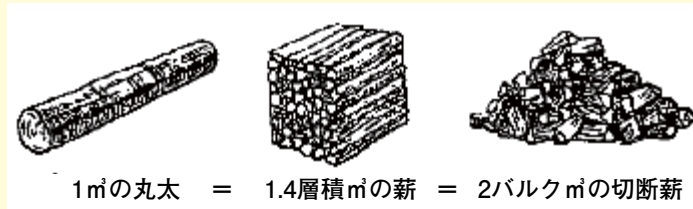
薪の取り扱い単位は、薪 m^3 【層積】で表します。薪 m^3 は、薪を極力空隙の無いように積んだ材積です。なお、薪をカゴなど一定の容積に空隙を含む状態で投入（バルク積・ばら積）した場合は、バルク材積と言います。

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、破砕チップがあります。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砕チップです。破砕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。破砕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。

スクリーコンベア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	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.) 以下)

(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。

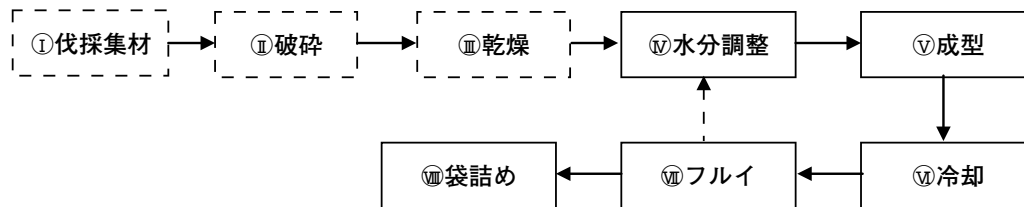
Ⅲ. ペレット

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)

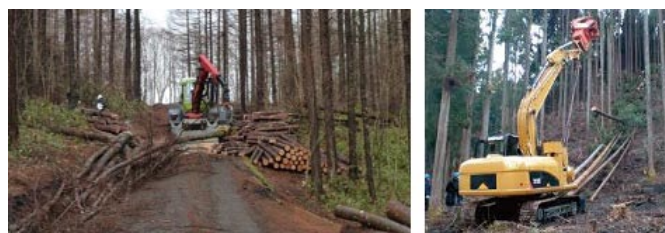


写真 5.11 ハーベスタ・フォワーダによる短幹集材作業システム (残材が林内に散らばる)



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)



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

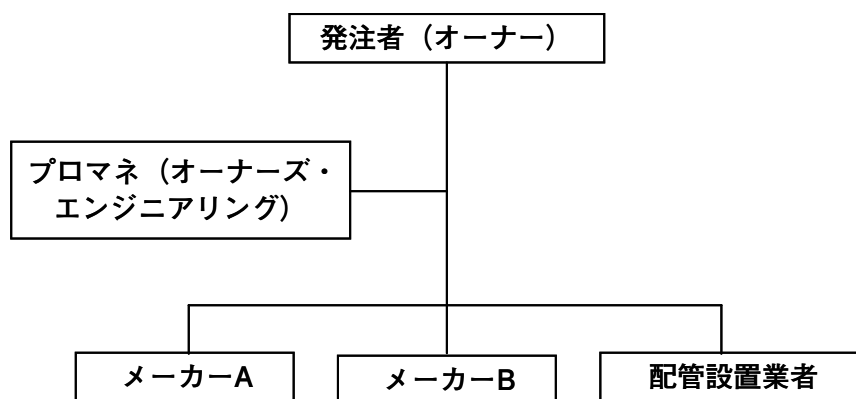
発注者が自前で個別に発注をする契約です。既存の石油ボイラーを木質バイオマスボイラーへと転換するなど、設備の一部を更新する時などに適用されます。コストが安くなる反面、発注者にそれなりの能力が要求されるため、自らが負うリスクが大きくなります。

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

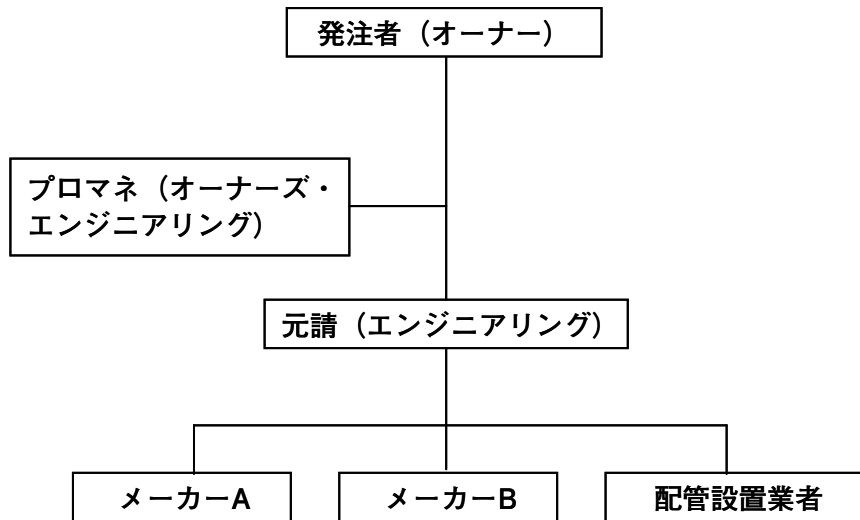


② ターンキー契約

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。

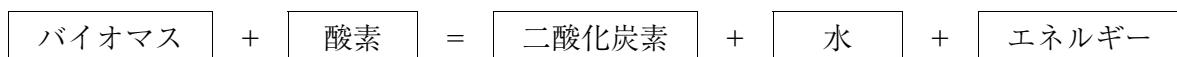
図表 7.1 本書の適用範囲

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

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

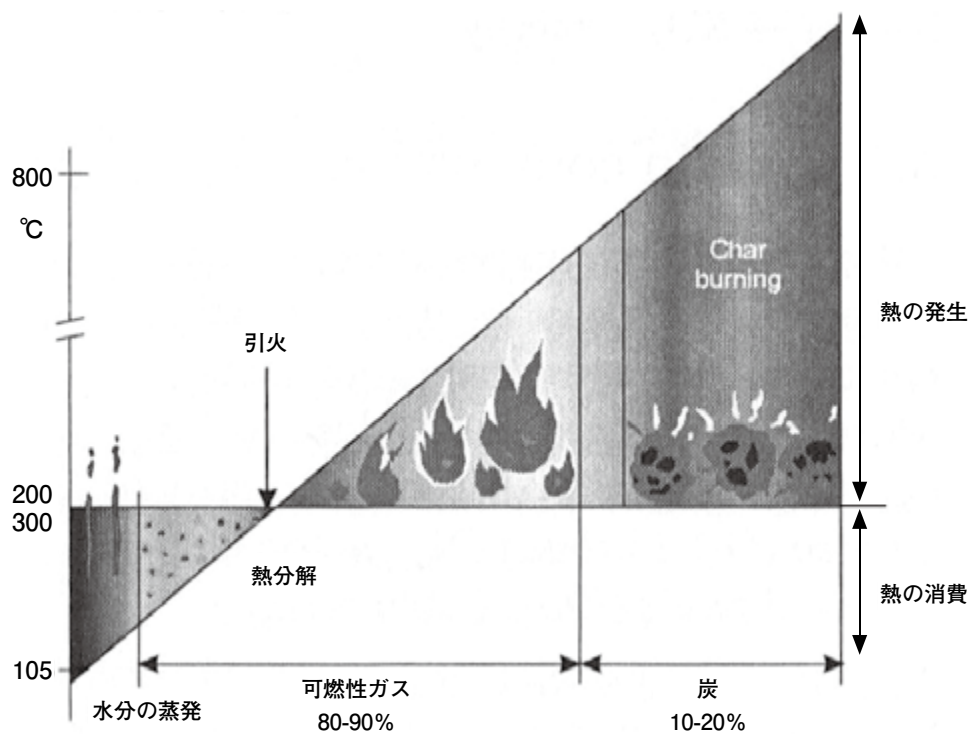


せずに減容だけを目的とした装置は焼却炉です。日本では、焼却炉の発想の延長で設計されたボイラーもあります。その場合、本来のボイラーに比べエネルギー効率が劣るので、注意が必要です。

(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。

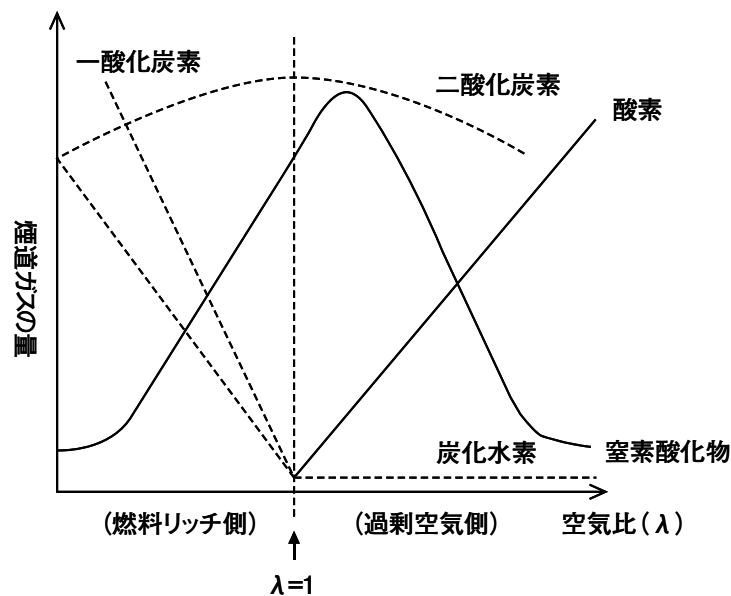
（2）空気比

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



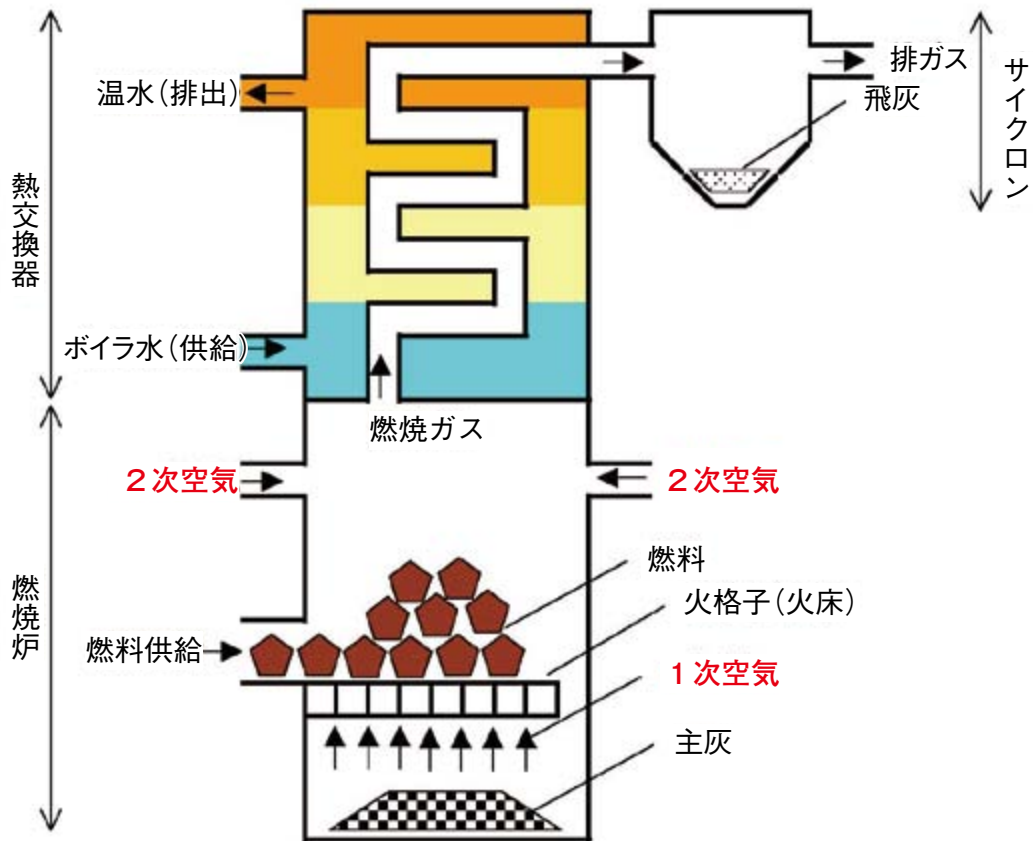
（出所）Biomass Boiler Design, D. Harfield et al., 2011に筆者加筆

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

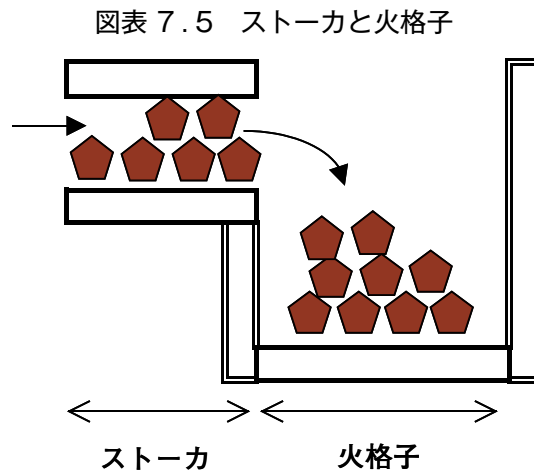
バイオマスのボイラーは性能（効率、環境、安全）やデザイン、種類、メーカー数、生産量といった点で欧州製が日本を含む他地域を圧倒しており、日本の20年ほど先を進んでいます。その理由は、欧州が伝統的に石炭を中心とする固体ハンドリング及び燃焼技術を得意としており、その技術をバイオマスに受け継ぎ発展させてきたことや、1990年代からの政策としてバイオマスのエネルギー利用を積極的に展開してきたことから、マーケットが発達した結果です。ここでは欧州を参考に記します。また、ボイラーの出力を表す単位として、kW（キロワット）で示します。

（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（グレータ）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。

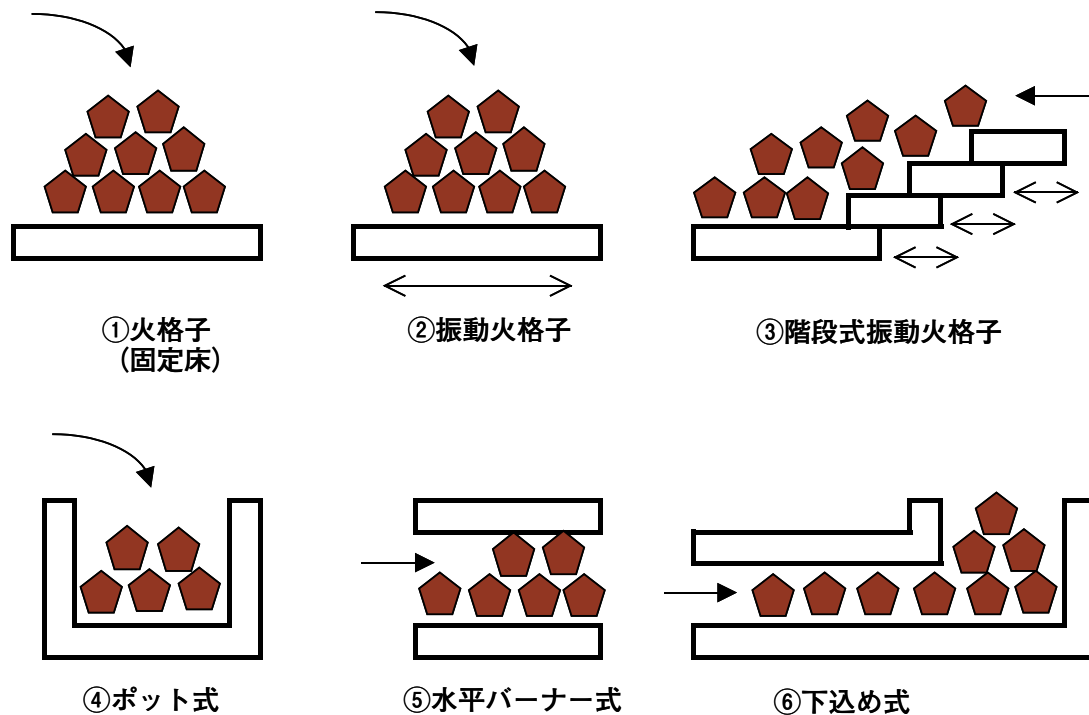
⑤ 水平バーナー式

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。スクリー式のスーカ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

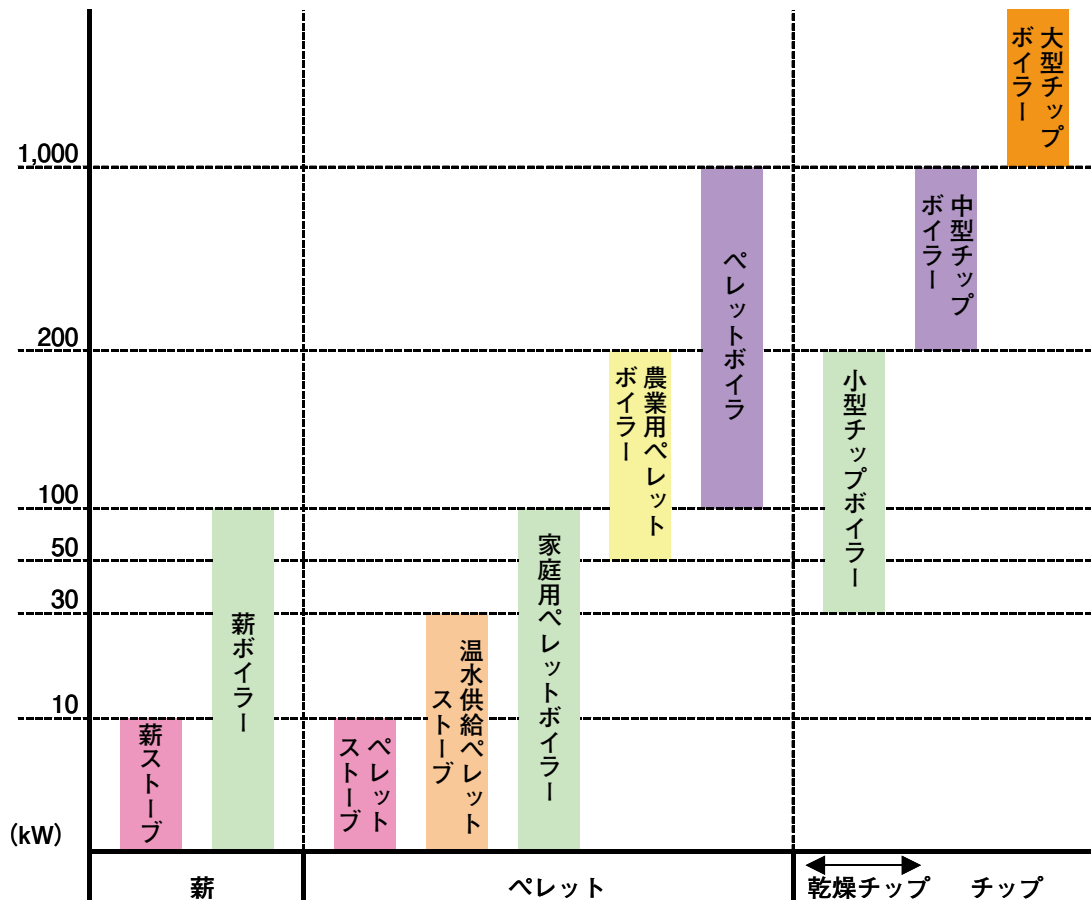
V. 様々なボイラーの特徴

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。

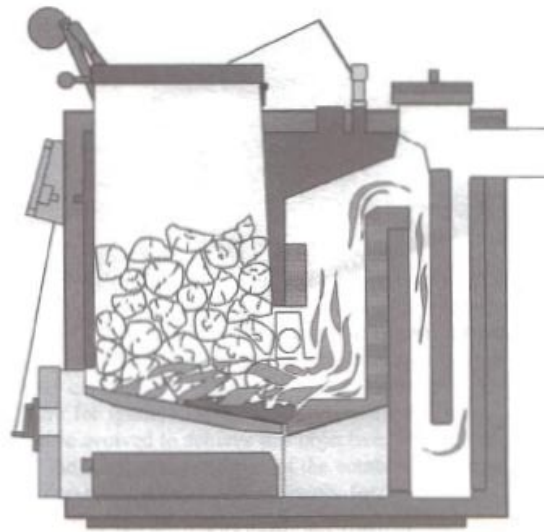
図表 7.8 伝統的な薪ボイラー（上方通風式）



(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。

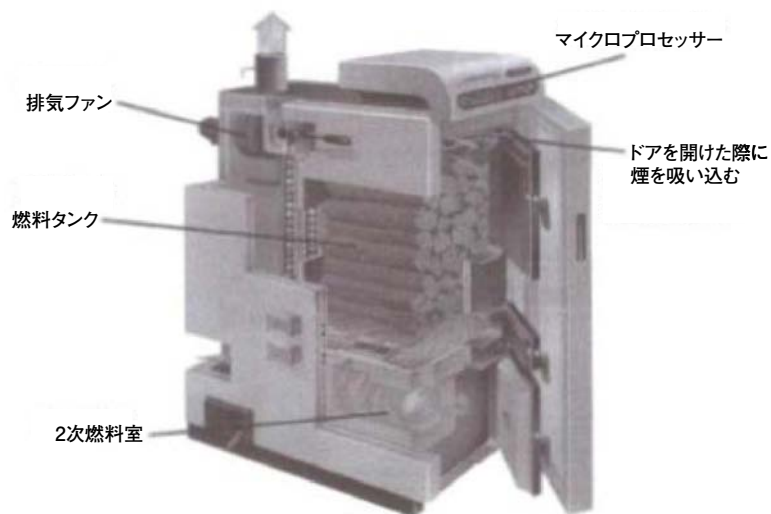
図表 7.9 改良型の薪ボイラー



(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



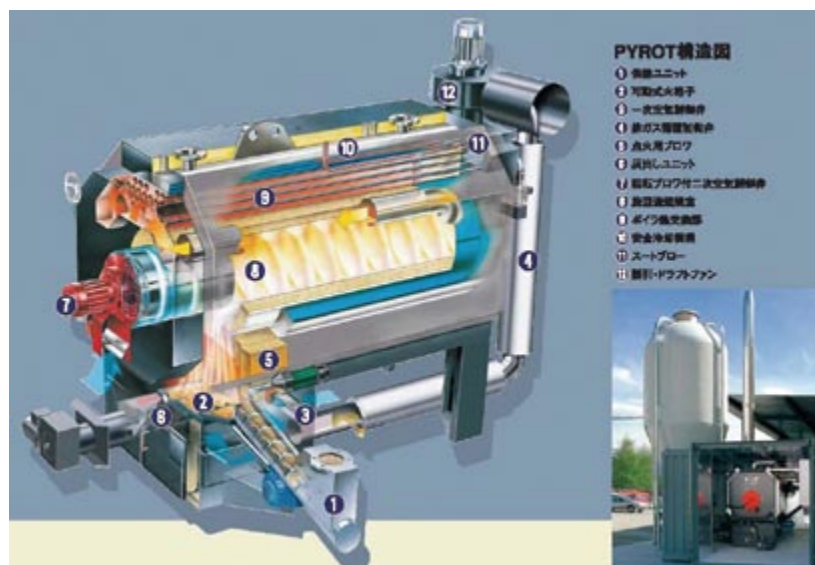
(5) 中型ペレットボイラー (100~1,000kW)

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)



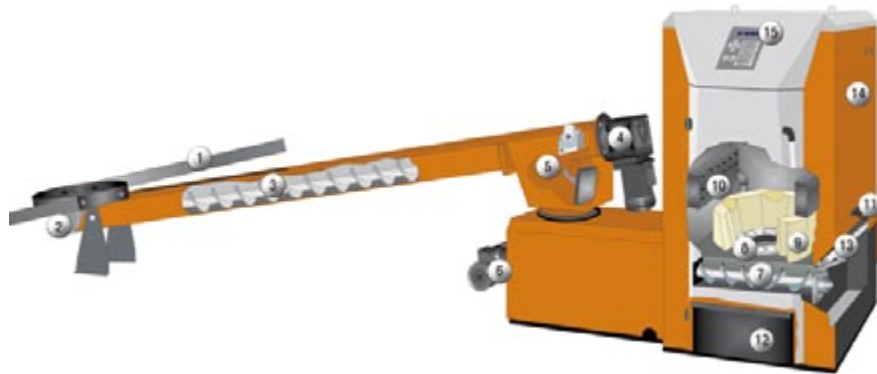
(出所) 株式会社ヒラカウェブサイト

(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、燃料調達の安定性にも寄与します。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)

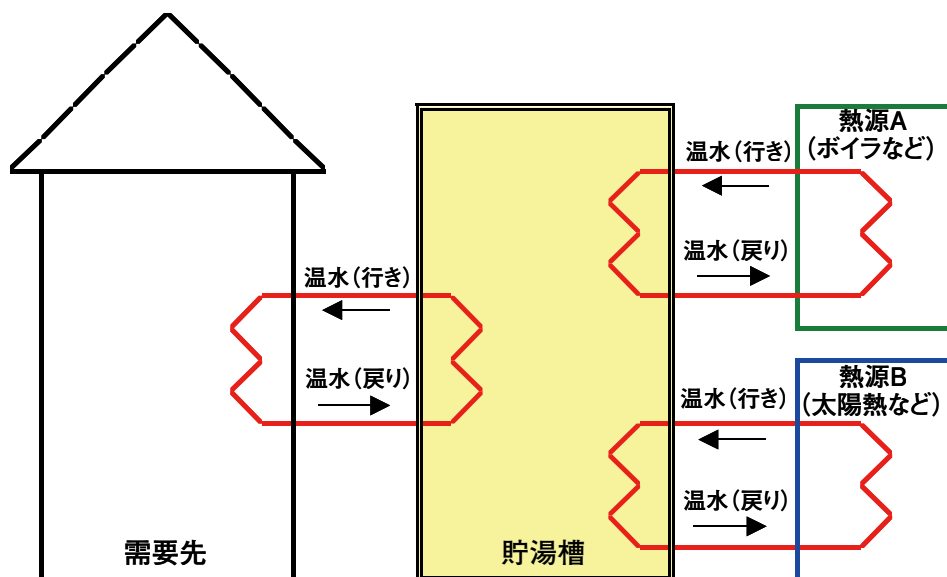


(出所) シュミットウェブサイト

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 ³ 、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 ³ /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。

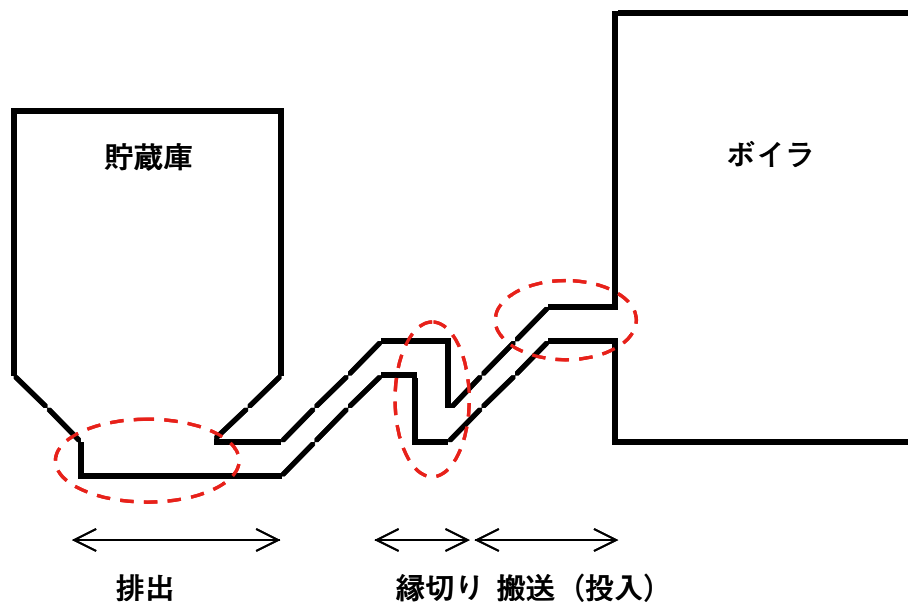
- ・ 外部からの水分の浸入を防ぎつつ、内部からの通気性を保っていること
- ・ 燃料の重量に対する耐力性（地下の場合は周囲の土からの圧力）
- ・ 単純な燃料計測方法を有すること（ハッチや窓、ウェブカメラ等）
- ・ 関連する建築基準などに合致していること
- ・ 貯蔵庫からボイラーまでの搬送距離をできるだけ小さくすること
- ・ 燃料投入時の安全性を確保すること（例えばストップバーを設ける等）
- ・ 外部から建物等への侵入に対して適切な警備手段を講じること
- ・ 搬送車両から全ての積荷を降ろすだけの容量を確保すること

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
スクリー式		スクリーにより搬送(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

第8章 国内事例調査結果の分析

政策的にバイオマスエネルギー利用を推進する場合は、これまでの事例をよく分析し、課題等を明らかにした上で、適切な対策を講じる必要があります。また、導入を検討している主体は、先行事例を十分に分析し、より効率的で採算のとれた利用の実現を目指すべきです。

いままでも先行事例を紹介する資料はありましたが、そのままでは、具体的な問題点の分析・課題抽出と改善案を導き出すには不十分でした。

そこで、本テキストでは今後の他地域への展開および支援制度の設計へ資するよう、代表的な事例について、収集したデータに基づき事実関係を把握したうえで、課題の整理・分析を行いました。

調査対象は、以下の16事例です（図表 8.1）。事例の選定にあたっては、全国的に代表的な事例の中から、チップやペレット、薪といった燃料の種類や、温水や蒸気、電気といった利用形態などが網羅されるように事例を選定しました。

事例の調査にあたっては、導入の経緯をよく把握するとともに、可能な限り定量的なデータの把握に努めました。しかし、補助金を活用している事例の中にも、設備費の開示がこぼまれるケースが多くありました。今後、日本においてバイオマスエネルギー利用を飛躍的に広げていくためには、問題点の適切な把握に基づく改善案の提示が不可欠であり、そのためにも情報をオープンにしていくことが必要です。

図表 8.1 調査対象一覧

事例名称	訪問先 (運営主体)	場所	類型	燃料生産		エネルギー生産			稼働時間	活用補助金等
				燃料種	生産方法の概要	ボイラー	導入施設	用途		
1 クリーニング工場におけるチップボイラー熱利用	(株)北海道健康社	北海道	民間主導型	チップ	・バイオマスボイラー導入当初は建築廃材を燃料として利用していたが、地域貢献を目的として、林地残材由来の燃料チップの製造に着手	蒸気ボイラー (8t/h、タカハシカン製)	クリーニング工場	プロセス利用 (蒸気)	346日/年(夏期9時間/日、冬期8時間/日)	地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業 (NEDO、06-08年度)
						蒸気ボイラー (6t/h、タカハシカン製) 蒸気発電機 (160kW、KOBELCO製)		プロセス利用 (蒸気) 電力自家消費	1,150時間	森林整備加速化・林業再生事業 (補助率100%) (林野庁、11年度)
2 保健医療福祉施設及び温水プールにおけるチップボイラー熱利用	磐石町 岩手県宮内 温水プール	岩手県	行政主導型	チップ	・近隣 (町内) の森林組合から切削チップを購入	温水ボイラー (100kW、オヤマダエンジニアリング製)	保健医療福祉施設 (磐石町健康センター)	熱 (床暖房)、ロードヒーティング、給湯	8,760時間	森林・林業・木材産業づくり交付金事業 (林野庁、2010年度)
						温水ボイラー (200kW×2基、100kW×1基、オヤマダエンジニアリング製=ECOMOS)		温水プール (岩手県宮内温水プール)	施設暖房、給湯、プール加温	8,760時間
3 農業施設におけるチップボイラーでの蒸気利用	舟形マッシュルーム	山形県舟形町	民間主導型	チップ	・近隣の森林組合から切削チップを購入	蒸気ボイラー (250kg/h、トモエテクノ製)	農業施設 (マッシュルーム工場)	殺菌、施設暖房	8,350時間	モニター事業 (林野庁)
4 病院におけるチップボイラー蒸気利用	鹿児島大学病院	鹿児島県	民間主導型		・2011年にチップを購入し、チップ化事業を開始 ・原料は、用材を切り出した後の三日月状の背板	蒸気ボイラー (613kW、シュミット製)	病院 (鹿児島大学病院)	滅菌、給湯、厨房での調理、加湿 (冬季のみ) 等	10時間/日 (6日/週) …稼働後1年以内	鹿児島県補助
5 製材工場におけるボイラー蒸気利用	下仁田木材協同組合	群馬県上野村	民間主導型	パーク、製材端材	・製材工場で発生する端材及びパークを破砕して燃料として使用	蒸気ボイラー (タカハシカン製、1t/h)	製材工場 (下仁田木材協同組合)	木材乾燥	7,200時間	林野庁1/3、群馬県1/10
6 庁舎・福祉施設におけるペレットボイラー熱利用	足寄町	北海道足寄町	行政主導型	ペレット	・とかちペレット協同組合が生産する、カラムツの林地残材ペレットを利用	ペレットボイラー (580kW×2、二光エンジニアリング製)	役場 (足寄町新庁舎)	新庁舎及び消防署暖房、ロードヒーティング	4,320時間 (11~4月)	地域材利用促進対策授業 (林野庁、2005年)
						ペレットボイラー (230kW×2、旭設備製)	福祉施設 (あしよろ子供センター)	施設暖房、給湯	8,760時間 (ただし交互運転)	地域材利用促進対策授業 (林野庁、2006年)
7 温水プールにおけるペレットボイラー熱利用	花巻スイングSFやざわ	岩手県花巻市	民間主導型		・葛巻林業からパークペレットを購入	ペレットボイラー (580kW、二光エンジニアリング製)	温水プール (花巻スイングSFやざわ)	施設暖房、サウナ、ドイラー等の熱源、給湯、プール加温	7,800時間	補助金活用なし
8 未利用材からのペレット生産と温泉での熱利用	上野村	群馬県	行政主導型	ペレット	・林野庁「森林整備加速化・林業再生基金事業」(H21~23年度?)を用いて村営のペレット工場を設立し、2010年度からペレット生産を開始	温水ボイラー (200kW、シュミット製) ×3台	3湯浴施設 (やまびこ荘、ヴィラせせらぎ、しおじの湯)	昇温 (温泉)、暖房、給湯	8,760時間	ペレット工場: 森林整備加速化・林業再生事業 (林野庁、09年度) ボイラー: 林業・木材産業緊急対策事業 (群馬県、10年度)
9 製材端材によるペレット生産とペレットボイラーによる冷暖房	山梨市街の駅やまなし	山梨県	行政主導型	ペレット	・家族経営の少規模製材・ペレット製造工場 (飯島製材所) が、製材端材を活用してペレットを製造	温水ボイラー (407kW、二光エンジニアリング製)	地域交流センター (街の駅やまなし)	冷暖房、昇温 (足湯)	8,760時間	地域新エネルギー等導入促進事業 (NEPC、09年度)
10 温泉宿泊施設における薪ボイラー熱利用	常盤館	長野県	民間主導型	薪 (丸太)	丸太を買い入れて、燃料として利用	温水ボイラー (257,000kcal/h、ATO社製)	温泉旅館 (常盤館)	昇温、給湯、暖房	不明	補助金活用なし
11 地域材での薪生産及び温泉施設での薪ボイラー利用	檜原村	東京都檜原村	民間主導型	薪 (丸太)	・決められた価格で、木材を購入 ・シルバー人材センターを活用し、フィンランド製の薪割り機で製造	薪ボイラー (80kW、シュミット製)	湯浴施設 (数馬の湯)	温泉加温	10~12時間/日…稼働後1年以内	地球温暖化対策等推進のための区市町村補助金 (東京都、2011)
12 園芸ハウスでの薪ボイラー加温	—	千葉県南房総市	行政主導型	薪 (丸太)	・実証実験段階のため、千葉県森林組合安房支所から無償提供を受けている	薪ストーブ (4,000~40,000kcal/h、石村工業社製=ゴロン太)	2軒のモニター農家	温室加温	2,880時間/日 (冬季のみ)	実証事業中
13 チップ及びペレットによるバイオマス熱利用	下川町	北海道	行政主導型	チップ	・町内集成材工場より、端材チップを購入	温水ボイラー (180kW、シュミット製)	温泉旅館 (五味温泉)	昇温 (温泉)、暖房、給湯	8,000時間程度 (夏期夜間は種火モードにて運転)	二酸化炭素抑制対策事業 (環境省、04年度)
					・原料は林地残材、架線支障木、剪定枝等林地残材は町有林から輸送される ・チップ加工場の土場には2年分の材が集積されており、チップ化前に半年程度乾燥させているチップの含水率は50% (ドライベース) に設定している	温水ボイラー (1,200kW、シュミット製)	地域熱供給システム	暖房、給湯	4,320時間 (冬季のみ、夜間は種火モード)	環境保全型地域づくり推進支援事業 (環境省、09年度)
					・外部より購入	温水ボイラー (100kW、580kW、450kW、シュミット製)	町営施設 (幼児センター、農業用育苗ハウス、高齢者複合施設)	暖房、給湯	不明	
						温水ボイラー (80kW、シュミット製)	町営住宅 (6棟集合)	暖房	不明	二酸化炭素抑制対策事業 (環境省、05年度)
	協和温泉	北海道	民間主導型	チップ	・下川町集成材工場より、端材チップを購入	温水ボイラー (180kW、シュミット製)	住宅 (エコハウス美奈)	暖房、給湯	不明	環境省補助事業 (事業名不明)
				チップ		温水ボイラー (350kW、Nolting製)	温泉旅館 (協和温泉)	暖房、給湯	不明…導入後1年以内	北海道エネルギーフロンティア事業
14 未利用材チップ生産と地域熱供給システム	最上町	山形県	行政主導型	チップ	・民有林人工林の間伐材の内、C材・D材を原料として、チップ工場にて破砕チップを生産 (一部、製材工場の端材も使用)	温水ボイラー (550kW、シュミット製) 温水ボイラー (700kW、シュミット製)	町立病院・老人保健施設 (ウエルネスプラザ)、近隣の園芸ハウス	温水供給 (暖房・給湯) 及び低温吸収式冷凍機での冷房	不明	バイオマスエネルギー地域システム化実験事業 (補助率100%) (NEDO、05-09年度)
				チップ		温水ボイラー (900kW、シュミット製)	特別養護老人ホーム	暖房・給湯	不明	森林整備加速化・林業再生事業 (補助率100%) (林野庁、11年度)
				チップ		温水ボイラー (180kW、シュミット製)	幼保一元化施設	暖房利用 (冬季のみ)	不明	まちづくり交付金 (国土交通省)
15 木材加工工場の端材を用いたペレット生産・バイオマス発電事業及び地域バイオマス熱利用	真庭市	岡山県	民間主導型	チップ、ペレット	・真庭木材事業共同組合運営のバイオマス集積基地及び森林組合運営のストックヤードを整備し、林地残材、製材端材を集めてチップを生産 ・材を集める仕組みは、「真庭市林地残材活用促進事業」を活用して構築	温水チップボイラー (550kW、シュミット製) 温水ペレットボイラー (450kW、シュミット製)	市庁舎	冷暖房	4,800時間 (200日/年、夜間は種火モード)	地域新エネルギー等導入促進事業 (NEPC、09年度)
				製材端材、樹皮	・銘建工業にて樹皮の乾燥を行い、燃料化を実施	混焼蒸気ボイラー (2,500kg/h)	セメント工場 (ランデス)	プロセス利用	不明	地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業 (NEDO、06-08年度)
				ベレット	・銘建工業にて集成材加工工程で発生するかんなくず (1日あたり120-140t発生) を利用したペレット製造を実施	冷暖房対応型温水ボイラー (125kW)	製材工場 (小林製材、牧野木材工業)	プロセス利用	不明	*バイオマス集積基地: 地域バイオマス活用交付金事業 (林野庁、08年度)
						温水ボイラー (133kW、日本サーモエナー製)	商業施設 (木材ふれあい会館)	冷暖房	不明	地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業 (NEDO、06-08年度)
						温水ボイラー (250,000kcal/h、70,000kcal/h)	温水プール (水夢)	昇温、給湯、暖房	4,380時間	
							農園ハウス (西村農園、西山農園)	暖房	不明	地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業 (NEDO、06-08年度)
	銘建工業(株)			かんなくず、樹皮	・集成材加工工程で発生するかんなくず (1日あたり120-140t発生) を利用	蒸気発電機 (20t/h)	木材加工工場 (銘建工業)	電力自家消費 (昼間)、売電 (夜間)	8,640時間 (点検除く)	補助金活用なし
16 石炭混焼と専焼発電による大規模バイオマス利用とペレットによる中小規模利用	山口県	山口県	行政主導型	チップ	・山口県森林組合連合会が、生産及び運搬を飯森木材に委託	蒸気ボイラー (50万kW×2基、タクマ製)	石炭火力発電所 (中国電力新小野田発電所)	発電 (混焼)	8,000時間弱	バイオマス受入: 林地残材バイオマス石炭混焼発電実証事業 (林野庁、2009年) チップ: 森林整備加速化・林業再生事業
			民間主導型	チップ	・飯森木材ら (未利用木材 (林地残材等) 6割、建築廃材4割)	蒸気ボイラー (1万kW、JFEエンジニアリング製)	バイオマス専焼発電所 (ミツウロコ岩国バイオマス発電所)	発電 (専焼)	8,000時間弱	経済産業省系の補助金を活用
			行政主導型	ペレット	・山口県森林組合連合会岩国工場でのペレット生産	温水チップ (110kW、シュミット製)	分譲住宅区画 (安岡エコタウン)	暖房	8,760時間	バイオマスエネルギー地域システム化実験事業 (補助率100%) (NEDO、05-09年度)

注) 網掛け部分は、現地で確認ができなかった事例。



I. 国内事例調査に基づくバイオマス利用の課題・ポイントと今後の方向性

(1) 計画段階

① 基本構想

<事例に見る課題・ポイント>

- ◆基本構想で、「経済性の確保」や「環境への配慮」といった要素が検討されていない場合がある。
- ◆合理的な基本構想の策定がポイント。

基本構想がもっぱら、①森林資源の活用や②地域産業への配慮の視点から作成され、③経済性の確保や、④環境への配慮といった要素が検討されていない場合があります。

そのため多くの事例において、経済性の確保のための検討が後付けになっており、採算性に問題があります。

加えて、仕様書や基本設計をボイラーメーカーが作成している事例があり、補助金の申請要件に経営診断の実施が含まれる場合もありますが、バイオマスの専門家でなければ適切な診断は困難です。他方、上野村のペレット生産事業のように、林地残材を原材料とするという厳しい前提条件でありながら、事前の経営診断により、経済性がある程度確保された事例もあります。上野村の事例では、具体的には、地域の森林資源量調査からペレット生産可能量を把握し、これに適合するシステムの規模、ラインを検討しました。この検討結果を仕様としてペレット生産工場整備を発注し、メーカーの一方向的な提案でないシステム構築を実現しました。最後に、ペレット生産工程の収支計算を実施し、その結果をもとにペレット価格が設定されています。

<今後の方向性>

- ◆補助金申請者及び行政への基本的な知識の付与（「実務テキスト」の作成・活用）
- ◆補助金申請時点での専門家によるチェックの有効化（形骸化した経営診断の見直しが必要）。
- ◆事業の運用段階での専門家によるレビュー（事前の設計が最低限のレベル以上であることが必要）。
- ◆チェック&レビューによって以降の事業へのフィードバック。

② 熱需要の把握

<事例に見る課題・ポイント>

- ◆熱需要の量・変動に合わせて適切なシステムが設計されているかがポイント。

採算性の確保のためには、安定した熱需要とボイラーの下、貯湯槽の適切な組み合わせにより、一定の安定した燃焼と稼働率を高めることが不可欠です。温浴施設、温水プールでの温水加温の確保がなされている事例（北海道健誠社（北海道旭川市）・五味温泉（北海道下川町）・花巻スイミングSFやさわ（岩手県花巻市）・水夢（岡山県真庭市）など）では、良好な燃焼が確保されています。

北海道健誠社では、クリーニング工場で蒸気をプロセス利用。年間・日中を通じて安定的な熱需要があり、適切な燃焼と稼働時間が確保され、経済性も高くなっています。このように、温浴施設や温水プールにおける給湯や加温での利用事例では、もともと年間をとおして熱需要があることから、適切な規模で設計されていれば、稼働率も高く、適切な燃焼が確保されます。

他方、夏季の熱需要確保が難しい場合があります。比較的涼しい地域では、思ったような熱需要が確保できず、安定運転に苦勞している場合があります。他方、夏の気温が高い地域では、冷房需要も確保されている場合もあります（山梨県山梨市：街の駅やまなし＝ペレットボイラー、岡山県真庭市：市役所）。ただし、バイオマスボイラーによる冷房利用はコストが割高になりますので、導入を検討する場合、十分な収支計算が不可欠です。なお、温泉施設などが少ない欧州では、夏の熱需要を確保するのは容易ではなく、停止している場合がほとんどです。

<今後の方向性>

- ◆バイオマスの特性を考慮し、安定的な燃焼（運転）と稼働時間の確保を優先したプランニングの重要性の周知。
- ◆上記のようなプランニングが可能な技術者・専門家の育成。
- ◆具体的には、熱需要の推計方法、ボイラーシステム設計手法の確立。



写真 8.1 北海道健誠社のボイラー建屋（左）、真庭市役所の2基のバイオマスボイラー（右）



(撮影) 三菱UFJリサーチ&コンサルティング

③ 燃料調達計画

＜事例に見る課題・ポイント＞

- ◆ボイラーとチップの組み合わせについて、事前によく理解しないまま、燃料調達計画を立てている場合が見られる。

燃料調達について計画時に見られる一番目の課題は、チップ形状についての情報の未整理です。チップの品質、特に形状（切削チップと破碎チップの特性の違い）が燃焼に与える影響についての認識不足が見られます。具体的には、破碎チップの場合、ボイラーのチップ搬送システム内で、チップが詰まるトラブルが多発しています。

二番目は、水分についての認識不足です。ある蒸気ボイラーの事例では、チップ利用側がボイラーのカタログ値（最高値）を発注時の水分基準として設定したのに対して、実際はチップ水分にばらつきがあり、燃焼のトラブルを頻発させる事態を招いてしまいました。チップ供給者が、従来の製紙チップと同じだと誤解してしまうと、水分管理の必要性を理解せず、製紙用生チップと同様に燃料用チップも供給可能と考えてしまい、トラブルにつながる場合があります。他方、五味温泉（北海道下川町）のように、水分の低下した集成材端材を原料とした切削チップ（水分16%程度）を燃料として採用し、安定的な燃焼を実現している場合もあります。

＜今後の方向性＞

- ◆燃料用チップの性質の理解促進
（含水率（乾量基準）／水分（湿量基準）の違いや、チップング方法などによる燃焼の違いの整理）
- ◆ボイラーとチップの組み合わせの整理と理解促進

写真 8.2 下川町五味温泉のチップ（左）



（撮影）三菱UFJリサーチ&コンサルティング



④ ボイラー・熱供給システムの選定

<事例に見る課題・ポイント>

- ◆一般的に（とくに輸入品は）、ボイラー価格が高く、採算の取れるモデルケースが整理されていない。
- ◆建屋やサイロが、欧州などに比べてオーバースペックとの指摘がある（規制や補助金規定による高コスト化も疑われており、今後詳細な検討が必要）。

現在、バイオマスボイラーの導入には、補助金が活用されている場合がほとんどです。しかし、問題なのは、100%補助による導入や自治体による施設所有の場合、減価償却や金利、売上げ（稼働時間）確保の重要性が低くなるため、民間への普及のモデルとならないことです。

今後の普及のためには、たとえ自治体による導入であっても、税金負担の重要性を意識し、コスト削減の努力が必要です。例えば、ボイラーの選定にあたっては、可能な限り多くの事例の情報を集め、性能や費用を把握しておくことが重要です。

その中でも、総合的な事業費削減を考慮した建屋やサイロ設計などを見ることができます。例えば、鹿児島大学病院のチップサイロは地下にあります。建屋を省略することで低コスト化を図っています。

他方で、前述の「燃料調達計画」と関連して、燃焼させるチップとボイラーの組み合わせが標準化されておらず、燃料詰まりなどが発生しています。

<今後の方向性>

- ◆ボイラー価格のベンチマーク設定
- ◆建屋やサイロなどの付帯工事のオーバースペックの見直し（とくに補助事業活用の場合）
- ◆チップの特性と組み合わせたボイラー選定の整理・規格化

(2) 運用段階

① 燃料生産—チップ

<事例に見る課題・ポイント>

- ◆原料の水分管理を適切に行うことが成功のポイント。

燃料生産で最も大切なことは、水分の適切な管理です。

チップ状態での乾燥は、一般的に困難だと言われており、特に林地残材（未利用材）の場合、原料段階での水分管理が基本です。欧州では林道端で自然乾燥した後、現地でチップ化しサイロへ輸送するというシステムが構築されていますが、日本では事例が少なく、チップ生産システムの構築が必要です。現状では、多くの事例において、広い土場に林地残材を集積乾燥させています（北海道旭川市：北海道健誠社、北海道下川町：地域熱供給、岡山県真庭市など）。ただし、複数回の輸送経費、土場管理費等の経費かかりまじになることから、今後の改善が必要になります。

また、製材工場の端材のうち背板部分は、生材から製材を作成する段階の副産物であり水分が高くなります。これを乾燥させる土場の確保や、化石燃料による強制乾燥など課題が多くあります。

水分が高いチップを製紙用チップとして販売できるのであれば、原料受入れ時にトラックスケールで重量を測定した際に、製紙用と燃料用に区別して集積しておき、チップ化するという方法をとることもできます。この原理を用いて上手に仕分けをしていたのが、岡山県真庭市のチップ生産所（バイオマス集積地）で、実態としては9割のチップを製紙用に販売し、残りの比較的乾燥したチップを燃料用に販売しています。

なお、ある程度の水分が高い生チップであっても、安定した燃焼スケジュールを確保できるのであれば、ストーカ式などの生チップ対応ボイラーで燃焼が可能です。ただし、より水分の高いチップが混入してくる可能性は否めず、またDSS（=Daily Start & Stop）運転をする場合などは燃焼効率が著しく低下します。欧州では、大規模でなければ、チップ化後に屋根のある風通しの良い場所で、（場合によっては太陽熱集熱器を用いて）自然乾燥させることも行われ始めており、日本でも研究の必要性があるでしょう。

<今後の方向性>

- ◆水分の管理方法の整理・確立
 - ・水分（重さ）をキーにした製紙用チップと燃料用チップとの考え方の区別
 - ・林地残材の乾燥方法の確立と普及
 - ・チップ生産方法の確立と、生チップの乾燥方法の確立と普及
- ◆燃料用チップの規格策定



写真 8.3 真庭市のバイオマス集積基地のトラックスケール(左)、北海道健誠社のチップ土場(右)



(撮影) 三菱UFJリサーチ&コンサルティング

② 燃料生産ーペレット

<事例に見る課題・ポイント>

- ◆副産物によるペレット生産を基本とした生産システムの確立と普及。
- ◆均質で低コストの燃料生産のため、乾燥・成型の各生産システムを構築するには、試行錯誤による現場調整が必要。

現在、日本で生産されているペレットのほとんどが、主産物利用（原材料が間伐材等の丸太）であり、破碎・乾燥にコストがかかり、化石燃料と同等以上の価格でしか燃料供給ができていないのが実態です。この場合、乾燥の調整が難しく品質管理に苦勞する上、製品にはバークが混入せざるを得ないなどの問題も発生しています。

ペレット生産の基本は、製材工場から出るおが粉などを原料とする副産物利用です。日本でも、自社の集成材工場で発生するプレーナー屑を原料にペレットを生産する岡山県真庭市の銘建工業の事例があります。

<今後の方向性>

- ◆製材工場や集成材・プレカット工場などの乾燥原材料を利用したペレット生産工場整備の検討。
- ◆主産物利用から副産物利用への転換。

③ ボイラー運転

<事例に見る課題・ポイント>

- ◆ バイオマスボイラーは、負荷の変動に応じて即座に出力を上下させることが困難なため、原則として24時間連続の安定した稼働が望ましい。
- ◆ 日変動が少ない稼働スケジュールの実現、また日中のみの運転の場合でも安定的な稼働の維持がポイントである。

負荷追従性の低いバイオマスボイラーにおいて、負荷の変動に応じて出力を上下させるのは難しいばかりか、不完全燃焼等に繋がり、ボイラーに過剰な負荷がかかり、故障にも繋がります。

また、DSS運転（Daily Start & Stop運転）による問題も無視できません。例えば、今回調査を行ったある温浴施設では、夜間の熱需要がないことからDSS運転を実施していますが、毎朝の稼働開始時に熱量不足を補うため併用するバックアップの化石燃料ボイラーの稼働率が高くなり、思うような化石燃料の削減に繋がっていません。また、夜間の熱需要がない場合、種火モードの使用事例がありますが、水分の高い燃料では、そもそも種火モードによる燃焼は維持できず、不完全燃焼や鎮火、ボイラー清掃頻度の増加などのトラブルにつながっています。

ボイラーと貯湯槽の組み合わせにより規模を最適化し、夜間には貯湯槽用に運転するのが、本来のバイオマスボイラー利用です。

<今後の方向性>

- ◆ 安定運転できるシステム構築
 - ・ 熱需要の把握や燃料の品質とボイラーの相性など、計画段階のポイントを抑えることが重要
- ◆ ボイラーシステムにマッチした稼働
 - ・ 特に高水分率のチップが燃焼可能な移動床式ボイラーは連続運転が基本。（種火モードは課題が多い）
- ◆ 安定したベース熱源としてのバイオマスボイラー利用、および、需要増加時のエネルギー調達のためのバックアップボイラーの効果的な利用



④ 維持管理

<事例に見る課題・ポイント>

◆適切にボイラーを運転することにより、維持管理費を低く抑えることができる。

メーカーに全ての保守・点検を委託してしまうと、一般的に高額となり、思ったようなランニングコストの削減が実現できない恐れがあります。

そこで、管理者自らがボイラーのメンテナンスを行うことで維持管理費を削減することを検討してみることも大切です。例えば、山形県舟形町における、舟形マッシュルームにおいては、排気温度の上昇は熱交換の悪化を意味するため、これを確認し清掃の時期を決定したり、循環水の状況（色・スレッジ混入）を確認して清掃を実施しています。

<今後の方向性>

◆バイオマスボイラーの特性（負荷追従性が低く、安定運転が基本）や、日常的な保守・点検についての 適切なガイダンス／トレーニングの実施

II. まとめ

日本国内の事例調査から明らかになったことは、経済性確保のための検討・取組が不足していることが最大の問題であるということです。ただし、経済性の検討に必要な情報が不足していることも関わっていますので、今後はより幅広く情報を整理していく必要があります。

また、活用可能な助成がハード面に集中し、計画・設計、設備導入、運用などに係るソフト面の支援がなく、検討を開始できていないような地域や事業者も多々あります。そこで、以下のようなソフト面の支援重視への転換が必要であると考えられます。

- ・各地個別の取組のシステム計画・設計に係る支援（専門家による経営診断実施など）
- ・取組普及に向けた情報整備（製品情報、価格等のベンチマーク、燃料種ごとのシステムなど技術的な情報の整理・ガイダンス開発など）

ソフト面での支援が行われ、経済性の確保を目指すことにより、コスト低減に向けた技術改良が進み、取組の普及につながる可能性を持っています。

最後に、現状での設備費用の高さを考えると、少なくとも当面の間は補助が不可欠でしょう。助成にあたっては取組計画のチェックおよび取組実施後の成果のレビューを適切に実施し、それらの知見を積極的に公開していくべきだと思われれます。

第9章 参考資料

(1) 関連法規等

①主な関連法規

法規の名称	概要	手続き	規制条件等
廃棄物の処理及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"> ・焼却能力200kg/h以上、または火格子面積2m²以上 ・廃棄物を引き取って処理する事を業とする ・破砕能力が5t/日以上
電気事業法	一定規模以上の発電施設の場合	許可届出	<ul style="list-style-type: none"> ・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/年以上又は熱を原油換算で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 ² 以上、またはバーナー燃焼能力重油換算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>ばい煙発生施設</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 2. 工場全体の「ばい煙発生施設」からの排出ガス量が10,000Nm³/時以上の工場 <p>特定粉じん発生施設 大気汚染防止法による「特定粉じん発生施設」</p> <p>一般粉じん発生施設 大気汚染防止法による「一般粉じん発生施設」</p> <p>汚水等排出施設等 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、</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 有害物質を排出する施設を設置している工場 2. 排出水量が1,000m³/日以上以上の工場 <p>騒音発生施設</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 機械プレス(呼び加圧能力が100t以上のもの) 2. 鑄造機(落下部分の重量が1t以上のハンマー)



			振動発生施設 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） 2. 機械プレス（呼び加圧能力が100t以上） 3. 鑄造機（落下部分の重量が1t以上のハンマー）
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 ² を超え10m ² 以下
消防法	燃料貯蔵量が一定数量以上の場合	届出	・ 指定可燃物10m ³ 以上の燃料保管 ・ 外部への指定可燃物の表示と保管場所に消化器類を常備
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	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 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） 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
電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法	固定価格買取制度で売電する場合	認定	再生可能エネルギー発電設備の認定

②主なガイドライン

名称	概要	
発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン	固定価格買取制度で売電する場合	間伐材等由来の木質バイオマスや一般木質バイオマス由来であることの証明に取り組むに当たって留意すべき事項等を記載

(2) チップの欧州規格

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面積は1cm ² 未満
P16B	3.15 ≤ P ≤ 16mm	≤ 12%	45mm超は3%以下、全てが120mm未満、オーバーサイズの横断面面積は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面積は5cm ² 未満

(出所)「森林組合No.511 (EN14961-4から抜粋, 小島健一郎)」より

EN14961非産業用の木質チップの規格

	単 位	A1	A2	B1	B2
出所と種類		・根を除く全木 ・幹材 ・非化学処理木材の残渣 ・伐採残渣、堆積した広葉樹の葉	・根を除く全木 ・幹材 ・非化学処理木材の残渣 ・伐採残渣、堆積した広葉樹の葉	・森林、植林、その他無垢材 ・非化学処理木材の残渣	・木材加工産業の副産物と残渣 ・使用済み木材
粒度 (P)	mm	表3より選択	表3より選択	表3より選択	
水分 (M)	湿量%	M10 ≤ 0 M25 ≤ 8	M35 ≤ 8	明記のこと	
灰分 (A)	乾量%	A1.0 ≤ 1.0	A1.5 ≤ 1.5	A3.0 ≤ 3.0	
真発熱量(Q)	MJ/kg	Q13.0 ≥ 13.0	Q11.0 ≥ 11.0	明記のこと	
かさ密度(BD)	kg/バルクm ³	BD150 ≤ 150 BD200 ≤ 200	BD150 ≤ 150 BD200 ≤ 200	明記のこと	
その他	窒素、硫黄、塩素、砒素、カドミウム、クロム、銅、鉛、水銀、ニッケル、亜鉛についてB1ならびにB2については基準値が存在する (A1とA2には基準なし)				

(出所)「森林組合No.511 (EN14961-4から抜粋, 小島健一郎)」より



(3) エネルギー単位と換算

①エネルギー単位の換算

- 1 ワット (W) = 1 ジュール毎秒 (J/s)
- 1 ワット時 (Wh) = 3,600ジュール (J)
- 1 ジュール (J) = 0.2389カロリー (cal)
- 1 カロリー (cal) = 4.1855ジュール (J)

kWh (キロワット時)	MJ (メガジュール)	kcal (キロカロリー)
1	3.6	860
0.27778	1	238.9
0.00116	0.004186	1

②石油・ガスのエネルギーと単位の換算

区分/単位	kWh	MJ
重油/1リットル	(10.9)	(39.1)
	10.3	37.1
灯油/1リットル	(10.2)	(36.7)
	9.7	34.9
L Pガス/1m ³	(27.9)	(100.5)
	25.8	93.0

上段：(高位発熱量)、下段：低位発熱量

③木材のエネルギー

木材の発熱量 (絶乾ベース) 単位：MJ/kg

樹種	材	樹皮	樹種	材	樹皮
トドマツ	20.18	—	ユーカリ	20.02	17.27
エゾマツ	20.26	—	クヌギ	19.93	20.75
カラマツ	20.87	20.40	コナラ	19.41	19.56
ベイマツ	21.39	23.48	シラカシ	19.53	18.51
ベイツガ	19.76	22.78	クリ	19.67	19.94
ベイスギ	22.57	20.22	イロハモミジ	19.61	18.17
ニセアカシア	19.69	20.83	オオバヤナギ	19.65	19.43
ミズキ	20.01	19.29	ハンノキ	19.64	20.63
改良ポプラ	20.01	19.91	ミズナラ	19.65	20.89
サワグルミ	19.51	18.82	ハルニレ	19.54	17.37
シラカンバ	20.08	22.48	イヌエンジュ	19.75	23.37
アカシアモリシマ	20.79	20.59	センノキ	19.78	19.80

(出所)「木質工業ハンドブック」独立行政法人森林総合研究所監修より



(4) 木材の比重とチップの体積換算

【参考】水分別の木材比重

水分 (%)	含水率 (%)	材積1m ³ 当たりの比重 (t/m ³)											
		スギ	ヒノキ	エゾマツ	カラマツ	アカマツ	キリ	カツラ	シナノキ	ブナ	ミズナラ	マカンバ(ウダイカンバ)	アカガシ
0	0	0.34	0.37	0.40	0.50	0.52	0.26	0.45	0.49	0.60	0.61	0.69	0.87
20	25	0.42	0.44	0.48	0.60	0.62	0.32	0.54	0.57	0.71	0.72	0.82	1.02
25	33	0.43	0.47	0.50	0.64	0.65	0.34	0.57	0.61	0.74	0.76	0.86	1.08
30	43	0.47	0.51	0.53	0.67	0.69	0.36	0.60	0.65	0.79	0.81	0.92	1.14
35	54	0.49	0.54	0.58	0.72	0.75	0.38	0.65	0.69	0.84	0.87	0.98	1.22
40	67	0.54	0.58	0.62	0.77	0.80	0.41	0.70	0.75	0.90	0.94	1.06	1.31
45	82	0.58	0.63	0.67	0.84	0.87	0.45	0.76	0.80	0.97	1.01	1.14	1.41
50	100	0.63	0.69	0.73	0.91	0.95	0.49	0.83	0.88	1.06	1.11	1.25	1.54
55	122	0.71	0.76	0.80	1.01	1.05	0.55	0.91	0.97	1.17	1.22	1.37	1.69

注) 生材の水分を55% (w.b.) = 含水率122% (d.b.) と仮定。
 全乾密度を基準に含水率別の材の重量を算出。各含水率での体積は各方向の全収縮率を生材から全乾までの含水率の差で比例配分し補正。
 なお、全乾密度 (水分0%の比重)、全収縮率は「木材科学ハンドブック」岡野健 祖父江信夫 (p126) を参照。

材積とチップ層積の換算表

材積	チップ層積
1 m ³	2.5~2.8 Srm (チップm ³)

(出所)「QM Planungshandbuch」より

(6) 仮置場の可燃性廃棄物の火災予防について

▶ 仮置場に積み上げられる可燃性廃棄物は、**高さ5メートル以下**、一山あたりの**設置面積を200平方メートル以下**にする。また、積み上げられる山と山との**離間距離は2メートル以上**とすること。

- 5メートルを超過すると、内部の発熱速度 > 表面からの放熱速度となり、蓄熱が促進される危険性があるため。
- 堆積高さ、設置面積、離間距離を適切に管理することで、火災発生時の消火活動が容易になるため。

▶ 積み上げられた山の上で作業する**重機の活動範囲を日単位で変更**すること（毎日同じ場所に乗らない）。

▶ 数週間に1度は**仮置場の堆積物の切り返し**を行い、積み上げたままの状態では長期放置しないようにすること。

▶ ガスボンベ、ライター、灯油缶、バイク等の燃料を含む危険物や、電化製品、バッテリー、電池等の**火花を散らす廃棄物の混在を避ける**。また、これらを含む可能性のある家電・電子機器等の保管場所と**可燃性廃棄物を近接させない**。

▶ 降雨が繰り返されることによって、廃棄物層内の温度が上昇することが懸念されるため、**降雨が多い時期には特に注意が必要**。

▶ 積み上げられた堆積廃棄物の深層温度は、気温よりも1~2か月遅れで上昇することから、**8月を過ぎても少なくとも10月下旬程度までは注意が必要**である。

▶ 火災予防のモニタリング

- 最低でも**1週間に1度程度は仮置場の山を巡回視察**すること。
- 表層から1メートル程度の深さの温度が**摂氏75度を超過**していたら危険信号
- 表層から1メートル程度の深さの**一酸化炭素濃度が50ppmvを超過**していたら危険信号
- 堆積物から出てくる水蒸気が**芳香系の揮発臭がある場合は危険信号**
- モニタリングは**法肩部、小段部分**を重点的に調査すること。

▶ 散水による火災防止効果を過度に期待せず、蓄熱しない環境（高さ制限等）や危険物の混入を避ける対策を実施すること。

（出所）「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

(7) 灰の取り扱い

①灰に関する通知

名 称	概 要
放射性セシウムを含む肥料・土壌改良資材・培土及び飼料の暫定許容値の設定について	<p>平成23年8月1日通知（農林水産省消費・安全局長外連名） 放射性セシウムによる農地土壌の汚染拡大を防止するとともに、食品衛生法上問題のない農畜水産物の生産を確保する観点から、肥料・土壌改良資材・培土及び飼料についての放射性セシウムの暫定許容値を設定。 暫定許容値を超える肥料・土壌改良資材・培土及び飼料の施用・使用・生産又は流通が行われないよう、関係者に周知、指導等について都道府県知事に通知。</p> <p>1. 暫定許容値の設定 (1) 肥料・土壌改良資材・培土中の放射性セシウムの暫定許容値 肥料・土壌改良資材・培土中に含まれることが許容される最大値は、400ベクレル/kg（製品重量）</p> <p>ただし、1) 農地で生産された農産物の全部又は一部を当該農地に還元施用する場合、2) 畜産農家が飼料を自給生産する草地・飼料畑等において自らの畜産経営から生じる家畜排せつ物又はそれを原料とする堆肥を還元施用する場合、3) 畜産農家に供給する飼料を生産している農家等が、当該飼料を生産する草地・飼料畑等において、当該飼料の供給先の畜産経営から生じる家畜排せつ物又はそれを原料とする堆肥を還元施用する場合、においては、この限りでない。</p>
調理加熱用の薪及び木炭の当面の指標値の設定について	<p>平成23年11月2日通知（林野庁林政部経営課長外連名） 薪及び木炭の焼却灰には一定レベルの放射性物質が残留するとの知見が得られたため、調理加熱用の薪及び木炭の今後の取扱いについて、当面の指標値を定め、都道府県及び関係団体へ通知。 当面の指標値（放射性セシウムの濃度の最大値） (1) 薪 40ベクレル/kg（乾重量） (2) 木炭 280ベクレル/kg（乾重量）</p> <p>生産者及び流通関係者に対し、指標値を超えている薪及び木炭の流通を行わないよう指導を行うこと等について、都道府県及び関係団体に要請。</p>
調理加熱用の薪及び木炭の放射性セシウム測定のための検査方法について	<p>平成23年11月18日通知（林野庁林政部経営課長外連名）</p> <p>1. 検査対象 (ア) 東京電力福島第一原子力発電所事故以降、次の状態にあったものを対象。 ・17都県において採取及び保管された原料から生産された薪及び木炭 ・17都県において保管された薪及び木炭 （青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、新潟県、山梨県、長野県及び静岡県） (イ) 以下は対象外 ・平成23年3月11日以前に生産され、シートをかける等風雨にあてない状態で保管されていたもの ・原料の全てが次のいずれかに該当するものであって、シートをかける等風雨にあてない状態で保管され、かつ当該原料により生産された製品についてもシートをかける等風雨にあてない状態で保管されていたもの (1) 平成23年3月11日以前に採取されたもの (2) 17都県以外の地域において採取されたもの</p>



	<p>2. 検査実施主体 (ア) 検査対象となる薪及び木炭を生産する生産者 (イ) 検査対象となる薪及び木炭を流通させる流通関係者</p>
<p>薪、木炭等の燃焼により生じる灰の食品の加工及び調理への利用自粛について</p>	<p>平成24年2月10日通知（農林水産省食料産業局小売サービス課長外連名） 一般消費者、飲食店及び食品製造業者に対し、薪及び木炭等（以下「薪等」という）の燃焼によって生じた灰を、食品の加工及び調理に用いないこと（製麺、アク抜き、凝固剤等）を通知。 青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、新潟県、山梨県、長野県及び静岡県（以下「17都県」という）から採取される原料、採取された原料から生産された薪等及び17都県で保管された薪等を対象。 以下は対象外 (ア) 平成23年3月11日以前に生産され、シートをかける等風雨にあてない状態で保管されていた薪等 (イ) 平成23年3月12日以降に生産された薪等であって、原料の全てが次のいずれかに該当し、シートをかける等風雨にあてない状態で保管され、かつ当該原料により生産された薪等についてもシートをかける等風雨にあてない状態で保管されていたもの ・平成23年3月11日以前に採取されたもの ・17都県以外の地域において採取されたもの</p>
<p>木質ペレットの当面の指標値の設定及び「木質ペレット及びストーブ燃焼灰の放射性セシウム測定のための検査方法」の制定について</p>	<p>平成24年11月2日通知（林野庁林政部木材利用課長名） ストーブ燃焼灰が一般廃棄物として処理可能な放射性物質濃度8,000Bq/kgを超えないようにするため、木質ペレットの当面の指標値を以下のとおり定め、関係者に通知 ホワイトペレット、全木ペレット：40Bq/kg バークペレット：300Bq/kg 木質ペレットの放射性セシウム濃度が当面の指標値を超えた場合、製造業者等はストーブ燃焼灰の放射性セシウム濃度も併せて測定 燃焼灰が8,000Bq/kg以下と確認される場合を除き、販売、流通等の停止を関係者に要請 「木質ペレット及びストーブ燃焼灰の放射性セシウム測定のための検査方法」を定めている</p>

図表 燃料と放射性セシウムの指標値

燃料の種類	薪	木炭	ペレット	
			ホワイト・全木	バーク
指標値 (Bq/kg)	40	280	40	300



②文献資料

○木質燃焼灰の利用方法

木質バイオマスボイラーで発生した燃焼灰を利用する際には、その灰の性状を活かした利用方法が考えられます。燃焼灰のいくつかの利用方法を図表に示します。

図表 木質燃焼灰の利用方法

利用方法	利 用 例
土壌改良剤、肥料	木灰は化学肥料では補充することが困難な微量元素を含んでいるため、堆肥と混ぜて使用することによって地力を維持する効果が得られる。
融雪促進剤	降雪地帯で農地に灰や炭等の黒色の粉状物を雪上に散布することで、太陽熱を集めて雪を溶かす方法が一般に用いられている。大規模な農地への散布としては、肥料、土壌改良資材と組合せることによる散布が効率的である。
山菜の灰汁抜き	チップ原料となる木材が化学的に未処理のものであれば、チップボイラーから発生する灰は安全なものといえる。そのため山菜の灰汁抜き等の山菜加工に利用することも可能である。(灰の重金属の溶出分析試験を実施し安全性を確認することが必須)。ただし、外材や建設廃材等が入ると品質保証が出来ないため利用出来ない。
こんにやく 蒟蒻の凝固剤	鯉節を製造する際に燻すために利用する桜、くぬぎ、ならの木等の焼却灰を、蒟蒻の凝固剤として有効利用する方法がある。現在では安価な水酸化カルシウム等を凝固剤として利用して大量生産する方法が主流だが、強い石灰臭を伴うことになる。一方で、木灰を凝固剤として利用すると、木灰抽出液はカリウム、ナトリウムを多く含むため、石灰臭が軽減され、良質な製品が出来る。 なお、山菜の灰汁抜きと同様に、原料に外材や建設廃材等が入ると品質保証が出来ないため、凝固剤として利用出来ない。
藍染め	藍染めの工法として、現代の藍染法である天然藍(薬品建て)と合成藍の割立てではなく、薬品を全く使用せずに天然藍(すくも)100%+灰汁+ふすま+加温により絹の藍染めを行っている。
和紙の煮熟剤	和紙の煮熟剤として木灰やソーダ灰を用いて煮る方法がある。 保存性の高い和紙はアルカリとしての木灰やソーダ灰を用いた場合に得られ、アルカリで煮熟(蒸解)すれば繊維の損傷が少ないものが得られる。

通常、燃焼灰を取扱う際は、化学的に未処理の木質バイオマス燃料から得られた灰だけとする必要があります。また、木質バイオマス燃料自体に不純物が混入されていなくても、燃料の加工、運搬、補給といった作業工程の中で、異物が混入することも想定されるため、燃焼灰を食品加工に利用する場合等は、一定の期間をおいて繰り返し燃焼灰の成分分析を行い、有害物質等の混入の有無を把握して安全性を確認することが必要です。

また、流通経路の整備と製品の質の保証が必要となりますが、土壌改良剤の場合は農協等に協力してもらうことで、既存流通網が利用可能となる場合があります。ただし、灰の取扱いについては県や自治体によって法令上の制約を受ける場合があるので、地域における基幹産業等と絡めて活用方策や適切な処理方法について検討する機会を設け、十分に協議を行うことが望まれます。

(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



(8) 参考文献

第4章

- 1) Wood Fuels Handbook, Biomass Trade Center, 2009
- 2) 日本工業標準調査会HP, (<http://www.jisc.go.jp/>)
- 3) 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, 2005
- 4) 岩手県HP, (<http://www.pref.iwate.jp/~hp0552/biomass/biomass.htm>)
- 5) 木質バイオマス A to Z バイオマスの用語と単位, 小島健一郎, 森林組合No.506, 2012. 8
- 6) 木質バイオマス A to Z 木質チップの燃料の品質と規格 (Ⅲ), 小島健一郎, 森林組合 No.511, 2013. 1
- 7) 欧州規格 (EN-14961)
- 8) ペレットクラブHP, (<http://www.pelletclub.jp/>)

第5章

- 1) 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, 2005
- 2) 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, 2013. 3
- 3) 平成21年度 林地残材の効率的な集荷システムモデルづくりモデル事業報告書, 北海道, 2012. 4
- 4) 木質ペレット燃料の需給に関する研究 (I) 1980年代の導入から衰退に至る過程と要因, 小島健一郎, 森林学会関西支部大会予稿集, 2005
- 5) The Pellet Handbook, I. Obernberger and G. Thek, 2010
- 6) 木質ペレット成型機構の解明, 独立行政法人 森林総合研究所, 2010

第7章

- 1) Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals, D. L. Klass, 1998, Academic press(California)
- 2) Wood fuels basic information pack, 2000
- 3) アジアバイオマスハンドブック、(社) 日本エネルギー学会、2008
- 4) The Science of Biomass Stoves, T. Reed, 2005
- 5) Biomass Boiler Design, D. Harfield et al., 2011
- 6) 木材活用事典、(株) 産業調査会、1994
- 7) 森林エネルギーを考える、岸本定吉、1981
- 8) Biomass Combustion Devices, C. S. Bhaskar Dixit, 2006
- 9) Wood Fuels Handbook, Biomass Trade Center, 2009
- 10) Thermochemical Processing of Biomass, R. C. Brown,



- 11) Biomass Combustion & Co-firing, S.V Loo & J. Koppejan, 2008
- 12) The Pellet Handbook, I. Obernberger & G. Thek, 2010
- 13) ボイラー便覧、(社) 日本ボイラー協会、1997
- 14) Biomass heating – A practical guide for potential users, Carbon Trust, 2009

第9章

- 1) 木質バイオマスAtoZ 木質チップの燃料の品質と規格 (Ⅲ), 小島健一郎, 森林組合 No.511, 2013. 1
- 2) 木質工業ハンドブック, 独立行政法人森林総合研究所監修, 2004. 3
- 3) 木材科学ハンドブック, 岡野健 祖父江信夫, 2006. 2
- 4) QM Holzheizwerke Planungshandbuch, Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke
- 5) 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, 2013. 3

全体

- 1) 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. 3

木質バイオマスボイラー導入・運用にかかわる実務テキスト

■編集者

梶山 恵司 株式会社富士通総研

■執筆者（五十音順）

相川 高信	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社	第2, 6, 8章
石山 浩一	株式会社森林環境リアライズ	第4, 5章
梶山 恵司	株式会社富士通総研	第1章
小島健一郎	ペレットクラブ	第4, 5, 6, 7章
山口 勝洋	環境エネルギー普及株式会社	第3章

■協力

三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社、ペレットクラブ、
株式会社森のエネルギー研究所

■作成

平成25年3月作成

株式会社森林環境リアライズ、株式会社富士通総研、環境エネルギー普及株式会社

このテキストは、平成24年度林野庁補助事業「地域材供給倍増事業 公共建築物等への地域材の利用促進及び木質バイオマスの利用拡大のうち木質バイオマスの効率的利用を図るための技術支援」で作成しました。

本書は <http://www.f-realize.co.jp/w-biomass/> よりダウンロードして御利用いただけます。本書の一部、全部の無断引用は御遠慮下さい。