

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。欧州の林道端渡しの価格は、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。

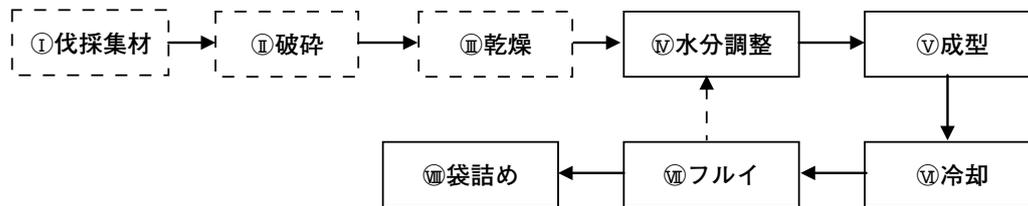
Ⅲ. ペレット

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

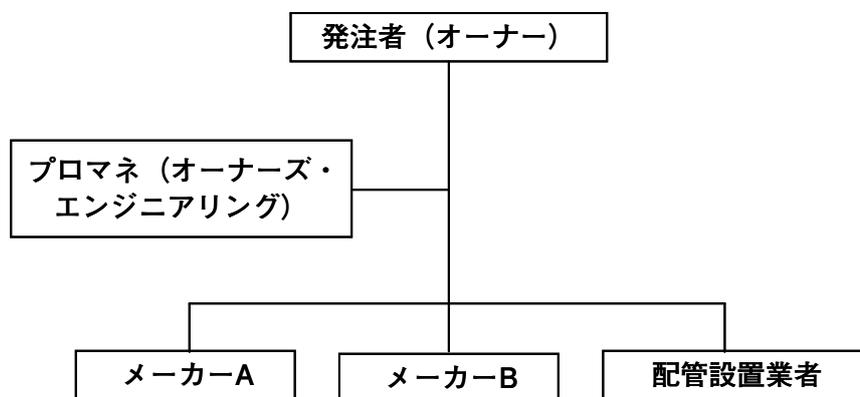
発注者が自前で個別に発注をする契約です。既存の石油ボイラーを木質バイオマスボイラーへと転換するなど、設備の一部を更新する時などに適用されます。コストが安くなる反面、発注者にそれなりの能力が要求されるため、自らが負うリスクが大きくなります。

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

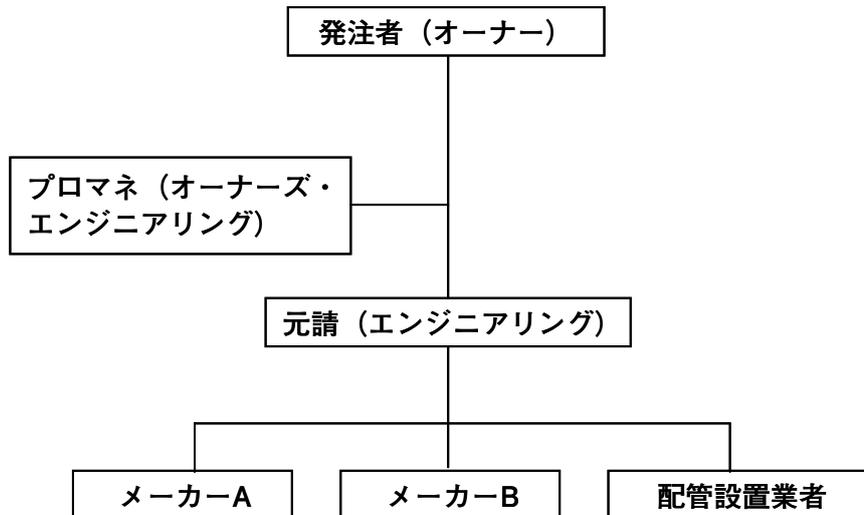


② ターンキー契約

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。