

平成 25 年度

木質バイオマス利用支援体制構築事業

発電・熱供給・熱電併給推進のための調査

報 告 書

平成 26 年 3 月

木質バイオマスエネルギー利用推進協議会

目 次

第 1 章 調査の目的と方法	1
1.1 背景と目的.....	1
1.2 調査テーマ.....	1
1.3 調査の重点項目の絞り込み.....	1
1.4 調査結果の取りまとめ方針.....	2
第 2 章 木質バイオマス発電の課題と展望	3
2.1 欧州連合におけるバイオマス FIT の実施状況.....	3
2.2 バイオマス FIT の国際比較.....	4
2.3 ドイツとオーストリアのバイオマス FIT.....	6
2.4 日本の木質バイオマス FIT の特質.....	8
2.5 バイオマス発電の出力規模と発電コスト.....	9
2.6 分散型熱電併給技術の台頭.....	10
2.7 発電用チップの調達コスト.....	12
2.8 木質バイオマスのカスケード利用と分別利用.....	15
2.9 森林チップの調達コスト.....	17
2.10 イギリスで始まった熱の固定価格買取り制度.....	19
2.11 軽視されがちな熱政策.....	21
2.12 むすび.....	22
第 3 章 ボイラ・タービン発電システムのコスト構造	25
3.1 規模別の標準的コスト構造の把握と分析.....	25
3.1.1 モデルケースの選定.....	25
3.1.2 コスト試算条件と結果.....	26
3.1.3 コスト構造の分析.....	28
3.2 木質バイオマスによる熱電併給システムの現状と課題.....	33
3.3 既存及び新設の木質バイオマス発電施設の動向.....	36
3.3.1 FIT 導入以前に建設された木質バイオマス発電施設.....	36
3.3.2 FIT 導入後に新設または計画されている木質バイオマス発電施設.....	36
第 4 章 木質バイオマス燃料のサプライチェーン	41
4.1 木質バイオマスの供給方法.....	41
4.1.1 調査方法.....	41
4.1.2 全体傾向.....	42
4.1.3 分析条件の整理と供給方法の類型化.....	43

4.1.4	類型別コスト分析.....	51
4.1.5	新技術の動向.....	57
4.1.6	まとめ.....	58
4.2	木質バイオマスの乾燥方法.....	59
4.2.1	含水率（水分）の定義.....	59
4.2.2	乾燥方法.....	62
4.3	燃料用木質チップ品質規格.....	71
4.3.1	はじめに.....	71
4.3.2	既存の品質基準.....	72
4.3.3	品質基準とその内容.....	74
第5章	その他の調査.....	84
5.1	小規模木質バイオマス発電の現状と課題.....	84
5.1.1	小規模には向かない蒸気サイクル.....	84
5.1.2	分散型熱電併給システム.....	85
5.1.3	ORCタービンについて.....	85
5.1.4	期待される小規模ガス化発電.....	88
5.1.5	立ちはだかる輸入障壁.....	89
5.2	木質バイオマスによる地域熱供給システムの現状と課題.....	90
5.2.1	地域熱供給の発展と木質バイオマスの利用.....	90
5.2.2	札幌市地域熱供給システムでの木質燃料の利用.....	91
5.2.3	小規模の地域熱供給.....	93
5.2.4	個別事例.....	97
5.2.5	おわりに.....	103
第6章	資料編.....	104
6.1	検討委員会.....	104
6.1.1	委員等名簿.....	104
6.1.2	各章の執筆担当者.....	105

第1章 調査の目的と方法

1.1 背景と目的

日本の森林においては、林地残材等が年間約 2,000 万 m³ 発生するとともに、森林資源が年々増加する中で、木質バイオマスを活用した産業化の取組により、森林整備や山村地域の活性化を図ることが強く求められている。一方、再生可能エネルギー（電気）の固定価格買取制度（以下「FIT 制度」と略称）が施行されたこともあって、木質バイオマスのエネルギー利用の推進が注目を集めている。そのような背景の下、未利用木質バイオマスを利用した発電・熱供給・熱電併給の推進に向けて、現状の諸課題を洗い出し、その解決に必要な調査・分析を行うことを目的として今回の調査事業を実施した。

1.2 調査テーマ

以上の目的に沿って、まずは調査対象を木質バイオマスのエネルギー利用システムと供給サプライチェーンに二分し、その上で具体的な調査テーマを次の7つにブレイクダウンした。

＜木質バイオマスのエネルギー利用システム＞

- ボイラ・タービン発電システムのコスト構造
- 国内の木質バイオマス発電施設の実態
- 木質バイオマスによる熱電併給システムの現状と課題
- 小規模木質バイオマス発電の現状と課題
- 木質バイオマスによる地域熱供給システムの現状と課題

＜木質バイオマスの供給サプライチェーン＞

- 木質バイオマスの供給方法
- 木質バイオマスの乾燥方法とチップ規格

1.3 調査の重点項目の絞り込み

こらら 7 項目はいずれも大きなテーマであり、本来は一つ一つ独立した調査・研究対象として取り組むべき内容でもある。そのため、今年度は検討委員会での議論を経て、FIT 制度の下で特に緊急性が高いと考えられるテーマに重点を置いて調査・分析を行った。

具体的には、

- 1) 「ボイラ・タービン発電システムのコスト構造」を今年度の最重点テーマとし、「国内の木質バイオマス発電施設の実態」と「木質バイオマスによる熱電併給システムの現状と課題」に関する調査も、その目的に沿った範囲で実施する。

- 2) 現時点では国内の FIT 制度との直接的な関連性が薄い「小規模バイオマス発電の現状と課題」及び「木質バイオマスによる地域熱供給システムの現状と課題」に関する調査は、既存資料の整理等の基礎調査に留める。
- 3) 「木質バイオマスの供給方法」は非常に重要なテーマであるが、それだけに裾野が広い。きわめて多様な供給パターンがある中で、やみくもに現地調査を行っても指標となる標準的な供給コストを導くことは不可能である。したがって今年度は、国内における既存の木材(木質バイオマス)の供給パターン(サプライチェーン)を類型化して整理することに重点を置いた。次年度以降はこの成果に沿って、現地調査に重点を移すことを想定している。
- 4) 「木質バイオマスの乾燥方法とチップ規格」については、特に燃料用チップの規格化に重点を置いて調査検討を進め、関係団体と具体的な規格について協議を重ねた。

1.4 調査結果の取りまとめ方針

以上の考え方に沿って今年度の各種調査を実施し、本報告書においてはその成果を次の構成で取りまとめている。

(1) 木質バイオマス発電の課題と展望

周知のように、現在の木質バイオマスエネルギー利用推進に際しては、2012年7月に施行された FIT 制度の影響が極めて大きく、後述するテーマに対しても、さまざまな影響を与えている。そのためまず始めに、木質バイオマス利用の推進の観点から、現状の FIT 制度の課題と展望について、今年度の調査や委員会の中で検討した内容を整理・紹介した。

(2) ボイラ・タービン発電システムのコスト構造

- ① 規模別の標準的コスト構造の把握と分析
- ② 木質バイオマスによる熱電併給システムの現状と課題
- ③ 既存及び新設の木質バイオマス発電施設の動向

(3) 木質バイオマス（燃料）のサプライチェーン

- ① 木質バイオマスの供給方法
- ② 木質バイオマスの乾燥方法
- ③ 燃料用木質チップの品質規格

(4) その他の調査

- ① 小規模バイオマス発電技術の現状と課題
- ② 木質バイオマスによる地域熱供給システムの現状と課題

第2章 木質バイオマス発電の課題と展望

2.1 欧州連合におけるバイオマス FIT の実施状況

EU とその加盟国は、この十数年来、再生可能エネルギーの導入に積極的に取り組み、さまざまな政策を打ち出してきた。発電に限って主な支援策をまとめると図表 2- 1 のようになる。これまでごく一般的に行われてきたのは「設置支援」であった。発電プラントの設置者に対する補助金の支給、税の減免、低利融資などがそれである。しかし近年では稼働実績に応じて支援する「運転支援」が広く実施されるようになった。その代表的なものが、数量ベースの「割当制度」と価格ベースの「固定価格買取制度」で、後者には料金固定型の FIT とプレミアム固定型の PIT とがある。

図表 2- 1 再生可能電力の導入促進策

施策の種類		概要
設置支援		設置に対してのコスト補助、税の減免、低利融資。
運転支援 数量ベース	割当制度 Quota obligation	一定割合の再生エネの導入を義務づける制度。クレジット制度を併設するケースが多い。
	入札 Tender	入札により最も安価な価格を提示した事業者から買い取る。
運転支援 価格ベース	固定価格買取制度 ・料金固定型 Feed-in tariff ・プレミアム固定型 Feed-in premium	再生可能電力の買取りを系統運用者に義務づける。系統運用者の負担は電力料金制度を通して電力利用者全体に転嫁される。 FIT: 買取価格の総額を固定 FIP: 電気料金に上乗せするプレミアムを固定
	税制優遇措置	化石燃料に課せられる炭素税等の税の減免

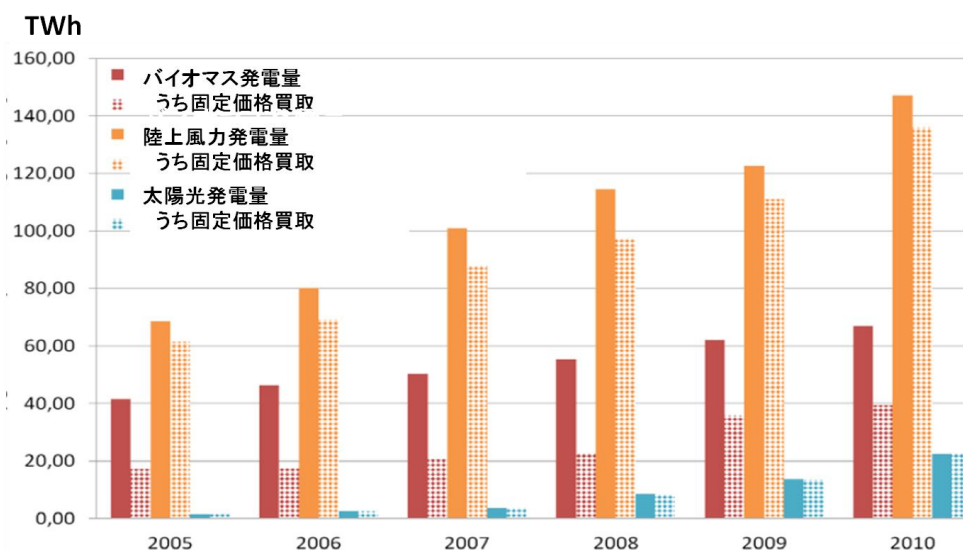
2012 年 1 月に公表された International Feed-In Cooperation (IFIC) の報告書によると、EU27 カ国のうちこの三つを実施しているのは次のような諸国である。

図表 2- 2

割当制度(QO)	ベルギー、イタリア、ポーランド、ルーマニア、スウェーデン、イギリス
料金固定型 買取り制度(FIT)	オーストリア、ブルガリア、キプロス、チェコ、ギリシャ、ドイツ、デンマーク、エストニア、フランス、ハンガリー、アイルランド、イタリア、ラトビア、オランダ、リトアニア、ルクセンブルグ、ポルトガル、スペイン、スロベニア、スロバキア
プレミアム固定型 買取り制度(FIP)	チェコ、エストニア、デンマーク、フィンランド、ドイツ、オランダ、スロベニア、スロバキア、スペイン

国の数からいうと FIT を採択しているケースが最も多く、27 カ国中 20 カ国を数える。いくつかの国は複数の施策をとっていて、FIT と FIP の組み合わせや、QO と FIT との組み合わせもある。こうした施策に支えられて EU における再生可能電力の発電量は、2005～2010 年のあいだ順調に伸びてきた。図表 2- 3 はその推移を示したものだが、この図にはバイオマス、風力、太陽光の発電量と並んで、そのうちの固定価格買取りにかかわる発電量も併記されている。ここで注目すべきは、この制度の寄与率がきわめて高いことだ。陸上風力で 93%、太陽光発電に至ってはほぼ 100% になっている。

ところがバイオマスになると、固定価格買取りの寄与率が 60%前後でそれほど高くない。割当制度のような別の施策に支えられている可能性がある。図表 2- 3 のデータをまとめた著者たちは、バイオマス発電の場合、発電コストに占める燃料費の割合が高いことに注目している。仮にバイオマス価格の上昇が見込まれるとすれば、長期にわたって電力の買取価格が固定されるのはかえって不利になるからである。この指摘は問題の核心をついている。今後さらに検討されることになるだろう。

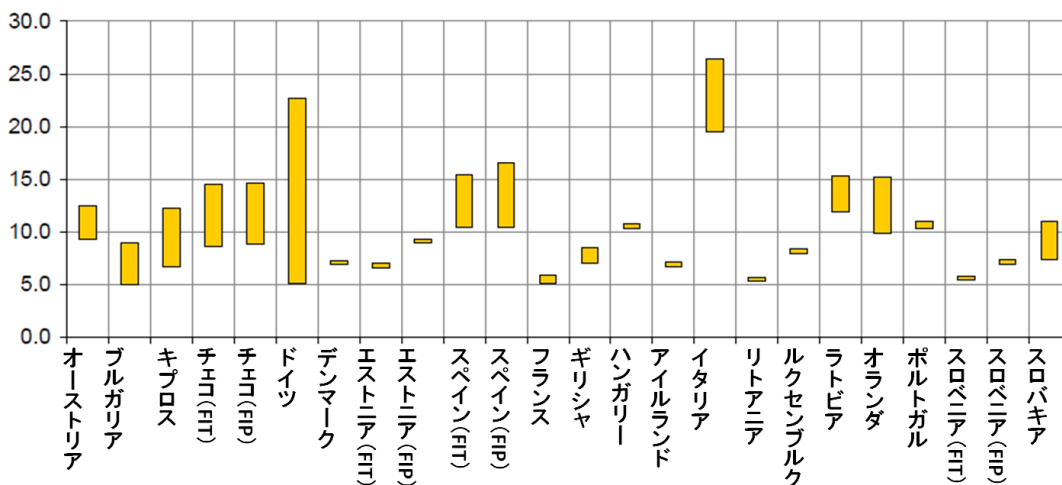


出所) International Feed-In Cooperation (IFIC) : Recent developments of feed-in systems in the EU, 2012

図表 2- 3 EU (27) の再生可能電力の発電量と固定価格買取制度

2.2 バイオマス FIT の国際比較

多くの国では固形バイオマス(そのほとんどは木質系)とバイオガス(家畜糞尿によるメタン発酵など)に分けて固定価格の設定を行っている。図表 2- 4 は FIT や FIP を実施している EU の 20 か国について、固形バイオマスにどれほどの報償(remuneration)を支払っているかを見たものである。これは 2010 年末の状況を示すもので、その後の変更は加味されていないが、大まかな傾向を見るにはこれで十分であろう。



注) FIT: 料金固定型, FIP: プレミアム固定型、無記名はFITのみの諸国

出所) IFIC: Evaluation of different FIT design options, update by Dec. 2010

図表 2- 4 FIT、FIP を実施する EU 諸国の固形バイオマス発電に対する報償額
(最高と最低の幅で表示、2010 年末の状況 ユーロセント/kWh)

報償額(買取り価格)の最低値はkWh当たり5セントで、高いほうは若干の例外を除いておおむね15セントにおさまっている。1ユーロ140円で換算すると、7円から21円の範囲になる。国によってかなりの差が出ているのは、各国の電力市場の状況やバイオマス燃料の価格に違いがあるからであろう。もちろん国の方針や政策も影響している。

一見して明らかのように、ここには条件に応じて報償額を変えている国と、まったく変えずに一つの報償額を一律に適用している国がある。後者の報償額はおおむね5~10セントの範囲内にあって比較的低い。報償額を低めに設定して、これを一律に適用するとすれば、コスト高の事業者は応募を断念するしかない。発電効率の悪いプラントはいわば自動的に排除されていく。他方、なるべく多くの事業者を参入させようとするれば、燃料の種類や出力規模に応じて報償額を定めることになる。最高値と最低値の幅は当然広がる。ドイツはその典型的なケースだ。

ここで一つだけ注意しておきたいことがある。報償の額面だけによる単純な比較には思わぬ落とし穴があるということだ。各国のFITの条文を調べてみると、「一律の適用」ではなく「条件付きの適用」であったりする。例えばイタリアはバイオマスの発電にEUで最高の28セントを支払っているが、この対象となるのは電気出力1MW以下の小規模プラントだけで特例と言っている。それ以外の電気はグリーン証書付QOの対象になっても、FITの対象にはならない。なお図表2-4に表示されるイタリアの報償額は1MW以下のバイオガス(18セント)も含めたために幅ができてしまった。固形バイオマスのなかに、なぜバイオガスを含めたのかその理由が分からない。

2.3 ドイツとオーストリアのバイオマス FIT

前項で見たように、条件によって FIT の報償額を変えている国と、単一の報償額を一律に適用している国とがあり、その数はだいたい半々になっているが、前者の場合、どのような条件によって報償額を変えているであろうか。まず多くの条件を取り込んだドイツの例を見てみよう。

この国で FIT の制度がスタートするのは 2000 年 4 月だが、当初バイオマス発電に対する報償額はプラントの電気出力に応じて次のように決められていた。

- 0.5MW まで： 10.23 ユーロセント/ kWh
- 0.5～5MW ： 9.21 ユーロセント/ kWh
- 5～20MW ： 8.70 ユーロセント/ kWh

価格の設定はこの3本で、現行のものに比べると単純であり、出力規模による価格差も小さい。ここで注意してほしいのは、出力の大きい発電プラントでも、最初の 0.5MW までと 0.5～5MW については、それぞれに上記の価格が適用されることである。5～20MW の 8.7 セントというのは 5MW 以上の分の買取り価格だ。20MW 以上は FIT の対象とはならない。

このような価格設定で運用が始まったわけだが、ふたを開けてみると、応募してきたのは主として建築廃材を使う 5MW 以上のプラントばかりで、小規模プラントからの申し出はほとんどなかった。そこで 2004 年の改定を機に小規模プラントからの買取り価格が大幅に引き上げられる。ただし基本価格はそれほど変えられていない。その代わり燃料の種類、廃熱利用、発電技術などの条件に応じて「割増し(ボーナス)」が付けられることになった。すなわち次の三つがそれである。

- (1)原料割増し： これまであまり使われてこなかった未加工の植物資源で発電した場合。具体的には木の皮(バーク)、森林を伐採した後に残る「林地残材」、景観管理で発生する除伐木や剪定枝などである。
- (2)CHP 割増し： 発電の排熱を利用する熱電併給の場合。
- (3)技術割増し： 革新的な発電技術、例えばオーガニック・ランキンサイクル(ORC)、木材ガス化発電、スターリングエンジンなどを採用した場合。

2004 年法での基本レートとボーナスの額は図表 2- 5 にまとめられている。0.5MW 以下のクラスでこの三つの割増しを単純に合計すると 10 セントにもなり、11 セントの基本レートと合算すれば、発電事業者の最大受け取り額は 20 セントを超え、当初の約 2 倍になる。ただ3種類のボーナスがつくのは 5MW までの発電だけで、それ以上になると原料割増しと技術割増しがつかない。

図表 2- 5 ドイツ再生可能エネルギー法による買取り価格 2004 年法、2012 年法

(単位：ユーロセント/kWh)

項目	プラントの電気出力	2004年法	2012年法
基本レート	0.15MW以下	11.5	14.3
	0.15-0.5MW	9.9	12.3
	0.5-5MW	8.9	11.0
	5-20MW	8.4	6.0
ボーナス	原料 0.5MW以下	6.0	6.0, 8.0
	5MW以下	2.5, 4.0	2.5, 4.0, 8.0
	技術 5MW以下	2.0	-
	熱電併給 20MW以下	2.0→3.0	-
基本レートの逡減率	%/年	1.5→1.0	2.0

注) 3段階の原料割増し(2012年法)

①2.5¢ : 樹皮、林地残材、②4¢ : エネルギー作物、③8¢ : 未利用バイオマス

技術割増しの対象となるもの(2004年法)

ガス化発電、ガスタービン、蒸気エンジン、ORC、燃料電池、スターリングエンジンなど

矢印(→)は2009年法で改正があったことを示す。

ドイツの FIT は 2004 年に続いて 09 年と 12 年にも改定されている。バイオマス発電の買取り価格もこれまでに都合 3 回変更されたことになるが、三種類のボーナスのうち現在まで続いているのは原料割増しだけである(図表 2- 5)。CHP ボーナスは 12 年法でなくなり、おおむねその分だけ基本価格が引き上げられている。それと同時に、熱電併給でないと FIT の対象にならなくなった。また技術割増しも 12 年になくなっている。革新的技術の導入が一段落したということであろうか。ここで注目されるのは、5~20MW クラスの報償額である。このクラスにつく唯一のボーナスは熱電併給の割増しであったのだが、12 年の改定でそれがなくなった。小規模クラスの場合と違って、CHP 割増しが基本レートに組み込まれた形跡もない。それどころか、04 年に 8.4 セントであった基本レートは 12 年には 6 セントまで引き下げられているのである。

技術的な進歩で発電コストが低下しているとはとても思えない。少なくとも燃料となるチップの価格は大幅に上昇している。このような状況の中での買取り価格の引き下げは「たくさん電気をつくるのは諦めなさい」というメッセージとも受け取れる。

ついでにオーストリアの固形バイオマス FIT を見ておこう。図表 2- 6 の左側にあるように、以前は燃料の種類と出力規模の組合せで報償額が決められていた。燃料のほうは、森林チップ、工場残廃材、建築廃材の三つに区分され、この順序で報償額が小さくなっている。燃料の調達価格がこの順で低くなるからであろう。しかし現行の FIT では(表の右側)燃料による区別がなくなり、出力規模だけで差別化がなされている。この背景については、もう少し調べてみないとわからないが、3 種類の燃料の調達価格にあまり差がなくなったか、あるいは発電プラントの側が熱電併給の収益に

見合った燃料を自由に選択できるようになったということかもしれない。

また 2MW 以下のクラスが 4 つに細分されていることに注意したい。0.5MW とか 0.5~1MW といった小規模な発電が増加しているのであろう。ちなみに、オーストリアでも熱を含めたエネルギーの変換効率 60%以上が FIT 支援の条件となっていて、熱電併給が半ば義務化されている。

図表 2- 6 オーストリアの固形バイオマス FIT

(単位：ユーロセント/kWh)

改定前				改定後	
出力 MW	森林 チップ	工場 残廃材	建築 廃材	出力 MW	固形 バイオマス
~2	16.0	12.8	10.4	~0.5	14.98
2~5	15.0	12.0	9.8	0.5~1	13.54
5~10	13.0	10.4	8.5	1~1.5	13.10
10~	10.2	8.2	6.6	1.5~2	12.97
				2~5	12.26
				5~10	12.06
				10~	10.00

2.4 日本の木質バイオマス FIT の特質

わが国の現行の FIT 制度に目を向けよう。木質バイオマス発電に対しては、使用する燃料が「未利用木材」「一般木材」「リサイクル木材」の3種類に区分され、この種類ごとに kWh 当りそれぞれ 32 円、24 円、13 円が支払われる(いずれも税抜き)。EU の報償額がおおむね 5~15 セント(1 ユーロ 140 円で換算すると 7~21 円)の範囲におさまっていたことを考えると、かなり高いレベルにあると言わねばならない。

これにはわが国の林業・林産業の現状が映し出されていると思う。森林の管理放棄が広がっていくなかで、森林の過密化を防ぐべく、手厚い国庫支援のもとに間伐が推進されてきた。国内の人工林はすでに 30~40 年生以上になっているから、間伐すればかなり太い丸太が相当量出てくるはずだ。ところが実際には伐倒されたままで、まったく利用されていないケースがたくさんある。毎年伐り捨てられる木材の量は約 2,000 万立方メートルと言うから、市場に出てくる丸太の総量よりも多い。何とも異様な事態である。

「未利用木材」とは端的に言えば「伐り捨て間伐材」のことだ。これを山から出してこようとすると、林道網の未整備や機械化の遅れが災いしてコストが嵩む。発電に使うなら、電気が 32 円/kWh くらいで売れないと伐り捨て間伐材は使えないという判断があったと思う。欧州の常識からすると明らかに高い。

その一方で、建築廃材などの「リサイクル木材」の 13 円は欧州の平均的なレベルに落ち着いている。リサイクル木材はすでに紙パルプや木質ボード類の製造原料として広く使われているから、電気の調達価格が引き上げられると、原料がすべて発電に流れてしまう。察するに調達価格算定委員会はこうした点に配慮されたのであろう。「一般木材」の 24 円は欧州の上限のレベルであるが、これが最適かどうか、もう少し様子を見ないと分からない。

ところで、木質バイオマス発電の場合、燃料の調達価格並んで発電コストを決定的に左右するもう一つの要因は発電方式とプラントの出力規模である。わが国のバイオマス FIT は電気出力 5MW の蒸気タービンのプラントで発電するモデルが使われ、出力規模による報償額の差別化は一切なされていない。さらに廃熱利用の有無も考慮の外におかれている。

わが国のバイオマス FIT においても、ドイツやオーストリアのそれと同様に、出力規模で差別化し、熱電併給の有無も考慮すべきであるという提案が繰り返されてきた。また報償額算定の根拠となった未利用チップの調達コスト(トン当たり 12,000 円)についても、高すぎるという意見がある一方で、この価格では山から下してこれないという意見もある。以下、これらの点について順次検討することにして。

2.5 バイオマス発電の出力規模と発電コスト

木質バイオマス発電のコストは、発電方式、出力規模、燃料価格などによって大幅に変わってくる。一定の前提を置いて試算するしかないが、ここでは国際エネルギー機関(IEA)が2012年に公表した報告書のデータを借用することにして。「バイオマスによる熱供給と発電のテクノロジーロードマップ」がそれで、発電の出力規模別コストが 2010 年と 2030 年を対比する形で試算されている(図表 2-7)。

図表 2-7 バイオマス発電の出力規模別発電コスト

電気出力 MW	バイオマス発電				石炭火力
	<10	10~50	50~100	石炭との 混焼	
資本費用 1000USD/定格kW	6.0~9.8	3.9~5.8	2.4~4.2	0.3~0.7	
発電効率 %	14~18	18~33	28~40	35~39	
燃料の種類 USD/GJ	チップ 4~8	チップ 4~8	ペレット 8~12	ペレット 8~12	石炭
発電コスト USCent/kWh	20~40	17~28	10~24	7~14	6~13

注) 混焼の投資コストに含まれるのはバイオマスの投入で必要となる付加的施設のみ。

出所) IEA Renewable Energy Division (2012) Technology Road Map, Bioenergy for Heat and Power. をもとに作成。

出力規模による区分としては、出力 10MW 以下、10～50MW、50～100MW の 3 段階で、これに石炭混焼が加えられている。いずれの項目も出力規模による落差が大きい。定格出力当りの資本費用で 10MW 以下と 50～100MW とを比較すると、前者は後者の 2 倍以上になり、発電効率においても 14～18%と 28～40%という開きが出ている。

また発電コストで見ると、石炭火力でのバイオマス混焼は kWh 当たり 7～14US セント(1US ドル=100 円として 7～14 円)で、石炭専焼とほとんど変わらない。ところが 10～50MW のバイオマスプラントの発電コストはこの2倍、10MW 以下では3倍にもなってしまう。

IEA のロードマップで興味深いのは、バイオマス燃料の区分で「地場調達燃料 (Locally collected feedstocks)」と「国際流通燃料 (Internationally traded feedstocks)」のカテゴリーを設けていることだ。前者は森林から出てくる間伐材や小丸太、林地残材などをチップにしたもので、その調達価格は 4～8 ドル/GJ、トン当たりになると 5,000～10,000 円ほどになるであろうか。出力の小さい発電プラントではこれが使われる。輸送費を節約すべく近隣の森林から燃料を集め、かつ簡単な前処理で済ませるのが原則である。発電規模が小さければ比較的少量のバイオマスで足りるが、反面、発電効率の低下は避けられない。発電の排熱を地域でうまく利用して収支をバランスさせることになる。まさに地産地消型のバイオマス利用と言ってよい。

もう一つの国際流通燃料のほうは、前処理に手のかかる木質ペレットが想定されているため、調達価格も 8～12 ドル/GJ、14,000～20,000 円/トンと地場調達チップの 2 倍以上になっている。50MW 以上の大規模発電では燃料の消費量が非常に大きくなる。森林から下りてくるバイオマスで全部賄うのは難しく、輸入ペレットに頼らざるを得ない。その結果燃料コストが嵩み、かつ規模が大きいだけに排熱の利用でも多くは望めないが、効率的なエネルギー変換でその不利をカバーしようという魂胆だろう。

2.6 分散型熱電併給技術の台頭

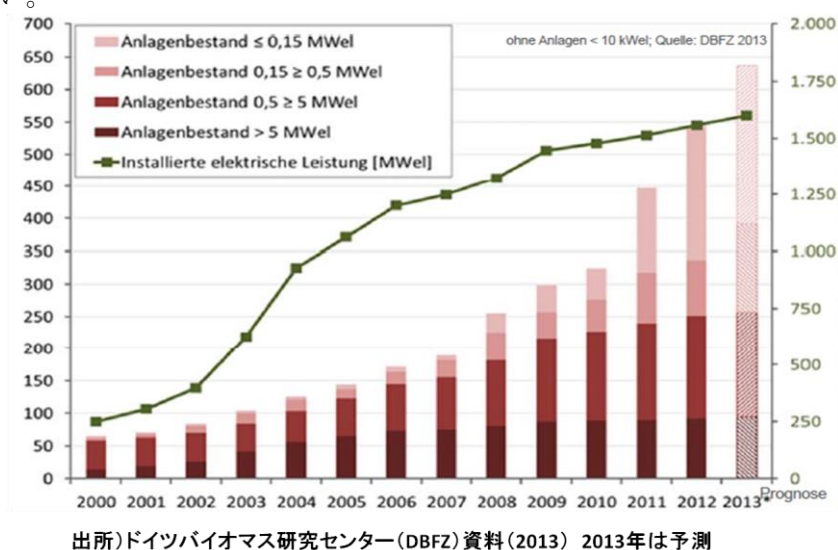
図表 2-7 に示された IEA の試算は、通常の蒸気タービンによる発電で、廃熱利用は考慮されていない。この限りでわが国のバイオマス FIT と同じ前提に立っている。10MW 以下クラスの発電コストは 20～40 セント/kWh、1 ドル=100 円とすれば 20～40 円になるだろう。日本の未利用木材 32 円、一般木材 24 円という報償額はこの範囲に入っていて、それほど不自然さは感じられない。

とはいえ、モデルとなった 5MW という出力規模は蒸気タービン発電の常識からすると、いささか中途半端である。発電専用のプラントとしては変換効率が低すぎてコスト高になり、熱電併給をやるには規模が大きすぎるからだ。中央ヨーロッパで一般的な CHP プラントは概して出力規模が小さく、発電方式も蒸気タービン方式ではなく、ORC タービンや木材ガス化発電の方式が広く採択されている。その状況をドイツのデータで見てみよう。

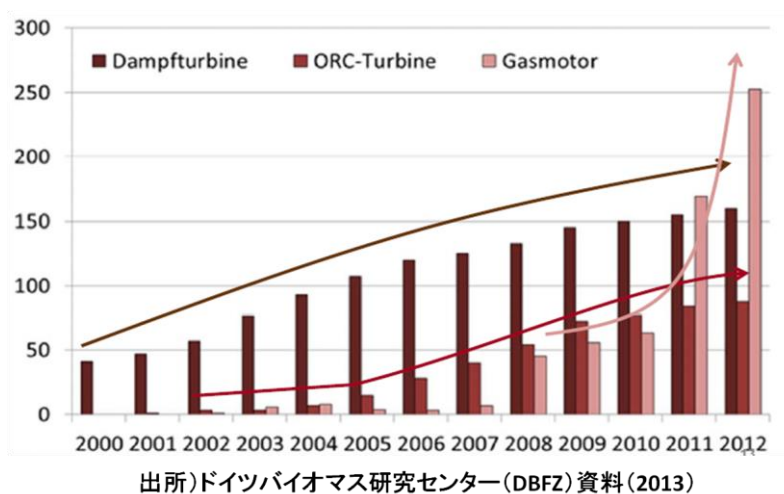
この国で FIT が始まったのは 2000 年のことだが、これに対応して木質バイオマス発電がどのように伸びてきたかを示したのが図表 2-8 である。プラント数は近年急速に増えているものの、電気出力の総量はそれほど伸びていない。発電プラントの小型化が進んでいるのである。早い話が、

5MW 以上の大規模プラントは 2000 年代の半ばころまで数を増やしていたが、その後は横ばいで推移している。つまり新設がほとんど見られなくなったのだ。代わって 0.5MW 以下の小規模プラントの増加が著しい。驚くべき変化である。

発電プラントの小型化により、蒸気タービン方式に代わる新しい発電方式の導入が促されることになった(図表 2- 9)。蒸気タービン発電の新設が年々少なくなる一方で、ORC タービンやガスエンジンを使う発電プラントが大幅に増えた。蒸気タービン方式の適正規模は、発電専用なら 5MW 以上、熱電併給で 2MW 以上とされている。これに対して ORC の適用範囲はおおむね 200～2000kW 程度。木材ガス化発電も技術的にはこのレンジをカバーできるが、近年とくに増加しているのは 200kW 以下の小型プラントである。技術割増しの導入が一定の役割を果たしていることは間違いない。



図表 2- 8 ドイツの FIT 対応木質バイオマス発電 (規模別プラント数と総電気出力)



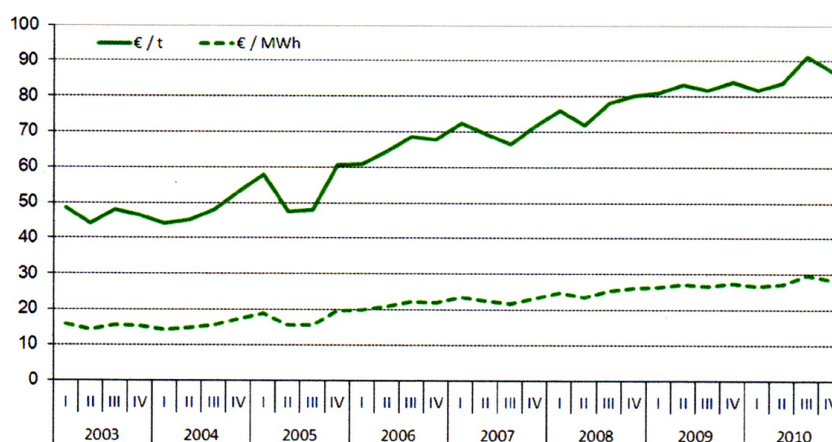
図表 2- 9 ドイツの FIT 対応木質バイオマス発電 (発電方式別プラント数の推移)

もう一つ影響が大きかったのは、CHP ボーナスの導入と増額であり、さらには CHP を FIT の応募条件にしたことである。熱電併給をやろうとすると、システムの規模をあまり大きくするわけにはいかない。熱の需要が地域的に分散しているうえに、熱を温水や蒸気の形で遠くまで運ぶことが難しいからである。木質バイオマス発電に CHP を義務づければ、出力の大きいプラントの設置は抑制され、小規模化を促すことになる。

それはともかく、ドイツなどでみられる木質バイオマス発電の小型化・CHP 化というのは、ORC タービンや木質ガスエンジンといった新しい技術の導入と結びついている。わが国ではそのいずれもが本格的に導入されておらず、選択できる技術と言え、蒸気ボイラ・蒸気タービンの発電方式に限られている。この場合は、発電専用なら 5MW 以上の規模がないと採算がとれないと言われ、年間に必要となる木質チップの量は少なくとも 5～6 万トンになるであろう。森林チップでこれだけの量を集めるのが困難なために、小規模 CHP 発電を求める声が高まっている。しかし FIT の体系の中に小規模発電や CHP を優遇する措置を取り入れたとしても、これを担う技術的裏付けがない限り、何の意味もない。当面はたとえ中途半端であっても蒸気タービンの 5MW で出発するほかないのである。

2.7 発電用チップの調達コスト

近年のドイツで見逃せないのは森林チップの平均価格がこの 10 年ほどの間に約 2 倍になったことである(図表 2- 10)。2003～04 年当時トン当たり 45 ユーロであったものが、2010 年の第 3 四半期には 90 ユーロになっている。1 ユーロ=140 円で換算すると、12,000 円を超える。ただしこれは平均値であって、原資料にあたって見ると、最低値は 40 ユーロ、最高値は 140 ユーロで、上下の開きがべらぼうに大きい。いずれにせよ一口に森林チップと言っても品質はさまざまである。高い品質のものもあれば、ごく低質のものもあり、それが用途に応じて使い分けられているのだ。

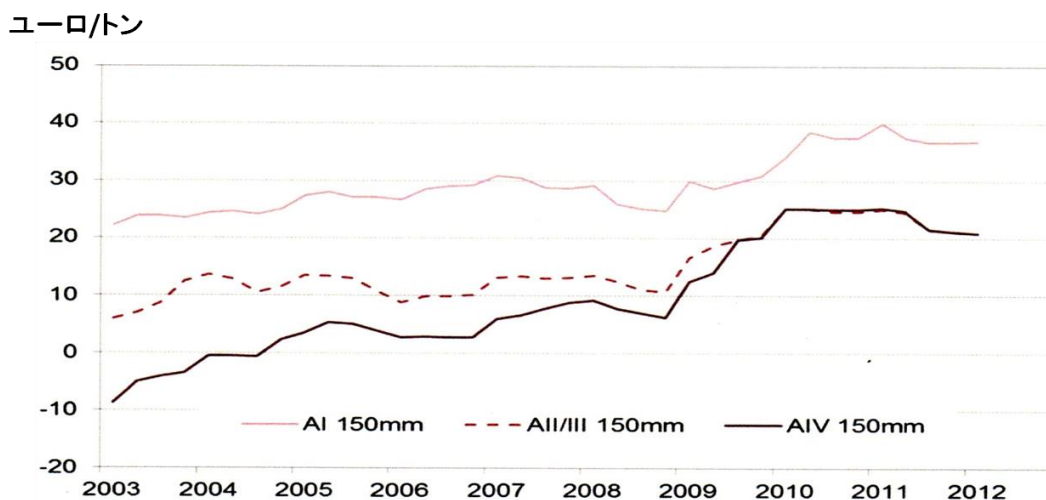


注) 20kmの範囲内から集められた含水率35%の森林チップ

出所) DBFZ: Stromerzeugung aus Biomasse, Zwischenbericht, 2011

図表 2- 10 ドイツの森林チップの平均価格、2003～2010

ただ、森林チップの価格が全般的に上昇していることは間違いない。同じような現象が建築廃材などをつくるリサイクル材のチップでも起きている。図表 2- 1 がそれだが、この図の注にあるように、燃料として使える廃材チップは、含まれる有害物質の種類に応じて4つのクラスに分けられている。このなかで最も上昇率の高いのは防腐処理をした AIVクラスのチップで、2003 年に 10 ユーロの「逆有償」であったものが 2010 年には 25 ユーロの有償物となり、その上のクラスの A II、A IIIクラスとの価格差はなくなっている。汚染度の高いバイオマスでも除塵を徹底することで使えるようになったのかもしれない。製材工場などから出てくる機械加工だけのピュアな残材チップ(A I)は、トン40 ユーロくらいで取引されており、森林チップに比べるとかなり安価である。



注) 残廃材 A I : 機械加工の残廃材で、有害物質はほとんど含まず
 A II : 接着、塗装、コーティングはしてあるがハロゲン化合物はなし
 A III : ハロゲン化合物を含むが、防腐剤は含まれず
 A IV : 防腐処置はしてあるが、PCBは含まれず

出所) DBFZ: Stromerzeugung aus Biomasse, Endbericht zur EEG-Periode 2009-2011
 2012

図表 2- 11 デイツのリサイクル材チップの平均価格、2003～2012 年

さて、燃料価格が上昇する一方で、バイオマス発電の買取り価格は 2004 年以降おおむね横ばいで推移している。5MW 以上の大規模プラントではかなり引き下げられた。一見、発電事業の採算性が悪化しているように思えるのだが、実際はどうなっているか、図表 2- 12 で確かめてみよう。ここにある出力規模別発電コストのデータは、2012 年の買取り価格を決める際に参考にされたという資料から抜粋したものである。モデルになっているのは電気出力 20MW (蒸気タービン)、5MW (蒸気タービン)、0.5MW (ORC タービン) の3種類の熱電併給プラントである(以下順に大、中、小と略記)。

	単位	20MW 蒸気	5MW 蒸気	0.5MW ORC	
設備	ボイラ出力	MW	67.0	20.0	4.2
	電気出力(発電効率)	MW, (%)	18.1 (27%)	3.4 (17%)	0.5 (12%)
	熱出力(熱効率)	MW, (%)	38.9 (58%)	13.2 (66%)	3.0 (71%)
	資本費	百万€	51.0	17.0	3.5
	燃料消費	万トン	17.4	4.7	0.76
	燃料単価	€/トン	30	50	60
	稼働時間、発電	時間/年	7,700	7,700	6,000
	稼働時間、熱	時間/年	3,000	3,500	6,000
販売	電気	GWh	125.3	23.0	2.0
	電気の販売単価	¢ /kWh	7.3	13.8	18.7
	熱	GWh	116.6	46.2	17.9
	熱の販売単価	¢ /kWh	5.0	5.0	5.0
収支	電気の売上げ	百万€	9.1	3.2	0.37
	熱の売上げ	百万€	5.8	2.3	0.89
	変動費	百万€	6.6	2.7	0.52
	固定費	百万€	3.3	1.3	0.24
	EBITAD (売上比 %)	百万€	5.1 (34%)	1.5 (27%)	0.50 (40%)

注) EBITAD=利息、税、減価償却、償還を差引く前の収入

出所) 梶山恵司氏の提供資料(木エネ協議会研究会、2013年9月6日)をもとに作成。

図表 2- 12 ドイツのバイオマス発電：3つの CHP モデルケース

採算性の指標は最下段の収支の項にまとめられている。電気と熱の売り上げで得た総収入から変動費と固定費を差し引いたものが収支差(EBITAD)であって、利息や税、原価償却、償還等はここの中から捻出しなければならない。総収入に対する EBITAD の比率を見ると、大中小の順に 34%、27%、40%となり、採算性が確保されたという判断であろう。

このような結果が得られた第一の理由は、熱電併給になっているからである。20MW プラントの場合、発電だけだと発電効率は 30%に上昇し、売電収入も 1010 万ユーロに増えるのだが、熱収入の 580 万ユーロがなくなるため、収支差はわずか 23 万ユーロ(売上比 2%)になってしまう。これでは経営が成り立たない。熱への依存度は出力規模が小さいほど顕著になる。例えば、発電効率は大中小の順に 27%、17%、12%となるのに対し、熱効率のほうは 58%、66%、71%と高まっていく。また総売上占める熱の比率も 39%、42%、71%と上昇する。バイオマス発電の採算性を確保するうえで、熱の販売が非常に重要な役割を果たしているのだ。また発電コストの一部が熱とシェアできるため、その分低いレベルに抑えられている。

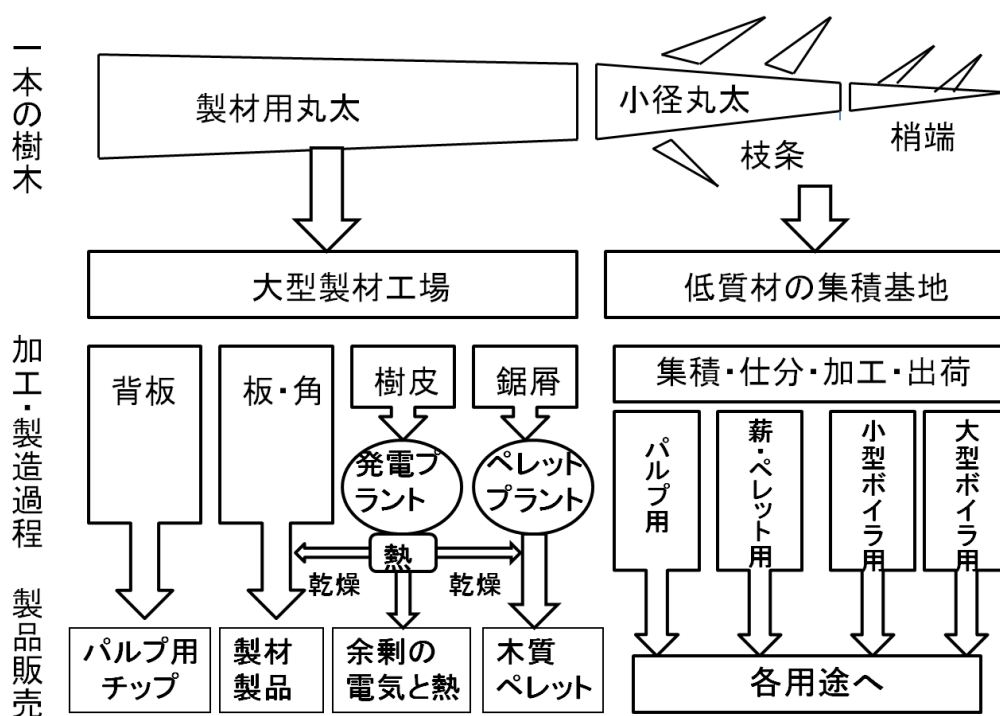
もう一つ注意してほしいのは比較的安価な燃料が使われていることだ。トン当たり単価を見ると、大 30 ユーロ(リサイクル材のチップ)、中 50 ユーロ、小 60 ユーロとなっている。大型プラントでは最初から安価な廃材チップを使うという前提で発電コストが試算されている。中、小のプラントで使われるチップも先に見た森林チップの平均価格、90 ユーロよりもかなり安い。

バイオマス FIT をモニタリングした政府資料によると、ボイラの出力規模が大きくなるにつれてチップの調達価格がはっきりと低下している。その理由として挙げられているのは、大型のボイラになるほど、①質の低いチップでも受け入れられること、②まとまった量を長期契約で購入しスポット買

いの割合が低下することである。さらに忘れてならないのは、木質バイオマスの「分別利用」が徹底して、安価なチップが発電に集まるような仕組みができてきていることだ。

2.8 木質バイオマスのカスケード利用と分別利用

温帯地域の林業は、多くの場合構造用材の生産を狙っており、比較的太い通直な木を育てている。山でこの木が伐り倒されると、いくつかの部分に切り分けられて、それぞれの用途に振り向けられることになるが、その様相を模式的に描くと図表 2-13 のようになる。



図表 2-13 森林から伐り出される樹木の cascade 利用

幹の太い部分は、おおむね製材用の丸太となって製材工場に行き、それより細い幹からはパルプ用・燃料用の小丸太を取ることできる。近年では丸太を取った後に残る枝や梢端の部分まで持ち出すケースが増えてきた。

まず図の左半分を見ていただきたい。製材工場に太い丸太が入ってくると、直ちに樹皮がはぎ取られる。大型工場になると、こうして発生する樹皮の量は相当なもので、樹皮だけを燃料にして CHP プラントを動かしているケースも珍しくない。電気は外部に販売し、熱のほうは製材製品とペレット用おが屑の乾燥に振り向けている。

剥皮された丸太は製材機にかけられて板類や角類に加工される。この加工で大量に出てくる背板はパルプ用チップの原料になり、おが屑は木質ペレット製造の貴重な原料になっている。つい十数年前まで樹皮は埋立てで処分するしかなかったし、大量に出るおが屑の処分にも苦労したこ

ともあった。それが今ではきわめて有用なエネルギー源となり、製材工場の重要な収入源となっている。いずれにしても、工場に入ってきた丸太はほとんど使い尽されて、捨てる場所は一つもなくなった。

次に図表 2-13 の右側、つまり製材工場に行かなかった低質材の部分に目を向けよう。これまで木材の伐り出しと言えば、まず樹木を伐倒してその場で造材(枝払いと玉切り)を行い、2m とか4m の長さに切断した丸太だけを引き出していた。それが近年では樹木を伐倒したら、枝葉のついたまま林道端まで引き出し、「プロセッサ」という機械で枝払いと玉切りが効率的に行われるようになり、製材に向かない小径丸太や梢端・枝条なども山から下されてくるようになった。

ただしこうした低質バイオマスには雑多なものが含まれている。小径丸太の場合には、パルプ原木にもなるし、薪や木質ペレットの製造にも使える。チップにしてボイラで燃やすにしても、大型のボイラであれば質の低い雑多な燃料でも受け入れてくれるだろうが、小型のボイラではサイズの比較的揃った水分率の低い(35%以下)チップでないと都合が悪い。木質原料の仕向け先によって、販売価格に相当な差が出てくるのは当然である。

図表 2-13 では、森林のある「川上」と木材加工場のある「川下」の結節点に「集積基地」が設けられている。ここに低質バイオマスを一括して集め、分別・加工してそれぞれの用途に出荷されていく。発電プラントには比較的大型のボイラが入っていて、バグフィルタや電気集塵機のような除塵装置もついているから、質の低い(したがってより安価な)木質チップでも引き受けられる。いずれにせよ、こうした分別利用のシステムができていれば、比較的安価な燃料を確保することができる。

逆に言えば、発電に向けられる木質バイオマスは、他に使い道のない樹皮や残廃材チップで、図表 2-13 のようなカスケード利用の体系ではその末端に位置づけられている。ここで電気の買取価格を不当に高めると、熱利用に向けられていた木質燃料も発電に回されてしまう。さらに紙パルプ原料や木質ボード原料が取り込まれ、製材・合板用材にまで影響が及ぶかもしれない。ドイツのバイオマス FIT で熱電併給を義務付け、5MW 以上の大規模発電の買取価格の引き下げに動いたのも、その恐れが出てきたからである。

発電だけでは木材の持っている化学エネルギーの 20~30%しか電気に換えられない。熱供給に向けるなら 85~90%は有効な熱に変換できる。したがって可能な限り熱電併給で行くべきだという結論になるのだ。木質バイオマス発電の変換効率が技術進歩のおかげで 40%、50%に上昇し、高い燃料が使えるようになったというなら話は別だが、現状の非効率な発電を政策的に支援するとすると、原料面で競合する分野から強い反発が出てくる。

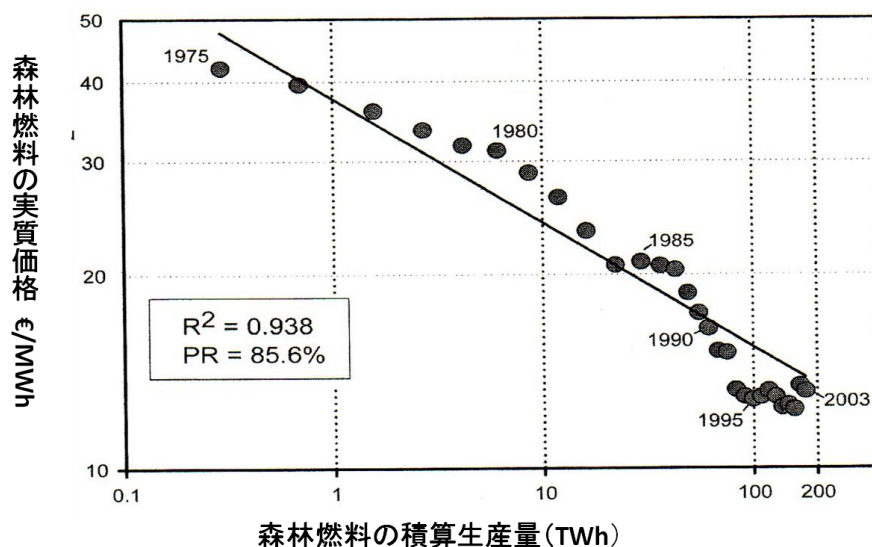
ドイツでは 90 年代の半ばあたりから木質原料(バイオマス)に対する需要の増加が著しい。エネルギー利用が大幅に伸びただけでなく、建築用材などのマテリアル利用も着実に増えている。ところが国内の森林資源基盤は比較的小さく(森林面積は日本の半分以下)、木材の生産量を増やす余地はあまりない。未利用の木質資源に目が向けられるのは当然のことで、FIT の「原料割増し」はまさにその活用を促進すべく設けられたものだ。

2.9 森林チップの調達コスト

欧州諸国のバイオマス FIT と日本のそれとを比較して、まず気づくのは未利用木材の買取価格がかなり高いレベルに設定されていることである。恐らくその一因はチップの調達にトン当たり 12,000 円ものコストがかかるという前提があるからであろう。すでに触れたように、ドイツでも近年の森林チップの平均価格は 90 ユーロトンで日本円にすればやはり 12,000 円くらいにはなる。ただ実際には比較的小規模な CHP プラントでも平均よりはずっと安いチップが使われているのだが。

ここで注意を喚起しておきたいのは、森林チップの調達コストは狭義の「生産コスト」と森林所有者に支払われるべき「原木代」から構成されているということだ。この両者がそれぞれ如何ほどになるかを明示した統計はないが、森林チップ価格の長期的な動きを調べることで、一般的な傾向を類推することはできる。

図表 2- 14 はスウェーデンにおける森林チップ価格の推移を積算生産量と関連付けてグラフにしたものだ。これは一種の「学習曲線」で、森林チップの生産量が増加するにつれて、コストがかなり顕著に低下してきたことを示している。その結果、チップの実質価格は 1970 年代半ばから 90 年代半ばに至るまで低下の一途をたどってきた。かつては森林を伐採しても梢端や枝条は山に残されたり、樹冠部から小径丸太を無理して採るようなこともしなかった。原料そのものはタダであったにせよ、枝払いや集積、搬出にコストがかかり引き合わなかったのである。それが伐出作業の機械化や作業システムの改善により、比較的安いコストで林地残材や小丸太が搬出されて、チップ化されるようになった。

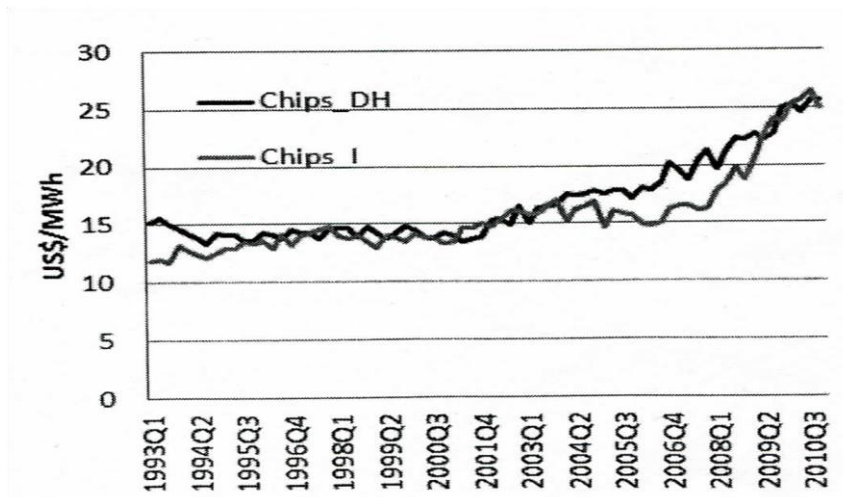


出所: Bjorheden, R. Biomass & Bioenergy 30 (2006) 289-95

図表 2- 14 スウェーデンにおける森林燃料の実質価格 1975~2003 年

ところが 90 年代の半ば以降の実質価格はおおむね横ばいで推移し、低落傾向は見られない。1993 年以降はスウェーデンのエネルギー庁が四半期ごとに公表しているデータが利用できる。森

林チップを使う地域熱供給(DH)プラントと木材加工工場からサンプリングで価格データを集め、消費量で加重平均した数値がそれだが、図表 2- 15 に 2010 年までの時系列が示されている。一見して明らかなように、世紀の変わり目あたりまで比較的安定していた価格はこの数年来上昇の速度を速めている。上昇に転じる時期は、DH 用チップで 2003 年前後、林産業用で 2007 年あたりからである。



出所) O. Olsson & B. Hillring, Biomass & Bioenergy 57 (2013) 78-85

図表 2- 15 スウェーデンにおける森林チップ価格の推移 1993~2010 年

なぜこのような現象が生じたのか。森林チップの需要増加で、より条件の厳しい場所からも林地残材が運び出されるようになって、実質的な生産コストが引き上げられた可能性はある。しかしそれ以上に、森林チップの奪い合いが激しくなって、森林所有者などに支払われる林地残材の原木代が大きく膨らんだのではあるまいか。その分森林所有者の所得も増えているはずだ。この点をドイツのデータで確かめてみよう。

ドイツで森林チップの価格統計が整ってくるのは 2003 年からで、それ以前についてはデータがなく、コストダウンの局面がどのようなものであったか知る由もないが、先の図表 2- 10 で見たように森林チップの平均価格はこの 10 年ほどの間に約2倍になった。問題はこれが山元での木材の販売価格にどのような形で反映しているかである。政府の『木材市場報告』によると、国有林から出てくる工業用丸太の販売価格が 2005 年あたりから上昇に転じ、この5、6年の間に2倍になった。工業用というのは紙パルプやエネルギーに向けられる低質丸太のことで、1990 年代から 2000 年代の前半にかけて売れ行き不振が続き、森林経営はそれで苦しめられていたのだが、燃料用チップ価格の上昇で一息つくことになる。

さて、ここで少し乱暴な試算をしてみよう。2003 年から 2010 年にかけての森林チップ価格の上昇分が、そっくり原木代として森林所有者に払われたと仮定して、その額を求めてみると図表 2- 16 のようになる。スウェーデンの場合は、2010 年の平均チップ価格 7,500 円のうちの原木代は 40%、3,000 円/トンと推定される。ドイツはそれぞれ 47%と 5,600 円だ。日本でも将来的にはこれくらいの

原木代を見込まねばなるまい。森林チップの実質的な生産コストを今よりもずっと低いレベルに引き下げない限り、この目標は達成されないだろう。

図表 2- 16 森林チップの平均価格 スウェーデンとドイツ、2003 年と 2010 年

	スウェーデン	ドイツ
チップ価格 2010年	75 \$/t	85 €/t
2003年	45 \$/t	45 €/t
開差(原木代Max)	30 \$/t (40%)	40 €/t (47%)
同上円換算	3000円/t	5600 円/t

注)円への換算は1ドル=100円、1ユーロ=140円とする。

2.10 イギリスで始まった熱の固定価格買取り制度

木質バイオマスのエネルギー利用に関する限り、イギリスは欧州連合(EU)の中では後進国である。一次エネルギー総供給(TPES)に占める木質エネルギーの比率は 1%をちょっと超える程度で、20%以上のスウェーデンやフィンランドはもとより、オーストリアの 14.7%やドイツの 4.3%と比べても、かなり見劣りがする。(UNECE/FAO, Joint Wood Energy Enquiry 2011)

しかし、CO2 排出量を 2050 年までに 90 年基準で 80%削減すると明記した気候変動法(2008 年)の成立を契機に積極的なバイオエネルギー政策が展開されている。北欧や中欧諸国の政策と対比して特徴的なのは次の点である。

- 2010 年の「再生可能エネルギー行動計画」において、冷暖房・熱の分野で再生可能なエネルギーの比率を 2020 年までに 1%から 12%に引き上げるようになった。この目標を達成すべく再生可能な熱への助成策(Renewable Heat Incentive, RHI)が 11 年から実施されている。固形バイオマスによる熱供給がこの助成策の重要なターゲットだ。
- 同じ 11 年には 5MW 以下の発電プラントを対象に FIT の制度もスタートしたが、バイオマス専焼の発電は非効率であるとの理由で FIT から除外された。その他の手段で政策的に支援されているのは石炭火力発電所でのバイオマス混焼とローカルなバイオマス資源を活用した小規模な熱電併給である。

再生可能な熱への助成策(RHI)の狙いは、再生可能な熱(RH)と化石燃料による熱とのコストの差を埋めることである。RH の技術が普及しないのは、化石燃料のそれに比べてコスト高になっているからだ。この差に相当する額を政府の補助金として RH 技術の導入者に与え、障壁をなくし

よう主旨である。熱1kW 当たりの助成額は市場条件の変動に応じて四半期ごとに改定されるが、その支援期間が7年ないしは20年に及ぶために、固定価格買取りと同じような効果が期待できるという。

RHI のプログラムは二段階に分けて実施されることになった。第一段階は産業、ビジネス、公共部門を含む非家庭部門が対象で、11年11月からスタートしている。第二段階の家庭部門については、さしあたってRH機器の導入に対する補助金支給(Renewable Heat Premium Payments, RHPP)で対応し、14年の4月からRHIに移行することになっている。

RHIの現行の助成率(tariff)を図表2-17にまとめた。料率はバイオマス、ヒートポンプ、太陽熱のそれぞれについて定められている。非家庭用の場合は熱出力の規模によっても差がつけられており、計測された消費熱量に当該規模の助成率を乗じた額が支払われる。他方、家庭部門の助成率には規模による差がなく、消費熱量の計器による測定もない。定められた標準値が一律に適用される。

図表 2- 17 イギリス RHI における再生可能な熱への助成率
 (非家庭用：2011年から実施、下記は2014年1～3月の助成率)
 (家庭用：2014年4月から実施、下記は予定助成率)

熱供給の技術	非家庭用 20年間		家庭用 7年間 助成率 p/kWh
	熱出力 kW	助成率 p/kWh	
小規模バイオマス	～200	8.6(tier 1), 2.2(tier 2)	12.2
中規模バイオマス	200～1000	5.0(tier 1), 2.1(tier 2)	
大規模バイオマス	1000～	1.0	
小規模ヒートポンプ	～100	4.8	ASHP 7.3
大規模ヒートポンプ	100～	3.5	GSHP 18.8
太陽熱	～200	9.2	19.2
バイオメタン/ガス	～200*	7.3	—

* 出力制限があるのはバイオガスのみで、バイオメタンにはそれがない。

注1) 小・中規模のバイオマスの場合、Tier Break(設置容量kWth×1.314)まではtier1が、それを超える分についてはtier2が適用される。

2) ヒートポンプのASHPは大気熱利用、GSHPは地中熱利用の略。

3) p=ペンス、約1.7円

非家庭部門でのRHIの実施状況を見ると、11年の応募開始から13年末までに提出された案件のうち承認された件数は2,917で、熱出力の総計は約60万kWに達するが、その内訳では固形バイオマスを燃やすボイラが圧倒的に多く、件数で93%、出力では99%を占有する。

固形バイオマスの一部に麦わらのようなものも入っているが、大部分は木質系とみてよい。RHIが始まったことで木質バイオマスによる熱生産が急速に伸びたのである。その第一の理由は助成

率の高さにあるだろう。図表 2-17 の助成率を 1p(ペニー) = 1.7 円で換算すると、200kW 以下のクラスでは、タイアブレイクと呼ばれる制限量までは kWh 当たり 14.6 円、それを超える分については 3.7 円が支払われる。熱の市場取引はあまり一般的ではないが、せいぜい kWh 当たり 10 円までとするのが常識だろう。制限量を超える部分の 3.7 円はともかく、最初のタイアでの 14.6 円は非常に高い。化石燃料価格の上昇とともに、熱生産分野での木質燃料の市場競争力は確実に高まっているはずだ。これほどの助成が本当に必要なのか。

この疑念をいち早く表明したのが欧州委員会(EC)であった。EU 加盟国では、特定のビジネスを優遇するような補助金の支出が禁じられている。RHI はその条項に引っかかった。イギリス政府の当初の原案では、1000kW 以上のバイオマスの助成率が 2.7 ペンス(4.6 円)になっていたらしい。EC は、効率の高い大型バイオマスボイラの熱生産に 2.7 ペンスも払うのは「過剰な補助金」にあたる判断したようである。結局、EC の判断にしたがって大型への助成率は 1ペニーに引き下げられた。イギリスの当局にとっては耐え難い妥協であったであろう。彼らの見解に従えば、大規模バイオマスは最も安いコストで熱を生産する技術であり、これを目一杯普及させることが急務である。そのためにこそ助成率を高くしなければならない、というわけだ。彼らにもそれなりの戦略的な判断があったのである。

家庭部門での助成率はさらに高く、バイオマスによる熱供給は出力規模や燃料の種類に関係なく、12.2 ペンス(20.7 円)の助成率が適用される。イギリスの家庭暖房で最も一般的なのはパイプ配送の天然ガスを使うことである。しかし国内の約 400 万の世帯はこの恩恵が受けられず、石油や LPG、電気に頼っているらしい。このうち都市部の世帯はおおむね電気の空調になっており、再生可能な熱を導入しようとしてもスペースなどの制約でバイオマス燃焼やヒートポンプの設置が難しい。したがって RHI の対象となるのは、ガス管の通っていない農村部の世帯である。灯油や LPG による暖房は天然ガスに比べて 50%も割高になっており、これを再生可能な熱に転換することが急務とされている。当局の推定では 2020 年までに 75 万世帯が RHI の支援対象になるとしている。

それにしても家庭でのバイオマス暖房に kWh 当たり 20 円の助成というのは、信じがたいほどのレベルである。おそらくこれも戦略的な意味合いが強いであろう。北欧や中欧の諸国では木質燃料がごく普通に使われているのだが、イギリスではそれほど浸透していない。灯油や LPG に替えて木質燃料を入れることに、まだまだ強い抵抗がある。まず当初の助成率を思い切って引き上げて一気に普及させようという魂胆なのだ。木質暖房が北欧や中欧並みに普及してくれば、暖房コストも次第に低下していく。それに応じて助成のレートを引き下げ、最終的にはゼロにすることを狙っている。

2.11 軽視されがちな熱政策

最終エネルギー消費に占める熱部門の比率は多くの先進国で 40%前後になっている。この重要な部門で化石燃料の消費を大幅に削減しないことには、CO₂ も思うように減らない。2050 年までに 80%の削減を宣言したイギリスは、そのことを痛感していると思う。

欧州各国の状況を見ると、風力発電や太陽光発電の普及により、電力の分野では再生可能なエネルギーの比率が着実に引き上げられている。ところが熱の分野ではおおむねバイオマス頼みになっていて国による違いが大きい。冒頭でふれたように、熱の再エネ比率はイギリスで1%程度だが、木質燃料の普及したオーストリアではこれが30%にもなる。

残念ながら、わが日本はイギリスに近い。2012年に始まったFITの制度でバイオマスの電気はかなり有利な値段で販売できるようになった。とはいえ木質燃料の場合、本来の力を発揮するのは発電でなく、熱供給においてである。もちろんこれは発電の排除を意味するものではない。可能であれば、電気と熱を一緒に生産する熱電併給(CHP)がやはり望ましいであろう。

ドイツやオーストリア、スイスなどでは変換効率が60%以上になっていないとFITの対象にならない。発電だけでこの条件をクリアするのは無理だから、発電排熱を利用したCHPにするしかないのである。それにバイオマスFITの買取価格自体がCHPを前提にして決められているから、熱利用がないと発電そのものがビジネスとして成り立たない仕組みになっている。

わが国においても将来的にはバイオマス発電の主流はCHPになるであろう。この場合とくに留意すべきは、CHPプラントの設置場所や出力規模は熱需要のあり方によって決められるということだ。5MW、10MWクラスのバイオマス発電所をつくってしまった後で、ここから出てくる膨大な排熱の出口が簡単に見つかるとは思えない。プラントの設計で先行するのは熱利用の計画である。中欧の諸国でこの10年ほどの間にバイオマスCHPが急速に広がったのは木質焚きボイラによる熱供給の豊富な経験があったからであろう。

こうした素地のないイギリスで、電気のFITからではなく、熱のFITから始めたのは自然な成り行きであった。以前のドイツのバイオマスFITではCHPには割増し(ボーナス)をつけていたが、これだけでは再生可能な熱の振興策にはならないと思う。イギリスで始まった熱の固定価格買取制度がこれからどのように展開していくのか、われわれとしても無関心ではられない。

2.12 むすび

北欧のスウェーデンやフィンランド、続いて中欧のオーストリア、ドイツで木質バイオマスのエネルギー利用が着実に進展したのは、木材の生産と加工を担う林業・林産業のなかに、その残廃材を利用するエネルギー生産のプロセスを巧みに組み込むことに成功したからである。木材加工場での丸太のカスケード利用と、工場には入らない低質バイオマスの分別利用がそれだ。

エネルギー生産の軸になっていたのは熱供給だ。製材工場では木屑ボイラを入れて木材乾燥のためのエネルギーを賄っていた。やがて同様のバイオマスボイラが他の製造業や事業所、公共施設にも導入されて、プロセス蒸気の生産や暖房給湯用の熱の供給にまで広がっていったのである。世帯のレベルでは、薪ストーブやペレットストーブ、ペレットボイラの普及が見られた。いずれも中心になっているのは熱供給である。

もちろん出力の大きいバイオマスボイラが入っていれば、高温高压の蒸気をつくってまず発電し、その発電排熱で木材乾燥や地域熱供給やることもできる。事実、年に数十万 m³ の製材品を生産

する海外の製材工場は早くから発電を手掛けていた。ただし、工場から出る樹皮などの低質バイオマスで発電できる規模はそれほど大きくない。せいぜい 5MW 当たりが上限だろう。圧倒的多いのは、数の上で 1MW とか 2MW のスケールだが、これくらいの規模で通常の蒸気タービン発電を導入すると、コスト高になって採算が取れない。

ドイツではこのような状況の中で FIT がスタートし、熱電併給の小規模発電が優遇されることになった。電気が比較的高い価格で販売できるのであれば、熱供給のプラントでも熱とともに電気を得ようとするのは当然であろう。ORC のような小規模向けの発電技術が製材工場やペレット工場、地域熱供給施設などに急速に普及していった。また数百 kW レベルのバイオマスボイラを入れている事業所などでは、木材をガス化してエンジンを回す小型 CHP に切り替えている。

FIT が始まった 2000 年ころはドイツでも主たる関心は、バイオマスによる発電量を増やすことにあったのであろう。しかし応募してみたら、建築廃材などを使う規模の大きい発電でばかりで、小規模なもののごく少なかった。そこで 5MW 以下に対して「原料割増し」「CHP 割増し」「技術割増し」などのボーナスが用意され、実質的な買取価格が大幅に引き上げられた。それによって木質バイオマス発電の「小型化」と「CHP 化」が一挙に進んだように思う。

他方、5MW 以上の発電に対しては、何のボーナスもつかないうえに、基本レートも引き下げられた。近年では 5MW 以上のプラントの新設もほとんど見られないが、現在稼働しているこのクラスのは建築廃材などが集まりやすい大都市域や工業地帯の周辺に限られるようだ。

ドイツ南部の森林地帯などでは大量の森林チップを安定的に確保するのが難しい。構造用木材の生産・加工を主軸としたカスケード利用の体系がすでに出来上がっていて、エネルギー用に向けられる木質バイオマスは林業・林産業の残廃材である。その限りでは比較的安定した供給源ではあるが、量的にはそれほど多くない。また集中的な熱利用が少ないから、どうしても小規模分散的な CHP システムが主流にならざるを得ない。

いずれにしてもドイツのバイオマス FIT はこの国の実情に合うように修正されてきた。これをそのまま状況の違う国に持ち込むわけにはいかないだろう。早い話、イギリスはまったく別の道を歩んでいる。バイオマスによる熱生産に大きな期待を寄せているものの、木質焚きのストーブやボイラは北欧・中欧ほどは普及していない。そこで電気の FIT ではなく、再生可能な熱の FIT と自費する RHI のような思い切った助成策に踏み切るわけだが、この選択には十分な理由があると思う。

ただイギリスは森林資源にあまり恵まれていない。2011 年に策定された「再生可能エネルギー・ロードマップ」によると、20 年に必要となる固形バイオマスの量は石炭混焼 2300 万トン、熱供給で 600 万トン以上とされている。両方合わせて 3000 万トンにもなるが、国内での生産可能量は 400 万トン程度しかない。混焼用の大部分は外国産のバイオマスに頼ることになるだろう。熱供給では可能な限り「地産地消」で行きたいというのが政府の方針である。

国内の森林のうち針葉樹林は建築用材の生産などで目一杯使われていて、増産の余地は小さい。資源的なゆとりが大きいのはやはり広葉樹林である。かつては木質燃料の重要な生産基地であり、高級な造作材や家具材の生産も行われていた。それが今では木材の伐採がほとんど見られなくなって、樹木が伸び放題に生い茂っている。

とはいえ、このような森林から燃料用の木材を伐り出すのは容易なことではない。木材を継続的に生産する森林管理の体制がすっかり崩れているうえに、材を搬出する路網も未整備のままである。RHI のお蔭でバイオマスの熱供給が有利になったとしても、放置広葉樹林からの伐り出しが自動的に増えるという保証はないのだ。

いまイングランドでは、Woodfuel Woodland Improvement Grant と呼ばれる放置林活性化対策が展開されている。この補助金政策の直接の狙いは、放置私有林を対象にして燃料用木材のサプライチェーンを確立することにある。しかしそれだけでなく、長いあいだ見捨てられてきた森林を再び木材生産の戦列に戻すという長期の視点があることに注意したい。つまり木質燃料だけでなく、構造用木材などすべての林産物を視野におさめると同時に、森林が本来持っている多面的な価値を高めようとしているのだ。

そこでは次のような事業が助成の対象となっている。

- (1) 経営改善: 木質資源の現況調査、木材や林産物のマーケティング、放置林の経営と木材収穫の監督が対象で、標準経費の 60% が助成される。
- (2) 路網整備: アクセスの困難な樹林地において、木材を持続可能な形で経済的に搬出すべく、路網の建設、補修、改善を実行した場合、その経費の 60% が助成される。

燃料用木材のサプライチェーンの構築において前提とされているのは 50kW から 5MW のローカルな熱市場である。効率的で質の高い熱供給システムの普及を図りながら、木質エネルギービジネスを通して地域の雇用と所得を増やすとしている。

ドイツやオーストリアでは、人びとが木質燃料の近代的な使い方に馴染んでいるし、また山から燃料用の木質バイオマスを下してくるサプライチェーンもある程度整備されている。独逸の常識からすると、イギリス政府が打ち出した再生可能な熱への助成策 (RHI) やイングランドで始まった放置林の改善助成 (WF WIG) などは、いささか常軌を逸した政策に見えるだろう。しかしイギリスのような状況の下では、思い切ったことをやらないとエネルギーの地産池消は難しいということかもしれない。それは日本についても言えることだ。

第3章 ボイラ・タービン発電システムのコスト構造

3.1 規模別の標準的コスト構造の把握と分析

木質バイオマスに関する FIT 制度への具体的提言に向けた方向性を検討するため、国内外の事例をもとに発電事業のコスト再現モデルを作成し、木質バイオマス発電プラントの規模別標準コストを整理した。

3.1.1 モデルケースの選定

ボイラ・タービン発電システムを対象に、小規模(2,000～3,000kW)、中規模(5,000～6,000kW 前後)、大規模(10,000～20,000kW)の8タイプ(11モデル)について、コスト試算を行った。試算のモデルケースを図表 3-1 に示す。同規模のボイラを用いて発電のみと熱電併給の2ケースについて試算したモデルもあることから、事例数よりもモデル数が多くなっている。

なお、比較しやすいように、図表 3-1と図表 3-3 では同規模のモデルについては色分して重要な部分を示している。(5,000～6,000kW⇒緑、10,000～20,000kW 規模⇒青)

図表 3-1 発電コスト試算モデルケース

	No	モデル	発電端出力	送電端出力	熱利用	試算根拠資料等
国内事例ベース	1	モデル A	5,700kW	4,800 kW	—	既存資料及び各発電事業者(※1)へのヒアリング調査
	2	モデル B	12,000kW	10,500 kW	—	
	3	モデル C 熱電	4,300kW	3,475 kW	○	
	4	モデル D 熱電	2,000kW	1,350 kW	○	国内メーカー(※2)からの提供資料及びヒアリング調査
	5	モデル D 発電のみ	3,550kW	2,900 kW	—	
	6	モデル E	6,250kW	5,500 kW	—	
	7	モデル F 発電のみ	20,000kW	18,100 kW	—	
ドイツモデル	8	モデル G 熱電	3,400kW	2,992 kW	○	富士通総研からの提供資料(※3)を参考。 1 ユーロ=130 円で日本円に換算
	9	モデル G 発電のみ	5,000kW	4,400 kW	—	
	10	モデル H 熱電	18,100kW	16,273 kW	○	
	11	モデル H 発電のみ	20,000kW	18,000 kW	—	

※1 : モデル A は稼働中、モデル B は計画段階。

モデル C については、優良な熱電併給タイプの事例であるが、事業者からデータの公開に関する同意が得られなかったため、以下の分析では対象外とした。

※2 : 国内での木質バイオマス発電所の受注実績が多い代表的なメーカー。データは各出力規模の最近の受注案件の設計値をもとに整理したもの

※3 : 「木質バイオマス発電に関するドイツの FIT 制度とモデルコスト計算について」(2013.9.6) 元資料は“Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2011 gemas § 65 EEG” 及び Appendix “Auswirkungen der Änderungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes für die einzelnen Energieträgers”

3.1.2 コスト試算条件と結果

国内外事例の文献調査、既存施設へのアンケート・ヒアリング調査、新規建設予定事業者へのヒアリング調査、メーカーとの意見交換等を踏まえ、各モデルケースの事業条件を整理し、コスト再現モデルを作成した(図表 3-3)。

燃料価格は事例毎に入手した情報を使用している。同じタイプの燃料(木質バイオマス)でも事業者毎に想定している購入価格は大きく異なり、それが後述する事業の経済性に大きな違いを与えている。例えば未利用材に着目すると、水分が統一されていないので単純比較はできないが、最高価格はモデル A の 12,000 円/t(水分 40%WB)、最低価格はモデル G(ドイツ事例)の 6,500 円/t(水分不明)と非常に大きな開きがある。

収入については、売電単価は国内の FIT 制度の原料別単価を用いた。蒸気販売単価は現時点では国内に共通の指標がないため、事例毎の価格情報を使用している。これらの条件を統一した事業性評価方法の検討は次年度以降の課題である。

事業性の評価については、20 年間の事業収支を試算し、IRR および投資回収年数を求めた。廃棄費用については分析に含めていない。

なお、各モデルの不足情報については、一般的な数値や他事例を参考に条件設定を行った。共通の条件については以下(図表 3-2)の通りである。

図表 3-2 共通試算前提条件

大項目	小項目	設定した条件
設備導入費	補助金	なし
	導入費用	全額借入
	借入金利	3%(15年返済、元金均等法)※1
プラント減価償却	償却年数	15年
	償却率	0.133(定率法)
	改訂償却率	0.143
	償却保証率	0.04565
税金等	固定資産税	1.4%
	電気事業税	1.3%(対売上)
	法人税等	40%
国内モデルの 売電単価(※2)	未利用材	32円/kWh
	一般木材	24円/kWh
	一般廃棄物	17円/kWh(一般廃棄物扱いの剪定枝等)
	リサイクル材	12円/kWh

※1：モデル D のみ実態に即して 5 年返済とした

※2：ドイツモデルの売電単価は、ドイツ FIT の買取価格算定方法を用いて算出

図表 3-3 各モデルケースの試算前提条件と結果概要

No.		1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
モデル		A	B	D 熱電	D 発電のみ	E	F	G 熱電	G 発電のみ	H 熱電	H 発電のみ
設備	ボイラ規模	25t/h	N.A.	20t/h		28t/h	80t/h	20,000kW		67,000kW	
	電気出力@発電端(kW)	5,700	12,000	2,000	3,550	6,250	20,000	3,400	5,000	18,100	20,000
	電気出力@送電端(kW)	4,800	10,500	1,350	2,900	5,500	18,100	2,992	4,400	16,273	18,000
	発電効率(%)	26	28	11	20	25	29	17	25	27	30
	熱出力@送気端	—	—	13t/h	—	—	—	13,200kW	—	38,860kW	—
	熱効率(%)	—	—	55	—	—	—	66	—	58	—
	稼働時間(h/年)	8,160	7,920	7,920		7,920	7,920	発電 7,700、熱供給 3,500		発電 7,700、熱供給 3,000	
ボイラ方式・復水方式	流動層・水冷	流動層・空冷	ストーカ式・水冷				ストーカ式	循環流動層			
燃料	未利用材	量 t/年(水分%WB)	54,000 (40)	60,000 (50)	46,667		88,700 (50)	46,667	46,667	0	
		価格(千円/t)	12	9	6.5		9	6.5	6.5	—	
	一般木材	量 t/年(水分%WB)	6,000 (25)	9,000 (30)	0		0	0	0	0	
		価格(千円/t)	7.5	4	—		—	—	—	—	
	一般廃棄物	量 t/年(水分%WB)	0	52,000 (30)	0		0	0	0	0	
		価格(千円/t)	—	3	—		—	—	—	—	
	リサイクル材	量 t/年(水分%WB)	0	0	0		0	0	0	174,233	
		価格(千円/t)	—	—	—		—	—	—	3.9	
燃料費(千円/年)	693,000	732,000	506,880		798,300	2,494,800	303,336		679,509		
主な費用	設備導入費(千円)	2,300,000	6,729,000	2,070,000		2,740,000	7,930,000	2,210,000		6,623,500	
	土地代(千円/年) (★:含まない)	N.A.	7,980	★		★	★	N.A.		N.A.	
	人件費(千円/年)	60,000	169,000	60,000		60,000	60,000	84,500		162,500	
	保守点検費(千円/年)	93,000	135,400	41,400		54,800	158,600	44,200		132,470	
	ユーティリティ費(千円/年)	N.A.	30,570	30,000		37,000	101,000	88,400		264,940	
	灰処理費(千円/年)	60,000	98,145	63,000		89,000	250,000	保守点検費に含む		保守点検費に含む	
販売	売電売上(千円/年)	1,213,679	1,948,035	342,144	734,976	1,393,920	4,587,264	424,720	611,896	1,224,695	1,326,675
	熱供給売上(千円/年)	—	—	514,800	—	—	—	300,300	—	757,770	—
試算結果	発電出力あたり設備コスト(千円/kW)	480	641	—		714	498	502		368	
	発電コスト(円/kWh)	27.0	20.1	—		36.1	27.9	19.2		11.7	
	IRR(%)	7.9	3.9	0.6		—	7.5	14		6.2	
	投資回収年数(年)	11	15	19		不可	11	7		12	

注) No.3 のモデル C については、優良な熱電併給タイプの事例であるが、事業者からデータの公開に関する同意が得られなかったため、分析対象外とした。

注) 同規模のモデルについては色分け・・・5,000～6,000kW⇒緑、10,000～20,000kW 規模⇒青

3.1.3 コスト構造の分析

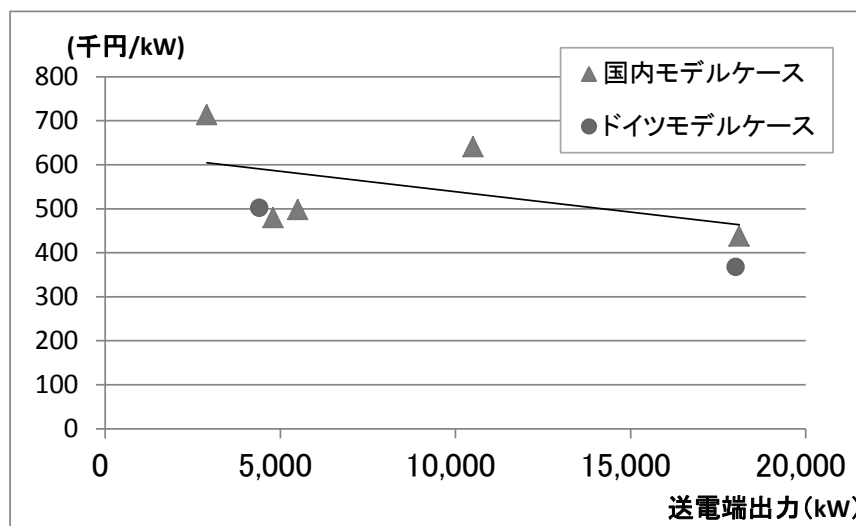
(1) 発電出力あたり設備コスト

各モデルケースの発電出力あたり設備コストを図表 3-4 に示す。コストが低い順番に並べている。熱電併給の場合は熱と電力の比率設定によってコストが大きく異なってしまうため、発電のみの場合について算出した。また、規模による傾向を図表 3-5 に示す。

図表 3-4 各モデルケースの発電出力あたり設備コスト

順位	モデル名	送電端出力 (kW)	出力あたり設備コスト (円/kW)
1	(ドイツ)モデル H 発電のみ	18,000	368
2	モデル F	18,100	438
3	モデル A	4,800	480
4	モデル E	5,500	498
5	(ドイツ)モデル G 発電のみ	4,400	502
6	モデル B	10,500	641
7	モデル D 発電のみ	2,900	714

※熱電併給の場合は除く。補助金は含まない。



図表 3-5 出力あたり設備コストの規模傾向

当然の結果ではあるが、規模が大きくなるほど出力あたりの設備コストは低くなる傾向が見られる。ただし、例外的に 10,500 kW のモデル B の設備コストが、半分程度の出力規模しかない 3 つのモデル (A、E、G) より高くなっている。その背景としては、このモデルが傾斜地で、かつ電力会社の送電線から相当離れた地点に立地予定であるため、土地造成や系統連系にかかる費用が非常に大きく見積もられているという特殊事情がある。

また、今回試算したケースでは、いずれの出力規模においても日本とドイツで大きな開きはない。木質チップボイラやガス化発電では、日本では技術が成熟していないためにドイツやオーストリアに比べて設備コストが非常に高く、そのため木質バイオマス発電分野においても日本の設備コストは高いというイメージを抱いている関係者が多い。しかし、今回のコスト分析の結果から見ると、ボイラ・タービン方式に関しては必ずしもそういう見方は当てはまらないと考えられる。

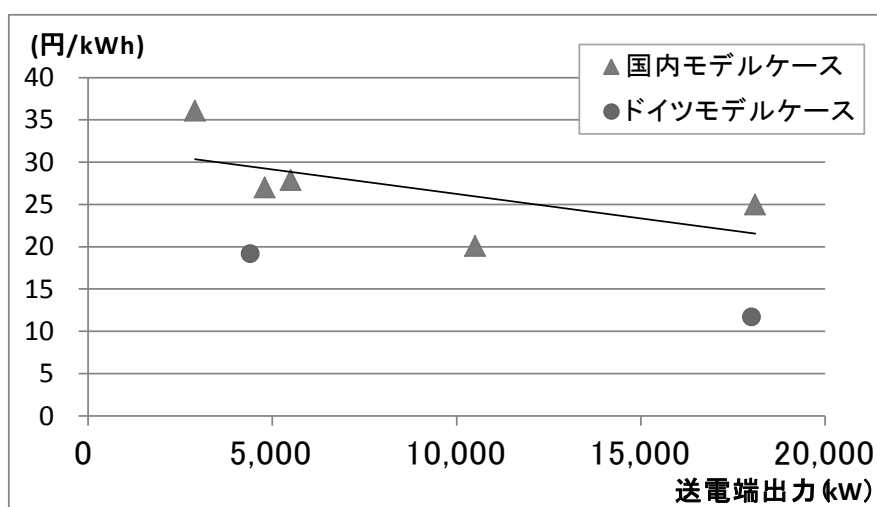
(2) 発電コスト

各モデルケースの発電コスト(事業期間 20 年の平均値)を図表 3-6 に示す。コストが低い順番に並べている。出力あたり設備コストと同様に、熱電併給の場合は熱と電力の比率設定によってコストが大きく異なってしまうため、ここでも発電のみの場合について試算した。また、発電コストの規模による傾向を図表 3-7 に示す。

図表 3-6 各モデルケースの発電コスト

順位	モデル名	送電端出力 (kW)	発電コスト (円/kWh)
1	(ドイツ)モデル H 発電のみ	18,000	11.7
2	(ドイツ)モデル G 発電のみ	4,400	19.2
3	モデル B	10,500	20.1
4	モデル F	18,100	25.0
5	モデル A	4,800	27.0
6	モデル E	5,500	27.9
7	モデル D 発電のみ	2,900	36.1

※熱電併給の場合は除く。補助金は含まない。



図表 3-7 発電コストの規模傾向

ここでも当然ながら、規模が大きいほど発電コストが低下する傾向が見られる。ただし、規模以外に燃料条件(種類や購入単価)や稼働時間等の要素も大きく影響していることに留意が必要である。

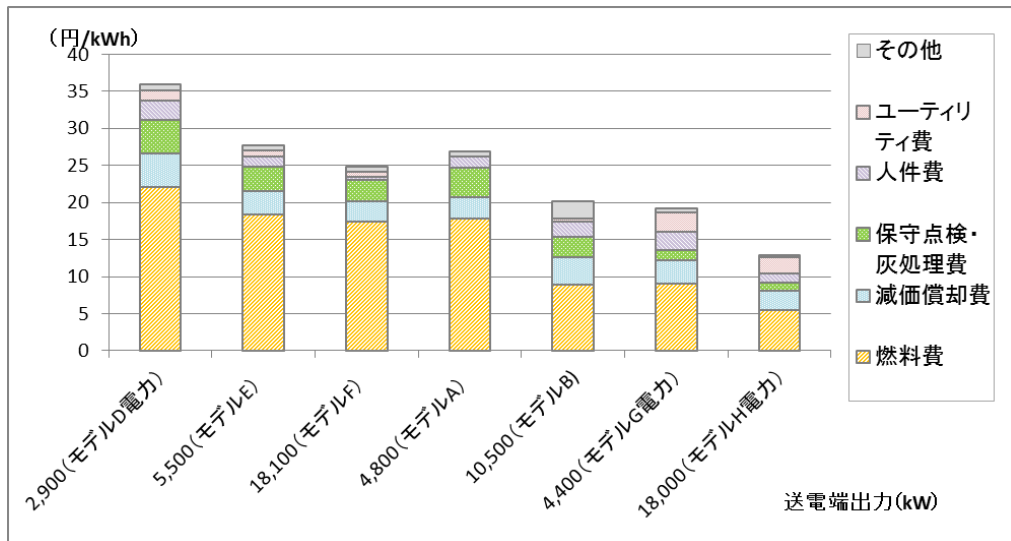
例えば、モデル B(10,500 kW)は、上述の通り発電出力あたり設備コストが割高であるにも係らず、発電コストでは逆に規模の大きいモデル F(18,100 kW)よりも低くなっている。その理由は、燃料の構成と購入単価にある。図表 3-3 にあるように、モデル B はいずれの燃料区分でも、一般的に考えられているより相当に低い価格で調達することを想定しており、結果として、事業全体として採算性が確保される構図となっている。この事業者は既存の同規模の木質バイオマス発電所の運営も手掛けており、その経験からこうした価格帯での燃料調達は可能であり、かつそれが実現できなければ現在のFIT買取価格を前提にして経営を成り立たせるのは困難との見解であった。なお、試算では 3 つの燃料区分で量・価格を設定したが、実際には 5 種類以上の燃料区分で、調達リスクを分散させる計画となっている。そこではさらに安価な燃料の調達も想定されており、実際の事業計画では本試算よりも良い採算性を想定しているものと考えられる。

今回試算したケースでは、燃料価格差を反映して、日本よりもドイツの方が発電コストは低い。ドイツのバイオマス発電の燃料コストが安いのは、丸太チップではなく、林地残材や剪定枝などの質の低い燃料を使っていることが、背景にある。

次に、各モデルケースの発電コストの内訳を図表 3-8 に示す。全体的な傾向としては、発電コストに占める燃料費の割合がいずれのケースでも最大であり、コストを考える上でもっとも重要な要素であることがわかる。それと同時に、図表 3-3 で比較すると明らかなように、それぞれのモデルケースで燃料の種類、水分、単価が大きく異なり、また 20 年という長い事業期間を通じて一定の種類・価格の燃料を調達し続けることは困難であることから、発電事業の経済性を考えるにあたってもっとも難しい要素であるといえる。

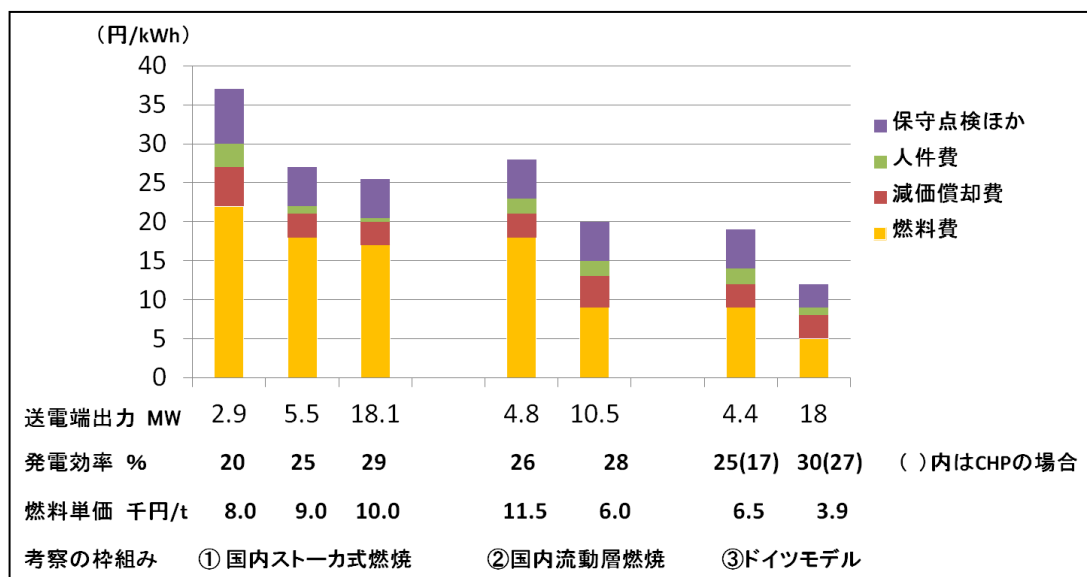
日本とドイツを比較すると、発電コストに占める燃料費の割合が一位となる傾向は同じであるが、比率は日本の方が圧倒的に大きい。また、ドイツモデルでは国内モデルに比べてユーティリティ費が大きいことも特徴として挙げられる。

なお、国内モデルについては新設または計画段階のものがほとんどであるため、燃料費やユーティリティ費、保守点検・灰処理費など運用状況によって変動があるものについては今後も検証が必要である。



図表 3-8 各モデルケースの発電コストの内訳

さらに、それぞれのモデルの発電コストの内訳に発電効率、燃料単価、ボイラ燃焼方式をリンクさせて比較したのが図表 3-9 である。



※燃料単価はチップ着単価の重量平均単価であり、燃料種毎に水分が異なる。(図表 3-3 参照)

図表 3-9 各モデルケースの発電コスト、発電効率、燃料単価、考察の枠組み

この図表をもとに、①国内ストーカ式燃焼(3モデル)、②国内流動層燃焼(2モデル)、③ドイツモデル(2モデル)という枠組み毎に考察した結果についても以下に示す。

(考察内容の一部は前述部分と重複する。)

①国内ストーカ式燃焼

・同一メーカーの発電システムを前提とし、送電端出力 2.9MW、5.5MW、20.0MW プラントの実例をもとに標準化しているので、純粋に出力規模によるコスト差を検証。

⇒ボイラ・タービン方式の最低出力規模は 2MW 程度だが、5MW と 20MW ではそれほどのコスト差は生じない。

②国内流動層燃焼

・比較的小規模(4.8MW プラント)では、燃料は未利用材が主体。それに対して中規模以上(10.5MW プラント)では、燃料として廃棄物系の安価な木質バイオマスを使用することも可能。

⇒燃料単価によって発電コストは大幅に変わってくる。

③ドイツモデル

・ドイツのバイオマス FIT の対象となる 5MW と 20MW の標準プラントによる検証。両者とも本来は熱電併給(CHP)プラントだが、電力のみのケースで発電コストを試算。

⇒ドイツの燃料単価は日本よりもかなり安く、それが FIT の買取価格を引き下げている。

⇒発電のみではドイツのFIT制度ではいずれの規模でも採算がとれない。

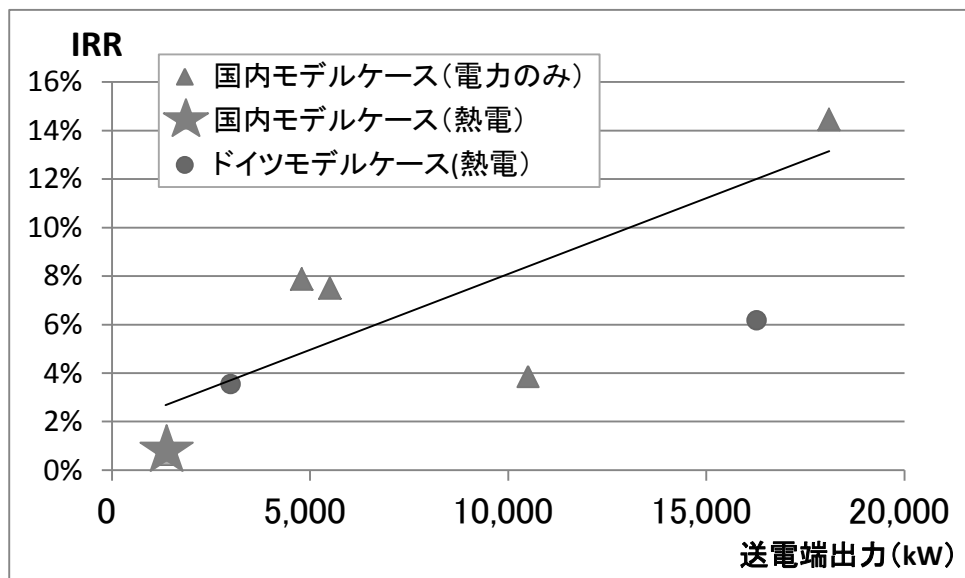
(3) 事業性比較

各モデルケースの事業性試算結果を図表 3-10、規模による傾向を図表 3-11 に示す。事業性(IRR)が良い順番に並べている。発電のみの場合に加えて、熱電併給のケースについても試算した。

図表 3-10 各モデルケースの事業性試算結果

順位	モデル名	送電端出力 (kW)	熱利用 有無	IRR (%)	投資回収年数 (年)
1	モデル F	18,100		14	7
2	モデル A	4,800		7.9	11
3	モデル E	5,500		7.5	11
4	(ドイツ)モデル H 熱電併給	16,273	○	6.2	12
5	モデル B	10,500		3.9	15
6	(ドイツ)モデル G 熱電併給	2,992	○	3.5	15
7	モデル D 熱電併給	1,350	○	0.6	19
8	モデル D 発電のみ	2,900		—	不可
9	(ドイツ)モデル H 発電のみ	18,000		—	不可
10	(ドイツ)モデル G 発電のみ	4,400		—	不可

※補助金は含まない。事業期間 20 年の平均値(減価償却費含む)



図表 3-11 発電規模・熱利用有無による事業性の傾向

設備コストや発電コストの場合と同様に、基本的には規模が大きいほど事業性が高い傾向がうかがえる。また、同規模クラスで発電のみのケースと熱電併給を比べると、発電のみの場合は投資回収不可という結果となっており、やはり総合的なエネルギー効率の高い熱電併給の方が事業性が高い結果となっている。ただし、その前提として熱需要の確保があり、周知の通りこの点が現在の国内 FIT 制度の下での熱電併給システム推進の最大のネックとなっている。

ドイツとの比較では、ドイツは日本に比べて必ずしも事業性が高くないことがわかる。先にみた発電コストでは、安い燃料単価が効いてドイツの方が相当に良い結果となったが、その一方で電力の買取価格が日本の FIT 価格よりも低く設定されているためである。他方、国内モデルでは、もっとも規模の小さいモデル D(送電端出力 2,900kW)を除いて、おおよそのケースで IRR が 8%前後またはそれ以上確保されて事業として成り立つ結果となっている。まさに日本とドイツの FIT 制度の違いに起因する現象といえる。ちなみに、発電のみではドイツの FIT 制度ではいずれの規模でも採算がとれないことも分かる。

3.2 木質バイオマスによる熱電併給システムの現状と課題

熱電併給システムのコスト分析については、国内事例としてモデル D(発電端出力 2,000kW・熱供給 13t/h \approx 10,000kW 想定)、ドイツの事例としてモデル G(発電端出力 3,400kW・熱供給 13,200kW)とモデル H(発電端出力 18,100kW・熱供給 38,860kW)、合わせて 3 ケースについて試算を行った。

3 ケースの事業性試算結果から、いずれの国の FIT 制度のもとでも、発電のみよりも熱供給を併

せて行う方が事業性は優位となることが確認された。ただし、前述の通り、日本ではドイツよりも電力の買取価格が高く設定されているため、現状では 5,000kW 以上の規模であれば、発電のみでもほぼ事業性が確保される仕組みとなっている。その背景として、この規模のプラントでは、熱電併給をしたくても熱需要の確保が困難という事情もある。

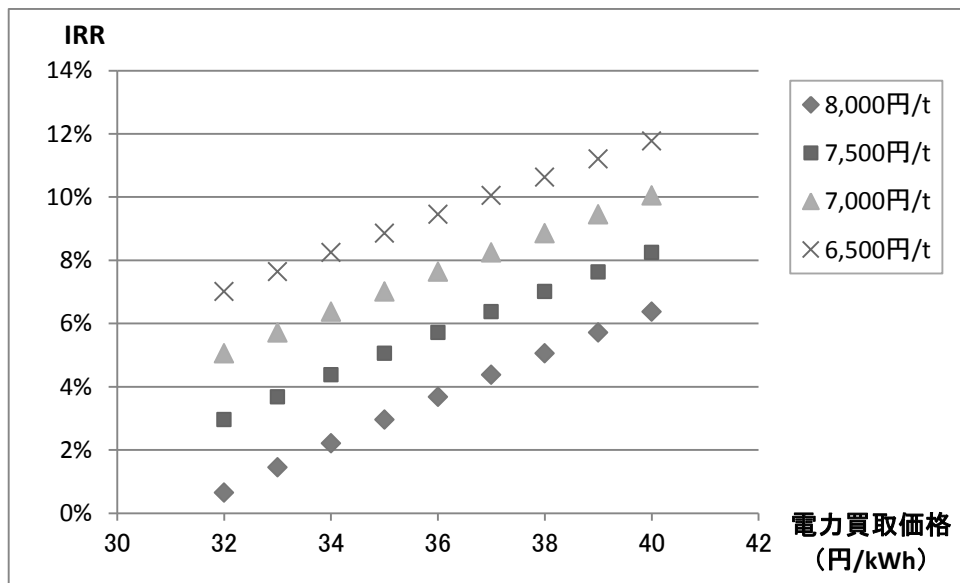
一方、国内では、燃料調達の制約から 2,000kW 前後やそれ以下の規模での事業化ニーズがある。しかしながら、現状の FIT 制度の下では、価格算定の基準となった 5,000kW 以下の発電では事業性を確保するのは難しい。熱電併給であれば事業性は優位となるが、今回試算した小規模事例の条件(モデル D:発電端出力 2,000kW・熱供給 13t/h、燃料調達価格 8,000 円/t、蒸気販売価格 5,000 円/t)では事業性が確保できない結果となっている。事業性確保のための改善策として、支出の削減と収入の増加が必要である。支出の削減については、コストに占める割合がもっとも大きい燃料調達価格の低減化が重要な課題となる。収入の増加の手段としては、直接的な熱や電気の販売価格の引き上げに加えて、「規模の拡大」や「エネルギー効率の向上」が挙げられる。

「規模の拡大」については、出力の大きなプラントであれば事業性はより高くなるが、熱電併給の場合は熱需要確保が大きな課題となる。国内では大規模熱需要先への木質バイオマスによる地域熱供給の事例は少なく、中小規模であっても熱需要先の確保は難しい状況である。既存の熱電併給施設の場合には、自社の熱利用または隣接する工場への熱供給が行われており、熱供給を主とした設計となっていることが圧倒的に多い。

「エネルギー効率の向上」に関しては、当然ながら発電規模が小さくなるほどエネルギー効率は低くなる。一般的に経済的に成り立つボイラ・タービン方式による発電規模の下限は 2,000kW 程度と言われており、それ以下の場合にはオーガニックランキンサイクル(ORC)やガス化発電が採用する技術の候補となる。しかしながら、この 2 種類の技術については国内では成熟しておらず、商業運転されている事例はほとんど見受けられない。小規模発電の技術や制度に関する動向や課題等については第 5 章にまとめる。

最後に、熱電併給の経済性を検討する際の参考として、現在の条件(燃料調達価格 8,000 円/t、蒸気販売価格 5,000 円/t)では事業性を成り立たせるのが困難と考えられるモデル D(発電端出力 2,000kW・熱供給 13t/h)をベースに、電力買取価格と燃料調達価格の変動を組み合わせる IRR を試算した(図表 3-12 参照)。

その結果、仮に電力買取価格を 40 円/kWh まで上げるとすると、燃料調達価格が 8,000 円/t の場合には IRR は 6%程度となる。一方、燃料調達価格が 6,500 円/t であれば、電力買取価格が 32 円/kWh の場合でも IRR は 7%まで上昇する。これ以外にも、蒸気販売価格をいくらで設定するかによっても経済性は大きく変化する。このように熱電併給の場合の事業性は燃料調達価格の影響や蒸気販売価格、その他の要素による影響も大きいことから、電力買取価格設定については様々な変動要素を考慮した十分な検討が必要である。



※発電端出力 2,000kW・熱供給 13t/h (9,750kW 想定)

図表 3-12 電力買取価格と燃料調達価格を変動させた場合の事業性 (モデルD 熱電併給)

3.3 既存及び新設の木質バイオマス発電施設の動向

3.3.1 FIT 導入以前に建設された木質バイオマス発電施設

FIT 施行前に稼働していた木質バイオマス発電事業について図表 3-13 に示す。件数は 73 件、出力規模が明らかになっている事例の合計出力数は 443MW であった。規模については 2,000kW 程度からそれ以下の小規模な発電事業か、もしくは数十万 kW の大型の発電事業かに大別される。小規模な発電事業については熱利用に付随して発電を行い、売電収入を主目的としない事業であると考えられる。燃料については山から生産される燃料を直接利用する事例は少なく、建設廃材や製材端材等を主燃料にする場合が多い。

3.3.2 FIT 導入後に新設または計画されている木質バイオマス発電施設

(1) 新規木質バイオマス発電の情報整理

関連情報誌や新聞報道等で得られた情報を基に木質バイオマス発電事業の動向に関して 2014 年 3 月末現在の情報を整理した。結果を図表 3-14 に示す。件数は 92 件、合計出力は 1,333MW となっている。

すでに運転開始している発電所については色を付している。また、左端の番号で 6、7、13、20、28、81 の発電所については発電事業計画を公表したものの、現在計画が中断または中止になっている。49 の発電所については売電を検討していないとしている。

図表 3-13 既存木質バイオマス発電所

No	事業者名	都道府県	木質バイオマスの種類	木質バイオマス使用量(t/年)	木質バイオマス入手先	発電出力(kW)	稼働開始時期
1	株式会社北海道健誠社	北海道	木質チップ(破砕)		林地残材・支障木等	160	2010年
2	津別単板協同組合バイオマスエネルギーセンター	北海道	木屑	85,000	自社木材加工屑	4,700	2007年3月
3	株式会社 サトウ	北海道					
4	三陸木材高次加工協同組合	岩手県	木屑	8,000	自社加工屑	350	2006年
5	株式会社兼平製麺所	岩手県	製材端材(※人力投入)		製材端材等(人力投入)	320	2008年に160kW導入、2011年に追加で160kW導入
6	奥州市	岩手県	木質チップ(切削)	160	間伐材等	25	2010年
7	新日鉄	岩手県		4,000		14,900	
8	石巻合板工業株式会社	宮城県	木質チップ		工場で発生する廃材、単板	3,000	1998年
9	東京ボード工業(株)	宮城県	木質チップ(破砕)		廃木材	-	2004年
10	セイホク(株)	宮城県	木質チップ	6.5t/h		2,300	2005年
11	秋田プライウッド株式会社	秋田県	木質チップ		工場廃材、家屋解体材(購入)	4,500	1989年4月
12	菱秋木材(株)	秋田県		39,440		990	
13	能代森林資源利用協同組合	秋田県	木屑	54,000	自社工場で発生する樹皮・製材端材	3,000	2003年
14	仙北市	秋田県	木質チップ(製材端材、林地残材等)	10t/日	林地残材・製材端材等	300	2010年
15	日本製紙	秋田県		800		15,000	
16	やまがたグリーンパワー(株)	山形県	木屑	12,000		2,000	2006年
17	白河ウッドパワー	福島県	木質チップ	7,200	地域で発生する木質資源	11,500	2006年10月
18	(株)グリーン発電会津	福島県	木質チップ	60,000	地域の間伐材	5,500	2012年7月
19	神之池バイオエネルギー(株)	茨城県	木材樹皮(パーク)・生オガ・乾燥オガ	1,000	全量中国木材鹿島工場から購入	21,000	2008年7月
20	高砂製紙株式会社	茨城県	木質チップ、タイヤチップ				2008年4月
21	(株)バイオパワー勝田	茨城県	木屑	160t/d		4,900	2005年
22	住友大阪セメント(株)	栃木県	木質チップ	4,150	地域の間伐材を利用	25,000	2010年
23	株式会社吾妻バイオパワー	群馬県	木質チップ	18,000	群馬県内および近隣の木材チップ業者約20社	13,600	2011年
24	秩父市	埼玉県	木質チップ	450	地域で発生する木質資源	115	2006年
25	市原グリーン電力(株)	千葉県	木質チップ			50,000	2006年
26	(株)エコ・エナジー・ジャパン	千葉県	木質チップ			1,250	2006年
27	(株)フジヨー	千葉県	木屑			1,800	2007年
28	前田道路(株)	東京都	木屑	20,000	都心で排出される木屑を利用	1,500	2007年
29	新四季創造(株)	東京都	製材端材、パーク	1,900	秋川木材協同組合が燃料供給	35	2007年1月
30	川崎バイオマス発電株式会社	神奈川県	木質チップ	180,000	ジャパンバイオエナジー株式会社	33,000	2011年
31	サミット明星パワー(株)	新潟県	木屑・解体材+石炭		自社工場	50,000	2004年
32	いしかわグリーンパワー(株) 停止中2012.10現在	石川県	木屑			2,000	2007年
33	株式会社ミツヤ	福井県	木質チップ	13,520	木造住宅の解体材	350	1986年1月29日
34	有限会社ふるや(山梨バイオマス利用推進地域協議会)	山梨県	木質チップ(切削)	0.26気乾t/h	間伐材等	290	2010年11月
35	長野森林資源利用事業協同組合	長野県	木質チップ	7,000	公共工事等から発生する伐採木・廃木	1,300	2005年
36	南ひだウッド協同組合	岐阜県	木屑		自社および近隣の工場で発生する端材・おが粉など	48	2003年
37	東濃ひのき製品流通協同組合	岐阜県	木屑	1,500	近隣工場からの端材・おが粉・樹皮など	600	2004年
38	川辺バイオマス発電株式会社	岐阜県		1,200		4,300	
39	静岡製材協同組合	静岡県	パークを主体とする木質燃料	1.8t/h, 4.0t/d	傘下工場からの製材副産物	230	2004年
40	日本製紙	静岡県		20000 100		50000 14500	
41	株式会社ウッドワン(蒲郡工場)	愛知県	木屑	工場3か所合計で56607	工場で発生した木屑	2,500	1980年
42	株式会社エコペーパーJP	愛知県	木屑	3.5t/h		3,150	
43	三重中央開発(株) 停止中2012.10現在	三重県	木屑			1,400	2004年
44	トリス集成材株式会社	三重県	オガ粉(製材端材)	4.7気乾t/日	自社製材工場より発生するオガ粉	300	2003年
45	積水ハウス株式会社	滋賀県	製材端材(径50mmのブリケット状に加工)		自社工場より発生するプレーナー屑	175	2009年
46	宮津市(宮津バイオマス・エネルギー事業地域協議会)	京都府	竹チップ			30	2011年9月
47	日本ノボ工業株式会社	大阪府	木屑	74,035	建築廃材(受け入れ)	6,500	2009年
48	越井木材工業株式会社	大阪府	製材端材(径50mmのブリケット状に加工)		建設廃材等	175	2009年
49	ハリマエムアイディ(株)、(株)ファーストエスコ	兵庫県	トール油蒸留副産物		パルプ製造工場から排出される廃油	4,000	2004年
50	住友セメント	兵庫県		7,000		102,500	
51	株式会社オロチ	鳥取県	製材端材			160	2010年
52	松江エヌエル工業株式会社	島根県	木質	1,170		1,170	
53	銘健工業株式会社	岡山県	木屑	20,000	製造過程ででてきたプレーナー屑や木の皮等	1,950	1997年12月1日
54	株式会社ウッドワン(本社工場)	広島県	木屑		工場で発生した木屑	1,300	1987年
55	株式会社ウッドワン(本社工場)	広島県	木屑		工場で発生した木屑	4,600	1988年
56	株式会社シンコー(府中工場)	広島県	木屑		近隣工場からの残材や家屋解体材(10~20円/台・トラックで購入)	2,000	
57	株式会社マルニ木工	広島県	木チップ			300	1991年2月21日
58	中国木材株式会社(郷原工場)	広島県	木屑		自社で発生する木材樹皮	2,000	2002年8月
59	中国木材株式会社(本社)	広島県	木屑	76,000	自社で発生する木材樹皮	5,300	2005年4月
60	ミツウロコ岩国バイオマス発電所(旧岩国ウッドパワー)	山口県	木質チップ	23,000	地域で発生する木質資源	10,000	2006年1月
61	永大産業株式会社(平生事務所)	山口県			工場で発生する廃材、単板		1993年
62	日本製紙	山口県		22,350			
63	宇部興産	山口県		10,050			
64	東洋テックス株式会社	香川県	木質チップ		自社で発生する建築廃材		1989年
65	仁淀川町 停止中2012.10現在	高知県	木屑		山林に放置されている林地残材等	150	2010年
66	住友セメント	高知県		29500 13500			
67	株式会社中央環境	長崎県	木質チップ		建築廃材等	250	2011年5月
68	電源開発	長崎県		22,000			
69	阿蘇市 停止中2012.10現在	熊本県	草本系バイオマス(主にススキ)	2,050	地域で発生する木質資源	180	2007年6月
70	日田ウッドパワー	大分県	木質チップ	38,800	地域で発生する木質資源	12,000	2006年11月
71	ウッドエナジー協同組合	宮崎県	木質チップ・樹皮・木屑	4,800	製材工場の廃材	1,300	2004年
72	旭化成	宮崎県		840			
73	鹿児島県リサイクル事業者協同組合	鹿児島県	木質チップ		木廃材		

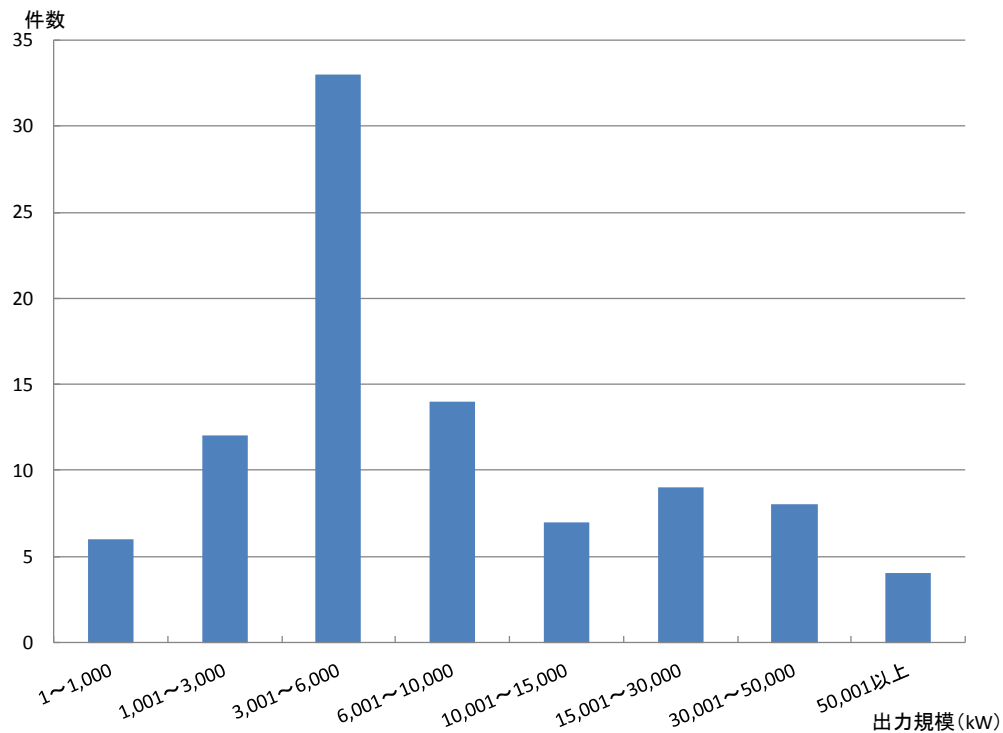
図表 3-14 F I T 施行後の新規木質バイオマス発電事業の動向

発電所	事業者	都道府県	発電所立地の地域(市町村)	出力規模(kW)	プラントメーカー	燃料種類	年間燃料消費量(t)	運転開始予定	総事業費	うち助成金	備考
1	王子グリーンリソース株式会社	北海道	江別市	25,000		未利用木材		2015年7月	85億円		
2	紋別バイオマス発電	北海道	紋別市	50,000		未利用20万、PKS5万、石炭5万等	200,000	2016年12月	150億円		石炭混焼
3	イワクラ・三井物産	北海道	苫小牧市	12,000		未利用等	144,000	2015年			
4	サニックスエナジー	北海道	苫小牧市	74,000			7,000	2013年4月			
5	津軽バイオマスエナジー	青森県	平川市	6,250		未利用間伐材、リンゴ剪定枝	75,000	2015年度(2013.10着工)	20億~30億円		
6	木質バイオマス発電所を立ち上げる会	青森県	五所川原市	3,000		間伐材	40,000	2015年度			
7	住友林業	青森県	八戸市	5,000		間伐材、一般木材	60,000				
8	一戸フォレストパワー	岩手県	一戸市	6,250		未利用材、製材端材	90,000	2016年2月			
9	ウツディかわい	岩手県	宮古市	5,800		集成材端材、未利用木材	90,000	2014年4月	30億円		
10	宮古市ブルーチャレンジ	岩手県	宮古市	3,000	(株)ジャパンブルーエナジー	未利用木材 汚泥や農産物残渣等も利用可	50,000	2014年秋			
11	野田バイオマス発電	岩手県	野田村	11,500		間伐材、PKS	92,000				
12	気仙沼地域エネルギー開発	宮城県	気仙沼市	800				間もなく			
13	豊秋木材	秋田県	能代市	990			39,440				
14	ユナイテッド計画	秋田県	秋田市	10,000	住友重機械	未利用、一般(PKS含む)	120,000				
15	やまがたグリーンパワー	山形県	村山市	2,000	JFEエンジニアリング		12,000				
16	三菱商事社、PPS系	山形県	新庄市	40,000		未利用材、一般木材	480,000				
17	地元企業ら	山形県	沿岸部	10,000			120,000				
18	鶴岡バイオマス	山形県	鶴岡市	2,000	よしみね	自社端材、間伐材、一般木材	50,000	2015年4月			
19	サミット酒田パワー	山形県	酒田市	50,000		林地残材、製材端材、建廃材、輸入、PKS	189,000	2015年12月			
20	川内村	福島県	川内村	5,000		未利用、一般	60,000				
21	飯館村	福島県	飯館村	1,000							
22	株式会社グリーン発電会津	福島県	会津若松市	5,700	住友重機械工業(株)	間伐材、未利用木材	60,000	2012年7月			
23	富士通	福島県	会津若松市	5,000							
24	南相馬市	福島県	南相馬市	3,000							
25	ホルツエナジージャパン	福島県	白河市	2,500		間伐材	23,100	2013年7月			
26	日本海水小名浜工場	福島県	いわき市	10,000	住友重機械	未利用	120,000				
27	日本製紙勿来工場	福島県	いわき市	15,000			108,000				
28	塙町	福島県	東白川郡 塙町	12,000			112,000		60億円		
29	日立造船	茨城県	常陸太田市	5,800		未利用	60,000	2015年3月	30億円		
30	県北木材協同組合	栃木県	那珂川町	2,000	よしみね	未利用、一般材	50,000	2014年9月	12.5億円		
31	トーセン	栃木県	日光市	5,000		未利用材、一般木材	70,000	2015年4月	20億円		
32	二宮木材	栃木県	那須塩原市	265			10,000	2013年3月14日			
33	松井田木質バイオマス発電	群馬県	安中市	2,500		未利用材45000、製材端材5000	50,000	2016年2月	12.5億円		
34	新エネルギー開発	群馬県	沼田市	6,000				2015年中			
35	昭和シェル石油	神奈川県	川崎市	49,000		外材ベレット、PKS		2015年12月			
36	三セクの発電事業会社	新潟県	関川村	3,200		未利用間伐材等	26,000	2014年度	20億円	6割を村が出資	
37	北陸ポートサービス	富山県	富山市	5,700		可能なかぎり県産森林由来。50%超を国産で	60,000	2015年4月	14億円		
38	輪島ブルーエナジー	石川県	輪島市 三田町	3,000		地元の材	50,000				
39	敦賀グリーンパワー	福井県	敦賀市 呉羽町	37,000		米国、豪州からの輸入チップ		2016年春			
40	大野市	福井県	大野市	6,000		市内中心に未利用材	80,000	2016年春	40億円		
41	高浜町	福井県	高浜町	5,000		間伐材5,000t、竹、PKS輸入チップ		2014年中に具体検討			
42	大月バイオマス発電	山梨県	大月市	11,500		生木チップ(街路樹や果実の剪定枝、林地残材等のグリーン材のみ)、PKS(アブラヤシの殻殻)	120,000	2016年6月	50億円		
43	信州F-POWERプロジェクト	長野県	塩尻市 片丘地区	10,000	荏原製作所	未利用間伐材、原木、製材端材	120,000	2016年4月	57.32億円		
44	南木曾バイオマス発電	長野県	木曾町	11,500		未利用間伐材、製材端材	140,000	2016年中	53億1千万円		
45	伊那谷道中	長野県	飯田市	360	ZEエナジー	間伐材	5,000				
46	いいつなお山の発電所2号機	長野県	長野市	1,500		間伐材、リサイクル材	32000(間伐材15000)				
47	中国木材	岐阜県	郡上市	10,000		未利用木材	120,000	2014年度下期	10~15億円		
48	岐阜バイオマスパワー	岐阜県	瑞穂市	5,700	(株)タクマ	間伐材2/3、製材端材1/3	89,100	2015年4月	28億円	9億8,000万円	
49	特種東海製紙島田	静岡県	島田市	22,700		木質バイオマスを中心に、タイヤチップ等、未利用、一般	360,000	2016年10月	80億円		売電は行わない
50	浜松市	静岡県	浜松市	5,000							
51	王子ホールディングス	静岡県	富士市	40,000		未利用材	93,000	2015年3月	90億円	9億8,000万円	
52	サミット半田パワー	愛知県	半田市	75,000		未利用木材、一般木材	900,000	2014年度か			
53	中山名古屋共同発電機	愛知県	武豊町	110,000		ベレット	160,000				石炭混焼
54	フルハンEPO	愛知県	知多市	1,000		リサイクル材	11,000	2014年4月			
55	三重エネウッド株式会社	三重県	松阪市	5,000	(株)タクマ	間伐材	60,000	2014年11月	20億円		
56	プラントメーカー・商社系	三重県	津市	40,000	(株)タクマ	RDF、下水汚泥等、未利用間伐材	480,000				
57	中部プラントサービス	三重県	多気郡	6,000		未利用材20%、一般材80%	60,000	2016年3月	24億円		
58	いぶきグリーンエナジー機	滋賀県	米原市	3,550	(株)タクマ	建築、解体等リサイクル材	46,000	2015年1月			
59	日本海水	兵庫県	赤穂市	16,530	住友重機械	未利用木材、一般木材、製材端材、解体材	198,360	2015年1月	65億円		
60	関西電力	兵庫県	朝来市	5,000		未利用木材	220,000	2015年度末			
61	クリーンエナジー奈良	奈良県	大淀町	5,000		未利用木材	70,000	2015年中	32億円		
62	民間企業	和歌山県	日高郡	2,000		未利用木材	24,000				
63	グリーンサマー	鳥取県	鳥取市	5,000				2015年6月	25億円		
64	日新バイオマス発電	鳥取県	境港市	5,700	よしみね	間伐材、林地残材、製材端材	80,000	2015年4月	26億円		
65	合同会社しまね森林発電	鳥取県	津山市	12,700		間伐材、PKS	130,000	2015年4月	44億円	8億円	
66	松江バイオマス発電	島根県	松江市	6,250	(株)タクマ	林地残材の未使用材木、製材端材	88,000	2015年4月	30億円	8億~10億円	
67	真庭バイオマス発電	岡山県	真庭市	10,000	(株)タクマ	間伐材9万t以上、一般木材5.8万t	148,000	2015年4月	41.4億円	21億円	
68	中国木材	広島県	呉市	9,850	(株)タクマ	製材所端材、未利用木材	168,000	2016年末	40~45億円(推定)		
69	グリーンサマー	広島県	広島市	5,700					25億円		
70	ウッドワン	広島県	廿日市	5,800	(株)タクマ	自社工場端材、周辺からの建築廃材由来の木質燃料、森林系の未利用材	69,600	2015年春	約20億円以上		
71	日本海水讃岐工場	香川県	坂出市	16,530	住友重機械工業(株)	未利用	120,000				
72	エネビジョン、県森連	愛媛県	県中か県南	10,000		未利用材	80,000				
73	グリーンエネルギー研究所	高知県	宿毛市	6,500	よしみね	間伐材、林地残材、製材端材、樹皮など	90,000	2015年1月	40億円		
74	土佐グリーンパワー	高知県	高知市	6,250	(株)タクマ	未利用材	80,000	2015年4月	35億円		
75	イーレックス	高知県	高知市	29,500	JFEエンジニアリング	一般木材(ヤシ殻含む)ほか	120,000				
76	出光グループと県森連	高知県	高知市	5,000	(株)タクマ、住友重機械	未利用、一般	60,000				
77	オリックス	福岡県	北九州市	112,000		未利用材、石炭	330,000	2017年以降			石炭混焼
78	伊万里工場	佐賀県	伊万里市	10,000	睦タクマ		110,000	2016年10月3日			
79	電源開発	長崎県	松浦市	5,000			22,000				
80	有明グリーンエネルギー	熊本県	水俣市	5,600		未利用材、一般木材	69,600	2016年4月			
81	県森連など	熊本県	城南町	5,000	住友重機械工業(株)	未利用木材	60,000				
82	日本製紙	熊本県	八代市	5,700	バブ日立工業	未利用材、一般木材	71,000	2015年3月	20億円		
83	水俣市	熊本県	水俣市	5,000							
84	株式会社グリーン発電大分	株式会社グリーン発電大分	大分県 日田市	5,700	住友重機械工業(株)	主に林地残材	60,000	2013年11月	21億円	8億円	
85	太平洋セメント	太平洋セメント	大分県 佐伯市	50,000		PKS		2015年中	100億円超		
86	アールイー大分	ファーストエスコ	大分県 豊後大野市	18,000		未利用材、一般木材	210,000	2015年夏	65億円		
87	王子グリーンリソース	王子グリーンリソース	宮崎県 日南市	25,000		未利用木材	230,000	2015年3月	85億円		
88	中国木材	中国木材	宮崎県 日向市	18,000	(株)タクマ	未利用、一般	200,000	2015年3月	70		
89	サンシャインブルータワー	宮崎県	串間市	3,000			45,000	2014年12月			
90	グリーンバイオマスファクトリー	グリーンバイオマスファクトリー	宮崎県 児湯郡都農町	5,700		未利用材、一般木材	72,000	2014年6月	31億3千万		
91	中越バルブ工業	中越バルブ工業	鹿児島県 薩摩川内市	25,000	(株)タクマ	林地残材、未利用材等ほか	300,000	2015年11月	85億円	5.5億円	
92	霧島木質発電	霧島木質発電	鹿児島県 霧島市	4,800		未利用材	60000~70000	2015年3月			

(2) 今後の課題

今後の課題として3点を挙げる。まず1点目に、木質バイオマス発電計画の急速な増加である。図表 3-14 によると新規発電案件は92件、1,333MWであった。燃料消費量が明らかになっている案件のみの合計必要燃料量だけでも約918万t/年となっている。FIT 施行時に木質バイオマス発電の採算ベースとして示された5,000kWにおける燃料消費量は60,000t/年 \approx 100,000m³/年とされている。これを基に計算すると現在計画されている木質バイオマス発電計画への必要燃料量は約1,530m³/年となる。国内の森林資源は充実しており、資源量は充分にあると考えられる。しかしその一方で、燃料供給主体である林業分野は近年、木材供給量を増加させているものの、平成24年度の国内木材供給量は2031.8万m³であった(農林水産省 平成24年度木材需給表)。現在の林業従事者数や高性能林業機械の導入台数を鑑みると、従前の木材産業にも木材を供給しつつ、木質バイオマス発電所が稼働し始める数年のうちに約1,530万m³近い木質バイオマス需要に対応することは難しいと考えられる。

次に、木質バイオマス発電事業の規模選定である。FIT 施行前の木質バイオマス発電について示した図表 3-13 では出力規模は小規模か、大規模の2つに大別されていたことは先にも述べた通りである。一方、FIT 施行後の木質バイオマス発電事業の件数に関しては図表 3-15 に示す通り、3,000~6,000kWの規模が突出している。これは採算規模とみられる5,000kW前後での発電事業が最も多いためと考えられる。5,000kW以上の木質バイオマス発電事業においては、ほとんどがボイラ・タービン方式での発電であり、FIT 施行後の木質バイオマス発電事業の多数を占める。これは同時に技術的な偏りがあることも示唆しており、小規模で高効率な木質バイオマス発電技術革新を抑制する結果ともなっている。



図表 3-15 FIT 施行後の出力規模別木質バイオマス発電計画件数

最後に燃料タイプの問題である。FIT の施行前は建設廃材や製材端材の利用が主であった木質バイオマス発電は、FIT 施行後にはより買取価格の高い未利用木材が主流となっている。本来、木質バイオマスの利用においてはカスケード利用が前提であり、燃料以外の使用が困難な性状のものを使用するのが原則である。しかし、現行 FIT の制度上、間伐材等未利用材が最も発電用燃料としての価値が高く、山で伐採された木材が直接燃料にされることが懸念される。さらにこうした木材の利用は既存の集成材・合板用材との競争を招く恐れがあり、「既存産業への著しい影響がないものとする」とある FIT の前提条件に抵触する可能性があることが懸念される。

こうした課題の改善に向け、燃料タイプや出力規模を誘導するような FIT 制度のあり方が問われる。使用する燃料タイプや出力規模に応じた買取価格の算定や、発電所立地に関する規定を設ける等の方策が必要になるものと考えられる。

第4章 木質バイオマス燃料のサプライチェーン

4.1 木質バイオマスの供給方法

木質バイオマスの利用拡大を実現するには、需要創出と合わせた安定供給体制を構築する必要がある。木質バイオマスとなる低質な原材料は、建築用材等の高質材の収集、運搬と一体的になされることが合理的であり、それを前提とする収集、運搬、加工技術の確立を図る必要がある。

近年、木質バイオマスへの関心の高まりから、国内各地域で木質バイオマスの供給方法に関する多くの実証試験が実施されている。しかし、木質バイオマスの供給技術に関する体系的知識、情報が十分に把握されておらず、需要拡大に支え得る安定供給体制の確保には懸念がある。

そこで、課題解決していくために、これまで国内で実施されてきた木質バイオマスの供給技術に関する実証試験等の調査研究成果についてレビューし、現在の木質バイオマスの供給技術に関する状況を体系化し分析した。

4.1.1 調査方法

現在の国内における供給技術を体系化するため、平成 18～24 年度において実施された木質バイオマスの供給方法に関する実証試験等の 14 事業の調査研究成果から 174 事例を対象に、全体的な傾向を把握し分析条件を整理した。次に、分析条件に基づき供給方法を類型化し、各事例を工程区分ごとのコストとその影響因子などを抽出してデータベースを構築した。データベースを用いて類型別コストを抽出し、不適当な値を除外したうえで各分析を行った。

候補文献の選定にあたっては、数多くの文献からレビューすべきものを効果的かつ効率的に整理し絞り込む必要があるため、各省庁や都道府県等が実施してきた過去の調査報告書においてまとめられた文献をレビューの対象候補とした(図表 4-1)。

図表 4-1 レビュー対象とする報告書文献リスト

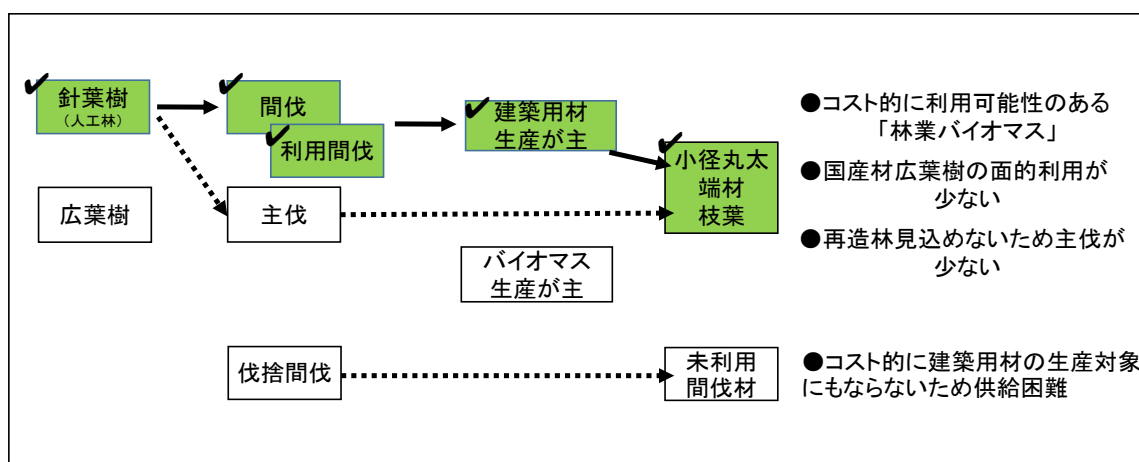
1	北海道, 平成 20 年度林地残材の効果的な集荷システムづくりモデル事業 (2009.4)
2	北海道, 平成 21 年度林地残材の効果的な集荷システムづくりモデル事業 (2010.4)
3	NEDO, 山口県, バイオマスエネルギー地域システム化実験事業 山口県全域を対象とした「総合的エネルギー地産地消社会システムの構築」実証・実験事業, 平成 17 年度～21 年度成果報告書 (2010.3)
4	NEDO, 山形県最上町, バイオマスエネルギー地域システム化実験事業 「ウェルネスタウン最上」木質バイオマスエネルギー地域冷暖房システム実験事業, 平成 17 年度～21 年度成果報告書 (2010.5)
5	栃木県環境森林部林業振興課, 平成 21 年度「緑の分権改革」推進事業 栃木県森林バイオマス (林地残材) 利用可能量詳細調査及び実証試験調査業務成果報告書 (2011.2)

6	芦別市, 平成 22 年度「緑の分権改革」推進事業 芦別市木質バイオマス有効利用実証調査業務能 量詳細調査及び実証試験調査業務成果報告書 (2011.1)
7	宮崎県環境森林部山村・木材振興課, 平成 22 年度「緑の分権改革」推進事業 効率的な木質バイオ マス収集・運搬システム実証調査事業調査報告書 (2011.3)
8	株式会社森林環境リアライズ, 平成 23 年度林野庁補助事業 先進林業機械改良・新作業システム開 発事業のうち作業システム導入支援事業報告書 (2012.3)
9	株式会社森林環境リアライズ, 平成 24 年度林野庁補助事業 先進林業機械改良・新作業システム開 発事業のうち作業システム導入支援事業報告書 (2013.3)
10	社団法人全国木材組合連合会, 平成 19 年度林野庁補助事業 木質バイオマス利活用地域モデル実践 事業成果報告書 (2008.3)
11	社団法人全国木材組合連合会, 平成 19 年度林野庁補助事業 木質バイオマス利活用地域モデル実践 事業成果報告書 (2008.3)
12	社団法人全国木材組合連合会, 平成 20 年度林野庁補助事業 木質バイオマス資源利用ニュービジネ ス創出モデル事業成果報告書 (2009.3)
13	社団法人全国木材組合連合会, 平成 21 年度林野庁補助事業 木質バイオマス資源利用ニュービジネ ス創出モデル事業成果報告書 (2010.3)
14	社団法人全国木材組合連合会, 平成 22 年度林野庁補助事業 木質バイオマス資源利用ニュービジネ ス創出モデル事業成果報告書 (2011.3)

4.1.2 全体傾向

(1) 対象林分と生産目的

対象事例の全体的な傾向として先ず挙げられることは、事例の殆どが針葉樹人工林の利用間伐における建築用材生産を主な目的とし、その際発生する小径丸太や端材、枝葉をバイオマスとして収集していることである。



図表 4-2 全体傾向 (対象林分と生産目的の概念フロー)

以上の傾向は、バイオマス生産を主目的にすると経済性の確保が困難であることを表しているものと考えられる。したがって、利用可能性のある森林系バイオマスは、建築用材収穫と付随して発生するものといえる。このことにより、切捨間伐により発生する未利用間伐材は、経済的に建築用材の生産対象にならないことが前提にあるため、供給は困難であるといえる。

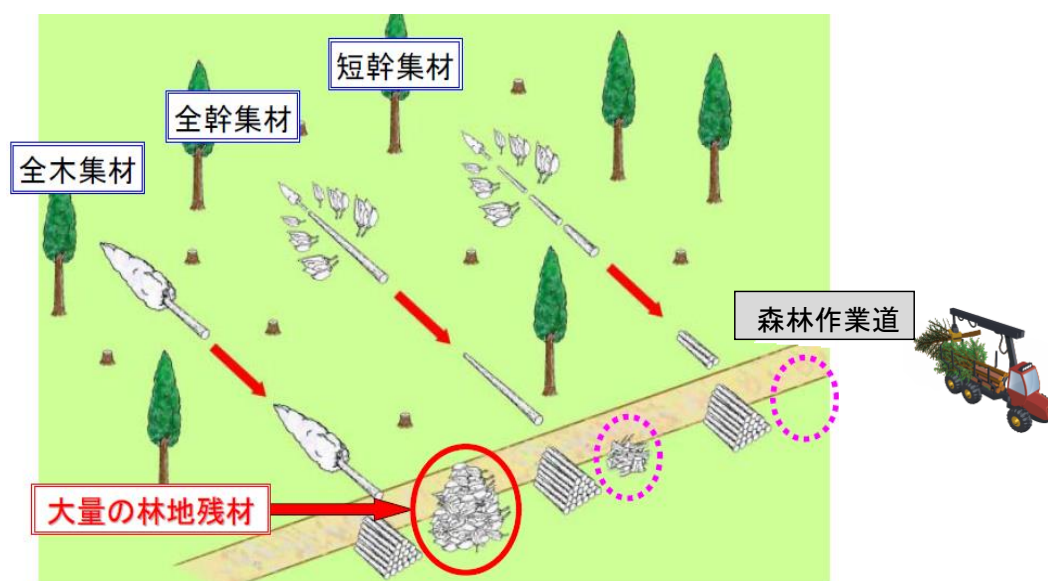
また、間伐施業による事例が多いことは、間伐政策が重視されていることや、再造林を含めた経済性が見込めないために主伐が実施されにくい状況を表している。

広葉樹が対象とならないのは、国内の木材生産が針葉樹人工林を主とし、広葉樹施業の面的利用が少ない状況が背景にあるものと考えられる。

(2) 山土場までの収集形態

次に挙げられることは、伐木位置から森林作業道までは「全木又は全幹集材」する形態がほとんどで、そのうち約7割が大型運搬車両が進入出来る基幹路網や山土場までの「搬出」工程をフォワーダ等により「短幹搬出」する方法となっていることである。

これは、低質材が林内に残置されてしまう短幹集材では、木質バイオマスの搬出が困難であることと、森林作業道を用いた車両系機械システムの普及が背景にあるものと考えられる。



図表 4-3 全体傾向（収集方法の概念図）

4.1.3 分析条件の整理と供給方法の類型化

(1) 分析条件の整理

対象文献をレビューし分析を行うためには、各文献とその事例ごとに異なる用語や工程区分の定義とコスト区分、用いられる単位などを統一させる必要がある。

そこで、本調査における①対象原料、②対象とする施業形態、③各収集工程それぞれの定義とコスト区分について条件を整理した。

① 対象原料

(a) 樹種

木質バイオマスとして供給対象となる樹種は、針葉樹、広葉樹の両樹種を想定する。

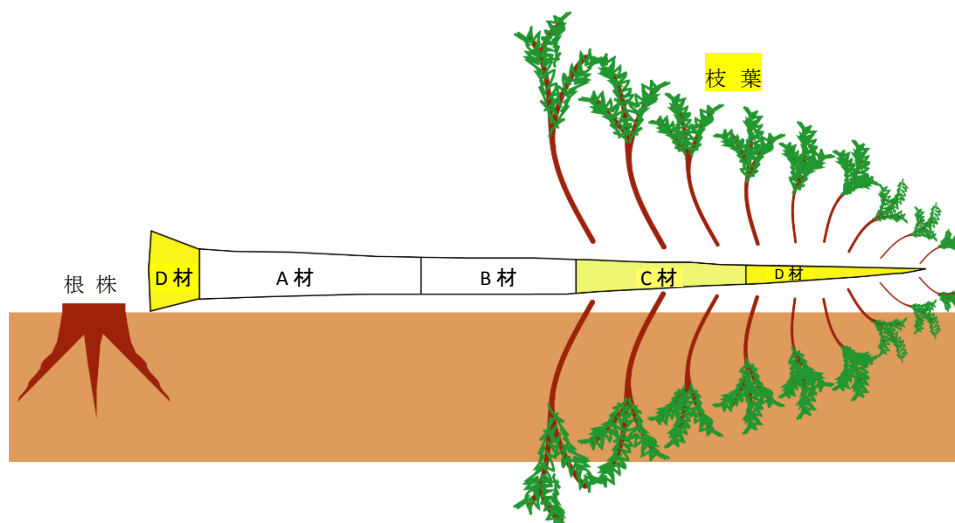
前項「全体傾向」で述べたとおり、現在の我が国の木材生産を背景に、文献における事例のほとんどが針葉樹人工林の利用間伐における建築用材生産を主な目的とし、針葉樹が主体となっている。しかしながら、広葉樹が元より薪炭利用として位置づけられてきただけでなく、今後、高齢広葉樹林の更新や、施業集約化のなかで針広一体化した利用の重要性が高まっていることなどを考慮すると、広葉樹も対象とすることが適切と考えられる。

(b) 部位

木質バイオマスとして供給対象となる部位は、「丸太」「端材」「枝葉」として区分し想定するとともに、以下のとおり定義する。

「丸太」は、製紙・パルプ用材やそれ以下の小径木を意味し、いわゆる「C材」と呼ばれる部位とする。「端材」は、本木やタンコロ等と呼ばれる根本部と、末木を指す梢端部の両樹幹とし、地域により呼称の定義が異なる実態もあるが、いわゆる「D材」と呼ばれる部位とする。「枝葉」は枝条を指すものとした。

なお、北欧諸国でみられる根株の利用は、土類の未燃分混入と土壌保全防止の観点から対象としないものとした。



図表 4-4 針葉樹・材種区分の概念図

② 対象とする施業形態

木質バイオマスの供給対象となる施業形態は、針葉樹利用間伐と針広主伐を想定する。

前項「全体傾向」で述べたとおり、利用可能性のある森林系バイオマスは、建築用材収穫と付随して発生するものといえ、切捨間伐は対象としないことが適切と考えられる。

特に、本調査で対象とした文献では、現在の我が国の木材生産実態を背景に、対象事例

のほとんどが針葉樹人工林の利用間伐であることが前提となっている。

③ 各収集工程の定義とコスト区分

(a) 各収集工程の定義

木質バイオマスの供給工程を定義するためには、従来までの建築用材を主とした木材の原木素材を生産する工程を含め、様々な形態や異なる呼称を見極め、一定の概念に整理する必要がある。

まず、森林施業地において原材料をチップ工場まで移出可能な起点場所、又は森林施業地においてチップ加工した後にチップを移出可能な起点場所を「山土場」として定義した。このことは、木質バイオマスの収集工程を考える上で、対象となる原材料の容積密度が著しく低いという性状特徴を踏まえ、チップ加工する場所の違いがコストに影響する大きな要素の一つと想定されるため重要である。

次に、立木の伐木から造材するまでの工程を「集材」とした。林道や一次土場、林縁部に設置する土場までの収集工程を一括りに集材と呼ぶ場合や、林内の伐木位置から路網までを「木寄せ」と呼ぶ場合もあるが、全木又は全幹集材によりバイオマス対象部位がその他の木材部位と一緒に移出される前提となるため、コスト区分を考慮する上で明確化した。したがって、本調査において定義する「集材」の意味は、①伐木場所から森林作業道までの木寄せ工程、又は②伐木場所から全木又は全幹集材のまま基幹路網沿い又は山土場まで移出する工程となる。

第三に、造材場所から基幹路網までの移出工程を「搬出」とした。具体的な工程内容は、高密度路網による車両系機械作業システム又はスイングヤードなどの架線機械との組合せによって、森林作業道で造材して発生した小径丸太や端材、枝葉を林業専用道や林道までフォワーダなどの車両機械で移出する内容となる。したがって、スキッドなどの車両機械やタワーヤードなどの架線機械で基幹路網沿いに全木又は全幹集材する作業システムの場合は、「搬出」工程は省かれることを意味している。

次に、原材料をチップ加工場所へ移出する工程を「運搬」とし、チップ加工場所からボイラなどの利用場所への移出工程を「チップ運搬」とした。

(b) コスト区分

木質バイオマスの供給コストを定義するための区分として、伐木、集材、造材までの工程などは建築用材生産コストによるものとし、搬出、運搬、チップ加工、チップ運搬を木質バイオマスの収集コストとした。このことは、前項までに述べた通り、現在の国内における木質バイオマスの利用可能性を背景に区分するものである。そのため、今後、未利用となっている広葉樹や切捨間伐材を対象に木質バイオマス生産を主として想定する場合においては、異なったコスト区分を検討する必要がある。

④ その他（単位の統一）

評価・分析する上で、対象文献における各事例の記載のうち、異なる材積や含水率で表してものを、全て質量ベースの生トンとして 55%w.b として統一した。その際、原木材積から質量生トンへの変換係数を 0.8 とし、チップ材積から質量生トンへの変換係数を 0.3 とした。

(2) 供給方法の類型化

前項「分析条件の整理」を踏まえて、現在の国内における木質バイオマスの供給方法を類型化した。

① 全体類型

第一に、供給対象とする原料の性状別範囲を①丸太のみとする場合、②丸太と端材までとする場合、③丸太、端材、枝葉までとする場合の 3 ケースで区分した。

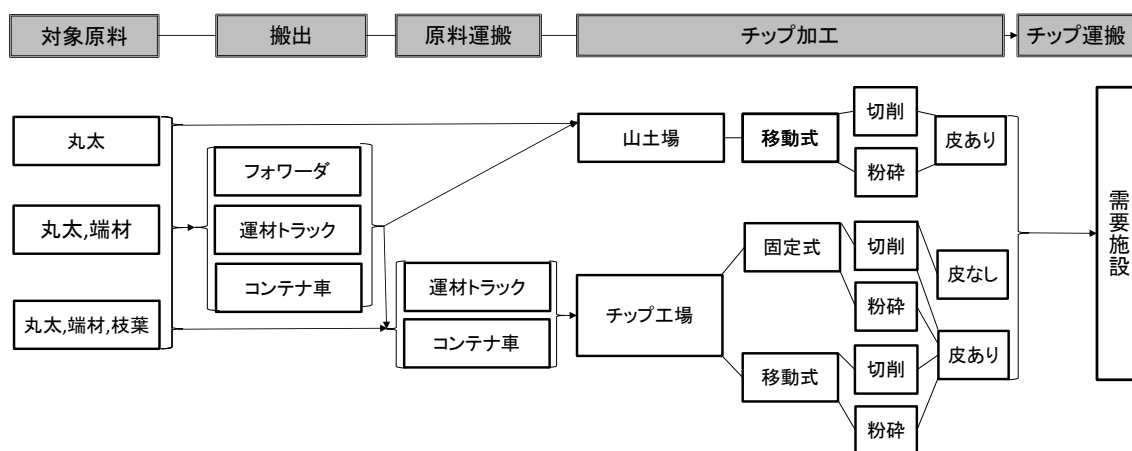
第二に、伐採地点又は造材地点からチップ加工や原料として運搬が可能となる「山土場」までの「搬出」を、①搬出が無い場合、②フォワーダを用いる場合、③トラック（運材トラック又コンテナ車）を用いる場合の 3 区分を設定した。

第三に、「運搬」は①山土場でチップ加工するため「なし」の場合、②運材トラックを用いてチップ工場まで運搬する場合、③コンテナ車を用いる場合の 3 区分とした。

第四に、「チップ加工」については、①加工場所（山土場 or チップ工場）、②使用機械タイプ（移動 or 固定式）、③使用機械タイプによるチップ形状 I（切削 or 粉碎）、④使用機械タイプによるチップ形状 II（皮あり or 皮なし）で区分した。

最後に、チップ加工場所から需要施設までを「チップ運搬」工程とした。

以上による類型数は、「使用機械タイプによるチップ形状 II（皮あり・皮なし）」を細分化しない場合で 90 類型となり、対象原料の 3 区分を細分化しない場合で 30 類型である。類型化を図表 4-5 に図示する。また、類型表としてまとめたものを図表 4-6 に示す。



図表 4-5 現在の国内における木質バイオマス供給方法の類型図

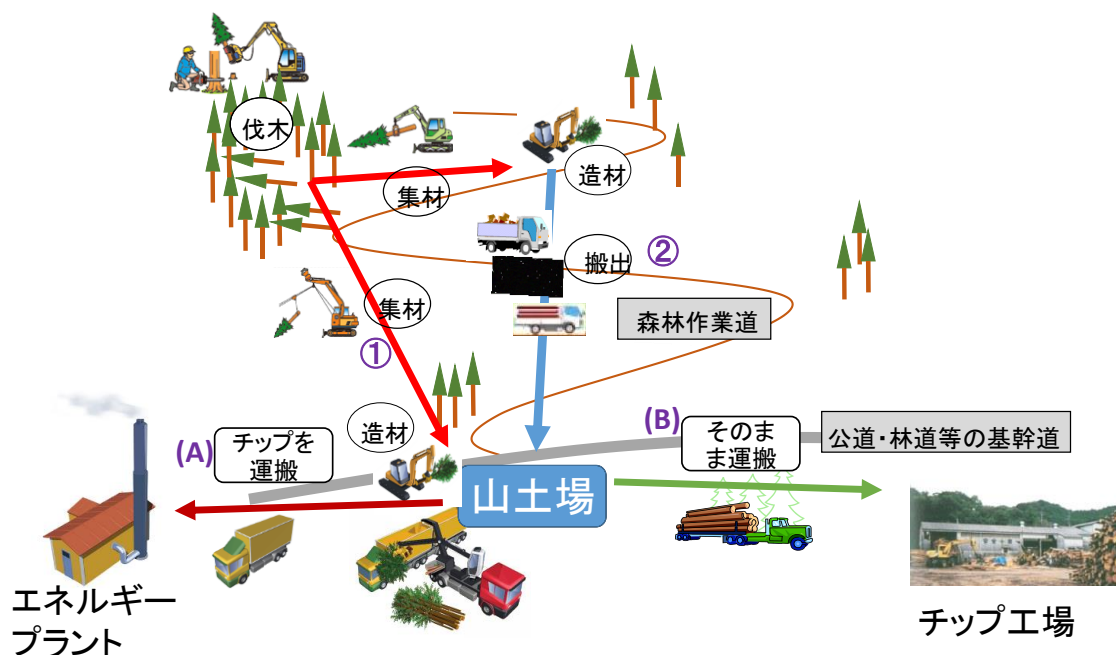
図表 4-6 木質バイオマス供給方法の類型表

No	対象原料	搬出	原料運搬	チップ加工			チップ運搬	
				加工場所	機械タイプ	樹皮有無		
1	<3 ケース区分> 1 丸太のみ 2 丸太+端材 3 丸太+端材+枝葉	-	-	山土場	移動式・切削	皮あり 皮なし	コンテナ車	
2					移動式・粉砕			
3			運材トラック	チップ工場	固定式・切削			
4					固定式・粉砕			
5					移動式・切削			
6					移動式・粉砕			
7			コンテナ車	チップ工場	固定式・切削			
8					固定式・粉砕			
9					移動式・切削			
10					移動式・粉砕			
11			フォワーダ	-	山土場			移動式・切削
12								移動式・粉砕
13		運材トラック		チップ工場	固定式・切削			
14					固定式・粉砕			
15					移動式・切削			
16					移動式・粉砕			
17		コンテナ車		チップ工場	固定式・切削			
18					固定式・粉砕			
19					移動式・切削			
20					移動式・粉砕			
21		トラック		-	山土場			移動式・切削
22								移動式・粉砕
23			運材トラック	チップ工場	固定式・切削			
24					固定式・粉砕			
25					移動式・切削			
26					移動式・粉砕			
27			コンテナ車	チップ工場	固定式・切削			
28					固定式・粉砕			
29					移動式・切削			
30					移動式・粉砕			

② 大別 4 類型

全体類型を山土場までの「搬出なし」の場合(図表 4-7 の(1))と「搬出あり」の場合(図表 4-7 の(2))、山土場から「原料を運搬」する場合(図表 4-7 の(B))と、「チップに加工して運搬」する場合(図表 4-7 の(A))を想定すると、4 類型に大別されることがわかる。

このことは、木質バイオマスの発生場所とチップ加工場所により大別が異なることを意味する。以上の概念を図表 4-7 に図示する。



図表 4-7 国内における現在の木質バイオマス供給方法の大別類型

(3) データベースの構築

類型化に基づき、レビュー対象とした文献における各事例を抽出しデータベースを構築した。

レビュー対象となる事例数は 174 事例であった。また、あらかじめ類型化した供給方法の他に、枝葉を含めた原料の搬出や運搬コストを低減させるためバンドラーを用いたケースが 2 事例あった。また、山土場でチップ加工するケースで、製紙・パルプ用チップを製造するため、破砕機とともにリバーカー（皮剥機）を搬入し皮なしチップを製造する事例が 2 事例あった。

(4) 類型別コストの抽出と不適当な値の除外

① 不適当な値の除外

データベースの構築により類型別コストの抽出が可能となったデータ 174 事例のうち、特異な算定条件となっているなど、平均的値と大きく異なり、共通の物差しで分析するのは不適当と考えられる事例が存在した。それらを評価・分析に不適当な値と判定して除外するとともに、先進的手法によりコスト影響がある事例を抽出した。総体的な印象として、調査事業という性質上、作業に対して最適な機械や作業システムを採用していないことや、最適な作業システムを組むためにリース等で割高な機械費を計上していることが、全体のコストを押し上げる要因として働いていると考えられる。例えば、本来であれば 0.45 クラスのベースマシンでの作業が適切と考えられる現場にも関わらず、所有している機械が 0.3 クラスなので、それを使ったために作業が効率的に実施できない等の状況が想定される。また、調査事業で新規に使用する機械や作業システムに対して作業員の熟練度が低く、機械や作業システムの性能を最大限に生かせない事例も考えられる。

類型化の対象である 174 件の実証試験等の調査研究成果から、特異なコスト要因についての記述の一部を下記に示す。不適当な値を除外したデータ件数は、120 事例となった。

例)○「引用文」(調査元(発行年)タイトル. 頁数)

原料生産に関する特異値の記述
○「伐木工程では本来プロセッサが受け持つべき枝払いを人力で手間をかけて実施した」(全国木材協同組合連合会(2011)平成 22 年度林地残材フル活用実証事業. pp116)
○「中間土場までの残材輸送や、現地破碎の労務費・移動式破碎機の減価償却費が主な要因となって、コスト高となる」(宮崎県(2011)平成 22 年度効率的な木質バイオマス収集・運搬システム実証調査事業. pp17)
○「用材搬出が赤字となった原因としては、高性能林業機械を用いてはいるが、このような集材・搬出作業をこの実証試験で初めて行った現場であるため、作業員が高性能林業機械による作業に習熟していなかったことが考えられる」「施業面積が小規模であったことと、林外の土場から林道端の土場まで 1,500m を超えるフォワーダ運搬が必要であった」(全国木材組合連合会(2009)平成 19 年度木質バイオマス利活用地域モデル実践事業. pp50-51)

チップ化に関する特異値の記述
○「破碎費用に関しては、糸井地区は樽前地区に比べて約 1.5 倍の単価となった。この理由の一つとして、糸井地区の原料は枝がメインであり、樽前地区は原木がメインであった事の差が考えられる」(全国木材組合連合会(2008)平成 19 年度木質バイオマス利活用地域モデル実証事業. pp24)
○「破碎機のリース料が 1 日 16 万円とかなり高く付いたが、これは処理量が少なくリース料が割高になったためである。」(全国木材組合連合会(2008)平成 19 年度木質バイオマス利活用地域モデル実証事業. pp28)
○「移動式破碎機による破碎コストが補助無の場合に 12,905 円/生重量t(うち、移動式破碎機のリース代が 8,866 円/生重量tと高額になったことが挙げられる。」「移動式破碎機のリース代が高額であることがネックとなり、1/2 助成を考慮しても現状では赤字である」(全国木材組合連合会(2008)平成 19 年度木質バイオマス利活用地域モデル実証事業. pp98,103)
○「自走式木材破碎機を(BR120-T)を購入して実施する場合には、破碎費用は格段に安くなるを考える。」(全国木材協同組合連合会(2009)平成 20 年度木質資源利用ニュービジネス創出モデル実証事業. pp209)

② 類型別データ件数とコスト状況の抽出結果

類型別件数とコスト状況の抽出結果を図表 4-8 に示す。

対象原料別の該当数は、「丸太のみ」12 件、「丸太、端材」62 件、「丸太、端材、枝葉」46 件であった。対象文献では、基本的には過去の実証を目的とした事業であるため、端材又は枝葉まで対象とする場合が多くなっている。

4.1.4 類型別コスト分析

(1) 総コスト

① 対象原料による総コストの違い

全 120 事例の搬出からチップ運搬までの平均総生産コストは、生チップトンあたり 13,080 円であった。対象原料範囲の類型別での事例数と総コストについて図表 4-9 に示す。

平均総コストで「丸太のみ」10,820 円、「丸太+端材」13,096 円、「丸太+端材+枝葉」13,969 円となり、容積密度が低く嵩張る原料を生産対象にするほど生産コストが増すことが分かる。

全体を通じて、最高コストは「丸太+端材+枝葉」の 30,998 円の実例もあり、対象原料の範囲により生産コストは大きく異なっている。ただし、「丸太+端材+枝葉」の場合でも最低コストは 7,714 円の実例もあり、ケースによって大きなバラツキがあることも特徴である。

図表 4-9 対象原料別での事例数と総コスト

類型 (対象原料範囲)	事例数	(円/生チップt) 総コスト		
		最低	最高	平均
丸太のみ	12	7,177	17,500	10,820
丸太+端材	62	7,114	20,450	13,096
丸太+端材+枝葉	46	7,714	30,998	13,969
合計	120	7,114	30,998	13,080

最少コストの「丸太+端材」の 7,114 円の実例は、ハーベスタ造材後に梢端部までの原料をフォワーダ搬出し、山土場から 4t 運材トラックで集積土場まで運搬した後、移動式切削タイプによりチップ加工している。各工程別コストで平均より若干低い値であるが、特にチップ加工コストが 1,600 円と比較的低位であることが、総コスト抑制の大きな要因となっている。なお、チップ加工は海外製機械を使用しており、製造能力は実測値で 1 時間あたり 25 トン以上を処理している。

一方で、最高コストとなった「丸太+端材+枝葉」の 30,998 円の実例は、フォワーダで搬出とコンテナ車によりチップ工場まで運搬している。また、チップ加工は海外製の移動式粉砕タイプの機械を使用している。枝葉を含む搬出及び運搬能力が低く 12,917 円と高額であり、さらに、チップ加工コスト 13,725 円とチップ運搬コスト 4,356 円が加算されている。チップ加工機械の定格処理能力は 5m³/h と低く、原料の詰まりなどで実測値はさらに低いことがコスト高の要因となっている。

② 対象原料とチップ加工場所による総コストの違い

対象原料別でのチップ加工場所の違いによる総コストの結果を図表 4-10 に示す。

全 120 事例うちチップ加工場所が「山土場」の事例が 20 件、平均総コストは生チップトンあたり 13,163 円であった。「チップ工場」の事例は全事例の 8 割以上となる 100 件であり、平均コストは 12,981 円で「山土場」でチップ加工する場合よりも若干低い結果となった。

一方で、対象原料別の内訳をみると、「丸太のみ」と「丸太+端材」の場合では、「チップ工場」でチップ加工した方が低コストであり、「丸太+端材+枝葉」の場合のみ「山土場」でチップ加工した方が低コストとなっている。

全平均でみた場合には、特に原料が高張る「丸太+端材+枝葉」を対象とした場合で表れているように、原料運搬コストが省ける「山土場」でのチップ加工の優位性が認められる。しかし、「丸太のみ」と「丸太+端材」では「チップ工場」でチップ加工した方が低コストであり、必ずしもその優位性が発揮されない要因があるものと考えられる。

このことは、後述するチップ加工コストについてでもふれるが、チップ加工機械の違いによる技術的要因が大きいものと考えられる。

図表 4-10 対象原料とチップ加工場所の違いによる事例数と総コスト

(円/生チップt)

類型 (対象原料範囲)	チップ加工場所							
	事例数	山土場			事例数	チップ工場		
		最低	最高	平均		最低	最高	平均
丸太のみ	3	9,982	17,500	12,667	9	7,177	11,512	9,713
丸太+端材	5	14,400	20,450	16,933	57	7,114	20,308	12,585
丸太+端材+枝葉	12	7,714	19,711	11,952	34	8,448	30,998	14,315
合計	20	7,714	20,450	13,163	100	7,114	30,998	12,981

(2) 工程別コスト

① 搬出コスト

搬出工程の類型別事例数と搬出コストを図表 4-11 に示す。

全 120 事例のうち、対象原料の範囲を問わず伐木現場から森林作業道上まで全木又は全幹集材し、造材後にフォワーダを用いて山土場まで短幹で搬出する形態が 69 事例で約 58%を占めている。同様に、集材・造材場所からトラックを用いて短幹で山土間まで運搬する 16 事例を合わせると、短幹(又は端材・枝葉を含む)による搬出を伴う事例が約 71%となる。

なお、4.1.3「分析条件の整理と供給方法の類型化類型化」で述べたとおり、スキッドなどの車両機械やタワーヤードなどの架線機械を基幹路網沿いが元になり全木又は全幹集材する作業システムの場合は、「搬出」工程は省かれ「搬出なし」としている。

上記約 71%を占める 85 事例の「搬出がある場合」の全平均搬出コストは、生チップトンあたり 4,170 円であった（「フォワーダ」4,127 円、「運材トラック or コンテナ車」4,272 円）。

また、対象原料の範囲別での特徴としては、「丸太のみ」の場合では「運材トラック or コンテナ車」よりも「フォワーダ」の方が低コストとなっており、逆に、「端材」と「枝葉」を生産対象範囲に広げた場合は、「運材トラック or コンテナ車」の方が「フォワーダ」よりも低コストとなっている。

搬出方法とそのコストは、地形、路網整備、機械配備などの施業条件に左右するが、対象原料の範囲に応じて能率的な車両の選択が異なることが表れている。

図表 4-11 搬出工程の類型別事例数とコスト

類型 (対象原料範囲)	事例数	搬出工程なし			フォワーダ			運材トラックorコンテナ車				
		最低	最高	平均	事例数	最低	最高	平均	事例数	最低	最高	平均
丸太のみ	2	0	0	0	9	417	5,370	2,287	1	4,365	4,365	4,365
丸太+端材	11	0	0	0	46	1,093	10,328	4,660	5	864	5,625	3,565
丸太+端材+枝葉	22	0	0	0	14	1,958	7,959	5,094	10	1,685	7,505	4,678
合計	35	0	0	0	69	417	10,328	4,127	16	864	7,505	4,272

② (原料) 運搬コスト

原料の運搬工程の類型別事例数と運搬コストを図表 4-12 に示す。

全 120 事例のうち、対象原料の範囲を問わず山土場でチップ加工を行わず、チップ工場まで運搬している事例が 100 事例で約 83%を占めている。

上記約 83%を占める 100 事例の「運搬がある場合」の全平均搬出コストは、生チップトンあたり 3,360 円であった（「運材トラック」3,018 円、「コンテナ車」3,515 円）。

また、対象原料の範囲別での特徴としては、「運材トラック」を用いる場合が 67 事例で「丸太のみ」と「丸太+端材」の場合は「コンテナ車」を用いる場合より多くコストも低くなっている。また、「コンテナ車」を用いる場合が 33 事例で「枝葉」までを対象とする場合は「コンテナ車」を用いる場合が多くなり、コストも低くなっている。

運搬方法とそのコストは、原料種類（容積密度）、積載量などに左右され、対象原料の範囲が高張る枝葉の場合は、コンテナ車が優位となる結果となった。

図表 4-12 運搬工程の類型別事例数とコスト

類型 (対象原料範囲)	事例数	原料運搬工程なし(=山土場チップ加工)			運材トラック			コンテナ車				
		最低	最高	平均	事例数	最低	最高	平均	事例数	最低	最高	平均
丸太のみ	3	0	0	0	7	1,500	3,500	2,464	2	2,489	3,418	2,954
丸太+端材	5	0	0	0	45	1,021	17,897	2,504	12	1,571	4,907	3,172
丸太+端材+枝葉	17	0	0	0	15	1,670	6,366	3,922	19	750	7,778	3,810
合計	25	0	0	0	67	1,021	17,897	3,018	33	750	7,778	3,515

③ チップ加工コスト

チップ加工工程の類型別事例数とコストをに示す。

チップ加工コストは、99 事例を分析対象とした。全体平均は生チップトンあたり 4,254 円であった。加工場所別では「山土場」でチップ加工する場合は 18 事例に止まっており平均コストも 6,286 円と高くなっている。一方で「チップ工場」の場合は 81 件で 4,418 円であり大きく異なる。

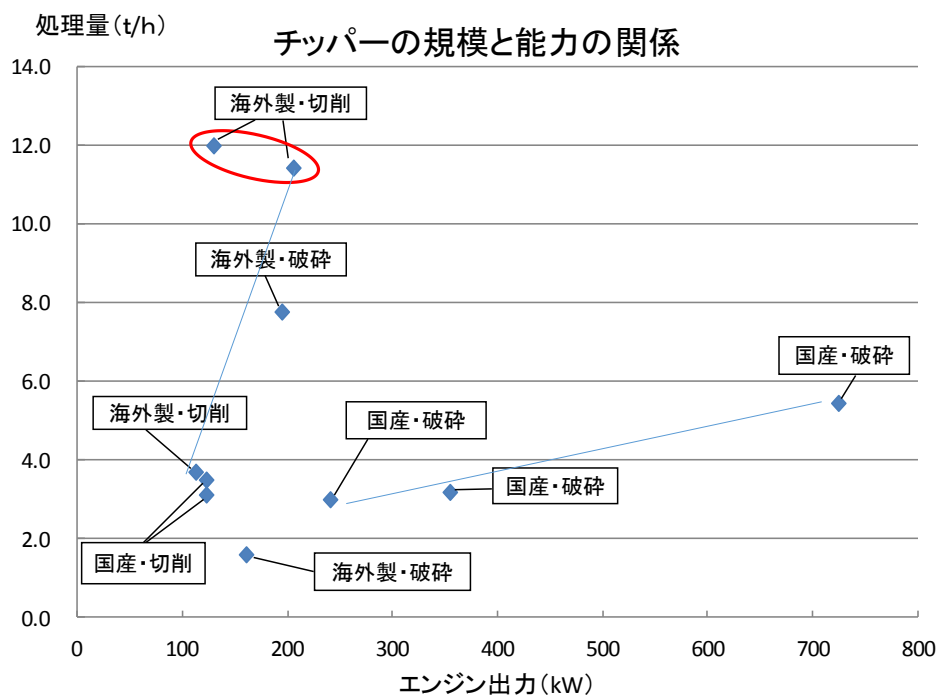
次に、機械タイプⅠの「移動式」と「固定式」の違いでみると、大きなコスト差は見られないが、機械タイプⅡの「切削式」か「粉砕式」の違いでみると、「切削式」の方が低コストとなっている。

今調査で評価分析した結果からは、各調査地域に存在するチップ工場との協力により調査研究している場合が多く、製紙・パルプ用のチップ製造設備を用いる事例が多い。

合わせて、原料運搬コストをカットすることが期待される「山土場での移動式」チッパーを用いた実証試験も多く行われているが、コスト結果にバラつきが多く、有効な使用技術の分析が必要と言える。移動式チップ加工機械の規模と処理能力との関係を図表 4-14 に示す。国産破砕式機械の場合、エンジン出力規模 240kW 程度から 730kW 程までの処理能力は 3t/h から 5.5t/h 程まで、ゆるやかに比例していることが分かる。一方で一部の海外製切削式機械では、120kW から 200kW の比較的小出力のものでも 12t/h 程度と国産破砕式機械の倍以上の処理能力を持っている。

図表 4-13 チップ加工工程の類型別事例数とコスト

				(円/生チップt)			
加工場所	類型			事例数	チップ加工コスト		
	機械タイプⅠ	機械タイプⅡ	皮剥		最低	最高	平均
山土場				18	1,564	10,615	6,286
	移動式	切削	なし(皮あり)	1	3,688	3,688	3,688
		粉砕	なし(皮あり)	17	1,564	10,615	5,950
チップ工場(中間土場含む)				81	1,000	13,725	4,418
	固定式	切削	あり(皮なし)	29	1,000	9,400	4,115
		粉砕	なし(皮あり)	20	1,350	12,000	4,734
	移動式	切削	なし(皮あり)	4	2,500	7,924	3,856
		粉砕	なし(皮あり)	28	1,600	13,725	4,969
合計				99	1,000	13,725	4,254



図表 4-14 移動式チップ加工機械の規模と処理能力との関係

④ チップ運搬コスト

レビューした事例の中で、チップ化後に需要先まで運搬を行っている事例に着目し、さらに詳細な分析を行った。チップ状態で運搬を行っている事例は 58 件で、このうち 55 件は車両による運搬、3 件が船舶による運搬であった。

生チップトンあたり 5,000 円以上の運搬コストについては特異値とした。理由としては「宮崎県「緑の分権改革」推進事業 平成 22 年度効率的な木質バイオマス収集・運搬システム」での試算に代表されるように、最大積載量に対して試験での積載量が小さく、5,000 円/生:チップt以上になっているものがある。また、一部加工コストが算入されているものや、船舶による輸送が行われるものも、車両運搬を行う事例との比較が困難であるため、特異値として除外している。これら 8 件を除く、50 件を輸送距離に応じて分析した結果を下記に示す。

図表 4-15 輸送距離別のチップ運搬コスト抽出結果

(円/生チップt)

輸送距離	件数	最小コスト	最大コスト	平均コスト
49km 以下	19	781	3,239	2,065
50~99km	16	1,125	4,200	3,263
100km 以上	11	2,000	4,013	3,313

この結果、輸送距離が長くなるにつれてコストが増しているのがわかる。一方で、輸送距離が100km以上になっても、2,000円/生チップtでの輸送が可能な例もあり、チップの輸送コストに関しては今後も改善の余地があると考えられる。

そこで、各最小コストと最大コストについてさらに分析する。

輸送距離49km以下の最小コストは「平成22年度林地残材フル活用実証事業」の岡山大建工業(株)の事例で、チップ運搬車にて30kmを運搬している。詳細なコストの内訳に関する記載はなかったものの、林道端でのチップ化であったために、大型トラックが入り易く稼働率が高かったことが要因と考えられる。輸送距離49km以下の最大コストは「宮崎県「緑の分権改革」推進事業 平成22年度効率的な木質バイオマス収集・運搬システム」の事例で、10tフックロール車にて9kmを運搬している。詳細なコストの内訳に関する記載はなかったものの、特異値として除外した事例と同じ事例であることから、最大積載量に対して過小な積載だった可能性がある。

次に、輸送距離50～99kmの最小コストは「平成21年度木質資源利用ニュービジネス創出モデル実証事業」の岡山大建工業(株)の事例で、15tトラックにて65kmを運搬している。詳細なコストの内訳に関する記載はなかったものの、輸送距離49km以下の最小コスト時と同様、比較的広い場所でのチップ化であったために、大型トラックが入り易く稼働率が高かったことが要因と考えられる。輸送距離50～99kmの最大コストは「平成20年度 林地残材の効率的な集荷システムづくりモデル事業」の事例で、11tのチップ専用車にて50kmを運搬したとして試算している。ここでのコストは実測値ではないと考えられるが、販売単価や輸送距離の想定を明確にした上での試算であり、特異値とはせず評価している。

輸送距離100km以上の最小コストは「平成21年度木質資源利用ニュービジネス創出モデル実証事業」の岡山大建工業(株)の事例で、15tトラックにて160kmを運搬している。詳細なコストの内訳に関する記載はなかったものの、輸送距離49km以下の最小コスト時と同様、比較的広い場所でのチップ化であったために、大型トラックが入り易く稼働率が高かったことが要因と考えられる。輸送距離100km以上の最大コストは「平成22年度林地残材フル活用実証事業」の岡山大建工業(株)の事例で、50m³のチップ運搬車で154kmを運搬している。詳細なコストの内訳に関する記載はなかったため原因は判然としないが、輸送距離が延びたことが主な理由と考えられる。

以上が今回分析したチップ運搬コストの結果であるが、類型化した全事例数に占めるチップ運搬コスト算出の割合は33%と低く、チップ運搬コストを明記した事例の多くもコストの内訳等の分析はなされていなかった。

また、今回の類型に用いた文献以外にもチップ運搬に関して言及された報告がある。「岩手県林業技術センター 研究成果速報」のNo.172では山土場、No.189ではチップ工場、No.195では専用土場から需要地までのチップ運搬コストの試算がされており、運搬距離を30kmの場合、それぞれのチップ運搬費は山土場からで約2,900円/生チップt、チップ工場からで約1,500円/生チップt、専用土場からで約2,000円/生チップtとなっている。

4.1.5 新技術の動向

森林系木質バイオマスは、その供給コストの高さから多くが未利用であり、林内に放置されてきた。枝葉等の林地残材は容積密度が低いため、各供給工程における経費が増大することが主たる要因と考えられる。

未利用の森林系木質バイオマスの供給量を増やすためには、容積密度の低い端材や枝葉をいかに効率的に搬出するかが重要である。そこで、効率的な木質バイオマスの供給方法として可能性のある技術について考察する。

(1) 林地残材の現地破碎用車両搭載式チップパー

林地残材の燃料化に際して輸送費は欠くことのできない要素であり、その低減化が求められる。先述したとおり、林地残材の状態では容積密度が低く、運搬時にも大きな課題となる。そこで、対象原料を森林作業道や林業専用道、または山土場でチップ化することが出来れば、原料運搬コストが低減できる。しかし、これまでの移動式チップパーではチップパー本体の搬送にコストがかかっており、稼働率を高めながら機動的に運用することが困難であった。

そこで、車両搭載式のチップパーの導入が考えられる。車両搭載式チップパーは一般道の走行が可能ため、作業進行状況等に柔軟に対応できる。また、現在、国内で販売されている車両搭載式チップパーは、傾斜に弱く、十分に整地された土地に限定されるという点で改善の余地が残るが、仕様によると処理能力が 100m³/h と高く十分なコスト低減につながると考えられる。



出所：緑産株式会社（左）、日本フォレスト株式会社（右）

図表 4-16 車載式高能率チップパー

(2) バイオマス対応搬出車両

搬出コストの低減を目的に使用されるのがバイオマス対応のフォワーダである。走行性や作業速度、積載容量をより改善していくことが求められるが、既存の運材車やフォワーダの荷台に油圧シリンダによって側壁が拡張・収縮する圧縮機能を加えることにより、かさ張るバイオマスを圧縮して積載量を増やすことができ、丸太と端材、枝葉の両方の積載に対応した搬出車両である。

搬出作業の試験を行った例を示すと、用材搬出は既存の集材車両と同等の性能を有している一方、端材や枝葉の搬出では既存の集材車両に比べて積載量は約 2 倍(3.86t-wet)に、生産性は約 1.2 倍(3.68t-dry/時)になるなど、バイオマス搬出において高い作業性能を有することが明らかになっている。



出所：株式会社諸岡

図表 4-17 バイオマス対応型フォワーダ

4.1.6 まとめ

本調査における森林系木質バイオマスのチップ供給総コストは、生チップトンあたり平均 10,094～13,747円であった。このコスト水準は、海外に比べて3000円前後コスト高であり、発電事業を対象とした場合の供給価格は生チップトンあたり10,000円以下でないと困難であると考えられ、コスト低減を果たす技術的な解決が必要である。

また、マテリアル利用との競合を避けるためには、端材や枝葉の活用が有効であるが、生チップトンあたり平均 3,000円程度コスト高になる為、原料の搬出やチップ加工技術の改善が求められる。

供給コスト削減には、チップ加工の生産性向上が重要であり、特に山土場でのチップ加工に有効な切削型で処理効率が高い機械の運用が有効である。

また、全木に近い状態で路網まで集材する作業システムが有効であるが、山土場で造材する方法により搬出コストを省けるため、作業システムの改善・技術開発が必要である。

4.2 木質バイオマスの乾燥方法

木質バイオマスの取扱いの難しさに高含水率が挙げられる。図表 4-18 に国内主要樹種の生材含水率を、図表 4-19 に樹皮、鋸屑の含水率年間変動の例を示す。スギの場合、辺材部では総量の 70%近くを水で占められる場合もある。また、樹皮では降雨や降雪による外的要因で含水率が增加する場合があることがわかる。木質バイオマスを生の状態で運搬や燃焼させることは利用効率の低下につながることから、その解決には適切な乾燥操作の導入が望まれる。ボイラ直接燃焼における乾燥燃料の使用は、ボイラ効率の向上のみならず、蒸気発生量の増加、補助電力及び燃料消費量の低減、排ガス量の低減(低エミッション)、ボイラ運転の改善につながる。

本節では、含水率の定義、乾燥方法の事例などを述べる。

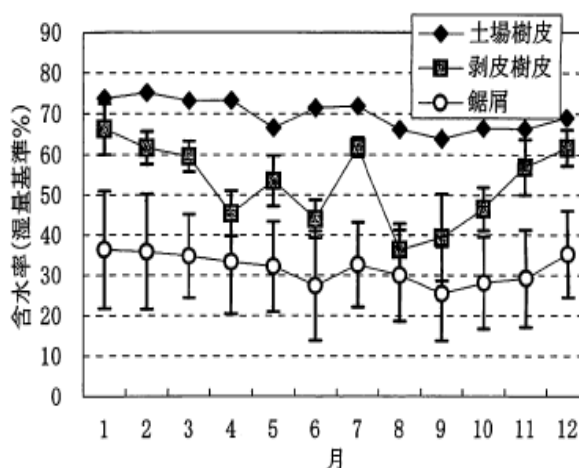
図表 4-18 本産主要樹種の生材含水率の例

樹種	含水率(%)	
	辺材	心材
スギ(1)	61	35
スギ(2)	57	35
スギ(3)	70	58
ヒノキ(1)	60	25
ヒノキ(2)	67	30
アカマツ	59	27
トドマツ	64	37
コナラ	43	40
ケヤキ	47	44
ブナ	47	49
カツラ	55	43
トチノキ	55	62

※出所: 森林総合研究所編, 木材工業ハンドブック, 丸善(2004)

図表 4-19 樹皮、鋸屑の含水率年間変動

(アカマツ、エゾマツ、カラマツの平均値)



※出所: 田辺克司, 水元克夫, 高橋理平, 富山木研研報, No.2, 1-10 (2010)

4.2.1 含水率 (水分) の定義

(1) 乾量基準含水率と湿量基準含水率

木材を取り扱う際に注意すべき点の一つに、用途によって二通りの含水率が存在することである。二通りの含水率とは湿量基準含水率と乾量基準含水率であり、以下の式によって求められる。

湿量基準含水率(水分) (M (%))

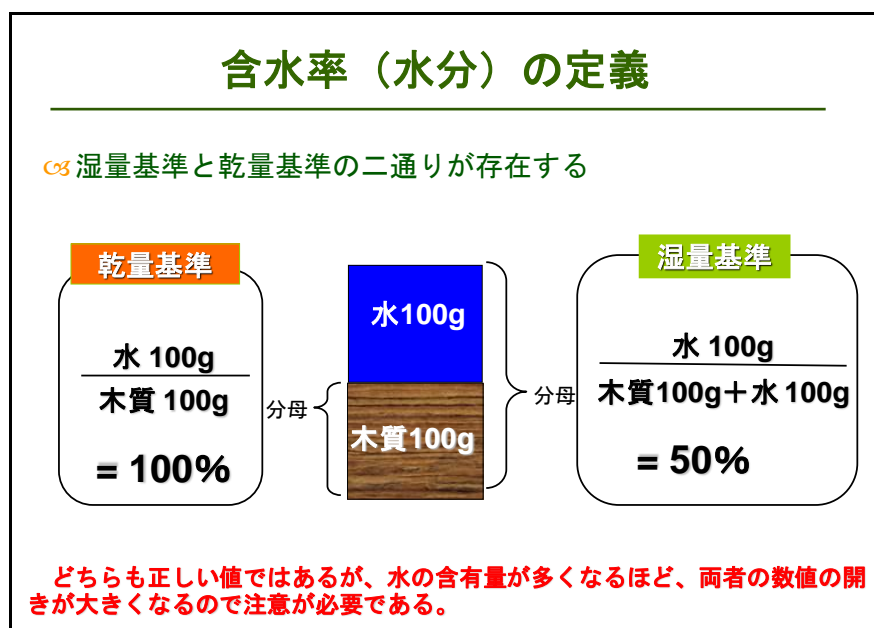
$$M = W_w / (W_o + W_w) \times 100 = U / (100 + U) \times 100 \quad (\%)$$

乾量基準含水率(含水率) ($U(\%)$)

$$U = W_w / W_o \times 100 = M / (100 - M) \times 100 \quad (\%)$$

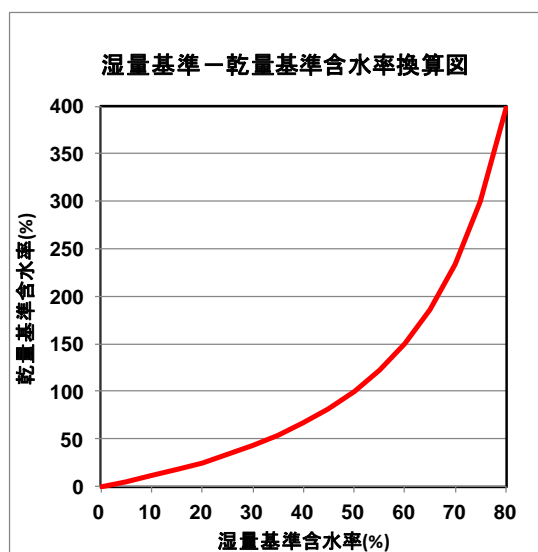
W_w : 試料中の水重量、 $W_o + W_w$: 乾燥前の原料重量、 W_o : 乾燥後の原料重量(全乾重量)

湿量基準含水率は総量基準で示されるため、その時点の水の含有量を把握し易いのに対して、乾量基準含水率は分母が変わらないため、乾燥前後の水の減少を定量的に把握し易い特徴がある。木質バイオマス利用の現場においては、両基準が混在しているため、原木等の入手にあたってはどちらの基準であるか確認しないと、大きな誤解を生じる可能性がある。そのような背景から、「4.3 燃料用木質チップ品質規格」では湿量基準含水率が採用されている。また名称の混同を避けるために、湿量基準含水率を「水分」、乾量基準含水率を「含水率」と区別している。詳しくは 4.3 を参照願いたい。



図表 4-20 含水率の定義

図表 4-21 に湿量基準含水率と乾量基準含水率との相関を示す。高含水率ほど両者の開きが大きくなる。

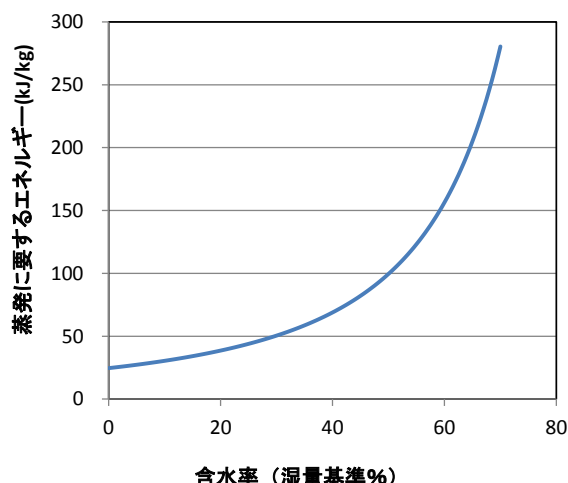


図表 4-21 湿量基準含水率と乾量基準含水率との相関

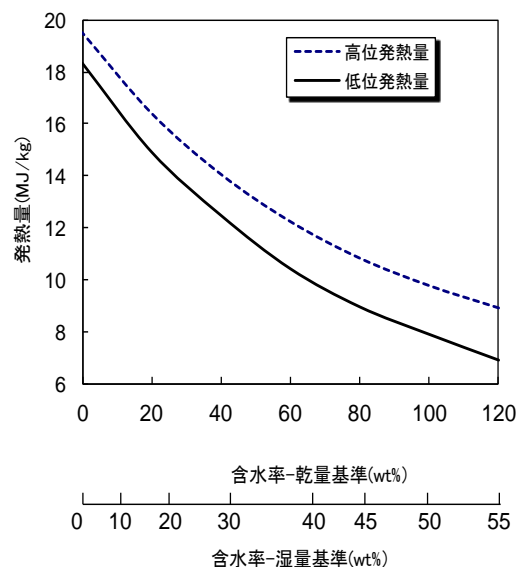
(2) 乾燥に要するエネルギー

標準大気圧のもとで水の蒸発に必要なエネルギー(蒸発潜熱)は2,257kJ/kgである。乾燥装置の効率によって乾燥に要するエネルギーは異なるものの、文献3)では3,500~4,700kJ/kgと報告されている。

図表 4-22 に含水率を1%減らすのに必要なエネルギーを示す。高含水率域ほど必要なエネルギーが大きくなること分かる。図表 4-23 に含水率と発熱量の相関を示す。含水率が高いほど発熱量は漸減する。自ら持つ発熱量で水を蒸発できなくなる。すなわち高含水率域では乾燥に要するエネルギーを如何に最小化することが、高効率利用の上で重要となってくる。



図表 4-22 含水率を1%減らすのに必要なエネルギー



図表 4-23 含水率と発熱量との相関

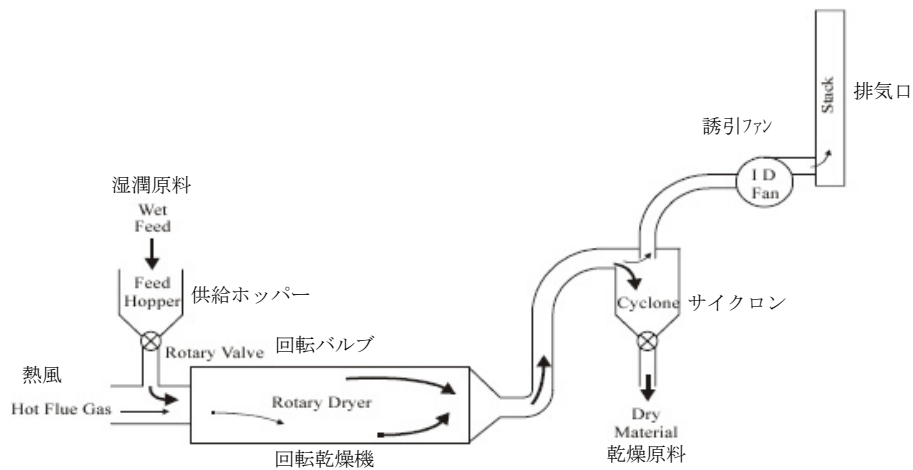
4.2.2 乾燥方法

(1) 乾燥装置

本項では文献³⁻⁸⁾をもとに、燃焼装置や装置排熱から得られる熱風、過熱蒸気等を加熱媒体に用いて乾燥する装置を紹介する。

① ロータリー式（回転式）乾燥機

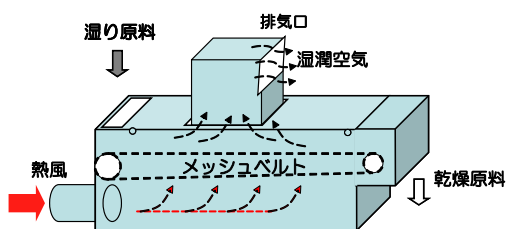
ロータリー式（回転式）乾燥機はバイオマス乾燥機の中で最も一般的に用いられる。ロータリー式乾燥機に様々な種類があるが、一番幅広く使用されているのがシングルパス型である（図表 4-24）。このタイプは熱風がドラムの内側でバイオマス原料と直接接触する。また、ドラムの回転で原料が持ち上げられてながら熱風と接しドラム内を移動するため、熱と物質の移動が促進される。原料の加熱方式には外熱ヒーターからの間接加熱法のほか、燃焼ガス等の熱風を直接ドラム内に吹き込む直接加熱法がある。加熱媒体には燃焼ガス等の空気の他に高圧蒸気を用いる例もある。乾燥物と熱風の進行方向によって並流型（同一方向）、向流型（反対方向）が存在し向流型で熱効率が低い。対応原料にはおが粉、チップ、樹皮と、サイズの許容性が広く、メンテナンスコストもさほどかからない。一方で乾燥機内での原料のタイムラグが生じるため、原料の水分量をコントロールすることが難しい。また横に長いために設置スペースを要する。ロータリー式乾燥機には乾燥機内を一度だけ通過するシングルパス型のほか、3度通過するスリーパス型も存在する。シングルパス型は比較的大きなサイズの原料に対して有効である。



図表 4-24 ロータリー（回転式）乾燥機

② ベルト式（バンド式）乾燥機

連続式の箱形乾燥機で、エンドレスの金網や多孔板構成されるコンベア（バンド）上に原料を薄く広げ、移送させながら乾燥を行う。加熱方法は通気流もしくは平行流方式が採用されている。に装置模式図を図表 4-25 示す。構造がシンプルで多様な原料に対応でき、樹皮の乾燥にも利用された例もある。一方で、原料サイズやベルト上の原料層厚が乾燥性能やコストに大きく影響する。一段式の場合は攪拌が出来ず含水率ムラを生じやすいため、多段式にすることでこの問題を解決出来る。熱風温度は他の方式と比べて低いのが特徴で、熱源に温水や低圧蒸気を利用する例が多い。また形状が箱型で長い形状のため、設置には比較的広いスペースを必要とする。海外ではペレット用おが粉の乾燥にベルト式乾燥機を導入する例がみられる（図表 4-26）。国内では埼玉県や秋田県の発電施設（ガス化熱電併給方式）などに導入されている。



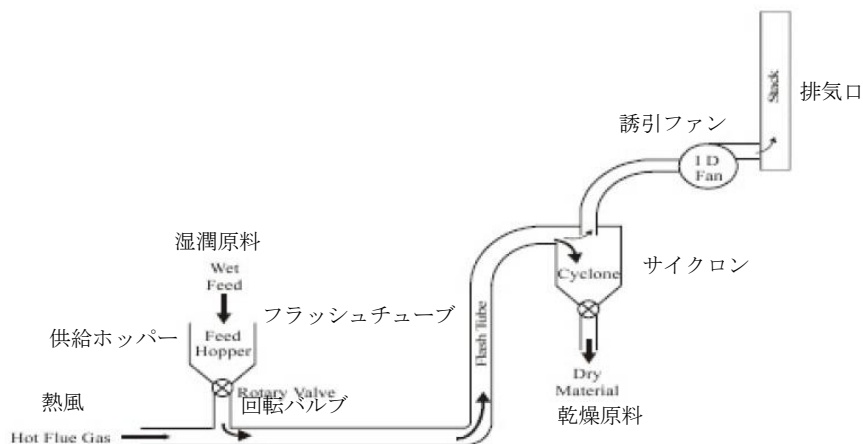
図表 4-25 ベルト式（バンド式）乾燥機の
模式図



図表 4-26 ペレット工場に導入された
ベルト式乾燥機（スウェーデン）

③ フラッシュ式（気流式）乾燥機

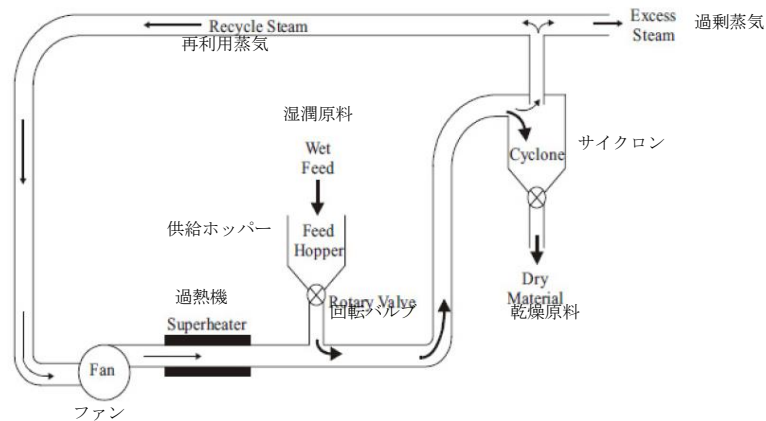
原料を高温度の熱風中に浮遊させて、熱風（気流）とともに輸送させながら乾燥する。熱風との伝熱がよいため、高速で乾燥が可能である。乾燥温度はロータリー式に比べると低温での利用が可能である。また、同乾燥機は低温かつ短い滞留時間のため乾燥中の火災の危険性が低く、装置サイズはロータリー式乾燥機やベルト式乾燥機よりもよりもコンパクトである。一方、原料を気流搬送させるためにサイズを小さくする必要があり、原料サイズの制約が大きい。さらに送風機のコストが高い上に電力消費も高くなる。



図表 4-27 フラッシュ式（気流式）乾燥機

④ 過熱水蒸気式乾燥機

高温の蒸気（過熱水蒸気）を原料に直接接触させて乾燥する。過熱水蒸気式は空気加熱式に比べて原料との熱伝達が高く、早く乾かすことができる。また、水蒸気は不活性のため装置内での火災の危険性が少ない（ただし乾燥物が熱を持ったまま空気と接触したときは発火の危険がある）。一方で、蒸気と原料との混合をよくするために、一般に原料を小さくしておかなければならない点である。さらに、ステンレス圧力容器のためにコストが高くなる。方式には IVO 式、Bed mixing 式、MoDo 式などがある。MoDo 式は 50mm までの比較的大きな原料サイズも対応可能である。



図表 4-28 過熱水蒸気式乾燥機

⑤ 各方法の比較

ロータリー式乾燥機は最も一般的で原料の大きさにとらわれないことがないが、火災の危険性が最も高い。それに対し気流乾燥機は一番コンパクトで操作し易いが、原料の大きさが小さくはない。過熱蒸気乾燥機は他に比べて一般的ではないが、消費エネルギーを最も節約することが出来る。図表 4-29 に各方法の比較をまとめる。

図表 4-29 乾燥装置の種類と特徴

	ロータリー式	ベルト式	フラッシュ式	過熱水蒸気式
適応原料	おが粉、 チップ、 樹皮	おが粉、 プレーナ屑、 チップ、樹皮	おが粉	おが粉 (例外有り)
温度	250-400	90-120	150-	
加熱媒体	空気、蒸気	空気	空気	蒸気
熱回収のしやすさ	難	難	難	易
火災の危険性	高	低	中	低

図表 4-30 に各方式の乾燥コストの例を挙げる。処理能力、設備費の範囲が不明なため、単純な比較が難しいが、ロータリー式はフラッシュ式に比べてコストが低い傾向にある。

図表 4-30 乾燥機のコスト

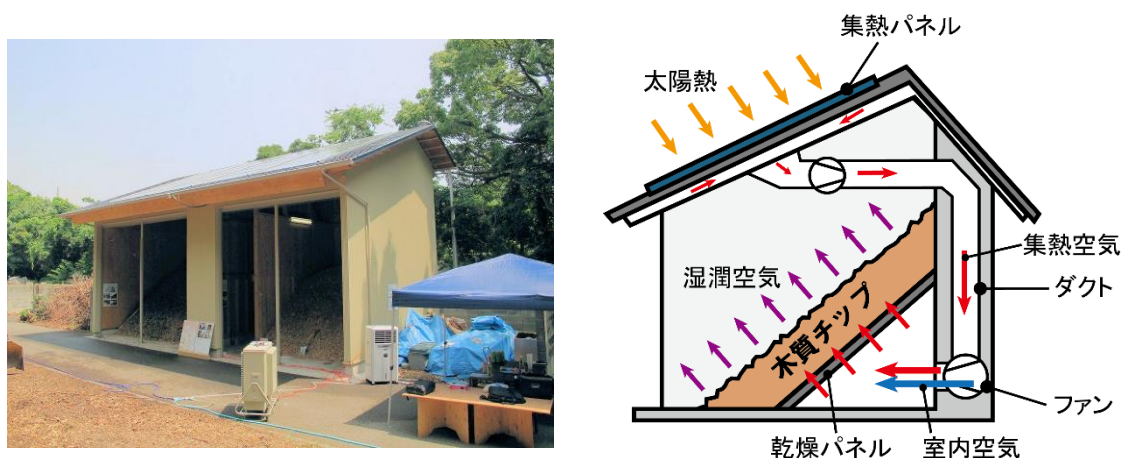
方式	事例	運用コスト (円/kg-水/h)	設備費込みコスト (円/kg-水/h)
ロータリー式	1(シングルパス型)	3,400	
	2(シングルパス型)	5,240~9,300	
	3(トリプルパス型)	2,882	
	4		29,344
	5		23,056
	6		39,300~104,276
フラッシュ式	1	2,360~4,590	
	2	6,940~20,960	
	3(樹皮を燃料)		52,400
	4		72,000~210,000
過熱水蒸気式	1		20,500~47,422

(2) 省エネルギー乾燥法

本項では燃焼ガスや装置排熱を使わずに太陽熱などの自然エネルギーを利用する省エネルギー型の乾燥方法について国内の事例を幾つか紹介する。

① 太陽熱乾燥

太陽熱を利用した木材チップの乾燥方法として東京都の H 社の事例を紹介する。同社は東京都内で複数の公園を指定管理している。国内の都市公園等からの剪定枝は年間 17 万 t 発生し(2008 年 NEDO 試算)、東京都内からでも 2015 年には年間 20,000t 発生すると試算されている。これまで都内の再資源化センターで剪定枝を堆肥化していたが、数年後に受入終了の可能性のあることから、同社は剪定枝を燃料としての有効活用法太陽熱による省エネルギー乾燥法に着目した。オーストリアからの技術導入および国内の太陽熱パネルメーカーとの連携で、太陽熱で木材チップを乾燥するシステムを開発し、東京都内に実証施設を設置した。



図表 4-31 太陽熱乾燥装置 (左: 施設全景、右: 装置概略図)

建屋屋根には集熱パネル(40m²(2m²/枚×20 枚))が取り付けられ、取り込んだ外気を太陽熱で加熱する。パネルで暖められた集熱空気はファンを通じて乾燥室内下部へ送られ、室内空気と混合されてチップへ送られる。チップは 1.5m の層状に傾斜して設置され、層の底面にはスリット上の穴か多数空けられた金属製パネルが設置されている。温風は乾燥パネルを下部から導入され、層の上方向へ送り出されるようになっている。攪拌の頻度は 4~5 日に一度で、必要な時間は大きな重機で 30 分程度である。本システムの建屋面積は 57m²、チップ材積は 40m³で、乾燥能力は季節にも寄るが 1~6 週間で含水率を 20%以下に減少可能で、年間処理能力は 1,000m³程度に達する。価格は約 2,000 万円程度であるが、同社の説明では、廃棄物処理や熱源コストが不要になり 10 年程度で償却可能ととしている。同装置は東京都内のほか、西日本の自治体に 1 箇所導入予定である。

② 雪氷熱と太陽熱の複合乾燥

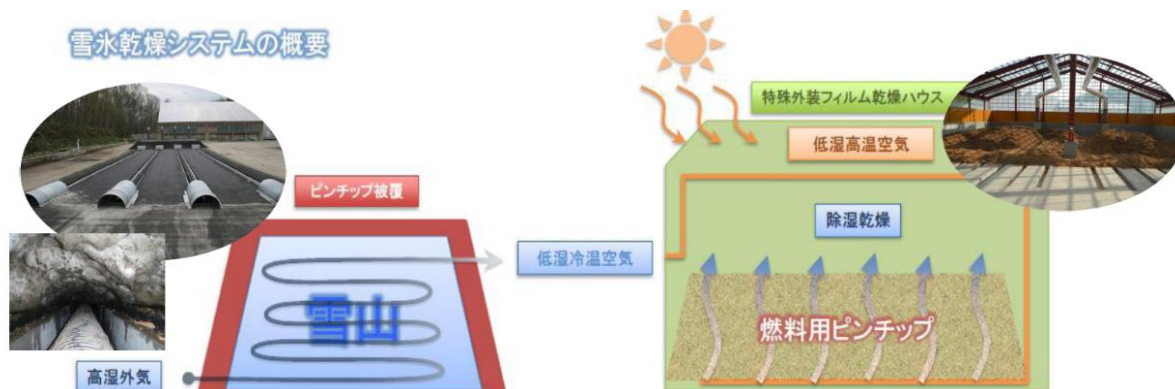
北海道の M 森林組合は、地元自治体、NPO 法人、民間企業等と共同で、雪氷を利用したチップ乾燥施設を建設し、乾燥チップの生産を行っている。原理は雪氷による除湿と太陽熱による昇温で乾燥空気を作り、これを体積チップに通過させて乾燥する仕組みである。雪氷は厚さ 5m

厚×長さ30mで、溶解防止のためにチップで30cm程度被覆している。外気は4本のパイプで給気されて雪氷層を通り、空気中の水が結露する。低温の除湿空気は隣接するハウス内の天井へブローアを通じて送られ、ハウス内天井で50～60℃に温められた空気と混合されて、高温乾燥空気が床下に送られる。乾燥空気はチップ層下部から吹き出されてチップが乾燥される。チップ処理能力は設計上1,000m³、含水率は20%まで低減可能とのことである。この方式の乾燥は6月～8月にかけて行い、4、5月は太陽熱のみで乾燥する。8月以降は外気と天井の空気を循環させている。



図表 4-32 雪氷熱乾燥施設

(左:給気口と雪氷層(溶解防止のためチップで被覆している)、右:ハウス全景)



図表 4-33 雪氷熱乾燥の模式図

③ 丸太の屋外乾燥

原木丸太の天然乾燥は、機械的な乾燥設備を必要とせず、最も簡易的な乾燥方法といえるが、乾燥する時期や保管場所の日射量、通風性、湿度などの自然条件によってその効果は大きく異なると考えられる。ここでは、研究機関の実施事例⁹⁾を紹介する。

2m 長に玉切りしたスギ丸太を 2 種類の保管場所(アスファルト上と土面上)と、2 種類の保管

方法(地面に直に並べる方法とりん木上に地面から約 10cm 離して並べる方法)を組み合わせ
て丸太を配分・設置して、約 1 ヶ月置きに重量を測定し、8 月 12 日から 2 月 13 日の約 6 ヶ月
間丸太の含水率変化を調査した(図表 4-34)。保管場所と保管方法の組み合わせによる含水率
の低下状況は、「アスファルト上でりん木を敷いて置く方法」が最も速く低下し、以下「土面上で
りん木を敷いて置く方法」、「アスファルト上で直置きする方法」、「土面上で直置きする方
法」の順となっているが、「土面上で直置きする方法」以外の 3 方法間には大きな差はみられ
ないことがわかる。(図表 4-35)



アスファルト上の丸太

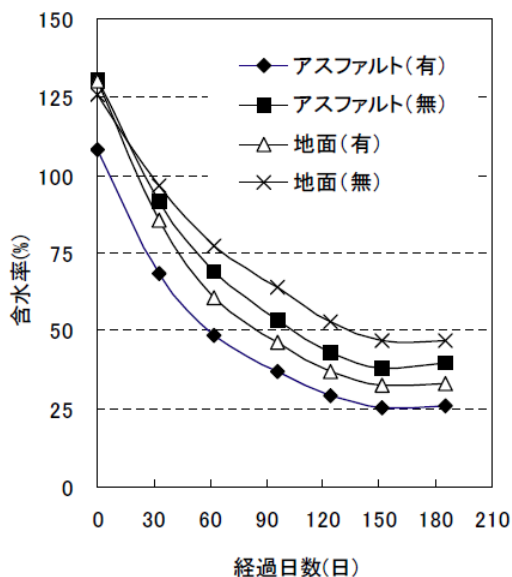


土面上の丸太



りん木上の丸太

図表 4-34 保管場所と保管方法



図表 4-35 天然乾燥中のスギ丸太の含水率変化

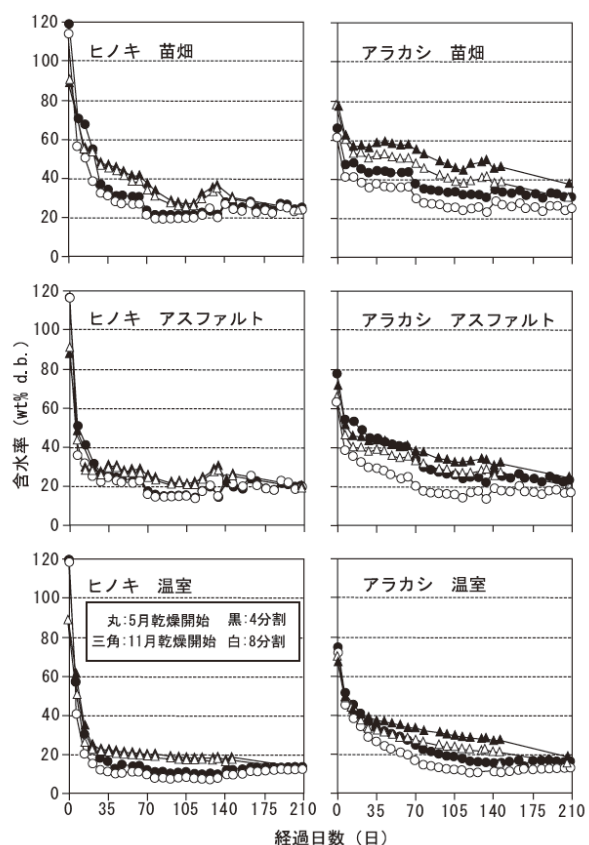
④ 薪の屋外乾燥

古くから原木を薪に加工して天然乾燥後、燃料として利用されてきたが、その乾燥経過を定量的に評価した事例は少ない。ここでは研究機関の実施事例を紹介する。2009年10月と2010年5月に伐採したヒノキとアラカシについて、分割サイズ（4, 8分割）や乾燥場所（舗装の有無, 屋根の有無）を変えて乾燥試験を行い、乾燥時期が剥皮分割材の乾燥経過に及ぼす影響を調べた。

その結果、時期を問わず(1) 低比重材のヒノキの方が速く乾燥すること、(2) 苗畑よりもアスファルトや温室で、屋外よりも屋内で速く乾燥すること、(3) 細かく割った方が含水率を低くでき、その効果は高比重材のアラカシにおいて顕著に現われることを確認した。分割サイズの影響は、乾燥初期の段階では、心材率の違いによる含水率の差のため目立たなかった。また、5月に乾燥を開始したときの方が10月に開始したときよりも乾燥初期の乾燥が速くなった。しかし乾燥開始時期によらず、乾燥開始から1~4週間程度で乾燥初期のような大幅な含水率の低下が見込めなくなるため、長期間の乾燥は効果的でないと考えられた。長期間の乾燥では、剥皮分割によって得られる効果が小さくなることも明らかとなっている。



図表 4-36 薪の天然乾燥乾燥



図表 4-37 含水率の減少経過
(含水率は乾量基準)

図表 4-38 乾燥開始時期、樹種、乾燥場所、分割サイズ別にみた初期乾燥速度および平均含水率が50、40、30%（乾量基準）に達するまでの所要日数

樹種	分割サイズ	乾燥場所	乾燥開始日	初期含水率 (%)	乾燥速度(パーセントポイント/日)					所要日数(日)		
					0~7日	0~14日	0~21日	0~28日	0~35日	生~50%	生~40%	生~30%
ヒノキ	4分割	苗畑	5/21	119.0	6.9	3.7	3.0	2.9	3.0	28	28	70
			10/9	89.1	2.5	2.4	1.7	1.5	1.5	28	70	91
		アスファルト	5/21	116.6	9.4	5.4	4.0	3.3	3.2	14	21	28
			10/9	87.6	5.6	4.1	2.7	2.1	2.0	7	14	14
		温室	5/21	118.4	8.9	6.3	4.6	3.6	3.6	14	14	21
			10/9	89.4	4.0	3.9	3.0	2.4	2.4	14	14	21
	8分割	苗畑	5/21	114.2	8.3	4.5	3.6	2.9	3.0	14	14	42
			10/9	90.9	2.8	2.6	1.8	1.6	1.6	28	56	91
		アスファルト	5/21	121.1	12.1	6.4	4.6	3.5	3.4	7	7	21
			10/9	91.0	6.7	4.5	2.9	2.3	2.2	7	14	14
		温室	5/21	118.4	11.1	7.0	4.9	3.8	3.8	7	14	14
			10/9	89.3	5.5	4.5	3.2	2.4	2.4	14	14	14
アラカシ	4分割	苗畑	5/21	66.5	2.7	1.3	1.0	0.8	0.8	7	70	>150
			10/9	78.3	2.2	1.5	1.0	0.8	0.7	91	>150	>150
		アスファルト	5/21	78.2	3.3	1.8	1.4	1.2	1.2	21	70	84
			10/9	72.1	2.9	1.8	1.2	1.0	1.0	14	70	>150
		温室	5/21	75.1	3.3	2.1	1.6	1.4	1.5	14	28	77
			10/9	67.1	2.2	1.7	1.2	1.0	1.1	14	28	105
	8分割	苗畑	5/21	62.3	3.0	1.5	1.1	0.9	0.9	7	21	77
			10/9	78.0	2.5	1.7	1.1	0.9	0.9	70	105	>150
		アスファルト	5/21	63.4	3.5	1.9	1.4	1.2	1.2	7	7	35
			10/9	66.2	2.8	1.8	1.2	1.0	1.0	7	28	91
		温室	5/21	72.3	3.9	2.4	1.8	1.5	1.6	7	14	28
			10/9	68.8	3.3	2.3	1.7	1.3	1.4	7	14	35

(参考文献)

- 1) 森林総合研究所編, 木材工業ハンドブック, 丸善(2004)
- 2) 田辺克司, 水元克夫, 高橋理平, 富山木研研報, No.2, 1-10 (2010)
- 3) Wade A. Amos, Report on Biomass Drying Technology, NREL/TP-570-25885 (1998)
- 4) L. Fagerna's, J.Brammer, C.Wile'n, M.Lauer, F.Verhoeff, Drying of biomass for second generation synfuel production, Biomass and Bioenergy, 34, 1267-1277 (2010)
- 5) Hanning Li, K Finney, A Review of Drying Technologies, EPSRC Thermal Management of Industrial Processes (2010)
- 6) Henrik Holmberg, Pekka Ahtila, Comparison of drying costs in biofuel drying between multi-stage and single-stage drying, Biomass and Bioenergy, 26, 515-530 (2010)
- 7) 第3章 1.3.7 乾燥, バイオマスプロセスハンドブック, pp73-79, オーム社 (2012)
- 8) 吉田貴紘, 高野勉, 藤本清彦, 伊神裕司, 陣川雅樹, 久保山裕史, 今富裕樹, 北原弘道, 笹内謙一, バンド式乾燥機を用いたスギ樹皮の乾燥特性, 第4回バイオマス科学会議発表論文集, 88-89 (2009)
- 9) 吉井二郎, 政岡尚志, 市原孝志, 板井拓司, スギ丸太とスギチップ天然乾燥中の乾燥特性の把握, 高知県立森林技術センター平成17年度研究成果報告書(2005)
- 10) 佐野哲也, 井春夫, 吉田貴紘, 大原誠資, 乾燥時期が分割材の天然乾燥経過に与える影響, 日本森林学会誌, 94, 142-148 (2012)

4.3 燃料用木質チップ品質規格

4.3.1 はじめに

わが国では従来から、木くず、おが粉、プレーナー屑などの工場残材が木材産業の有用な熱源となってきたが、21世紀に入ってから木質チップの熱利用が本格化してきた。意外に新しい。木質チップは製造が容易な小片で、形状や寸法の散らばりが少ないことから燃焼機器への自動供給や熱量調節が比較的容易に行え、固体燃料でありながら石油と同等の使いやすさがあり、今後も木質燃料の主流として多用されることは間違いないであろう。

現在、発電や熱の生産のために利用されている燃料用チップは、森林からの未利用材、木材加工工場からの残廃材さらに建築廃材などのリサイクル材を原料としており、一口にチップと言っても原料、形質、含水率等、実に多様である。またチップを燃やす燃焼機器(ボイラ)にしても、家庭用の小型のものから発電用の超大型のものまであって、それぞれに機構や機能、動作様式に違いがある。

わが国ではチップ燃料の歴史が浅いことも関係して、「チップが詰まる」、「よく燃えない・灰が多い」、「ボイラの損傷が多い」などの多くのトラブルが発生している。その多くは、消費者側の品質ニーズを理解していない生産者、逆に生産者側の品質内容を理解していない消費者によるもので、燃料と燃焼機器との相性を理解していないことが原因している。このようなミスマッチを防ぐのにためには「生産者と消費者を結ぶ共通言語」、すなわち品質基準が重要な役割を果たす。

燃料用木質チップの品質基準については、既に全国木材資源リサイクル協会連合会が「木質リサイクルチップの品質規格(2010年12月)」を制定し、実際運用している。また全国木質チップ工業連合会も「木材チップ規格原案(2012年3月)」を発表している。しかしいずれも、各連合会が分掌するチップ製品に限って燃料利用を意識した品質基準に整理したものと理解できる。しかし現今利用されている燃料用チップはその出自と種類が多様であり、利用者も小規模から大規模まで多層にわたっており、これら全体を包含し、かつ燃料用木質チップの生産・流通・利用の適正化に資することのできる品質基準の策定が不可欠となっている。

そこでこの度、木質バイオマスエネルギー利用推進協議会が音頭を取り、全国木質資源リサイクル協会連合会および全国木材チップ工業連合会の協力を得て燃料用木質チップの品質規格を策定した。

策定にあたっては以下の3点に留意点した。

- 燃料チップの生産、流通に関するわが国の実情を反映すること
- チップ燃焼機との相性に十分配慮すること
- 環境リスクの軽減に努めること

4.3.2 既存の品質基準

(1) わが国での品質基準

- ① 木質リサイクルチップの品質規格（全国木材資源リサイクル協議会連合会、2010年12月制定）。

建築解体材や林地残材を対象に原料の種類やペンキ、接着剤などの付着の程度から A～E の4段階に区分し、それらの用途をマテリアル用、サーマル用およびその他用に細かく規定。サーマル用としての品質基準は湿量基準含水率(水分 M) < 25%のみ。需要者は A～E のチップ品質区分に応じて選択できるようになっている。具体的用途としては発電を含めた工業用ボイラ燃料、セメント原燃料および高炉還元剤である。この規定は実際に運用されており、定期的な品質検査なども実施されている。

- ② 木材チップ規格原案（全国木質チップ工業連合会、2012年3月発表）

これまでの製紙用チップの取引で慣習的になっていた品質内容を体系化し、それに燃料使用を考慮した乾燥規定(湿量含水率で、D1 < 20%、D2 < 30%、D3 < 50%、D4 ≥ 50%)を加えたもの。金属、プラスチック、土砂などの異物混入は不可。

(2) 海外の品質規準

木質エネルギー利用の先進地ヨーロッパでは木質燃料に特化した規格が制定されている。

- ① ヨーロッパ規格 EN 14961-4, 2011（図表 4-39）

家庭用や小規模の商業あるいは公共ビルで利用される比較的出力の小さな木質ボイラで燃やす燃料チップが対象。

原料を森林、植林その他からの無垢材 virgin wood に限定した Class A と、木材加工工場からの副産物や残材と使用木材 Used wood を含む Class B に大きく区分している。さらに Class A を A1 と A2 に分け、水分(35%以下 3 区分)、灰分、発熱量に異なった基準値を設けている。Class B についても B1 と B2 に区分し、Class A よりも高い灰分(3.0%)を設定し、窒素、硫黄および塩素と重金属についても厳しい上限値を設けて防腐やコーティング処理に伴う重金属やハロゲン化合物の混入を防いでいる。チップサイズについては、EN14961-1 に準拠して Wood chip (切削チップ)、Hog fuels (破砕チップ) 別にクラス分けされており、消費者のニーズ(ボイラの仕様)に応じた最適のチップが選べる設計となっている。

図表 4-39. 燃料用木質チップのヨーロッパ規格 (EN 14961-4、EN 14961-1)

非産業用木材チップの品質基準(EN 14961-4)

品質区分	単位	A(未利用材)		B(未利用・化学処理・再利用材)	
		1	2	1	2
原料		全木(根および早生肥培木を除く) 幹 化学処理されていない残材 広葉樹の放置林地残材		人工林材と未処理木材 (伐根・根・樹皮を除く) 化学処理されていない 木質残材	工場残材および副産物 使用木材
チップの大きさ		別表から選択		別表から選択	
水分	w-% (WB)	M10 \leq 10(人工乾燥) M25 \leq 25	M35 \leq 35	明示すること	
灰分率	w- dry	A1.0 \leq 1.0	A1.5 \leq 1.5	A3.0 \leq 3.0	
低位発熱量 (入荷時)	MJ/kg kWh/kg	Q13.0 \geq 13.0 or Q3.6 \geq 3.6	Q11.0 \geq 11.0 or Q3.1 \geq 3.1	明示すること	
かさ密度	kg/loose m ³	BD150 $>$ 150(針) BD200 $>$ 200(広)	BD150 $>$ 150(針) BD200 $>$ 200(広)	明示すること	
窒素	w-% dry			N1.0 \leq 1.0	
硫黄	w-% dry			S0.5 \leq 0.1	
塩素	w-% dry			Cl0.05 \leq 0.05	
砒素	mg/kg dry			\leq 1	
カドミウム	mg/kg dry			\leq 2.0	
クロム	mg/kg dry			\leq 10	
銅	mg/kg dry			\leq 10	
鉛	mg/kg dry			\leq 10	
水銀	mg/kg dry			\leq 0.1	
ニッケル	mg/kg dry			\leq 10	
亜鉛	mg/kg dry			\leq 100	

Particle size EN 14961-1

切削チップ Wood chips

Class	主要部		微細部	粗大部
	75w-%以上		w-%(<3.15mm)	w-%
P16A	3.15 \leq P \leq 16 mm		\leq 12%	\leq 3% $>$ 16mm、全体 $<$ 31.5mm
P16B	3.15 \leq P \leq 16 mm		\leq 12%	\leq 3% $>$ 45mm、全体 $<$ 120mm
P45A	8 \leq P \leq 45 mm		\leq 8%	\leq 6% $>$ 63mm、3.5% $>$ 100mm 全体 $<$ 120mm
P45B	8 \leq P \leq 46 mm		\leq 8%	\leq 6% $>$ 63mm、3.5% $>$ 100mm、 全体 $<$ 350mm
P63	8 \leq P \leq 63 mm		\leq 6%	\leq 6% $>$ 100mm、全体 $<$ 350mm
P100	16 \leq P \leq 100 mm		\leq 4%	\leq 6% $>$ 200mm、全体 $<$ 350mm

A:非産業用、B:産業用

破碎チップ Hog fuels

Class	主要部		粗大部	微細部	p-%
	75w-%以上		w-%	<3.15mm	
P16	3.15 \leq P \leq 16 mm		\leq 6% $>$ 45mm、全体 $<$ 120mm	F6	\leq 6%
P45	3.15 \leq P \leq 45 mm		\leq 10% $>$ 63mm、全体 $<$ 350mm	F10	\leq 10%
P63	3.15 \leq P \leq 63 mm		\leq 10% $>$ 100mm、全体 $<$ 350mm	F12	\leq 12%
P100	3.15 \leq P \leq 100 mm		\leq 10% $>$ 125mm、全体 $<$ 350mm	F15	\leq 15%
P125	3.15 \leq P \leq 125 mm		\leq 10% $>$ 150mm、全体 $<$ 350mm	F20	\leq 20%
P200	3.15 \leq P \leq 200 mm		明示すること	F25	\leq 25%
P300	3.15 \leq P \leq 300 mm		明示すること		

② オーストリア規格 ONORM M 7 133 (図表 4-40)

チップサイズを5区分、含水率(湿量基準)も上限 50%で5区分、灰分は 1%未満と 1%以上の2区分およびかさ密度は3区分に設定している。EN 規格に比べて単純で分かりやすく、欧州全体でよく利用されているようである。

図表 4-40. 燃料用木質チップのオーストリア規格 (ONORM M 7133) 原料の由来と内容

区分	チップ寸法の構成割合 %				最大断面積 cm ²	最大長さ cm
	<4	<20	60-100	>20		
G30	<1mm	1-3mm	3-16mm	>16mm	3	8.5
G50	<1mm	1-6mm	6-32mm	>32mm	5	12
G100	<1mm	1-11mm	11-63mm	>63mm	10	25
G120	<1mm	1-63mm	63-100mm	>100mm	12	30
G150	<1mm	1-100mm	100-130mm	>130mm	13	40

区分	含水率 %wb	備考
W20	<20	気乾
W30	20-30	長期貯蔵可能
W35	30-35	短期貯蔵
W40	35-40	湿潤
W50	40-50	生

区分	かさ密度 kg/m ³	備考
S160	<160	Low
S200	160-250	Medium
S250	>250	High

区分	灰分 %	備考
A1	<1	Low
A2	>1	High

③ イタリア規格 UNI TS 11264

詳細は不明であるが、燃料チップに関して含水率(湿量基準)は上限 55%で3区分とした規定が設けられている。

4.3.3 品質基準とその内容

図表 4-41 は木質バイオマスエネルギー利用推進協議会が策定した「木質燃料用チップの品質基準」である。図表 4-42～図表 4-47 は各項目の品質区分等で、品質基準と一体のものである。品質項目は、原料、チップの種類と寸法、水分、灰分、高位発熱量、かさ密度、環境汚染元素と重金属および異物からなっている。以下に各項目の基準設定等について解説する。

図表 4-41. 品質基準

品質項目	単位	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
原料 (表2参照)		幹、全木 未処理工場残材	幹、全木 未処理工場残材 灌木・枝条・末木 林地残材	幹、全木 未処理工場残材 灌木・枝条・末木 林地残材 剪定枝等 樹皮 未処理リサイクル材	幹、全木 未処理工場残材 灌木・枝条・末木 林地残材 剪定枝等 樹皮 未処理リサイクル材 化学的処理工場残材 化学的処理リサイクル材
チップの種類 ⁽¹⁾		切削	切削または破碎	切削または破碎	
チップの寸法 P		表4から選択			
水分 M (表5参照)	w-%	M25、M35 から選択	別表4から選択		
灰分 A (表6参照)	w-% dry	A1.0 ≤ 1.0%	A1.5 ≤ 1.5%	A3.0 ≤ 3.0%、A8.0 ≤ 8.0%から選択	
高位発熱量 Q (表7参照)	MJ/kg	M25のとき、Q14 ≥ 14.0、 M35のとき、Q12 ≥ 12.0 M45のとき、Q10 ≥ 10.0、 M55のとき、Q8 ≥ 8.0			
かさ密度 BD	kg/m ³ (チップ容積)	明示すること			
窒素 N	w-% dry				≤ 1.0
硫黄 S	w-% dry				≤ 0.1
塩素 Cl	w-% dry				≤ 0.1
砒素 As	mg/kg dry				≤ 4.0
カドミウム Cd	mg/kg dry				≤ 2.0
クロム Cr	mg/kg dry				≤ 40
銅 Cu	mg/kg dry				≤ 30
鉛 Pb	mg/kg dry				≤ 50
水銀 Hg	mg/kg dry				≤ 0.1
ニッケル Ni	mg/kg dry				≤ 10
亜鉛 Zn	mg/kg dry				≤ 200
異物 ⁽²⁾		含まないこと	含まないこと	含まないこと	

(1) 切削: 切削チップ、破碎: 破碎チップ

(2) 金属、プラスチック類、擬木(合成木材、複合木材)、土砂、石など

図表 4-42. 原料の由来と内容

発生起源	原料の名称	内 容
森林立木	01 幹 ¹⁾	高木の幹
	02 全木 ¹⁾	高木の枝を含めた幹全体
	03 灌木 ¹⁾ ・末木・枝条	灌木、造材時の末木・枝条（葉を含む）
	04 林地残材 ¹⁾	欠陥材、末木、根張り材、枝・葉
	05 剪定枝等	公園樹、街路樹、果樹等の幹部および剪定枝葉
副産物工場残材	11 未処理工場残材	背板、端材、剥き芯などの無垢材
	12 化学的処理工場残材 ²⁾	合板、集成材、パーティクルボードなどの接着製品および保存処理材など
	13 樹皮	剥皮
リサイクル材	21 未処理リサイクル材	化学的処理されていない建築用材・梱包材・パレットなど
	22 化学的処理リサイクル材 ²⁾	合板、集成材、パーティクルボードなどの接着製品および保存処理材など

注) 1) 伐根を除く。 2) CCA処理材を除く

図表 4-43. 原料区分とボイラ仕様との対応

項目		Class1	Class2	Class3	Class4
想定ボイラ	出力規模	小規模 (≤200kW)	中規模 (≤1MW)	中～大規模 (熱・発電)	
	搬送装置	スクレー	スクレー /プッシャー	プッシャー/コンベアー	
	除塵装置	なし	なし/あり	あり	
チップ	品質	未処理上質	未処理中質	未処理低質 化学処理	
	水分条件	乾燥	乾燥・湿潤・生	乾燥・湿潤・生	

図表 4-44. 寸法区分

区分	微細部 <10w-%	主要部 >80w-%	粗大部 <10w-%	最大長	備考 (主たる用途)
P8	<4mm	4-8mm	8-16mm	<50mm	発電(混焼)
P16	<4mm	4-16mm	16-32mm	<85mm	小出力熱利用
P25	<6mm	6-25m	25-40mm	<50mm	発電(流動床)
P32	<8mm	8-32mm	32-63mm	<120mm	中・大出力熱利用

図表 4-45. 水分区分 (到着ベース)

区分	水分 M	含水率 U	状態
M25	≤25%	≤33%	人乾チップ
M35	25～35%	33～54%	天乾チップ
M45	35～45%	54～82%	湿潤チップ
M55	45～55%	82～122%	生チップ

図表 4-46. 灰分区分

区分	灰分 %
A1.0	A ≤ 1.0
A1.5	A ≤ 1.5
A3.0	A ≤ 3.0
A8.0	A ≤ 8.0

図表 4-47. 発熱量区分 (到着ベース)

区分	高位発熱量 Q		
	MJ/kg	Mcal/kg	kWh/kg
Q14	14.0～	3.3～	3.8～
Q12	12.0～	2.8～	3.3～
Q10	10.0～	2.3～	2.7～
Q8	8.0～	1.9～	2.2～

(1) 原料

燃料用の木質原料は低質でよく、その出自も問わない。したがって図表 4-42 のように由来も形質も異なる多種多様な原料が対象となる。

① 原料の出所と品質

一般に森林から直接出てくる未利用の原料(無垢材 Virgin wood)は有害な成分を含まず、それからつくったチップは燃料として安心して燃やすことができる。樹皮も枝、葉も有用な燃料となるが、伐根は土石を噛み込むことが多く燃料原料からは除外した。

例え無垢材であっても灰分が多いとその処理に余分の労力や経費を必要とするばかりでなく、正常な燃焼を阻害するクリンカーの発生などにもつながる。図表 4-48 は樹木の部位別に求めた灰分である。木部の1%以下に比べて樹皮、枝、葉は5~10 数倍も高い値を示している。したがって同じ森林由来であっても、小径間伐材や末木・枝・葉を含む林地残材、灌木などから作ったチップは、樹皮を含む割合も多くなり中径丸太からのチップに比べて品質的には劣ると判断できる。

図表 4-48. 樹木の部位別灰分

樹種	灰分 %			
	木部	樹皮	枝	葉
針葉樹	0.4±0.1	2.7±0.3	1.7±0.2	2.8±0.4
広葉樹	0.7±0.3	6.3±2.3	3.5±1.6	5.8±2.2

出典: 武田宏: 新潟県森林研究所研究報告、第50号(2009)より作成

また、公園樹や街路樹は永年大気汚染物質に曝されており、果樹やエネルギー造林木は肥培や薬剤散布の影響を受けており、これらからのチップには環境汚染を引き起こすような成分が含まれている可能性がある。

木材加工工場からの残材や副産物については、背板や端材のように単に機械的加工に留まるものは Virgin wood と同等の扱いができる。しかし合板、集成材、パーティクルボードなどの接着製品は、接着剤に含まれる窒素が燃焼により NOx を発生する可能性がある。また塗料や肥料などには硫黄や塩素等のハロゲン化合物を含むこともあり、SOx やダイオキシン発生の原因になることも想定できる。さらに防腐処理などの保存処理材では、有害なヒ素、カドミウム、クロム、銅などの微量重金属を含んでおり、これら化学的処理材の取り扱いについては、環境リスクの軽減の観点から適切な対応が求められる。

環境リスクとの関連で最も注意しなければならないのはリサイクル材の取り扱いである。例え化学的処理がなされていない未処理グループであっても、化学的処理材を完全に分別するのは不可能である。事実、リサイクルチップ工場では木質と見分けがつかないプラスチック製擬木などもあり、その分別に苦労している。この点で未処理リサイクル材は未処理工場残材よりも環境リスクの高い燃料に位置づけることができよう。

化学的処理リサイクル材の扱いは化学的処理工場残材の場合と同様であるが、建築解体材には過去に使用された CCA(クロム、銅、ヒ素)処理材が含まれる。これは毒性が高いため、リサイクルチップ工場ではこれを肉眼で分別排除している。本基準でも CCA 処理材を除外することになっているが完全排除は事実上困難であり、リサイクルチップには多少なりとも含まれていると理解すべきである。

② リサイクル材の環境リスク

これまでリサイクル材の使用は環境リスクを伴うと述べてきたが、「環境汚染物質をどの程度

含み、その利用は果たして安全であるのか」大いに疑問である。

神奈川県環境科学センターの調査報告によると、CCA 処理材を廃棄、焼却した後、土壌環境を経由して水や食料から人が摂取した場合を想定した健康評価試験からは、発ガン性は非常に低いとしている。

<http://www.k-erc.pref.kanagawa.jp/center/kekka/recycle.htm>

しかしこれ以外にリサイクル材の環境リスクを総合的にまとめたわが国の資料は見つけることはできなかったが、幸いにもフィンランドとスウェーデンの事例を見つけることができた。前者はフィンランド技術研究センター(VTT)のArakangasの報告で、後者はKrookらの学会投稿論文であり、いずれも信頼性の高いものとして図表 4-49 に紹介する。

図表 4-49. リサイクル材（使用木材）に含まれる環境汚染元素

元素	単位	フィンランド ¹⁾		スウェーデン ²⁾		日本 ³⁾			
		使用木材	未利用材 (peEN14961-1)	使用木材	未利用材	使用木材			未利用材
						角材	合板	CCA角材	生木
窒素 N	% w/w(dry)	0.25-1.00	<0.1-1.1						
硫黄 S	% w/w(dry)	<0.02-0.08	<0.01-0.20						
塩素 Cl	% w/w(dry)	0.02-0.12	<0.01-0.05						
ヒ素 As	mg/kg(dry)	<2-34	<0.1-6.0	53	0.03	<1	<1	210-240	<1
カドミウム Cd	mg/kg(dry)	0.12-0.50	<0.05-5.0	0.5	0.069				
クロム Cr ⁺⁶	mg/kg(dry)	5.2-60.0	0.2-40.0	60	0.063	<1-15*	<1-19*	890-1,100*	<1-21*
銅 Cu	mg/kg(dry)	5.5-80.0	0.5-200.0	59	0.75	1.0-18	2.0-7.0	150-210	1-36
水銀 Hg	mg/kg(dry)	<0.01-2.0	<0.02-2.0	0.06	0.001				
ニッケル Ni	mg/kg(dry)	3.2-10.0	<0.1-80.0	3.5	0.097				
鉛 Pb	mg/kg(dry)	5.4-76.0	<0.5-50.0	33	0.069				
亜鉛 Zn	mg/kg(dry)	79-300	5-200	440	9.6				

出典: 1) Eija Alakangas: Properties of solid biofuels and comparison of fossile fuels. VTT. D19_6_EN_Solidbiofuels_Properties.pdf

2) J.Krook et al: Sources of heavy metal contamination in Swedish wood waste used for combustion, Waste Manag. 26,158/166 (2006)

3) 全国木材資源リサイクル協会連合会: 廃木材中のCCA含有量試験結果、2013年8月26日

*: 全クロム(mg/kg)

Arakangas の結果からは、使用木材の方があるいは未利用材の方が高濃度のものや両者に差が見られないものなどがあり、両者間の差はあまり大きくないことを示唆している。一方 Krook らの結果では、使用木材の重金属濃度は未利用材に比べて明らかに高いが、その値は Arakangas が使用木材で求めた値の範囲に入っている。現段階ではこれら報告のみでリサイクル材利用の安全性を評価することはできないが、前述の神奈川県環境科学センターでの CCA に関する調査結果から判断すると、リサイクル材における環境汚染物質の濃度は、未処理材の混入によりかなり薄められているように思われる。

③ 原料区分

原料区分の要点は、各原料の燃料品質に見合った燃焼機器との組み合わせを念頭に入れることである。

まず原料の仕分けについては、燃料としての品質や安全性が高いものから順に Class1～Class4 に4区分した。その結果は表 1 の原料項目の通りである。ここで Class1 と Class 2 はい

ずれも無垢材である。Class1は灰分が最も少なく良質のチップが期待できる。Class2は灰分が少し多い原料である。Class3は環境負荷が懸念される剪定枝等、灰分の多い樹皮、未処理リサイクル材からなっており、Class4に最も環境負荷の高い化学的処理材を位置づけている。

ここで重要なのは、これら原料区分とボイラ仕様との対応を如何に設計するかで、これが品質基準策定の基本となる。図表 4-43 はその基本スキームである。

チップボイラの性能・機能を見ると、出力規模は200kW以下の小型のもの、1MW未満の中規模ボイラ、さらにそれ以上の、発電用も含めると数十 MWにもおよぶ超大規模ボイラもあり、搬送装置や除塵装置、燃焼方式も規模により異なっている。先ほどのチップ品質の内容と照合すると、ボイラ側からは、イ)搬送トラブルの回避、ロ)燃焼条件に合わないチップの投入が、燃料側からは、ハ)水分の多い材の効率的燃焼、ニ)環境リスクの高い燃料の燃焼が課題として挙げることができる。イ)に関しては搬送機の種類機構に対応した対策が、ロ)についてはボイラの仕様に応じたチップの供給を、ハ)については高含水率チップ対応のボイラを選択、ニ)に関しても集塵装置の備わったボイラの利用で対応することが可能になる。

以後、このスキームを基本として各項目の基準策定を行うこととした。

(2) チップの形状

木質チップには、原料を刃物で切削して得られる切削チップとハンマー等で打撃して破砕する破砕チップとがある。切削チップは角形で厚さが薄いものに対し、破砕チップは細長い形状を持つことから両者は容易に区別できる。

切削チップの特徴は、搬送にあたってブリッジが生じにくく、ハンドリングが容易であること、任意の寸法のチップを製造することが可能で、小型～大型までの全てのボイラに利用できる点にある。それに対して破砕チップはブリッジが生じやすく、ハンドリングや燃焼制御に問題が生じ、小型ボイラには不向きと言われている。

図表 4-43 で示したスクリー式の搬送装置は切削チップが好ましく、とくに小規模ボイラに対しては切削チップが不可欠である。そこで Class1には切削チップを割り当て、それより高出力のボイラには必要に応じて切削チップか破砕チップのいずれかを選択できるようにした。

(3) チップの寸法

寸法区分もチップの搬送性と燃焼速度性能とを考慮して P8、P16、P25 および P32 の4区分に設定した(図表 4-44)。

P8は石炭との混焼発電用のボイラでは、チップも石炭も微粉にすりつぶしてバーナーで燃焼室に噴射する方法を採用しており、そのための混焼専用チップである。

また P25は木質専焼発電や高出力の熱利用に使用されている燃料用リサイクルチップの寸法基準で、本基準にもそのまま設定した。

P16とP32は、小規模から中規模のボイラで用いられているスクリー式搬送機に対応したものである。スクリーの直径とピッチによっていずれか選択できるようにした。

なお中型以上のボイラでは油圧プッシャーやコンベアーが採用されている。この場合は寸法や形状の制約が緩和され、この区分を超える大きなチップも利用可能となる。

(4) 水分

燃料に含まれる水は発熱量や着火性、燃焼性に大きく関係し、チップ燃料の価値を決定するべく重要なパラメータである。

① 含水率と水分

本題に入る前に含水率に関する用語について整理する必要がある。含水率の表現法には、乾量基準含水率 U (全乾重量(W_o)に対する水分重量(W_w)の比)と、湿量基準含水率 M (水を含めた全体の重量($W_o + W_w$)に対する水分重量(W_w)の比)とがあり、木材については材料利用分野では乾量基準を、原料利用分野では湿量基準を使用することが世界規律となっている。ところが困ったことに両分野ともそれらを「含水率」と呼び慣わしていることで、全乾重量と水分重量が等しい木材の含水率は、乾量基準で 100%、湿量基準で 50%となり、数値だけが一人歩きするととんでもない間違いにつながりかねない。この誤解を避けるために乾量基準(dry base)、湿量基準(wet base)といちいち指示することも行われている。

一方、ドイツ語圏では乾量基準を「Feuchtigkeit」、湿量基準を「Wassergehalt」と異なった用語を用いている。また英語表示でもこれまで「Moisture content」で両基準を表現していたが、最近では湿量基準を「Water content」と表現し乾量基準と区別する例をよく見かける。わが国でも日本工業規格(JIS)では、木材(JIS Z2101)に対しては乾量基準を適用し、呼称を「含水率」としている。それに対して廃棄物固形燃料(JIS Z7302-3)、石炭およびコークス(JIS M8812)、紙および板紙(JIS P8127)等では湿量基準を適用し、呼称を「水分」としている。

そこで本規格でも含水率表示に関する不要な混乱を避けるために、JIS に準じて乾量基準含水率を「含水率」、湿量基準含水率を「水分」を用いることとする。

② 水分と燃料品質

木材の水分は伐倒直後が最も高く 45~65%である。丸太のままあるいは加工した状態で放置すると徐々に乾燥し、最終的には水分 20%程度で安定する。

チップの水分はチップ製造した時点の原料水分に依存するため、森林由来のチップは概して高めで、リサイクルチップは比較的低く、工場残材は人工乾燥を経たものも含まれるため高いものも低いものも見られる。

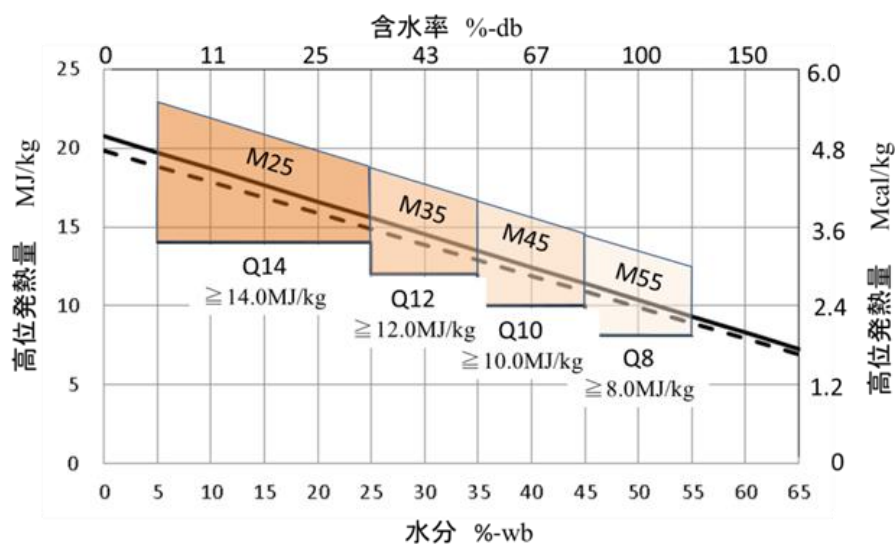
このような水分の多少はチップ燃料の発熱量、着火性、燃焼性に直接関係し重要な品質指標となっている。そのほかに微生物による生物劣化に関連したチップの貯蔵性能にも影響することが知られているがここでは割愛する。

全乾状態の木材の高位発熱量は、付表 3 に示したように針葉樹と広葉樹、木部、樹皮、枝、葉で若干異なるものの総じて 20MJ/kg である。当然水分の増加に伴って減少し、生材に相当

する水分 50%では 10MJ/kg にまで低くなる(図表 4-50)。チップの燃料価値は水分に依存することが容易に理解できよう。

水分の影響は発熱量のみではなく着火性や燃焼性にも及ぶ。水の多い生材チップは通常は燃えない。強制的に火をつけてもすぐに立ち消えてしまい、燃料としての資質を有していない。中部ヨーロッパでは丸太を風通しのよい土場等に一夏～1 年近く天然乾燥すると、チップ水分は 35%程度にまで下がるといわれている。さらに乾燥期間を延長しても水分 20%を切ることは難しく、それよりも低い水分を要求するときには人工乾燥の手段を講じなければならない。因みに水分が 35%程度まで下がると通常のボイラで良好な燃焼状態を示す。いずれにしても水分が高いと着火しにくく、火が点いても煙が多く不完全燃焼になり、燃焼効率も低くなり、燃料としての評価を低めることになる。

一方森林由来のチップでは、乾燥に時間と手間がかかり、生あるいはそれに近い状態のチップを燃やしたいとする要望が強い。結果的には生チップでも燃やせるように工夫されたボイラもある。原理は炉内入り口付近に投入された生チップの近くを燃焼ガスが通るようにしてチップを乾燥し、乾燥したチップを順次内部に移して燃焼する仕組みである。水分 55%程度のチップを投入しても連続運転が可能である。このような機構を備えたボイラは出力が中規模以上に見られ、これを生チップボイラと呼んでいる。



注) 実線は針葉樹木部、破線は広葉樹木部

図表 4-50. 水分区分と発熱量区分の関係

③ 水分区分

リサイクルチップの多くは長期間建築物に利用された気乾木材を原料としている。熱量の高い燃料チップとして水分 25%以下に規制して供給されている。したがって水分区分を策定するにあたってはリサイクルチップでの実績を評価し、さらに各種ボイラの燃料水分にかかわる特性を考慮して図表 4-44 の M25、M35、M45 および M55 に4区分した。

品質基準への適用に対しては、まず Class1に想定した出力規模 200kW 未満の小型ボイラは、スペース的に多機能な装備を実装することが難しく、通常乾燥した良質のチップを必要とする。これまでもトラブルの少なかった M25 または M35 を割り当てた。

また中規模のボイラでは、生チップボイラも含めて、乾燥チップから生チップまで利用できる機種が揃っていること、発電用を含めた大規模ボイラの場合も水分の要求度は少なくなるものの、水分が比較的低い燃料を必要とするもの、水分の高い燃料でも対応できるものがあることから、Class2～Class4 は必要に応じて M25～M55 のものから選択できるように設計した。

(5) 灰分

各 Class の原料に含まれる灰分を既往の研究結果から想定して、灰分区分を図表 4-46 のように4区分を設け、Class1 には A1.0 を、Class2 には A1.5 を、Class3 と 4 には A3.0 および A8.0 のいずれかを選択できるようにした。

(6) 発熱量

発熱量には高位発熱量(HHV)と低位発熱量(LHV)がある。前者は測定した燃料が保有している熱量であり、後者は実際に熱エネルギーとして利用できる熱量で、その燃料に含まれる水素量(木材の場合、一般に6%)を用いて計算によって得られるものである。EN 規格では低位発熱量を採用しているが、本規格では多様な化学物質や異物を含む確率の高いリサイクル材も対象となっているため、論理計算から求める低位発熱量を用いるよりは、実測の高位発熱量を用いる方が妥当と判断した。

木材の発熱量は図表 4-39 に示すように基本的に水分と密接な関係を持つ。それに土砂などの異物混入の影響も考慮して別表6の Q14、Q12、Q10 および Q8 の4区分を設けた。したがって発熱量区分は水分区分と一対一で対応することになる。

(7) かさ密度

チップ容積当たりの重量で示され、チップ燃料の品質評価において重要な指標の一つである。切削と破砕チップ、チップ寸法、乾燥度などによって大きく変化するが、現時点では市場での実態把握ができていないため、データ集積の意味を込めて「明示」を義務とした。

(8) 環境汚染に関係する元素と重金属

これらの規制基準は化学的汚染が懸念される Class3 と Class4 に設定した。これらの規制値は、前出の Arakangas が提示した化学処理木材の閾値を採用した。

第5章 その他の調査

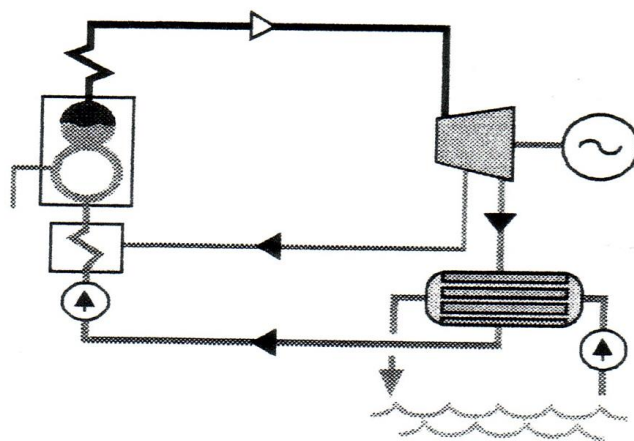
5.1 小規模木質バイオマス発電の現状と課題

5.1.1 小規模には向かない蒸気サイクル

既存のバイオマス発電プラントのほとんどは蒸気ボイラ・蒸気タービンの方式をとっているが、この方式の難点は「規模の経済」が強烈に効いてくることだ。電気出力で5～10MW 程度のバイオマスプラントでは、発電効率が低いうえに、定格出力当りの資本費用と運転費用が大きく膨らんで、発電のコストも相当な割高になる。なぜそうなるのか、簡単に説明しておこう。

蒸気タービン発電のエッセンスを模式的に描くと図表 5-1 のようになる。蒸気ボイラから出てきた高温高圧の蒸気はタービン入口のノズルから噴射される。噴射と同時に蒸気の圧力と温度は急速に低下し、速度を増すが、この高速蒸気がタービンのブレードにあたって軸を回転させ、発電機を動かすのである。この種の蒸気タービンで肝要なのは、熱サイクルの最高温度と最低温度の比をできるだけ大きくして、熱効率を高めることである。

そのためタービンから出てきた蒸気は復水器で冷やされて水に戻される。この冷却のためには大量の水が要る。大型の火力発電所が海辺に立地するのはそのためだ。水のないところでは、効率は劣るが冷却塔をつくって空気ですすしかない。



出典) Wood Fuels Basic Information Pack, BENET, 2000.

図表 5-1 蒸気タービンによる発電

どのような冷却方式をとるにせよ、熱サイクルの最低温度を常温以下に引き下げるのは非常に困難である。火力発電所の高効率化は、もっぱら蒸気タービン入口の蒸気温度を高めることで達成されてきた。今では信じられないような話だが、1950 年代の半ばまでの石炭火力の発電所は、4MPa×450℃程度の低い蒸気条件で運転されていた。発電効率も 25%程度にとどまっていたと

言われる。それが現在では 25MPa×600℃にまで高まって、発電効率も 40%を優に超えている。技術的な可能性としては 60%くらいにまで引き上げられるという。

もちろん蒸気の高温化は容易なことではない。装置が著しく複雑化する上に、タービンやボイラの耐熱性を大幅に高める必要があるからである。電気出力の小さいプラントでは経済的にみて高温化は難しいとされている。IEA のテクノロジカルロードマップで、電気出力1万 KW 以下のバイオマスプラントの発電効率が 14~18%にとどまっているのはそのためだ(第 2 章、図表 2- 7 参照)。1万 KW 以下でも、出力規模の小さいものほど効率が低い。というのもボイラの容量が小さくなって、ボイラの周壁から外部に放散される熱の割合が高くなるからである。

5. 1. 2 分散型熱電併給システム

いずれにしてもバイオマス発電では出力規模を大きくして変換効率を高め発電コストを引き下げるといふ戦略が取りにくい。燃料を大量に集めようとすると、集荷コストが嵩んでしまうからである。他方、小出力のプラントでは、投入した木質バイオマスが持つエネルギーの、せいぜい 25%くらいしか電気に換えられない。これではいかにも無駄が大きすぎる。熱電併給(CHP)の習いは、発電の排熱を木材の乾燥や冷暖房・給湯に仕向けて、電気と熱を合わせた総合効率を 60%ないしそれ以上に高めることである。

ただ、熱の需要というのは、冷暖房・給湯用にせよ、あるいは産業用のプロセス熱にせよ、一箇所にまとまって存在するのは例外的で、少量ずつあちこちに分散しているのが普通である。この場合の解決策としてしばしば提案されるのが、いわゆる「地域熱供給」だ。比較的大型のボイラをどこかに設置して、そこから近隣の住宅や事業所に温水や蒸気をパイプで送る方式である。出力の大きいボイラが入れば発電も可能になり、熱電併給が実現する。

しかし地域熱供給のシステムはどこにでも導入できるというわけではない。熱出力で数百 kW 程度のボイラの入っている事業所でも単独で発電できればこれに越したことはないだろう。こうした要望に応えるべく、さまざまな分散型熱電併給のシステムが提案されてきた。

すでに現在のドイツでは総合効率 60%以上をバイオマス FIT の応募条件にしており、プラントのほとんどは CHP になっている。そこで採用されている発電方式を電気出力と関連付けて見ると次のようになる。

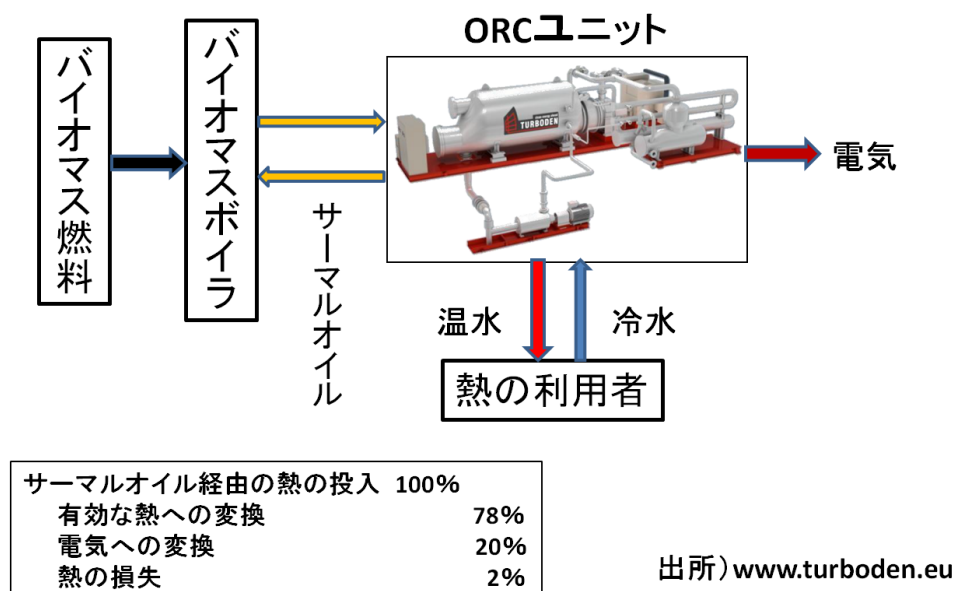
- 2MW 以上:蒸気タービン
- 数百 kW~2MW:オーガニック・ランキン・サイクル(ORC)タービン
- 数百 kW 以下:木材ガス化エンジン

5. 1. 3 ORC タービンについて

通常の蒸気タービン発電(図表 5- 1)も原理的にはランキンサイクルをベースにしている。これに「オーガニック」という形容詞が冠されるのは、水蒸気の代わりに、沸点の低いシリコンオイルのような有機媒体を蒸発させてタービンを駆動させているからである。

ORC の技術はもともと高い温度が得にくい地熱発電のために開発されたものだが、バイオマス用ユニットの実用化は、イタリアのミラノ工科大学とターボデン社の研究開発に負うところが大きい。ターボデン社の ORC ユニットが欧州を中心に急速に普及していくのは、この 5～6 年のことで総設置台数は建設中を含めて 217 基に達すると言う。そのほとんどは比較的規模の小さい CHP プラントである。電気出力で言うと数百 kW から 2,000kW 程度のものが多い。蒸気タービンの入らない領域を着実にカバーしているのである。

具体的な導入例として多いのは、周辺の住宅や事務所に暖房・給湯用の熱を送る地域熱供給施設や、木材乾燥施設のある製材工場、ペレット工場などである。こうした施設では比較的熱出力大きいバイオマスボイラが入っており、無理なく ORC ユニットを組み込める。模式的に描くと図表 5-2 のようになる。

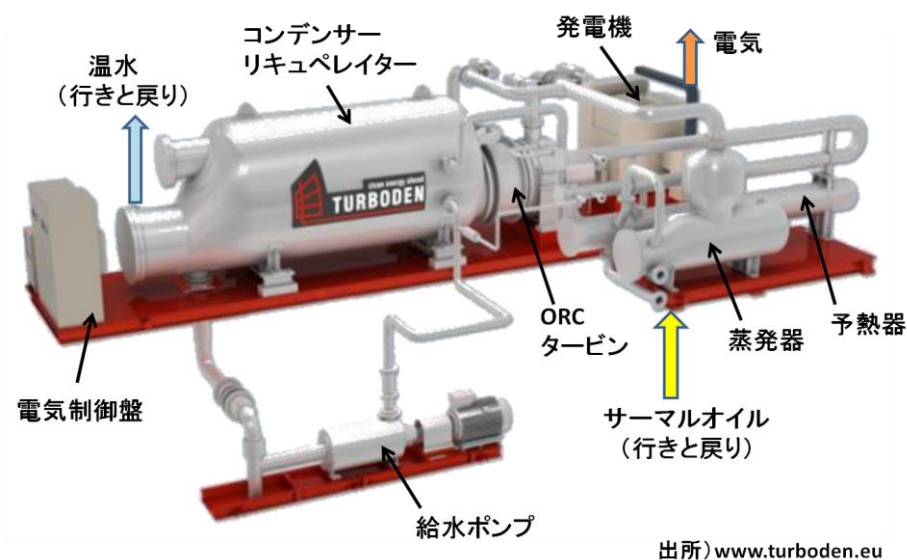


図表 5- 2 ORC による熱電併給

通常の温水ボイラでは、バイオマスを燃やして得た熱で水を温め、熱の需要先に送っている。これに ORC ユニットを組み込んだ場合は、バイオマスの燃焼熱で(水の代わりに)サーマルオイルを 300℃程度にまで熱して、ORC ユニットに送り込むことになる。サーマルオイルで運ばれてきたエネルギーが ORC ユニットに入ると、その約 20%が電気に、78%が有効な熱に換わり、熱のロスが 2%にとどまる。いずれにせよ ORC は、基本的には熱生産が主で発電が従のシステムであり、また常時安定した熱の需要がないと効率的な発電も難しくなる。

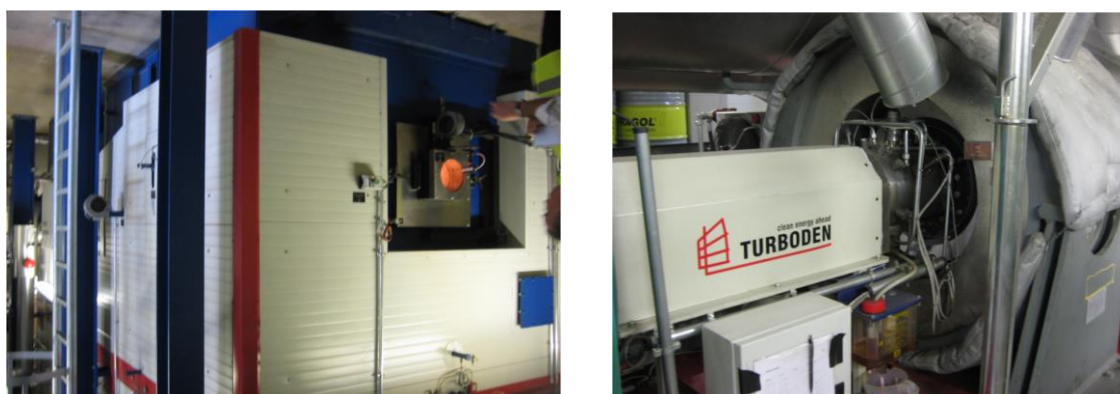
次に ORC ユニット自体に目を向けよう(図表 5- 3)。熱の循環を担うシリコンオイルは給水ポンプから送り出されて、発電と水の加温に関与したのち、再び給水ポンプに帰ってくる。つまり完全なクローズドサイクルになっているのだ。シリコンオイルは蒸発器のところではサーマルオイルで運ばれてきた熱と出会い沸騰する。その蒸気でタービンが回り、発電機が駆動して電気ができる。発電に使

われた蒸気はコンデンサーで冷やされて元のシリコンオイルに戻されるのだが、その排熱で水が温められて温水がつけられる。ただしこの温水の温度は 80～120℃であるから、これよりも高い温度の熱需要には応えられない。



図表 5- 3 ORC ユニットの構成 TURBODEN 1 MWe modular

ORC タービンの発電効率は、せいぜい 20%程度でそれほど高くないが、蒸気タービンと比較すると、特筆すべき利点がある。まず、技術的にはサイクルの温度と圧力が比較的低温・低圧であること、タービンが低速で高効率であること(85%まで)、水を使わないから腐食やタービンブレードの傷みがなく、排水処理がいらないことなどが挙げられる。また運転上に利点としては、完全に自動化されていて安全な連続運転が可能で監視員はいらないこと、それに保守管理に手がかからず、設備の寿命が長いことも見逃せない。



図表 5- 4 サーマルオイルボイラ燃焼炉 KOHLBACH 社製 (左) と ORC タービン (右)

5.1.4 期待される小規模ガス化発電

近年、ドイツ、オーストリアでは ORC ユニットと並んで、小規模なガス化発電プラントの設置が急増している。電気出力で言うと、おおむね 200kW 以下だから、ORC の入らない小規模プラントに向いている。またこの装置なら個々の熱供給プラントに設置することができ、地域熱供給のような形をとらなくてもすむ。

バイオマスをガスに変えること自体は比較的簡単で、石炭のガス化ほど手がかからない。空気の供給を止めたまま木材に熱を加えていくと、メタンや水素、一酸化炭素などを含むガスが生成される。ガス化炉から出てきたガスを浄化して、ガスタービンやガスエンジンを駆動させることから、比較的小規模なプラントでも高い効率が期待できる。

ただしバイオマスからつくられるガスは都市ガスに比べてカロリーが低いうえに、タール分のような不純物を含んでいる。また原料となるバイオマスの含水率や組成が変化すると、それがガスの組成にも影響し、安定した燃焼ガスの流れが得られない。こうした難問に対処すべく、さまざまなガス化発電の方式が提案され、実地に試みられてきた。この中には、かなりの期間にわたって運転されている例もあるが、装置が複雑なうえに、運転にも容易ではないということで、一般にはほとんど普及しなかった。

ドイツで状況が変わり始めたのは 2010 年ころからである。政府の報告書によると、ユニット型装置の量産が始まって、kW 当りの投資コストも 3000 ユーロを下回るようになったと言う。それはまた安定した自動運転が可能になったことを意味する。その代わり、燃料に対する要求はかなり厳しい。木質チップを使う機種では、水分率 10～15%以下という制約が付き、チップのサイズにも一定の決まりがある。

実際に稼働している状況を見てとくに印象深かったのは、ペレットを燃料とするブルクハルト社の電気出力 180kW、熱主力 270kW のユニットである。図表 5-5 にあるように、非常にコンパクトにまとまっていて、何よりも外観が美しい。ガス化炉はブルクハルト社製で、流動床のアップドラフト方式である。発電にはマン社のディーゼルエンジンを使っているが、パイロットオイルで点火すること。木材ガスの火力の弱さをこれで補っているのであろう。

時間当たりの燃料消費量は、良質のペレット(EN 規格で plus-A1)115kg、軽油 3ℓ。発電効率 30%前後で、熱を含めた総合効率 75%というから相当なものだ。出力を大きくしたければ、いくつものユニットを並列すればよい。そしてとりわけ重要なのは、完全自動運転になっていて、常時監視する必要がないことだ。何か異常が起これば、管理者の携帯電話にアラームが入る。

この機種の販売は 2008 年から始まり、これまでに約 100 基が欧州各地に納入され、累積運転時間は 100 万時間を超えるという。



図表 5- 5 木材ガス化 CHP プラントの一例

5. 1. 5 立ちはだかる輸入障壁

現在のところ、わが国で信頼できるバイオマス発電の技術とえば、在来型の蒸気ボイラ・蒸気タービン方式にはほぼ限られている。CHP で発電するにしても、電気出力で2MW 以上ないと採算がとれないだろう。分散型の熱電併給システムが、今後の取るべき方向であるのは確かだが、それを支える発電技術がなければどうにもならない。

当面は ORC 発電とガス化発電など、欧州で実用化されている信頼度の高い技術を導入することだろう。しかしこれが容易ではない。発電用の蒸気ボイラやタービンなどを輸入しようとする、電気事業法の規制をクリアしなければならないからである。

たとえば ORC ユニットには、通常の火力発電所と同じ基準規格が適用される。欧州と日本では使用材料や溶接方式が異なっているため、その一つ一つについて問題がないことを証明する必要がある。こうした使用前審査や溶接審査をクリアするには、時間がかかり、費用もかかる。

さらに問題なのは、300kW 以上の規模になるとボイラ・タービン技士の配置や24時間監視体制が求められることだ。ORC ユニット発電の最大のメリットは、安定した自動連続運転により、人間による監視がほとんど不要なことだ。これがだめだとなると、ORC を導入する意味があらかた失われてしまう。

小型ガス化発電のユニットは圧力容器を含まないから、電気事業法の規制にかからない。それでも海外から輸入するとなると、初期投資額がどうしても割高になる。ORC タービンを含めて、待たれるのは世界に通用する優れた国産製品の出現である。

5.2 木質バイオマスによる地域熱供給システムの現状と課題

5.2.1 地域熱供給の発展と木質バイオマスの利用

地域熱供給(District Heat, DH)システムは、一カ所または数カ所からの熱発生プラントから配管を通して一定地域内の複数の建物に温水、冷水あるいは蒸気を送って暖房、冷房、給湯などを行うものである。エネルギーの発生と消費を同一地域で完結する点に特徴がある。

(1) 海外での展開

地域熱供給は19世紀後半にドイツとアメリカで火力発電所の排熱を利用してスタートしたと言われている。優に1世紀以上の歴史を持っている。20世紀に入ってからデンマーク、ロシア、スウェーデン、フランスと相次いで地域熱供給プラントが稼働し、省エネルギー、環境保全性、省スペース、省力化に加え、トラブルが少なく安心して利用できるといった評価から世界各地の都市で導入・普及が図られてきた。

当初の熱源は石油が中心であった。しかし石油危機後の石油価格上昇を契機に80年代には石炭、バイオマス、天然ガスに加えて、海水や下水を熱源にしたヒートポンプや工場などの産業排熱などの多様な燃料に転換されていった。さらに90年代に入ると地球温暖化対策としてカーボンニュートラルなバイオマス燃料が注目されるようになり、木質燃料の利用もこの頃から活発になる。とくに森林資源に恵まれたスウェーデンでは、既存の地域熱供給プラントの熱源を木質燃料に転換する方式で発展してきた。それに対してオーストリアでは、農林家が組合をつくり森林チップの供給、ボイラと導管の設置、運転、維持管理の全てを担当して、地域の需要者と15年間の熱供給契約を結ぶやり方の森林エネルギー契約事業が発達し、現在に至っている。

詳細は、「木質資源 とことん活用読本」(農山漁村文化協会 2013年、熊崎・沢辺編著、P-125~137(三浦秀一)を参照されたい。

(2) わが国での展開

一方、わが国の地域熱供給は1970年に大阪万博会場に冷暖房を供給したのが初めてで、欧米に比べて大幅に遅れている。高度経済成長を背景とした深刻な大気汚染の防止策として大都市への導入が進み、しかも欧州に比べて気候が比較的温暖であることから、温熱と冷熱の両方を供給する地域冷熱供給システム(District Heat and Cool, DHC)が取り入れられてきた。石油ショックに伴う燃料転換も経験し、今ではこのシステムの持つ環境、経済、省エネルギーに対する効果が認識されて、全国で百数十カ所の地域熱供給プラントが稼働している。

その中であって、2004年に木質燃料による地域熱供給が初めて滋賀県高島市に導入された。その後も自治体主導で徐々に数を増しているが、まだ導入数が少なく、木質燃料による地域熱供給は発展途上にあるといえる。しかし、それぞれに地域の特長を生かした個性のある取り組みも行われている。

(3) 木質バイオマス利用による効果

燃料に木質バイオマスを利用することによって、地域熱供給システム自体のもつ多くの利点に加えて、図表 5-6 に示すような地域資源としての、またカーボンニュートラルな環境保全資源としての効果がプラスされることとなる。

ここではわが国における木質燃料による地域熱供給の実態をまとめ、とくに特徴のある事例について紹介する。

図表 5-6 木質バイオマスによる地域熱供給の利点

需要者の観点から

暖房給湯用の熱をいつでも必要なだけ使える
長期間にわたって熱の供給が保証される
暖房や給湯の燃焼機器を各自で持つ必要がない
燃料の調達や機器の維持管理が不要
化石燃料ベースの熱供給よりも安上り

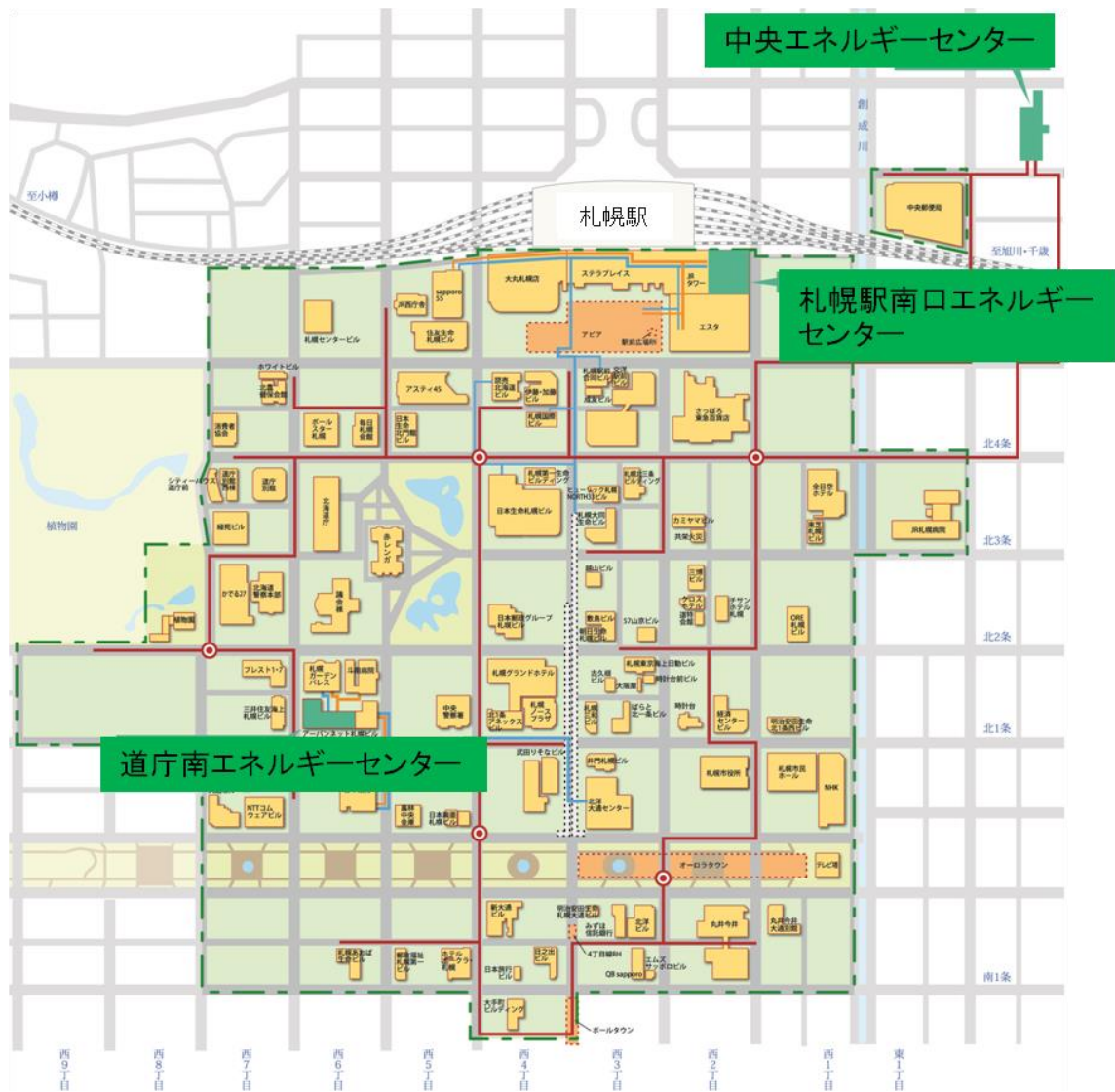
地域環境の観点から

地域の森林資源が活用でき、林業の再生に貢献する
燃料の生産、加工・流通など、地域雇用の拡大につながる
個別暖房に比べて全体としてエネルギー変換効率が高まる
エネルギー自立と温暖化防止（CO₂削減）に貢献する
ボイラ規模が大きくなれば、ごく低質のバイオマスも利用でき、発電も可能になる

熊崎実氏の講演内容を基に作成

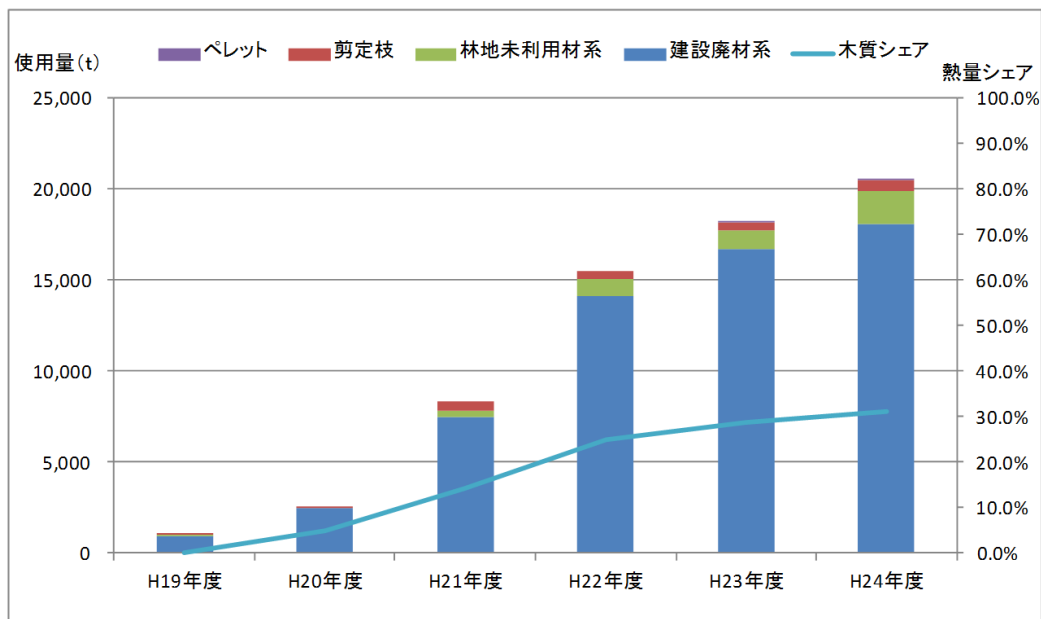
5.2.2 札幌市地域熱供給システムでの木質燃料の利用

札幌市は、1950年代後半から石炭を用いた暖房による煤煙問題が深刻化してきた。1972年2月に冬季オリンピックの開催を控えて大気汚染対策が不可欠となり、その方法として地域熱供給を導入を決定した。1971年10月に道産石炭と灯油を燃料とする地域熱供給施設「中央エネルギーセンター」を完成して、札幌都心部を対象とした熱供給を開始した。その後も2003年に札幌駅南口エネルギーセンター（天然ガスの熱電併給、ガスタービン 4,335kW×2）、翌2004年には道庁南エネルギーセンター（天然ガスの熱電併給、ガスエンジン 635kW×2）を立ち上げ、現在では熱供給エリア 106ha、供給導管 33km に及ぶ札幌市都心の熱供給を完成している（図表 5-7）。



図表 5- 7 札幌市のエネルギーセンターと熱供給エリアマップ

その後炭酸ガス排出量の削減を目的に、2007 年から木質バイオマス燃料(建築廃材)の利用を開始し、それと同時に石炭ボイラの廃止、灯油ボイラの天然ガスへの燃料転換を行った。木質バイオマスの使用量は 2007 年には 1,000t であったが年々増大し、5 年後の 2012 年には約 20 倍の 20,000t にも達し、年間製造熱量の3割が木質由来のものになっている(図表 5- 8)。CO2 排出量も木質バイオマス導入前の約4割にまで減少しており、木質バイオマス導入による効果が如実に表れている。



資料: 岩井 俊晴: 木質バイオマスエネルギー利用推進協議会定時総会講演会資料 (2003.5.10)

図表 5-8 中央エネルギーセンターでの木質バイオマスの使用量推移

林地未利用材の利用に取り組んだのは 2009 年からで、2013 年には約 2400tにまで利用量を増やしてきた。しかし次のような課題も顕在化してきた。

- ① 積雪期は水分が多く燃料品質が劣る。建築解体材と混入しても投入水分基準値の 35%を下回ることができない。
- ② 現在 2,800m³(770t)のストックヤードを確保しているが、林地未利用材は発生量が安定しないためさらに大きなストックヤードが必要となっている。
- ③ 林地未利用材は建築廃材に比べてコスト高になるが、熱供給事業者のため熱料金は国の認可を得る必要があるため、コスト上昇分を価格転嫁することは難しく、電気と同様の固定買取制度が熱についても制定されることを望んでいる。

5.2.3 小規模の地域熱供給

図表 5-9 図表 5-9 は 2014 年 3 月時点で稼働あるいは稼働間近の「木質バイオマスによる地域熱供給施設(以後、「地域熱供給」とよぶ)」をまとめたものである。このほかにも2~3魅力的な計画も進行しているが、ここでは割愛する。

図表 5-9 木質バイオマスによる地域熱供給施設 (2014年3月時点)

所在地	施設名	導入年	実施主体	熱需要施設	設備等						総事業費 (億円)
					木質 バイオマス ボイラ	バック アップ ボイラ	蓄熱槽	吸収式 冷凍機	導管長	導管コス ト(敷設費 含む)	
北海道 下川町	役場周辺 地域熱供給 施設	2010	下川町	役場、消防署、公民館、総合 福祉センター(いずれも暖 房)	1,200k W チップ 海外製	465kW× 2	5t	なし	200m	10 万円/m	2.43
	一の橋 バイオ ビレッジ	2013		集住化住宅22戸、住民セン ター、障害者施設(以上暖 房・給湯)、育苗ハウス(暖 房)	550kW×2 チップ 海外製	なし	7t ×2	なし	1000m	10 万円/m	2.88
山形県 最上町	ウエルネス タウン最上	2006	最上町	○福祉センター(冷暖房)、 園芸ハウス(暖房)	550kW チップ 海外製	なし	5t 8t 10t ×2	193kW	220m	2.1 万円/m	1.20
		2007		病院、健康センター、老人保 健施設(冷暖房・給湯)	700kW チップ 海外製	なし		232kW	220m		1.40
		2012		○特養老人ホーム(冷暖房、 給湯)、給食センター(給)	900kW チップ 海外製	なし		424kW	350m		1.9 万円/m
山形県 小国町		2008	小国町	役場(床暖房)、 駐車場・歩道(融雪)	450k W チップ 海外製	1,453kW	あり	なし	250m	既設利用	1.04
岩手県 紫波町	オガール エリア	2014	紫波グ リーンエ ネルギー (株)	役場(冷暖房)・保育所(冷 暖房・給湯)、○住宅(40 戸、暖房、給湯)・○ホテ ル・体育館(冷暖房、給 湯)、○事業棟(冷暖房)	500k W チップ 国産	なし	10t ×2	300kW	3550m	3.6 万円/m	5.00
滋賀県 高島市	高島市 熱供給施設	2004	高島市	介護予防拠点施設(プール含 む)、老人福祉施設(暖房、 給湯)	523k W チップ 国産	補助: 581kW 465kW	2t	なし	300m	不明	2.18
山口県 下関市	安岡 エコタウン	2007	安成 工務店	○住宅15戸(冷暖房、給湯)	110kW×2 ペレット 海外製	116k W	戸別設置	116kW	900m	不明	1.06

注: ○印は民間の熱需要施設

(1) 各施設の特徴

2004年に滋賀県高島市に導入されたのが初めてで現在7施設ある。事業主体は5施設が自治体、2施設が民間となっている。民間のうち紫波グリーンエネルギーは、独自にプラント建設と管理運営を行い需要者との契約によって熱を供給する営利を目的とした事業者である。それに対して安岡工務店は自社建設の分譲住宅にNEDOの100%補助で熱供給設備を導入したもので、前者とは設備負担の有無に違いがある。分布は5施設が北海道、山形、岩手の寒冷地に立地している。北海道下川町には2施設が存在し、ウエルネスタウン最上は1施設であるが年次を追って充実し、現在3系統を融合し一体化して運用している。小国町は既設の石油系地域熱供給プラントをチップボイラに転換したもので、導管は既設のものを利用している。木質燃料は安岡エコタウンがペレットである以外は全て木質チップである。

熱の需要先は、役場や福祉・健康関連の施設が多く、大半は公共施設である。特異なものとしては豪雪地帯小国町の道路と駐車場の融雪利用が挙げられる。また住宅への熱供給も見られるようになってきた。

(2) 設備の状況

設備をみると、バイオマスボイラはいずれも温水ボイラで出力は 220～1,200kW の範囲にあり、出力合計は 6,143kW となっている。2施設が国産ボイラ、それ以外は全て海外製となっている。バイオマスボイラはベースヒータとして利用し、出力不足に備えてバックアップボイラか蓄熱槽のいずれかが設備されている。安岡エコタウンの場合は需要家個々に蓄熱槽を取り付けて対応している。また吸収式冷凍機を設置する施設も3施設見られ、わが国の地域熱供給を地域冷熱供給と呼称する意味も理解できる。

一方導管長に関しては施設の規模、内容によって変化する。200～300m の例が多いが、オガールエリアでは 3,550m と飛び抜けて長いのが注目される。導管は断熱材で熱損失を少なくした配管で、導管の長さは行きと還りで埋設距離の2倍必要になる。行きと還りの管を一体化した二重管では埋設距離に等しくなる。また冷熱と温熱の両方を供給するときには2系統必要で、埋設距離の2倍になる。この辺りの計算の仕方に混乱があった可能性がある。埋設コストを含めた導管コストも 2～3 万円/m が多く、中欧の例に比べても特段高いとは言えない。しかし下川町の 10 万円/m は寒冷地のためかあまりにも高額である。

(3) 総事業費

1～5 億円に分布しており、高額な初期投資を必要とする事業となっている。5 億円のオガールエリアの場合は導管関係だけでも約 1/3 の経費がかかり、バイナリー発電機を設置するなど設備に関してそれなりの理由があるように思える。

(4) 燃料調達

地域熱供給の導入に際しての最初の関門は木質バイオマスの安定供給、コスト、品質である。図表 5- 10 に各地域熱供給施設の木質燃料の調達と消費の状況を示す。

図表 5- 10 各地域熱供給施設での燃料調達

所在地	施設名	燃料等				
		種類	水分条件	消費量 t/年	単価	燃料生産業者
北海道 下川町	役場周辺地域 熱供給施設	広葉樹、針葉 樹、ヤナギな どの破碎チップ	M≤50% そ れ以上は 10%毎に値 引き	390	15.8円/kg	下川エネルギー供給協同組 合に供給業務を委託
	440 (10ヶ月)					
山形県 最上町	ウェルネス タウン最上	主として針葉 樹の破碎チップ	M≤40%	2,212 (平成24 年)	10.0円/kg	(株)もがみ木質エネルギー に供給業務を委託
山形県 小国町		切削チップ	M≤40%	600～700	未公表	小国町森林組合 (株)旭林業
岩手県 紫波町	オガール エリア	主として針葉 樹の切削チップ		不明	0.7円/MJ (ボイラー 出力)	紫波町農林公社
滋賀県 高島市	高島市 熱供給施設	破碎チップ	M=30～45%	250	4.0円/kg	不明
山口県 下関市	安岡エコタウ ン	全木ペレット		104	39.0円/kg	山口県森林組合連合会

安岡エコタウンのペレット以外はチップ燃料である。チップ単価からすると高島市の場合は建築廃材チップと想定できる。そのほかの5施設は森林由来のチップである。

チップ単価で注目されるのはオガールエリアでの取り組みで、使用したチップを燃やしたときのボイラ出力に応じて単価が変わる仕組みである。燃料品質によって取引価格に差が出るのは当然で、水分が低くなれば高く売れるこのような仕組みが浸透すれば、生産者側でも水分を少なくする意識が芽生えることになる。燃料用チップの品質を理解し、水の少ないチップの生産につなげるために推奨したい仕組みである。

因みにオガールエリアでの単価基準を用いて、ボイラの熱効率 80%としてチップ水分 40%、50%でのチップ単価を計算するとそれぞれ約 6 円/kg および 5 円/kg となる。そもそも 0.7 円/MJ (ボイラ出力)が妥当な数値であるかはサプライチェーンの能力にも関係し判断は難しいが、10 円/kg 以上の燃料単価については、コスト低減の努力が必要になる。

またチップ生産者に関しても業務委託している下川町、最上町とも、町営から民間に移管したもので、町の産業振興ともかかわった対応と理解する。紫波町の農林公社はオガールエリアへの燃料チップ供給をも視準に置き、2014 年にオーストリア製の高性能切削チップパーを設置、紫波町一帯の燃料チップの生産・販売を担う態勢を整えつつある。

(5) 熱利用料金

図表 5- 11 に熱利用料金に関する情報をまとめてある。

図表 5- 11 各地域熱供給施設での熱利用料金

所在地	施設名	熱利用料金		
		算定法	徴収方法	単価
北海道下川町	役場周辺地域熱供給施設一の橋バイオビレッジ	木質燃料購入費を発生熱量で割り、得られた熱量単価を各戸・施設の熱利用量にかけて算出	熱利用量×熱量単価で徴収	4.7円/kWh
山形県最上町	ウエルネスタウン最上	各施設毎、熱量計から算出された割合を基に、歳出経費全体を案分して利用料金を算出	外部2団体からは徴収、自治体内部はそれぞれの会計より徴収	7~9円/kWh (推計値) (チップの消費量と水分、ボイラの熱効率から求めた年間の熱供給量で歳出経費を除いて求めた)
山形県小国町		役場を含め道路、駐車場も町有地のため、公共事業として徴収しない		
岩手県紫波町	オガールエリア	●新庁舎：町が独自で木質チップボイラー設備を導入した場合の熱料金に比べて遜色のない料金に設定 ●それ以外：化石燃料等の従来型設備を導入した場合の熱料金に比べて遜色のない料金に設定	基本料金と従量料金に分けて徴収	新庁舎の場合 基本料金：20,145千円/年、 従量料金：2.67円/MJ (9.6円/kWh) その他の料金は未公表
滋賀県高島市	高島市熱供給施設	熱量計で求めた熱供給量に基づいて従量料金を決定	基本料金と従量料金に分けて徴収	市条例で以下の通り決定 基本料金：120,000円/月 従量料金：8.3円/kWh
山口県下関市	安岡エコタウン	毎月固定価格で徴収		

利用料金を徴収しない小国町、固定価格に設定している安岡エコタウンを除けば、基本的に利用熱量を基準にした料金設定がなされている。

自治体の場合公共事業的性格が高いことを反映して算定方法に論理性は乏しく、下川町では燃料購入費のみを、最上町では歳出経費全体を対象としており、単価は毎年変わるようである。しかし高島町の場合は「高島市熱供給施設条例」で従量料金の単価を定めている。徴収方法については、最上町では外部、内部団体関係なしに同位置基準を適用している。

民間事業者の場合、採算性を重視した料金体系を取らざるを得ないが、高すぎると需要者が熱需要契約を拒否することにもつながりかねない。オガールエリアでは役場への熱供給が前提で、需要者として確定している。その場合の利用料金設定は地域熱供給を推進する立場もあって図表 5-11 のように決定されている。住宅に対しても基本的なところは決まっているがまだ公表されていない。どのような額が提示されるか、興味にあるところである。

5.2.4 個別事例

以上、わが国の木質バイオマスによる地域熱供給について概観してきた。本来地域熱供給は地域特性にあった熱利用のあり方を具現化するツールであることを考えると、単に数値で表すことのできない魅力ある取り組みをいくつか見つけることができる。そのうちの3施設について紹介する。

(1) 新たな展開を見せた下川町の取り組み

① エネルギー自立と森林再生に向けて

スキー・ジャンパー葛西紀明選手のふるさと北海道下川町は、町域の9割が森林で、豊富な森林資源を有し、冬には -30°C にも達する有数の寒冷地でもある。衰退した林業を立て直す方策として町では「森林の再生」をテーマに掲げ、それに向かって多くのプログラムを実行に移してきた。その一つに、寒冷地で不可欠な暖房熱源を石油から地元資源の木質に転換する試みが実績を挙げ、今や木質バイオマスエネルギー利用の先進地としても有名になっている。

その内容を示すと、2004年に町内の五味温泉に北海道初の木質バイオマスボイラを入れたことを皮切りとして、その後も石油燃料需要の大きい施設を中心に順次木質ボイラに転換し、2010年には役場周辺の複数施設を対象として地域熱供給システムを導入し、さらに2013年には同町で2番目になる地域熱供給施設「一の橋バイオビレッジ」を立ち上げてきた。これまでに公共8施設、民間2施設の木質バイオマスボイラが導入されている。一つの小さな町でこれだけ多くの木質ボイラを導入しているところはわが国では見あたらない。ただ数が多いだけでなく、初期の目標通り石油から木質への燃料転換によるエネルギー自立の効果も出ている。燃料転換によるコスト削減分は平成24年度実績で年間1,400万円に達している。その半額をボイラ等の更新費用に、残りを新たな子育て支援(中学校までの医療費無料、保育料1割減、給食費2割減、不妊治療費女性など)の財源として町民に還元している。

今後も小学校周辺の地域熱供給施設、中学校へのバイオマスボイラ、木質発電の導入など、豊富な森林資源を活用する計画が目白押しである。

② 地域コミュニティを創生する「一の橋バイオレッジ」

さらに注目されるのは一の橋バイオレッジの設計理念である。通常地域熱供給システムの導入は図表 5-6 に示した効果を期待するが、一の橋バイオレッジの場合は、地域熱供給システムを一つのツールとして過疎化、高齢化といった地域課題の解消に利用していることにある。

下川町の「一の橋」地区は、かつては林業が盛んで人口 2,000 人を超えていたが、現在では人口 140 人、高齢化率 50%を超える小規模集落となっている。商店も病院もなく、高齢化による買い物や除雪の支援要望などが増え、住宅の老朽化も進行して地域コミュニティの維持が難しくなっていた。この問題解決のために、超高齢化への対応と地域コミュニティの創生を目指したエネルギー自給型の集住化エリアとして一の橋バイオレッジが誕生したのである。

このエリアには、高齢者を含めた住民が集まってコミュニティを作りながら住むことのできる集住化住宅(コレクティブハウス)22 戸と郵便局の入った住民センターや共通のコミュニティ施設もつくられている。住宅は長屋風で、高断熱、バリアフリーでプライバシー等に配慮した造りで、各住宅は外廊下でつながり、積雪期の近所付き合いも容易にできる設計となっている(図表 5-12)。住宅の暖房と給湯は全て木質ボイラによる地域熱供給システムからで、隣接する住民センター、さらには近隣する障害者支援施設、育苗温室ハウスなどにも結ばれている。住民生活に対する人的なバックアップもシステム化され、高齢者に対しても心身ともに健全で快適な環境の創造に木質エネルギーも一役買っているといえよう。

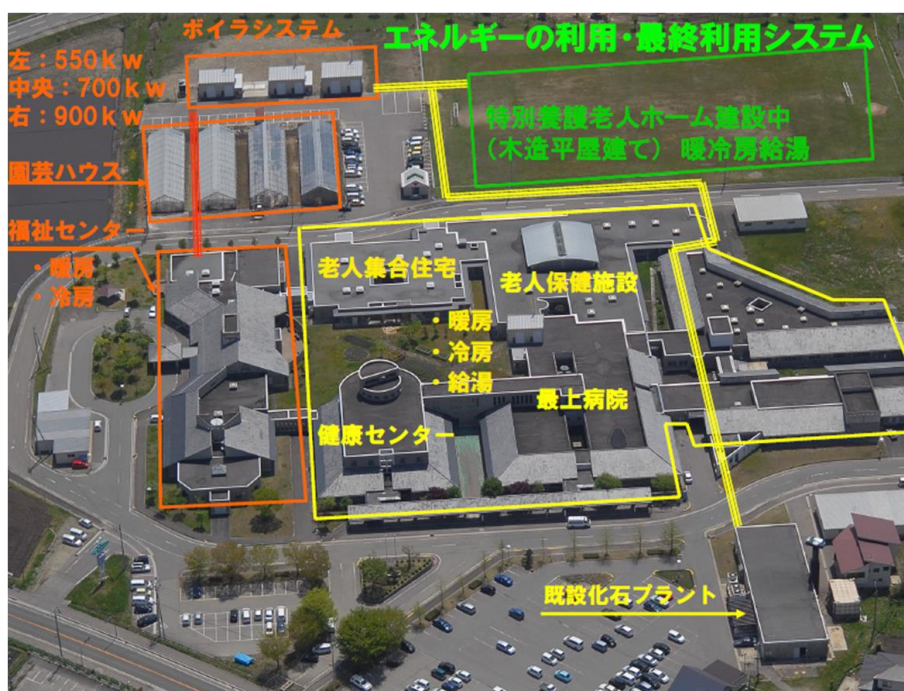
わが国の中山間地には高齢化や過疎化の進む地域は多い。地域の資源を活用して地域の課題解決に地域自身に取り組む例として紹介した。



図表 5-12 一の橋バイオレッジの外観(上)と施設配置図(下)

(2) エネルギー間伐で間伐促進を！独自のサプライチェーンを築いた最上町

最上町では昭和50年前後に1,300haの一斉造林が行われた。その後手入れもほとんどされずに間伐期を迎えているが、間伐材は低質で素材価値が低いことから、森林は間伐もされず荒れたまま放置された状態にあった。そこで最上町では、人工林の間伐を推進する方法として間伐材のエネルギー利用を行い、それで生まれる化石燃料の削減分を森林所有者の負担に充てることを企画した。木質エネルギーの利用先として、町の医療、福祉、健康、保険の中心施設「ウエルネスタウン最上(図表5-13)」を候補に挙げ、これまでの重油ボイラを木質ボイラに変更して燃やすことにした。これが最上町における木質エネルギー利用取り組みの発端である。



図表 5- 13 ウエルネスタウン最上のエネルギー利用システム

取り組みにあたっては、森林の状況把握から最終の熱利用までの各段階における具体的な課題(図表5-14)について実証的な検討作業を行い、町の森林利用にふさわしい地域システムを構築してきた。

図表 5- 14 最上町での間伐材エネルギー化にかかわる「地域システム構築プラン」

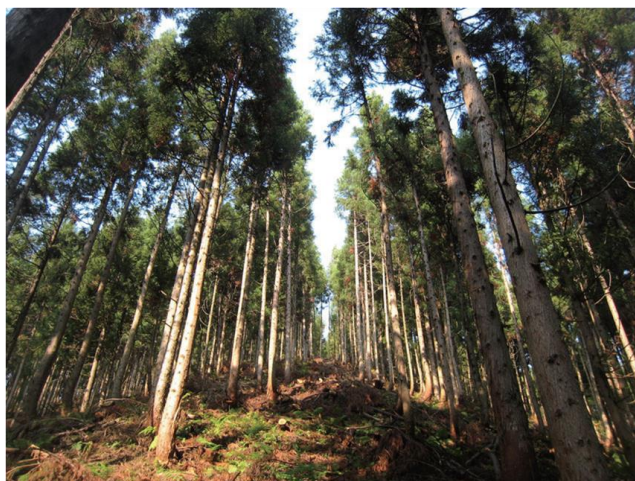
実証項目	内 容
① GIS支援による森林利用計画の策定	森林賦存量の把握（エネルギー供給の持続性） 森林利用計画の策定 作業計画の策定
② 収穫システムの構築	低コスト間伐の実証的検討 森林の保育と循環 森林の所有権との利用権の分離
③ 燃料チップ生産技術の確立	丸太の管理 チップ加工方法の適切化 チップ品質の検証
④ エネルギー利用システムの最適化	各需要施設への適切なエネルギー供給システムの検討

すなわち①の実証検討からは、間伐候補地の決定、効率的間伐作業に効果のある作業道開設の路網設計と施業地の集約(団地)化計画を策定した。それを受けて②では、間伐を効率よく低コストで行うための手法の検討から以下を実行に移した。

- 列状間伐を採用し、伐倒列を利用して収集する(図表 5- 15)。
- 森林の所有権と利用権とを分離し、集約化(団地化)を図る。
- 伐り捨て間伐材を少なくしバイオマスの効率的な収穫が行える作業道を開設する。
- 高性能林業機械を活用し生産性を向上する。

この中でとくに所有権と利用権の分離は本計画達成の根幹をなすもので、森林所有者の了解を得るための大変な努力がなされたと聞く。

④に関しては、燃料としてのチップ品質の追求から、丸太段階での水分減少が重要で、とくに豪雪地帯では冬期の丸太管理が大切でその対策を講じていること、丸太水分を 40%程度に下げるとチップボイラに適合したチップ形状になり(図表 5- 16)、発生熱量が高くなることも実証的に明らかにしている。



図表 5- 15 列状間伐(一伐三残)事例

生丸太からのチップ



水分の低い丸太からのチップ



図表 5- 16 丸太水分の違いによるチップ形状の変化

以上の実証を経て、最上町の木質燃料サプライチェーンが構築され、実際運用に至っている。現在ではこの技術マニュアルを踏襲した民間企業に燃料の生産・供給を委託している。

ウエルネスタウン最上においては現在木質ボイラを3基設置し、配管3系統を融合して一体化した運用を行っている。このシステムは出力の平準化につながり、非常時にも安定したエネルギー供給ができること、燃料チップ利用の無駄を廃して化石燃料の節減につながることなどの効果が期待できる。

木質バイオマスの利用は森林の再生、活性化につながるとよく言われる。まさにこれが実践できる仕組みを自ら構築してきた希有な例として紹介した。

(3) 契約によるエネルギー供給事業で住宅への本格的熱供給（紫波町）

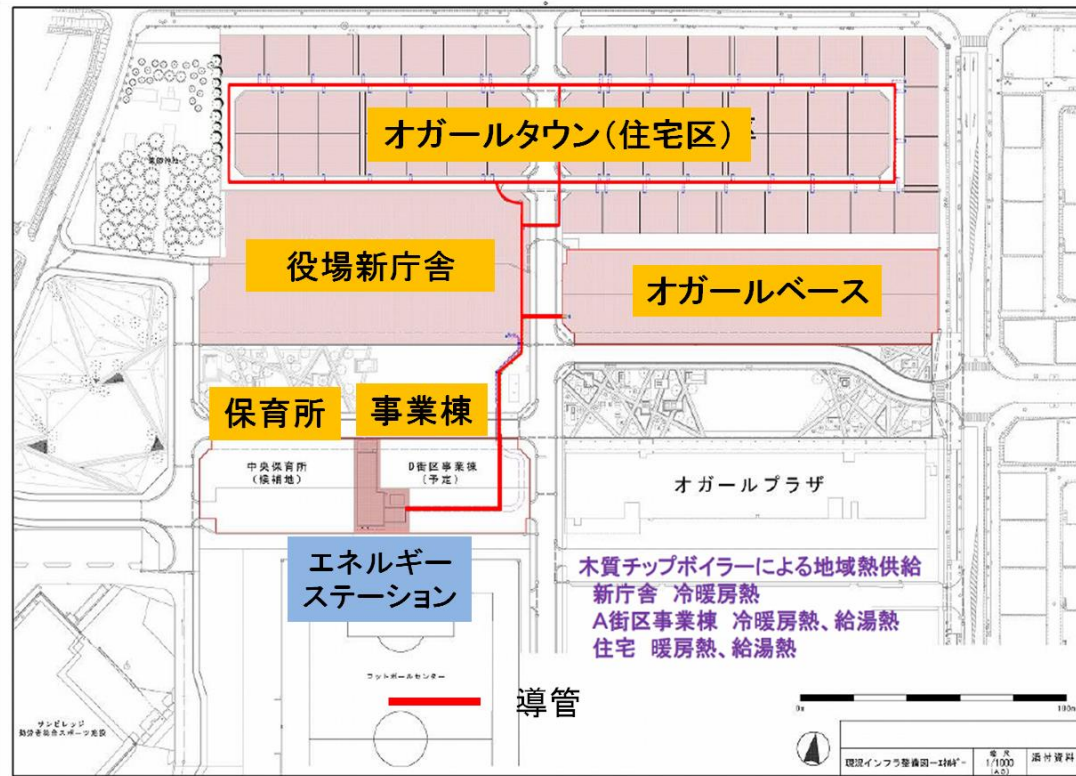
① 営利を目的とした熱エネルギー供給会社の出現

紫波町では、エネルギー自立と地域経済の循環を目的に、紫波中央駅前に隣接する約10haの町有地に建設予定の公共施設等に、木質バイオマスボイラによる地域熱供給施設、「紫波中央駅前エネルギーステーション(オガールエリア)」を構築し、再生可能エネルギーの利用を促進する事業を導入することとした(図表5-17、図表5-18)。

対象建物は、役場新庁舎、オガールベースとD街区の事業棟、住宅57戸で、2014年7月から熱供給が開始される。いずれの建築物も高断熱仕様が条件で、とくに宅地購入者は住宅建築に際して高い断熱性能を有する高品質のものであることが条件となっている。



図表5-17 紫波中央駅前オガールエリアの完成予想図



図表 5- 18 オガールエリアの導管配置図

オガールエリアの実施主体は紫波グリーンエネルギー(株)である。プラントおよび熱供給にかかわる設計・施工、運転・維持管理、資金調達などのすべてを担当し、需要者との契約のもとで熱を販売する営利を目的とした事業者である(熱供給事業と呼ばれる条件としては、熱源設備の加熱能力が 21GJ/h 以上である必要があり、これには相当しない)。契約期間は最低 30 年で、熱料金は経済状況や社会情勢に変化によっては改訂できることになっている。オーストリアでは、農林家が組合をつくり、燃料供給だけでなくボイラ設備や導管整備をして、自らが運転・管理・メンテナンスもしながら需要家との契約に基づいて 15 年間熱供給を行う制度があり、これを森林エネルギー契約事業と呼んでいる。紫波町の例もこれに酷似した形態といえる。都市部での大規模地域熱供給と異なり、木質エネルギー分野で、しかも小規模の地域熱供給で、このような形態が導入されるのは初めてである。

いずれにしてもこれまで投入した初期経費に加えて、これから必要となる諸経費、利益も含めて全てが熱利用料金で賄われることになる。紫波町新庁舎等については熱利用を前提にしているが、住宅については利用料金の設定額によって熱利用契約をするか否かの判断があり、経営を左右する重要な決定になる。民間のエネルギー供給会社の先駆けとして、今後の動向が注目されることになる。

② 個別住宅への本格的熱エネルギーの供給

もう一つ注目されるのは、木質エネルギーエネルギーによる住宅への本格的な熱供給の始まりである。すでに安成エコタウンと下川町で実施されているが、それに比べて住宅数が多いいずれも個別住宅である点で本格的と言っても間違いではないであろう。北欧や中欧に普通に見られる形態で、既設住宅への熱供給にあたっては熱ロスを極力抑えるために先ず住宅の断熱から取りかかると言われている。オガールエリアの場合は全て新築で分譲条件に高断熱仕様が組み込まれており、その心配はない。また造成地である関係上、導管施設に対する制限も少ないように思われる。

これまでわが国の木質バイオマスによる地域熱供給は、一施設で熱需要量の多い公共施設や民間では福祉や健康関連の施設に留まっていた。今回は生活の基盤である多数の住宅を対象とした本格的な取り組みであり、そのノーハウは今後の展開に大きな意義を持つものとして紹介した。

5.2.5 おわりに

これまでわが国の木質バイオマスによる地域熱供給の実態について報告してきた。まだ実績は少なく評価を下せる段階にないが、年を追うごとに、ただ単に複数施設に熱を供給するといったプリミティブなものから、地域熱供給の導入に明確な期待を持ったものが見られるようになってきている。地域熱供給システムを一つのツールとして、それを上手に使いこなすだけの技量が備わった結果と理解できる。現在進行中の民間主導による複数の地域熱供給プランを見ても、いずれも具体的テーマに絞った取り組みが計画されている。

一方、厳然として初期投資の大きさが目立っていた。十分な補助がないと導入できないのが実態である。先進国ヨーロッパの例に比較するとボイラ本体価格で6～8倍、総工費で10倍近い差があるといわれており、その低減が地域熱供給に限らず木質バイオマス利用の促進に寄与することは確かである。

第6章 資料編

6.1 検討委員会

6.1.1 委員等名簿

委員

(敬称略、五十音順)

氏名	所属・役職
市川 和芳	(財)電力中央研究所 エネルギー技術研究所 スタッフ 上席研究員
加藤 鐵夫	(社)日本森林技術協会 理事長 (木質バイオマスエネルギー利用推進協議会 副会長)
久保山 裕史	(独)森林総合研究所 林業経営・政策研究領域 林業システム研究室 室長
熊崎 実	筑波大学 名誉教授 (木質バイオマスエネルギー利用推進協議会 会長)
沢辺 攻	岩手大学 名誉教授 (木質バイオマスエネルギー利用推進協議会 幹事)
陣川 雅樹	(独)森林総合研究所 林業工学研究領域 領域長
矢野 伸一	(独)産業技術総合研究所 バイオマスリファイナリー研究センター 研究主幹
山本 幸一	(社)日本エネルギー学会 バイオマス部会 部会長
山本 博巳	(財)電力中央研究所 社会経済研究所 上席研究員
吉田 貴紘	(独)森林総合研究所 加工技術研究領域 木材乾燥研究室 研究員

オブザーバー

氏名	所属・役職
平之山 俊作	林野庁 林政部 林政課兼企画課 林業・木材産業情報分析官
添谷 稔	林野庁 林政部 木材利用課 木質バイオマス推進班 課長補佐
鈴木 崇之	林野庁 林政部 木材利用課 木質バイオマス推進班 木質バイオマス第2係長

事務局

氏名	所属・役職
岡本 元一	木質バイオマスエネルギー利用推進協議会 事務局長
伊東 雄生	木質バイオマスエネルギー利用推進協議会 研究員
阿部 紀人	木質バイオマスエネルギー利用推進協議会 研究員
池谷 智晶	木質バイオマスエネルギー利用推進協議会 研究員
山田 祐亮	木質バイオマスエネルギー利用推進協議会 研究員

6.1.2 各章の執筆担当者

- 第1章 調査の目的と方法……………検討委員会
- 第2章 木質バイオマス発電の課題と展望……………熊崎委員
- 第3章 ボイラ・タービン発電システムのコスト構造……………発電コストワーキンググループ
- 第4章 木質バイオマス燃料のサプライチェーン
- 4.1 木質バイオマスの供給方法……………供給サプライチェーンワーキンググループ
- 4.2 木質バイオマスの乾燥方法……………供給サプライチェーンワーキンググループ
- 4.3 燃料用木質チップ品質規格……………沢辺委員
- 第5章 その他の調査
- 5.1 小規模木質バイオマス発電の現状と課題……………熊崎委員
- 5.2 木質バイオマスによる地域熱供給システムの現状と課題……………沢辺委員

平成26年3月作成

木質バイオマス利用推進協議会

〒105-0004 東京都港区新橋 4-30-4 藤代ビル 5階

ホームページ : <http://www.w-bio.org/>

TEL:03-6435-8781 FAX:03-5733-2109

本調査は、平成25年度林野庁補助事業「木質バイオマス利用支援体制構築事業のうち発電・熱供給・熱電併給推進のための調査支援」により実施しました。