

平成 24 年度林野庁補正予算  
原木需給情報システム開発事業

# 木質バイオマスエネルギーの生産と利用の実態 調査報告書

平成 26 年 1 月

一般財団法人日本木材総合情報センター

## 1. はじめに

原木需給を考える上で、固定価格買取制度によって今後、大幅に増加が見込まれる木質バイオマスの利用動向を把握することは不可欠といえる。

本報告書は、F I T先進国であるドイツやオーストリアにおいて、買取価格の設定に大きな役割を果たした統計作業部会の枠組みやバイオマス価格情報の整備状況、バイオマス利用の現状と展望について調査を行うとともに、国内の実態についても調査を行い、比較分析を実施し、その結果を取りまとめたものである。

とくに国内外における木質バイオマスエネルギー利用について、次の4点を中心に調査分析を実施した。①主なビジネスモデルとその経済性、②燃料のサプライチェーン、③エネルギー事業及び燃料価格情報の収集・分析態勢、④技術開発動向である。

本調査は（財）林業経済研究所に委託して実施したももので、調査担当者及び執筆分担者は以下のとおりである。

久保山裕史（森林総合研究所林業システム室長）

I、II-3-1・4、III-1～3・4（一部）、IV

立花 敏（筑波大学大学院生命環境科学研究科准教授）

II-1

吉田貴紘（森林総合研究所加工技術研究領域主任研究員）

II-2

吉田美佳（東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程）

II-3-2・3、III-4

平成 26 年 1 月

一般財団法人日本木材総合情報センター

## 2. 目次

要旨	4
1. 要点	4
1-1. 欧州における木質バイオマスのエネルギー利用	4
1-2. 日本の木質バイオマス利用	6
2. 日本と欧州の比較	9
2-1. エネルギー事業	9
2-2. 木質バイオマス供給	10
3. 今後の課題	12
I 調査目的と検討課題	15
I-1. 調査の目的	15
I-2. 調査の概要	15
II 欧州における木質バイオマスのエネルギー利用	18
II-1. ドイツにおける木質バイオマスのエネルギー利用	18
II-1-1. 第1回モニタリング報告書「未来のエネルギー」	18
II-1-2. バイオマス資源及び関連する法制度の概要	20
II-1-3. 固定価格買取制度の概況	21
II-1-4. 木質バイオマス情報とその収集態勢	23
II-2. 木質バイオマスエネルギーに関する技術開発動向	26
II-2-1. トレファクション	26
(1) 木質ペレット燃料の長所、短所	26
(2) トレファクションの原理	27
(3) トレファクション物（ペレット）の特徴	28
(4) トレファクション導入事例	31
(5) トレファクションの経済性	35
(6) まとめ	38
II-2-2. ガス化	38
(1) ガス化技術動向	38
(2) 欧州におけるガス化技術導入の現状	41
(3) まとめ	52
II-3. オーストリアにおける木質バイオマスのエネルギー利用	54
II-3-1. オーストリアにおける木質バイオマスエネルギー利用の概況	54
II-3-2. 規模別のエネルギー事業の実態	58
(1) 調査の概要	58
(2) 小規模熱利用の事例	59
(3) 中規模熱利用の事例1：Rubner Holz Industrie社（Weiz市）	61
(4) 中規模熱利用の事例2：Stadt-energie Heizwerk Murau（Murau市）	62
(5) 中規模熱利用の事例3：有限会社 Bioenergie Köflach（Köflach市）	63

(6) 大規模熱利用の事例1：有限会社 Bioenergie Wärmeservice (Zeltweg 市)	64
II-3-3. 木質バイオマス供給の実態	66
(1) コンサルタント事業体	66
(2) 素材生産現場	69
(3) チップ生産	73
(4) 木材の利用	77
II-3-4. 小括	79
III. 日本における木質バイオマスのエネルギー利用	82
III-1. 木質バイオマスエネルギー利用の現状	82
III-2. 木質バイオマス発電の現状と課題	83
III-2-1. 現状	83
III-2-2. 木質バイオマス発電の課題	84
III-3. エネルギー事業の事例	87
(1) グリーンサーマル会津	87
(2) 北海道 M 町	89
(3) 岩手県 W 社	90
(4) 島根県 H 市	90
III-4. 木質バイオマス供給の実態	92
III-4-1. 調査結果	92
(1) 北海道 M 町	92
(2) 岩手県 N 組合	93
(3) 島根県浜田地区	95
III-4-2. 小括	101

## 要旨

### 1. 要点

#### 1-1. 欧州における木質バイオマスのエネルギー利用

##### (1) ドイツ調査

- ・ドイツ政府は、2011年6月にエネルギー政策を転換し、2022年までに原発の段階的な廃止を決め、2050年までに再生可能エネルギーを少なくとも60%供給することを計画している。その際、電力消費量に占める再生可能エネルギーの割合は約80%に達する。また、建物のリノベーションや運輸分野のエネルギー消費削減によって、一次エネルギー消費量を50%、電力消費量を25%削減する方向性も謳われている。
- ・エネルギー効率を年率2.1%で高めるという目標を設定しており、2008年から2011年までの間にエネルギー効率が年率2%で改善している。
- ・FITの導入後の木質バイオマス発電施設の変化は、2000年代前半に5,000kW以上の大規模な発電施設、2000年代後半に200kW～5,000kWの中規模な発電施設、2010年代に500kW以下の小規模な発電施設が増設されてきた。そして、大規模な発電施設から中小規模な発電施設へ変化する中で、熱電併給が定着した。
- ・2011年の木質バイオマス発電会社の構成比は、木材産業が42%、中小の自治体運用も含む電力会社が34%、地域コンソーシアムが16%、その他が8%となっており、一定の専門性を有する主体が経営している。

##### (2) 欧州における木質バイオマス技術開発

- ・トレファクションに関する技術開発が30前後の実証プラント等によって精力的に進められている。また、商用化へ向けて、トレファクションの国際規格の策定が既に承認待ちの段階に達している。国際規格が成立すれば、トレファクション燃料は木質バイオマスの発熱量やハンドリングを改善するため輸送効率に優れるため、低コストで石炭混焼発電の混焼率を向上する可能性を有していることから、国際市場に出回る日もそう遠くはないと考えられる。
- ・過去に調査した実証又は準商用化プラント35箇所の内、熱出力1,000kW以上で稼働しているのは15箇所に過ぎなかった。これに対して、ドイツでは熱出力1,000kW以下の小型の熱電併給プラントが商業化段階に入っている。ただし、それらは高品質ペレットや水分15%以下で20mm以下の高品質乾燥チップを燃料としており、それらが安価に手に入ることが利用拡大の前提となっている。さらに、木質ガスの用途開発が進められており、これまでのガスエンジン利用だけでなく、燃料電池との複合発電やF T合成による燃料生産、化学品製造などの技術開発が活発になっている。

##### (3) オーストリアにおける木質バイオマスのエネルギー利用

###### (ア) オーストリアにおける木質バイオマス利用拡大の背景

オーストリアの木質バイオマスエネルギー利用は、ガスや灯油といった化石燃料に経済的に勝っているために普及・拡大してきた。その背景には、①プラントや送熱パイ

プ等の設備が安価に設置できる、②エネルギープラントの変換効率が高い、③燃料バイオマスが安価で大量に手に入る、という3点の実現があるということが明らかとなった。

①について、同国におけるパイプライン埋設コストはせいぜい5万円/mであったが、日本では地方都市でも数十万円/mという話があります。また、機器導入コストに関しても、数百万円ですむところが日本に導入するとなぜか数千万円になってしまうという話があることから、コストの透明性を高め、事業の標準化を進める必要がある。

②に関して、同国では燃料の規格やボイラーの認証制度がしっかりしており、小型ボイラーには高品質チップを、大型高性能ボイラーでは低品質チップを主に使いながら、85%以上の高い熱効率を実現している。また、発電する場合も熱電併給を行っているため、熱効率が30%以下ということはほとんどない。

③のバイオマス供給については、急傾斜地でも4000円/m<sup>3</sup>以下で伐出できる低コスト林業システムの存在も大きいですが、高い競争力を持った製材業界の存在が重要な役割を果たしていた。それは、バークや鋸屑などが大量に供給されるだけでなく、製材用丸太の生産が低質材や枝葉等の供給にもつながっているということである。日本においても、用材を利用する製材工場や合板工場の競争力向上とともに林業を活性化していく必要がある。

#### (イ) 製材工場における木質バイオマスエネルギー利用

原木消費量が50万m<sup>3</sup>を超す大規模製材工場では、規格品に近い製品を輸出しながら32500円/m<sup>3</sup>前後という低価格で販売するとともに、グループ企業を通じて高付加価値製品（集成材、三層ボード、CLT等）の生産を進めている。中規模層のうち原木消費量20万m<sup>3</sup>以上の工場では、概ね大規模層と同様の取り組みを進めているが、出口を大規模建築物用の集成材生産向けの原料供給といった形でやや特化させるなどしている。他方、10万m<sup>3</sup>前後の工場では、直径40cm以上の大径丸太の側板から窓枠や内装用の高付加価値品を生産することで差別化を図っていた。これらの競争力は非常に高く、鉄やコンクリートの代替にも一部つながりつつある。一方、小規模層では、長尺材から無垢の製材を生産するなどして差別化を図っているが、今回の調査では、主力事業をバイオマスエネルギー供給に移している事例が見られた。

いずれの規模においても、①製材乾燥のための熱利用の経験、②安価なバークやのこ屑の入手、③丸太の集荷の経験、などを活かしてエネルギー事業を拡大させていると考えられる。ただし、大規模な製材工場は別として、20万m<sup>3</sup>前後の工場でさえも無理な発電はせずに、地域の熱需要を取り込んでエネルギー事業を展開している。事例でも見たように、送熱パイプの延伸によって需要を拡大し、結果として発電に踏み切るなどきちんとしたステップを踏んでいることが特徴といえる。

こうした拡大が容易であった背景には、総熱パイプの埋設コストが安価であることの他に、建築物の熱供給はセントラルヒーティングで一括されていることが大きいですが、日本の住宅にこうしたやり方を適用するのは困難であろう。しかし、現地をよく耳に

した話として、経済性の低い戸建て住宅ではなく、商業施設や工場、集合住宅などを中心に事業展開を図っていく方法は日本でも検討するべきであろう。

#### (ウ) 効率的な木質バイオマス供給

オーストリアでは、効率的な素材生産が行われていることが特徴としてあげられる。緩傾斜地では、近年、ハーベスタとフォワーダを用いた高効率生産が増加しつつあるが、いまだに、チェーンソーで伐倒、枝払いを行って、農業用トラクタに取り付けたウインチで行う全幹集材が主流となっている。ハーベスタとフォワーダによる伐出請負コストは、20ユーロ/m<sup>3</sup>以下と安価であるが、農業用トラクタによる伐出も16～35ユーロ/m<sup>3</sup>と決して高くはない。

緩傾斜地においては、集材上の都合や地力維持の観点から、枝葉は林地に残されることが多く、集材された全幹を林道端で丸太に造材する際に発生する欠点部分や小径部分等が燃料用となる。WVによれば、出材材積のおよそ60%は製材用であり、15%が製紙・ボード用、薪用10%、燃料チップ用15%とのことであった。つまり、25%程度が農家の庭先やバイオマス流通センターの土場などに輸送され、そこに半年から1年半程度おいて乾燥した後には薪やチップに加工されている。

このように、農家の庭先やバイオマス流通センターの土場を経由すると当然コストが上昇する。しかし、それによって在庫機能を果たすことができるだけでなく、貯蔵期間を経て乾燥が進むことによって燃料に付加価値をつけることができることに注目する必要がある。つまり、単価の高い薪や半乾燥チップを生産しているということである。このことは、裏返すと、そうした高い燃料を購入するユーザーが存在するということであり、半乾燥チップについては、生チップ対応でない小中規模ボイラーがおもな供給対象となっている。

一方、傾斜地においては、農業用トラクタ等のウインチによる全幹集材も行われているが、タワーヤード等による架線集材が主流となっている。傾斜地にもかかわらず、間伐でも20～45ユーロ/m<sup>3</sup>という低コスト生産が実現されている。

架線集材の場合は、伐倒した立木をそのまま全木集材するのが主流となっている。そのようにして集材された全木は、タワーヤードに取り付けられたあるいは農業用トラクタに取り付けられたプロセッサやハーベスタによって造材されるが、末木・枝条が道ばたに大量に集積する。これらの末木・枝条は、流下する危険があるため、基本的に伐採直後から1ヶ月程度の間にはチップトラクタを呼んでチップ加工し、コンテナトラックでユーザーに直送されている。この方法で生産された燃料チップは、水分が50%を超えることもあるため、利用できるユーザーは大規模プラントに限られ、価格は低くなっている。

## 1-2. 日本の木質バイオマス利用

### (1) エネルギー事業の実態

・2002年のRPS法制定を契機として、日本の木質バイオマスによる電力供給量は2003

年の 2TWh から 2007 年には 3TWh 以上へと大きく拡大した。この拡大には、廃掃法の改正やリサイクル関連法制度の制定によって、「静脈流」と呼ばれる建築廃材等の廃棄物系燃料の低コスト供給システムの果たした役割は非常に大きい。しかし、建築廃材需要の拡大に伴って、ただ同然であった燃料チップ価格が上昇し、一部では 2000 円/t 台に乗ってきたのに対し、電力買取り価格の平均が 8 円/kWh 程度であったため、2008 年以降、発電電力量は頭打ちとなった。建築廃材等の利用量は 600 万 t を超えたと言われるが、供給コストの高い林地残材利用には至らなかった。

・これまで我が国で林地残材利用が拡大しなかったのは、林地残材のエネルギー単価が石炭のその 3 倍前後と高かったため、発電用の燃料としては高価すぎたことによる。一方、熱利用の観点からすると、地域で一般的に利用されている A 重油 70 円/L とは十分対抗可能である。これまでは、林地残材のように水分が 50% 前後と燃料を高効率で燃焼できる中小規模のボイラーが我が国には存在しなかったが、熱効率 85% 前後と化石燃料ボイラー並の高性能チップボイラーも普及しだした。今後、燃料供給の規模や投資の規模の観点から、無理なく事業展開可能な熱利用の拡大は重要な課題である。

・木質バイオマスの専焼発電による電力は、再生可能電力の中で、太陽光に次いで高コストである。最近の太陽光パネルの価格下落傾向からすると、早晚、洋上風力を除けば最も高い電力になると考えられる。このように高コストとなるのは、第一に発電効率が低いことによる。5000kW 規模にすると、送電端効率で何とか 20% を超えるが、1 万 kW 規模にしても 24% 程度にしかならない。規模を大きくすると発電効率は向上するが、1 万 kW 規模の燃料チップ消費量は原木換算で 20 万 m<sup>3</sup> 程度となり、安定集荷に関わるリスクは非常に大きなものとなる（実際、その規模のプラントは半分程度の燃料を未利用木質バイオマス以外でまかなう計画としている）。

・木質バイオマス発電事業としては、専焼発電と石炭混焼などが実際に稼働している。いずれの事業においても、8000 円/生 t 以上の燃料チップ買取り価格で動いていた。石炭混焼では、燃料の受け入れに関する水分基準が 55% 以下であったが、専焼施設では 50% 以下あるいは 40% 以下など、ボイラーの設計によって異なっている。放射能の除去を目的とする皮むきの事例を除けば、基本的に原木を集荷し、皮付きのままチップ加工した黒チップの利用となっている。伐倒直後の丸太の水分は 55% 前後と考えられるが、在庫調整と同時に中間土場で丸太を乾燥させ、40% 以下にして出荷する取り組みが行われつつある。

## （2）木質バイオマス供給の実態

・パルプ用材よりも燃料チップ用材の価格が高くなっており、燃料チップ用材と製紙チップとの間で競合が発生していると考えられる。

・燃料用チップは、これから需要量が増加するため、価格が上がることが予想される。

・地域の素材生産量が増加しなかった場合、燃料用チップ供給を拡大するために、今まで製材・合板用材やパルプ用材として利用されていたものを燃料用チップ材にせざ

るを得ないとする事業者も少なくない。これに対して、これまでの用材生産量を維持しつつ、燃料用チップ生産を拡大させるためには、燃料用チップ生産でもある程度採算がとれるように、生産性の向上によってコスト削減を進める必要がある。

- ・燃料用チップを乾燥させる工程は、自然エネルギーを用いるほか、プラントや工場から出た廃熱を利用して乾燥するなどの方法が実施されている。乾燥工程には、時間と場所を要し、バイオマスの積み降ろし工程を1つ増加させるため、経済性評価が今後の課題である。

- ・木質バイオマス供給は、ほとんどの事業者が丸太の状態に運搬し、土場や工場においてチップ加工する方法を実行していた。他方、架線集材を行っている素材生産業者は、現場での林地残材の破碎を検討したが、高性能チップャーがないこと、路網が整備されていないため効率的な輸送ができないことから実行していない。また、全幹集材を行っている事業者は、枝葉・末木の買い手がないため、全木集材によるバイオマス供給は実施していなかった。

- ・燃料用チップの大量供給を実現するためには、土場を貯木場の代わりに使い、林地残材をその場で破碎する必要があると考えられる。これに対しては、公道を走行できるチップトラックやチップトラックの速やかな導入が求められる。また、皆伐の増加が予想されるため、造林事業との連携は重要な課題である。

- ・木質バイオマスの収集を経験している地域では、要求される量を確保し、安定して生産できるかどうか不安を感じており、自身の生産能力以下の、確実に生産できる量での供給を考えているところが多かった。これは、収集を経験している地域では、根張り等の短尺材はグラップルでつかみにくいことや、枝葉は運搬効率が低いため運搬回数を増やす必要があることなどを熟知しているためであると考えられる。

## 2. 日本と欧州の比較

### 2-1. エネルギー事業

中欧では、化石燃料に対する競争力の高い熱利用が木質バイオマスのエネルギー利用において先行している。これに対して、日本では発電事業が先行し、熱利用が遅れている。この要因としては、次の3つをあげることができる。

- ①熱利用の有効なビジネスモデルの欠如
- ②高いバイオマスプラント導入コスト
- ③バイオマス供給システムの欠如

第1点目については、本報告においてオーストリアの優良事例をいくつか示したが、注意が必要とされる事柄として、熱利用システムの違いがある。日本の住宅は、給湯はガスボイラー等を使い、暖房にはエアコンや灯油ヒーターを使うことが多いのに対して、欧州ではセントラルヒーティングによって給湯と暖房を一括して行うのが一般的である。そのため、個別住宅あるいは集合住宅には地下にボイラー室があり、その更新時にバイオマスボイラーに代える、あるいは地域熱供給に加入して熱交換器を導入するということが容易にできる環境にある。そうした状況も手伝って、既に地域熱供給網が整備されていることも多い。それらは、ガスや灯油などを燃料に運営されている場合も多いが、燃料価格が上昇したため、バイオマス燃料に転換される事例も少なくないことが明らかとなった。

この様な違いを乗り越えるには、まずは大量に石油を消費している事業体の燃料転換を進める、すなわちオンサイトでのバイオマスエネルギー利用を転換していく方法が考えられる。もちろん、そうした事業体が近くに存在する場合には、送熱パイプで需要を集約することによって効率的な利用が実現するであろう。

その実現には、第2点目の問題を克服する必要がある。2点目については、小型ボイラーの価格が欧州では3万円/熱kWであるのに対して、輸入費用等がかかるとはいえ10万/kWを優に超える費用が示される事例が一般化している。同様に、ボイラー建屋やサイロを含めたコストについても、欧州では7万円/熱kW前後（送熱パイプを入れて10万円/熱kW前後）であるが、日本では15万円/熱kW前後となるなど事業推進の障害となっている。この要因としては、(a)バイオマス事業の事例が少ないために費用の適正水準に関する評価が困難あるいは行われていない、(b)高性能チップボイラーの導入事例が限られているため、ボイラーメーカー間の競争が働かない、(c)多くのバイオマス事業が公共事業として行われているため、導入コスト削減のインセンティブが弱い等が考えられる。

導入コストを抑えた上で、さらに解決すべき課題として、第3点目の燃料の安定供給がある。これについては、オーストリアの小規模地域熱供給の事例が示しているように、森林所有者が事業主体となって燃料供給と熱供給を同時に行うことが合理的であると考えられる。なぜなら、供給コストを下げれば燃料チップ販売収入を増加させることができ、同じ熱販売単価の下では、燃料価格を下げても熱販売収入はその分増加するので、森林所有者の収入は減少しないという利点もある。

他方、中大規模のエネルギー事業の場合は、林産加工企業やそこから派生した事業者によるエネルギー事業の展開が多く見られた。日本においても、素材流通業者あるいは木材加工事業者がエネルギー事業に関与している事例が多く見られるのは、丸太の流通に関するノウハウが燃料の集荷にとって非常に重要であることの表れであると考えられる。

欧州における木質バイオマス発電は、熱供給を拡大していった結果、熱電併給に適したプラント規模になったので実施するといった無理のない事業展開が行われている。ドイツにおいても、FIT を導入して木質バイオマス発電を拡大させる以前から、木質バイオマスの熱利用は拡大しており、燃料バイオマスのサプライチェーンは構築されていた。これに対して、日本では、脆弱なバイオマス供給体制の下で急激な木質バイオマス発電の拡大を目指しており、今後の困難が予想される。

また、ドイツにおける初期の FIT 制度では、発電規模による買取り価格に差があまりなかったため、大規模を中心に発電プラントの建設が進んだが、日本でもまさにこれが再現されようとしている。その後のドイツでは、熱効率の高い熱電併給を優先した結果、規模の小さい分散型の発電プラントの建設が進み、燃料需要の拡大とともに燃料チップの価格が 2 倍程度に上昇した結果、一部の大規模プラントは操業停止に追い込まれているようである。このことは、大規模プラントは経済性が高い反面、燃料集荷リスクが高いということを明確に示している。

日本においても、中小規模の熱電併給施設の増加が望まれるが、熱需要の集約は欧州に比べて困難であることから、送熱パイプの敷設や企業誘致（移転）に関する規制緩和や助成策が必要であろう。また、発電出力 2000kW 以下での熱電併給に有効とされる ORC 発電に関する規制緩和も重要な課題と考えられる。

## 2-2. 木質バイオマス供給

II-3 で述べたように、オーストリアにおける木質バイオマス供給の半分近くは製材工場等の林産企業によるものである。これには、製材工場が副産物としてのバークやのこ屑・かんな屑を他社に販売する場合や、製材工場が自らエネルギープラントを工場内などに設置して乾燥用の熱源だけでなく、地域へ熱や電力、さらにはプレナー屑やのこ屑からペレットを生産して販売している。これに対して、日本の多くの量産製材工場では、柱角の高温長時間乾燥を行っており、かつ、木屑炊きボイラーの熱効率がせいぜい 70%と低いため、かんな屑やバークはほとんど余らない状況にある。これは、木質バイオマスエネルギー利用の拡大にとって大きなマイナスと考えられる。今後は、大径化とともに板類の割合が増えてくるものと思われるが、製材乾燥やボイラーのエネルギー効率を高めてバイオマス供給源に転換していく必要がある。

森林系バイオマスについては、オーストリアでは、緩傾斜地ではトラクタのウインチを用いた全幹集材を行っており、林道端に用材に適さない燃料用丸太が発生していた。また、傾斜地では、タワーヤード等を用いた全木集材を行っており、同じく林道端に燃料用丸太および末木・枝条が発生しており、それらをエネルギー利用していた。

これに対して、日本の伐採現場の多くは、集材路上でプロセッサやハーベスタを用いて造材しているため、燃料用丸太や末木・枝条はフォワーダ等を用いて土場まで搬出する必要がある。その際、積載量が欧米の大型のフォワーダに比べて少ないため、より一層コストがかかり増しとなりやすい。従って、林地残材の搬出の低コスト化が今後の重要な課題と考えられる。

オーストリアでは、燃料用丸太は庭先や中間土場等に貯蔵するとともに乾燥させ、高品質チップを生産しており、末木・枝条は土場でチップにしてプラントに直接供給する方法をとっていた。日本においても、中間土場に貯蔵するとともに、乾燥させる事例が増えつつあるようであるが、トラックスケールはチップ工場にあり、それを通してから中間土場に貯蔵し、チップ加工する際に再びチップ工場に輸送するといった多段階流通の状態にある。これに対して、できるだけ山土場で貯蔵・乾燥を行い、その場でチップ加工を行い、需用者へ直送することが燃料チップ供給のコスト削減につながると考えられる。なお、チップ加工は、これまで日本では、ハンマー型の粉砕機でバイオマスをたたいてつぶす方法が多くとられてきたが、その場合、得られるチップはブリッジを起ししやすいピンチップであり、効率も低い。これに対して欧州では、刃物で切削するドラムチッパーが一般的であり、出力もチッパートラックで 300 馬力前後、チッパートラックでは 700 馬力といった高い出力のものを用いている。いずれも価格はやや高いが、公道を走行できるので、現場から現場を移動することで稼働時間を増やし、年間の生産量を高めることによってチップ加工の低コスト化を実現している。

### 3. 今後の課題

表 3-1 に固定価格買取制度の下で認定を受けた、未利用木質バイオマス、一般木質バイオマス等、建設廃材を主燃料とする発電設備を示した。3つの出力合計は54.3万kWにのぼっているが、既に稼働している施設の出力合計は4.3万kWにすぎない。残りの多くの施設は、今後1~2年のうちに稼働を開始する予定となっている。つまり、これから短期間のうちに、林地残材供給を急拡大させる必要があるということである。

どの程度の拡大が必要かを概括するために、木質バイオマス発電設備の利用率を90%、未利用木質バイオマスの施設は5000kW規模のものが多く、その発電端効率を22%、一般木質バイオマス等は1万kWを超える規模のものが多く、それぞれ70%、40%の未利用木質バイオマスを燃料として利用すると仮定して、都道府県ごとの未利用木質バイオマス需要量を推計した(燃料の発熱量は2.3kWh/kg-50%、重さは、0.7t-50%/m<sup>3</sup>)。その結果は、表の5列目の燃料需要推計であるが、全国の合計は300万m<sup>3</sup>を超えている。また、各都道府県ごとの燃料需要推計値を用材生産量で割った割合をその隣に示したが、多くが30%を超える値となっている。これは、30%以上の増産が必要であることを示しているが、仮に平均の造材歩留まりが70%であるとすると、用材生産量がそのままの場合、幹部の林地残材をすべて搬出しないとまかないきれないことを意味している。

さらに問題と思われるのは、表の認定設備は2013年12月末のものであり、ほとんど計画が固まっているが、認定待ちの施設が多数抜け落ちているということである。それらについて、木材情報誌や日刊木材新聞、産廃NEXT誌などを参考にして集計したものが右端の列である。全国の合計をとると、実に41.3万kWにものぼり、機認定設備とほとんど同じ水準となり、さらに燃料需要は倍増させなければならないと考えられる。数年で600万m<sup>3</sup>の増産はかなりの困難が予想され、また、未利用木質バイオマスの価格上昇は容易に想像できる。

その場合、木質バイオマス発電は大規模が有利であることをⅢ章で示したが、燃料集荷の競合によって、中小規模発電施設が買い負ける事態も施設の接近度合いによっては起こりうるであろう。また、燃料価格は上昇し続けられるものではなく、発電事業の経済性評価によって、チップ工場を経由する場合、6000~7000円/m<sup>3</sup>が上限になる可能性を示した。この価格水準は、現状のパルプ材が4500円/m<sup>3</sup>前後でチップ工場に供給されていることを考えると、価格の向上が期待できることを示している。しかし、輸送に2000円/m<sup>3</sup>前後かかることを考えると、4000~5000円/m<sup>3</sup>で山土場まで出材しなければならないことを意味している。

これは、皆伐では可能性の高い水準であるが、間伐ではかなりの工夫が必要になると考えられる。いずれにしても、低コスト供給は必須の課題であり、そのためには、林業と連携した供給体制の確立、全木集材によるバイオマス量の拡大、山土場チップ加工による直送等の取り組みが求められる。

ところで、上記の上限価格の下で、発電施設に十分な未利用木質バイオマスが供給されない場合、どのようなことが考えられるであろうか。おそらく考えられるのは、

表3-1 木質バイオマス発電設備の認定状況と今後の燃料供給の課題

	未利用木質	一般木質・農作物残さ <sup>1)</sup>	建設廃材	出力合計(kW)	燃料需要推計(m3)	H23素材生産量(千m3)	増産割合	未認定出力(kW)
北海道	74,000	0	0	74,000	1,152,996	3,437	34%	84,000
青森県	0	12,100	0	12,100	98,754	678	15%	
岩手県	0	5,800	0	5,800	47,337	984	5%	14,500
宮城県	0	0	40,000	40,000	0	382		
秋田県	0	0	0	0	0	994		50,000
山形県	0	50,000	0	50,000	0	292	0%	
福島県	8,700	0	0	8,700	135,555	636	21%	25,000
茨城県	5,650	53,850	0	59,500	88,033	293	30%	
栃木県	0	265	0	265	2,163	467		2,000
群馬県	0	0	0	0	0	204		15,000
埼玉県	0	0	0	0	0	76		
千葉県	0	49,900	0	49,900	0	72		
東京都	0	0	0	0	0	38		
神奈川県	0	49,000	0	49,000	0	21		
新潟県	0	0	0	0	0	123		3,200
富山県	0	0	0	0	0	63		5,700
石川県	0	0	0	0	0	137		3,000
福井県	0	0	0	0	0	99		11,400
山梨県	0	0	0	0	0	155		11,500
長野県	15,000	0	0	15,000	233,715	329	71%	11,500
岐阜県	0	0	0	0	0	334		
静岡県	0	0	0	0	0	282		40,000
愛知県	0	75,000	0	75,000	0	138		
三重県	5,800	0	0	5,800	90,370	268	34%	
滋賀県	0	0	3,550	3,550	0	67		
京都府	0	0	0	0	0	251		
大阪府	0	0	0	0	0	23		
兵庫県	16,530	0	0	16,530	257,554	270	95%	5,000
奈良県	0	0	0	0	0	159		5,000
和歌山県	0	0	0	0	0	164		
鳥取県	0	5,700	0	5,700	46,520	147	32%	
島根県	6,250	12,700	0	18,950	201,032	314	64%	
岡山県	0	0	0	0	0	352		10,000
広島県	0	5,800	0	5,800	47,337	269	18%	
山口県	0	0	0	0	0	188		
徳島県	0	0	0	0	0	233		
香川県	0	0	0	0	0	3		
愛媛県	0	0	0	0	0	470		
高知県	12,750	29,500	0	42,250	198,658	507	39%	
福岡県	0	0	0	0	0	137		
佐賀県	0	0	0	0	0	139		8,300
長崎県	0	0	0	0	0	72		
熊本県	0	0	0	0	0	892		10,800
大分県	5,700	0	0	5,700	88,812	874	10%	18,000
宮崎県	0	0	0	0	0	1,632		48,000
鹿児島県	0	0	0	0	0	623		30,700
沖縄県	0	0	320	320	0	2		
合計	150,380	349,615	43,870	543,865	2,688,836	18,290	15%	412,600

注1:「一般木質・農作物残さ」のイタリック体で示した部分については、未利用木質バイオマス利用はないものとして推計した。

出典:エネ庁「都道府県別再生可能エネルギー設備認定状況(H25年12月末時点)」

他の燃料への転換である。NPO法人全国木材資源リサイクル協会連合会によれば、燃料用の建廃チップの値段は、-2~2.5円/kg-ADとのことであり、この価格であれば電力の買取り価格が13円/kWhでも十分成り立つ。ただし、今後の価格は上昇すると考えられ、4円/kg-AD程度までは利用可能と考えられる。他方、やし殻（PKS）は10円/kg（JETROのHP案件より推計）程度で手に入るようであり、この価格であれば電力の買取り価格が24円/kWhなら十分成り立つ。これについても、今後の価格は上昇すると考えられ、16円/kg前後までは利用可能と考えられる。

そうした事態を招かないためには、まず、未利用木質バイオマスの供給コスト削減を速やかに推進し、低質丸太や端材だけでなく、使える林地残材は枝葉・末木を含めて供給し尽くすことが重要である。しかし、同時に重要なことは、用材の需給量を拡大していくことである。これは、未利用木質バイオマスの低コスト供給には、用材生産との連携が不可欠なためであり、用材の供給拡大を、素材流通、伐出、再造林等の林業生産コストの削減を通じて実現していく必要がある。そうして供給された用材を、価格を大きく低下させることなく引き受けていくためには、国産材を利用する林産業の競争力向上による、用材の需要拡大が不可欠である。つまり、木材加工コストや製品流通コストも削減しつつ、外材だけでなく、鉄やコンクリートさらにはプラスチックとの競争に打ち勝っていくことで、国産材需要を大幅に拡大していく必要があるということである。

## I 調査目的と検討課題

### I-1. 調査の目的

2011年に、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（以下、固定価格買取制度）」が制定され、木質バイオマス発電の拡大に対する期待が高まった。その後、価格算定委員会において、燃料チップが12000円/t(推定水分35%)という比較的高い価格のもとでも、十分な経済性が見込まれるという試算結果が示され、未利用の林地残材を燃料とする電力の買取り価格は32円/kWh(税別)に設定された。この試算は、1つの企業の事例に基づいて行われたものであるため、設定価格の妥当性については、今後の検証が必要である。

固定価格買取制度は、2012年の7月からスタートし、半年程度は認定を取得する事業者の数が数件程度と伸びなかったが、2013年10月の時点で、一般バイオマスを主な燃料とする施設を含めると23件が認定を受けており、これに認定待ちあるいは事業計画を進めている施設を加えると、全国で60カ所前後あるといわれるほどに拡大している。

そうした施設の多くが、2015年末から2016年3月頃にかけて運転開始する予定であることから、燃料供給がその時期に逼迫する可能性も指摘されている。このことは、エネルギー利用に用いられる木質バイオマスの需給は、今後の原木需給の動向に影響を及ぼし得る重要な要素であることを示唆している。

固定価格買取制度では、開始後3年程度で買取り価格を見直すよう定められており、その見直しにあたっては、施設に関する情報(設備コスト、発電効率、所内動力、従業員数、維持・管理費、燃料費)や、バイオマス価格に関する情報が決定的に重要となる。つまり、今後の原木需給を考える上で、バイオマス価格や需給に関する情報の収集と同時に、木質バイオマスのエネルギー利用における経済性の把握、すなわち、そのエネルギー利用の実態把握に基づいた経済性の評価が必要となる。

こうした問題について、FIT(固定価格買取制度)の先進国であるドイツやオーストリアからその現状と課題について学ぶことは大いに参考になると考えられる。そして今回、上記の2カ国において現地調査を行う機会を得たことから、①木質バイオマスの需給構造やそのエネルギー利用の実態把握、②再生可能電力の買取り価格の設定に関わる枠組みやバイオマス価格情報の整備状況、さらには、③今後のバイオマスエネルギー利用の展望について明らかにすることを目的とした。同時に、国内の木質バイオマスのエネルギー利用を展開している事業者、あるいは地域において現地調査を行い、①について明らかにするとともに、欧州の現況との比較分析を行うこととした。

### I-2. 調査の概要

#### (1) 検討課題

国内外の現地調査にあたっては、以下の項目について調査分析を行うこととした。

#### 1) 木質バイオマスエネルギー利用のビジネスモデル

・規模別の経済性

- ・燃料サプライチェーン
- 2) バイオマス供給・利用情報収集・分析態勢
  - ・FIT 価格の設定過程
  - ・バイオマス価格
- 3) 技術開発動向
  - ・トレファクション、木質バイオマスガス化

## (2) 調査対象

### (ア) 欧州

#### (a) ドイツ

FIT 制度をいち早く先行導入し、バイオマス発電の振興に大きく成功していることから、その制度の概況や木質バイオマスエネルギー事業の展開状況、さらにはバイオマスエネルギー変換技術の動向について情報収集を行うことを目的として、以下の調査対象を選定した。

- ・ドイツ製材・木材産業協会 (Bundesverband Säge- und Holzindustrie e.V.)
- ・食糧農業消費者保護省 (Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV))
- ・ドイツバイオマス研究センター (DBFZ)

#### (b) オーストリア

ドイツと同様に FIT 制度を早くに導入し、バイオマス発電も盛んであるが、それ以上に地域熱供給を中心とする木質バイオマスの熱利用が大きく展開していることから、熱利用を中心とする木質バイオマスエネルギー事業の展開状況やバイオマス供給の実態に関する情報収集を目的として以下の調査対象を選定した。

- ・オーストリアバイオマス協会 (Österreichischen Biomasse-Verband)
- ・農林環境水管理省 (BMLFUW)
- ・ウィーン農科大学 (BOKU)
- ・連邦有林株式会社 (Österreichische Bundesforste AG)
- ・シュタイヤーマルク州土地管理局 (Steiermärkischen Landesregierung)
- ・州林業協同組合 (WV-Stmk)
- ・Murau 市エネルギー公社熱供給施設 (Stadt-energie Heizwerk Murau)
- ・Bio energie Köflach GmbH (Köflach 市)
- ・Bio energie Wärmeservice GmbH (Zeltweg 市)
- ・Biomassehof Leoben
- ・伐採現場 2 カ所、チップ生産現場 2 カ所

#### (c) 日本

本格的な木質バイオマスエネルギー事業を行っている事例は限られているため、そ

うした事業体に加えて、固定価格買取制度の下で発電事業の認定を受け、発電施設の建設を開始している事業体も調査対象に加え、以下の事業体または地域を対象に、木質バイオマスエネルギー事業の展開状況やバイオマス供給の実態に関する情報収集を行った。

- ・グリーンサーマル会津
- ・北海道 M 町
- ・岩手県 W 社および N 組合
- ・島根県浜田地区

## II 欧州における木質バイオマスのエネルギー利用

### II-1. ドイツにおける木質バイオマスのエネルギー利用

#### II-1-1. 第1回モニタリング報告書「未来のエネルギー」

ドイツ連邦共和国（以下、ドイツ）の経済省と環境省が共同で2013年6月に第1回モニタリング報告書「未来のエネルギー」を公表している。ドイツのエネルギー政策の方向性を概観しつつ、第1回モニタリング報告書の要点を紹介する。

まず、筆者らが2013年9月に行ったベルリンのドイツ連邦食料・農業・消費者保護省での聞き取り調査や関連の連邦政府資料をもとに、近年のエネルギー政策の方向性をまとめておきたい。ドイツ政府は、東京電力福島第1原子力発電所の事故を受け、2011年6月にエネルギー政策を転換し、2022年までに原発の段階的な廃止を決めた。そして、2050年までにドイツのエネルギー需要に対して再生可能エネルギーを少なくとも60%供給することを計画に盛り込んだ（表II-1-1）。この計画に則れば、ドイツの電力消費量に占める再生可能エネルギーの割合は2050年には約80%に達することになる。また、2050年までに一次エネルギー消費量を50%、電力消費量を25%削減する方向性も謳われている。併せて、建物のリノベーションや運輸分野のエネルギー消費削減も大幅なものにすることが不可欠とした。ドイツにおいて原油、天然ガス、石炭が一次エネルギー消費量に占める割合は2012年に78%超、原発を加えると87%超であり、それを減らしていくという方向にある。その代替を担う再生可能エネルギーの割合は2012年に12%余りであり、その3分の2近くがバイオマスエネルギーによるものであった。

ドイツ政府は、「エネルギー・コンセプト」(Energy Concept)の制定を2009年11月に決定し、専門家による複数のシナリオを参考として2010年9月に採択した。2011年6月に決定したエネルギー政策の下で、2011年秋に「未来のエネルギー」に関するモニタリング・プロセスが策定された。モニタリング・プロセスとして、2020年の目標に対して連邦経済省と連邦環境省が進捗状況と施策の実施状況を共同で毎年報告することとしている。さらに、その詳細な進展については3年毎にモニタリングデータに基づいて公表することとし、2014年から開始されることとなっている。ドイツでは、「Energiewende」と称されるエネルギーシステムの変換が進められるのである。

つぎに、「未来のエネルギー」に述べられている事項から幾つかを取り上げて紹介していこう。ドイツの実質国内総生産成長率は2011年に前年比3.0%上昇したにも関わらず、天候が比較的温暖だったことも寄与して、エネルギー消費量は前年より4.9%減少し、また電力消費量も前年水準を下回り且つ2008年比で2.1%の減少となった。ドイツはエネルギー効率を年率2.1%で高めるという目標を設定しており、その下で2008年から2011年までの間にエネルギー効率が年率2%で改善している。

一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合は、2000年の3.8%から2005年の6.6%、2010年の11.2%へと上昇し、2011年には12.1%となった。このトレンドが続くならば2020年には18%になると見込まれている。梶山(2013)等で述べられているように、ドイツでは固定価格買取制度(FIT)が2000年に導入された結

果、バイオマス発電量が 2000 年の 9 億 kWh から 2012 年の 125 億 kWh へ大幅に増大し、更にバイオマス熱利用量は 1,075 億 kWh にも達するまでになっている。後述するように、ドイツでは FIT の改正を行いながら木質バイオマス発電のシステムを変えてきており、そうした政策が寄与していると考えられることができる。

表 II - 1 - 1 Energiewende で設定された主な目標

	単位：%				
	2011	2020	2030	2040	2050
温室効果ガスの削減（1990 年比）	26.4	40	55	70	80～95
一次エネルギー消費量の削減（2008 年比）	6.0	20	-	-	50
エネルギー効率（最終エネルギー消費）	年率 2.0 (2008～11)		年率 2.1 (2008～2050)		
総電力消費量の削減（2008 年比）	2.1	10	-	-	25
建物における熱需要量の削減	-	20	-	-	-
運輸部門の最終エネルギー消費量の削減（2005 年比）	約 0.5	10	-	-	40
電力消費量に占める再生可能エネルギーの割合	20.3	少なくとも 35	少なくとも 50	少なくとも 65	少なくとも 80
総エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合	12.1	18	30	45	60

出典：The Federal Ministry of Economics and Technology and the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (2013) First Monitoring Report “Energy of the future” Summary, p.3

だが、エネルギーの消費者物価に関しては、再生可能エネルギーの導入に伴う負担増が生じていることを説明しておかなければならない。そして、個人に対しても企業に対しても費用負担がかさむことになっている。4 人家族を例に取ったモニタリング調査結果として、2000 年に純所得に対するエネルギー負担の割合は 5.4%であったが、2005 年に 6.3%に高まり、2010 年に 6.9%、2011 年には 7.3%へと上昇傾向で推移している。こうした家計の負担増をどう低減するかもドイツにとっては重要な課題になっていると考えられる。

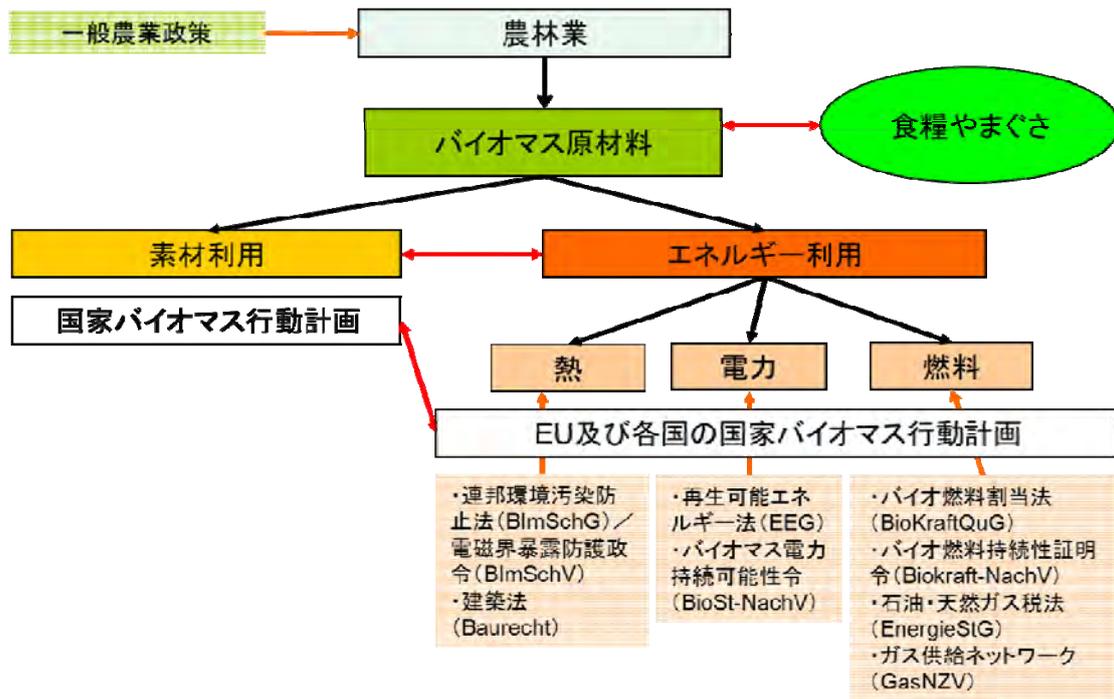
## II-1-2. バイオマス資源及び関連する法制度の概要

ドイツの土地面積は 3,570 万 ha であり、その土地利用の内訳としては耕作地が 33% の 1,180 万 ha、森林が 30% の 1,080 万 ha、居住地やインフラストラクチャー等が 23% の 820 万 ha、草地が 13% の 470 万 ha 等である (BMELV、2011)。農業用地のうち 252 万 6 千 ha が再生可能エネルギー源用に供されており、その内訳はバイオガス用作物用が 96 万 2 千 ha、バイオディーゼルや植物油のためのセイヨウアブラナ用が 91 万 3 千 ha、澱粉作物用が 24 万 5 千 ha、バイオエタノール用の砂糖・澱粉用が 24 万 3 千 ha、油料作物用が 13 万 1 千 ha 等である。

森林を所有形態別にみると、個人所有と会社所有の合計が 47%、共有林が 19%、州有林が 29%、国有林が 4% という割合である。その約 95% が生産林となっている。1ha 当たり森林蓄積量は 330m<sup>3</sup> を超えており、1ha 当たり年間成長量は約 12m<sup>3</sup> に達する。日本の森林蓄積量は 240m<sup>3</sup>/ha であるから、単位面積当たり森林蓄積量としては 4 割近くも多いことが分かる。こうした豊かな森林資源から産出される木材を、ドイツ国民は 1 人当たり年間 1.2m<sup>3</sup> ほどを消費している。分野別丸太消費量としては製材業が 72%、パルプ産業が 13%、繊維板産業が 9%、チップボード産業が 6% 等という構成であり、製材業の位置づけが高い。

2011 年のドイツにおける丸太生産量は 7,240 万 m<sup>3</sup> であり、そのうち針葉樹材が 75% の 5,420 万 m<sup>3</sup>、広葉樹材が 25% の 1,820 万 m<sup>3</sup> という内訳であった。針葉樹材については 8 割が用材、2 割がバイオマスエネルギー用として消費されたが、広葉樹材はその内訳が逆転し、バイオマスエネルギー用が 8 割、用材用が 2 割という割合であった。丸太生産量の 3 分の 1 程度がバイオマスエネルギー利用されていたことが分かる。木質バイオマスの形態としては、木材チップが過半を占めて多く、その他にはのこ屑が 4 割、製材から出る背板が数% となっている。ドイツにおける木質バイオマス発電量は、2000 年の再生可能エネルギー法が契機となって、上述のように 2000 年から 2012 年にかけて約 14 倍に増加しており、その重要度が増している。この点に関しては、池田 (2012) が木材のカスケード利用の重要性や、森林保全と木材産業に関連させてバランスに留意すべきことを指摘している。

ドイツにおけるバイオマス資源と供給原材料との関係は、図 II-1-1 のようにまとめることができる。一般農業政策のもとで農林業の振興が図られ、そこから供されるバイオマス原材料は素材利用とエネルギー利用とに分けられる。エネルギー利用に関しては、EU 及び各国の国家バイオマス行動計画に基づいて取り組まれており、熱と電力と燃料に 3 区分される。ドイツでは、熱利用に関して連邦環境汚染防止法 (BImSchG) や電磁界暴露防護政令 (BImSchV)、建築法 (Baurecht) が、電力に関して再生可能エネルギー法 (EEG) やバイオマス電力持続可能性令 (BioSt-NachV) が、燃料に関してはバイオ燃料割当法 (BioKraftQuG)、バイオ燃料持続性証明令 (Biokraft-NachV)、石油・天然ガス税法 (EnergieStG)、ガス供給ネットワーク (GasNZV) に則って進められてきている。



注：ドイツ連邦食料・農業・消費者保護省での聞き取り調査に基づき作成  
 図Ⅱ－１－１ バイオマス資源と供給原材料の枠組み

### Ⅱ－１－３．固定価格買取制度の概況

FITの概要について、2013年9月にドイツ連邦食料・農業・消費者保護省等で行った聞き取り調査、並びに梶山（2013）、熊崎（2014）を参考にまとめた。

ドイツにおけるFITの導入後の木質バイオマス発電施設の変化を概観すると、2000年代前半に5,000kW以上の大規模な発電施設、2000年代後半に200kW～5,000kWの中規模な発電施設、2010年代に500kW以下の小規模な発電施設が増設されてきた。そして、大規模な発電施設から中小規模な発電施設へ変化する中で、熱電併給が定着した。このことを、梶山（2013）では、「当初は大型で熱利用もなく、燃料も建設廃材を利用するものが多かった」とし、「木質バイオマス発電の大型から中小へのシフトに伴い、熱電併給が定着し、燃料のカスケード利用も徹底されるようになっていった」と評している。

こうした経緯は、FITの改正から把握することができる。2000年のFIT開始時には、500kW以下層、0.5MW（500kW）～5MW層、5MW～20MW層という区分が設けられ、基本単価はそれぞれ10.23¢/kWh、9.21¢/kWh、6.00¢/kWhであった（表Ⅱ－１－２）。この段階では、FITの改正時に導入されることとなった用いる原料による割り増し等の措置もなかったため、価格差は4.23¢/kWhにしか過ぎなかった。言い換えるならば、安価な建設廃材を用いて高い発電効率を上げることが経営として合理的だったと考えられる。

表Ⅱ-1-2 ドイツの FIT 改正の内容 (木質バイオマス)

単位: ¢ / kWh

電気出力	2000 年の FIT 開始時					合計 (a+b+c)
	基本価格 (a)	原料割り増し(b)		a+b	ボーナス(c) 革新的技術	
		林地残材等	熱電併給			
150kW 以下	10.23	-	-	10.23	-	10.23
150~500kW	9.21	-	-	9.21	-	9.21
0.5~5MW	6.00	-	-	6.00	-	6.00
5~20MW						

注:規模別の価格設定のみ。価格差も小さく、効率を求めて大規模・建設廃材を中心に拡大。

2004 年の FIT 改正						
電気出力	基本価格	林地残材等	熱電併給	a+b	ボーナス(c)	合計
150kW 以下	11.5	6.0	2.0	19.50	4.0	23.50
150~500kW	9.9	6.0	2.0	17.90	4.0	21.90
0.5~5MW	8.9	4.0	2.0	14.90	4.0	18.90
5~20MW	8.4	-	2.0	10.40	-	10.40

注:林地残材や熱電併給、革新的技術に対するボーナス制度を導入。設備容量 5,000kW 以下へとシフト。中小規模の技術開発・燃料の副産物利用の徹底が進む。

2009 年の FIT 改正						
電気出力	基本価格	林地残材等	熱電併給	a+b	ボーナス(c)	合計
150kW 以下	11.67	6.0	3.0	20.67	2.0	22.67
150~500kW	9.18	6.0	3.0	18.18	2.0	20.18
0.5~5MW	8.25	2.5	3.0	13.75	2.0	15.75
5~20MW	7.79	-	3.0	10.79	-	10.79

注:規模別価格差を拡大。熱電併給をより優遇。革新的技術に対するボーナスを縮小(木樹 t の普及が背景)。

2012 年の FIT 改正						
電気出力	基本価格	林地残材等	熱電併給	a+b	ボーナス(c)	合計
150kW 以下	14.3	6.0		20.3	-	20.3
150~500kW	12.3	6.0	FIT 適用の	18.3	-	18.3
0.5~5MW	11.0	2.5	条件	13.5	-	13.5
5~20MW	6.0	-		6.0	-	6.0

注:FIT は変換効率 60%以上のプラントに限って適用される。20MW 以上のプラントと石炭火力の混焼は適用外である。

出典:梶山恵司(2013)「木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題—FITを中心とした日独比較分析—」『富士通総研経済研究所 研究レポート』No. 409、15 頁、図表 9

2004 年の FIT 改正により 500kW 以下層の区分が 150kW 以下層と 150~500kW 層に分けられ、電気出力の小さい方から順に基本価格は 11.5 ¢ / kWh、9.9 ¢ / kWh、8.9 ¢ / kWh、8.4 ¢ / kWh と高める一方で、林地残材やバーク等を原料とした場合や熱電併給(コージェネレーション)を導入した場合に原料割り増しが設けられた。林地残材等

と熱電併給の順に 500kW 以下層では 6.0¢ /kWh と 2.0¢ /kWh、500kW～5MW 層では 4.0¢ /kWh と 2.0¢ /kWh、5MW～20MW 層では熱電併給に対してのみ 2.0¢ /kWh という割り増しが加わった。また、この中では革新的技術に対するボーナスも設けられ、5MW 以下層に対して 4.0¢ /kWh が加わり、中小規模の技術開発や燃料の副産物の利用が促進されることとなった。その結果、固定価格買取は 5MW～20MW 層の 10.40¢ /kWh に対して 150kW 以下層の 23.50¢ /kWh と 2.3 倍近い差が生まれ、中小規模の発電施設へのインセンティブが高まることとなった。

2009 年の改正では、中小規模の発電施設に対するインセンティブが一層高まることとなった。まず、150kW 以下層の基本価格が 11.67¢ /kWh と僅かに引き上げられる一方で 5MW～20MW 層のそれは 7.79¢ /kWh に引き下げられ、また 500kW～5MW 層に対する林地残材等の利用に伴う原料割り増しも 2.5¢ /kWh へ下げられた。併せて、この時に革新的技術に対するボーナスも 4.0¢ /kWh から 2.0¢ /kWh へ半減させるとともに、熱電併給の割り増しを 2.0¢ /kWh から 3.0¢ /kWh へ引き上げ、熱電併給を一層促す方向が示された。このように、全体として FIT の価格は低まる方向となったことが分かる。

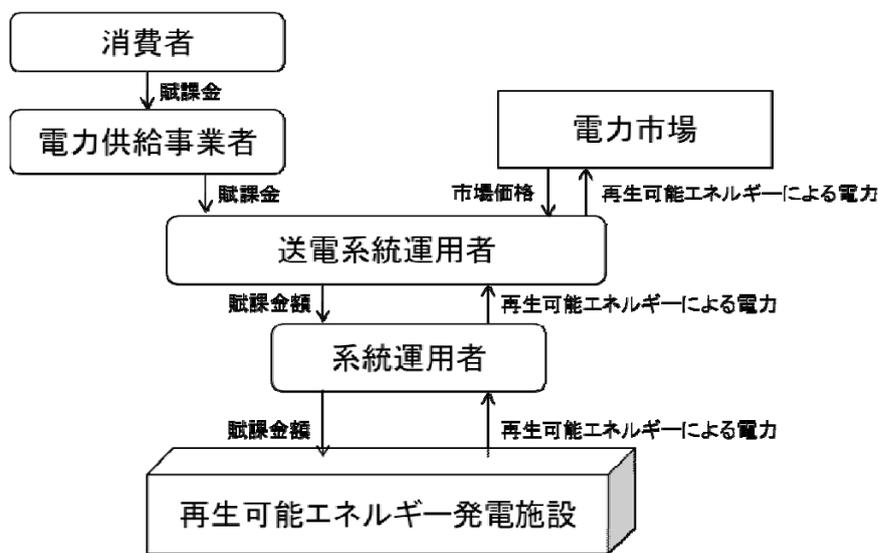
さらに 2012 年の改正では、革新的技術に対するボーナスを廃止する代わりに、熱電併給が FIT の適用条件とされ、5MW 以下層の基本価格が 3¢ /kWh ほど引き上げられている。その結果、150kW 以下層が 20.3¢ /kWh、150kW～500kW 層が 18.3¢ /kWh、500kW～5MW 層が 13.5¢ /kWh、5MW～20MW 層が 6.0¢ /kWh と 2009 年の改正時よりも価格は低く設定されることとなった。

ドイツの FIT の経緯を見る中で、技術革新を促しながら熱電併給の方向性や小規模な発電施設への誘導を進めたことが分かる。梶山（2013）によると、大規模な発電施設で大量に発生する熱を有効活用することは難しいため、新規の建設はストップしているという。この変化には、木材チップの価格上昇も影響していると考えられ、熊崎（2014）は「5MW 以上のクラスでは、チップ価格が上昇するなかで電気の買い取り価格が引き下げられ、発電だけではまったく採算が取れなくなっています」と述べている。長期の方針の下での制度設計と情報公開、そして合意形成がまず大事であることをドイツの取り組みは示しているように思われる。日本の FIT についても木質を含むバイオマスエネルギーの利用においてどのような方向を目指すのか、関わる政策評価を行いつつ、しっかりと検討していく必要があるということを示唆している。

#### II-1-4 木質バイオマス情報とその収集態勢

渡辺（2012）に基づく、ドイツの再生可能エネルギー法は次のようにまとめられる。「中核は、再生可能エネルギーによる電力の固定価格買取制度にある。この制度は、系統運用者（Netzbetreiber）に対し、再生可能エネルギーによる発電施設（以下「施設」）を優先的に送配電網（以下「系統」）に連系し（第 5 条）、その電力を買い取って、送電及び配電すること（第 8 条）、並びに施設管理運営者（Anlagenbetreiber）に法律で定められた補償金額を支払うこと（第 16 条）を義務付けるものである。系統運用者

は、さらに上位の送電系統運用者（Übertragungsnetzbetreiber）にこの電力を転売し（第 34 条）、送電系統運用者は、系統運用者が施設管理運営者に補償した金額を系統運用者に補償する義務を負う（第 35 条）。送電系統運用者は、再生可能エネルギーによる電力を電力市場で差別なく販売しなければならず、補償のために必要な支出と再生可能エネルギーによる電力を販売して得た収入との差額（以下「賦課金」）を、最終消費者に電力を供給する電力供給事業者（Elektrizitätsversorgungsunternehmen）に対して要求することができる（第 37 条）。電力供給事業者は、電力供給量の割合に従って賦課金を送電系統運用者に支払うが、賦課金は、最終的に消費者が負担する」という内容である（図 II - 1 - 2）。



注：賦課金は補償金額と市場価格の差額である。  
資料：渡辺(2012)図を参考にして筆者作成。

図 II - 1 - 2 調整機構の概要

ドイツバイオマス研究センターの報告書（2012）によると、2011年の木質バイオマス発電経営会社の構成比は木材産業が42%、中小の自治体運用も含む電力会社が34%、地域コンソーシアムが16%、その他が8%となっており、一定の専門性を有する主体が経営している。ドイツ製材協会での聞き取り調査に基づくと、ドイツには250社のバイオマス事業体があり、その60社以上が製材業を主業としている。可能性としては、さらに製材業の200社がバイオマス事業に参入する可能性を有しているという。ドイツ製材協会では、「製材業は熱電併給の宿命を負っている」という話も聞かれた。資源が足元にあり、輸送を考えずとも良く、結果的には環境保全にもつながるからである。

丸太市況やバイオマス原料に関する情報を得るのにはインターネットが活用されており、下記のサイトが有用であるという紹介があった。①は木材市場調査を専門とする企業の運営するサイトであり、国内の林業や木材産業、木材貿易、市況のみならず海外に関する多様な情報も提供している。②は林業や木材に関する5万3千人超の専

門家や企業がメンバーとなっているサイトであり、欧州各地や中国の事務所からの情報が掲載されている。そのため、林業や木材産業、木材貿易、市況、企業等に関して諸外国のデータや情報も検索することができ、とても豊富な情報源となっている。③は出版業関係のサイトであり、産学官の広範な情報が掲載されている。例えば、森林政策や木材市場、木質バイオマスエネルギー、森林や木材等に関わるイベントの情報を得られ、その中ではウッドペレットの価格も知ることができる。④は連邦統計局のサイトであり、林業や木材産業のみならず、ドイツ連邦政府の公表する様々な調査統計や国際協力に関わる情報等を入手することができる。⑤は農産物のマーケティングとエネルギーに関するサイトであり、木材チップや木質ペレット、植物油等の価格データを月次や四半期、年次の単位で公表すると共に、法的な枠組みに関する情報、技術開発を含めて様々なプロモーション活動等の情報も掲載している。

- ① <http://holzmarktinfo.de>
- ② <http://Fordaq.com>
- ③ <http://Forstpraxis.de>
- ④ <http://www.destatis.de>
- ⑤ <http://www.carmen-ev.de>

#### 参考文献

- 池田憲昭、ミヒャエル・ランゲ（2012）「木を直ぐに燃やしてしまうのはもったいない！」『森林技術』No. 846：21～25頁
- 梶山恵司（2013）「木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題—FITを中心とした日独比較分析—」『研究レポート』409（富士通総研経済研究所刊）：1～25頁
- 熊崎実（2014）「ドイツ林業の活況を支える木質エネルギー」『森林技術』No. 862：10～13頁
- The Federal Ministry of Economics and Technology and the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (2013) First Monitoring Report “Energy of the future” Summary, 8pp.
- 渡辺富久子（2012）「ドイツの2012年再生可能エネルギー法」『外国の立法』No. 252：80～136頁
- German Biomass Research Center（2012）「バイオマス発電の発展に対する再生可能エネルギー法の成果にかかわる懸賞調査報告」

## Ⅱ－２．木質バイオマスエネルギーに関する技術開発動向

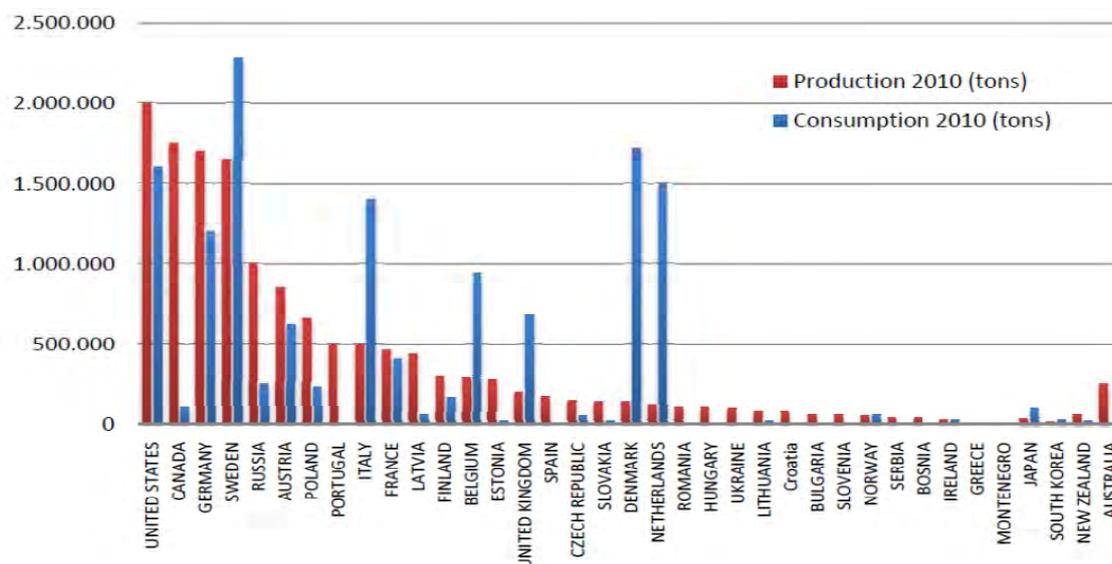
### Ⅱ－２－１．トレファクション

木質バイオマス燃料への変換方法に木質ペレットがある。その取り扱いやすさから世界的に利用が拡大し、民生用の熱需要だけでなく、産業用の発電需要も増大している。その一方で発熱量が化石燃料と比べて低いことや弱耐水性などの欠点を有していることから、その克服のため「トレファクション」と呼ばれる熱処理技術が注目されている。

本項目では、トレファクション技術開発動向に関する文献調査および研究機関への調査結果を報告する。

#### (1) 木質ペレット燃料の長所、短所

木質ペレットは木材粉碎物を直径 6～8mm、長さ 10～30mm の円柱状に圧縮成型した固形燃料である。その長所として①取り扱いしやすい（小さな円柱状にサイズが標準化され、子供でも扱いやすい）、②低水分（湿量基準で 10%以下）、③燃焼装置の自動化・小型化が可能（①②の特徴から小型燃焼機器でも自動供給、燃焼制御が可能）、④減容化による輸送効率の向上、などが挙げられる。図Ⅱ-2-1 に各国別における木質ペレットの生産量および流通量を示す。欧米を中心に世界的に利用が拡大しており、2010年には約 1,430 万 t のペレットが流通したと報告されている<sup>1)</sup>。



図Ⅱ－２－１ 各国における木質ペレット生産、流通量<sup>1)</sup>

用途は民生分野の熱利用（暖房、給湯など）が多いが、イギリス、ベルギー、オランダでは消費量の 90%を産業分野での電力利用が占めている。発電利用では石炭に木質ペレットを混合して発電する（混焼発電）場合が多いが、イギリスでは石炭火力発電所を木質ペレット専焼発電所へ切り替える例も見られる。

しかし木質ペレットは欠点として、①発熱量が化石資源より低い、②製品、燃焼器の価格が高い、③水に弱い、などがある。①に関して、木質ペレットは低水分であることから、その高位発熱量は約 18MJ/kg (1MJ=0.24Mcal) と乾燥材に近い値となる。ところがこれにかさ密度 0.6kg/L を乗じて体積基準値に換算すると約 11MJ/L となり、灯油 (約 37MJ/L) の 1/3 程度しかない。さらに③に関しては、木質ペレットに水を含ませると数十秒で膨潤して形が崩れ、元の木粉に戻ってしまう。

## (2) トレファクションの原理

トレファクション (torrefaction) は本来コーヒーや茶などの「焙煎」を意味する。ここでは「低温炭化」「半炭化」と訳すのが適当であろう。国際エネルギー機関 (IEA) では「無酸素雰囲気下、200~300℃で行う熱処理」と定義されている。これまで同温度域の熱処理はマテリアル用途として用材やチップに対して行われており、耐朽性、寸法安定性の向上などが報告され、熱処理木材などとして実用品が流通している。燃料用途では 1984 年にフランスの Bourgeois らによる “torrefied wood” が始まりとされている。

図 II-2-2 に従来の炭化、およびトレファクション時の物質・エネルギーフローを示す[4]。木炭生産における炭化(a)は 800~1,000℃で行われ、重量あたりの発熱量は木材の倍近くになるが、炭化時に大部分がガス・タールとして失われるため、物質収率は 20%程度となる。従ってエネルギー収率は  $(31[\text{MJ/kg}] \times 0.2) \div 18[\text{MJ/kg}] \times 100 \div 35\%$  となり、木炭では、木材の有するエネルギーの 1/3 程度しかして利用できない。一方、トレファクション(b)では 200~300℃の熱分解初期で熱処理を止めてしまうため、物質収率は 70%程度、発熱量増加は 20~30%程度となる。従ってエネルギー収率は  $(23[\text{MJ/kg}] \times 0.7) \div 18[\text{MJ/kg}] \times 100 \div 90\%$  となり、トレファクションでは木材の持つエネルギーのほとんどを利用できる。さらにペレット化を組み合わせると体積当たりのエネルギー量が向上し、輸送コストを低減できる。

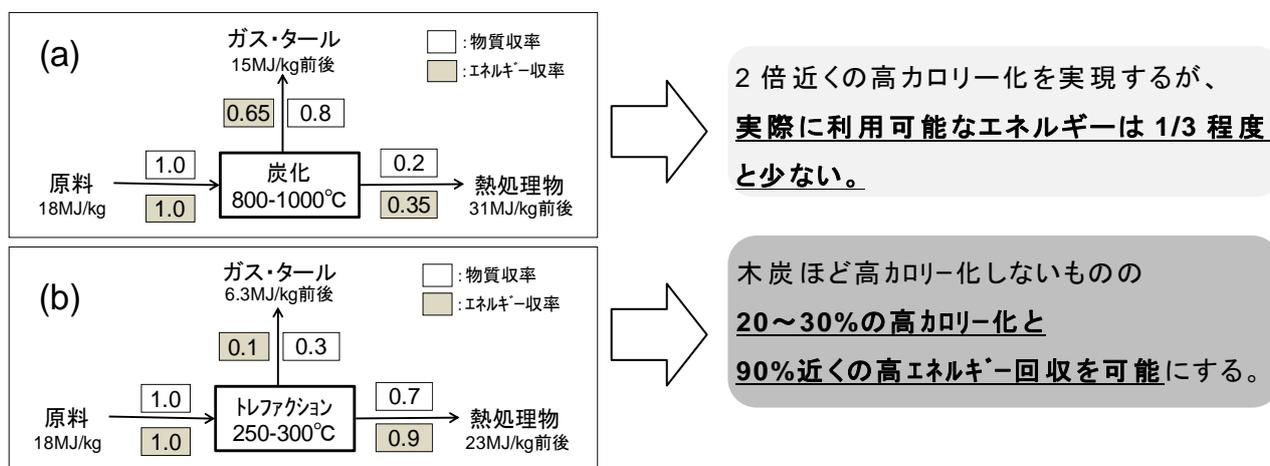
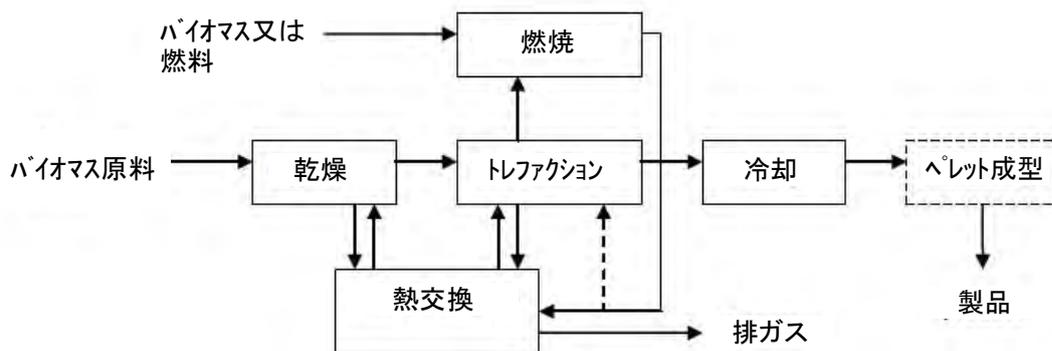
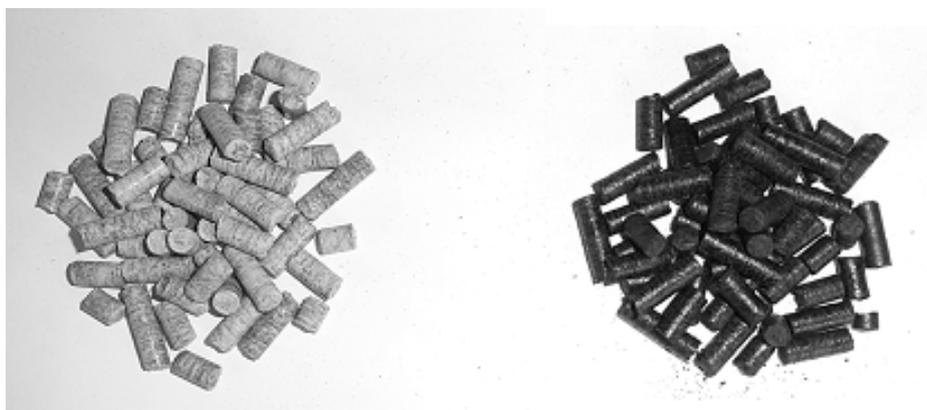


図 II-2-2 従来の炭化(a)、トレファクション(b)における物質、エネルギーフロー

図Ⅱ-2-3 にトレファクション基本工程を示す。原料は乾燥後に 250℃前後のトレファクション処理がされ、その際原料の一部が熱分解する。熱分解の程度は重量の 1/3 前後と軽度である。熱分解ガスは燃焼器で補助燃料（バイオマス又は化石燃料）とともに燃焼され、熱交換を経てトレファクションおよび乾燥の熱源に利用される。図Ⅱ-2-4 に従来の木質ペレットとトレファクションペレット（トレファイドペレット）を示す。トレファクションペレットは濃褐色～黒色を呈する。



図Ⅱ-2-3 トレファクションの基本工程



図Ⅱ-2-4 従来の木質ペレット（左）とトレファクションペレット（トレファイドペレット、右）

### （3）トレファクション物（ペレット）の特徴

表Ⅱ-2-1 に木材、木質ペレット、トレファクションペレット、木炭、石炭の特徴を示す。

トレファクションペレットは生の木材や木質ペレットに比べ水分や揮発分が少なくなるため、発熱量が増加する。またトレファクションペレットの揮発分は木炭に比べて高い。これは元の燃料中のエネルギーを最大限利用するため、熱処理による重量減少をできるだけ少なくしていることによる。さらにトレファクションペレットの発熱量は石炭に近くなり、灰分は極めて低い。さらに揮発分が高いため反応性が高い。後述

する粉砕性の向上効果も含めて、トレファクション処理によって、石炭混焼時の混焼率を向上できる。

表Ⅱ-2-1 木材、木質ペレット、トレファクションペレット、木炭、石炭の特徴<sup>2)</sup>

	木材	木質ペレット	トレファクションペレット	木炭	石炭
含水率(湿量%)	30-45	7-10	1-5	1-5	10-15
低位発熱量(MJ/kg)	9-12	15-18	20-24	30-32	23-28
揮発分(乾量%)	70-75	70-75	55-65	10-12	15-30
固定炭素(乾量%)	20-25	20-25	28-35	85-87	50-55
かさ密度(kg/m <sup>3</sup> )	200-250	550-750	750-850	~200	800-850
エネルギー密度(GJ/m <sup>3</sup> )	2.0-3.0	7.5-10.4	15.0-18.7	6-6.4	18.4-23.8
粉塵	中間	少ない	少ない	多い	少ない
耐水性	親水性	親水性	疎水性	疎水性	疎水性
生分解性	有り	有り	無し	無し	無し
粉砕性	劣る	劣る	良好	良好	良好
品質のばらつき	大きい	小さい	小さい	小さい	小さい

トレファクションチップのかさ密度は木材チップと余り変わらないが、ペレット化することで体積当たりのエネルギーを向上できる。表Ⅱ-2-1に示すようにトレファクションによってかさ密度も向上することから、体積当たりのエネルギー密度は木質ペレットの15-18GJ/m<sup>3</sup>に対してトレファクションペレットでは20-24GJ/m<sup>3</sup>に達する。このことから、貯蔵、輸送(海上、陸上)時のコストを大幅に削減可能となる。一方でトレファクションペレット成型時の消費電力は通常の木質ペレットよりも大きくなる傾向がある。一例を挙げると、通常ペレットで消費電力が50-60kWh/tであったものが、トレファクションペレットでは150kWh/tになったとの報告がある<sup>2)</sup>。これは木材中のリグニン等の成分が一部分解して圧縮成型時の抵抗が大きくなるためと考えられている。このため添加剤を加えて成型性を向上させる試みが行われており、グリセリン、パラフィン、糖蜜、リグニン、生分解性プラスチック、トレファクション時の木酢液などの利用が検討されている。

トレファクション処理で耐水性も付与される。この効果は熱処理によるヘミセルロースの減少と関係があるが<sup>3)</sup>、熱分解による脱水反応からも説明できる。図Ⅱ-1-5に原料木材、トレファクションペレット、木炭のO/C-H/C線図を示す<sup>4)</sup>。O/C、H/Cとはそれぞれ酸素・炭素原子数比、水素・炭素原子数比を示す。この線図は「コールバンド」とも呼ばれ、石炭化の機構解析で用いられている。初め未処理の原料木材は右上に位置して、炭化の進行に従って徐々に左下へ移行する。この移行は水酸基の脱離による脱水反応の進行を示し、これにより親水性の低下、すなわち耐水性の強化となる。ペレット成型機構には諸説あり水素結合の寄与も指摘されているが<sup>5)</sup>、トレファクションではある程度水素結合が残り、ペレット成型が可能となる。

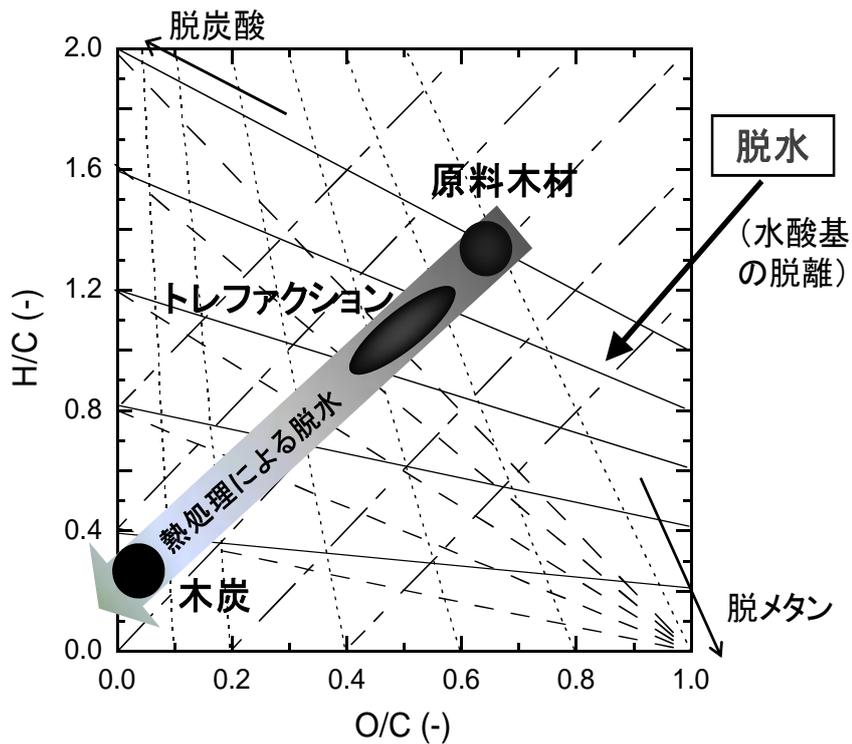


図 II - 2 - 5 O/C-H/C 線図<sup>4)</sup>

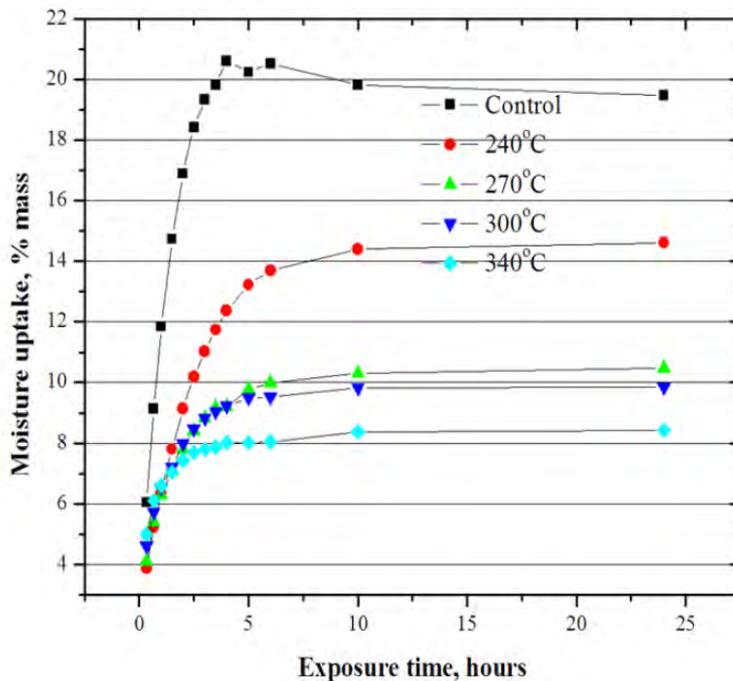


図 II - 2 - 6 吸湿によるトレファクションペレットの含水率変化 (30°C、相対湿度 90%で暴露)<sup>2)</sup>

さらにトレファクション物は脆くなり、粉碎性が向上する。図 II -2-7 にブナ (beech) とトウヒ (spruce) のトレファクション物に対する粉碎動力の変化を示す。トレファクションの指標となる重量減少が大きくなる (炭化が進行する) ほど、トレファクシ

オン物の粉砕動力が 1/5 程度に減少することが分かる。この特性は石炭混焼発電における混焼率の向上に寄与する。

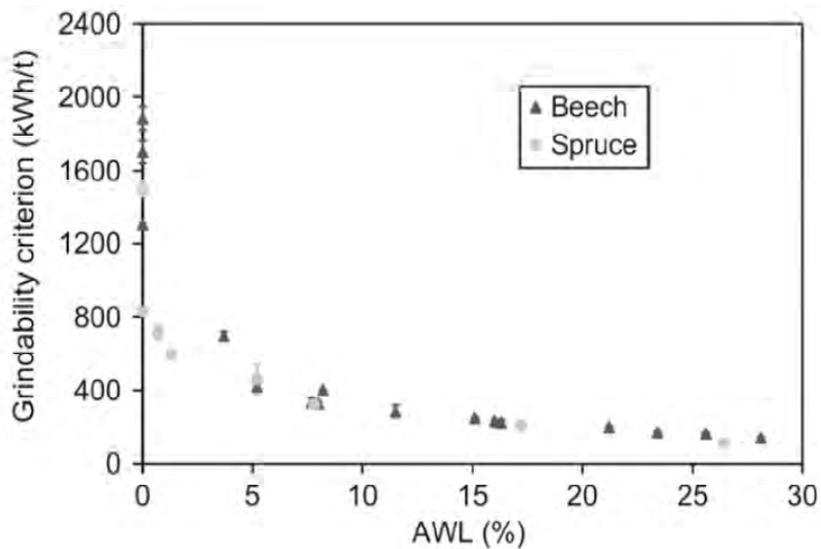


図 II - 2 - 7 トレファクションによる粉砕エネルギーの変化<sup>2)</sup>

(横軸はトレファクション進行度の指標となる重量減少率 (Anhydrous Weight Loss))

トレファクションの規格化の動きも進んでいる。ISO/TC 238 は ISO17225-1 (固体バイオ燃料-燃焼仕様及び分類 第 1 部一般的要求事項) にトレファクション物を含めている。その原料には木質バイオマスの他、草本系など非木質系も含まれている。2013 年 11 月現在承認手続きがとられており、2014 年 3 月に利用開始予定である<sup>6)</sup>。

#### (4) トレファクション導入事例

Bourgeois らの提案した “torrefied wood” はチップの形態で電炉還元剤の生産を目的として実証プラントが建設された。しかし採算が合わず 1990 年代前半に閉鎖された。やがてバイオマスが見直される中で、オランダの国立エネルギー技術研究センター (ECN) がペレット化と組み合わせる方法を提案した後、トレファクションが世界中で再び注目されている。表 II-2-2 に欧米で採用されているトレファクション方式を示す。ロータリーキルン (ドラム) 方式 (図 II-2-8 左) が最も多く採用されているが、Topell 社のように、試料を上から下方向に縦に回転させながら移動させ、熱風を炉の下部から供給する独自の方式も存在する。(図 II-2-8 右)

表 II - 2 - 2 トレフアクション方式 2)

ロータリーキルン (ロータリードラム) 式	CDS (イギリス)、Torr-Coal (オランダ)、BIO3D (フランス)、 EBES AG、(オーストリア)、Andritz (オーストリア)、 4Energy Invest (ベルギー)、BioEndev/ETPC (スウェーデン)、 Atomosclear (チェコ)、CENER (エストニア)、EarthCare Products (アメリカ)
スクリー式	BTG (オランダ)、Biolake (オランダ)、Foxcoal (オランダ) Agri-tech Producers (アメリカ)
多段加熱式	CMI-NESA (ベルギー)、Wyssmont (アメリカ)
縦回転式 (Torbed® reactor)	Topell (オランダ)
マイクロ波式	Rotawave (イギリス)
移動床式	Andritz/ECN (オランダ)、Thermya (フランス)、Buhler (チェコ)
バンド (ベルト) 式	Stramproy Green (オランダ)、Agri-tech Producers (アメリカ)
固定床式	NewEarth Eco Technology (米国)
流動床式	VTT (フィンランド)

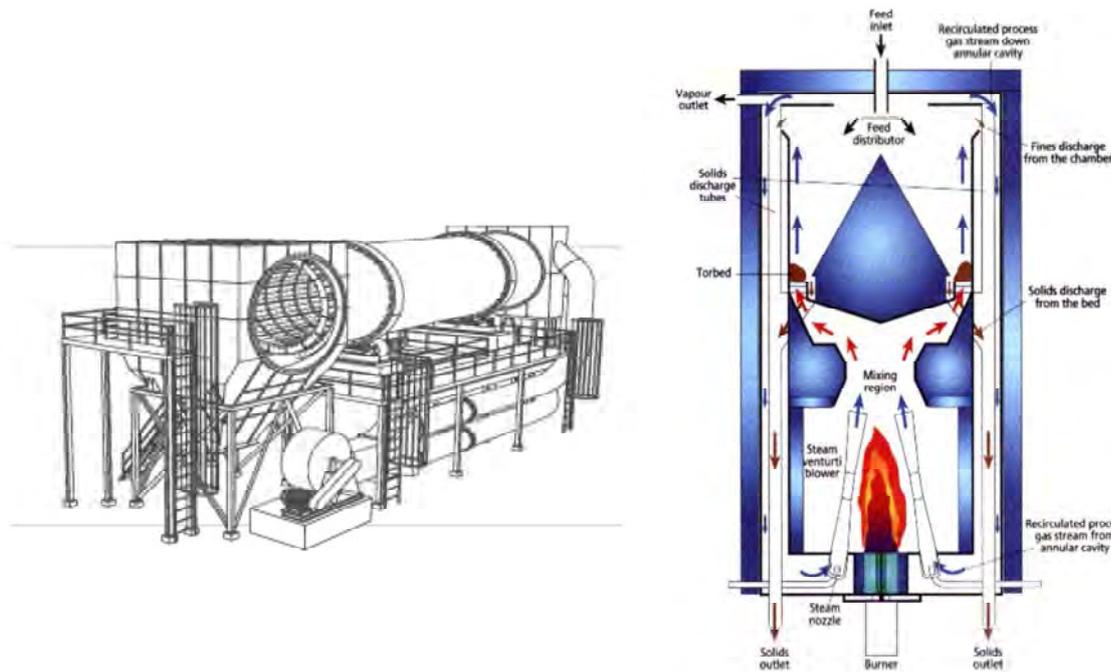


図 II - 2 - 8 ロータリーキルン方式 (左) と Torbed 方式 (右) 2)

現在、世界で 30 前後のトレフアクション試験プラントが存在 (休止中も含む) し、規模は年 2,000t から 100,000t 超と様々であるが、用途は主に発電用である。表 II -2-3 に 2012 年時点でのトレフアクション事業者の一覧を示す。欧州では 9 ヶ国の 21 機関・企業が参画する国際共同研究 “SECTOR” (Production of Solid Sustainable Energy

Carriers from Biomass by means of Torrefaction) が 2012 年から 42 ヶ月間の予定で開始された。2016 年の商用化 (60,000-200,000t/年) を目指している。

表 II

開発元	方式	供給元	場所	年製造能力 (t)	規模*及び状況
Agri-Tech Producers LLC (アメリカ)	バンド	Kusters Zima Corporation (アメリカ)	不明	不明	パイロット
Airex	サイクロン床	Airex	Laval (カナダ)	不明	パイロット
Airless systems	不明	Atmosclear	フレド	40,000	事業中止
Atmosclear SA (チェコ)	ロータリーキルン	CDS (イギリス)	フレド、ニュージーランド、アメリカ	50,000	事業中止
Bioenergy Development & Production	流動床	Bioenergy Development & Production	Nova Scotia (カナダ)	不明	パイロット
Bio energy Development North AB (スウェーデン)	ロータリーキルン	不明	O-Vik (スウェーデン)	25,000	不明
BioLake B.V (オランダ)	スクリュュー	不明	東欧	5,000-10,000	パイロット
Earth Care Products	ロータリーキルン	Earth Care Products	Kansas (アメリカ)	20,000	実証および商用
EBES AG (オーストリア)	ロータリーキルン	Andritz (オーストリア)	Frohneiten (オーストリア)	10,000	1t/年パイロットプラント準備中
ECN (オランダ)	移動床	Andritz	Stenderup (デンマーク)	10,000	ECNとAndritzの共同開発
FoxCoal B.V (オランダ)	スクリュュー	不明	Winschoten (オランダ)	不明	パイロット規模だが破綻
HMB Energy	不明	HMB	Oregon (アメリカ)	不明	パイロット建設中
Integro Earth Fuels, LLC (アメリカ)	TurboDryer	Wyssmont (アメリカ)	Roxboro (アメリカ)	80,000	パイロット
New Biomass Energy	スクリュュー	New Biomass Energy	Quitman (アメリカ)	40,000 160,000	運転中 建設準備中
New Earth Renewable Energy Fuels, Inc (アメリカ)	固定床	不明	不明	不明	事業中止
Energy/4Energy Invest (ベルギー)	ロータリーキルン	Stramproy Green technology (オランダ)	Amel, Ham (ベルギー)	38,000	プロジェクト終了
Energy/4Energy Invest (ベルギー)	ロータリーキルン	Stramproy Green technology	Ham (ベルギー)	38,000	プロジェクト終了
River Basin Energy	流動床	River Basin Energy	Laramie (アメリカ)	48,000	パイロット段階
Rotawave, Ltd (イギリス)	マイクロ波	Group's Vikoma	Terrace (カナダ)	110,000	事業中止
Horizon Bioenergy (オランダ)	振動バンド式	Stramproy Green technology	Steenwijk (オランダ)	45,000	2012年2月に火災後、事業再開へ
Thermiya (フランス)/Grupo Lantec (スペイン)	移動床	Thermiya	Urnieta (スペイン)	20,000	準備初期段階
Thermiya (LMK Energy (フランス)	移動床	Thermiya	Mazingarbe (フランス)	20,000	準備初期段階
Topell Energy B.V (オランダ)	縦回転 (Torbed)	Toritech Ink (イギリス)	Duiven (オランダ)	60,000	準備最終段階
Torr-Coal B.V (オランダ)	ロータリーキルン	不明	Dilsen-Stokkem (ベルギー)	35,000	不明
Torrefaction Systems Inc (アメリカ)	不明	Bepex International (アメリカ)	不明	Unknown	パイロット
WPAC (カナダ)	不明	不明	不明	35,000	不明
Wyssmont	TurboDryer	Wyssmont	アメリカ	Unknown	不明

\*規模の目安 パイロット: 50-500 kg/h、実証: 500kg-2t/h 商用: >2t/h



図Ⅱ－２－９ New Biomass Energy 社のトレファクション炉（上）、  
TorrCoal 社の設備建屋（下）<sup>2)</sup>

筆者らは、トレファクションの製造技術および導入事例の調査のため、2013年9月25～26日にドイツ連邦共和国ライプチヒ市にあるドイツバイオマス研究センター（DBFZ, Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH）<sup>7)</sup>を訪問した。バイオマスの技術開発に関して、変換要素技術は同じでも原料の違いなどの理由で所轄省庁が異なる場合がある。そうした中、省庁間の障壁を取り払い、バイオマスのエネルギー利用研究・技術開発を一手に担うのが DBFZ である（図Ⅱ-2-10）。同センターは2008年に設立され、場所はライプツィヒ中央駅から路面電車で15分程度のところにある。法人形態は有限会社で、連邦食糧・農業・消費者保護省が所轄して他省庁や州政府も支援している。年間予算は約500万ユーロ（約65億円）、人員は190名（うち業務支援部門70名。2012年時点）となっており、ミッションとしてバイオマスによる持続可能なエネルギーシステムの構築、持続可能な経済システムの中でのバイオマス利用の最適化、持続可能なバイオ経済システムへのバイオマスの融合を掲

げている。組織は、センター長の下にバイオエネルギーシステム、生物化学変換、熱化学変換、バイオリファイナリーの 4 つの研究部門がある。このうち固体バイオマスの燃焼は熱化学変換部門が担っている。同部門では燃焼機器からの排ガス対策研究、マイクロ熱電併給、バイオマス燃料の規格化、トレファクション技術開発などの研究を行っている。薪ストーブ等からの排ガス問題について、ドイツでは 2015 年に微粒子排出量の規制が強化されるため、それに対応する集塵装置の開発が行われていた。またガス化技術に関しては、大学と共同で利用実証を行っているほか、より小規模の熱電併給システムの開発に取り組んでいる。さらに若手職員が多く活躍しており、熱化学部門長の Volker Lenz 博士は 42 歳である。今後、トレファクションと小規模ガス化技術の組み合わせ、トレファクションペレット用燃焼機器の開発の進展が期待される。



図 II - 2 - 1 0 ドイツバイオマス研究センター（右から 3 人目が Lenz 博士）

#### （５）トレファクションの経済性

本項では Topell 社の試算事例<sup>2)</sup>を紹介する。表 II -2-4 に製造条件を示す。原料は水分 50% (乾量基準では 100%) のものを年 25.5 万トン使用し、製品は年 10 万 t である。トレファクションペレット製造をアメリカ南東部沿岸で行い、100km 先の港からオランダロッテルダムまで海上輸送し、100km 先の石炭火力発電所まで陸送するまでのコストを試算する。

表 II -2-5 に設備コストを示す。乾燥機は従来ペレットより水分を下げる必要がないため（従来ペレット 6-7% に対してトレファクションペレットでは 10-20%）やや安価になる。また粉碎性の向上から粉碎、ペレット化設備は総じて安価になるほか、野積み想定してサイロの導入コストが省略されている。しかし、トレファクション炉を新設するための追加コストが生じることから、全体の設備コストは従来で 19.5 百万ドルに対してトレファクションペレットで 29.0 百万ドルになる。これを生産能力で除す

ると、製品 tあたりの設備コストは倍近い開きとなり、その結果トレファクションペレットの製造コストは従来ペレットに比べて高くならざるを得ない。さらに製造時の電力は、乾燥、粉砕時に減少する一方、ペレット成型時に大幅に増加する（従来ペレット 56kWh に対してトレファクションペレットで 150kWh/t）。その影響により、従来ペレットでは 171kWh/t に対してトレファクションペレットでは 263kWh/t となる。

表 II - 2 - 4 コスト試算時のトレファクション条件<sup>2)</sup>

項目	従来ペレット	トレファクションペレット
原料供給量 (湿量含水率50%)	255, 000	255,000
原料価格 (USD/mt)	35	35
製品製造能力 (mt)	123,800	100,000
製品発熱量 (低位、GJ/mt)	17.5	21.7
製品かさ密度 (kg/m <sup>3</sup> )	620	800
製品エネルギー密度 (GJ/m <sup>3</sup> )	10.7	17.4

表 II - 2 - 5 設備コスト<sup>2)</sup>

コスト要因	従来ペレット	トレファクションペレット
ストックヤード	5.0	5.0
乾燥	4.5	3.6
トレファクション		13.0
二次粉砕	2.0	
ペレット化	4.0	3.1
サイロ	1.0	
その他	3.0	4.3
合計	19.5	29.0
tあたり設備コスト (USD/t)	158	290
消費電力 (kWh/t)	171	263

表 II -2-6 に輸送コストを示す。トレファクションペレットは従来ペレットに比べてかさ密度が 22%向上することから (620kg/m<sup>3</sup>→800kg/m<sup>3</sup>)、その分だけ陸上、海上輸送コストが低下する。

表Ⅱ－２－６ 輸送コスト<sup>2)</sup>

コスト要因	従来ペレット	トレファクションペレット
ペレット工場から積み出し港までの輸送		
トラックおよび鉄道 (\$/mt/100km)	10	7.75
港までの距離 (km)	100	100
貯蔵 (\$/mt/day)	0.14	0.05
港での保管日数 (日)	45	45
積込 (\$/mt)	2.86	2.22
保管超過料(\$/mt)	0	0
海上輸送		
海上輸送 (\$/mt)	35	27
積み下ろし港から最終消費地までの輸送		
陸揚げ (\$/mt)	2.86	2.22
貯蔵 (\$/mt/day)	0.14	0.05
港での保管日数 (日)	14	14
バージ船、トラック、鉄道(\$/mt/100km)	5.60	4.34
距離 (km)	100	100
積み下ろし (\$/mt)	2.86	2.22

表Ⅱ－２－７ 製造から石炭混焼発電所の利用までのコスト<sup>2)</sup>

コスト要因	従来ペレット	トレファクションペレット	削減効果
原料	4.28	4.28	0.00
電気代	0.60	0.74	-0.14
人件費	0.47	0.47	0.01
償還費用	1.01	1.49	-0.49
その他	0.40	0.43	-0.02
製造でのコスト	6.76	7.41	-0.65
工場→港	1.12	0.57	0.55
海上輸送	20.4	1.28	0.76
港→発電所	0.94	0.55	0.39
輸送コスト	10.87	9.81	1.06
発電所での追加コスト	1.93	-	1.93
合計	12.80	9.81	2.99

表Ⅱ-2-7 に石炭混焼発電所の利用までを含めたコストを示す。単位は発熱量あたりである。トレファクションペレット製造コストは従来ペレットの 6.76 ドル/GJ に比べて 7.41 ドル/GJ と 1.1 倍高くなる。しかし輸送コストは発熱量の向上（重量あたり約 21%向上）から、発熱量あたりでは従来ペレットより約 40%減少する。また石炭火力

発電所では受入、粉碎設備等を簡略化できることから追加コストが不要になる。以上のことから従来ペレットでは 12.8 ドル/GJ であったものがトレファクションペレットでは 9.81 ドル/GJ となり、約 23%のコスト削減が可能となる。このように製造コストは割高でも輸送、取り扱いのコストが低くなることから、トレファクションペレットの経済性は従来のペレットに比べると総合的には高くなると考えられる。なお、経済性だけでなく、利便性も考慮に入れる必要がある。

## (6) まとめ

トレファクションは木質バイオマスの発熱量やハンドリングを改善し、従来よりも低コストで石炭混焼発電の混焼率を向上する可能性を有している。欧米では 30 前後の実証プラントが存在し、商用化へ動き出している。またトレファクションの国際規格も承認待ちである。規格が成立すれば、認証制度の下で品質管理が行われることになり、商用化プラントからのトレファクション燃料が国際市場に出回る日もそう遠くはないと考えられる。

## II-2-2. ガス化

ここで述べるガス化とは、バイオマスを高温で熱分解し、熱分解生成物（ガス、タール、チャー（炭））を改質反応等で軽質化することによって、主に可燃性のガスを製造する技術を指す。ガス化方式は発電利用の際、直接燃焼－蒸気タービン方式に比べて小規模（数十～数百 kW）で効率が高い特徴がある。またその他の利用方法として、石炭との共燃焼、液体燃料や化学品の合成などがある。本項ではガス化の利用動向について IEA からの報告<sup>8,9)</sup>を中心に紹介する。なおガス化の原理、基本技術の説明は省略する。

### (1) ガス化技術動向

【大規模利用の現状】バイオマスガス化炉はこれまで数多くのパイロットプラント、実証プラントが存在したが、産業分野で大規模に利用されているのはごくわずかである。過去に調査した実証又は準商用化プラント 35 箇所の内、熱出力 1,000kW 以上で稼働しているのは 15 箇所に過ぎなかった。

表 II-2-8 に世界における大規模バイオマスガス化施設トップ 10 を示す。なお表右端のバイオマス使用量は設備出力からの計算値で、実際の使用量は異なる。トップ 10 施設はすべてヨーロッパにあり、いずれも地方に存在する。小規模な施設は世界中で運転がされており、主にヨーロッパのほか、アメリカ、日本でも見られる。大規模ガス化施設で用いる原料は主に木質系で、林地残材、樹皮、解体材、木質ペレット等である。ガス化施設が導入されている国は、通常、豊富な森林もしくは製紙産業を有し、地域に十分なバイオマス資源が存在する場合が多い。ガス化技術はこれまで共燃焼、発電、合成燃料および化学製品製造に用いられてきた。最近では熱出力 100,000kW の設備で

ディーゼル燃料、エタノール、合成ガス製造を行う計画も出されている。

表中 1 位のフィンランド Lahti Energia Oy 社の設備は 80,000kW のガス化炉を 2 基有している。原料には廃木材等の廃棄物系のものが使われ、生成ガスは熱電併給に使用されている。表 2 位のフィンランド Vaskiluodon Voima Oy 社は、140,000kW のガス化炉を 2012 年末から運転開始した。原料には森林からの生材チップ、製材工場残材のほか、農業系バイオマスも用いている。ガスは石炭ボイラーで共燃焼されて熱電利用されている。表 6 位のフィンランド Metsa Fibre 社はパルプ製造企業グループで、ガス化設備は 2012 年の秋から運転されており、地域から供給される樹皮を主燃料に用いている。スウェーデンでは、SYDKRAFT AB により最初のバイオマスガス化-複合発電 (IGCC) プラントが Värnamo に建設された。1993 年から 1998 年にかけて木材を燃料として熱出力 18,000kW で運転され、熱電併給された。ガス化炉には空気炊き加圧循環流動床ガス化炉が採用されている。しばらくの運転休止期間を経て、2004 年にベクショーの Värnamo バイオマスガス化センター (VVBCG) に買収され、目的が合成ガス製造に変更された。VVBCG は、プロジェクトを継続するための企業パートナーを探している。

表 II -2-8 最大規模のバイオマスガス化炉一覧 <sup>8)</sup>

No.	事業体名 またはプラント名	場所	国	原料調達	能力		2012年利用量
					kW (燃料)	PJ/y	PJ
1	Lahti Energia	Lahti	フィンランド <sup>*</sup>	L	160,000	4	2.3
2	Vaskiluodon	Vaasa	フィンランド <sup>*</sup>	L	140,000	3.5	0.5
3	Rudersdorfer Zement	Rudersdorf	ドイツ	不明	65,000	2.5	1.2
4	Essent	Geertruidenberg	オランダ <sup>*</sup>	不明	55,000	2.1	1.5
5	Electrabel (GDF Suez)	Ruien	ベルギー	不明	50,000	1.8	1.0
6	Metsa Fibre	Joutseno	フィンランド <sup>*</sup>	L	30,000	1.2	0.5
7	Sodra Cell Varo Pulp Mill	Varo	スウェーデン	不明	25,000	0.9	0.7
8	Anion Technologies	Pfaffenhofen	ドイツ	不明	20,000	0.8	0.2
9	Corenso United	Varkaus	フィンランド <sup>*</sup>	M	20,000	0.8	0.4
10	Skive Fjernvarme	Skive	デンマーク	L	20,000	0.8	0.6

\*L: 国内 M: 国内及び輸入

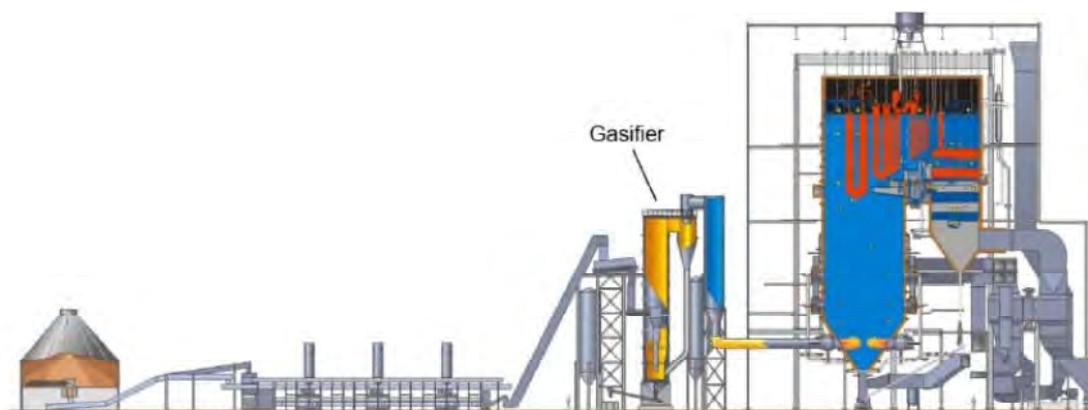


図 II -2-11 VASKILUODON 社ガス化設備 <sup>8)</sup>

ガス化炉からの生成ガスを微粉炭炊き発電設備へ吹き込む。

【小規模利用の拡大】 我が国では 2012 年 7 月に再生可能エネルギーの電力固定価格  
買い取り制度 (FIT) が開始されて以降、各地で木質バイオマス専焼発電所が計画され、  
2015 年度には相次いで稼働するとみられている。ここで 2000 年から FIT を導入した  
ドイツにおける状況を紹介します。FIT の開始以降、バイオマス発電設備容量は 2000 年  
に 25 万 kW であったに対して 2013 年には 150 万 kW と約 6 倍に伸びている (図 II-2-12)。  
2008 年以降は設備容量の伸びが鈍化しているが、施設数が大きく増加しており、中  
でも小出力の施設数の増加が目立つ。これは FIT 制度の改正と密接に関連し、小規模利  
用が優遇されていることによる。ドイツでは FIT 制度が 2000 年に開始され、当初から  
小規模発電に対する買い取り価格は高く設定されたものの、価格差が大きくなかった  
ことや、発電だけでも適用されたことから、大規模発電所の導入が進んだ。しかし 2004  
年の改正で価格差を広げると共に、熱電利用 (CHP, Combined Heat and Power) や有  
機ランキンサイクル方式 (ORC) などの新技術利用に加算ポイントが導入され、2009  
年の 2 度目の改正で強化された。直接燃焼方式の発電効率は規模にもよるが一般に 30%  
以下であり、排熱の有効利用を優遇するのは化石資源使用量の削減、エネルギーの地  
域分散利用の意味で重要なポイントといえる。これに追い打ちをかけるように 2012 年  
に 3 度目の改正が行われ、熱電利用のみが買い取りの対象とされた [3]。図 II-2-13 に熱  
電併給方式の推移を示す [2]。FIT 制度の導入当初は、大規模で有利とされる蒸気ター  
ビン方式 (Dampfturbine) が多いことがわかる。やがて制度改正を経て、2000 年代  
半ばから 1,000kW 前後の熱電併給で有利な有機ランキンサイクルタービン  
(ORC-Turbine) 方式の導入が増えた。ORC はバイナリーサイクルとも呼ばれ、これ  
まで我が国で知られるバイナリー発電は、地熱発電の熱水などを熱源に低沸点のイソ  
ブタンやノルマルペンタン等の有機媒体に熱交換し、その蒸気により発電するもので  
あり、その沸点の低さから熱電利用には難があった。そのため、前出の ORC 方式は熱  
媒体に水より高沸点のシリコン系オイルを使うことで、300℃前後で蒸気タービン発電  
を可能にするほか、熱交換して水蒸気または熱水を取り出せて熱利用も可能となっ  
ている。筆者が訪問したライプチヒ郊外の Torgau にある木質ペレット工場にも ORC 方  
式が導入され、250℃の蒸気タービンで 1,500kW の発電が行われ、熱交換により 95℃  
の温水を作り、原料乾燥などに活用されていた。FIT が 2009 年に 2 度目の改正が行わ  
れた後はガス化発電方式 (Gasmotor) の増加が顕著である。ガス化方式の発電は木材  
を部分燃焼または熱分解等により可燃ガスを発生させ、ガスエンジンやガスタービン  
で発電するもので、100kW 以下の規模でも 20~30%の比較的高い発電効率を得られる  
特徴がある。またエンジン排熱を熱交換して温水を得られることから、小規模な熱電  
併給が可能で、我が国でも岩手県奥州市、埼玉県秩父市などで FIT を活用して売電し  
ながら熱電併給する事例がある。しかし、構造が複雑で導入コストが高いことから、  
直接燃焼方式ほど導入拡大には至っていない。ドイツでは FIT の優遇策がガス化熱電  
併給導入を後押しし、装置の量産効果により導入コストの低減に結びついているよう  
である。

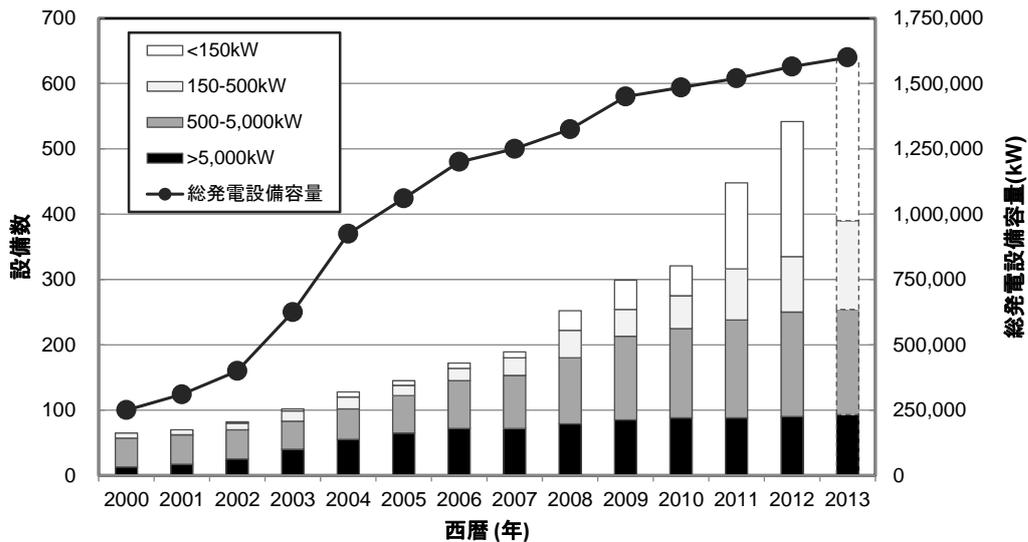


図 II -2-12 固体バイオマスを燃料に用いるバイオマス施設数および発電設備容量の推移 10)

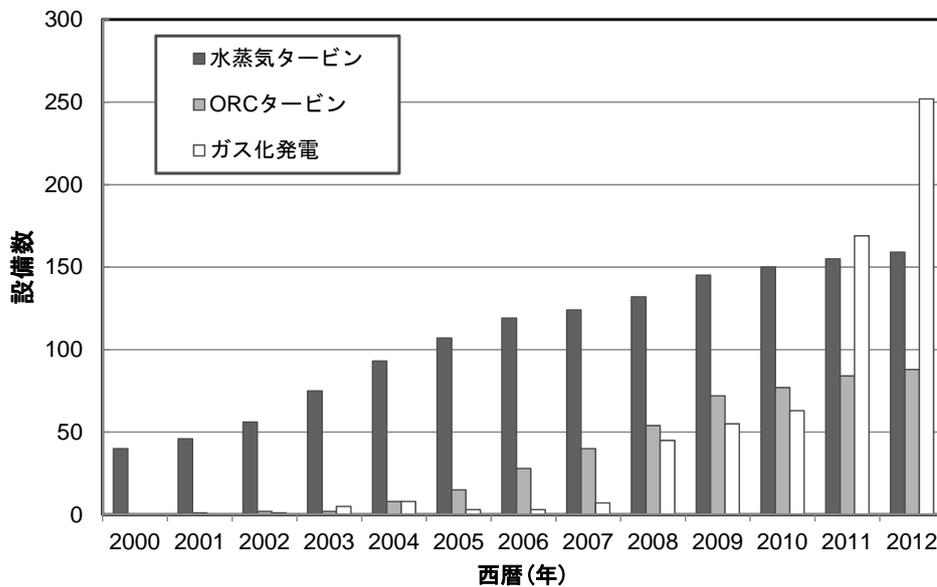


図 II -2-13 固体バイオマスをを用いる場合の熱電併給方式の推移 10)

## (2) 欧州におけるガス化技術導入の現状

### (ア) ドイツ

表 II -2-9 にドイツで導入されているガス化炉の例を示す。大規模利用の例としてドイツ Choren 社を挙げる。同社は横置きの炭化炉と噴流床ガス化炉を組み合わせた CARBO-V を開発し、液体燃料合成設備と (BTL、Biomass To Liquid) とともにベータタイプの商用プラント (45,000kW) を 2009 年にドイツフライベルクに導入した。その後 Choren 社は破産宣告され、工場では稼働していない。同社の CARBO-V 技術は 2012 年にドレスデンの LINDE 社に売却され、さらに開発が続けられている。

事業者	技術	出力	場所	技術供与元	備考
<b>噴流床型</b>					
Choren社 <a href="http://www.choren.com/en/">http://www.choren.com/en/</a>	Cabo-V <sup>®</sup> 型 酸素吹き噴流床	熱45MW (βハイブ <sup>®</sup> )	Freiberg	Choren社 (フライブルグ)	6気圧で3段階ガス化しFT 合成で液体燃料合成へ 実証プラント準備中。
Karlsruhe工科大学(KIT) <a href="http://www.bioliq.de/english/index.php">http://www.bioliq.de/english/index.php</a>	bioliq <sup>®</sup> プロセス 熱分解処理 および(ス ラリー製造)、酸素 吹き噴流床ガス化炉か らなるLurgi多目的ガス 化プロセス(MPG)	熱5MW	Karlsruhe	Lurgi社およびKIT	80気圧のガス化、BTL製造 2012年に運転開始
<b>流動床型</b>					
Agnion Technolo-gies社 Biomasse Heiz-krafwerk Pfaffen-hofen事業 <a href="http://www.agnion.de/index.php?=2&amp;L=1">http://www.agnion.de/index.php?=2&amp;L=1</a>	水蒸気ガス化	熱0.5MW	Pfaffen- hofen	Agnion Technolo- gies社	当面は合成ガス製造目的 だが今後熱電併給も実施 予定
Hs energieanla- gen社 <a href="http://www.hsenergie.eu">www.hsenergie.eu</a>	水蒸気ガス化	熱0.5MW	Neufahrn bei Freis- ing	hs energieanlagen 社	熱電併給
CUTEC-Institut GmbH <a href="http://www.cutec.de/">http://www.cutec.de/</a>	循環流動床 酸素及び水蒸気使用	熱0.4MW	Clausthal- Zellerfeld	EcoEnergy Gesell- schaft fur Energie 社 Umweltechnik 社	artfuel プロジェクトと称 する液体燃料合成。常圧 ガス化
Stadtwerke Ulm/ Neu-Ulm <a href="http://www.swu.de/">http://www.swu.de/</a>	循環流動床 水蒸気ガス化	熱15MW; 電力4.6MW	Neu-Ulm	Repotec社	熱電併給 ガスエンジン発電4 MW およびORC発電0.6 MW FNRの資金で建設、2011 年運転開始
Warmever- sorgung Großen-hain社 およびPOW 社 <a href="http://www.ver-gmbh.com/Startseite/Neue-Dateien/Combi-Power-D-07.html">http://www.ver-gmbh.com/Startseite/Neue-Dateien/Combi-Power-D-07.html</a>	複合発電 空気吹き流動床 620℃予熱後酸素濃度 50%でガス化	電力6MW 熱8MW	Großen- hain/ Naundorf	VER Verfahrens- ingenieure社	CHP方式。準備中
<b>移動床型</b>					
H2Herten社 (ブルータワー) <a href="http://www.wasserstoffstadt-herten.de/Fiemen.103.0.html?&amp;L=0">http://www.wasserstoffstadt-herten.de/Fiemen.103.0.html?&amp;L=0</a>	セラミック球を熱媒 体としてガス化炉、 改質炉を重力移動 水蒸気ガス化	熱13MW	Herten	BlueTower社	発電と水素製造(最大150 m <sup>3</sup> /h) ガスエンジン発電および 排熱利用のORCユニット 実証段階
<b>固定床型</b>					
HEH Holz-energie社 <a href="http://www.mother-milk.de/unterne-lkonz.html">http://www.mother-milk.de/unterne-lkonz.html</a>	空気炊きダウンドラ フト炉	電力 4x250kW	Pfalzfeld	Mothermik <sup>®</sup> CHP technology社	熱電併給
Stadtwerke Dusseldorf <a href="http://www.swd-ag.de/">http://www.swd-ag.de/</a>	空気炊きダウンドラ フト炉	電力270kW	Arnsberg- Wild- shausen	Biomass Energie- systeme社	CHP

小規模利用の例として Burkhardt 社のガス化炉を取り上げる。同社のガス化炉の特徴は、燃料に木質ペレットを採用している点にある。木質ペレットを利用することで燃料コストが高くなるものの、自動運転を可能にし、運転のための人件費を抑制できるほか、原料貯蔵スペースが小さくでき、タールの発生量も少ないため処理費用も低減できるなどのメリットがある。使用する木質ペレットには EN Standard A1 クラスの高品質のペレットが要求される。図 II -2-14 に設備外観を、図 II -2-15 にガス化フローを示す。装置はガス化炉本体と熱電併給装置で構成される。ガス化炉本体サイズは高さ 4.5m、長さ 5.28m、幅 2.47m で重量は 5.9t である。また熱電併給装置のサイズは長さ 3.76m、幅 1.73m、高さ 2.6m で重量は 4.69t である。ガス化炉はアップドラフト式ガス化炉を採用し、ペレット消費量は標準で 110kg/h である。仮に年間 7,200 時

間運転する際の消費量は 825t になる。このガス化炉から 70kW の熱が得られる。ガス化炉からの可燃ガスは熱電併給装置中のガスエンジンに送られる。ガスエンジンには先のガス化ガスに加えて、軽油もしくはバイオディーゼル油を補助燃料に用いる。補助燃料の使用によりエンジンの点火プラグが不要になり、自然発火による直噴燃焼が可能になる。補助燃料の消費量は標準で 4-5L/h であり、ここから混焼率を推算すると発熱量ベースで 7.4~9.2%に相当する。ガスエンジンによって発電機を回すことによって発電し、発電出力は 180kW、熱出力は 200kW である。なお、発電効率は 30%以上、総合効率は 75%に達する。副生成物としてチャー（木炭、灰）は年間約 25t（燃料重量の約 3%に相当）、木酢液（タール）が年 1,000L 発生する。価格はガス化装置、発電装置、設置、1年間の保守を含め、約 100 万ユーロ（1.2 億~1.4 億円）で、発電キロワットあたり単価は 67~78 万円となる。



図 II -2-14 Burkhardt 社ガス化装置（左）と熱電併給装置（右）

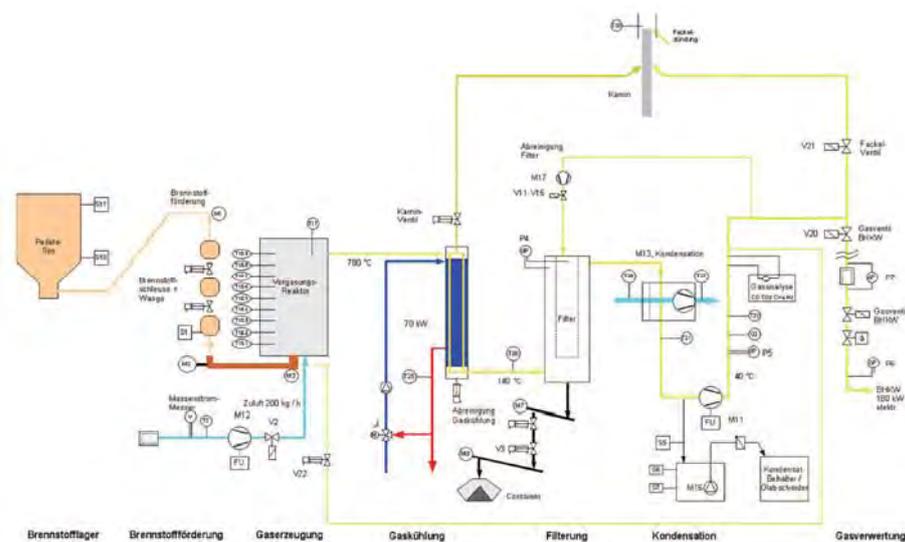


図 II -2-15 Burkhardt 社ガス化システムフロー

(イ) オーストリア

表 II-2-10 にオーストリアに導入されたバイオマスガス化炉の例を示す。原料はすべて木質バイオマスである。

Güssing に導入されたガス化炉は、高速内部循環流動床 (FICFB) とよばれる特殊な方式を採用している (図 II-2-16)。FICFB ガス化炉は、流動床ガス化炉と燃焼炉を組み合わせたもので、ガス化炉に供給されたバイオマスは蒸気でガス化され、未反応の炭素分はベッド材とともに炉底から燃焼炉に入り燃焼される。燃焼炉で加熱されたベッド材はサイクロンで捕集されてガス化炉に入り、ガス化に必要な熱を供給する。FICFB は、蒸気でガス化を行うため、ガス中の窒素が少なく、純酸素を用いなくても比較的高カロリーのガスが得られる。2001 年 11 月から実証炉の運転を開始し、2002

表 II-2-10 オーストリアに導入されたバイオマスガス化炉の例 <sup>12)</sup>

(国外への技術移転も含む)

場所	方式	能力	状況
Güssing	高速内部循環流動床 (FICFB)	熱8,000kW、電力2,000W	運転中
Oberwart	FICFB	熱8,500kW、電力2,700kW	運転中
Villach	FICFB	熱15,000kW、電力3,700kW	準備中
Klagenfurt	FICFB	熱25,000kW、電力5,500kW	詳細設計中
Ulm (ドイツ)	FICFB	熱15,000kW、電力5,300kW	準備中
Ruden	固定床	熱300+150kW 電力2x150kW	運転中
Eberndorf	固定床	熱650kW 電力2x120kW+70kW	運転中
Neumarkt	固定床	熱580kW、電力2x120kW	運転中
Sulzbach-Laufen (ドイツ)	固定床	熱280kW、電力130kW	運転中
Neukirchen	固定床	熱300kW、電力2x150kW	運転中
Konstanz (ドイツ)	固定床	熱300kW、電力150kW	運転中

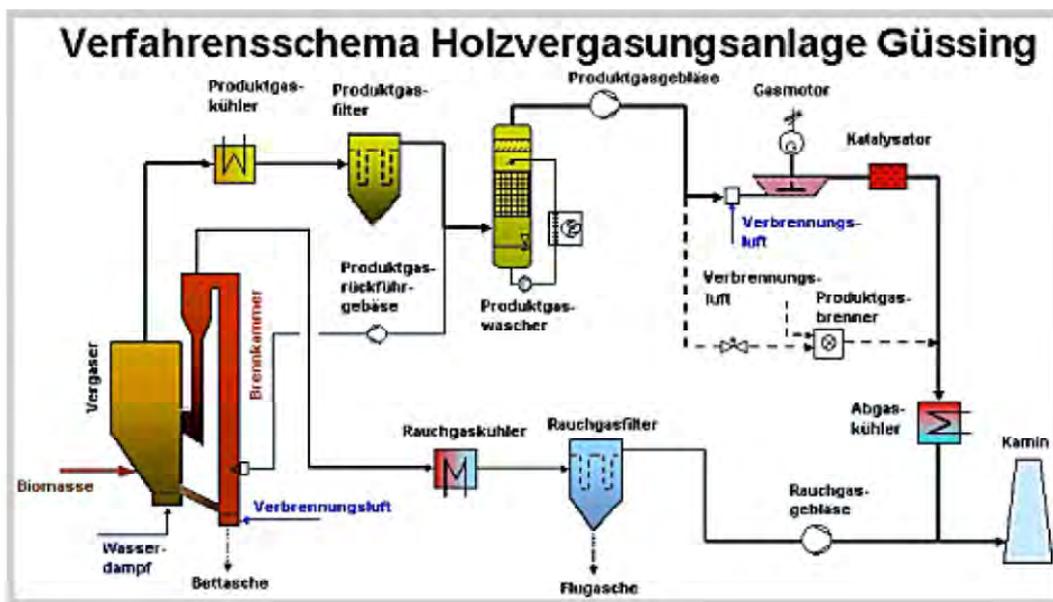


図 II-2-16 Güssing ガス化炉 <sup>12)</sup>

年 4 月にはガスエンジン、熱電併給装置の運転を開始した。建設費は 900 万ユーロであった。この実証炉の実績を元に FICFB のスケールアップの検討がなされ、Repotec 社によって経済的に商業利用可能なプラント販売を可能にした。生成ガス中に窒素が少なく水素が多いことから、生成ガスの利用法に関する様々な研究が行われている。一例を挙げると、Fischer-Tropsch 法による液体燃料の合成、メタンガスの合成、燃料電池（固体炭酸塩型）、タールのクラッキング技術等である。

Overwalt に導入されたガス化熱電併給装置は FICFB の国内 2 例目である。ガス化炉、ガスエンジンの組み合わせは Güssing とほぼ同様である。熱出力は 8,500kW、発電出力は 2,700kW で、本装置で特徴的なのは、乾燥機と ORC ユニットを複合させて発電効率を高めているところにある。熱電併給装置からの熱をすべて ORC ユニットに通して、熱媒体油を使って発電を行い、排熱を原料の乾燥に利用する。一連の設備は 2007 年 12 月に完成して 2008 年より運転開始した。

URBAS 社のガス化技術は、古くからの技術を見直して高度化したものである。低含水率の木材を原料に使うことでエネルギー効率を高めるとともに、低コストでの運転を可能にしている。図 II-2-17 と図 II-2-18 に同社のガス化フロー及び外観図をそれぞれ示す。

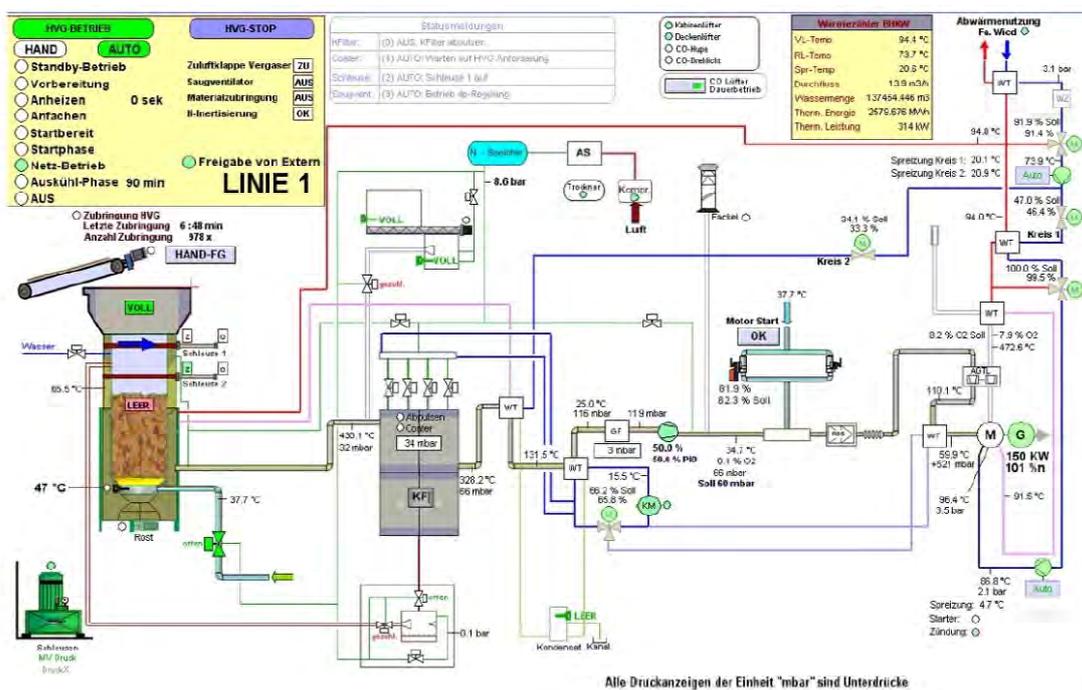


図 II-2-17 URBAS ガス化炉フローシート 12)

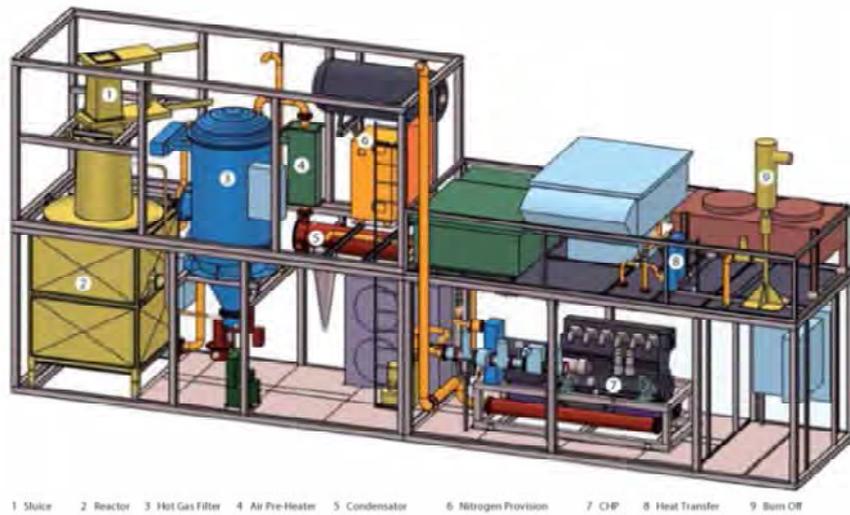


図 II -2-18 URBAS ガス化炉外観図 <sup>12)</sup>

(ウ) オランダ

図 II -2-19 にオランダ国内で運転、実証、研究開発中のバイオマスガス化設備一覧を示す。ガス化関連の研究は、現在、総額 4,200 万ユーロ、29 の多面的プロジェクトによって展開されている。オランダは国土が狭い上に人口密度が高いこともあって、原料は廃棄物系バイオマスか輸入バイオマスに頼らざるを得ない。後者については、輸送や原料コスト低減のためにトレフアクション技術が注目されているほか、トレフアクション物のガス化技術も検討されている。ガスの利用技術で注目されているのは、天然ガス代替の合成ガス製造技術である。この背景には、国内の天然ガス依存度が一次エネルギー比 44%、発電量比 60%超と高いことにある。以下、国内の導入、開発事例を幾つか紹介する。

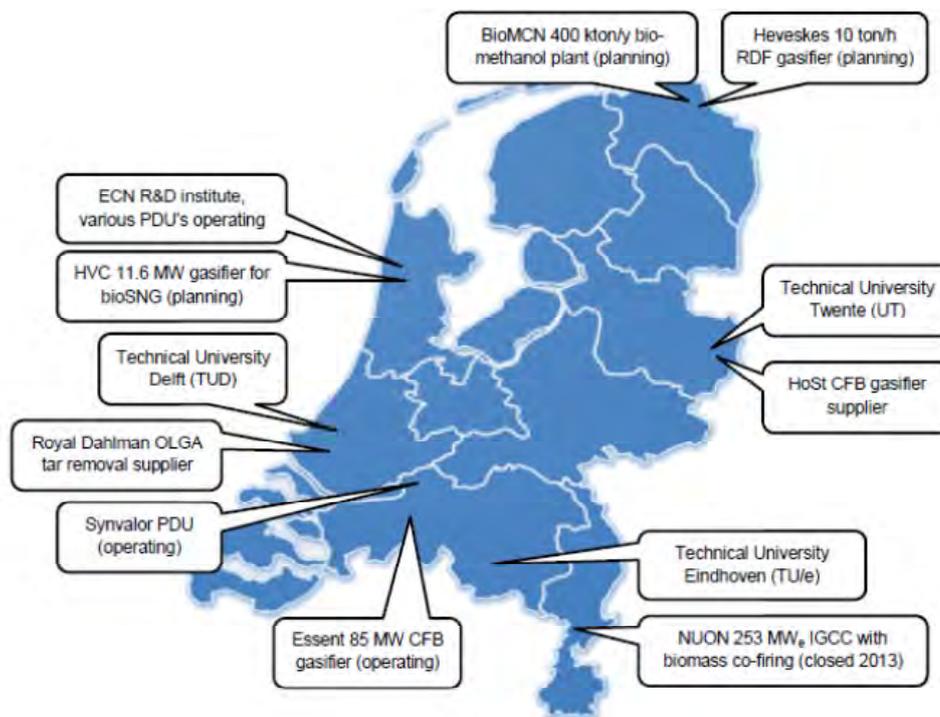


図 II -2-19 オランダ国内で運転、実証、研究開発中のバイオマスガス化設備 <sup>13)</sup>

【Essent/RWE 社】同社は、60 万 kW の石炭炊き発電所に木質バイオマスガス化炉が附属する施設を有し、発電効率は 42%に達する。同施設は Geertruidenberg にあり、通称 Amer-9 と称する。石炭とバイオマスの共燃焼は、2 つの方法で実施されている。一つは熱量比 25%の木質ペレットを直接混焼する方法であり、もう一つは熱量比 5%の木質バイオマスをガス化させた後に間接的に共燃焼させる方法である。ガス化炉は 2001 年に完成し、これまで原料供給やガス精製部分の改良が行われてきた。ガス化炉の熱出力は 85,000W で Lurgi 社の循環流動床ガス化技術を採用している。使用する木質バイオマスは、主にカテゴリ B の廃棄物で、塗料付着木材、ファイバーボード(MDF)、合板、草本や無機質を含んだものである。ガス化温度は 850°Cで、発生ガスは冷却を経て 400~450°Cで石炭炊きボイラーに送られる。ガス化炉の運転時間は年平均 5,000 時間で、稼働時間が短くなる理由として供給系、冷却系の障害（タール析出等）が生じることが挙げられる。ガス化炉の運転に対する補助金が 2013 年末に打ち切られる予定のため、現在、運転継続するための手段を模索している。



図 II -2-20 Amer-9 石炭炊き発電所と木質バイオマスガス化炉（向かって右側）<sup>13)</sup>

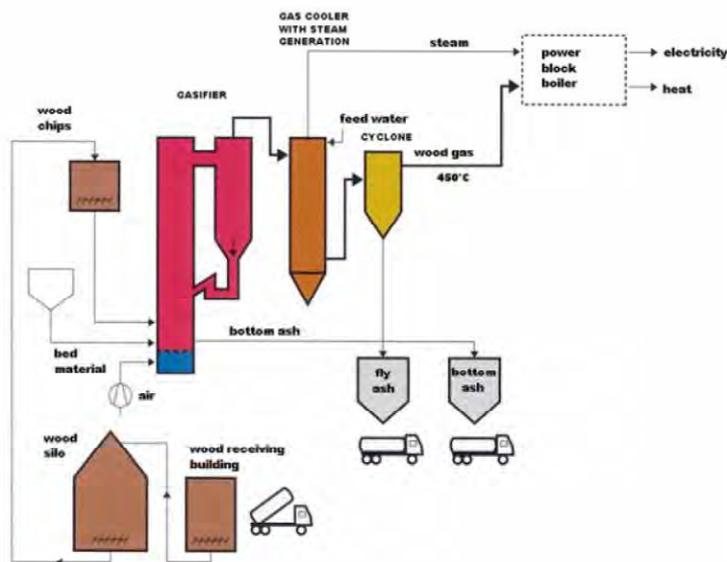


図 II -2-21 ガス化炉フロー<sup>13)</sup>

【NUON/Vattenfall】同社の施設は Buggenum にあり、当初 25.3 万 kW の石炭ガス化複合発電（IGCC）として 1993 年より運転を開始した。同施設は IGCC タイプでは国内最初の実証プラントで Willem-Alexander プラントとも呼ばれ、Shell 社の高圧ガス化技術を採用して 43%の発電効率を達成した。2002 年より NUON 社がバイオマスの共燃焼試験を開始し、試験結果を経て、木質ダストを日量比 10%（発熱量基準）用いる改良を 2006 年に実施した。最近では混焼率を高める試験も行った。その際、燃料にトレファクションもしくは水蒸気処理改質した木質ペレットを使用し、最大で 70%の混焼試験まで実施した。この試験は注目されたが、発電出力が減少するなどの結果も得られた。こうした結果を残しながらも、運用コストの高さから、同施設は 2013 年 4 月 1 日に閉鎖された。



図 II -2-22 NUON/Vattenfall 社 IGCC 発電施設（2013 年 4 月に閉鎖）<sup>13)</sup>

【BioMCN】同社はバイオマスからメタノールを製造する企業である。既存の天然ガス改質法によるメタノール製造プラントを改良し、バイオディーゼル副産物のグリセリンを原料に使用できるようにした。試験段階で天然ガス中のグリセリン混合率 5%にてメタノール製造に成功したことを受け、同社は混合率を 50%まで高め、メタノール製造能力を 20 万 t まで高める改良を行った。この改良ではグリセリンの精製が重要なポイントでもあった。2010 年から同社はメタノールを MTBE（メチルターシャールブチルエーテル）向けに生産することによってバイオ燃料市場に参入した。同社のプラントは、その時点で世界最大規模の第二世代バイオ燃料製造プラントであったが、別途 40 万 t の製造プラント建設計画を発表した。同計画は 2012 年に欧州 NER300 プログラムから 1.99 億ユーロ（約 280 億円）の支援を受けて進められた。新プラントは、150 万 t の木質廃棄物から 40 万 t のバイオメタノールを製造するもので、トレファクション処理、噴流床ガス化炉が付属している。ガス化炉は Siemen 社の技術支援を受ける予定で、トレファクション物をガス化するとあって注目を浴びている。一連の計画を woodspirit と称して、2017 年の設備稼働を目指している。



図 II -2-23 BioMCN 社メタノール合成プラント(左)とグリセリン精製プラント(右)<sup>13)</sup>

【Syanvalor 社】 同社は歴史の新しい企業で、Jacques Polvervaart 社によって設立された。Jacques Polvervaart は、以前 Polow Energy Systems BV 社（以下 PES 社）がオーナーであった。PES 社は Torbed ガス化炉と呼ばれる独自のガス化炉を Nieuwdorp に設置して試験を行い、この技術をトレファクション技術用に発展させた。PES 社は Topell 社と統合して、現在は Topell Energy BV 社と称している。Syanvalor 社は多様な燃料に対応する多段階ガス化炉を開発した。その目的は、ガスエンジン用の低タールのガスを製造することにある。設備費を kW あたり 2,500 ユーロ（約 35 万円）に抑えることを目標とし、Synvastor© と称する発電出力 50kW のパイロットプラントを建設した。原料にはおが粉、木材チップ、雑草、稲わら等が利用可能である。既にイタリアとセルビアにて導入契約を結んだ。熱電併給装置の開発は Dordtech の協力の下に行われている。



図 II -2-24 Synvastor© ガス化炉パイロット機<sup>13)</sup>

【HVC】 同社は、廃棄物処理およびエネルギー供給事業を行う企業である。オランダ西部の 50 以上の自治体が同社に出資するとともに、自治体の廃棄物処理を同社に委託している。同社は、木質系廃棄物 17 万 t/y を受け入れ、循環流動床ボイラーを用いて

2,500kW 規模の発電を行ってきた。この他、発酵ガスを 3,000kW の天然ガス相当のガスに改質するプラントを Zwolle に建設し、改質ガスを 40 気圧の天然ガス供給網に供給している。数年前からガス化による合成ガス又はメタン製造（Green Gas と総称）の事業に着手した。ガス化炉にはオランダ国立エネルギー技術研究所（ECN）の開発した MILENA と呼ばれる循環流動床間接ガス化方式を採用し、パイロット試験を経て、11,600kW の実証プラントの設計に必要なデータを取得した。実証プラントの運営には HVC 社のほか、Gasunie 社、Royal Dahlman 社、ECN、Noord-Holland 州が参画している。プラントは HVC 社の事業拠点のある Alkmaar に建設予定で、2014 年後半に完成予定である。木質系廃棄物を原料に ECN が開発した MILENA ガス化炉と OLGA タール除去技術を組み合わせてタールフリーのガスをつくり、ガスは専用のボイラーで燃焼された後、蒸気サイクル発電される予定である。ガスの一部は合成ガス製造に利用され、運転データを商用の合成ガスプラント建設に反映させていく予定である。

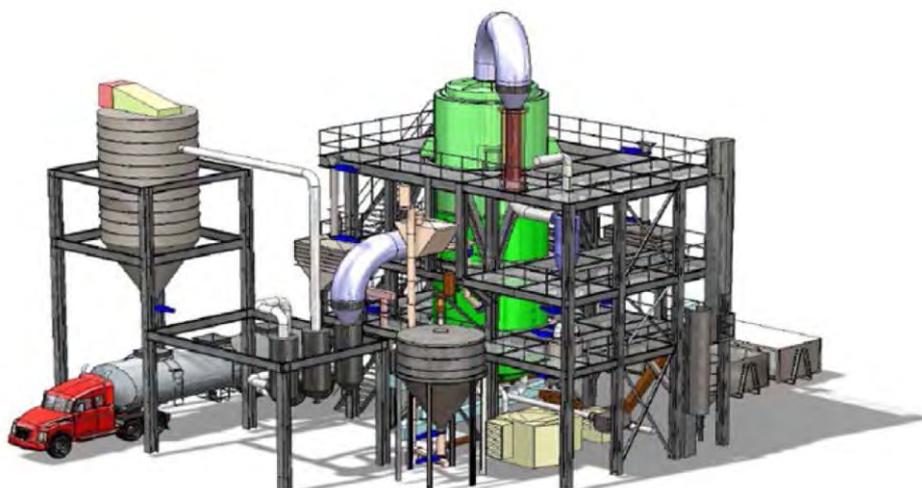


図 II -2-25 木質廃棄物ガス化実証炉のイメージ（2014 年後半完成予定）<sup>13)</sup>



図 II -2-26 MILENA ガス化炉概念図（左）、25kW テスト設備（中央）、0.8kW テスト設備（右）<sup>13)</sup>

(エ) イタリア

イタリアではバイオエネルギー（バイオマス、バイオガス、黒液等）由来の発電量は 10.1TWh で総発電量の 3.1%を占めるが、そのうち固体バイオマス由来は 2.8TWh を占める。ほとんどは蒸気タービン発電によるもので、ガス化発電は総出力が現在のところ 10,000kW と小さい。表 II -2-11 に現在稼働中および研究段階のガス化発電施設を示す。今後 20 箇所で総出力 20,000kW の計画がある。イタリアでの FIT 制度では 1,000kW 以下の発電施設に対して 15 年間で 280 セント（約 39 円）/kWh（2011 年現在）の固定価格で買い取るようになっており、こうした制度がガス化発電施設増加への一助になっていると考えられる。

表 II -2-11 イタリアに導入されたバイオマスガス化炉の例<sup>14)</sup>

施設名	発電出力 (kW)	メーカー	プラントの特徴
Belluno(BL)	1,000	Caema/Rivoira GAS-1000	木質バイオマス年間消費量8,500t
Parma(PA)	1,000	Caema/Rivoira GAS-1001	年9,000tのケナフから7.5GWhの発電量と15GWhの熱を供給
Gadesco Pieve(CR)	960	Agroenergia	主に草本系バイオマスを使用
Alessandria(AL)	640	不明	poliTO社の技術で現在実験段階 木質バイオマス年間消費量4,100tを想定
Vigevano(PV)	500	Modello GAS-500	年4,100tの木材チップから3.75GWhの電力と7.5 GWhの熱を供給する
Caluso(TO)	400	Autogas Nord	農業残渣、木質バイオマス(葉を含む)、食品残渣使用
Oltrepo Pavese(PV)	300	Bio& Watt	吸熱型ガスエンジンを採用
Castel San Pietro(BO)	250	Bio& Watt	剪定枝、ポプラチップ、トウモロコシ茎を使用
Orzinuovi(BS)	250	Bio& Watt	木質バイオマスを使用
Verbania(VB)	250	CoVer Energy	実験段階
Rossano(CS)	4,200	Guascor	商用段階
Castel D'Aiano(BO)	35	Stirling	商用段階
Pomarico(MT)	300	Bio& Watt	商用段階
Quingentole(MN)	70	Caema	商用段階
Torre S.Susanna	500	ICQ/SIAG/ERBA	実験段階

(オ) ノルウェー

表 II -2-12 にノルウェーに導入されているバイオマスガス化プラントを示す。原料はすべて廃棄物系である。ガス化技術開発動向を幾つか挙げる。

【液体燃料合成】 2010～2014 年に実施中のプロジェクトで、原料は大規模用途では林地残材を含む木質系バイオマスを、小規模では木質系バイオマスのほか、家庭や産業からの廃棄物系バイオマスを対象にしている。

【燃料電池との複合利用】 2005～2008 年に実施され、10kW の燃料電池との発電技術の確立を目標に開発が進められた。鍵となるのは硫化水素等の不純ガスを如何に除去するかであり、高温での除去技術開発に注力された。

【バイオリファイナリー技術】 2009～2012 年にかけて実施され、第二世代バイオマス燃料をおよび付加価値の高い製品を低コストで製造するための基盤技術開発が行われ

た。主たるプロセスはバイオマス多糖類の加水分解、糖の発酵など、エタノール化を目的としていたが、副産物からの付加価値製品の開発、バイオマスの化学、熱化学、生物化学的処理による成分分離技術の開発も行われた。リグニンの利用では、将来的には熱分解油の変換技術開発も視野に入れている。

表Ⅱ-2-12 ノルウェーに導入されているバイオマスガス化プラント<sup>15)</sup>

場所	方式	年間熱出力量 (GWh)	原料	状況
Ranheim	ガス化/燃焼	25	廃棄物	運転中
Averøy	ガス化/燃焼	69	廃棄物	運転中
Hurum	ガス化/燃焼	105	廃棄物	運転中
Forus	ガス化/燃焼	105	廃棄物	運転中
Sarpsborg	ガス化/燃焼	210	廃棄物	運転中
Sarpsborg	ガス化/燃焼	256	廃棄物	運転中

### (3) まとめ

ガス化技術の用途が広がりつつあり、従来の電力または熱電併給だけでなく、燃料電池との複合発電、F T合成による合成燃料、化学品製造などの技術開発が活発になっている。このようにガス化炉と変換装置との組み合わせにより、規模に応じた、様々な利用プロセスの構築が可能であることから、今後、地域特性に応じた様々なガス化技術の導入が期待される。

### 参考文献

- 1) IEA Bioenergy Task40 (2011)、Global Wood Pellet Market and Trade study、  
[http://www.bioenergytrade.org/downloads/t40-global-wood-pellet-market-study\\_final.pdf](http://www.bioenergytrade.org/downloads/t40-global-wood-pellet-market-study_final.pdf)
- 2) IEA Bioenergy Task32 (2012)、Status Overview of torrefaction technologies  
[http://www.ieabcc.nl/publications/IEA\\_Bioenergy\\_T32\\_Torrefaction\\_review.pdf](http://www.ieabcc.nl/publications/IEA_Bioenergy_T32_Torrefaction_review.pdf)
- 3) 本間千晶ら (2003)、林産試だより 6月号、5-7
- 4) Takahiro YOSHIDA ら (2012)、Fundamental study on production of “Hyper wood pellet”- (4) Characterization of torrefied products obtained using various methods of heat treatment、World Bioenergy 2012、39-42
- 5) 斎藤尚子、沢辺攻 (2005)、日本木材加工技術協会年次大会、23、67-68
- 6) 一般財団法人日本燃焼機器検査協会 (2013)、欧州標準化委員会における固体バイオ燃料規格の作成状況について、[http://www.jhia.or.jp/pdf/solid\\_biofuel1311.pdf](http://www.jhia.or.jp/pdf/solid_biofuel1311.pdf)

- 7) DBFZ ホームページ（英語版） <https://www.dbfz.de/web/en>
- 8) IEA Bioenergy Task40, Large Industrial Users of Energy Biomass, pp 30-32 (2013)  
<http://www.bioenergytrade.org/downloads/t40-large-industrial-biomass-users.pdf>
- 9) IEA Bioenergy Task33, Thermal Gasification of Biomass,  
[http://www.ieatask33.org/content/country\\_reports](http://www.ieatask33.org/content/country_reports)
- 10) Alexander Krautz, 日独バイオマスデー資料, 2013年11月5日, 東京
- 11) Thomas Kolb, Country reports – Germany, IEA Bioenergy Task33, Thermal Gasification of Biomass,  
[http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/country\\_reports/Germany.pdf](http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/country_reports/Germany.pdf)
- 12) Reinhard Rauch, Jitka Hrbek, Country reports – Austria, IEA Bioenergy Task33, Thermal Gasification of Biomass,  
[http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/country\\_reports/Austria2012.pdf](http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/country_reports/Austria2012.pdf)
- 13) Bram Van der Drift, Country reports – The Netherlands, IEA Bioenergy Task33, Thermal Gasification of Biomass,  
[http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/country\\_reports/NL\\_July2013.pdf](http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/country_reports/NL_July2013.pdf)
- 14) Antonio Molino, Country reports – Italy, IEA Bioenergy Task33, Thermal Gasification of Biomass,  
[http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/2012/2012\\_Vienna/Italy.pdf](http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/2012/2012_Vienna/Italy.pdf)
- 15) Roger Khalil, Country reports – Norway, IEA Bioenergy Task33, Thermal Gasification of Biomass,  
[http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/country\\_reports/Norway.pdf](http://www.ieatask33.org/app/webroot/files/file/country_reports/Norway.pdf)

## Ⅱ-3. オーストリアにおける木質バイオマスのエネルギー利用

### Ⅱ-3-1. オーストリアにおける木質バイオマスエネルギー利用の概況

#### (1) 木質バイオマスエネルギー利用の拡大過程

森林が豊富で、地形が比較的急峻なオーストリアは、比較的日本に似ているが、北海道と同程度の面積にも関わらず、日本とほぼ同じ量の丸太を生産し、生産した製材品の70%以上を輸出する林業・林産業先進国である。

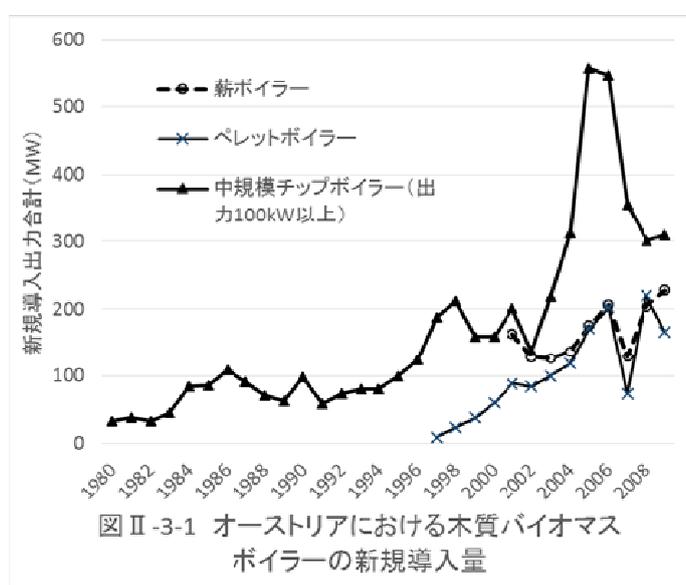
同国では、古くから薪利用が盛んであり、その需要は丸太換算で700万 $\text{m}^3$ 前後であったが、近代的な木質バイオマス利用が始まるのは、第2次石油危機以降である。当時、スウェーデン製の生チップを効率よく燃焼できるボイラーを導入し、官民あげて改良しながら普及させ、現在では、小中規模のチップボイラーでは欧州最大の生産国となっている。

同国の木質バイオマスボイラー導入量の推移を図Ⅱ-3-1に示した。1980年代初頭の熱出力100kW以上のチップボイラーの導入出力合計は30MW前後であったが、1980年代後半には100MW前後に増加した。この値は、日本の量産製材工場に導入されている「木屑炊きボイラー」の出力が5MW前後であることを考えると、実に年間20カ所分に相当する量である。

その後、石油価格の低迷によって導入量はやや減少したが、1990年代後半に石油価格が上昇すると導入規模は200MWへと倍増している。2003年以降には、FIT（固定価格買い取り）制度が始まり、木質バイオマス発電のための大型ボイラー導入が急増し、年間導入量が500MWを超えている。他方、ペレットボイラーの普及は1990年代終わり頃から始まり、最近、急激に導入量が増えている。同様に、旧来の薪ボイラーから最新鋭の薪ボイラーへの更新も近年高水準で進みつつある。

以上見てきたとおり、オーストリアにおけるこれまでの近代的な木質バイオマスのエネルギー利用は、チップボイラーの普及そのものであったともいえる。その拡大の要因としては、①生チップを効率よく燃焼させることができる機器の開発・普及、②旺盛な製材生産に伴うバークやのご屑等の残材の低コスト・安定供給、同時に製材用丸太の供給に付随した森林バイオマスの効率的な供給システム、③旺盛な中・低温熱需要と地域熱供給網によるその集約、の大きく3つをあげることができる。

②と①については、先述したとおり、初期の技術はスウェーデンで開発されたが、そうした機器の研究・改良につとめるとともに、一定の熱効率と排ガス性能を満たさないボイラーの販売を認めない制度を制定し、不良品を排除するとともに、機器の性能



向上を促進してきている。そうしたチップボイラーは、(a) 熱出力 20～300kW 未満の小型ボイラー、(b) 500～数 MW 程度の中型ボイラー、(c) 発電にも対応できる数～数十 MW の大型ボイラーの大きく 3 つに分けることができる。

小型チップボイラーは、図 II-3-2 に示した様に、燃料を炉床の下から投入する下込み方式が一般的である。図からも分かる通り、機構を簡素化することができるが、その代わりに水分が 50% 前後の森林からの直送チップを用いると燃焼不良を起こす。基本的に水分 35% 以下のチップを対象としていることに注意が必要である。また、燃料を搬送するフィーダーも、簡便なスクリーフィーダーを用いている。この方式は、粒径が大きいものや長尺チップを得意としておらず、一般的には 50 mm 以下のチップを対象としている（正確には、現地のチップ規格 G50 は、メッシュの穴の面積 50 mm<sup>2</sup> で生産したものである）。なお、O<sub>2</sub> センサーがついているため、90% 近い高効率燃焼が全自動コンピューター制御でなされている。

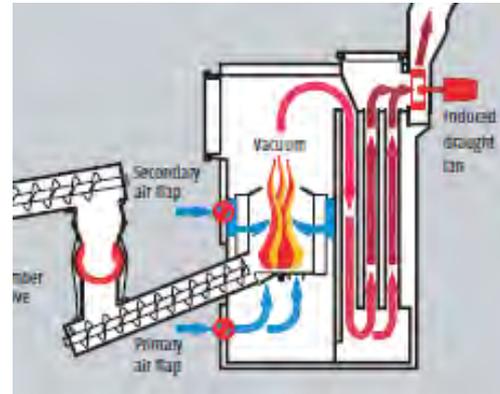


図 II-3-2 小型チップボイラーの一例

出典：ETA 社 ETA HACK brochure

(b) の中型チップボイラーは、図 II-3-3 に示したように、燃料チップは横投入となっており、左右に移動する火格子によって右方向へ送られていく。投入直後は、湿ったチップが乾燥されるゾーンとなっており、熱分解によってガス化が進むゾーンを経て、燃焼が進んだ灰が下に落ちていく機構となっている。こうしたガス化は多くのボイラーで起きており、そうした可燃性ガスを燃焼させる仕組みがないと、ガスはそのまま煙突に逃げてしまい、熱効率が落ちることになる。これに対し

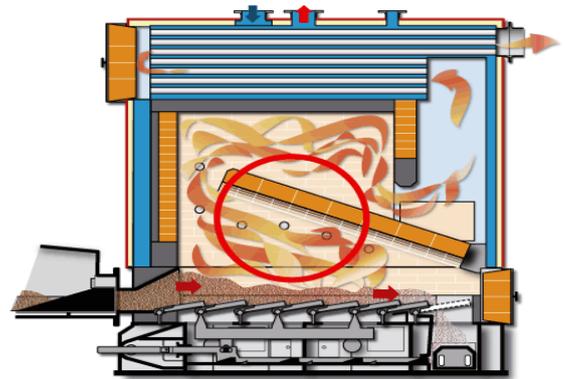


図 II-3-3 中型チップボイラーの一例

出典：Binder 社 BINDER Folder\_en

て、壁に仕切られた図の赤丸の上部では、新たに空気が吹き込まれることによって完全燃焼がはかれる二次燃焼室となっている。こうした機構により、水分 50% の生チップを 90% 以上の熱効率で燃焼させることができるのである（多少効率は落ちるが 55% でも燃焼可能）。規模の大きなプラントでは、チップサイロからボイラーに燃料を供給する搬送系において、前出のスクリーフィーダーではなく、床面に設置されたスクレーパーが前後に移動することで、燃料を送っており、ボイラー投入も図のようにプッシャーで押し込む方式であるため、粒径が大きくてもトラブルが少なく、15 cm 程度のチップで全自動運転が可能となっている。

大型チップボイラーは、基本的なシステムは中型と同様のものであるが、蒸気を発生させるタイプのボイラーは、特に発電を行う場合には、熱交換部が高温・高圧仕様

となっている。また、燃料の価格や入荷状況などに柔軟に対応できるように、チップサイロを2つ整備してミックスして使用していることが多いようである。

ここで改めて指摘しておく必要があるのが、燃料の種類(規格)に対応したボイラーを選定する必要があるということであり、裏を返すと、熱供給の事業規模によってある程度利用可能な燃料は決まってくるということである。

## (2) 木質バイオマスエネルギーの利用形態と燃料供給源

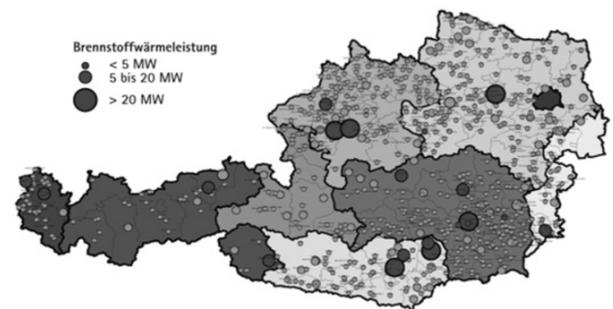
オーストリアでは、木質バイオマスによる地域熱供給(DH)プラントが広く展開している。2002年の時点で、図II-3-4に示したように、狭い国土にもかかわらず、大小あわせて1000カ所以上にのぼっている。図からも分かる通り、それは北欧のように町全体といった大規模なものばかりではなく、数軒程度を対象とする小規模なものも多いことが特徴である。この時点では、反対に発電を行っている施設は20件に届いていない。

その後も熱供給施設は増加を続け、2008年時点で1200カ所を超えている。これに加えて、2003年からFIT制度が始まったため、発電プラントが大きく増加し、90カ所前後となっている。これらの施設は、FITの認定要件が総合熱効率60%以上となっていることから、電力だけでなく熱も供給している熱電併給(CHP)プラントである。

これらの施設の他に、個別の住宅等で利用している薪ボイラー・ストーブ、あるいはペレットボイラー・ストーブが多数存在しているが、それらを含めた、木質バイオマスの用途別の利用の内訳を図II-3-5に示した。一番上の薪利用が最も多く700万m<sup>3</sup>を超えており、次にチップボイラーによる熱供給がほぼ同じ量となっている。3番目に最近増加した熱電併給(CHP)施設の利用が400万m<sup>3</sup>強で続いており、ペレット・ブリケットの利用量は200万m<sup>3</sup>程度にとどまっている。つまり、木質バイオマスは、燃料チップの形で主に熱供給(その一部はCHP)のために利用されているということが出来る。なお、エネルギー供給のために、丸太換算で実に2000万m<sup>3</sup>を超える木質バイオマスが利用されていることが注目される。

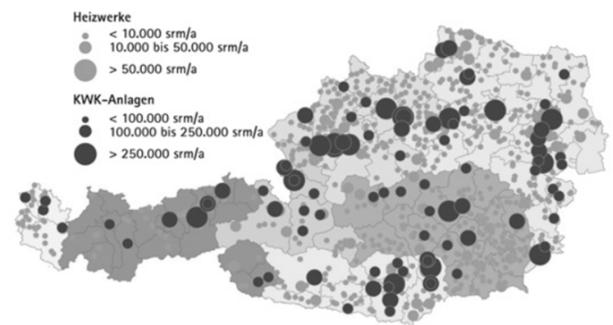
これらの木質バイオマスの供給源についてしてみると、森林からの燃材供給は690万m<sup>3</sup>、低質材を主とする林地残材は390万m<sup>3</sup>となっているのに対して、鋸屑・かん

Verteilung der Biomasse-Heiz- und Heizkraftwerke 2002



Quelle: Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Österreichische Energieagentur

Verteilung der Biomasse-Heiz- und Heizkraftwerke 2008



図II-3-4 オーストリアにおける木質バイオマスプラントの分布(黒丸: CHP、灰色: 熱のみ)

出典: エネルギー庁(2011)Facts and Figures 2012

屑は約 510 万 m<sup>3</sup>、バークが 220 万 m<sup>3</sup>となっており、製材工場等から 50% 弱のバイオマスが供給されている（オーストリアエネルギー庁、2013）。ちなみに、製材工場における皮付きの丸太消費量が 1960 万 m<sup>3</sup>となっており、入荷した丸太の 40% 近くがエネルギー利用にまわっている計算となる。ここで注意が必要なのは、日本の量産製材工場においても製材残材を熱源として製材乾燥を行っているが、ところによっては残材が足りずに他所から購入しているの

対して、オーストリアの製材工場では、製材乾燥用の熱源はバークの一部で足りており、多くの残材が余剰熱源となっているということである。これは、ボイラーの効率の違いもさることながら、基本的に芯去りの板や角類を製材・乾燥しているため乾燥温度が低く（80℃程度の中温）、乾燥時間も短い（3～7 日）ため必要な熱量が少ないためである。結果として、後で詳しく説明するが、余った残材を用いて、地域熱供給に熱を販売したり、のこ屑・プレナー屑はペレットを生産する、あるいはボード生産向けに販売したりして利益を増やしている。

以上見てきたとおり、同国では FIT 制度を開始する以前に、すでに従来の薪に加えて燃料用チップのサプライチェーンが構築されていた。その結果、2003 年の FIT 開始以降の燃料チップ需要の急増にも柔軟に対処できたものと考えられる。しかしながら、それまで丸太換算で 1250 万 m<sup>3</sup>前後であったバイオマス需要が 2000 万 m<sup>3</sup>へとわずか 5 年間で 1.6 倍に増加したため、図 II-3-6 にあるように、燃材価格指数もほぼ 1.6 倍に上昇している。この結果では、供給量の増加割合と価格の上昇割合がほぼ等しくなっており、同国における木質バイオマス供給が非常に弾力的であることを示している。日本の丸太供給は、藤掛（2013）によれば、林業の盛んな宮崎県においてさえも価格弾力性に乏しいことから、今後の木質バイオマス発電プラントの建設ラッシュによる燃料チップの価格上昇は容易に想定されることに注意が必要である。

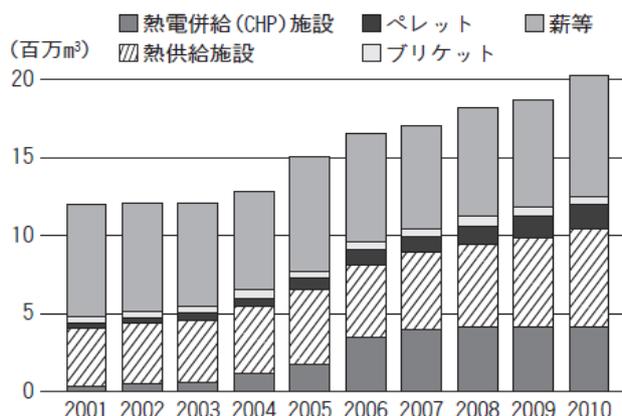


図 II-3-5 オーストリアの木質バイオマス利用量

出典：BMLFUW(2013)Facts and Figures 2012

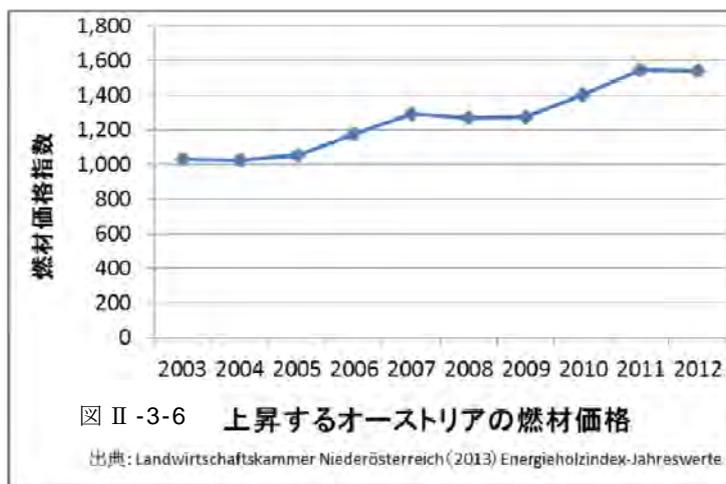


図 II-3-6 上昇するオーストリアの燃材価格

出典：Landwirtschaftskammer Niederösterreich (2013) Energieholzindex-Jahreswerte

## II-3-2. 規模別のエネルギー事業の実態

### (1) 調査の概要

本調査では、5社のオーストリアのエネルギー事業体を訪れた。そのうち、1社は小規模熱利用事業体、2社は中規模熱供給事業体、1社は中規模熱電併給事業体、1社は大規模熱供給事業体であり、木質バイオマス発電のみを行う事業体は無かった。

すべての事業体において、熱利用を行っており、木質バイオマス利用のノウハウを習得してからエネルギー供給を行うという基本に忠実に事業が計画されていた。また、将来の追加的な需要に対応できるように、プラントを大きめに建造し、追加のボイラーや発電設備を置くためのスペースを確保している事例が複数見られた。減価償却や費用計算、安定供給性の検討が綿密に行われた上で設立されている。一方、事業体ごとのチップ価格や売熱、売電価格には差が見られる（表II-3-1）。これは、その地域の林業状況によってチップの規格が異なっていることや、エネルギー事業体までの運搬距離の違いによって生じていると考えられる。

ボイラー、サイロの特性に合わせて、原料の種類やサイズを決めており、小規模事業体は、ボイラーの効率を保ち、ボイラーやサイロ設備でのトラブル（クリンカやブリッジの発生等）を防ぐため、乾燥した高品質のチップを利用していた。一方、大型ボイラーでは、湿った材料でも効率よく燃焼でき、サイロ設備も大きく燃料供給時にトラブルが起こりにくいため、枝葉などから作られた森林チップやバークが利用されていた。

表II-3-1 木質チップ利用に関わる単価一覧

事業体と規模	種類	単価
Stadt-energie Heizwerk Murau (Murau 市) 6MW <sub>th</sub> , 1MW <sub>el</sub> (予定)	林道端丸太価格	35 ユーロ/m <sup>3</sup>
	丸太運送費用	2 ユーロ/m <sup>3</sup>
	チップ加工費用	2~3 ユーロ/m <sup>3</sup>
	丸太チップ買取価格	約 40 ユーロ/m <sup>3</sup>
	売熱価格 (家庭向け)	7 ユーロセント/kWh
	売熱価格 (企業向け)	5 ユーロセント/kWh
	売電価格 (予定)	16.5 ユーロセント/kWh
EDLER Nature holz 社 (Köflach 市) 10MW <sub>th</sub> , 2MW <sub>el</sub>	森林チップ買取価格	16~20 ユーロ/層積 m <sup>3</sup>
	売熱価格	5 ユーロセント/kWh
	売電価格	14 ユーロセント/kWh
Bio energie Köflach GmbH (Zeltweg 市) 20MW <sub>th</sub>	森林チップ買取価格	13~14 ユーロ/層積 m <sup>3</sup>
	製材残材チップ買取価格	19 ユーロ/層積 m <sup>3</sup>
	売熱価格	7.5~8 ユーロセント/kWh

※「層積 m<sup>3</sup>」は、チップで測った体積のことであり、丸太 1m<sup>3</sup>≒2.5 層積 m<sup>3</sup>

## (2) 小規模熱利用の事例

### (ア) ホテルにおけるオンサイト利用 (Leoben 市)

Leoben 市にあるホテル施設では、325kW のボイラーによって温水を生産し、給湯・暖房に利用しており、年間 1,200 層積 m<sup>3</sup> のバイオマスを使用している。以前は 7 万 L の灯油を使っていたが、Biomassehof Leoben から車で 1 分の所にあることから、燃料の確保は容易であることから、18 万ユーロの費用でボイラー施設と配管を建設した。ボイラーは必要でなくなった時に他でも使えるよう、移動式にしている。サイロは 100

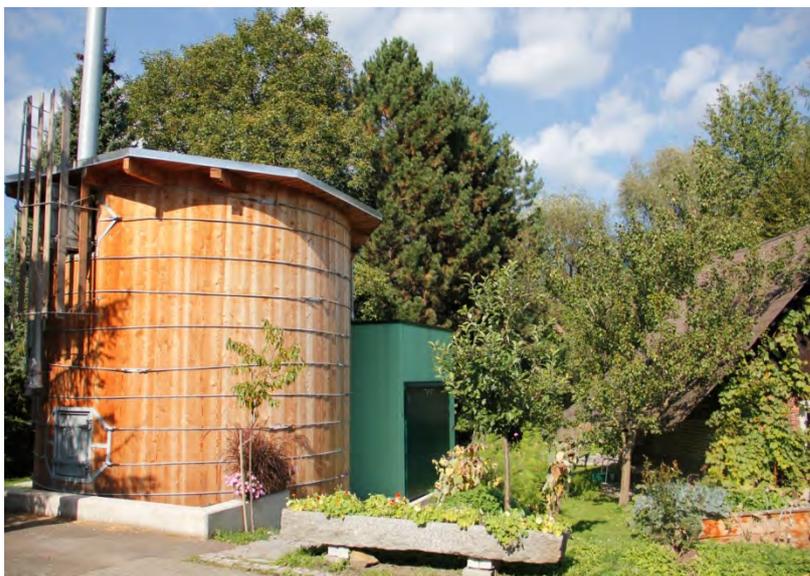


図 II-3-7 ホテルのチップサイロとボイラー建屋

層積 m<sup>3</sup> の大きさで、通気性を確保するための窓がついており (図 II-3-7)、チップは水分 25% のものを利用している。運搬には送風してチップを投入することのできる容積 25m<sup>3</sup> のチップローリーを利用している。チップの投入頻度は、夏期：2~3 週間ごとに 1 回、冬期：毎週 2 回である。

### (イ) 小規模地域熱供給 (DH) 事業

ここでは、セント・マルティン村の熱供給組合の事例について報告する (Robert Glettler, 2013)。同村は、シュタイアーマルク州の州都グラーツの郊外に位置している。ここで取り上げる熱供給組合は、次節で取り上げているコンサル会社、Regionalenergie Steiermark 社が立ち上げから関与し、契約・管理をサポートしている。

この組合は、2006 年に 5 軒の森林所有者が立ち上げ、KWB 社製の小型チップボイラー (図 II-3-8：出力 150kW) を用いて、図 II-3-9 の赤丸で囲まれた小学校と集合住宅 (5 軒)、戸建て住宅 4 軒に温水供給を行っている。

小型ボイラーは半乾燥チップ対応であるため、燃料用丸太は、土場や庭先で 1 年以上乾燥させている。その後、業者を呼んでチップ加工と同時にコンテナに投入してもらい、森林所有者が適宜、農業用のトラクタを用いて供給している (図 II-3-10)。ここでは、組合員である森林所有者が、毎年交代で管理・



図 II-3-8 小規模地域熱供給事業で用いられている小型チップボイラー (150kW)

燃料供給を担当し、図のように建物脇に設置された地下埋め込み形のチップサイロに、燃料供給を行っている。

当該熱供給組合の経営内容を表Ⅱ-3-2に示す。初期投資額は1383万円(1ユーロ≒130円)であり、5人集まれば無理のない規模となっている。ボイラーのコストは423万円と高級車一台分程度であり、210mの配管敷設コストも329万円、1.6万円/mと安くなっている。

もう一つ特筆されるのは、総投資額の34%が補助されるだけでなく、DH網に接続を希望する建物から、その最大負荷に応じて接続費が徴収されるという仕組みである。ここでは、最大負荷合計は150kWなので、kWあたり180ユーロを徴収すると351万円となり、補助金470万円とあわせて実に2/3近い821万円を控除でき、実質の初期投資額は562万円と負担が大きく軽減されている。

次に、固定資産税を日本と同じ1.4%とし、メンテナンスコストを総投資額の2%/年、燃料チップ価格を80ユーロ/t・35%(16000円/t-dry)として経済性評価を行った。この事例では、年間の熱供給量が200MWhとそれほど大きくないため、表にあるように、収入は207万円と大きくないが、費用合計が151万円なので、約10年で投資が回収でき、25年間で考えると内部収益率は9%と推計できる。

このような高い投資効率が事業化の原動力となっていることは間違いないが、大前



図Ⅱ-3-9 小規模地域熱供給事業の事業範囲



図Ⅱ-3-10 地下サイロへの燃料投入

表Ⅱ-3-2 セント・マルティン村の熱供給組合経営内容

	ユーロ	万円	備考
<b>総投資額</b>	106,400	1,383	
ボイラー	32,500	423	150 kW
建屋等	25,600	333	
配管・電設等	19,500	254	
パイプ敷設	25,300	329	210 m
<b>年間費用合計</b>	11,618	151	
固定資産税	1,490	19	投資額の1.4%
メンテナンス	2,128	28	2%
燃料費	8,000	104	100 t・35%/年
<b>年間収入合計</b>	15,948	207	
基本料金	3,105	40	20.7 €/kW・年
従量料金	11,960	155	59.8 €/MWh
メーター代	883	11	9.2 €/月

出典: Regionalenergie Steiermark, "Holzenergie-Contracting St. Martin am Wöllmißberg"

提として、DH 加入者のメリットをあげておこなうてはなるまい。加入者は、使用した熱あたり 7.8 円/kWh を事業組合に支払っているが、ガスでこれをまかなった場合には、10 円/kWh となり、灯油だとさらに高いため、安価なエネルギー源となっているのである。

ちなみに、前出のコンサル会社によれば、送熱パイプあたりの熱需要は 900kWh/m・年以上あることが望ましいということである。この事例でも、確かに 952kWh/m・年となっている。ただし、ボイラー出力がピーク負荷とほとんど同じであるため、その設備利用率はわずかに 15%となっている。これについては、図からもわかるように、加入者の増加による熱負荷の増加をあらかじめ想定している可能性も考えられる。周辺の住居が新たに加入すれば、送熱パイプのわずかな延長によって熱需要を拡大でき、さらに経済性は高まることになるだろう（その際、貯湯槽の増設が必要になるであろう）。

### （3）中規模熱利用の事例 1：Rubner Holz Industrie 社（Weiz 市）

北イタリアに本社がある製材工場で、径級 13~50cm までの 4m 材を利用している。現在、年間 25 万 m<sup>3</sup> の原木消費量である。乾燥機（図 II-3-11）では、10%以下まで含水率を落としており、そのために 5MW の熱プラントを設置している。燃料は主に製材残材である樹皮を利用している。近隣の村に熱を販売するために 1.5MW の熱プラントも所有しており、背板などの製材残材をチップ加工したものを燃料としている。樹皮の水分は夏は 40%と低い、冬は 60%と高くなるため、製材残材チップを混ぜて利用している。また、冬の間は 5MW のうち 0.5MW を工場内の暖房に利用している。容量 180m<sup>3</sup> の乾燥機を 10 台所有しており、1990 年に 4 台、2001 年に 4 台、2008 年に 2 台を導入した。



図 II-3-11 Rubner Holz Industrie 社

粗挽き製品歩留まりは 64%であり、残りの 34%がチップ、おがくずになる。1990 年の製材量は年間 13 万 m<sup>3</sup>であった。原料丸太は林道端で 96~100 ユーロ/m<sup>3</sup>で通常 80km 圏内から買い付けし、製材品としては 140~250 ユーロ/m<sup>3</sup>で販売する。原料が足りない場合はウクライナ、ルーマニア、スロバキア、まれにハンガリーからも買い付けをする。チップは製紙会社に 130 ユーロ/t-dry、おがくずはファイバーボード会社に 12 ユーロ/層積 m<sup>3</sup>で販売している。原材料、製品ともに他社との競争は昔からあり、常に原料と市場のとりあいが起こっている。

原材料はほぼトウヒである。北イタリアの本社に供給していたが、現在はオースト

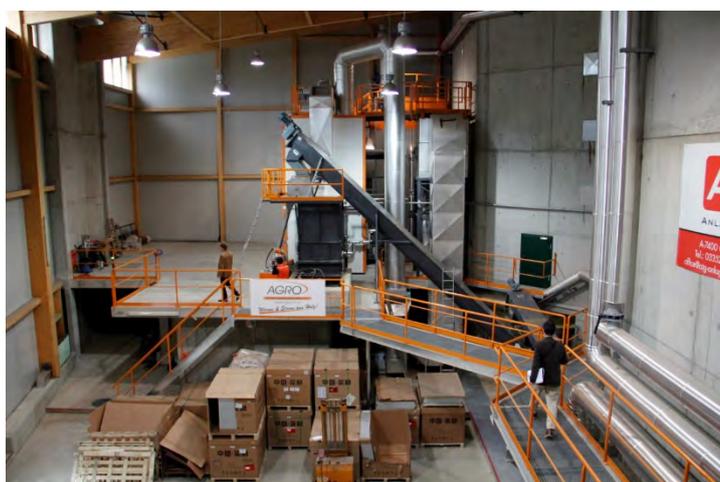
リア国内、ドイツ、ポーランド、アジア方面への供給が主である。2007年に200万ユーロで製材設備を一新した。生産量は一日あたり800~2,000m<sup>3</sup>あり、工場には10日分のストックがある。月曜日から金曜日まで、6時から14時と、14時から22時までの2シフト制である。

#### (4) 中規模熱利用の事例2：Stadt-energie Heizwerk Murau (Murau市)

2011年に稼働を開始し、現在は6MWの木質バイオマスボイラーが1機ある。Murau市が利用する熱と電気エネルギーをすべて自給自足するという目標に向けて、今後木質バイオマスガス化発電施設(500kWを2基)を導入する予定であり、敷地は設備の増設を見越した広さになっている(図II-3-12)。

2,000層積m<sup>3</sup>のサイロ(図II-3-13)が2基あり、高さは15メートルである。ボイラーとサイロを接近させ、サイロの壁をコンクリートで作成し、ボイラーの余熱を伝えやすくすることで、サイロ内の乾燥にボイラーの熱を利用できるようになっている。また、冬期はチップの水分が高くなるため、凍結しないように半地下式のサイロにしている。基底部にスクリー式のチップフィーダがついており(図II-3-14)、これがチップの重さで折れないようにすることが、計画時に最も苦労した部分ということであった。プラントはコンピュータで全自動管理されており、無人であるが、担当者は毎日パソコン上でサイロの状況をチェックしている。100m<sup>3</sup>の貯湯槽がある。各家庭用の設備設置も含めてかかった経費は700万ユーロである。そのうち、20~25%は国からの環境補助金でまかなわれている。各家庭の接続費(初期費用)は3,000~10,000ユーロで、広さに応じて変わる。熱路網は総長11kmにおよび、配管からの熱の損失は7%である。

利用者は一般家庭のほか、400m先の山の上の病院(4MWの需要)と2.4km先のビール工場があり、この2つがあるおかげで夏の間も熱



図II-3-12 Stadt-energie Heizwerk Murauのプラント内部(増設を見越して手前側に余裕を持たせてある)



図II-3-13 Stadt-energie Heizwerk Murauのサイロ

を販売することができ、経済的である。山を上らなければならないため病院には 45 気圧の圧をかけて温水を送り出しており、2 回熱交換器を通す特別な給水ラインを設けている。今後、25 年前に作られた別のプラントを更新する代わりに、6MW のボイラーを導入予定である。

燃料チップは、サイロ前か工場近くの土場でチップ加工して供給している。このようにチップ加工されたものが総使用量の 80% (丸太換算で 15,000m<sup>3</sup>/年)、チップで購入したものが 20% (丸太換算で 3,750m<sup>3</sup>/年) である。丸太は 1 年前に地元の農家林家より購入し、サイロ前や土場にストックして水分を 30%以下まで落としている。チップ加工、運搬は専門の会社に委託している。購入したチップの半分は枝葉からつくられた森林バイオマスであり、地域材を利用することを優先している。チップ加工専門の業者が地域で操業開始したため、これからはチップの購入が増えると予想している。量は多くないが建築廃材や廃パレットも一部利用しており、金属探知機付きのチップパーでチップ加工を行っている。建築廃材は処理にお金がかかるため、ただで引き取ってくれるこのプラントに持ち込まれる。6m<sup>3</sup>の乾灰コンテナがあり、約 1 ヶ月で満タンになる。この処理費用は一回あたり 700 ユーロである。6m<sup>3</sup>の湿灰コンテナもあり、3 週間で満タンになるが、こちらは森林に還元したり農場の堆肥として利用している。



図 II -3-14 Stadt-energie Heizwerk  
Murau のチップフィーダ

（5）中規模熱利用の事例 3：有限会社 Bioenergie Köflach（Köflach 市）

4 人家族の EDLER 一家が経営している。1990 年に製材会社 EDLER Nature holz を立ち上げ、その後 1995 年に近隣に熱を供給するために小型のプラントを作ったのがエネルギービジネスのはじまりである。

現在は、製材よりもエネルギービジネスの方が利益は多く、訪問したときも製材機は稼働していなかった。その他、素材生産会社、設計・不動産会社、農林業会社を保有しており、同系列の不動産会社が運営するショッピングモールにエネルギーを供給する等、企業間のつながりもある。



図 II -3-15 Bioenergie Köflach 社

Bioenergie 社 (図 II -3-15) ではプラン

トの計画をし、それを管理するビジネスを兄弟会社とともにやっている。14カ所のプラントを経営しており、昔から森林を所有し、原料が手に入りやすい修道院のそばに建設することが多いということだった。問題が発生すると携帯電話で利用者から直接報告され、24時間いつでも対応し、プラントの修理を行うが、夜間の対応は苦勞が多いという事である。

製材工場の敷地にあるプラントは熱電併給（Combined Heat and Power, CHP）であり、熱出力 10MW のボイラー（図 II -3-16）と 2MW の発電機を備えている。500 万ユーロの設備投資を行って、3000 世帯と会社、病院、温泉に温水を供給している。サイロには油圧式のフィーダがついており、燃料チップ（図 II -3-17）はスクリーンで燃焼炉に送られる。電気と熱は州のエネルギー公社に販売しており、一部の熱は同社の熱供給路網を使って販売している。売電価格は 140 ユーロ/MWh、売熱価格は 50 ユーロ/MWh である。年間の本質チップ消費量は 100,000~120,000 層積 m<sup>3</sup> であり、そのうち 80%が枝葉入り生チップ、20%は樹皮やかんなくずなど製材残材である。水分が 50~70%と高い生チップの運搬には 2 連結のフルトレーラを使用し、1 回につき 160~170 層積 m<sup>3</sup> のチップを搬入する。

製材会社は年間 15,000m<sup>3</sup> の丸太を加工しており、丸太は 40~50km 圏内の農家から買い付けている。自社トラックを用いて輸送しており、輸送費は 7~10 ユーロ/m<sup>3</sup> である。自社土場着での丸太価格は 60~98 ユーロ/m<sup>3</sup> である。



図 II -3-16 Bioenergie Köflach 社の 10MW ボイラー



図 II -3-17 Bioenergie Köflach 社で利用されるチップ

#### （6）大規模熱利用の事例 1：有限会社 Bioenergie Wärmeservice（Zeltweg 市）

Köflach 市で見学した熱供給プラントと同系列の会社である。2008 年に設立され、8MW のボイラーを導入し、当初は軍用空港に熱を供給していた。翌年の 2009 年には、近隣の鉄鋼会社と鉱山用機械製造会社からの要望に答えるとともに、150 万ユーロの設備投資を行って 12MW のボイラーを追加導入し、Zeltweg 市の供給網に接続した（図 II -3-18）。Zeltweg 市を含めて年間 40GWh を供給していたが、工場やアパート、公共施設など安定した需要が期待できる中規模から大規模の施設を主な事業対象としている。2011 年には、14km 離れた製紙会社を自社の熱供給網に接続させるために送熱パイプを設置し、年間 100GWh の廃熱を購入することによって、これまでガスを使用し

ていた Fohnsdorf 市と Judenburg 市の熱供給網を取り込むことに成功した。パルプ工場の排熱は、自社のボイラーを利用するよりも安上がりなため、基本的にその熱を利用して熱供給を行っており、需要のピークシーズンである冬期 3 ヶ月のみ自社所有のボイラーを補助的に稼働している。利用する原料は樹皮、チップ、枝葉など年間 6 万層積  $m^3$  である（図 II-3-19）。木質バイオマス事業というよりは、熱供給業者としての性格を強めている。なお、2014 年の供給量は 150GWh に増えるとのことであった。

75~80 ユーロ/MWh (20%税込み) で熱を販売しており、ガスより 5%安いということである。また、価格を 30%上げてでも灯油とは競争できる単価ということである。

原材料は 30km~50km 圏内から集めており、水分 50%の森林バイオマス（枝葉チップ）は運送費込みで 14 ユーロ/層積  $m^3$ 、樹皮は夏期水分 45%、冬期水分 55%としてそれぞれ 13 ユーロ/層積  $m^3$ 、製材会社からの製材残材チップは水分 40~50%で 19 ユーロ/層積  $m^3$ の買い取り価格である。5cm よりも大きなチップが望ましく、シーズン前に 15,000 層積  $m^3$ のチップをストックしておき、シーズン中はセミトレーラで一日 4 台の搬入が必要である。サイロは油圧プッシャー式の床置き型フィーダである。貯湯タンクは 250L のものが 4 基ある。

熱交換器の値段は、4 世帯級のもの（図 II-3-20）で 2,000 ユーロ、10 世帯級のもので 3,000~4,000 ユーロである。熱交換器は、インターネットにつながっており、各需要先の様子が随時わかるようになっている。配管は、オーストリアとドイツの共同出資会社である ISOplus 社とデンマークの Logstors 社のものを利用しており、設置コストはメートルあたり 250~400 ユーロである。なお、配管には水漏れ検知用の銅線が埋め込まれており、水漏れ箇所の検知も容易である。

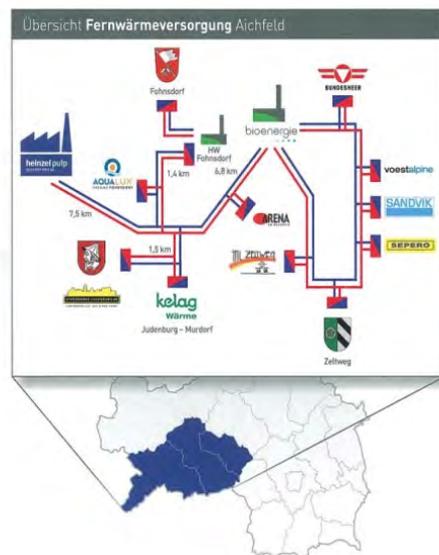


図 II-3-18 Bioenergie 社の熱供給網



図 II-3-19 同社の利用するチップの例



図 II-3-20 小型熱交換器

### II-3-3. 木質バイオマス供給の実態

本項目では、木質バイオマスサプライチェーンとコンサルティング・マネジメントについて報告する。オーストリアにおける森林施業は、100年以上の輪伐期で循環的に行われており、最近は天然更新が主体となりつつある。皆伐も一般的に行われているが、原則として2ha未満に制限されており、主に届け出の不要な0.5ha程度の小面積皆伐が行われている。木質バイオマスは、我が国と同様に少量分散して発生しているが、林地残材は燃料用チップとして活発に利用されている。

更新は、いまだに苗木の植栽も広く行われているが、コスト削減や、生物多様性の問題等から、小面積皆伐によって下層植生の繁茂をおさえつつ天然更新を行うのが一般的になりつつある。

現地では、発注者が林業に詳しいため、路網状態や土地条件に合わせた集材方法が選択されていることがわかる。農林業複合経営が一般的であることや、間伐と小面積皆伐が主体であることから、農業用トラクタを利用したタワーヤード集材やウィンチ集材が多く行われている。所有面積が大きいために自力では手が回らない、あるいは機械を所有していない場合には、ハーベスタによる伐倒造材、フォワーダあるいはタワーヤードによる集材も行われている。また、安定供給を目指しながら、林業収益を地元還元できるように、地元における林業労働力を確保し、優先的に仕事をまわすようにしていた。

#### (1) コンサルタント事業者

バイオマス利用を考えるにあたっては、需用者や森林所有者、チップ加工業者等の各利害関係者とは独立した企画・運営が必須である。そこで今回、民間のコンサルティング会社 Holzenergie Contracting 社と素材流通マネジメントを行うシュタイヤーマルク州の林業協同組合 Waldverband Steiermark を訪れ、聞き取り調査を行った。

##### (ア) Holzenergie Contracting 社

Holzenergie Contracting 社は民間のコンサルティング会社であり、職員は2人である。農家・林家が独自に行っていた木質エネルギー生産を、より効率的かつ戦略的に行うためのコンサルティング業務を行う会社として設立された。収入の70%はEU、国（オーストリア）、シュタイヤーマルク州からの補助に頼っており、30%が手数料と会費からまかなわれている。

主な業務活動は、公的建築物、アパートメント、個人住宅への木質チップを原料とした暖房システム導入の企画・運営である。農家と熱利用者の間に入って両者をつないでおり、補助金申請、事業の企画・運営が主な業務である。プラント等の設計や施工は、設計会社や建設会社などに発注し、彼らの業務を管理している。また、400kW以上の出力のプラントを作る場合、設計事務所のほかに監査事務所に審査を依頼し、適正なプラントが作られるよう監視することが義務づけられている。毎年補助金を出してい

る機関（大型のプラントは政府の環境銀行という Wien にある機関、小型プラントはそれぞれの州の機関）に収支を報告する義務があり、収支報告を行っている。会員は 1000 を超えており、ボイラー会社や配管業者、熱供給事業者が殆どである。

過去 15 年間でシュタイヤーマルク州の 259 カ所に地域暖房システムを導入し、チップにして年間 88,000m<sup>3</sup> の需要を生み出した。設備容量の合計は、30MW に達しており、年間で 600 万 L の灯油の節減につながった。訪問当時（2013/10/2）は、15 箇所の建設計画を進めているところであった。

シュタイヤーマルク州の北部は天然ガスを暖房に利用していた経緯があり、まだガスが木質バイオマスよりも安いと、価格の面で競争がしづらく、木質バイオマスの地域暖房システムは南部より普及していない。一方、灯油価格は過去に比べて 100% 上昇しているのに対して、チップ価格は 40% の増加率であるため、灯油と比較すると木質チップには競争力がある。シュタイヤーマルク州の南部は灯油を利用していたため、価格面で木質バイオマスが有利であり、木質バイオマスの利用拡大はシュタイヤーマルク州の南方がやりやすいとのことであった。最近の傾向は、熱効率を高める方向にあり、配管を短くし、より熱効率のよい技術を求める風潮が強い。

熱供給契約は 15 年の長期契約であり、解約をしない限り 2 年の自動更新となる。プラントの管理はチップを供給する農家が受け持つため、チップの水分が高いことによって引き起こされるトラブルは、自らが責任を負うこととなる。よって、水分が低く、品質の良いチップを供給する動機となっている。チップの品質は、CEN/TS14961:M30P16（水分 30% 以下、16 mm 以下）基準を満たすものでなければならない。チップ生産は農家が共同して行う場合や単独で行う場合等様々である。

納めたチップに対する報酬は、チップの納入方法によって異なっており、使われた熱量に応じて農家が報酬をもらう場合と、プラントにおさめたチップ熱量に応じて農家が報酬をもらう場合がある。売熱価格は前年度の原料（丸太等）の値段を基準にし、提案価格を決めて統計庁の係数で補正する。基本的には灯油よりも安く、天然ガスよりも高く提案価格を決める。

プラント運営に際して燃料費は経費の 70% を占めるため、安定供給のために市場価格に左右されない原料供給が肝要である。チップの価格が上がれば売熱価格もあげて、赤字が出ないように運営している。

#### （イ）シュタイヤーマルク州林業協同組合 Waldverband Steiermark

林業協同組合（Waldverband）の主な会員は、州内の小規模森林所有者である。シュタイヤーマルク州にいる 40,000 人の森林所有者のうち、12,800 人が会員となっており、管理する面積は 302,000ha に及ぶ。Graz 市内にオフィスを置き（図 II-3-21）、有限会社の形式をとり施業提案、素材流通管理、情報開示の役割を担い、会員（川上）から需要先（川下）までの流れの透明化をはかっている。他の協会（バイオマス協会、クリスマスツリー協会など）にも属しており、多面的に森林を管理・利用する体制をとっている。シュタイヤーマルク州の 200ha 未満の小中規模森林所有者の年間素材生

産量 490 万 m<sup>3</sup>のうち、林業協同組合を通じた販売は 100 万 m<sup>3</sup>である。この量は安定傾向にあり、今後は取り扱い量を増加させるというよりは、森林管理の受託や立木販売の請負などのサービス向上を目指している。

会員(Mitglied)、森林ヘルパー(Waldhelfer)、地域林業協同組合(Regionaler Waldverband)、シュタイヤーマルク州林業協同組合(Waldverband Steiermark)が連携して森林を管理する体制を取っている。州林業協同組合の会員になるには地域林業協同組合(Regionaler Waldverband)に所属する必要がある。会費は地域によって異なっているが、10~30 ユーロであり、そのうち 9 ユーロが州林業協同組合に入る。

第一の業務として施業提案がある。農家に施業から流通までの計画を提案し、森林ヘルパーのサポートのもとで施業を行うシステムである。

第二の業務として共同販売事業がある。60 余りの林産企業と契約して会員に販売先を提供すると同時に、物流の最適化につとめて配送計画を立てている。また、企業の材積測定に立ち会い、会員の利益が不当に失われることを回避する等、事業の信頼性確保を行っている。契約企業が倒産した場合には、販売代金が確保させるように保険契約を結んでいる。毎年一月に銘木市を開く、Biomasshof を立ち上げるなど、市場の開拓にもつとめている。

共同販売事業で扱われている素材の多くは、自伐した材であるが、これとは別に、Stockkauf という立木販売の請負システムがある。Stockkauf は丸太を販売したお金から、伐木経費を林業協同組合が差し引いて、残りの利益を会員に返すというものである。

第三の業務は情報開示である。マイヤーマルンホフ社の Logistics platform を基盤にし、100 万ユーロ以上の金額をかけて開発した Information platform システムを用いて、インターネット上に会員用のウェブサイトを開いている。会員は伝票を即座に(通常 2 週間のところ 2 日~1 週間) 見ることができ、エクセルファイルや PDF ファイルでの出力も可能である。また、会員情報の更新や伐採予定の報告などもでき、林業協同組合と会員との間の情報管理が容易かつ迅速になった。需要と供給のマッチングが簡単かつ正確になり、マネジメント業務の簡易化につながっている。

#### (ウ) 地区 WV (Leoben 市)

本調査ではシュタイヤーマルク州林業協同組合(Waldverband) の下の地域林業協同組合(Regionaler Waldverband)として、Leoben 市共同体をおとずれた。所有者 150 人から構成されている 7,000ha を管理するシュタイヤーマルク州林業協同組合



図 II-3-21 Waldverband Steiermark 事務所前

(Waldverband Steiermark) の下の地域林業協同組合(Regionaler Waldverband)である、Leoben 市共同体の施業地であった。うち 6,500ha が生産林で、350ha が林道、150ha が土場である。700 年前に設立された隣町の鉄鋼業を支えるための木材供給をしていた共同体が基盤となった Leoben 市共同体では、現在 3 人の森林官と 2 人の森林マイスターによって森林が管理されている。80%がトウヒ、15%がカラマツ、5%が広葉樹で構成されており、年間成長量は 10 万 m<sup>3</sup> である。そのうち、伐採量は年間 5~6 万 m<sup>3</sup> であり、そのうちハーベスタ集材が 1/3、架線集材(おおむねタワーヤーダ)が 2/3 である。施業方針としては、80 年か 100 年の回帰年を決め、1,600 本/ha の植林をし、樹高 2~5m になると(樹齢約 10 年) 1,100 本/ha まで除伐する。その後、樹齢 30~40 年で 700~800 本/ha、樹齢 60 年で 400~500 本/ha にする間伐を 2 回行い、回帰年で皆伐するというものであった。

## (2) 素材生産現場

本調査では 2 カ所のタワーヤーダ集材現場、1 カ所のハーベスタ集材現場、2 カ所のウィンチ集材現場を訪れた。いずれも州や市の林業協同組合が管轄している現場であった。

### (A) Klieglach 村 タワーヤーダ集材

家族で農業と林業を営んでいる素材生産業者が、民有林の請負伐採を行っていた。約 30m ごとに一本の間伐列を作り、トラクタ牽引式タワーヤーダを用いた地引上荷による全木集材を行っていた。145ha 中 120ha がドイツトウヒ、ヨーロッパアカマツ、カラマツ森林の区域で、現地は 3ha の材積間伐率 30%の列状間伐地であった。約 60 年生の森林であり、雪害木を中心に品質の悪い木を選木していた。年間生長量は 5mm/本/year である。請負単価は、1m<sup>3</sup>あたり 20~45 ユーロということであった。

Fendt FAMRER 308  
トラクタ(82 馬力)と  
Koller 社タワーヤーダ  
K300(図 II-3-22)を  
使用しており、トラクタ、  
タワーヤーダともに  
2001 年に中古で買った  
もので、タワーヤーダは  
80 年に製造されたもの  
である。プロセッサの効  
率がタワーヤーダを上  
回っているため、バラ  
ンスを取るためにまず  
集材を行ってから造材



図 II-3-22 Klieglach 村  
タワーヤーダ集材



図 II-3-23 同集材土場 造材は集材が完了した後に行うため、全木で並べられている

に移るシステムを採用していた（図Ⅱ-3-23）。タワーヤーダは、トラクタから PTO で動力を取り、1.5t の牽引力を有している。架線は 150m 程度張ることが多く、2 時間の架設時間がかかる。中間支持器は 1 つにつき 1 時間半の架設時間がかかる上、1 つ 30kg の重さで重労働のため、できるだけ架設を避けるように索張りをしている。

家族でチップ加工会社も経営しており、素材生産と連携してチップ材も収集しているということだった。伐採と荷かけを担当する作業者と、グラップル操作と荷はずしを担当する作業者の 2 人体制で、夏は 9 時間、冬は 7 時間半から 8 時間の作業を行う。機械のメンテナンスは 1 年に 1 回、解体作業を伴う徹底的なメンテナンスと、300 時間に 1 回の油交換メンテナンスがある。

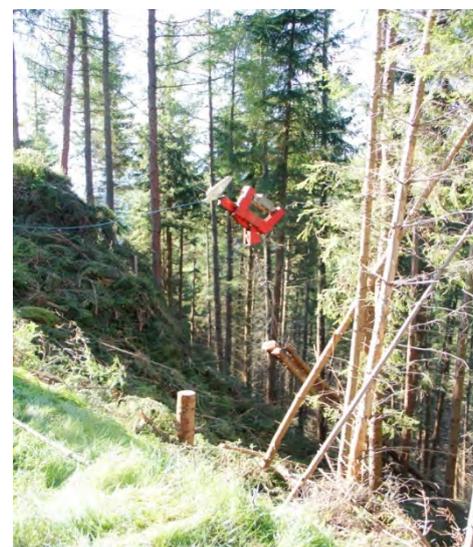
### （B）Leoben 市共同体 タワーヤーダ間伐施業地

Leoben 市共同体有林の間伐現場は、間伐遅れの 40 年生カラマツ・トウヒの混交林であった。100 年の輪伐期としているが、除伐が行われておらず、低品質の木が多く、パルプ材と燃料用材が主な生産品目であった。このエリアには視察現場を含めて、間伐遅れの部分が 30~40ha あるということだった。また、視察現場の土壌は貧弱であり、枝葉を土壌の栄養にするため、バイオマス利用を行わないということだった。20m 間隔で間伐を行っており、次の間伐は 20 年後を予定している。120 馬力の Steyr 社トラクタ 8140 と Koller 社 K300（図Ⅱ-3-24、Ⅱ-3-25）、KESLA 社 20SH ハーベスタ（図Ⅱ-3-26）を利用し、伐採、荷かけ、タワーヤーダおよびハーベスタ操作各 1 名の合計 3 名で作業をしていた。損傷木をつくらないように気をつけて施業を行っている。生産性は 1 日 15~20m<sup>3</sup> で、作業コストは 40 ユーロ/m<sup>3</sup> である。タワーヤーダとハーベスタを利用すると燃料消費量は 1 日あたり 60L、ハーベスタのみなら 35L ということだった。作業員はルーマニアから出稼ぎに来ており、東ヨーロッパからの出稼ぎは多いということである。作業時間は夏期 6:00~16:30、冬期 7:00~17:30 で、30 分が昼休憩の 10 時間である。

4.5m 幅員の林道（図Ⅱ-3-27）を作るのに通常 20 ユーロ/m がかかり、岩などがあると 50 ユーロ/m になることがある。現場の道にはクラックが入っており（図Ⅱ-3-28）、埋めずに放置すると水が入って冬期に凍結し、土砂崩れの原因となるため、施業終



図Ⅱ-3-24 Leoben 市 タワーヤーダ集材



図Ⅱ-3-25 Leoben 市タワーヤーダの搬器

了後にメンテナンスが必要であるとのことだった。メンテナンスは土地の所有者が費用を負担する（筆者注：土地の所有者が費用を負担するのは自然に発生した損傷のメンテナンスのみで、施業による人為的な路網の損傷は施業者がメンテナンスを行うと思われる）。



図Ⅱ-3-26 Leoben 市  
KESLA 社ハーベスタと土場



図Ⅱ-3-27 Leoben 市  
4.5m 幅員の林道



図Ⅱ-3-28 林道のクラック

(C) Leoben 市 ハーベスタ皆伐現場

110年生の皆伐現場で、1日で200~300m<sup>3</sup>を生産する。現場は急斜面であったが（図Ⅱ-3-29）、傾斜が緩ければ1日400m<sup>3</sup>の生産性にもなるとのことだった。ウィンチ付きのフォワーダで後日集材する。



図Ⅱ-3-29 Leoben 市 ハーベスタ皆伐現場

(D) Klieglach 村 ウィンチ集材現場

40haの森林と20haの農地を持っている自伐林家の親子が、Gaby社 Steyr945トラ

クタ（75馬力）にウィンチを装着し（図Ⅱ-3-30）、地引による全幹集材を行っていた。牽引力は6tである。1年で約300m<sup>3</sup>を伐採する。林業は秋と冬（2~3ヶ月）に行っており、その他の季節は主に農業を行って生計を立てている。

素材販売にあたって、まず伐採予定量、納期、品質を明示した提案書を2ヶ月前に需要先に送り、売買契約をすましてから伐採し（図Ⅱ-3-31）、製材所の要望に合わせた造材を行う。丸太価格は、このところ96~98ユーロ/m<sup>3</sup>で安定しており、ほとんど近隣の製材所に売っている。ウィンチ集材による自伐がほとんどであるが、委託した方が安い場合や、時間のないときは作業を委託することもある。トラクタは、中古で25,000ユーロ、新品だと50,000ユーロのものを利用している。ウィンチアタッチメントは6,000~7,000ユーロである。



図Ⅱ-3-30 Klieglach村 自伐林家  
所有のウィンチ付きトラクタ



図Ⅱ-3-31 Klieglach村 自伐林家  
所有林の択伐の様子

#### (E) Gassen市 ウィンチトラクタによる集材とトラック輸送

1ha程度の皆伐施業地において、ウィンチトラクタを用いた全幹集材が行われていた（図Ⅱ-3-32）。この地域は枕木用のブナ林が多いが、現在は主に製紙原料として使われており、林道端で45ユーロ/m<sup>3</sup>の値段である。土地所有者の希望で皆伐施業を行うことになり、森林ヘルパーが計画を立て、委託業者を手配した。約30度と傾斜がきつく、林道が狭い上に軟弱で（図Ⅱ-3-33）タワーヤーダが入れないため、ウィンチ集材を選択した。伐出作業者は3人とも地元の農家で、ウィンチトラクタを持つ1人とその近隣の農家の2人で構成されていた。オーストリアでは、本業以外の収入として年間36,000ユーロまで稼ぐことが認められているため、トラクタを使って林業を兼業する人が多いということだった。

ウィンチ付きトラクタは70馬力で10万ユーロ、牽



図Ⅱ-3-32 Gassen市 ウィンチトラクタによる全幹集材

引力は 10t である。ドラムは 2 つあり、各ウィンチケーブルは 96m の長さで、40m 延長することもできる。生産性は 3 人で 30m<sup>3</sup>/日である。出された全幹材はウィンチケーブルにつながれたまま、林道端までトラクタによって運搬され、チェーンソーによって玉切られる。造材された丸太は、24t 積載可能な 5 軸フルトレーラによって運ばれる（図 II-3-34）。車両の自重は 18t、100km 運搬時の燃料消費量は 40~45L である。トレーラの長さは 6m、幅は 2.5m、地面からの高さは 4m、タイヤの大きさは 1.3m であり、トラック部とトレーラ部の接続に要する時間は 2~3 分である。6 軸のセミトレーラを使う場合もある。EU の規定では、車両総重量は原則 40t までとなっているが、林業用の 5 軸フルトレーラは 42t、6 軸は 44t まで緩和されている。



図 II-3-33 Gassen 市 林道



図 II-3-34 Gassen 市 フルトレーラ（林道端の 2 軸トレーラと接続を行っている様子）

### （3）チップ生産

本調査では 3 カ所のチップ生産現場を訪れた。2 カ所は土場におけるチップ生産現場であり、残りの 1 カ所は林道端でのチップ生産現場であった。枝葉などかさばるものを燃料用チップとして利用する場合、枝葉を収集して運送することはせず、チップパーを林道端まで運搬し、その場でチップ加工することが徹底されている。チップ加工された後、森林バイオマスチップは集積場に集められ、大型トレーラ等大容量の車で運搬されることがある。品質の悪い森林バイオマスチップを利用できるプラントが限られているため、近くに利用可能なプラントが無い場合に用いられる手段である。オーストリアでは運送コストと運送距離、運送量の関係がマニュアル化されているようであり、日本においても同様の関係性は調査・マニュアル化が必要である。

#### （A）家族経営によるチップ生産（Klieglach 村）

地域熱供給施設用（小型プラント用）のチップ生産を行っている。家の敷地に修理工場、機械置き場、チップ貯蔵庫がある。秋から冬にかけて収穫した品質の悪い丸太を、夏の間には乾かしてからチップ加工を行っている。乾かしたときの含水率は15～20%である。また、農家の庭先や土場等でも依頼を受けてチップ加工しに行く、チップ加工サービスも行っている。

チップパーは、Komptech社 Chippo7010Cのドラム式切削型である（図Ⅱ-3-35）。トラックタイプで、グラップルが付属しており、排出方法は空気を使って飛ばすシューターとベルトコンベヤの2種類を選ぶことができる。総重量34t、700馬力で、時間当たり80～100Lの軽油を消費する。生産性は300層積 $m^3/h$ である（バイオマス流通センターでの聞き取りでは実際には180～200層積 $m^3/h$ とのことであった）。メッシュ口径が30、50、100mmのスクリーンをつけることができるが、メッシュ口径の違いによる生産性の変化はそれほどない。通常1日1回の研磨と1週間に1回、他会社に依頼する特別な研磨（機械で刃の角度から調整しなおす）のメンテナンスで十分である。しかし、石や金属が多い場合は1時間で研磨しなければならない場合もある。1ドラムに12枚の刃がついている。刃は1枚70ユーロで、1セットが980ユーロとなるが、年間3～4回新規で購入し取り替える。

原料となる低質丸太を32ユーロ/ $m^3$ で購入している。そして、チップの価格は、25km先の地域暖房施設着で20～25ユーロ/層積 $m^3$ である。移動等の時間を除いて、チップパーは年間700～800時間稼働しているため、チップの生産量は、年間210,000～240,000層積 $m^3$ である。

薪の販売も行っており、薪の価格は工場売りで75ユーロ/薪 $m^3$ である。薪 $m^3$ は丸太換算で0.85 $m^3$ であるため、88ユーロ/ $m^3$ ということになる。薪は年間100薪 $m^3$ の需要があり、近隣の住民のために作っているということであった。



図Ⅱ-3-35 Klieglach村 チップ生産の様子

#### (B) Leoben バイオマス流通センター (Biomassehof Leoben)

木質バイオマス燃料の集積場であり、シュタイヤーマルク州に7カ所あるうち、最も大きいバイオマス流通センターである（図Ⅱ-3-36）。2009年に設立され、マネージャーが1人と社長が1人の2人体制で運営している。Waldverband（林業協同組合）に所属している300人の農家が共同で設立するとともに、原料を供給している。この地域の農家は、2007年まで製紙会社にチップを供給していたが、独占状態の下での低い丸太価格に苦しんでいた。しかし、このセンターに原料を供給するようになってから価格が上昇したため、材を供給するモチベーションは高くなっている。低質丸太の価格は、10年前は20ユーロ/m<sup>3</sup>であったが、現在、40ユーロ/m<sup>3</sup>である。伐採費用が約30ユーロ/m<sup>3</sup>であるため、農家の収支は、以前赤字であったが現在黒字に転換している。このセンターの売り上げは、年間50万ユーロであり、純収益は5,000ユーロ（売り上げの1%）である。

センターは安定供給を実現するマネジメントの主体であり、チップ加工・輸送は他社に委託している。手数料が1%と少ないため、人件費を削減する必要があり、プラントからの需要情報に基づいて丸太の仕入れからチップ加工・運搬までのスケジュール管理を、マネージャーが1人で行っている。原木チップと森林チップ、薪を扱っており、丸太の消費量は年間10,000~12,000m<sup>3</sup>である。丸太は、18カ月間乾燥させて25~30%まで水分を落としている。丸太のうち90%は、センターから30km圏内に山林を所有する300人の会員が集めており、10%は他の林業協同組合メンバーから集めている。90%がチップになり、残りは薪になる。センターの土場にチップ加工業者を呼んでチップにし、容量90m<sup>3</sup>のセミトレーラに積載してプラントまで運搬をする（図Ⅱ-3-37）。

丸太から生産されたチップは、センターからの距離が60km圏内の中規模のプラントに販売されている。森林バイオマスチップも年間15,000層積m<sup>3</sup>を取り扱っている。これは、原木チップと比べて品質に劣り、中小規模プラント（年間需要量2,500層積m<sup>3</sup>以下）には適さないため大型プラントに運搬されるが、地域に大型のプラント（年



図Ⅱ-3-36 Leoben市バイオマス流通センターの事務所



図Ⅱ-3-37 Leobenバイオマス流通センターにおけるチップ加工とスライドデッキコンテナトレーラ

間需要量 2,500 層積 m<sup>3</sup>以上) が無いため、一度センターに集積し、量を集めてから運搬している。表に価格をまとめている。

チップ加工に際して、近隣の農家から騒音への苦情があったため、製材残材(背板)で防音壁を構築している。この残材も 2 年たつとチップ加工され、またあらたな残材で防音壁を作るということだった。

表 II - 3 - 3 Leoben バイオマス流通センター価格表

	価格
丸太購入価格	40 ユーロ/m <sup>3</sup>
森林バイオマスチップ購入価格	1~2 ユーロ/層積 m <sup>3</sup>
土場での丸太チップ加工費	大型チップパー 360 ユーロ/h
	小型チップパー 200 ユーロ/h
チップ輸送費	200km 先大型プラント 340 ユーロ/台
	60km 圏内小型プラント 250 ユーロ/台
チップ販売価格	125 ユーロ/t-dry
薪販売価格	18 ユーロセント/kg (含水率 18%以下)
森林バイオマスチップ販売価格	13 ユーロ/層積 m <sup>3</sup>

(C) 林内バイオマスチップ加工 (Leoben 市)

1.5ha の皆伐現場で、400~500m<sup>3</sup> の丸太が収穫された現場であった。末木・枝条を利用するため、トラクタ牽引式のチップパーによるチップ加工が行われていた(図 II-3-38)。アームロール式トラックでコンテナ(高さ 2.6m、幅 2.5m、長さ 5.3m、容量 35m<sup>3</sup>)を輸送するシステムであった。この現場は、道の幅員が 4m と広く、アームロール式トラックが直接チップ加工場所まで入ることができたため、アームロール車用のコンテナを一般道端に置いていた(図 II-3-39)。通常はフルトレーラで 2 つのコンテナを用いるが、ここでは、トラックのように 1 回 1 個のコンテナを林内輸送していた。平均して 1 日に 10~12 個のコンテナを運搬することができる。

トラクタは Fendt felddag 930 VARIO で 360 馬力、価格は 20 万ユーロ、チップパーはドラムタイプの MUS-MAX Wood Terminator 8XL で 20 万ユーロ、刃は 32 枚、チッ



図 II-3-38 Leoben 市 林内バイオマスチップ加工の様子



図 II-3-39 Leoben 市 林道端のアームロール車用コンテナ

プロコンテナは一つ 5,000~6,000 ユーロ、グラブプルは 8 万ユーロである。時間観測の結果、32 分 27 秒で 35 層積 m<sup>3</sup>の生産が行われたため、林地残材チップ加工の生産性はおよそ 70 層積 m<sup>3</sup>/h である。聞き取りデータの 60~80 層積 m<sup>3</sup>/h とも合致している。

#### (4) 木材の利用

本調査では、木材利用・加工施設として、製材工場、プレカット工場、ペレット工場それぞれ一カ所を訪問した。いずれもオーストリアの中では中小企業であり、大型工場との棲み分けを図るため、製品の開発や新規の需要創出などの工夫をしていた。

##### (A) Prein 製材会社 (Leoben 市)

年間 25,000m<sup>3</sup> の丸太を製材している家族経営の製材会社で、親子と息子 2 人、その他従業員 5 人の 9 人で運営している。6:00~17:00 の 2 シフト稼働で、製材品の 80% は国内で販売し、残りはドイツとイタリアに輸出している。10km 離れた場所にマイヤーメルンホフ社の製材工場があるため、バンドソーを使用したドイツ製の製材機を用いて直径 30~90cm という広い範囲で製材を行い、原材料の棲み分けを図っている。また、マイヤーメルンホフ社では対象としていない窓枠用材の生産を行い、競合を避ける工夫がされている。丸太ごとにオペレータが木取りを決めることができるため、受注生産に対応でき、製品にも付加価値をつけることができている (図 II-3-40)。丸太の大きさによって材の値段を変えることはせず、林道端で 98~100 ユーロ/m<sup>3</sup> の価格で購入している。丸太は、30km 圏内にある 60 件の農家から常に購入することで調達ルートを確認している。

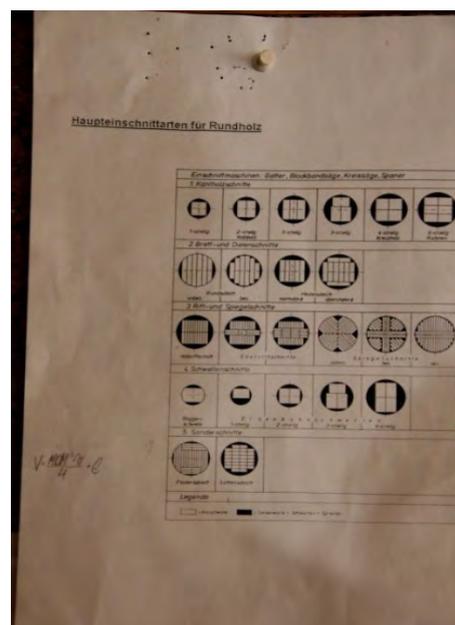


図 II-3-40 Leoben 市  
Prein 製材会社における木取り表

近隣の voest alpine 社という鉄道用レールを作っている鉄鋼会社に枕木も納入している。在庫はほとんど持たず、製材レーンから集められた背板も自動的にチップ加工され、量が溜まり次第、製紙工場へと売られる。

##### (B) HOLZBAU WEIZ 社 (Weiz 市)

オーストリア国内を市場とする木造階段や柱材、内装材を作るプレカット工場である (図 II-3-41、II-3-42)。工場全体で 50 人が働いており、CAD 図面設計士 1 人、設計士 4 人、営業 3 人の 8 人が中核となっている。800~1,000 ユーロ/m<sup>3</sup> で製材工場から板を購入し、プレカット後の着色まで自社で行う。かんなくずは MDF 原料やエネルギー原料として販売している。

コンクリートよりも高いが、木材はコンクリートよりも自由度が高く、様々な形を作ることができるため、受注生産によって顧客のニーズにあった商品を提供している。

階段は現場で組み立てるため、4人のチームを4つ編成し、少なくとも1日に1つの階段を1チームで組み立てるように営業、スケジュールリングをしているということだった。



図 II -3-42 Weiz 市 Halzbau Weiz 社  
木造階段用手すり



図 II -3-41 木造階段（展示品のため、踏み台には鉄板が敷いてある）

### (C) HOLZ BAUER 社 (Weiz 市)

製材工場を営んでいたが、現在は副業で始めたペレット製造業が主業となっている家族経営のペレット製造会社である。製材時に発生するのこ屑・かんな屑をペレットにしているため、樹皮の混じっていない高品質なホワイトペレットを製造することができる（図 II -3-43）。原木消費量は、年間 3,000m<sup>3</sup>、ペレット製造量は年間 10,000 層積 m<sup>3</sup> である。かんなくずはセミトレーラで 50km 圏内の製材工場から、利用料の 70%を購入している。かんなくずの乾燥には 0.8MW、URBUS 社製のチップボイラーを利用しており、現在年間 2,000 層積 m<sup>3</sup>のチップを乾燥に利用している。ボイラーシステムの値段は 20 万ユーロである。ペレタイザーは SALMATEC 社製で、システム全体で 20 万ユーロ、ペレットの水分は 10%以下、製造コストは、冬の乾燥コストが夏の乾燥コストの 2 倍であるため 80~100 ユーロ/t である（図 II -3-44）。価



図 II -3-43 Weiz 市 Holz Bauer 社 ホワイトペレット



図 II -3-44 Weiz 市 Holz Bauer 社 Salmatec 社ペレタイザー

格は 220 ユーロ/t であり、コスト削減のため袋詰めはせずトラックで直接近隣の民家に運搬している。民家では年間 3~10t のペレットを利用する。現在のペレット生産性は 0.5~0.7 t/h であるが、シュタイヤーマルク州で利用されているペレットの 5 割はチェコ・ルーマニア産であり、地元産のペレットを利用したいという地元の要望もあって、今年中に設備を改良し、生産性 1.2~1.5 t/h、年間 50,000 層積 m<sup>3</sup> のペレット生産を可能にする予定である。

## II-3-4. 小括

### (1) オーストリアにおける木質バイオマス利用拡大の背景

オーストリアの木質バイオマスエネルギー利用は、ガスや灯油といった化石燃料に経済的に勝っているために普及・拡大してきた。その背景には、①プラントや送熱パイプ等の設備が安価に設置できる、②エネルギープラントの変換効率が高い、③燃料バイオマスが安価で大量に手に入る、という 3 点の実現があるということが明らかとなった。

①について、同国におけるパイプライン埋設コストはせいぜい 5 万円/m であったが、日本では地方都市でも数十万円/m という話がある。また、機器導入コストに関しても、数百万円ですむところが日本に導入するとなぜか数千万円になってしまうという話があることから、コストの透明性を高め、事業の標準化を進める必要がある。

②に関して、同国では燃料の規格やボイラーの認証制度がしっかりしており、小型ボイラーには高品質チップを、大型高性能ボイラーでは低品質チップを主に使いながら、85%以上の高い熱効率を実現している。また、発電する場合も熱電併給を行っているため、熱効率が 30%以下ということはほとんどない。

③のバイオマス供給については、急傾斜地でも 4000 円/m<sup>3</sup>以下で伐出できる低コスト林業システムの存在も大きいですが、高い競争力を持った製材業界の存在が重要な役割を果たしていた。それは、バークや鋸屑などが大量に供給されるだけでなく、製材用丸太の生産が低質材や枝葉等の供給にもつながっているということである。日本においても、用材を利用する製材工場や合板工場の競争力向上とともに林業を活性化していく必要がある。

### (2) 製材工場における木質バイオマスエネルギー利用

原木消費量が 50 万 m<sup>3</sup>を超す大規模製材工場では、規格品に近い製品を輸出しながら 32500 円/m<sup>3</sup>前後という低価格で販売するとともに、グループ企業を通じて高付加価値製品（集成材、三層ボード、CLT 等）の生産を進めている。中規模層のうち原木消費量 20 万 m<sup>3</sup>以上の工場では、概ね大規模層と同様の取り組みを進めているが、出口を大規模建築物用の集成材生産向けの原料供給といった形でやや特化させるなどしている。他方、10 万 m<sup>3</sup>前後の工場では、直径 40cm 以上の大径丸太の側板から窓枠や内装用の高付加価値品を生産することで差別化を図っていた。これらの競争力は非常に高く、鉄やコンクリートの代替にも一部つながりつつある。一方、小規模層では、長尺材か

ら無垢の製材を生産するなどして差別化を図っているが、今回の調査では、主力事業をバイオマスエネルギー供給に移している事例が見られた。

いずれの規模においても、①製材乾燥のための熱利用の経験、②安価なバークやのこ屑の入手、③丸太の集荷の経験、などを活かしてエネルギー事業を拡大させていると考えられる。ただし、大規模な製材工場は別として、20万 $\text{m}^3$ 前後の工場でさえも無理な発電はせずに、地域の熱需要を取り込んでエネルギー事業を展開している。事例でも見たように、送熱パイプの延伸によって需要を拡大し、結果として発電に踏み切るなどきちんとしたステップを踏んでいることが特徴といえる。

こうした拡大が容易であった背景には、総熱パイプの埋設コストが安価であることに加え、建築物の熱供給はセントラルヒーティングで一括されていることが大きい。日本の住宅にこうしたやり方を適用するのは困難であろう。しかし、現地をよく耳にした話として、経済性の低い戸建て住宅ではなく、商業施設や工場、集合住宅などを中心に事業展開を図っていく方法は日本でも検討するべきであろう。

### (3) 効率的な木質バイオマス供給

オーストリアでは、効率的な素材生産が行われていることが特徴としてあげられる。緩傾斜地では、近年、ハーベスタとフォワードを用いた高効率生産が増加しつつあるが、いまだに、チェーンソーで伐倒、枝払いを行って、農業用トラクタに取り付けたウインチで行う全幹集材が主流となっている。ハーベスタとフォワードによる伐出請負コストは、20ユーロ/ $\text{m}^3$ 以下と安価であるが、農業用トラクタによる伐出も16~35ユーロ/ $\text{m}^3$ と決して高くはない。

緩傾斜地においては、集材上の都合や地力維持の観点から、枝葉は林地に残されることが多く、集材された全幹を林道端で丸太に造材する際に発生する欠点部分や小径部分等が燃料用となる。WVによれば、出材材積のおよそ60%は製材用であり、15%が製紙・ボード用、薪用10%、燃料チップ用15%とのことであった。つまり、25%程度が農家の庭先やバイオマス流通センターの土場などに輸送され、そこに半年から1年半程度おいて乾燥した後、薪やチップに加工されている。

このように、農家の庭先やバイオマス流通センターの土場を経由すると当然コストが上昇する。しかし、それによって在庫機能を果たすことができるだけでなく、貯蔵期間を経て乾燥が進むことによって燃料に付加価値をつけることができることに注目する必要がある。つまり、単価の高い薪や半乾燥チップを生産しているということである。このことは、裏返すと、そうした高い燃料を購入するユーザーが存在するということであり、半乾燥チップについては、生チップ対応でない小規模ボイラーがおもな供給対象となっている。

一方、傾斜地においては、農業用トラクタ等のウインチによる全幹集材も行われているが、タワーヤード等による架線集材が主流となっている。傾斜地にもかかわらず、間伐でも20~45ユーロ/ $\text{m}^3$ という低コスト生産が実現されている。

架線集材の場合は、伐倒した立木をそのまま全木集材するのが主流となっている。

そのようにして集材された全木は、タワーヤードに取り付けられたあるいは農業用トラクタに取り付けられたプロセッサやハーベスタによって造材されるが、末木・枝条が道ばたに大量に集積する。これらの末木・枝条は、流下する危険があるため、基本的に伐採直後から 1 ヶ月程度の間にはチップトラクタを呼んでチップ加工し、コンテナトラックでユーザーに直送されている。この方法で生産された燃料チップは、水分が 50% を超えることもあるため、利用できるユーザーは大規模プラントに限られ、価格は低くなっている。

#### 参考文献

- Landwirtschaftskammer Niederosterreich(2010) Biomasse-Heizungserhebung 2009  
オーストリアエネルギー庁 (2013) Basisdaten Bioenergie 2013  
藤掛一郎 (2014) 木材需給予測モデル開発と短期見通し報告書－宮崎編、日本木材総合情報センター  
Robert Glettler (2013) Woodenergy contracting, Regionalenergie Steiermark  
Landwirtschaftskammer Steiermark(2010) Austrian experience on efficient and cost effective wood chips supply for CHP plants

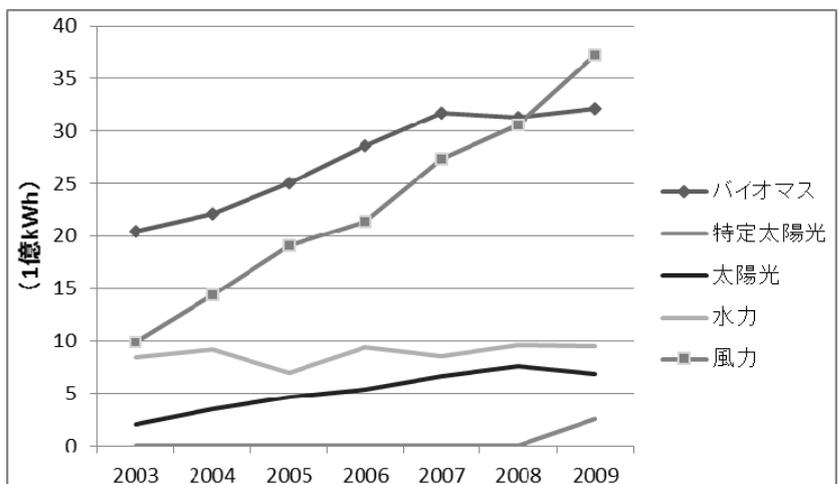
### Ⅲ．日本における木質バイオマスのエネルギー利用

#### Ⅲ－１．木質バイオマスエネルギー利用の現状

日本においても、オーストリアと同様に薪炭材の生産・利用は中山間地において連続と続けられてきた。しかし、過小推計の可能性が高いとはいえ、その消費量は 20 万 m<sup>3</sup>以下となっており、足下にも及ばない状況にある。こうした中で、2002 年に「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS 法）」が制定され、我が国の近代的な木質バイオマスエネルギー利用は発電利用の分野で拡大した。この背景には、その前後に廃掃法が改正され、それまで不法投棄の元凶ともなっていた建築廃材がマニフェストの提出によって厳しく管理されるようになり、いわゆる静脈流が整備されたことが大きい。当初は、建築廃材はだぶついていたため、産廃処理場において焼却処理される量も少なくなく、それを原料とする燃料チップの価格も 500 円/t 前後と安価であった。

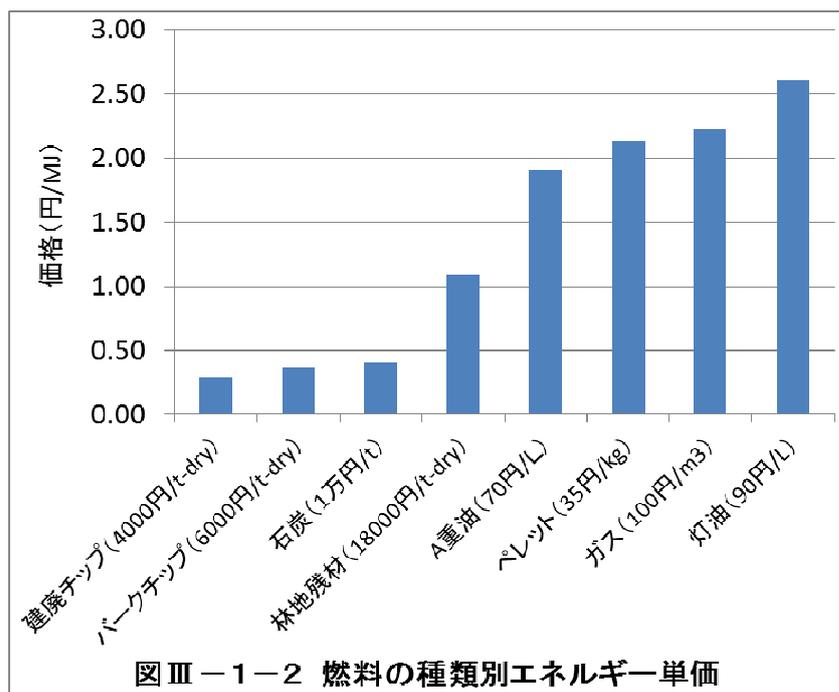
そうした安い燃料を利用しながら、図Ⅲ-1-1 のように、バイオマス発電は 2007 年までは順調に拡大していった。しかし、その後の供給量の拡大は頭打ちとなっている。この背景には、全国に木質バイオマスを利用する発電所が 20 カ所を超え、燃料チップ需要が拡大した結果、余剰が解消されるとともに価格が上昇し、8 円/kWh にも満たない買取価格のもとでは新規事業の魅力が乏しくなったためと考えられる。

価格が上昇したとはいっても、NPO 全国木材資源リサイクル協会連合会（2008）によれば 2,000 円/t 以下がほとんどであり、これよりも高い 3,000 円/t（≒4,000 円/t-dry）であったとしても、エネルギー価格（＝燃料単価÷燃料の低位発熱量）でみると、図Ⅲ-1-2 に示したように石炭と比べて安くなっている。これが、建



図Ⅲ-1-1 新エネ等電気供給総量の推移

出典:資源エネルギー庁(2010)電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法の平成21年度の施行状況について



図Ⅲ-1-2 燃料の種類別エネルギー単価

築廃材等の産業廃棄物系の木質燃料の利用が拡大した要因と考えられる。これに対して林地残材は、チップの形で 9,000 円/生 t (≒18,000 円/t-dry) で供給する場合、石炭の 3 倍以上となってしまったため、石炭の代替燃料とはなり得ない。これは、森林系バイオマス利用が拡大できなかった大きな要因といえるが、地域において石油やガスの中で一番安価な A 重油 70 円/L と比較すると、林地残材のエネルギー価格は半分近くと安くなっている。つまり、オーストリアで最初に熱利用が拡大していったように、我が国においても、熱利用が木質バイオマスのエネルギー利用には適しているといえることができる。

### Ⅲ-2. 木質バイオマス発電の現状と課題

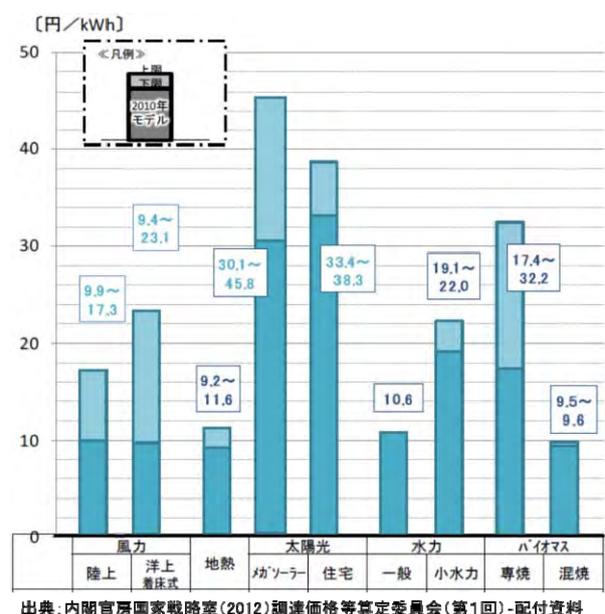
#### Ⅲ-2-1. 現状

図Ⅲ-2-1 は、かつて国家戦略室が調達価格算定委員会のために作成したグラフである。これは、再生可能エネルギーをもちいた電力（再生可能電力）の供給コストを示したものであるが、化石燃料を用いた発電コストが 10 円/kWh 前後であることを考えると、水力と地熱を除くほとんどがそれを上回っている。このことは、現状では再生可能電力を増やせば増やすほど電力価格（コスト）は上昇することを示している。

図の中で飛び抜けて高いのが太陽光パネルによる電力であり、これにバイオマス専焼が続いている。前者については、最近、設備コストの低下とともに買い取り価格が引き下げられており、数年後には 30 円/kWh とされる模様であることから、バイオマス専焼が最も高くなるもようである。

このように、バイオマス専焼のコストが高いのは、端的に言えば発電効率が 25% 前後と低いことによる。林地残材バイオマスが 9,000 円/生 t (≒18,000 円/t-dry) の場合、エネルギー価格(=単価/熱量)で考えると、天然ガスの 2/3 程度のコストで済むが、天然ガス火力の発電効率はバイオマスの 2 倍以上あり、設備コストが 1/3 以下で済むため、発電コストは半分以下となる。設備コストは、バイオマス専焼発電施設は出力あたりの設備コストが 40 万円/kW 以上かかるのに対して、天然ガスのそれは 12 万円/kW 程度となっている。バイオマスに関して、小規模でも発電効率が高いということで導入されてきたガス化発電施設はさらに 60 万円/kW 以上と高い。

これに対して、木質バイオマスの熱利用の場合は、設備コストが 6 万円/熱 kW と安くすみ、燃料代もガスと同等なので十分競争力を持っているといえる。発電に関して



図Ⅲ-2-1 再生可能電力のコスト

も、燃料コストが倍以上の石油火力には対抗できそうであるが、そもそも電力会社はコスト高を嫌ってピーク対応等の一時的な利用に火力発電を限定してきた。こうしたことから、林地残材を利用した木質バイオマス発電が高い競争力を持ちうるのは、安価なガスが手に入らない（パイプ網のない）地域において、熱需要が大量にあるところでの熱電併給であると考えられる。

### Ⅲ-2-2. 木質バイオマス発電の課題

#### (1) 規模と経済

独) 森林総合研究所では、内閣官房国家戦略室の作成した「コスト試算シート」を改良することによって、「木質バイオマスの事業採算性評価システム」の開発を行っている。そこでここでは、それをを用いて木質バイオマス発電事業の経済性について検討を行った。

まず、価格算定委員会に提出された G 社の経済性試算データの再現を行った。その結果、設備費 23.4 億円 (41 万円/kW)、発電出力 5700kW、同効率 26%、所内率 16%、設備利用率 93%、建設コストに対する、修繕費率を 3.98%、借入金利を 3% (全額借り入れ)、人件費 6,000 万円/年、燃料発熱量 10.73MJ/kg、同価格 12,750 円/t (諸経費込み)、電力買い取り価格 31.8 円/kWh、期間 20 年間の条件の下で、内部収益率 (IRR) 8%が再現できた。ここでの燃料の水分は、燃料の発熱量から考えると 35%を前提としているものと考えられ、これは、上記のプラントの受け入れ燃料の設定と整合的である。諸経費を除いた燃料チップの受け入れ価格は、12,000 円/t-35%なので、18,500 円/t-dry と計算される。

後段の調査結果から、この規模にしては高めといえる発電効率 26%は達成されているということであったが、設備利用率 93%は燃料の搬送トラブル等によって、90%に下方修正されていることから、設備利用率 90%、電力買い取り価格 32 円/kWh、固定資産税率 1.4%で計算すると、内部収益率は 6.4%に低下した。また、燃料価格を 22,300 円/t-dry に引き上げると IRR は 0%となった。このことは、燃料チップの水分が平均で 50%の場合、11,000 円/生 t になるとほぼ利益がなくなるということを意味している。

製紙用チップと同様に、工場においてチップ加工する場合、プラントへのチップの輸送に 2,000 円/生 t、チップ加工に 2,000 円/生 t かかるとすると、原木の購入価格は 7,000 円/生 t が限界ということが出来る。原木の材積あたりの重量を、0.75 生 t/m<sup>3</sup> とすると、5,250 円/m<sup>3</sup> が上限という推計ができる。

次に、設備利用率 90%、設備補助率 30%、その他のパラメーターは G 社のものと同じものを用いて、T 社のプラント (発電効率 23%、出力 4,900kW) と、F 社のプラント (発電効率 28%、出力 12,000kW、建設費 40 万円/kW、人件費 1.1 億円) の場合、どのように経済性が異なるかシミュレーションを行った。結果は表Ⅲ-2-1 の通りであり、燃料価格 10 円/kg-40 のもとでは、内部収益率 (IRR) はそれぞれ 12.8%、11.3%、17.2%と高い値を示した。先ほどと同様にチップ工場経由を前提とすると、原木の購入価格は 6,000 円/生 t が上限となり、4,500 円/m<sup>3</sup> という推計ができる。

表Ⅲ－２－１ 発電規模に関するシミュレーションの結果

	G社			T社			F社		
発電効率(%)	26			24			28		
発電規模(kW)	5700			4900			12000		
チップ買取価格 (円/kg-40%)	10	12	14	10	12	14	10	12	14
送電端効率(%)	22			20			24		
発電コスト(円 /kWh)	24.7	28.1	31.5	26.5	30.2	33.9	22.8	26.5	29.1
IRR(%)@20年	12.8%	6.3%	赤字	11.3%	3.2%	赤字	17.2%	10.3%	4.8%

燃料価格が 12 円/kg-40%に上昇すると、発電効率の低い T 社のプラントでは、IRR が 3.2%と低くなり、燃料価格が 14 円/kg-40%に上昇すると、発電効率の最も高い F 社を除いて赤字となった。この場合、チップ工場経由を前提とすると、原木の購入価格は 10,000 円/生 t が上限となり、7,500 円/m<sup>3</sup>という高い値となる。

以上の結果から、発電規模が大きいほど発電効率が高くなるため経済性が高いことが明らかとなった。そして、5,000kW 規模の丸太購入価格の上限が 6,000 円/m<sup>3</sup>程度と推計されたのに対して、12,000kW 規模では 7,500 円/m<sup>3</sup>程度と高いことから、それらのプラントが近接して存在し、燃料チップの需給が逼迫した場合、前者が後者に買い負ける事態が起こりうると思われる。

## (2) 熱電併給の経済性

オーストリアにおいては、認定要件となっていることもあって、固定価格買取の対象となっている木質バイオマス発電施設のほとんどが熱電併給プラントである。この背景には、電力の買取価格が 20 円/kWh 程度と低く抑えられており、発電事業の経済性を高めるためには熱利用が避けられないということがある。そこで、我が国において熱電併給事業を行った場合、その経済性はどのようになるかということについて、前節のシミュレーションモデルを用いて検討を行った。

我が国においては、製紙や合板工場における比較的規模の大きなものを除けば、木質バイオマスの熱電併給 (CHP) 事例は多くない。そこで、前節の T 社の同じ規模のプラントが発電事業と、熱電併給事業のそれぞれに利用されていることから、それらをモデルとしてシミュレーションを行った。具体的には、発電に関しては前節と同様とし、熱利用については、25.5t/h (425℃、約 60 気圧) の蒸気を発電タービンに投入し、圧力等が 16 気圧に下がった蒸気 20t/h を途中から抽気して利用するものとし、それによって、発電端の出力は約 2287kW に低下することを前提とした。蒸気は、エネ

ルギー計算上、A 重油 60 円/L、あるいは 70 円/L と等価で販売できるものとして経済性を評価した。

結果を表Ⅲ-2-2 に示す。A 重油 60 円/L 相当で販売する場合には、発電事業のみの場合に比べてやや IRR が低くなったが、燃料チップ価格が 12 円/kg-40% でも採算がとれる結果となった。他方、A 重油が 70 円/L 相当で販売できる場合には、発電事業のみの場合の IRR を大幅に上回り、燃料チップ価格が 14 円/kg-40% でも採算がとれる結果となった。

この結果は、熱電併給を行っても、しかるべき価格で熱が販売できれば採算がとれるということを示している。実際、現状の A 重油価格は、80 円/L を超えているので、60 円/L 相当で販売すればユーザーには相当なメリットがあると考えられる。さらに、石油価格が上昇した場合には、70 円/L 相当で販売することも可能となり、木質バイオマスエネルギー事業の経済性を大きく向上させることができる。つまり、熱電併給事業は、原油（ガス）価格が上昇した場合に有利になるということができる。

表Ⅲ-2-2 熱電併給に関するシミュレーションの結果

	T社			T社熱電併給(CHP) A重油60円/L代替			T社熱電併給(CHP) A重油70円/L代替		
	10	12	14	10	12	14	10	12	14
発電効率(%)	24			10.5			10.5		
発電規模(kW)	4900			2287			2287		
チップ買取価格 (円/kg-40%)	10	12	14	10	12	14	10	12	14
総合効率(%)	20			75			75		
発電コスト(円/kWh)	26.5	30.2	33.9	18.0	28.8	39.6	8.3	19.1	29.9
IRR(%)@20年	11.3%	3.2%	赤字	10.4%	1.3%	赤字	17.0%	9.6%	0.1%

※CHPについては、A重油の代替分の廃熱利用価値を計上した。

このように経済性の高い熱電併給事業であるが、一番の問題は大量の熱を売りさばけるかということである。表からも分かる通り、2,287kW がバイオマスエネルギー全体の 10.5% に相当し、総合効率が 75% であるということは、64.5% 分、すなわち 14,000kW の熱を利用しなければならないということになる。これは、換算蒸気量にして約 22t/h であり、大型製材工場の乾燥用蒸気消費量の 3 倍前後に相当する。ちなみに、これをすべて住宅の給湯・暖房で処理しようとする、2 万世帯近い熱の集約が必要と考えられる（EDMC/エネルギー・経済統計要覧（2012 年版）によれば、世帯あたりのエネルギー消費 10,203Mcal/年のうち電気を除いた 52% がガスや LPG、灯油による熱利用）。

このことは、熱電併給事業を実現するためには、製材や食品加工、クリーニング工

場といった大量に蒸気・温水利用を行っている事業体を隣接地に誘致する、あるいは送熱パイプラインで結び付ける必要があることを示している。例えば、月間 800 万円分の A 重油を消費している事業体（25 日、16 時間操業）は、平均 2,500kW の熱を消費していると計算でき、そうした事業体を 6 つ近く集約する必要があるということになる。

ところで、熱電併給事業の経済性が高いといえるもう一つの点は、発電コストが安いということである。表に示されているように、A 重油が 70 円/L 相当で販売できる場合には、電力の買取価格が 20 円/kWh であれば、採算がとれる結果となっている。

### Ⅲ－３．エネルギー事業の事例

#### （１）グリーンサーマル会津

施設の全景を図Ⅲ-3-1 に示す。図の右側にゲートがあり、燃料を積んだトラックはそこから直進し、図の手前に隠れているトラックスケールにおいて計量を行った後、図の右下にあるチップサイロに納入する。サイロのすぐ後ろ、手前のコンベアーの右奥に煙突の付属している設備は、燃料チップ乾燥用のドライヤーである。リサイクルバイオマス燃料として、熱風を発生させ、50%ほどあるチップの水分量を 35%未満に落とすようになっている。乾燥工程を経た燃料チップは、中央緑色の長い筒工のカバーに覆われているベルトコンベアーにより左下から中央上部に送られていき、上からボイラーに投入される。

ボイラーは、住友重機械工業の循環流動式ボイラーであり、発生蒸気の温度 450℃、圧力 5.4MPa、蒸発量 25t/h となっており、およそ 22.5MW の熱出力と推計できる。発電効率は 26%とこのクラスにしては高いが、実際に実現できている。蒸気タービンは、左側にあるねずみ色の建物の中であり、その奥にあるのが冷却塔である。冷却塔は、水を 800～1,000m<sup>3</sup>/日使用しており、30～40 度の温排水がある。この温排水を、床暖房と冬場の燃料の保温などに利用しており、今後の工場外での利用可能性評価を行っているところである。

送電設備は地下を通り、敷地外の図の右方向の坂の下にある受変電設備に接続している。ここで、特別高圧 6 万 6 千ボルトにして数百 m 先の送電線に逆潮流している。



図Ⅲ－３－１ グリーンサーマル会津

発電規模は、5,700kW であるが、冷却塔で 150kW、ボイラーへの空気吹き込みで

200kW、燃料の搬送に 200kW、乾燥機 100kW、ボイラーの運転やポンプ等に 250kW 程度を所内動力として利用するため、実際に送電できるのは 4,800kW 程度ということである。

従業員は全部で 18 名である。所長と事務員 2 名の他、メンテナンス 1 名、燃料受け入れ 2 名、運転作業員 12 名（3 名×4 交代）となっている。所長は、化学プラントでの経験があり、ボイラー技士や BT 技師の資格を持っている。運転作業員は、若い人で 18 才、30 代が多く、大型特殊等の資格を取らせるようにしている。

経費は、砂、薬品代が 3,000 万円、灰処理費は 23,000 円/t（管理型埋め立て処分場）、この他に、検査費、メンテナンス費、保険料などがかかるが、価格算定委員会の資料に示されている程度のコストで運営できているということである。送電線敷設 0.8 億円、受変電設備 2 億円、土木工事 3 億円（建屋建築込み）、土地代 1 億円(1ha)、ボイラー・発電機 15 億円、総事業費は約 25 億円となっている。発電設備の法定耐用年数が 15 年となっているので、資金計画も 15 年としており、5%の金利で借入れを行っている。

こうした発電事業の成立要件としては、特別高圧送電線までの距離が 1km 未満であること、冷却用の用水が確保できていること（ここでは井戸水）、土地の開発許可が取得できていること、燃料を運搬するための道路網へのアクセス、周辺住民の理解、燃料集荷ノウハウが重要である。

燃料供給は、ノーリンとウッドチップ工業が 8 割を担っている。ウッドチップ工業は、木質バイオマス発電事業を始めるにあたって、コストの透明化を図るために設立したノーリンの子会社である。ノーリンは、中間処理施設を有しており、産廃処理が主な事業となっている。燃料は、2 割程度を福島県木連が組織する流通機構からチップの形で購入している。リサイクルバイオマス以外は、すべてウッドチップ工業においてサンプリングによる線量チェックを行っている。このため、外部からの購入チップは 2 次輸送が必要となり、コストがかかり増しになる状態となっている。購入チップには、水分が高いものが入っており、将来的には価格差をつけることも検討中である。なお、焼却灰に関して、セメント工場などの県内の受け入れ先は飽和状態であり、県外での処分を検討せざるを得ない状況にある。放射能が 1,000 ベクレルを越すものは、県外に出す場合、事前協議等が面倒であることから、1,000 ベクレル以下となるように

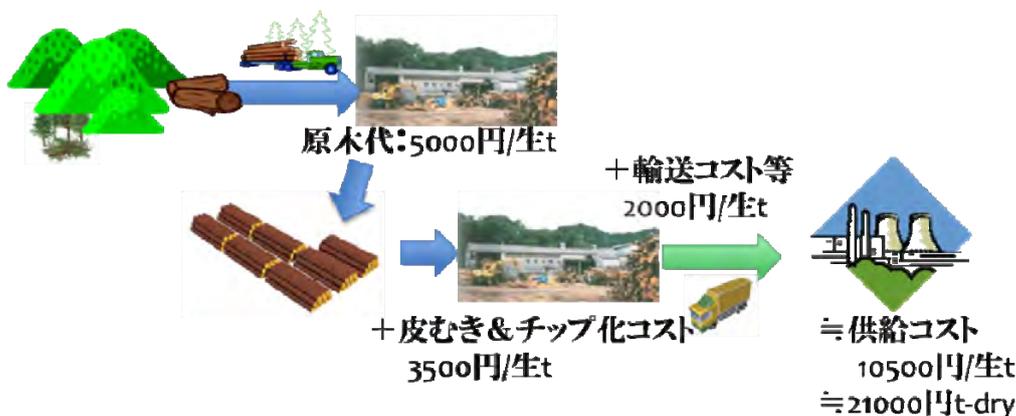


図 III - 3 - 2 グリーンサーマル会津の燃料供給の概況

バークは除去した上できっちりチェックしている。

燃料チップの規格は、全国的に普及しているものにならって、契約では 70 mm（最大 100 mm）としている。なお、ハンドリングがいいのは圧倒的に切削チップである。燃料供給の概況を図Ⅲ-3-2 に示す。素材生産事業体が持ち込んでくる原木は、チップ工場のトラックスケールで検量し、未利用丸太については 5,000 円/生 t で購入している。購入した丸太は、トラックに積んだまま図Ⅲ-3-3 の土場に運び、はい積みしておく。燃料用原木土場は、砂利採石を行っていた河川敷の 7ha の土地であり、2m 材を 2 万 t 以上収容しておく能力がある。ここで 5 ヶ月乾燥させると、水分は 40% 以下になるので、リサイクルチップを少量混ぜるだけでボイラーが要求する 35% の平均水分とすることができ、乾燥炉の使用を削減することができる。なお、毎月の出荷量が 4,000t-40% であることから、5 ヶ月分で 2 万 t という計算となっている。

5,000 円/生 t で受け入れた原木は、皮むきとチップ加工コスト 3,500 円/生 t、輸送コスト 1,500 円/生 t、未利用認定を受けるための管理コスト 500 円/生 t をかけて、10,500 円/生 t で販売している。原木のほとんどは、40 km 圏内から集荷している。



図Ⅲ-3-3 ノーリンの燃料用原木土場

## （2）北海道 M 町

北海道 M 町では、町を上げて木質バイオマスの熱利用を推進しており、森林組合と協力して木材と木質バイオマスの利用を図っている。現在は、ホテルの 150kW バイオマスボイラー（Talbot 社製、図Ⅲ-3-4）、中学校（図Ⅲ-3-5）の 225kW バイオマスボイラー（Talbot 社製）で熱利用を行っており、それぞれ年間 170t のチップを使用している。ホテルのボイラーは 4,000 万円、建屋と配管全体で 3,000 万円、計 7,000 万円である。ボイラーからホテル本館までは、200m の距離なので、配管時の問題は特になかった。2カ所とも、熱エネルギーは暖房に利用している。チップは町内で集荷しているため、運搬距離は最長で 9km と短く、容量 10m<sup>3</sup> のコンテナトラックで運搬されている。チップは乾燥され、水分 30% のものを 18 円/kg で町が購入している。



図Ⅲ-3-4 M 町のホテルにある 150kW ボイラー

森林の持続的利用の観点から、伐出量は増やせないため、現在パルプ材として伐出している 3,000m<sup>3</sup>/年のうち 1,000m<sup>3</sup> を木質バイオマス利用に転用すると、今後、燃料用木質バイオマスは 1,000 生 t/年の供給が可能である。現在はこの量をベースにして更なる熱利用設備の計画を立てている。



図Ⅲ-3-5 M町の木質バイオマスボイラー設備を備えた中学校

### (3) 岩手県 W 社

岩手県 W 社は製材を営む傍ら、製材残材を利用できる強みを生かし、バイオマス発電会社を設立した。年間に利用する原木は 12 万 m<sup>3</sup> と推定されており、半分の 6 万 m<sup>3</sup> は製材残材、残りの 6 万 m<sup>3</sup> は林地残材を利用する予定である。稼働に向けて丸太を集めており、5,000~10,000m<sup>3</sup> 規模の土場が 3 つ (図Ⅲ-3-6)、3,000m<sup>3</sup> のものがもう 1 カ所ある。トラックスケールの関係で製材工場近くに現在は集めているが、将来的にはバイオマス発電施設の近隣に土場を設け、丸太の貯蔵と乾燥を行う予定である。調査を行った段階ではボイラー等の詳細が明かされていないが、流動層を用いるが、湿った燃料チップに対応したものとする予定のようである (図Ⅲ-3-7)。



図Ⅲ-3-6 岩手県 燃料用バイオマス材の集積所



図Ⅲ-3-7 岩手県 工事中の発電設備

### (4) 島根県 H 市

島根県では、現在 M 火力発電所 (図Ⅲ-3-8) において、石炭と木質バイオマスの混焼発電が行われている。年間の利用量は約 30,000t を見込んでいるが、メンテナンス等により、実質の需要は約 28,000t に落ち着いている。木質バイオマス供給は、素材流

通協同組合が窓口となって管理しており、島根県 H 市等の業者が協定に基づいて燃料用木質チップの供給にあっている。発電所において、ダンパーでの荷下ろしが行われており、運送には通常のコンテナトラックが利用できるようになっている。このほかに、温浴施設等 15 箇所に小型のバイオマスエネルギー熱利用設備が整備されており、製材工場などでは独自にボイラーを設置している所もある。このようにして、島根県では年間 35,000t の林地残材が利用されている。

一方、平成 27 年度の稼働を目指し、県内 2 ヶ所で木質バイオマス発電所の施設整備が始められた。発電規模は 12.7MW と 6.25MW であり、それぞれ年間の燃料消費量を 118,000t と 88,000t と見積もっている。12.7MW の施設では、輸入ヤシ殻 (RPF) も利用予定量に含まれているが、この 2 つの設備の完成時には、島根県全体で 100,000t の木質バイオマスチップが利用される計画である。この供給も素材流通協同組合が各業者と協定を結び、安定供給を実現する予定である。



図Ⅲ-3-8 島根県 M 火力発電所外観

### Ⅲ－４．木質バイオマス供給の実態

本調査では、日本における木質バイオマスエネルギー利用とバイオマス供給について、木質バイオマスの利用を活発に進めている４県において実態調査を行った。それぞれの地域において、木質バイオマスを供給するための独自の取り組みが行われており、品質、量を安定的に確保することが重要視されていた。以下に、各事業体の取り組みについて記述する。

#### Ⅲ－４－１．調査結果

##### (１) 北海道 M 町

本調査では、北海道で独特な木質チップ乾燥システムを利用している M 森林組合を訪れ、木質チップの乾燥システムの調査を行い、乾燥工程を含めた木質チップ供給システムについて考察を行った。

同組合は、堆肥、家畜の敷き藁、暗渠疎水材として根株等を破砕したピンチップを利用していましたが、2010 年秋より、ホテル、中学校という公共施設にバイオマスボイラーを導入し、木質バイオマスを熱エネルギー源として本格的に利用し始めた。木質バイオマスを多く必要とする冬期は、水分の高いチップは凍結して搬送トラブルを引き起こすだけでなく、ボイラーの炉内の温度を下げ、クリンカ形成を誘発するため、大きな問題であった。そこで、雪氷を使った乾燥システムを導入するに至った。

乾燥設備(図Ⅲ-4-1)は面積400m<sup>2</sup>で容量は約1,000m<sup>3</sup>、隣接する保管庫には約600m<sup>3</sup>のチップが保管できる。雪氷(図Ⅲ-4-2)を用いて外気中の水分を結露させ、乾燥した空気を作り出す。保管庫の屋根は太陽光を通過させるため、太陽光の熱エネルギーで保管庫内の空気を暖め、天井で雪氷乾燥システムによって除湿した空気と混ぜて、保管庫の下から噴出させる乾燥システムである。乾燥には化石燃料を利用しないため、木質バイオマス利用のメリットである、CO<sub>2</sub>削減効果を高めている。また、雪氷と太陽光という自然エネルギーを利用するため、乾燥コストが安く抑えられ、木質チップの価格を抑えることができる。現在、年間340tを乾燥、利用している。

木質バイオマス原材料のカラマツは全木集材、トドマツは全幹集材で主に集められる。ハーベスタ、もしくはチェーンソーに



図Ⅲ－４－１ 北海道 チップ乾燥設備



図Ⅲ－４－２ 北海道 融雪防止用チップに覆われた雪氷乾燥用の雪

よる伐採作業の後、主にブルドーザで幹線・土場まで集材する。皆伐時はグラップル集材も行われ、その際は集材路が約 50m 間隔で設置される。短幹集材も一部で行われており、その場合はフォワーダで集材される。集材距離は 500～600m 程度が主流で、一つの土場に 50m<sup>3</sup> ほどの材が集まる。未利用材率は幹材積比でカラマツは 12%から 15%、トドマツは 25%ということである。冬に行われる作業では、土場までブル集材を行っても、枝葉・梢端に土砂の付着が少なく、良質なチップ材となる。

M 町森林組合も作業班を持つが、伐出作業は主に圏内の 4 つの素材生産業者への委託作業である。林地残材の収集には一定の報酬が支払われているが、コストに見合う額の補助金を町が支払っており、現段階では利益をもたらすまでには至って居ない。

上述のような間伐・皆伐によって発生した枝葉・梢端を土場に集積し（図Ⅲ-4-3）、必要な時にトラックで運搬してチップ加工施設にてピンチップを生産する。タブグラインダーは平成 8 年に導入された VermeerTG400（図Ⅲ-4-4）である。

## （２）岩手県 N 組合

本調査では、岩手県にある N 組合を訪れ、3 カ所の素材生産現場を調査した。N 組合は、素材生産業者と木材加工業者をつなぐ役割を果たしている。集材・納材等に関する情報管理や価格交渉、品質管理、代金回収業務をすることで、原木の直送体制を構築し、物流の近代化を進めている。燃料用木質バイオマス流通の取り組みは、これからであるため、原木流通システムの燃料用木質バイオマス流通への応用可能性や、木質バイオマス収集の可能性について聞き取り調査を行った。

岩手県では間伐よりも皆伐の方が圧倒的に多いが、現在、枝葉、末木を利用しているところは少ない。グラップルによる地引集材や、スイングヤーダ集材等、全木集材は可能であるが、プロセッサ造材によって土場等に利用先のない枝葉・末木がたまるため、全幹集材が一般的となっている。なお、岩手における列状間伐は、2 伐 3 残が多く、皆伐の際の再造林率は 25%である。

パルプ用材は密度 0.68m<sup>3</sup>/t として 3,600～4,000 円/t、バイオマス用材はスギで 5,000 円/生 t、カラマツで 6,000 円/生 t である。

調査事業体では、プロセッサやハーベスタによる造材の際に、土場を混乱させる要



図Ⅲ-4-3 北海道 土場に集積されたカラマツ林地残材



図Ⅲ-4-4 北海道 VermeerTG400 タブグラインダー

因となる大量の林地残材の発生を避けるため、皆伐作業地においても全幹集材が採用されていた。

(ア) A社

スイングヤーダ（2胴ウィンチ付きグラップル）での地引全幹上荷集材、グラップル木寄せ、Keto150ハーベスタでの造材という方法で、カラマツ共有林 6.5ha の皆伐施業を行っていた（図Ⅲ-4-5）。50年生の間伐遅れ林で、2人で1日15～18m<sup>3</sup>の生産性である。土場を汚さないように、枝葉はある程度まで林地で払う。バイオマス用材のほうがパルプ用材よりも高く売れるため、パルプ用材の一部をバイオマス用材として10t車を出すようになった。ハーベスタでの造材と材の仕分けを同時に行っている（図Ⅲ-4-6）。オペレータが材の素性を判断し、適切な長さでランクに分けるため、土場での作業がやりやすく、混乱が無いことが一番重要である。枝葉に価値がつくようになり、コストが合うならば、全木集材に切り替えて、枝葉を出材することは容易である。



図Ⅲ-4-5 岩手県 A社カラマツ共有林 皆伐現場と薄く広がる残材



図Ⅲ-4-6 岩手県 A社 プロセッサ造材と仕分け作業

(イ) B社

3人のチェーンソーマンによる伐倒と枝払い、4台のグラップルによる木寄せ、1台のコンラッド社 Woody60ハーベスタによる造材で、40haカラマツ林の皆伐作業を行っていた（図Ⅲ-4-7）。25tトラック（丸太40m<sup>3</sup>積載可能）で石巻まで現場から直接輸送する。トラックが入れない場合はモロオカ 2300 フォワードでトラックが到達可能な土場まで運材を行う。訪問した現場は平坦地であるため、一部では集材路上をハーベスタが走行し、伐倒と造材を行っていた。約1ヶ月で30haの皆伐



図Ⅲ-4-7 B社皆伐現場 ハーベスタによる伐倒と造材によって残材が点在している

が可能である。

#### (ウ) C社

2人で施業を行っている。チェーンソー伐倒、グラップル集材、プロセッサ造材、フォワーダ運材(図Ⅲ-4-8)を行っており、生産性は1日40~50m<sup>3</sup>である。現場は、50年生カラマツ共有林35haの皆伐施業地であった(図Ⅲ-4-9)。800万円のIWAFUJI社のGP-350プロセッサヘッド付きバックホウ、ヤンマー社C80Rフォワーダを利用している。造林も自社で行うが、ハーベスタを利用すると根株の高さが高くなり造林作業に支障が出るため、ハーベスタが利用できる現場でもハーベスタを使うことは無い。

新しい機械は生産性が良いが、エンジン仕様変更されて燃費が悪くなり、グラップルは1日100Lほどの燃料を消費するようになった。また、免税燃料を使っているが、バケットを利用するとその燃料を使えないため、グラップルで道を作っている。



図Ⅲ-4-8 岩手県C社 プロセッサ造材とフォワーダ運材システム



図Ⅲ-4-9 岩手県C社 グラップルが届くように作業道を作設

### (3) 島根県浜田地区

島根県浜田地区では、素材流通協同組合との協定に基づいた燃料用チップ生産・安定供給が行われている。その現況と今後の可能性を明らかにするために、13業者・組合を対象に調査を行った。現在、チップの流通は安定して行われているが、今後のチップ生産量の拡大にあたっての課題について調査を行った。

#### (ア) D社

製材、パルプ用チップ生産、木質バイオマス発電用チップ生産を行っている流通・製材業者である。素材生産を行う関連会社があり、川上から川下までを網羅している。パレット用材を製材する原木1万m<sup>3</sup>は、市場から主に購入しているが、価格と量の不安定さが問題となっている。このため、山で造材した広葉樹は主にパルプ用材、針葉樹は燃料チップ用材としている(図Ⅲ-4-10)。今後は、関連会社と直接取引をして原木を確保する独自ルートを拡大したいと考えている。パルプ用チップは年間12,000t、木質バイオマス発電用チップ(図Ⅲ-4-11)は年間1,000tを生産している。木質バイオマ

ス発電用チップの生産に新規の設備投資はしておらず、既存のパルプ用チッパーで生産している。

また、関連会社からのみであるが、木質バイオマスチップ原料として枝葉も受け入れている。枝葉は、山に近い集積場に破砕型チッパーを導入してチップ加工しており、枝葉の状態では輸送を行っていない。今後、島根県では、林道の整備が進む予定であり、その整備と同時に林道端に土場を確保する計画である。土場には枝葉も集積し、現在と同様、チッパーを移動させて破砕し、枝葉の利用を進めていく方針である。しかし、既存設備のみを利用する計画であるため、年間 2,000t が限界であるということであった。原木の集荷圏は 40km であり、トラック運送は、自社と委託の両方で行っている。製材端材はおが粉にして敷料用に販売し、バークは業者にひきとってもらっている。

森林所有者や素材生産業者にとって、残材の燃料利用は追い風だが、原木の値段上昇は、製材業者の利益を圧迫しかねないことから、製品価格の上昇が望まれる。



図Ⅲ-4-10 島根県 D社 パルプ用広葉樹材（左側）と燃料チップ用針葉樹材（右側）



図Ⅲ-4-11 島根県 D社 製紙用定置式チッパーで生産した燃料用チップ

#### (イ) E社

原木市場であるが、別会社の形で製材工場を持つ。原木の売買だけでなく、製品として付加価値をつけることによって利益を増やそうという試みである。

木質バイオマス発電に関して、現在は林地残材チップを M 発電所に年間 2,200t 納めている。使用機械は Morooka MC2000 タブグラインダー（図Ⅲ-4-12）である。機械価格は 1,600 万円、生産性は 1 日 6 時間稼働で 20t である。原料となる林地残材（D 材、梢端、枝葉）は、取引のある素材生産業者が運賃程度の価格で市場まで持ってくる。長材は、一度グラップルソーで切断してから破砕する（図Ⅲ-4-13）。木質バイオマス発電に対する懸念として、買い取り価格が固定されていることで、原料の値段も一律になってしまう可能性があること、新規需要なので先が読みにくいことをあげている。



図Ⅲ－４－１２ 島根県 E社  
Morooka MC2000 タブグラインダー



図Ⅲ－４－１３ 島根県 E社 タブグラインダー投入用に切断された丸太（手前の丸太は原料ではない）

（ウ）F社

製紙用チップ生産を主体として事業を行っており、木質バイオマス発電所の稼働に合わせて林地残材を用いた発電用チップの生産を始めた。製紙チップは年間約 22,000t、燃料用チップは温泉等小規模需要者も含めて、年間約 6,000t を供給しており、今後稼働予定の木質バイオマス発電のために燃料用チップは 5 割の増産を予定している。

自社の作業班を持ち素材生産を行うと同時に、別会社として素材生産会社も持つ。枝葉は大部分が山に残されているのが現状である。素材生産業者は減っており、増産をするにも素材が出てこないという問題点があるため、今後は残された枝葉も利用して量を確保する必要があるとのことだった。

（エ）G社

素材生産業を営み、素材生産後の根元部分（タンコロ）を木質バイオマス発電用の燃料用チップに加工している。素材生産にはグラップルソー、ユンボ（バックホウ）、フォワーダを利用している。訪れた現場は、スイングヤード等架線系を利用すれば、より安全かつ能率的に生産できると思われたが、機械が高額なため、スイングヤードやプロセッサ等の購入は見送っている。チッ



図Ⅲ－４－１４ 島根県 G社 作業道端に集められた根元部分

パーは Vermeer HG200 を利用しており、根元部分は太いため割ってから投入する必要があり、生産性は時間当たり 1~2t である。M 発電所に年間 1,200t を納入している。作業道端に集められた根元部分（図Ⅲ-4-14）を 4t コンテナ車に積み込むが、個々をつまむ必要があるため、手間がかかる。コンテナを林道端に置いてその中に根元部分を投入する方法を考えているが、4t サイズのコンテナは 2t 程度しか積載することができず、すぐに満杯となり、複数個必要になるのがネックとなっている。

#### （オ）H 社

架線集材がメインの素材生産、製材、パルプ用チップ生産を行う会社である。スギ、ヒノキ林は島根県では少ないため、広葉樹（主にパルプ材となる）とマツを主な対象としている。木質バイオマス発電によって需要が増えれば、スギやヒノキも取り扱っていく予定である。立木購入が多く、自社から 40~50km 圏内で作業を行っている。

M 発電所に年間約 2,500 トンのチップを納めている。枝葉、根元部分（タンコロ）、梢端を燃料にしており、チップパーは Morooka MC2000 である。チップパーの生産能力には余裕があるが、クレーン付きコンテナ車で枝葉、根元部分（タンコロ）、梢端を集めることには限界があると感じており、新規の木質バイオマス発電はビジネスチャンスであるものの、燃料チップの生産量は 3 倍程度までが無理のない範囲だと考えている。一方、燃料チップは端材を利用して生産するため、木材製品の需要が上昇すれば、無理なく燃料チップの増産が可能である。

#### （カ）I 社

木材集荷・選別・製材を行っている。会社は広島県に所在しているが、島根県との県境に位置しているため、島根県からの材も多く取り扱っている。工場では、主にスギの集成材用ラミナを製材しており、規格外のものは他社へ販売している。

加工量を増やしたいものの、原木の供給が追い付いておらず、原木収集に困難を感じている。この工場では、月 5,000m<sup>3</sup> の原木を消費している。冬は、素材生産業がストップする時期であるため入荷量が減り、現在の貯木量は十分とはいえない。

製材工場から出る製材残材のうち、バークは堆肥用に、背板チップは製紙用に販売しており、おが粉は I 社の本社にある木質バイオマス発電用として利用されている。

#### （キ）J 社

マツ材が 3 割を占める共販所であり、年間 4 万 m<sup>3</sup> の材を取り扱っている（図Ⅲ-4-15）。間伐材と皆伐材の割合が半分半分であるため、他の市場と比較して燃料用チップ材となる間伐材の量は少ないが、スギとヒノキの小径木から燃料チップを生産するチップ工場を建設する予定である。しかし、市場の性質上、入荷者全員について未利用材の認証を行わなければならないため、事務手続きの関係で人を 1 人雇う必要があると感じている。同様に、現在増加している大型の製材工場などは JAS 規格等の認証により付加価値を高めているため、丸太についても合法証明が必要不可欠になると考えてお

り、この事業所では入荷者の 60%に合法証明を取得してもらうことに成功しているが、残りの 40%の多くは合法証明を取得しても目に見えたメリットがないという理由から取得には至っていない。

燃料チップは、加工の手間が余分にかかるため、チップ材の価格よりも高くならなければ採算が取れない。そのため、価格の動向に注意を向けている。

前出の I 社と地理的に近く、材の取り扱い量は、I 社の工場ができてから頭打ちとなっており、原木収集の面で競合している。



図Ⅲ－４－１５ 島根県 J 社 手前に 6m のマツ材がある

#### (ク) K 組合

当該森林組合は、チェーンソーとグラップルによる間伐施業だけでなく、造林事業を主眼においた架線集材による皆伐施業も行っている。造林事業は、年間 20～30ha 行っている。平成 24 年度には、建築用材を約 4,100m<sup>3</sup> 生産するとともに、毎月、広葉樹 290t、スギ 70t、マツ 20t 程度のパルプ用チップを生産した。また、スギとヒノキの間伐材(C 材)から年間 2,200t の燃料用チップを生産している。燃料用チップの生産には日立 2410、Vermeer4000 チッパーを使用している。菌床用のおが粉も生産しているため、おが粉用に細い枝も収穫しているが、おが粉に適さない葉のついた枝は燃料用としても利用していない。根元部分(タンコロ)も未利用である。木質バイオマス需要が今後高まった場合は利用する予定である。また、材の取り扱い量を 3 倍にする目標を立てている。

#### (ケ) L 社

以前は、素材生産現場からの丸太輸送を行っていたが、市場からの丸太輸送も手掛けるようになった。従業員は 27 人、トラックは 25～26 台所持しており、車の修理工場も所有している。近年、燃料チップの輸送も請け負うようになり、ダンプ車、スライドデッキ車を利用している。月に延べ 500 台分の運送を行っている。現在は、燃料チップを輸送する方が多く、チップ生産業者からの依頼で年間 6,000t を運搬している。ラジアータパインチップは年間 3,000～5,000t、RPF 燃料も年間 40,000t 運搬している。

#### (コ) M 社

バーク堆肥の生産を主に行っているチップ生産業者である。ピーク時は、バーク堆肥を年間約 20,000t 生産していたが、現在は 15,000～16,000t に落ち着いている。堆肥原料としてバークを 25000t 集めており、一部は燃料、緑化用吹き付け材、家畜の敷料などにも利用している。パルプ用チップは年間 5,000t、燃料用チップも年間 2,400t

を生産している。燃料用チップは、切削式のチップパーを用いてスギの間伐材丸太から1,800t、広葉樹の枝葉から600tを生産しており(図Ⅲ-4-16)、自社の10tダンプ車を利用して、森林組合から原料を集めている。製材残材は、コンテナとアームロール車の組み合わせを用いて、定期的に回収するシステムを作っている。一方、固定価格買取制度の発電買取単価が低いため、製材端材は燃料用チップとしての人気がなく、引き取り手が少ないという現状にある。木質バイオマス発電プラントの稼働に合わせて、燃料用チップは年間10,400t生産する予定である。チップパーは、移動式破砕型を4台と切削型を1台所有している。



図Ⅲ-4-16 島根県M社 パルプチップ生産工場と燃料チップ用針葉樹材

#### (サ) N社

1班(3人)の作業班を持つ素材生産業である。国有林主体に作業を行っており、林地残材を持ち出すための人員が不足しており、他社に林地残材の搬出を依頼することもできないため、残材を運び出して燃料利用することはしていない。

#### (シ) O組合

島根県の合板工場への原木と、火力発電所への木質バイオマスチップを安定的に供給するための流通を管理している組合である。素材生産業16社、森林組合5社、原木市場2社が所属しており、各事業体と協定を結んで安定供給実現の窓口となっている。今後設立予定の2つの発電所についても、チップの安定供給管理を行う予定である。

### Ⅲ－４－２．小括

#### (1) 取引価格

表Ⅲ-4-1 に本調査によって得られた取引価格情報をまとめた。単位と製品が異なっているため、単純に比較する事はむずかしいが、水分が低いことを考慮しても、北海道の燃料用チップの値段は他県に比べて高い。これには、補助金の多寡が関係していると思われる。岩手県では、パルプ用材よりも燃料チップ用材の価格が高くなっており、燃料チップと製紙用チップとの間で競合が発生していると考えられる。すでに、パルプ用材を燃料チップ用材に流用している業者も見受けられ、木質バイオマスエネルギー利用の推進が、既存利用へ影響を及ぼす可能性が高いと考えられる。島根県の燃料用チップ用材と製紙用チップ用材の価格を比較すると、ほぼ同程度となっている。この地域では、製紙利用向けの丸太需要が大きいいため、現状では、パルプ用材の値段以上には燃料チップ用材の値段を上げられない状況にある。しかし、燃料用チップは、これから需要量が増加するため、価格が上がることが予想される。燃料用チップ価格の上昇を丸太価格の値上がりにつなげることによって、素材生産事業者の出材意欲を高める必要がある。

今後の燃料用チップの需要拡大には、素材生産量の増加なくしては対応できないことから、新規参入者を増やすとともに、各事業者の生産性を大幅に向上させる必要がある。その際、新規参入者が林業に魅力を感じられるような林業収入にしていく必要がある。なお、地域の素材生産量が増加しなかった場合、燃料用チップ供給を拡大するために、今まで製材・合板用材やパルプ用材として利用されていたものを燃料用チップ材にせざるを得ないという見解が多く示された。これまでの用材生産量を維持しつつ、燃料用チップ生産を拡大させるためには、燃料用チップ生産でもある程度採算がとれるように、生産性の向上によってコスト削減を進める必要がある。

表Ⅲ－４－１ 取引価格一覧

北海道	燃料用チップ	18,000 円/t(30%以下の水分)
岩手県	燃料用チップ用材	5,000～6,000 円/生 t
	パルプ用材	3,600～4,000 円/生 t
島根県	燃料用チップ用材	3,000 円/m <sup>3</sup>
	燃料用チップ枝葉	3,000～3,500 円/生 t、 もしくは運賃程度
	燃料用チップ	8,000 円/t 前後（水分 55%以下）
	製紙用チップ用材	2,500～3,500 円/m <sup>3</sup>
	製紙用チップ	6,000～6,500 円/生 t

#### (2) 燃料用チップの供給システム

燃料用チップを乾燥させる工程は、北海道の例のように自然エネルギーを用い、収

集範囲が狭い場合、低コストで燃料用チップの品質を高めることができるため有用であると考えられる。自然エネルギーを用いるほか、プラントや工場から出た廃熱を利用して乾燥する方法も考えられる。一方、乾燥方法には丸太の状態です場に放置する自然乾燥や、林地での葉枯らし乾燥もある。乾燥工程は、時間と場所を要し、バイオマスの積み降ろし工程を1つ増加させるため、経済性評価が今後の課題である。

木質バイオマス供給は、今回の調査では、ほとんどの事業者が丸太の状態です搬し、土場や工場においてチップ加工する方法を実行していた。一方、架線集材による素材生産業者は、枝葉の収集に手間がかからないため、現場で林地残材を破砕することの利点について理解しつつも、高性能チップャーがないことや、路網が整備されておらず適切な輸送システムがないことから実現には至っていなかった。

これから大量の燃料用チップ供給が必要であることを考えると、土場を貯木場の代わりに使い、林地残材を現場で破砕する必要が出てくると考えられる。これに対しては、公道を走行できるチップャートラックやチップャートラクタの速やかな導入が求められる。また、皆伐の増加が予想されるため、造林事業との連携は重要な課題であると考えられる。

木質バイオマスの収集利用を行っている地域と未経験の地域では、収集工程に対する意識に差が感じられた。未経験の地域では、安定供給に対する不安の声はあまりなかったのに対し、収集を経験している地域では、要求される量を確保し、安定して生産できるかどうか不安を感じており、自身の生産能力以下の、確実に生産できる量での供給を考えているところが多かった。これは、収集を経験している地域では、根張り等の短尺材はグラップルでつかみにくいことや、枝葉は運搬効率が低いため運搬回数を増やす必要があることなどを熟知しているため、未経験地域と意識の相違があるためと考えられる。実際の作業の煩雑さ、あるいは、非効率的な作業に伴う倦怠感オペレータのやる気をそぐため、作業の効率化は重要な課題である。

#### 参考文献

NPO 全国木材資源リサイクル協会連合会 (2008) 木材バイオマス需給調査結果の概要、建設リサイクル vol143