

欧州における木質バイオマス利用システムの 現状と動向に関する現地調査



平成19年 4月

農林水産省農林水産技術会議事務局
技 術 政 策 課

(表紙の写真)

残材を大型チップパーから、チップ輸送トラックへの積載作業。(P12②図参照)

目 次

I	調査の概要	1
1	調査目的	1
2	調査内容	1
3	調査国及び調査対象機関	1
4	調査期間	2
5	調査実施者	2
II	調査結果	3
1	オーストリアとフィンランドの森林事情	3
	注) 【 】は調査のポイント	
2	オーストリアにおけるバイオマス利用の現状とその拡大の背景	3
(1)	オーストリア農林水資源省	
	【オーストリアの森林管理体制と森林所有形態の特徴】	3
(2)	オーストリアバイオマス協会	
	【エネルギー需要と供給の現状】	4
(3)	エネルギー庁	
	【熱供給システムとそれにかかるボイラー開発の変遷】	4
(4)	ポリテクニク社	
	【高効率ボイラー開発と地域熱供給への適用例】	5
(5)	バイオマス物流・技術研究所 (BLT : Biomass Logistics Technology)	
	【品質を確保するボイラー検査業務の現状】	6
(6)	RZペレッツ社	
	【製材所残材の利用システム】	6
(7)	農業会議所林業部	
	【燃料生産も考慮した木材生産】	7
(8)	クロスターノイブルク修道院林業会社	
	【木質バイオマスのエネルギー利用例】	8

3	フィンランドにおける調査結果	8
	(1) フィンランド森林研究所	
	【新たな木質バイオマス資源の利用】	8
	(2) スルミヤルヴィ・エネルギー公社熱供給プラント	
	【地域熱供給システム】	9
	(3) ビオワッティ社	
	【チップング現場の現状】	10
	(4) フィンランド林産業協会	
	【立地等に応じた様々なバイオマスチップ化、供給システム】	11
	(5) 労働効率研究所	
	【効率的な木材伐出技術の開発】	14
III	調査結果のまとめ	16
	(1) 欧州における木質バイオマスの地域利用拡大の実態から導かれる 日本の課題	16
	① 欧州においてエネルギー利用が普及している要因と日本の課題 について	16
	② マテリアル利用との競合の実態について	17
	(2) 木質バイオマスの液体燃料化に関する最新動向	17
IV	引用文献	18
V	海外調査資料既刊一覧	19

I 調査の概要

1 調査目的

2006年3月にバイオマスニッポン総合戦略が改定され、バイオマス輸送用燃料の利用促進、林地残材等の未利用バイオマスを活用したバイオマスタウン構築の加速化などが目標として掲げられた。バイオマス利活用技術については、地域で効率的に利用できる小規模分散型システムの開発導入や、活用の進んでいない木質バイオマスのエネルギー利用拡大に向けた技術開発が必要とされている。

欧州では、木質バイオマスのエネルギー利用が進み、フィンランドでは、一次エネルギーの約5分の1が木質エネルギーとなっており、また、オーストリアは、一人当りの木質エネルギー消費量は、欧州第4位だが、林業の経営形態が小規模で、わが国に適用しやすいものとなっている。そこで、本調査では、我が国における、未利用系木質バイオマスの利用拡大に向けた効率的な、林地残材等の収集・運搬からエネルギー利用に関する技術開発の方向性を検討するため、木質バイオマス利用の先進国であるオーストリアおよびフィンランドにおけるバイオマス利用の現状と問題点および、その解決に向けた技術開発についての情報収集を実施した。

2 調査内容

木質バイオマスのエネルギー利用の先進国であるオーストリアおよびフィンランドにおける木質バイオマスの収集・運搬からエネルギー利用に関する技術開発を調査する。

(1) 欧州の林業国における森林・林業の現状

- ① オーストリアの森林・林業
- ② フィンランドの森林・林業

(2) 欧州の木質バイオマス利用の現状とその拡大の背景

- ① オーストリアにおける利用の現状
- ② フィンランドにおける利用の現状

3 調査国及び調査対象機関

(1) オーストリア (Austria)

- ① 農林環境水資源省
(Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water management)
- ② オーストリアバイオマス協会 (Austrian Biomass Association)
- ③ オーストリア農業会議所林業部
(Forest owners association, Austrian Chamber of Agriculture)
- ④ オーストリアエネルギー庁 (Austrian Energy Agency)

- ⑤ クロスターノイブルク修道院林業会社 (Klosterneuburg Monastery)
 - ⑥ バイオマス物流・技術研究所 (Biomass Logistics Technology Institute)
 - ⑦ RZペレッツ社 (RZ Pellets)
 - ⑧ ポリテクニク社 (Polytechnik)
- (2) フィンランド (Finland)
- ① フィンランド森林研究所 (Finnish Forest Research Institute)
 - ② 労働効率研究所 (Working efficiency Institute)
 - ③ ヌルミヤルヴィ・エネルギー公社熱供給プラント
 - ④ ビオワッティ社 (Biowatti)
 - ⑤ フィンランド林産業協会 (R & D in Forest Operation)

4 調査期間

平成18年12月12日(火)～21日(木) 10日間

5 調査実施者

農林水産省農林水産技術会議事務局

研究調査官 山中 高史

独立行政法人森林総合研究所

主任研究員 久保山 裕史

II 調査結果

1. オーストリアとフィンランドの森林事情

今回調査した、オーストリアおよびフィンランドの森林林業の現状については、表1にまとめた。比較としてわが国の値も併記した。

オーストリアおよびフィンランドの森林面積割合は、いずれも、欧州の平均38%に比べて高い。森林の増加量に対する伐採量の割合を見ると、日本では25%、つまり森林の増加量の4分の1を収穫しているのみであるのに比べて高い。

表1 オーストリアおよびフィンランドと日本の森林・林業の比較

	オーストリア	フィンランド	日本
人口(万人)	820	520	12,700
国土面積(万km ²)	8.4	30.5	37.8
森林面積(万km ²)	4.0	26.3	25.1
森林面積割合(%)	47.2	86.3	66.4
樹種 (日本では民有林における値)	針葉樹67% 広葉樹24%	針葉樹90% 広葉樹10%	針葉樹86% 広葉樹14%
所有形態	民有林82% 公有林18%	民有林60% 公有林34%	民有林57% 公有林42%
年間伐採量(万m ³) (年間増加量に占める割合)	1900 (38%)	6730 (70%)	2600 (25%)

林業に関する両国の違

いは、オーストリアにおいては経営規模の小さな林業が発達し、逆にフィンランドは、林業の大規模化が進展していることにある。これは、オーストリアでは森林が、山岳地域を中心に成立しており、大規模化が困難であること、逆に、フィンランドの森林がなだらかな平地の上で成立しており、大型機械が導入しやすいことに起因する。また、森林の年間成長量はオーストリアの方がフィンランドよりも多い。これは、オーストリアのほうが、フィンランドよりも温暖であるからである。したがってオーストリアの林業は、小規模であっても、生産性が高く経済面的に成立しているのである。

以下に、木質バイオマス利用の現状についての調査結果を国別に記述する。

2. オーストリアにおけるバイオマス利用の現状とその拡大の背景

(1) オーストリア農林環境水資源省 【オーストリアの森林管理体制と森林所有形態の特徴】

オーストリア農林環境水資源省は、連邦政府の省で分野別に7つの部局とそれを統括する局の8部局からなる。その中で、森林は第4部局であり、その局の中に5つのセクション(森林管理政策、林業訓練、森林資源、森林地域計画、雪崩・土砂災害管理)がある。ここでは、オーストリアの森林および林業の形態について説明を受けた。

オーストリアの森林は、利用や保全など多目的に管理されており、地域の森林官が現地踏査して、対象林分が果たすべき目的を決定している。連邦が定めた森林の管理などに関する法律は、州が実行し、その他、州独自の自然保護や狩猟法がある。そうした管理体制の下で、最新の国家森林計画を2005年にスタートさせた。これは、政策対話を基調とし、市民を含む幅広い各利害関係者の間で意思疎通が図られるよう行政が努力する方針となっており、さらに、EUや多国間との連携も重視している。

森林所有者は、所有面積にして200ha未満が54%と多い。所有形態別の伐採率(伐採量/純成長量)は、連邦所有林では45%、1000ha以上の私有林では49%に達しているが、200ha以下の私有林では32%にとどまっており、小規模私有林における伐採率が低い。この背景には、①財産保持、②教育不足、③材価低迷、④農業や他産業収入が主である等の要因が指摘されている。一方、オーストリア国内外に大型製材工場新設が相次いだことから、現在約900万m³の丸太輸入は減少の見通しであり、バイオマ

ス収集量拡大の必要性とあわせて、小規模所有者の伐採量拡大が大きな課題となっている。

(2) オーストリアバイオマス協会 【エネルギー需要と供給の現状】

オーストリアバイオマス協会は、オーストリア経済を環境重視型にすることを目標として 10 年前に設立された。主な取り組みとしては、新エネルギーを地方に普及させてそれによる経済効果を地方にも波及させることや、化石エネルギーに税金をかけるための働きかけなどがある。協会員は、1000 余りの個人と 300 の企業からなる。具体的な協会の取り組みは、配管や煙突などの建設業者向けや、学校・自治体トップや建築家向けの 2 種類のバイオマスエネルギーセミナーの実施などがある。前者については、国の認定と連携しており、建築配管業界労働者の 20%が受講し、認定を取得している。その有効期間は 3 年間であり、5 台/年以上の導入実績が更新には必要とされる。また、小規模な地域熱供給事業立ち上げのバックアップやバイオマス関連事業体のネットワークづくりをバックアップしている。ここでは、欧州におけるエネルギー需要と供給の現状と将来見通しを中心に聞き取りを実施した。

オーストリアは、一次エネルギー生産量のうち 23%は再生可能エネルギーによって供給されている。その 44%は水力であり、残りはバイオマスである。さらに、木質バイオマスはバイオマスエネルギーの 70%を占めている。さらに、オーストリアでは、2010 年までに毎年再生可能エネルギーの割合を 1%増加させるという目標を立てている。このうちの四分之三を、バイオマス利用によることを見込んでいる。

オーストリアの一人あたり木質エネルギー消費量は、EU 内で、フィンランド、スウェーデン、ラトビアに続いて第 4 位である。このように、オーストリアはエコ・エネルギーの先進国であり、3 万人の雇用が創出されている。ボイラーメーカーの出荷額は EU で 1 位となっている（生産量の 70%は輸取向け）。その背景には、1) 10 数年前には大企業がなく新規参入が容易であった、2) 排ガス基準をいち早く厳しくし高品質ボイラー検査所の整備を進めた、3) 燃料の標準化によって燃料・ボイラー双方の質が向上したこと等があげられる。木質バイオマス利用の増加に伴って、製材工場の鉋屑価格は 4 倍に、ペレット価格も 2 倍に値上がりした。後者については、年生産量の倍増によって対応する予定である。

(3) エネルギー庁 【熱供給システムとそれにかかるボイラー開発の変遷】

エネルギー庁は 1977 年に設立され、オーストリアのエネルギー研究や政策機関であり、連邦政府や州政府および、経済界の様々な分野からの 50 の主要な協会や組合と連携している。現在、予算は約 6 億ユーロである。ここでは、欧州における木質バイオマスからの熱供給システムおよびボイラー開発の変遷について説明を受けた。

木質バイオマスのエネルギー利用システム開発においては、5 つの段階があった。1 つ目は、1950 年代の林産企業（工場）用のエネルギー供給であり、2 つめは、1980 年代以降の地方の集落や町の地域熱供給、3 つ目は 1992 年以降の中規模バイオマス熱供給（公共施設、基幹集落）、さらに 4 つ目は 1995 年以降の個別住宅へのペレ



写真1 バークチップ

ット熱供給である。そして、2003年以降、五つ目として、大規模電熱併給が加わった。

樹皮から生産したバークチップ（写真1）は、1988年頃にはほとんど消費されなかった。これは、当時の小規模ボイラーには、高品質の燃料が必要であり、バークチップは、サイズが大きいため投入口でつまること、また、乾燥が不十分の、含水率が高いチップでは不完全燃焼し、さらには灰分や泥が多いことなどの問題があったからである。しかし、その後、ボイラーの性能も向上し、自動熱供給装置の発達等もあって、バークチップの消費量も急増している。



写真2 燃料ペレット

ペレットボイラーは、10～30kWのものが一般的である。ペレット燃料（写真2）は、ボイラーの下から供給するする型が主流となっており、ペレットは定期的に納入業者がサイロへ補充しそこから自動的に供給される。なお、次世代のボイラー開発が進められており、自動灰洗浄・圧縮機能が付属している。

2002年に施行されたグリーン電力法の影響で、木質バイオマス発電電力量は近年増加している。これは、バイオマス由来のグリーン電力の価格が高く買い支えられているためである。これによって発電用木質バイオマスの需要は100万m³から600万m³弱にまで増加する見通しである。

以上のような木質バイオマスのエネルギー利用拡大の結果、エネルギー向けの木材需要は2000年の1100万m³から2006年には1800万m³（薪等800万m³、林産残材推定780万m³、林地残材等推定220万m³：後2者は2004年のバイオエネルギーの内訳から配分した）し、2008年には2000万m³を越える見通しである。自家消費を含んだ薪の需要は800万m³弱で漸減しているのに対して、ペレットや地域熱供給用途は300万m³前後から約600万m³に倍増し、大規模コージェネ向けは約100万m³から400万m³前後へと4倍増している。

（4）ポリテクニク社 【高効率ボイラー開発と地域熱供給への適用例】

ポリテクニク社は、ウイーン南西の町バイセンバッハ（Weissenbach）にある木質バイオマスを活用したボイラーを製造するメーカーであり、単に製品を販売するだけでなく、システムも併せてユーザーに提供し、世界各地に製品を輸出している。最近では、農業残材（オリーブ種、ココナッツ殻）利用のボイラーの注文も出てきている。ここでは、ポリテクニク社がユーザーに提供する熱供給システムについて説明を受けた後、ポリテクニク社ボイラーによるバイオマス熱供給システムを稼働させているプラントを訪問した。

地域熱供給の一般的パターンとしては、森林所有者や農家が集まってエネルギー事業組合を設立しているものが多い。この組合が機械を共同購入し、組合員である農林家が自己所有のトラクターや共同所有のチップャーを使って燃料チップを供給している。組合では、製材工場のバークや鋸屑の収集も行っており、一方で、ユーザーの来年の需要をとりまとめて事業計画を立てている。こうした組合は、素材生産で活躍している森林所有者協同組合とは別に設立されている。

①事例 1：バイセンバッハ近くの集落ファルス（Furth）にある熱供給組合プラント

8年前に40万ユーロの800kWボイラーを導入した。導入に際しては、費用の52%を、連邦政府や欧州共同体からの補助金で賄った。40戸に熱供給を行っている。組合員は、道端に積んで、含水率25～35%に乾燥させたチップを持ち込み（写真3）、トラック等の荷姿（容積m³単位）で代金を受け取っている。プラントは、週1回管理員が巡回している以外は基本的に無人であるが、燃料在庫はモニターカメラで随時監視されている。プラントの掃除は、3～6カ月に1回であり、灰出しは1～2カ月に1回必要となる程度である。



写真3 サイロの投入口から見たチップの山

②事例 2：ニーダーエステライヒ州都サント・ペルテン近郊の町マンク（Mank）にあるニーダーエステライヒ・エネルギー供給会社のプラント

1500kWのボイラー2基を用いて温水を生産し、パイプライン7～8kmで330戸に熱供給を行っている。昼間は、農林家等が搬入してくる燃料を管理員1名が駐在して燃料管理している。メンテナンスコストは最初の1～2年はほとんどかからないが、その後は設備費の1～1.5%程度である。定期点検をしないと5年くらいでトラブルが発生する可能性があるが、ほとんどは設計仕様と異なる燃料の使用を開始したことが原因となっている。

（5）バイオマス物流・技術研究所（BLT：Biomass Logistics Technology） 【品質を確保するボイラー検査業務の現状】

1948年に農林環境水資源省の下に設立された。当初は、農林業機械の安全性検査が主要な業務であった。現在は、ボイラーの安全性の検査業務も実施している。研究所には、8人の研究者および8人の技術者を含む、45人のスタッフがおり、専門学校も併設されている。オイルショックを契機として1973年以降には、代替エネルギーや植物潤滑油の開発を行った。これと同時に、木材による熱供給試験を開始した。1979年には、わらの燃焼試験を行ったが、灰分多く、また、化学物質の含有量も多く不調に終わった（写真4）。



写真4 BLTのボイラー検査棟内部

（6）RZペレッツ社 【製材所残材の利用システム】

ウイーンの西150kmに位置するイプスには、ストラエンソ社の製材所に隣接して、RZペレッツ社のペレット製造工場と電熱併給プラントが設置されている（写真5）。ストラエンソ社は欧州3大木材

企業の一つである。この製材所では、約 120 万 m³ の原木を消費しており、その残材が利用されている。今回、製材所残材の利用システムについての説明を受けた。ペレット製造の原料は鋸屑やかんな屑であり、湿った鋸屑はサイロから出た後に乾燥される。この後、乾燥状態で供給された原料とともにハンマーミルで再び粉碎され、補材を混合し、ペレタイザーで成型されている。ペレット工場の従業員は 3 シフトにもかかわらず 10 人と少ないが、年生産量は 7～7.5 万トンに達する。生産されたペレットのうち、1/3 は 15 kg 入りの袋に詰められて出荷されている。残りの 2/3 は専用タンクローリーに積み重ねて配送されている（写真 6）。製品の品質は 1 時間ごとにチェックしている。一方、電熱併給プラントへは、バーク、湿った鋸屑、および乾燥した鋸屑やかんな屑が 3 本のコンベアーで供給され、それぞれ 2000m³ のサイロにいったんストックされる。バークは、含水率や灰分が高いのでボイラー燃料として利用されており、電熱併給を行っている。ボイラーは全部で 4 基あり、10MW が 3 基、8MW が 1 基となっている。これらによって、生まれた 25 気圧、28t/h の蒸気がタービンを回して、4.8MW の発電、地域熱供給用の温水 20MW が供給される。



写真 5 エネルギー工場遠望



写真 6 ペレット輸送専用タンクローリー

（7）農業会議所林業部 【燃料生産も考慮した木材生産】

農業会議所林業部は、森林所有者が所属し、所有者の権利を守り、地位向上を目指すための技術の広報普及を行っている。ここでは、近年の燃料需要に応じた新たな収穫技術の現状などを調査した。

燃材需要は 3.6～3.8 万 m³ あり、針葉樹が主で広葉樹も含めて近年増加している。収穫量は、細い小径木も利用する新たな収穫システムが進み、河畔林等からの供給も含め 200～300 万 m³ 増加し、500 万 m³ を超していると思われる。枝条については、地域・土壌・土地条件の悪いところでは林内に残置している。伝統的な燃材市場（30～100cm に割った薪の消費）は減少しつつある一方で、小～大規模ボイラー向けの燃料チップの生産が増加しており、2007～2008 年にピークを迎えるものと見られている。

3～5 年伐期の短伐期林（ポプラやヤナギの萌芽更新施業）は東部において農地に展開しつつあるが、農産物価格との競争次第で土地利用は変動する。林地残材と同様に、道端でチップ化して輸送するのが一般的である。また、燃材供給が増加に転じていることを NGO や環境保護団体は、化石燃料の利用減少につながるとして歓迎している。

基本的に燃材生産は製材生産との結合生産が主体となっている。つまり、木質バイオマス生産拡大のためには伐採量を増やす必要があり、そのためには小規模林家の林業活性化が非常に重要である。これ

を実現するには、良好な価格、助言および実行管理体制（小規模林家からの供給をまとめて需用者に取り次ぐシステム）が重要であり、この点において森林所有者協同組合は重要な役割を果たしている。協同組合への加入者は設立から 30 年前後たった今も増加しており、素材生産量も 300 万 m³ 以上へと増加している。協同組合は、加入脱退が自由であり、設立時に 7 年間補助金支給がある他は素材販売収入に対して 2~3 ユーロ/m³ 課金される手数料で運営されている。加入者が経営する森林面積は個人所有林の三分の一を占めている。

（８）クロスターノイブルグ修道院林業会社 【木質バイオマスのエネルギー利用例】

本修道院(写真7)は900年以上前に設立され、8000haの森林を所有している。その森林は、修道院組織内の会社によって管理されている。この会社は、社長1名、林業士4名、林業士補3名からなっている。ここで伐採された木のうち、幹は製材用材として利用し、枝はパルプ材、細枝を燃材として利用している。

燃材は半年~2年程度道端に寝かせて乾燥させ(写真8)、チップ化する場合には、チップパーがきてコンテナに積載後プラントに搬送している。

修道院地下に熱電供給プラントを設置しており、地域熱供給事業も行っている。400万ユーロの費用をかけ、2.5MWのバイオマスボイラー、220kWのORC(organic rankine cycle)発電(蒸気発電ではなく、有機媒体を用いて発電させる。有機媒体としてはシリコンオイルを用いる。水蒸気発電よりも低温でも発電可能)を併設した1.5MWのバイオマスボイラー、および5MWのガスボイラーを建設し、年間17000MWhのエネルギー供給を行っている。300mの総熱パイプで市の中心街に熱供給を行っている。熱は、50ユーロ/MWh、電気は150ユーロ/MWhで販売している。

燃料として、チップ1万m³、バーク1.6万m³を混ぜて使っている。バークの含水率は50%と高いので温度を上げるときはチップを増やしている。製材工場に丸太を運んだ帰り荷でバークを持ち帰るといった効率的な物流を行っている。



写真7 クロスターノイブルグ修道院
(赤屋根の棟の地下にバイオマスボイラー)



写真8 修道院有林の林道脇で乾燥される枝条

3. フィンランドにおける調査結果

（１）フィンランド森林研究所 【新たな木質バイオマス資源の利用】

フィンランド森林研究所は、研究開発を通じて、森林や林業の持続的発展を増進させることを目的と

している。研究課題は、森林多様性、多面的利用、林業政策などの、25の問題解決型の分野別研究と、泥炭地利用、気候変動下での生態系機能や利用などの横断型研究がある。予算は、4000万ユーロで、そのうちの七割は農林省からの交付金であり、残りは、他省や、財団、民間からの資金である。ここでは、フィンランドにおける林業の形態、森林バイオマス資源量、およびバイオマス資源生産、収集の現状についての説明を受けた。

フィンランドにおける林業経営において、伐採計画の策定や造林を行っているのは、個人所有者や森林管理会社、購入者（素材生産事業体）である。個人の森林所有規模は、面積割合で見ると20ha以下は20%にすぎず、比較的所有規模は大きいといえる。

一般的に、林地残材の持ち出しは、地味が肥えているスプルース林では大丈夫だが、貧栄養地であるパイン林では場所によって不可である。初回保育間伐は15～30年の間に行われ、80～100年生で主伐されるまでに収入間伐は2回前後行われている。バイオマス生産量の拡大のため、これまで保育間伐で林内に放置されていた材の収穫が開始されている。

主伐林分の林地残材と伐根は最も重要な森林バイオマス供給源であるが、若齢間伐林分における小径木利用も増加している。小径木間伐材の利点としては、未利用である、チップの汚れが少ない、保育に役立つ、雇用・収入の増加があげられる。一方、間伐材の欠点には、高いコスト、低い立木価格、地力の減退があげられる。

小径木の伐倒は、75%が小型ハーベスタによる全木集材で行われており、平均コストは12～20ユーロ/m³である。集材は、6～10m³積みの集材機械であるフォワーダ（写真9）で、または伐倒・集材の多機能機械であるハーワーダで、4～6ユーロ/m³で行われている。道端や土場などに積んで乾燥させておいたものをチップトラックが処理するのが一般的である。中継基地でチップ化する、あるいは発電所で粉碎を行う場合もあり、粉碎コストは2～6ユーロ/m³である。



写真9 残材圧縮機能の付いたフォワーダ

（2）ヌルミヤルヴィ・エネルギー公社熱供給プラント 【地域熱供給システム】

2002年に設立された熱供給公社である。燃料に関しては、チップ生産事業体（後述のビオワッティ（Biowatti）社もその一つ）が供給しており、モニターを通してチップの在庫をチェックし、適宜配送している。プラントサイロ（写真10）に



写真10 プラントサイロ（投入口は3つ）

はトラックスケール（写真11）があり、自動的に重量と含水率が集計されるようになっている。燃料

サイロ（写真12）は、3つに仕切られていて、ひとつの容量が200m³となっており、種類の違う燃料を混合しながら利用できるようになっていいる。ここでは、温水による熱供給のみを行っている。

2002年に設立したときのプラントの建設費は300万ユーロであり、これとは別に配管敷設費用100~200ユーロ/mが投じられている。原燃料コストは16ユーロ/MWhに対して、熱販売価格は45ユーロ/MWhとしている。価格設定は、コストベースで行っているが、地域の独占企業なので価格は低位安定するように算定しており、化石燃料価格が上昇するほどユーザーのメリットは拡大する。なお、プラントは通常は無人運転となっており、職員6人で3つのプラントを管理している。

（3）ビオワッティ社 【チップング現場の現状】

1994年に3大林産企業であるメツァリートグループの子会社として創設された木質バイオマスの総物流企業である。現在はLassila & Tikanojaの子会社となっている。地域熱供給事業体への燃料チップ供給が主な業務であるが、ボード産業への原料供給も行っており、林産企業の残材チップや森林系チップも取り扱っている。ここでは、土場残材のチップング現場を視察した。

林地残材は、トラックの入れる土場等に積み上げて、乾燥させる（写真13）。また、残材収集は皆伐が主体であり、肥沃地に成立するスプルーシ林に限っている。西部では伐根の採集が行われているが、南部ではこれからである。

チップング現場では、35m³コンテナを3個、計105m³積載できるアームロールタイプの2連結トラックを用いていた（写真14）。1つのコンテナには素材換算で約14m³が積み込み可能と

考えられるが、約15分で一杯となった。コンテナの積み替え時間等を考慮すると、トラックは1回のチップ積載に約1時間かかると考えられる。一般的に、1つの現場にチップ輸送トラックが4~5台/日



写真11 燃料サイロ手前のトラックスケール(矢印)



写真12 燃料サイロ（左端）から見たプラント



写真13 土場に貯蔵・乾燥されている林地残材

程度来るといふことであり、貯蔵バイオマスが 1 台分しかなければチップパー付きトラックは粉碎終了後に別の現場に移動することになる。チップ輸送トラックは、チップ現場とエネルギー変換プラントの間を 1 日に大よそ 2 往復している。チップの生産コストは、チップ化 3.5 ユーロ/層積 m^3 、輸送 2 ユーロ/層積 m^3 (50km 以内) である。チップの含水率を 35%、容積密度を $250kg/m^3$ 、燃料価格を 12 ユーロ/MWh とし計算すると、チップの価格は 9 ユーロ/層積 m^3 と計算でき、所有者の取り分は 2 ユーロ/層積 m^3 、手数料等の流通経費 1.5 ユーロ/層積 m^3 と推計される。



写真 1 4 チップパー付トラックによるチップ化作業(輸送トラックはトレーラーにさらに 2 コンテナ積載)

(4) フィンランド林産業協会 【立地等に応じた様々なバイオマスチップ化、供給システム】

フィンランド林産業協会は、国内の林産業及び関連する企業が、国内外において利益や競争力を高めることを目的としている。パルプ、製紙、ボードメーカーのほか、製材業者などが会員となっており、それら会員である企業全体で 46, 000 人以上を雇用している。ここでは、燃料チップ生産が拡大する中での、様々な収集・チップ化技術について説明を受けた。

フィンランドにおける森林チップ消費は 2000 年の 90 万 m^3 から、2005 年には 300 万 m^3 (6TWh) に増加している。内訳は、おおよそ伐採残材 50%、薪等は 15%、伐根・枯死木 15%、小径木 15% となっている。そして、2010 年には 500 万 m^3 とする目標を掲げている。

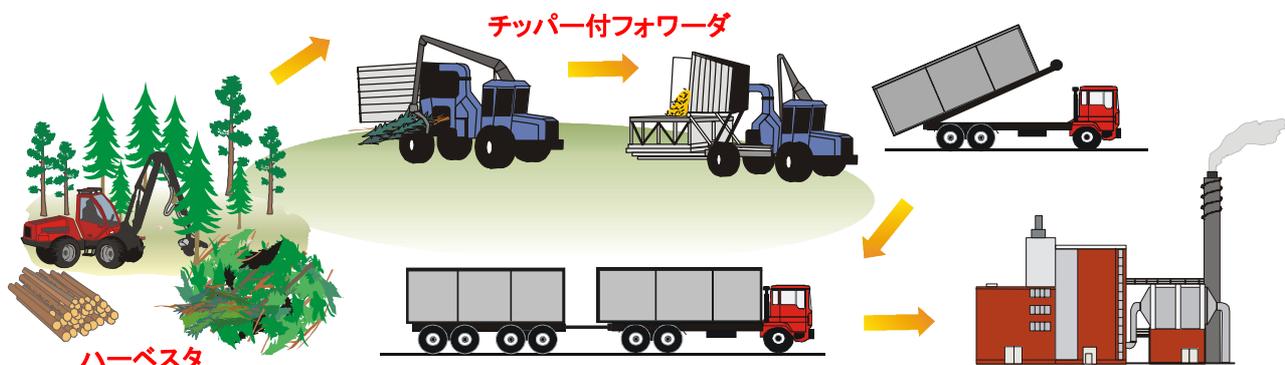
林地残材をチップ化するまでの方法には以下の 6 つがある。

*以下に載せる各図は、引用文献 1 に掲載されたものに、日本語の説明を書き加えたものである。

①チップパー付きフォワーダが林内に入ってチップ化する方法 (下図)

利点：機械が 1 台ですむ。バイオマス量が少ない場合や、道端のバイオマス貯蔵スペースが小さい場合には有効である。

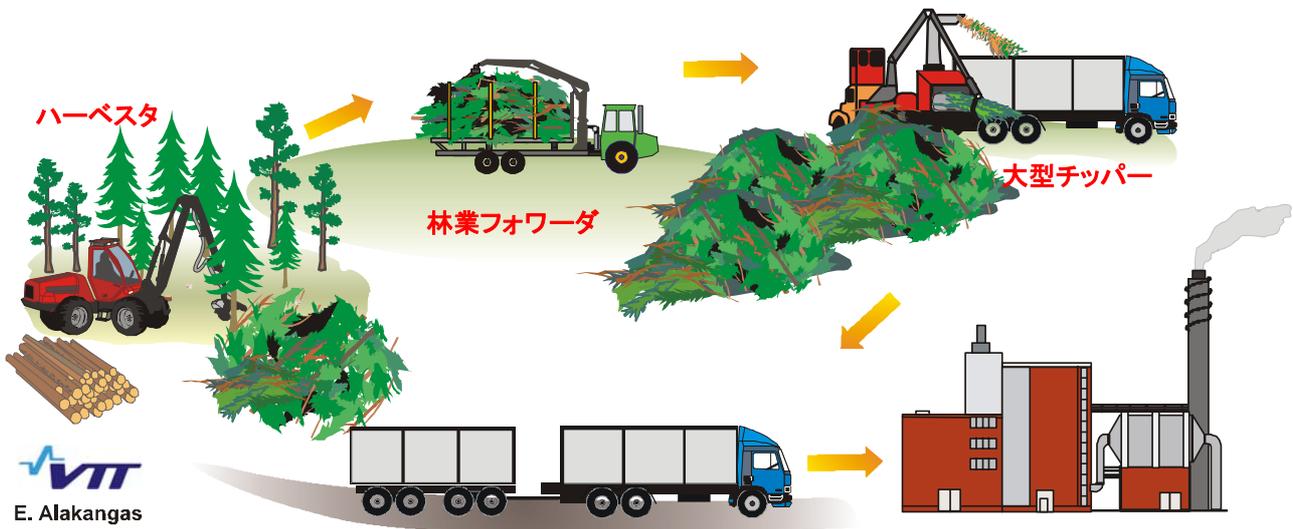
欠点：生産性が低いことや、気候の影響を受けやすい (稼働率が低くなる)。



②土場等において大型チップパーで粉砕する方法（下図）

利点：残材の集積には林業機械が利用できる。

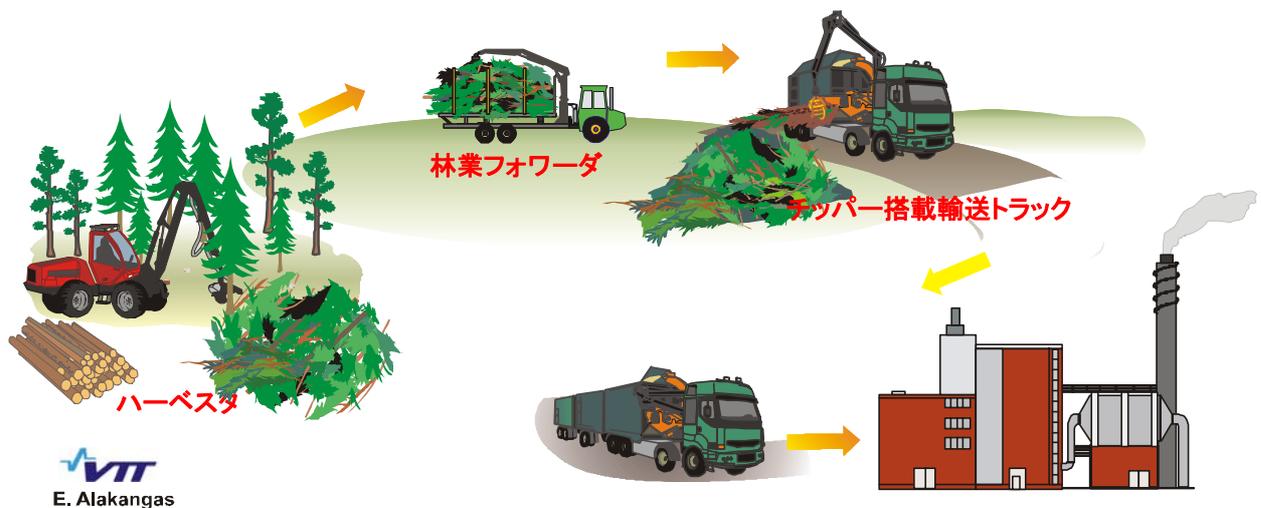
欠点：チップパーの稼働率が低い、チップ輸送トラックとの連携が難しい、広いバイオマス貯蔵スペースが必要となる、バイオマスが汚れやすい。



③チップ輸送トラックにチップパーを搭載したタイプ（下図）

利点：小規模現場をいくつも移動する場合や小規模プラントへの配送、長距離輸送に向いている。

欠点：チップパーを積んでいる分だけチップ積載量が減少、広いバイオマス貯蔵スペースが必要、輸送費が増加する、バイオマスが汚れやすい。



④中間処理場を整備し、林地残材を一時ストックする方法（下図）

利点：安定供給が容易に実現できる、品質管理が可能、小規模伐採現場から小規模プラントへの供給に適している、高性能チッパーを高稼働率で運用できチップ化の効率が高い。

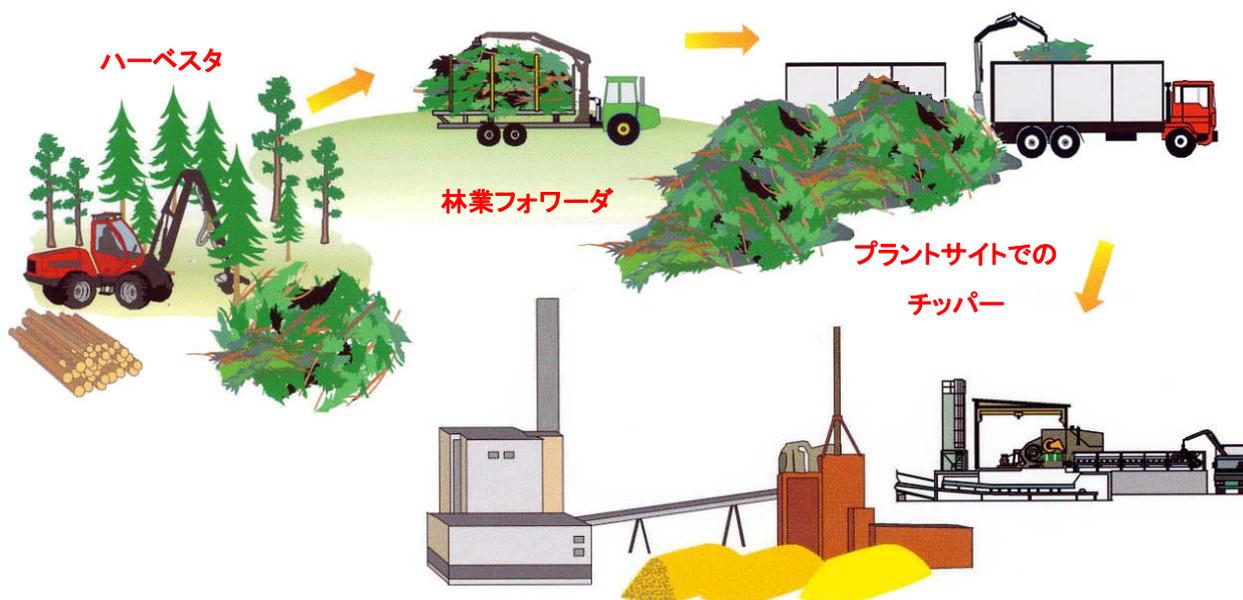
欠点：林地残材の移動が長距離になる、処理場の土地代がかかり増しとなる。



⑤プラントサイトでチッピングする方法（下図）

利点：大規模プラントに適しており、粉碎コストを低下させることができる。

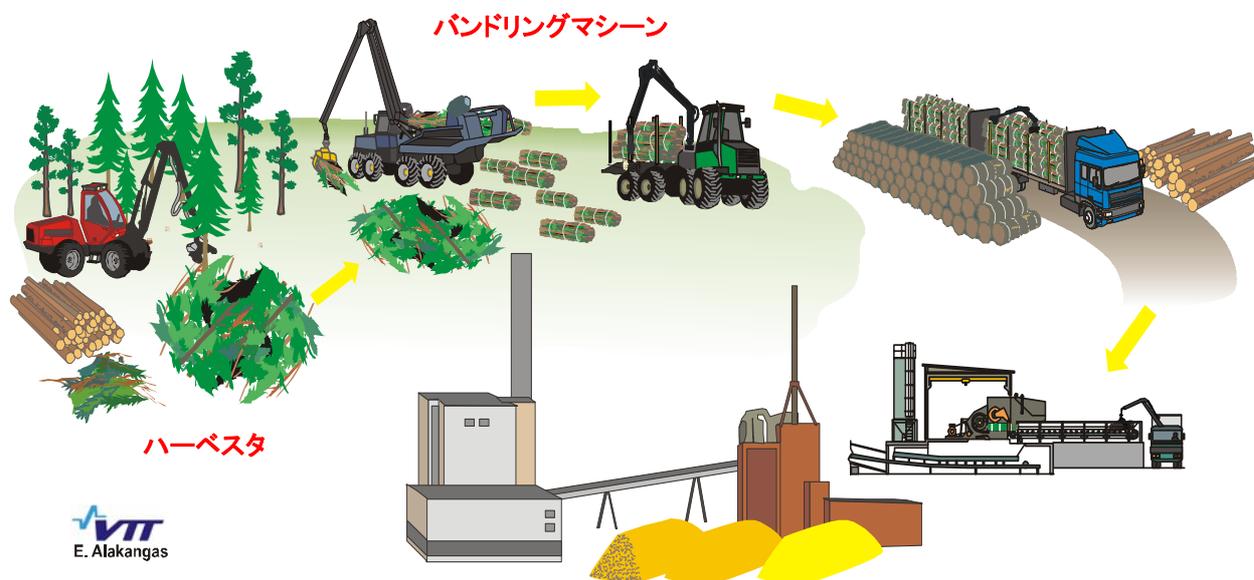
欠点：残材の輸送はかさばるため長距離移動には不向き。残材をストックする大きな土場が必要。



⑥残材をバンドリングする方法（下図）

利点：大規模伐採現場向きであり、集材効率が高まる、残材貯蔵スペースを小さくできる、素材運搬用トラックを使える、長距離輸送が可能になる、粉碎コストを低下させることができる。

欠点：バンドリングマシン（結束機）が高価であることなどからバンドリングコストが高い、強力な粉碎施設を持つ大規模プラントでの受け入れが前提となる。



以上見てきたようなチップ化方法別の供給割合は、小径間伐木のチップ化については道端でのチップ化（②）が8割を占めている。伐採残材に関しては、道端でのチップ化（②）が5割以上を占め、中間処理場でのチップ化が1割（④）、バンドリング（⑥）が2割となっており、道端と中間処理場の割合が増加している。なお、伐根については、特殊な処理（大割り等）が必要であることからプラントサイドでのチップ化（⑤）が8割強、中間処理場（④）2割弱となっている。

（5）労働効率研究所 【効率的な木材伐出技術の開発】

労働効率研究所は、農学、林学、家政学及び関連分野の研究開発、養成機関である。研究所の運営資金は、個人や企業や団体からの会費や行政からの予算のほか、講座や研究開発プロジェクトや印刷物収入によって賄われている。ここでは、小径木を対象にした効率的な伐採収集システムの開発に関する近年の成果について説明を受けた。

フィンランドでは間伐生産も95%機械化されており、ここ最近燃材伐採の機械化も進みつつある。その伐出効率は、立木サイズ、伐採量、林床の状態、地形、オペレーターの熟練度、集材距離の影響を受けている。

チェーンソーの生産性は3~8m³/日であるが、燃材伐採用のハーベスタヘッドは1.5~8m³/hと高い生産性である。また、フェラーバンチャーヘッドは全木集材のみとなるが価格が1/3程度と安く、2~7m³/hという生産性である。なお、小径木の場合、チェーンソー伐倒と違いは少ないので、全木集材は胸高直径7cm以上で実施するのが適当であり、コストは10~15ユーロ/m³となる。

フィンランドでは、森林系チップは 100 万 m³ 生産され、中・大規模プラントに 6 割、小規模プラントに 4 割配分されている。保育間伐は 5～20 年生の間に 1～3 回行われており、主伐までの間に利用間伐が 1～4 回行われるが、この初回の利用間伐を燃材生産に振り向けることを検討している。燃材生産間伐は、パルプ用としては小さい立木サイズの際に全木集材で行うのが適当である。全木とするのは、中規模以上のプラントでは枝葉の混入は問題ないことと、生産効率がよいことによる。なお、胸高直径は 7～10cm が適しており、それ以上の場合はマテリアル用と燃料用の混合生産が有利である。

Ⅲ 調査結果のまとめ

(1) 欧州における木質バイオマスの地域利用拡大の実態から導かれる日本の課題

① 欧州においてエネルギー利用が普及している要因と日本の課題について

欧州において木質バイオマス利用が拡大している主な要因として、1) 効率的な残材収集システムの確立、2) 燃料チップの効率的な物流システムの確立、3) 熱需要の集約・創出とバイオマスエネルギーの経済的競争力の向上、4) 不定形・高含水率燃料へ対応した高効率・全自動チップボイラーの開発、の大きく4つをあげることができる。そこで、以下それぞれについて、わが国における問題点及びその解決に必要な技術開発についてまとめた(表2)。

表2 欧州における木質バイオマスの地域利用の実態と日本において取り組むべき課題

取り組むべき課題	欧州の実態	日本における問題	必要とされる技術開発
熱需要の集約・創出とバイオマスエネルギーの経済的競争力の向上	化石燃料と比べて経済的に有利である	石炭や重・灯油に対する競争力が弱く利用が進んでいない	地域あるいは対象施設において最も経済的な木質バイオマス利用評価手法の確立
	薪ストーブ、セントラルヒーティングボイラーが普及している	高度に化石燃料に依存しているためバイオマス需要がない	地域において代替可能な化石燃料需要の評価手法の確立
	地域熱供給事業が普及している	熱需要が個別分散しており化石燃料利用に適した状態である	地域熱供給事業確立のための熱需要集約手法の確立
不定形・高含水率燃料へ対応した高効率・全自動チップボイラーの開発	小・中型ボイラーでも総合熱効率85%以上が基本	総合熱効率は70%前後が一般的	中・大型高効率・全自動チップボイラーの開発
	最大含水率70%まで燃焼可能	50%が限界	高性能チップボイラーの開発
	不定形燃料への対応	スギ等の樹皮はひも状になりやすくフィーダー等が詰まりやすい	スギ等に対応した粉碎技術および不定形燃料対応フィーダーの開発
燃料チップの効率的な物流システムの確立	木質バイオマス供給の過半数を林産工場残材に依存している	製材工場ではパークの粉碎・輸送経費を負担して処分しつつある	林地残材と林産残材を効率的に供給できるシステムの構築
	農林家が燃料供給・熱供給事業両面の主体となっている	機械装備が脆弱なため農林家の残材供給能力は弱い	森林組合や素材生産事業者を組織したバイオマス供給手法の確立
	省コスト検収手法の採用	容積による検収が主体で重量・含水率に大きなばらつきがある	容積密度やかさ密度、含水率の簡便な測定技術の開発
効率的な残材収集システムの確立	土場等において残材を35%以下に乾燥	多雨の影響で含水率が下がる	日本型の残材乾燥手法の確立
	農業用トラクターの多目的利用	農業用トラクターは不整地や傾斜地に適していない	フォワーダ等の林業機械の改良およびシステムの見直し
	残材利用を念頭に置いた素材生産	土場における残材発生を最小化させる伐出システムを採用	林地残材搬出を最大化させる伐出システム
	木質バイオマス供給拡大のための切り捨て間伐材・早成樹利用	切り捨て間伐材や林地残材は生産コストが高く価格は低いため未利用	路網沿いの切り捨て間伐木の全木チップ化機械の開発
	バイオマスを主とする物流の最適化が図られつつある	林地残材の収集は土木現場以外ではほとんど行われていない	既存の素材生産との効率的な連携収穫システムの構築

わが国におけるエネルギー事業開始にあたっては、地域で供給可能なバイオマス量を推定し、それと総合的に需要の確保・創出を行い、そして、効率的なバイオマスの供給システムを構築する、すなわちサプライチェーンマネジメントが重要であり、その構築手法や適切な評価手法の開発が求められる。ま

た、事業開始後に安定供給責任を果たす上では、効率性の評価及び改善を行うシステムの構築が必要であると考えられる。

②マテリアル利用との競合の実態について

欧州における在来の木材産業は製材生産を除けば、素材の価格が上昇したことで競争力をやや低下させている。具体的には、製材残材や低質丸太に原料の多くを依存しているボード産業・紙・パルプ産業は、木質バイオマスエネルギー産業と原料供給面で完全に競合しており、近年の化石燃料価格の高騰によって原料価格が上昇していることによる。また、フィンランドにおいては、ロシア国内の需要拡大や違法伐採材対策の強化、輸出税引き上げ等によって今後の丸太輸入は困難になるという見方がされており、大手林産企業は、アフリカ等での植林投資を進めている。

こうした状況は、将来的には日本においても十分起こりえる。その影響を軽減するには、旺盛に成長している割に利用が進んでいない人工林の伐採利用を拡大し、産業用丸太供給と同時に林地残材供給も拡大させることが重要である。そのためには、伐出コストをオーストリア並みに引き下げよう努力する必要があると考える。ただし、同じ水準にするには林分の平均蓄積が 300m³/ha を越えるまで待たなければならないであろう。なお、そうした努力の結果として立木価格が上昇したとしても、小規模所有者の低い伐採意向が日本においても予想されるので、オーストリアと同様に活性化対策を準備しておく必要がある。

(2) 木質バイオマスの液体燃料化に関する最新動向

本調査を通じて、残念ながら液体燃料生産に関する技術的な最新情報はわずかしき得られなかったが、いくつか感想を述べたい。

ヨーロッパにおける液体燃料生産は近年増加の一途をたどっているが、その多くは菜種やひまわりから生産されるバイオディーゼルである。欧州における自動車の多くはディーゼル車であるため軽油の需要が大きいことと CAP（共通農業政策）の下でかつて休耕地となっていた土地への燃料用作物の耕作が認められたことがうまく合致したものと考えられる。オーストリアでは、2005 年に軽油混入が始まったが、翌 2006 年にはバイオディーゼルの生産量は約 20 万 t に倍増している。

木材から液体燃料を生産するという話題は訪問先ではほとんど出てこなかった。これは、先端技術に関係する機関を訪問しなかったこともあるが、中小規模では直接燃焼による熱供給、大規模では電熱併給を行うシステムが既に確立しており、それをさらに拡大させようという動きが大きいことによると推察される。こうした既存の利用方法と併存する形で木材から液体燃料を生産するためには、液体燃料価格の大幅な高騰や革新的技術による液体燃料生産コストの大幅引き下げが必要であり、欧州における商業生産はしばらく先になると考える（引用文献 2）。なお、その生産には最も安価なバークや鋸屑が原料として使われることが予想され、マテリアル利用との間だけにとどまらず、エネルギー利用分野内の原料の競合が発生する可能性が高いと考えられる。

IV 引用文献

- 1 . Developing technology for large-scale production of forest chips: Final report of Wood Energy Technology Programme 1999–2003,
http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Puuenergia/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Julkaisut/Raportit/6_04_WoodEnergyTechProgramme1999-2003.pdf

- 2 . EUROPEAN COMMISSION : Energy Scientific and Technological Indicators and References, http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/estirbd_en.pdf

海外調査資料既刊一覧

- No. 1 海外先進国の農林水産関係試験研究における技術情報システムに関する調査 (S62.3刊行)
ヨーロッパ先進国の農林水産物の流通利用に関する試験研究動向調査
- No. 2 農林生態系に及ぼす酸性降下物の影響に関する研究動向調査 (S62.3)
作物育種へのバイオテクノロジー活用に関する研究動向調査
- No. 3 欧州における穀物多収栽培技術開発の動向調査 (S63.3)
- No. 4 アメリカ合衆国における動物分野のバイオテクノロジー研究の動向調査 (S63.3)
- No. 5 欧州における水産バイオテクノロジー研究動向調査 (H元.3)
- No. 6 欧州諸国における昆虫の生物機能解明と高度利用に関する研究動向調査 (H元.10)
- No. 7 欧州諸国の農山村地域における公益的機能の評価及び維持増進に関する調査 (H2.6)
- No. 8 欧州諸国における園芸作物の高品質化、高付加価値化に関する試験研究動向調査 (H3.1)
- No. 9 中南米における畑作物を中心とした遺伝資源の多面的な利用・加工に関する試験研究動向調査 (H3.3)
- No.10 欧州諸国における機能性成分等の利用・加工技術に関する試験研究動向調査 (H3.10)
- No.11 欧州諸国における水稲の低コスト・高品質化に関する機械化技術開発試験研究動向調査 (H4.1)
- No.12 欧米諸国における生態系活用型農業技術の現状把握と研究動向調査 (H4.3)
- No.13 欧州諸国における園芸作物の高効率・省力生産システムに関する試験研究動向調査 (H5.2)
- No.14 林業が自然生態系と調和するための関連研究の動向調査 (H5.2)
- No.15 農業先進諸国の主要畑作物における品種改良目標と育種システムの動向調査 (H6.1)
- No.16 環境調和型エネルギー資源としての生物の高度活用に関する研究動向調査 (H6.1)
- No.17 ヨーロッパにおける畜産研究の動向に関する調査 (H7.1)
- No.18 北米東部沿岸等における貝毒被害及び対策研究の実態調査 (H7.2)
- No.19 アメリカ合衆国における高品質米の生産と稲作試験研究動向に関する調査 (H8.3)
- No.20 欧州諸国の農水・食品産業における膜利用及び非熱的エネルギー応用技術に関する試験研究動向調査 (H8.3)
- No.21 オセアニアの畜産における放牧、繁殖及び家畜衛生研究の現状並びに動向に関する調査 (H9.3)
- No.22 北米の木材生産戦略と林産研究動向に関する調査 (H9.3)
- No.23 地中海・ヨーロッパ諸国における養殖漁業の現状と研究動向に関する調査 (H10.3)
- No.24 欧州における生育調節剤によらない野菜・花きの生育制御技術に関する研究動向調査 (H10.3)
- No.25 欧州における先端的食品加工技術の開発とその国際的展開に関する状況調査 (H11.3)
- No.26 オーストラリアの米輸出戦略と稲作関係研究動向調査 (H11.4)
- No.27 ヨーロッパにおける環境研究の現状と動向に関する調査 (H11.4)
- No.28 ヨーロッパにおける果樹のバイオテクノロジーの開発及び利用状況の調査 (H12.3)
- No.29 EU諸国における農村振興研究の動向 (H12.5)
- No.30 米国における小麦・大豆の品種開発に関する基礎調査 (H12.6)
- No.31 ヨーロッパ等における家畜ゲノム研究の現状調査 (H13.3)
- No.32 ヨーロッパにおける森林の多様な機能の発揮に関する研究の動向調査 (H13.3)
- No.33 欧米における食品品質評価手法及びナノテクノロジー研究推進状況の現地調査 (H13.12)
- No.34 ヨーロッパにおける遺伝子組換え作物を利用した有用物質生産システム構築に関する研究の現状調査 (H14.6)
- No.35 ヨーロッパにおけるBSE研究の現状調査 (H15.3)
- No.36 水田の高度利用に関する作物研究の北米地域調査 (H15.3)
- No.37 欧米における小麦赤かび病のかび毒対策研究開発の現状調査 (H15.3)
- No.38 ニュージーランド・オーストラリアにおける温室効果ガス及び木質バイオマス利用技術に関する研究調査 (H15.9)

- No.39 諸外国の研究体制と研究計画に関する調査 (H16.3)
- No.40 豪州における重要家畜感染症研究の現状と動向に関する調査 (H17.3)
- No.41 欧州における半閉鎖性海域における有害化学物質・重金属類等の水産生物への影響評価の研究に関する動向調査 (H17.3)
- No.42 オセアニアにおける農業系研究者の人材マネジメントのあり方に関する動向調査 (H17.5)
- No.43 西欧における有機農業研究の現状と動向に関する調査 (H17.6)
- No.44 米国における植物比較ゲノム研究及び組換え作物を用いた物質生産に関する調査 (H17.12)
- No.45 EUにおける家畜の免疫機能向上に関する飼養管理及びゲノム情報を利用した抗病性育種に関する研究状況調査 (H18.2)
- No.46 米国におけるダイズゲノム研究の現状と動向調査 (H19.1)
- No.47 ブラジルにおけるさとうきびの効率的生産技術に関わる研究動向調査 (H19.2)