

平成 28 年度

木質バイオマスエネルギーを活用したモデル地域づくり推進事業
新たな利用システムの実証 8 号契約（岩手県遠野地域）

報 告 書

平成 29 年 3 月 10 日

遠野市木質バイオマス利活用検討協議会

まえがき

本事業は「平成 26 年度 林野庁補助事業 木質バイオマスエネルギーを活用したモデル地域づくり推進事業」として、遠野市の森林・林業事業で発生する林地および製材工場残材などの木材の副産物利用を推進して、森林資源の付加価値の向上と、それによる林業・木材産業の競争力強化・CO₂ 削減を目的とした。

事業の取組みは、遠野市が平成 26 年度に改定したエネルギービジョンのリーディングプロジェクトとして、遠野市における再生可能エネルギー利用拡大をはかり、森林・林業、再生可能エネルギーによる地場産業の育成・地域活性化を目指した。

本業務は、「木質バイオマスエネルギーを活用したモデル地域づくり推進事業（新たな利用システムの実証 8 号契約（岩手県遠野地域））」に伴う平成 26 年から平成 28 年の 3 か年間の実証の一連について支援を行った取りまとめである。

なお、業務推進にあたり、遠野市、東北森林管理局岩手南部森林管理署遠野支署、岩手県南広域振興局農政部遠野農林振興センター、遠野地方森林組合、協同組合遠野グルーラム、たかむろ水光園、木と建築で創造する共生社会実践研究会（A-WASS）、ならびに岩手大学名誉教授沢辺 攻（農学博士）の多大な協力を得た。ご指導・ご協力頂いた関係者の方々に深く感謝申し上げます。

平成 29 年 3 月 10 日

目 次

1. 事業の概要	1
1.1 実証事業の概要.....	1
1) 事業目的	1
2) 実施体制	1
3) 3か年の成果と今後に向けた課題整理.....	3
4) 林地残材	3
5) 大型ボイラ	4
6) 小型ボイラ	4
2. 原料および木くず燃料生産システム.....	5
1) 自然環境および森林資源と未利用材資源量	5
2) 森林施業計画および作業システムと全体路網計画	9
3) 木質バイオマスの効率的、安定的な搬出、運搬方法.....	11
4) 木くず燃料管理ヤード.....	14
5) 効率的林地残材集荷システムの実証	15
6) 生産性と生産コスト.....	22
7) 木質バイオマスの効率的、安定的な加工方法.....	28
3. 木質バイオマスの新たなエネルギー利用方法.....	34
4. 大型ボイラ	35
1) 大型ボイラの選定.....	35
2) 大型ボイラの改造.....	41
3) 大型ボイラ的能力に関する実証.....	43
4) 大型ボイラの課題.....	49
5. 小型ボイラ	50
1) 小型ボイラの導入に際して留意した点.....	50
2) 導入設備	52
3) 1年間の運転実績結果	53
4) ボイラ効率にかかわる実証試験と結果.....	57
5) その他事項	59
6) まとめ.....	61
6. システム導入による CO2 削減効果	62
7. システムの事業採算性.....	62
8. 事業試算.....	63
1) 主要事業の概要	63
2) 目指すべき方向性の検討.....	63
3) ターゲットとなる顧客	64
4) 試算結果	65

1. 事業の概要

1.1 実証事業の概要

1) 事業目的

林地残材・工場残材などの木材の副産物利用を徹底することにより、木材付加価値の大幅な向上と、それによる林業・木材産業の競争力強化・CO2 削減を目指す。

本事業を遠野市が策定中のエネルギービジョンにおけるリーディングプロジェクトと位置づけ、これを着実に実行することによって、同市における再生可能エネルギー利用拡大に弾みをつける。

これらにより、林業・再生可能エネルギーによる地場産業育成・地域活性化のモデルを示す。

2) 実施体制

本事業の執行体制は図 1.1 のとおりである。本事業は、燃料生産からエネルギー利用まで関係者が多岐に渡るため、検討に際しては、遠野市木質バイオマス利活用検討協議会の配下に、林業部会、木材産業部会、木材需要部会を設置し、テーマごとに検討を行った。

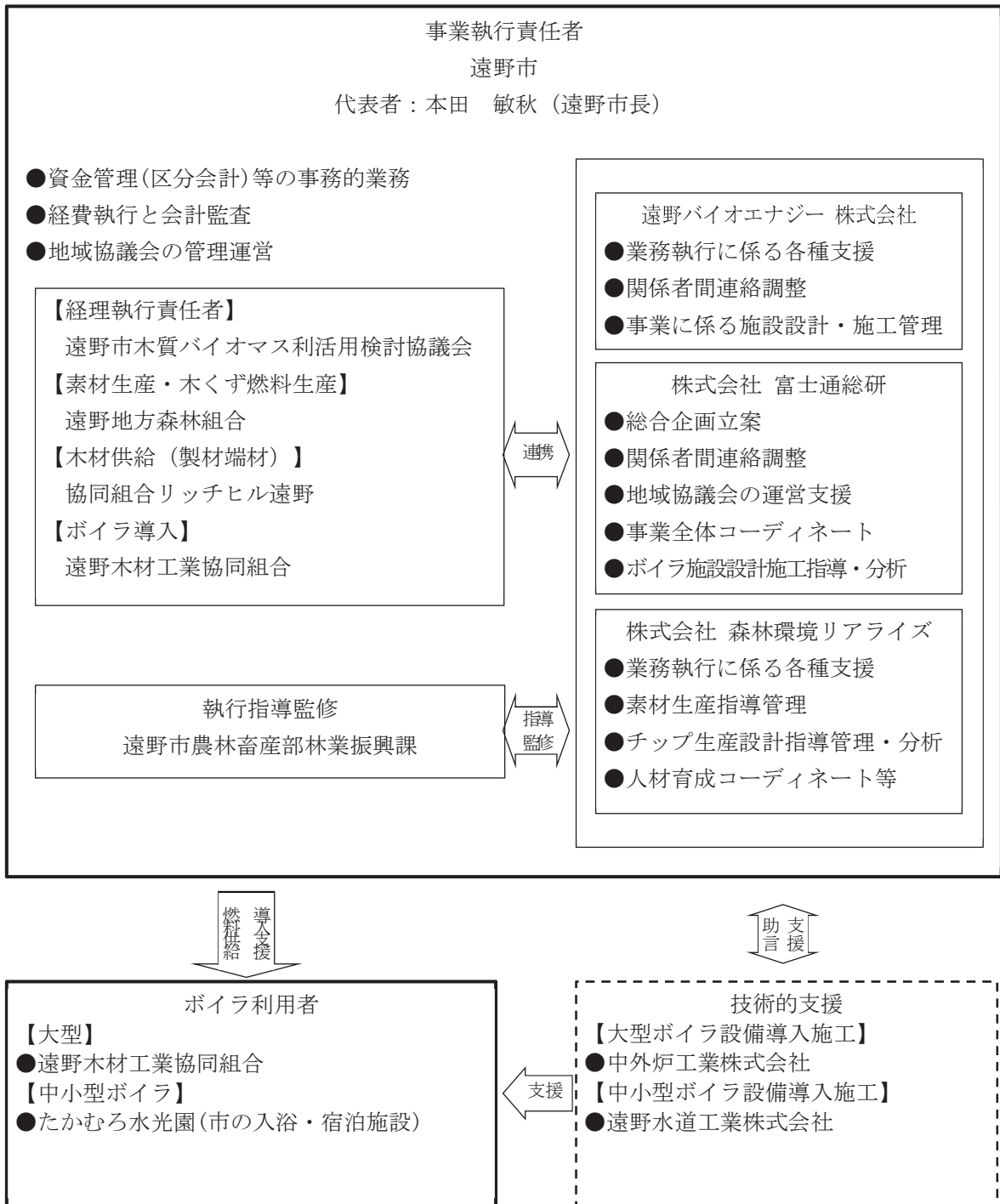


図 1.1 業務執行の体制図

3) 3か年の成果と今後に向けた課題整理

本事業は、いままで処理に困っていたり、十分に価値がつけられなかった林地残材や工場残材を徹底利用することにより、林業・木材産業の収益性を改善し、成熟が進む森林資源を拡大するとともに、地域経済の発展に貢献することを目指すものである。

そのため本事業を活用して、移動式チップパー、木くず燃料ヤード、大型・小型ボイラといった必要な設備を一通り整備した。

欧州のようなバイオマスのサプライチェーンを構築するには、単にハードを整備すれば済むわけではなく、これを支えるソフト面での整備無しには不可能である。しかも、関係する現場がこれを理解して対応していかなければ、歯車は回るようにはならない。また、バイオマス利用を進めることにより、関係する人々が利益を得られなければ、ビジョンが明確であっても、事業の推進は難しい。

本事業は3年間であるが、実際に設備が導入され、動き始めてから、小型ボイラは1年半、チップパー機や木くず燃料管理ヤードは1年3か月、大型ボイラは1年にすぎない。小型ボイラを除いては、まずは施設整備や整備された施設を稼働させることに力点をおいた状況であった。

このため、これら整備された施設をもとに、これをいかに使いこなしていくかは、まさにこれからである。今後は、主にソフト面でいかに対応していくかが、問われることになる。

4) 林地残材

林地残材を効率的に収集・運搬するには、そのためのチップパーや運搬用トラックなどのハードの整備もさることながら、以下のソフト面での対応も重要である。

(1) 路網整備

林地残材は、チップパー・トラックの組み合わせとなることから、すくなくともこれがある程度まで林内に入って作業ができることが不可欠である。そのためには、林業専用道以上の規格の路網の整備が必要である。

(2) 作業システム

林地残材が発生しても、ハーベスター・フォワーダーシステムでは、林内に残材が散材するため、それをフォワーダーで運び出すのは、作業効率とコスト的に合致せず、これを運び出すことができない。また、比較的平坦でチップパーなどが林地に直接入っていける場合でも、木くず燃料化しやすい場所に残材が置かれないと、集材が必要となるなど、非効率である。現場での事前の十分な打ち合わせが必要である。

(3) チップパー機の稼働率と木くず燃料需要開拓

丸太などを砕くチップパーは、どうしても一定以上の大きさにならざるをえず、初期投資も大きくなる。生産性も高いので可能な限り、稼働率を高めないと、償却することが困難になる。今回導入したチップパー機では、年間3万m³以上の木くず燃料生産が

必要である。このため、チッパーは各事業主がそろえたのでは償却できず、広域で共同利用するシステムを構築することが不可欠である。

なお、本事業を契機に、遠野市が本格的に木くず燃料の需要の開拓に取り組むようになったのは、成果である。平成 28 年度には、市が主な公共施設に対する可能性調査を行っており、今後、段階的にバイオマスボイラーを導入していく見込みである。

5) 大型ボイラ

(1) バークの搬送

燃焼能力や蒸気供給能力の高さは実証されたが、バークの搬送についてはまだ、実証すべき課題が残っている。特に夏に発生する長い部分を効率的に裁断してボイラに投入する方法の検討が急がれる。

また、バークはかさ密度が低いため、ボイラから離れた製材工場からの輸送コストをどのように削減するかも、検討課題である。

(2) 蒸気利用の拡大

大型ボイラは、遠野地域における木材乾燥の拡大を目指して、導入を決めた。このボイラの能力をある程度引き出すには、現状 4,000 m³の木材乾燥の増加が不可欠である。この議論は始まったばかりである。

6) 小型ボイラ

設計・施工も容易で、コストパフォーマンスに優れ、断続運転可能で多様な熱需要にも対応できるなど使い勝手の良い小型ボイラは、欧州では広く普及している。本事業による実証によって、小型ボイラのこれら長所を確認することができた。また、実際に遠野地域やその他地域でも導入が拡大するなど、波及効果もでてきている。

また、本事業によって得られた知見は、日本木質バイオマス協会のバイオマス専門家育成のための研修テキストに反映することができた。これにより、バイオマス熱利用の普及拡大に貢献する成果を収めることができた。

2. 原料および木くず燃料生産システム

1) 自然環境および森林資源と未利用材資源量

(1) 気象概況

遠野市は岩手県内でも寒暖の差が激しく、盛夏を迎える7月下旬から8月上旬は28℃を超える高温を記録し、降雪は11月下旬から3月上旬頃までであり、零下15度を記録する日もある。降水量は岩手県内の他の地域と比較すると、夏はやや多く、冬の積雪は少ない状況である。降雪は11月上旬に初雪を観測し、4月上旬まで積雪がある。例年12月中旬から3月中旬まで15cmを超える降雪が記録される。

(2) 地形および地質・土壌

遠野市は県南臨海地域に属する北上高地の中央部の盆地に位置する。北上高地は全体が起伏の多い高原状の山地で、その中心部に遠野盆地が形成されている。盆地の北側には北上山地の最高峰である早池峰山（標高1,917m）があり、東に六角牛山、西に石上山などの山地と、準平原が連なって盆地を形成している。盆地は東西－南北に伸びた十字の形をしているのが特徴である。盆地の中央には猿ヶ石川が貫流し、花巻市内で北上川に合流する。谷の多くはV字谷であり、平地への出口に扇状地を形成している。

表層地質は大きく白亜紀系の蛇紋岩類、中生界の石灰岩や破屑岩類、これらを貫く遠野花崗岩類に分類される。地質分布状況は、早池峰山側は蛇紋岩類が広域に分布し、西の石上山側は遠野花崗岩類、東の六角牛山側は中生界の石灰岩や破屑岩から構成される地質が分布する。なお、森林施業との関係では、蛇紋岩および花崗岩、斑レイ岩、安山岩は、ほかの岩石に比べ一般的に硬質であるが、風化や変質作用によって軟質化する場合がある。このため、作業道開設にあたっては、長期的な路体維持のため締固めを充分行う必要がある。

土壌の分布は、地形の変化が少ないことから同一土壌の広がりが大きく、単純な分布パターンを示す。分布状況は、黒ボク土壌と淡色系黒ボク土壌が広く分布する。早池峰山および界木峠周辺に湿性ポドゾル化土壌が稜線部に分布するが、それ以外の稜線部はほぼ淡色系黒ボク土壌が広く分布する。



図 2.1 主な山地と河川

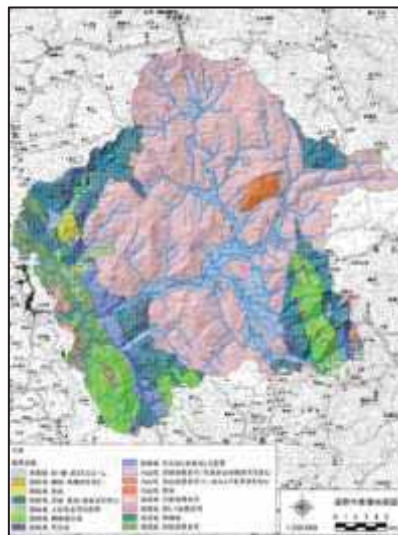


図 2.2 表層地質の分布状況

(3) 森林資源状況

森林の分布状況は、表 2.1 および図 2.3 に示すとおり、市の総面積 82,562ha のうち森林面積 67,623ha で全体の 82%を占める。全森林面積のうち国有林は 28,828ha(森林面積の 42.5%)となっている。

民有林総面積は 39,081ha で、遠野市有林 19,269ha(4.9%)となっている。また、私有林の内訳は、個人有林 23,411ha (59.9%)、団体所有林 5,394ha (13.8%)、共有林 1,570ha (4.0%)、森林組合所有林、会社所有林などが大きな面積を占める。特に、荒川高原地区、東山地区、宮守地区、綾織地区、堂場沢地区、六角牛山地区には大面積の団体所有区分の森林が広がる。

表 2.1 遠野市の森林面積 (国有林・民有林)

遠野市域面積 (A) (ha)	森林面積 (ha)			森林率 (%) (E=D/A×100)	民有林人工林面積 (F) (ha)	民有林人工林率 (%) (G=F/C×100)
	国有林 (B)	民有林 (C)	計 (D=B+C)			
82,562	29,448	39,081	68,529	83.0	20,581	52.7

資料：遠野市森林整備計画（平成 25 年 4 月～平成 35 年 3 月）および岩手県林業の指標（平成 26 年 3 月）より

森林の林種区分は、天然林 16,415ha、人工林 20,581ha である。民有林は物見山南東部、堂場沢上流域、宮守地区、西内地区に人工林が広域に分布するほかは、天然林と人工林が小面積のモザイク状に分布する。

森林の総蓄積量は 10,057 千 m^3 で、うち人工林 7,291 千 m^3 、天然林 2,767 千 m^3 であり、人工林の針葉樹が 7,275 千 m^3 、天然林の広葉樹が 2,375 千 m^3 の内訳となっている。

また、森林全体の齢級構造は、民有林の人工林の大部分は 7～10 齢級の成熟期を迎えつつある壮齢林が多い。一方、国有林の人工林は、民有林より後期に植林されたものが多く、5～8 齢級の人工林が多く見られる。

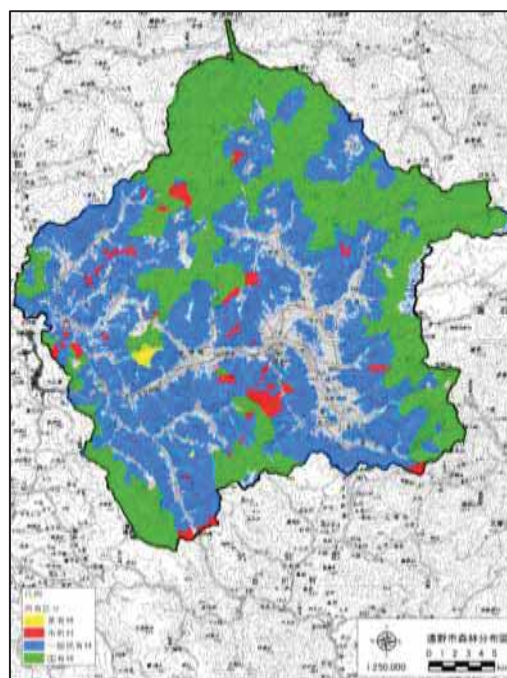


図 2.3 遠野市の森林分布
(所有・管理者別)

民有林の樹種別林分配置は、図 2.4 に示すとおり、スギ人工林 10,241ha、蓄積 4628.617 m³、年成長量 10.8 m³/ha・年、アカマツ 6,053ha、蓄積 927,658 m³、成長量 5.2 m³/ha・年、カラマツ 4,165ha、蓄積 927,658 m³、成長量 2.5 m³/ha・年、ナラ・他広葉樹 157ha となっている。スギの人工林は小面積で分布するが、アカマツ、カラマツは大きなまとまりの面積で分布する。樹種別蓄積では、スギが全体の 45% を占め、アカマツ 18%、カラマツ 9% の順となる。

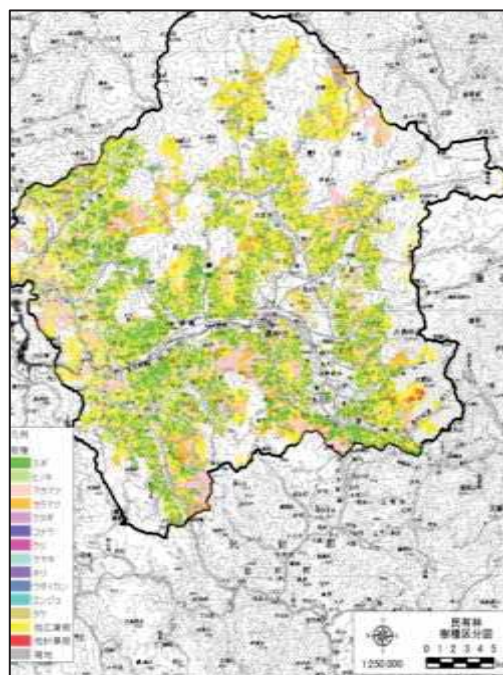


図 2.4 遠野市の民有林の樹種別林分配置

スギ、アカマツ、カラマツの要間伐森林面積は、表 2.2 に示すとおり、スギ 7 齢級面積 1,183ha、アカマツ 8 齢級 955ha、11 齢級 687ha となっている。また、間伐をしたと仮定した場合の出材積は、現森林調査簿の蓄積の 30% を間伐し、その 70% が出材すると試算すると、スギ 10 齢級で 215 千 m³、7 齢級 100 千 m³、アカマツ 8 齢級 70 千 m³ と推定される。なお、間伐面積・出材積は全体量を把握するための資料で、既間伐等を考慮せず齢級範囲の人工林を対象として試算しているため、実際の出材積とは大きく異なる。

表 2.2 主な人工林の標準的間伐期により出材する材積

樹種	区分	初回	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
スギ	間伐期	4 齢級	5 齢級	7 齢級	10 齢級	
	間伐面積 (ha)	229.8	434.3	1,183.0	1,599.8	
	材積 (m ³)	47,068	114,647	492,324	1,025,911	
	出材積 (m ³)	9,884	24,076	103,388	215,441	
アカマツ	間伐期	4 齢級	5 齢級	6 齢級	8 齢級	11 齢級
	間伐面積 (ha)	5.4	11.5	48.1	954.6	687.3
	材積 (m ³)	1,150	2,390	11,940	334,735	270,820
	出材積 (m ³)	242	502	2,507	70,294	56,872
カラマツ	間伐期	4 齢級	5 齢級	6 齢級	10 齢級	
	間伐面積 (ha)	134.8	170.0	311.8	268.8	
	材積 (m ³)	21,717	28,430	97,081	76,200	
	出材積 (m ³)	4,561	5,970	20,387	16,002	

資料：試算は遠野市森林整備計画（平成 25 年 4 月～平成 35 年 3 月）データによる

(4) 林道・林業専用道等の路網整備

民有林内の公道、林道・森林専用道、作業道などの路網整備は、総延長 2,151 km となっている。このうち森林施業に供する林道・森林専用道等の路網密度は 13.4m/ha であり、路網密度は低い状況である。

遠野市森林整備計画（平成 25 年 4 月～平成 35 年 3 月）による新たな路網計画は 10 か年間で 48 路線計画されている。新たに計画される林道は 14 路線（34.9 km）、林業専用道 17 路線（21.8 km）、作業道 17 路線（4.2 km）であり、当初の 5 か年で林道 1 路線、林業専用道 12 路線の開設が計画されている。

なお、林道・林業専用道等の開設に伴い発生する支障木は、当初の 5 か年計画で 14,000 m³、後半 5 年計画で 29,000 m³程度と推察される。また、これら新設路網の開設に伴う利用区域（森林施業範囲）から発生する出材積（平均的 ha 蓄積×間伐率 30%×出材歩止り 70%）は、当初の 5 か年計画で 133,000 m³、後半 5 年計画で 32,100 m³程度と推察される。

(5) 年間素材生産量の推移と間伐実施状況

遠野市の年間素材生産量の推移は、平成 19 年～平成 24 年の平均生産量は 73 千 m³/年であり、針葉樹 58,800 m³（80%）、広葉樹 15,000 m³（20%）となっている。

また、私有林の間伐実績は、図 2.5 に示すとおり、平成 25 年実績で 414ha、間伐材積 12,856 m³となっている。間伐材積利用率は 58%であり、林内放置の未利用材（切捨て間伐材）は 5,406 m³となっている。



図 2.5 私有林の間伐実績と
利用量・未利用量（林内放置）

(6) 木質バイオマス資源量把握・分析

森林資源の賦存量把握のため、国有林および私有林の森林資源量（材積）は 14,233 千 m³であり、私有林の資源量は 10,057 千 m³、国有林資源量 4,176 千 m³である。

試算にあたっては、「林野庁委託事業 平成 23 年度 木質系震災廃棄物等の活用可能性調査（宮城県域調査）報告書」の試算方法を参考に行った。

森林資源期待採可量は表 2.3 に示すとおり、私有林の森林資源量から試算した利用可能な C 材（未利用量）は約 722t/年、D 材（未利用量）は約 5,046t/年、枝条（未利用量）は約 10,977t/年となり、合計では 16,745t/年（枝条含む）である。

表 2.3 遠野市の森林資源期待採可量

区分	成長量 (m ³ /年)	利用想定量 (成長量の 30%)	材区分	発生量 (m ³ /年)	利用率 (%)	未利用量 (m ³ /年)	利用可能量 (生 t/年)	備考
私有林 針葉樹・広葉	233,972	70,190	A材	23,583	100.0	0	0	A材：素材生産実績 (33.6%)
			B材	28,005	100.0	0	0	B材：素材生産実績 (39.9%)
			C材	12,363	91.4	1,063	722	C材：素材生産実績 (16.1%)
			D材	7,422		7,422	5,046	÷ (1-C材未利用割合 8.6%)
			枝条	16,143		16,143	10,977	
			計			24,628	16,745	
合計	233,972	70,190	(枝条含む)			24,628	16,745	D材：A～Cの発生量÷(1-D材発生割合 10.4%)×D材発生割合 10.4% ※枝条：幹材積×23%
			(枝条含まない)			8,485	5,768	

林地残材以外の木質バイオマス残材について試算した結果は、表 2.4 に示すとおり、絶対量は少ないものの、全体では 964t/年の発生量が見込まれる。

表 2.4 地域残材等の利用可能資源量

区分		DW-t/年	生 t/年
製材端材	国産材	278	487
	外材	60	105
建築廃材		46	81
新・増築廃材		41	72
公園剪定枝		39	68
果樹剪定枝		87	152
計			964

資料：NEDO バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計～GIS データベースより試算
 ※生比重 0.7t/m³、気乾比重 0.4t/m³で試算

2) 森林施業計画および作業システムと全体路網計画

(1) 木質バイオマス燃料供給地点と森林配置

事業では当初、林内で木くず燃料の生産を行ったのち木くず燃料管理ヤードで一旦品質等を管理してから、ボイラーサイロへ運搬する計画である。このため、民有林の位置と木くず燃料管理ヤードの位置を整理した。木くず燃料管理ヤードと民有林の距離は表 2.5 および図 2.6 に示すとおりである。

表 2.5 木くず燃料管理ヤードと民有林の距離と樹種別面積・蓄積

区分	10km		20km		30km	
	面積 (ha)	材積 (m ³)	面積 (ha)	材積 (m ³)	面積 (ha)	材積 (m ³)
アカマツ	2,365.1	1,030,752	3,032.0	1,475,800	845.3	269,487
カラマツ	2,109.0	624,060	1,981.0	580,422	276.1	81,000
スギ	4,446.1	2,415,633	5,535.1	3,189,825	879.7	383,973
ヒノキ	59.7	5,770	94.2	21,772	7.7	1,066
他針葉樹	54.8	26,506	31.0	15,643	15.6	7,408
エンジュ	1.1	72	3.1	237		
キリ	1.7	258	5.3	764	5.0	710
クヌギ					0.1	21
クリ	5.5	708	4.1	497		
ケヤキ	0.9	81	1.4	126		
コナラ	0.5	16	14.7	1,216	32.8	3,180
他広葉樹	10.4	2,261	35.5	5,069	18.8	1,986

資料：試算は遠野市森林整備計画（平成 25 年 4 月～平成 35 年 3 月）データより分析

(2) 要間伐森林と搬出地位（難易度）

民有林の主な人工林の標準的間伐期齢から抽出した要間伐森林と、搬出作業の難易度の指標となる斜面勾配と林道等路網からの距離を基準にした地位区分は、表 2.6 および表 2.7 に示すとおりである。

地位 I は要間伐森林で斜面勾配 0～15 度、林道等からの距離が 50m 以内であり、地位 IV は斜面勾配 36 度以上、林道等からの距離が 200m 以上の範囲の林分と判断する。

表 2.6 要間伐森林と搬出地位（難易度）

路網からの距離 斜面勾配	50m 以内	100m 以内	150m 以内	200m 以内
0～15 度	I	難易度 低	II	難易度 高
16～30 度		難易度 中	III	
31～35 度	II	III	IV	施業要検討
36 度以上				

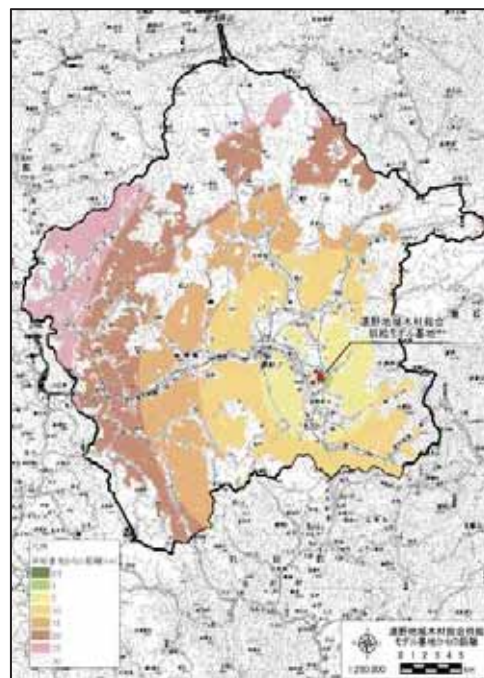


図 2.6 チップ管理施設と民有林の距離と樹種別面積・蓄積

表 2.7 搬出地位別樹種別面積・蓄積

区分	面積 (ha)			蓄積 (m ³)		
	アカマツ	カラマツ	スギ	アカマツ	カラマツ	スギ
1	419.7	212.4	894.5	206,859	78,925	523,505
2	233.7	137.7	601.6	78,618	39,555	307,693
3	349.3	187.7	781.3	116,500	41,739	337,933
4	82.7	12.7	70.3	27,246	2,808	32,096

資料：試算は遠野市森林整備計画（平成 25 年 4 月～平成 35 年 3 月）データより分析

(3) 中・長期的間伐計画

要間伐森林と既存路網から分析した搬出地位を基に、森林施業の容易さと、低コスト搬出が期待できる搬出地位 I と II の林分分布と面積・蓄積、ならびに木くず燃料輸送距離を考量した分析結果は、表 2.8 および図 2.7 に示すとおり、面積 2,624ha、要間伐森林を 30% 間伐した場合に搬出される出材積 283 千 m³が見込まれる。

表 2.8 中・長期的伐採計画

木くず管理ヤードからの距離	面積 (ha)	材積 (m ³)	出材積 (m ³)
0.5km	2.9	872	183
1.0km	3.8	1,098	231
5km	302.1	136,839	28,736
15km	601.8	364,368	76,517
20km	573.0	286,492	60,163
25km	232.5	91,722	19,262
30km	5.5	1,295	272
計	2,624.0	1,350,017	283,504

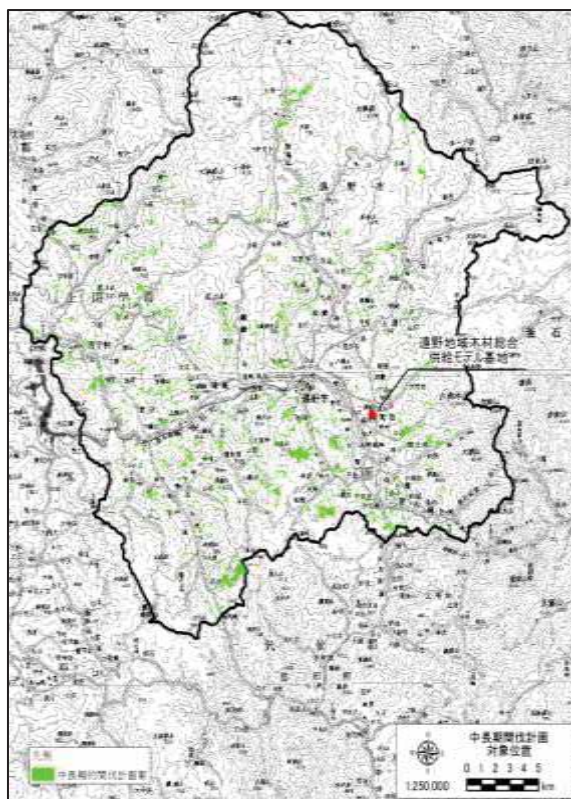


図 2.7 要間伐森林の森林施業容易さ・低コスト搬出が期待できる搬出地位 I と II の林分

3) 木質バイオマスの効率的、安定的な搬出、運搬方法

(1) 木くず燃料生産導入システム (処理能力等)

① けん引式チップパー機

- ジョンディアトラクター JD-6215R アメリカ製
 - 出力/回転速度 : 158 kW (21.5 PS) / 2100
 - 排気量 : 6,788cc
 - 大きさ等 : 全長 5.65m、全幅 2.55m、車重 9.55t
- MUS-MAX ウッドターミネータ 8 XL Z オーストリア製
 - チップ生産能力 : 約 100 m³/時間
 - 丸太処理能力 : 60cm (64×60)
 - 大きさ等 : 全長 5.60m 全幅 2.50m 車重 10.3t



写真 2.1 けん引式チップパー機

② アームロール式二重底牽引トレーラー

- ジョンディアトラクター JD-6125M アメリカ製
 - 出力/回転速度 : 92 kW (21.5 PS) / 2100
 - 排気量 : 4,530cc
 - 大きさ等 : 全長 4.46m、全幅 2.36m、車重 5.84t
- アームロール式けん引トレーラー
 - THL 8L Krampe 社 ドイツ製
 - 大きさ等 : 全長 6.35m 全幅 2.05m
- 二重底コンテナ
 - TYP AL4520 Bruns 社 ドイツ製
 - 大きさ等 : 全長 4.84m 全幅 2.43m 全高 2.23m



写真 2.2 アームロール式二重底牽引トレーラー

③ チップ配送用 2 t トラック (木くず燃料の配送がアームロール式二重底牽引トレーラーでは困難なため、車両の入れ替えを行った)

- 三菱ふそうファームダンプ 日本製
 - 2 t 高床 4WD
 - 積載量 2 t (チップ 10 m³)



写真 2.3 三菱ふそうファームダンプ

(2) 木くず燃料輸送システムの見直し

事業ではトラクターけん引式アームロール二重底コンテナで、木くず燃料を林内運搬から木くず燃料管理ヤードまでの運搬を計画し、その実証を次章のとおり行った。

木くず燃料管理ヤードから、ボイラーサイロへの木くず燃料の配送は、事業当初計画では、4 t 積のアームロールダンプを導入して配送する計画であったが、予算が厳しく4 t 積のアームロールダンプの継続的な利用を断念した。このため、実証事業期間のボイラーサイロへの配送は、配送のたびに2 t 積のファームダンプをチャーターして対応したため、継続的な経費が必要となった。

本来のトラクターけん引式アームロール二重底コンテナによる配送を検討したが、木くず燃料配送先が実証事業の他にも、既存の小型ボイラ施設への配送もあり、配送先のサイロへの道路幅員が狭く、トラクターけん引式アームロール二重底コンテナの通行が出来ないため、止む無く2 t 積のファームダンプをチャーターして対応した。

今後の木くず燃料の配送先は、実証事業地のほか、既存の小型ボイラ施設、ならびに遠野市新庁舎へのボイラ導入に伴う木くず燃料の供給など、配送業務が増えることが確実であり、道路幅員が狭い場所への配送が可能な2 t 積のファームダンプが必要不可欠である。

このため、実証事業の最終にトラクターけん引式トレーラーと2 t 積みファームダンプを入替えて、二重の経費負担を軽減し、安全な木くず燃料の配送を行うこととした。今後、林内で生産する木くず運搬は、木くず生産工程を集約化した作業として、ダンプトラックのチャーター等で対応する。また、けん引式アームロール二重底コンテナは、継続的に利用して、地域の大型トラクターをチャーターして、強制乾燥等を進める計画とする。

なお、トラクターけん引式アームロール二重底コンテナと2 t 積みファームダンプの配送能力の差は次のとおり、トラクターけん引式アームロール二重底コンテナの方が、積載量が2倍なので、所用時間、消費燃料、経費（諸費用：トラック自動車保険、車検）など優位となるが、道路幅員が狭くトラクターけん引式アームロール二重底コンテナが利用できないため、已む得ない選択である。

●トラクターけん引式アームロール二重底コンテナ

積載量：20 m³層積

時 速：平均時速 29 km/h（ 5）（2）木くず燃料生産作業システム参照）

●2 t 積みファームダンプ

積載量：10 m³層積

時 速：平均速度 36 km/h（ 5）（2）木くず燃料生産作業システム参照）

●小型ボイラーサイロ（水光園）容量 90 m³層積（5.5m×5.5m×3.0m）

サイロ要領の 45 m³層積（50%）を1週間に1回配送する場合

木くず燃料管理ヤードと水光園の距離（往復 12 km）

・トラクターけん引式アームロール二重底コンテナ≒3回（40分×3回＝2時間）

・2 t 積みファームダンプ＝5回（35分×5回＝2時間 55分）

（木くず燃料積み込み荷降ろし 15分で試算）



写真 2.4 トラクターけん引式トレーラーと2t積みファームダンプの入替

4) 木くず燃料管理ヤード

木くず燃料管理ヤード（チップヤード）は、木工団地内北東端の指定可燃物取扱所（ビニール製倉庫）横に、幅30m×奥行8m×高さ6mの鋼製・壁は板張りで建設した。建設場所は、日射や風通しを考慮した構造とし、板張りの壁は上部を開けた構造とした。床はコンクリート張りとして、木くず燃料の品質の向上をはかる構造である。

木くず燃料管理ヤードの大きさは、当初計画の水光園年間使用木くず燃料量1,600 m³層積と新庁舎木くず燃料量4,000 m³層積、計5,600 m³層積の約1ヶ月分をストックできる量として計画した。

なお、木くず燃料の堆積量は、幅30m×奥行8m×高さ2m=480 m³で試算した。高さ2mの根拠は、欧州では2m以上堆積した場合、水分率が高い木くず燃料は発火するとの情報から、積載高2mで試算した。



図 2.8 木くず燃料管理ヤード位置等

5) 効率的林地残材集荷システムの実証

(1) 木くず燃料の原木生産および集荷作業システム

原木生産および集荷作業システムは、遠野市有林1地区で実証を行った。

内楽木市有林のモデル事業地は、マツ食い虫被害対策の主伐事業で、伐倒木は全て木くず燃料の原木となるため、低コスト・高効率生産を目的に「チェーンソー伐倒」→「グラップル及び単胴ウインチによる路肩までの全木木寄せ」→「チェーンソーによる粗切り造材」→「グラップルによるばら積」作業システムにより、作業の低コスト化とともに、木くず燃料生産の作業効率、ならびに原木が自然乾燥しやすい方法を試行した。

実証の分析は、従来の主伐作業システムと、モデル事業の作業システムで生産性データを取得して評価した。なお、従来作業システムおよびモデル事業の地形要件は類似するが、林種が異なる。また、モデル事業地は熟練した技術者の施業に対し、従来作業システム地は経験が浅い技術者の施業であったなど、直接的な比較は難しい。

調査結果は、表 2.9 に示すとおり、モデル事業地はアカマツ林で胸高直径 18 cm、樹高 11m 程度の小径木で、何れの作業工程においても処理本数が多いが出材積は少ない。

他方、従来の主伐対象団地は、スギ人工林で胸高直径 26~29 cm、樹高 20.0m 程度の大径木で処理本数が少ない割に、各工程の生産性は中程度である。特に、モデル事業に伴う粗切り・ばら積と、従来の玉切り・はい積では、日作業時間に大きな差がないが、生産性が 2 倍の違いを示す。処理本数も胸高直径の違いはあるが 4 倍弱の作業効率の差が生じている。

以上のことから、モデル事業の主伐作業システム（粗切り造材・ばら積）は、一般的な主伐の作業工程と比較して、作業効率が高く、低コストで原料を生産できたと評価できる。

図 2.9 主伐作業および木くず生産作業システム



表 2.9 モデル事業と従来の作業システムとの生産性評価現場

区 分	地区名/調査日	調査項目	調査結果
モデル事業	内楽木市有林 平成 28 年 3 月 15～18 日	伐倒作業	175 本/日－57 分 49 秒 平均 DBH=17.4 cm 平均樹高 10.9m 生産性 37.4 m ³ /人日
		木寄せ作業 (グラップル)	120 本/日－50 分 37 秒 平均 DBH=18.5 cm 平均樹高 10.5m 生産性 22.4 m ³ /人日
		木寄せ作業 (ブルウインチ)	86 本/日－1 時間 39 分 12 秒 平均 DBH=14.9 cm 平均樹高 10.3m 生産性 10.6 m ³ /人日
		玉切り・はい積 (粗切り・ばら積)	159 本/日－24 分 26 秒 平均 DBH=14.2 cm 平均樹高 10.3m 生産性 24.3 m ³ /人日
従来の主伐	青笹町中妻団地 平成 29 年 2 月 20～21 日	伐倒作業	39 本/日－1 時間 34 分 55 秒 平均 DBH=29.3 cm 平均樹高 23.4m 生産性 35.0 m ³ /人日
		木寄せ作業 (グラップル)	40 本/日－1 時間 02 分 27 秒 平均 DBH=26.5 cm 平均樹高 20.0m 生産性 12.2 m ³ /人日
		玉切り・はい積	40 本/日－27 分 06 秒 平均 DBH=26.5 cm 平均樹高 20.0m 生産性 12.2 m ³ /人日



写真 2.5 モデル事業 内楽木市有林の木寄せばら積状況

(2) 木くず燃料生産作業システム

木くず燃料生産作業システムは遠野市有林 2 地区で実証を行った。

内楽木市有林のモデル事業地では、粗切り・ばら積して自然乾燥させた原木を、トラクターけん引式チップパー機で木くず燃料の生産を分析した。

実証は、ばら積した 2 箇所の材積を検値した後に、トラクターけん引式チップパー機で切削して、ダンプトラックで木くず燃料管理ヤードまで運搬して行った。

実証結果は、表 2.10～表 2.11 に示すとおり、2カ所のはい積 (67.9 m³) から、278.3 m³層積の木くずを生産した。時間当たりの生産性は 51 m³層積/h であり、チップパー機カタログ値 100 m³/h と比較すると約半数の生産性であった。これは、チップ

一機のオペレーティングの熟練度のほか、原木の径級が細かったことと、枝条まで丁寧な切削したため時間当たりの生産性が伸びなかったと推察される。

原木の木くず化に伴う変化率は2カ所平均で4.1となった。一般的な原木（丸太）の切削に伴う変化率は、国内の製紙用チップ生産では2.8、欧州のマニュアルでは2.5と示される。このため、今回の実証では枝条も同時に切削したため、変化率が大きくなったと推察される。

表 2.10 木くず燃料生産性と切削木くず変化率

ばら積 No	ばら積材積 (m ³)	木くず層積 (m ³)	切削木くず 変化率	切削時間 (時間)
1 (上段) 3回目	31.98 枝条含まない	126.27 枝条層積46	3.9 枝条含む	156分 [2時間51分] (時間当たり49m ³ 層積)
2 (下段) 2回目	35.92 枝条含まない	152.07 枝条層積62	4.2 枝条含む	171分 [2時間36分] (時間当たり53m ³ 層積)
3 (最下 段) 初回		174.92		216分 [3時間36分] (時間当たり49m ³ 層積)
計 (平均)	67.9	278.34 4割程枝条 参考値除く	4.1 平均	327分 (時間当たり51m ³ 層積) 参考値除く



写真 2.6 モデル事業地におけるトラクターけん引式チップパー機による木くず燃料生産状況

梨の木平市有林地区では、主伐施業および公共工事等の支障木伐採に伴う未利用材と林地残材（枝条・追上材等）のトラクターけん引式チップパー機の実証を行った。

実証は、5月に木くず運搬をトラックとして、林地未利用材・残材集荷と木くず生産工程調査を行った。10月調査では木くず運搬で、けん引式コンテナを使用し同様な調査を行った。

実証地の条件は、表 2.11 および写真 2.7 に示すとおりである。トラック輸送による実証は、未利用材や林地残材を中心に、チップパー機を移動しつつ木くず燃料を生産して、木くず燃料管理ヤードにトラックで運搬した。ヤードから梨の木平までの距離

は 10.7 km で、トラクターけん引式チップパー機は 23 分（平均時速 28 km/h）で移動した。運搬トラックの片道の運搬時間は 18 分（平均速度 36 km/h）であった。

けん引式コンテナ輸送による実証は、写真 2.8 示すとおり、スギ胸高直径 18 cm、造材長 3～4 m をチップパー機を移動せずに木くず燃料を生産し、木くず燃料管理ヤードにトラクターけん引式二重底コンテナで運搬した。けん引式コンテナの片道運搬時間は 22 分（平均時速 29 km/h）で、トラック運搬との差は 4 分であった。積算量は 10t トラック 16.7 m³ 層積、コンテナは 20 m³ 層積のため速度差 7 km/h で試算すると、往復 20 km（片道 10 km）の距離輸送の場合、6 時間作業時間でトラック運搬は 10 回（167 m³ 層積）に対し、けん引式コンテナは 8 回（160 m³ 層積）と 7 m³ 層積の差しか生じない。往復 40 km の距離輸送の場合は、輸送量の差はさらに縮まるため、トラック輸送とけん引式コンテナの木くず燃料の輸送量の差は小さいと判断できる。

しかし、時速 7 km/h の差は、国道等公道では後続車の通行障害も一部に見られたため、実践で使用する場合には、交通量の多い時間帯を避けた運搬が必要である。

表 2.11 梨の木平地区トラクターけん引式チップパー機による木くず燃料の生産地条件

調査日 調査区分	地区名	梨の木平市有林			天 候	晴	気 温	29℃
	調査地 NO	①・②						
平成 28 年 5 月 21～ 22 日 (トラック 輸送)	立木林種	人工林	立木樹種	アカマツ スギ	立木径(cm)	20	樹高 (m)	15
	針葉樹 丸太割合	0.7	広葉樹 丸太割合	0	枝条割合	0.2	追上材割合	0.1
	ヤードからの位置	距離	10.7km	普通車時間	18min	10t 車積載量	16.7 m ³	
	チップパー機の片道移動時間	23min	輸送トラックの片道時間		18min			
調査日 調査区分	地区名	梨の木平市有林			天 候	晴	気 温	18℃
	調査地 NO	③						
平成 28 年 10 月 24 日 (けん引 式コンテ ナ輸送)	立木林種	人工林	立木樹種	スギ	立木径(cm)	18	樹高 (m)	10
	針葉樹 丸太割合	0.8	広葉樹 丸太割合	0	枝条割合	0.1	追上材割合	0.1
	ヤードからの位置	距離	10.7km	時 間	18min	コンテナ積載量	20.0 m ³	
	チップパー機の片道移動時間	23min	けん引式コンテナ片道時間		22min			



写真 2.7 トラック運搬による林地未利用材・残材集荷と木くず生産実証状況



写真 2.8 けん引式コンテナによる林地未利用材・残材集荷と木くず生産実証状況

梨の木平地区木くず燃料の生産性等の実証結果は、表 2.12 に示すとおり、5月のトラック運搬では、平均の時間当たり生産性が 27.4m³/h であった。これは、現場内に散材する林地残材を移動しつつ木くず燃料を生産したことと、残材が追上材など短く作業効率が悪かったこと。また、オペレーターが、まだクレーン操作等の経験が浅かったためと推察される。

10月の実証時の生産性は、1回目に 92.3m³/h と非常に高く、機械カタログ値に類似する。2回目は立木の間を通した木寄せ作業であったが、42.9m³/h の生産性となっており、オペレーターの技術力が向上したと判断される。

また、梨の木平地区の10月の実証では消費燃料についても検証を行った。消費燃料は表 2.12 に示すとおり、40 m³チップ層積の生産に対して、7.3ℓの軽油を消費し、チップm³層積当り 0.18ℓの消費量となった。

表 2.12 梨の木平地区トラクターけん引式チップパー機による木くず燃料の生産結果

月日	作業回数	木くず量 (チップm ³)	作業時間 (min)	時間当たり 生産性(m/h)	運搬車両	消費燃料 【軽油】 (ℓ)	チップ層積当り 消費燃料軽油 (ℓ/m ³ 層積)
平成 28 年 5 月 21 日	1	16.56	43	23.11	10t ダンプ		
	2	16.56	52	19.11	10t ダンプ		
	3	9.24	22	25.20	4 t ダンプ		
平成 28 年 5 月 22 日	4	16.56	25	39.74	10t ダンプ		
	5	16.56	31	32.05	10t ダンプ		
	6	16.56	39	25.48	10t ダンプ		
	7	9.66	33	17.56	10t ダンプ		
	8	9.24	22	25.20	4 t ダンプ		
	9	9.24	18	30.80	4 t ダンプ		
	10	9.24	18	30.80	4 t ダンプ		
	11	9.24	26	21.32	4 t ダンプ		
	12	9.24	19	29.18	4 t ダンプ		
平均				27.41			
平成 28 年 10 月 24 日	1	20.00	13	92.31	けん引式 コンテナ	7.3	
	2	20.00	28	42.86	けん引式 コンテナ		
平均				58.54		7.3	0.18

木くず生産作業システム実証に伴う課題は、チップパー機の切削を考えた方向にはい積を行うことである。チップパー機の原木の呑み込み口は、写真 2.9 に示すとおり、進行方向に対して右側に位置する。このため左側にはい積した場合に、切削した木くずを吐き出すシュートが障害となり、クレーンを高く持ち上げることが必要で作業性が非常に悪い。このため、トラクターけん引式チップパー機を現地に持ち込んで木くず燃料の生産を行う場合には、はい積場所について十分配慮することが必要である。



写真 2.9 けん引式チップパー機の呑口と作業性

(3) 路網構造と規格

トラクターおよびけん引式移動式チップパー機の大きさは、図 2.10 に示す。実証に伴う森林作業道の幅員は、当初、車道幅員 3.0m、全幅員 3.5 で計画したが、チップパー機の全幅は 2.58m、車重が 10t 弱あり、造成したての盛土部の走行に不安がある。また、けん引時の全長が 10.55m と長く、かつけん引するチップパー機も 8.4t と重く、機械オペレーターの熟練度などから判断して、路体標準断面を図 2.11 に示すとおり、車道幅員を 3.5m (全幅員 4.0m) に拡幅して作業の安全を確保した。

しかし、今後新設する森林作業道等は、林道規程の2級林道でも、車道幅員3.0mと規定されているため、路体の締固めと施工時期を考慮した森林作業道を開設することで、全幅3.5mの造成幅員でチップー機を運用する必要がある。



図 2.10 トラクターけん引式チップー機諸元

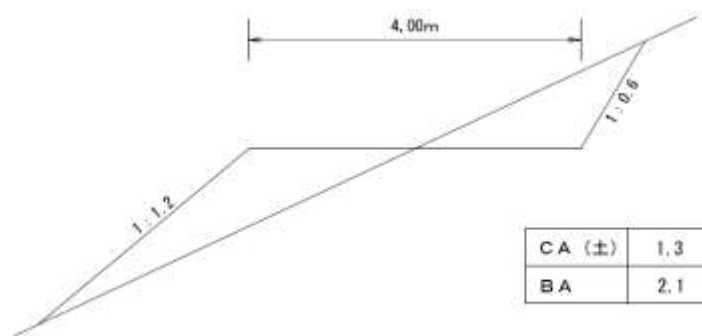


図 2.11 内楽木森林作業道の施工標準断面図

実証に伴う森林作業道一部には縦断勾配が18%（20m区間）の急勾配区間があり、トラクターけん引式チップー機が、路体の締固め不足等と相まって登坂できない区間があった。林道規程および林業専用道作設指針では、最大16%（100m以内に限り）と規定されているため、この数値を厳守した縦断勾配の設定が必要である。また、地質的に路体・路盤強度に不安がある場合には、縦断勾配を緩やかに設定するなどの対策が必要である。

けん引車両の車回し幅員は、けん引部車両の接続部から後輪軸までの軸距と、けん引する車両の軸距の1/2の距離（7.22m）があれば切り返し方向転換ができる。トラクターとけん引部の前輪と後輪距離は8.09mのため、10.0mの幅員があれば車両を切り返しで方向転換させることが可能である。

なお、車回しおよび曲線部の拡幅量を確認するために、旋回軌道テストを行った。外円でR7m（全幅14m）あれば、十分に旋回出来ることが明らかになった。また、道路中心線がR6mの場合、けん引部の最大内輪差は2.0mであったため、曲線部の拡幅量は余裕幅を持って2.25mは必要で、林業専用道作設指針に準拠することで拡幅量は確保される。

トラクターけん引式チップー機（車重は重いため、林業専用道規格（10 t 積程度）の路体構造を必要とする。岩手県森林作業道作設ガイドラインでは、9～13 tクラスの機械の場合、幅員 3.0m、路肩 0.5m（0.25m両側）を必要とし、路体の十分な支持力を確保するよう指示している。また、森林作業道づくり（林野庁補助事業）でも、路体の締固めは重要で 30 cm程度ずつ履帯やバケットの背でいねいに締固めを行うこととされる。このため、トラクターけん引式チップー機で、木くず燃料を生産する事業地の森林作業道の作設は、路体の締固めを十分に行うことが重要なポイントとなる。



写真 2.10 路体強度が弱く森林作業道の路肩に車輪が埋まったけん引式チップー機

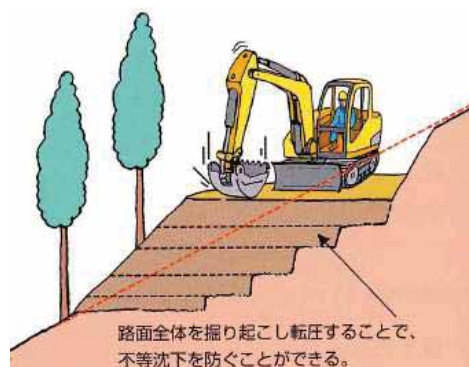


図 2.12 路体の締固め模式図
資料：森林作業道づくり（林野庁）

6) 生産性と生産コスト

(1) 原木の木くず化に伴う変化率の検証

木くず燃料生産の時間当たりの生産性は、前章 5.1 4) (2) に示すとおり、最大値は 92.3m³/h で、機械カタログ値に類似する。しかし、原木の木くず化に伴う変化率は、枝条を同時に切削による場合の変化率は 4.1 と得たが、原木のみの変化率の検証結果は、表 2.13 に示すとおり、原木 1 m³を木くず燃料に切削すると 2.86 m³（変化率 2.86）層積となり、国内の製紙用木くず燃料生産係数と類似する結果となった。



写真 2.11 原木の木くず化に伴う変化率検証

表 2.13 カラマツ原木の木くず燃料化に伴う変化率

コンテナ容量	20.00 m ³
原木材積	7.00 m ³
木くず化変化率	2.86

(2) 木くず燃料計算コストおよび導入システム維持に必要な事業量等

木くず燃料の生産コストは、平成 28 年度の生産実績を基に試算した。なお、試算にあたっては、チップー機の時間当たり生産量の実証結果の 50 m³/h の 8 割である【40 m³/h】として試算した。

試算結果は表 2.15 に示すとおり、木くず 1 m³層積当り生産経費は、2,580 円/m³層積（次機積立金無し）であるが、次機積立金を計上した場合には 4,110 円/m³層積となり、現状の木くず燃料販売価格 3,500 円/m³層積（税別）に対して、生産段階で 610 円のマイナス（赤字）経費となっている。

現状の生産は最低限の人員と経費で実施しているため、生産コストを下げるためには、生産の拡大が必要である。現状の最低の生産経費をベースに生産拡大に伴う経費の推移は、図 2.13 に示すとおり、最低でも年間 5,000 m³層積を生産しないと生産単価が 2,500 円/m³層積を割らない。このため、木くず燃料の販路拡大が重要なポイントとなる。

なお、木くず 1 m³層積当り生産経費には、原木経費は含んでいない。現在、搬入される製材端材（背板）は平均すると背板 800 円/m³（水分率 40%wb 程度）の原料価格となる。

また、遠野森林組合のヒアリングによる C 材、D 材は、表 2.16 に示すとおり、山土場渡し希望価格 3,500 円/m³である。

山土場渡し木くず燃料を木くず燃料化して 3,500 円/m³層積（13,672 円/t（水分率 50% 樹種換算係数 0.64 m³/t））で販売した場合、原木輸送費と木くず生産機械経費（次機積立金）を未計上としても赤字となる。

木くず燃料生産の採算性を維持するためには、山土場価格 2,250 円/m³で、原木を移動せず現地で木くず燃料生産を行い、現場から直接サイロに投入する作業システムとなる。

表 2.14 トラクターけん引式チップー機械経費および維持管理費試算表

機械名		ジョンディアトラクター			
減価償却費		維持管理費		適用	
購入価格	27,472,500	保守修理費率	50	補修率50%で試算	
自己負担額 (次機積立金)	13,000,000	保守修理費	1,374,000	100%補助	
償却年数	10.0	消耗品費		償却年10年で試算	
想定運転日数	80	損害保険	347,650	運転日数80で試算	
年間償却費	1,300,000	年間維持費	1,721,650	年間損料	1,721,650
日当り償却費	16,300	日当り維持費	21,500	日額損料	21,500
次機導入積立金13,000,000を計上する場合の日額損料					37,800
機械名		MUS MAX牽引式チップー			
減価償却費		維持管理費		適用	
購入価格	27,472,500	保守修理費率	30	補修率30%で試算	
自己負担額 (次機積立金)	14,000,000	保守修理費	824,200	100%補助	
償却年数	10.0	消耗品費		償却年10年で試算	
想定運転日数	80	損害保険	347,650	運転日数80で試算	
年間償却額	1,400,000	年間維持費	1,171,850	年間損料	1,171,850
日当り償却額	17,500	日当り維持費	14,600	日額損料	14,600
次機導入積立金14,000,000を計上する場合の日額損料					32,100
トラクターけん引式チップー機 (セット)			日額損料	36,100	
次機導入積立金を計上する場合の日額損料					69,900

表 2.15 現状の木くず燃料の生産経費試算

経費項目	内容	実績単価	備考
木くず燃料生産量等	木くず燃料生産量	2,391 m ³ 層積	平成28年3月1日～平成29年2月28日販売実績
	木くず燃料生産時間 (40 m ³ /hで試算)	60 時間	59時間47分
	木くず燃料生産日数 (実働8/h)	20 日	切削時間3h/日で試算
	平成28年度実働日数	248 日	土日祝日117日
人件費等	機械オペレーター 日額総人件費	21,240 円	実績値
機械経費	JDトラクター減価償却	0 円	100%補助(次機積立金なし) 次機年間積立金1,300,000円
	JRトラクター 年間維持管理費	1,721,650 円	保守修理費率50%10年償却で試算、損害保険含む
	チップパー機償却	0 円	100%補助(次機積立金なし) 次機年間積立金1,400,000円
	チップパー 機年間維持管理費	1,171,850 円	保守修理費率30%10年償却で試算、損害保険含む
	燃料代(軽油)	319,025 円	
資材費	バッテリー他	18,360 円	
	修繕費(刃研磨)	81,216 円	
	ヤード地代	311,148 円	
	消耗品費(オイル他)	440,735 円	
年間木くず生産現場経費	木くず生産人件費 20日で試算	4,488,780 円	次機積立金無し 端数処理
m ³ 層積りの現場生産経費	木くず生産人件費 20日で試算	1,880 円/m ³ 層積	
間接事業費	間接事費率35%で試算	700 円	事務所、事務職員経費等
木くず燃料1m ³ 層積当り生産経費		2,580 円/m ³ 層積	
トラクター・チップパー機の次機導入経費年間270万円を積立計上	年間木くず生産現場経費	7,188,780 円	
	m ³ 層積りの現場生産経費	3,010 円/m ³ 層積	
	間接事業費	1,100 円	
	木くず燃料1m ³ 層積当り生産経費	4,110 円/m ³ 層積	

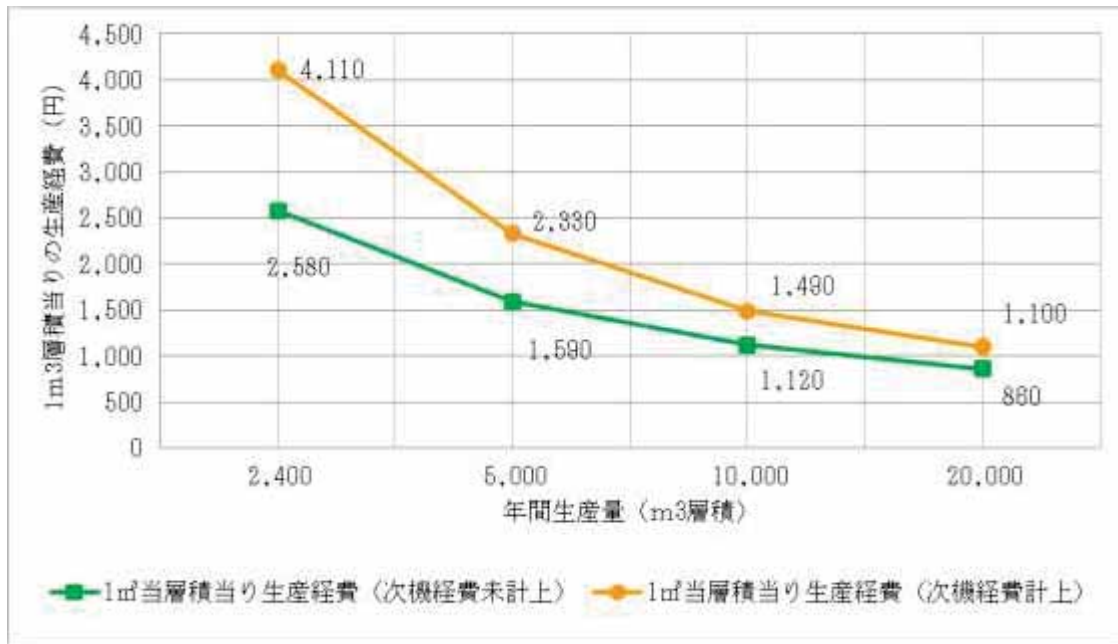


図 2.13 木くず燃料 1 m³当りの生産量別経費

表 2.16 遠野森林組合ヒアリングによる木くず燃料原木の土場渡し希望価格

工程区分	作業工程	工程別経費 (円/m ³)	経費累計 (円/m ³)	スギ素材生産 平均経費 (円/m ³)																																	
素材生産	伐木	600~900	600~900	8,000																																	
	木寄せ・集材	2,100~3,300	2,700~4,200																																		
	造材・はい積	1,800~2,300	5,000~6,000																																		
	運搬	1,980	6,980~7,980																																		
	作業道開設	1,800~2,000																																			
	所有者返還金	1,000																																			
販売価格	素材別	市況平均販売価格 (円/m ³)	歩止 (%)	平均販売価格 (円/m ³)																																	
	スギA材	11,000	50%	9,000																																	
	スギB材	9,000	25%																																		
	スギC材	6,500	25%																																		
森林組合木くず燃料用原木土場渡し 希望価格 (粗切り・ばら積)		3,500 円 (原木輸送費および次機経費未計上で赤字) 【2,250 円 (原木輸送費および次機経費未計上で採算性維持)																																			
<p>○木くず燃料 5,000 m³を 3,500 円/m³層積で販売する試算 (次機経費計上)</p> <table border="0"> <tr> <td>・木くず燃料販売量 5,000 m³層積</td> <td>【5,000×3,500】 = 17,500 千円</td> <td rowspan="5">} 33,550 千円 (赤字) 【23,650 千円】 (赤字)</td> </tr> <tr> <td>・原木量 2,000 m³ (変化率 2.5)</td> <td>【2,000×3,500】 = 7,000 千円</td> </tr> <tr> <td>・原木運搬費</td> <td>【5,000×1,980】 = 9,900 千円</td> </tr> <tr> <td>・木くず生産費</td> <td>【5,000×2,330】 = 11,650 千円</td> </tr> <tr> <td>・生産した木くず運搬費</td> <td>【5,000×1,000】 = 5,000 千円</td> </tr> </table> <p>○木くず燃料 5,000 m³を 3,500 円/m³層積で販売する試算 (次機経費未計上)</p> <table border="0"> <tr> <td>・木くず燃料販売量 5,000 m³層積</td> <td>【5,000×3,500】 = 17,500 千円</td> <td rowspan="5">} 29,850 千円 (赤字) 【1,9950 千円】 (赤字)</td> </tr> <tr> <td>・原木量 2,000 m³ (変化率 2.5)</td> <td>【2,000×3,500】 = 7,000 千円</td> </tr> <tr> <td>・原木運搬費</td> <td>【5,000×1,980】 = 9,900 千円</td> </tr> <tr> <td>・木くず生産費</td> <td>【5,000×1,590】 = 7,950 千円</td> </tr> <tr> <td>・生産した木くず運搬費</td> <td>【5,000×1,000】 = 5,000 千円</td> </tr> </table> <p>○木くず燃料 5,000 m³を 2,250 円/m³層積で販売する試算 (次機経費未計上)</p> <table border="0"> <tr> <td>・木くず燃料販売量 5,000 m³層積</td> <td>【5,000×3,500】 = 17,500 千円</td> <td rowspan="5">} 27,350 千円 (赤字) 【17,450 千円】</td> </tr> <tr> <td>・原木量 2,000 m³ (変化率 2.5)</td> <td>【2,000×2,250】 = 4,500 千円</td> </tr> <tr> <td>・原木運搬費</td> <td>【5,000×1,980】 = 9,900 千円</td> </tr> <tr> <td>・木くず生産費</td> <td>【5,000×1,590】 = 7,950 千円</td> </tr> <tr> <td>・生産した木くず運搬費</td> <td>【5,000×1,000】 = 5,000 千円</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">原木輸送費および次機経費未計上で採算性が維持される↑</p>					・木くず燃料販売量 5,000 m ³ 層積	【5,000×3,500】 = 17,500 千円	} 33,550 千円 (赤字) 【23,650 千円】 (赤字)	・原木量 2,000 m ³ (変化率 2.5)	【2,000×3,500】 = 7,000 千円	・原木運搬費	【5,000×1,980】 = 9,900 千円	・木くず生産費	【5,000×2,330】 = 11,650 千円	・生産した木くず運搬費	【5,000×1,000】 = 5,000 千円	・木くず燃料販売量 5,000 m ³ 層積	【5,000×3,500】 = 17,500 千円	} 29,850 千円 (赤字) 【1,9950 千円】 (赤字)	・原木量 2,000 m ³ (変化率 2.5)	【2,000×3,500】 = 7,000 千円	・原木運搬費	【5,000×1,980】 = 9,900 千円	・木くず生産費	【5,000×1,590】 = 7,950 千円	・生産した木くず運搬費	【5,000×1,000】 = 5,000 千円	・木くず燃料販売量 5,000 m ³ 層積	【5,000×3,500】 = 17,500 千円	} 27,350 千円 (赤字) 【17,450 千円】	・原木量 2,000 m ³ (変化率 2.5)	【2,000×2,250】 = 4,500 千円	・原木運搬費	【5,000×1,980】 = 9,900 千円	・木くず生産費	【5,000×1,590】 = 7,950 千円	・生産した木くず運搬費	【5,000×1,000】 = 5,000 千円
・木くず燃料販売量 5,000 m ³ 層積	【5,000×3,500】 = 17,500 千円	} 33,550 千円 (赤字) 【23,650 千円】 (赤字)																																			
・原木量 2,000 m ³ (変化率 2.5)	【2,000×3,500】 = 7,000 千円																																				
・原木運搬費	【5,000×1,980】 = 9,900 千円																																				
・木くず生産費	【5,000×2,330】 = 11,650 千円																																				
・生産した木くず運搬費	【5,000×1,000】 = 5,000 千円																																				
・木くず燃料販売量 5,000 m ³ 層積	【5,000×3,500】 = 17,500 千円	} 29,850 千円 (赤字) 【1,9950 千円】 (赤字)																																			
・原木量 2,000 m ³ (変化率 2.5)	【2,000×3,500】 = 7,000 千円																																				
・原木運搬費	【5,000×1,980】 = 9,900 千円																																				
・木くず生産費	【5,000×1,590】 = 7,950 千円																																				
・生産した木くず運搬費	【5,000×1,000】 = 5,000 千円																																				
・木くず燃料販売量 5,000 m ³ 層積	【5,000×3,500】 = 17,500 千円	} 27,350 千円 (赤字) 【17,450 千円】																																			
・原木量 2,000 m ³ (変化率 2.5)	【2,000×2,250】 = 4,500 千円																																				
・原木運搬費	【5,000×1,980】 = 9,900 千円																																				
・木くず生産費	【5,000×1,590】 = 7,950 千円																																				
・生産した木くず運搬費	【5,000×1,000】 = 5,000 千円																																				
<p>注：スギ木くず燃料 3,500 円/m³層積≒13,672 円/t (水分率 50% 樹種換算係数 0.64 m³/t)</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;">スギ木くず燃料 2,250 円/m³層積≒8,789 円/t (水分率 50% 樹種換算係数 0.64 m³/t)</p>																																					

7) 木質バイオマスの効率的、安定的な加工方法

(1) 木くず燃料の自然乾燥

木くず燃料は、粗切り、ばら積して自然乾燥させた原木をトラクターけん引式チップパー機が低コストで高効率に生産する。粗切り、ばら積み造材等の手法は、表 2.17 に示すとおりである。

表 2.17 粗切り、ばら積み造材等の手法

- ① 造材および木くず燃料化は丸太が長尺の方が作業効率が良いため、造材は定尺に玉切らず、作業が行いやすい程度に粗切りする。
- ② チッピング効率の向上と枝払いの作業軽減のため、造材時には枝条を落とさない。
- ③ チッピング作業効率を向上させるため、はい積 1 箇所当たりの堆積高さは問わず、堆積量をなるべく多くする。
- ④ 木くず原料の水分率を低くするために、はい積場所は風通しの良い場所を選んでばら積する。
- ⑤ 枝条の乾燥のために、枝条をグラップル等で押しつぶさず通気性を確保する。
- ⑥ あら積方向は、トラクターけん引式チップパー機の旋回場所と、作業方向を検討してけん引式チップパー機の右側に堆積させる。ただし、木くず燃料を搬出するトラック等の通行も検討すること。

木くず燃料用原木は粗切り、ばら積して自然乾燥させるが、乾燥期間や乾燥程度が不明なため、内楽木市有林の実証地で追跡調査を行った。また、梨の木平市有林の3月下旬に伐採・造材・はい積したスギ未利用材の木くず燃料化直後の水分率と、木くず燃料管理ヤードに5か月間野積みした水分率の追跡調査を行った。また、スギ未利用材の原木のままの林内の自然乾燥と、木くず燃料化後の野積み自然乾燥の違いについて分析した。

内楽木市有林の木くず燃料原木の自然乾燥追跡調査結果は、表 2.18 および図 2.14 に示すとおり、伐木直後には 47.54%. Wb あった水分率が、粗切り・ばら積後約2か月で 35%. Wb を切る水分率となっている。しかし、それ以降の水分率変化は緩やかに減少して7か月後の10月23日に 25.01%. Wb であった。

内楽木市有林の実証地の伐木作業は3月上旬であり、樹木がまだ休眠期で、水分を吸い上げる前で伐倒木の水分率が低かった推察される。また、実証地は東斜面で日当たりが良く、風通しも良いことから、伐木後、急激に乾燥が進んだと考えられる。

このため、けん引式チップパー機の走行可能な林地では、積極的に林内で自然乾燥を行い、木くず燃料の生産を推進する必要がある。

表 2.18 内楽木市有林の木くず燃料原木の水分率変化

はい積 No	はい積材積 (m ³)	伐採日	区分	水分率 (%. WB.)			
				第1回計測 (4月9日)	第2回計測 (4月29日)	第3回計測 (6月18日)	第4回目 (10月23日)
1 (上段) 3回目	31.98	2016 3月8日	広葉樹平均	39.43	32.79		
			針葉樹平均	38.62	36.36		
	枝条含まない 平均		39.03	34.58	31.05		
2 (下段) 2回目	35.92	2016 3月15日	広葉樹平均	43.54	34.81		
			針葉樹平均	44.91	32.22		
	枝条含まない 平均		44.23	33.52	32.71		
3 (最下段)		2016 3月14日	立木 (参考値)	47.54			
			広葉樹平均				25.13
			針葉樹平均				24.88
			平均				25.01

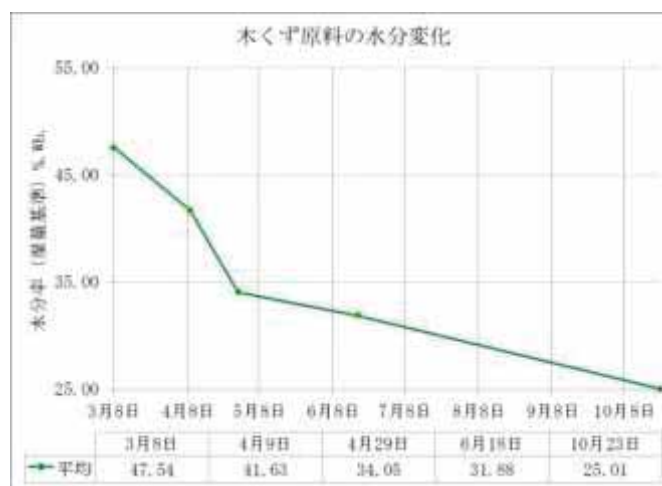


図 2.14 内楽木市有林の木くず燃料原木の水分率変化グラフ

梨の木平市有林の調査結果は、表 2.19 および図 2.15 に示す。伐木から2ヵ月後の林地残材の水分率は43.13%.wbで、内楽木のデータと比較すると水分率が高い。これは自然乾燥を意識したばら積では無く、林地残材が散乱しないように押しつぶしつ堆積されていたことから、通気が悪く乾燥しづらかったと推察する。

木くず燃料化後の野積み木くず燃料の表層部は、水分率7.95%.wbと非常に良く乾燥している。しかし、表層から50cm深部は72.80%.wb、1.0m深部は65.05%.wbと、切削時より水分率が高くなっている。これは、雨水を木くずが吸い込んで水分率が高くなった。

スギ人工林の林縁に7ヵ月放置された未利用材の水分率は、34.42%.wbであった。これは、内楽木市有林の粗切り・あら積の3ヶか月目の水分率とほぼ同じである。

以上のことから、トラクターけん引式チップー機で林地内で木くず燃料化を行う場合には、日射、風通しを考慮して、2～3ヶ月ばら積することで、水分率は40%.wbを下回ると考えられる。

木くず燃料化後の野積み乾燥は水分率を下げるため、通気性が良く、雨水の浸透性が無い、シートを被せるなどの対策が必要である。

また、11月以降～3月末の伐採木を林内放置した未利用材は、2カ月程度で水分率45%.wbを下回り、7カ月程度で40%.wbを下回ると考えられる。なお、間伐等で発生する未利用材は、枝条を取り除かず粗切り・ばら積させることで自然乾燥が進むと考えられる。

表 2.19 梨の木平市有林の木くず燃料原木の水分率変化

伐採日	区分	水分率 (%.WB.)			
		5月21・22日	10月23日	10月24日	
梨の木平 林地残材	2016 3月28日	L・N混木くず燃料 枝条含む	43.13		
		野積み表層		7.95	
		野積み0.5m深部		72.80	
		野積み1.0m深部		65.05	
		林内はい積み未利用材			34.42

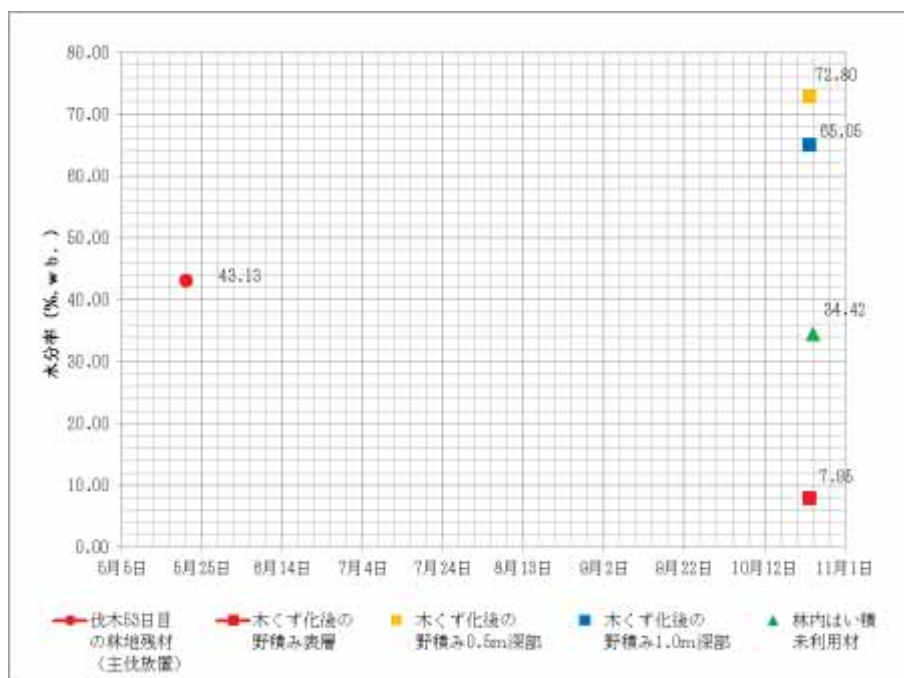


図 2.15 梨の木平市有林の木くず燃料原木の水分率変化

(2) 大型ボイラ余熱による木くず燃料の乾燥

事業では木くず燃料の自然乾燥のほか、欧州のバイオガスで普及している二重底の木くずコンテナに、ボイラの排煙を利用した温風を吹きかける方式で、水分率の高い木くず燃料を強制乾燥させるシステムを導入した。排煙と二重底コンテナを利用した木くず燃料の強制乾燥は、国内では先進事例が確認されない。

実証は、大型ボイラの稼働に合わせて、排煙とけん引式アームロール二重底コンテナによる木くず燃料の強制乾燥を行った。

実証結果は、表 2.20 および図 2.16 に示すとおり、排煙温度は 60℃を保持して送風したが、コンテナ内は送風温度より 25℃程度低い 32℃から 35℃程度の温度帯で推移した。

木くず燃料の水分率は、実証開始前は 55.92%.wb であったが、24 時間の強制乾燥で 41.96%.wb に下がった。ただし、排煙の送風口が 45.00%.wb で、コンテナ下部から中央部が 41.18%.wb であり、送風口から最も遠い前面上段部が 40.48%.wb と最も乾燥が進んだ。高温を送風する送風口周辺の乾燥が最も進むと考えていたが、そうではない状況となった。これは、大型ボイラの燃料が水分率の高いバークを使用しているため、燃焼に伴い水分が水蒸気となって排煙されるためと判断される。この状況は、写真 2.14 および写真 2.15 に見られるとおり、コンテナ上部から常に蒸気を発生しており、この蒸気が木くず燃料に含まれる水分以外の蒸気を含んでいる可能性がある。しかし、写真 2.12 に示す乾燥終了直後の送風口とその奥は、蒸気で濡れている状況では無いため、水分を含む排煙が低温の木くず燃料を通るときに、結露状態となり水分を供給する可能性が考えられる。

今回の実証は、大型ボイラ稼働に合わせて 1 度の実証しか出来ていない。このため、大型ボイラの運用に合わせて、実証を繰り返し、排煙を送気する影響がボイラ本体の燃焼に及ぼす影響や、60℃以上の温度の送風乾燥、ならびに木くず燃料の水分率が 20%台に到達する時間などの検証を継続することが必要である。

なお、排煙送風の強制乾燥により、煙たい、煙が臭うなどの周辺への影響が懸念されたが、煙たさや臭気の発生の確認はなかった。



写真 2.12 強制乾燥終了直後の送風口の状況

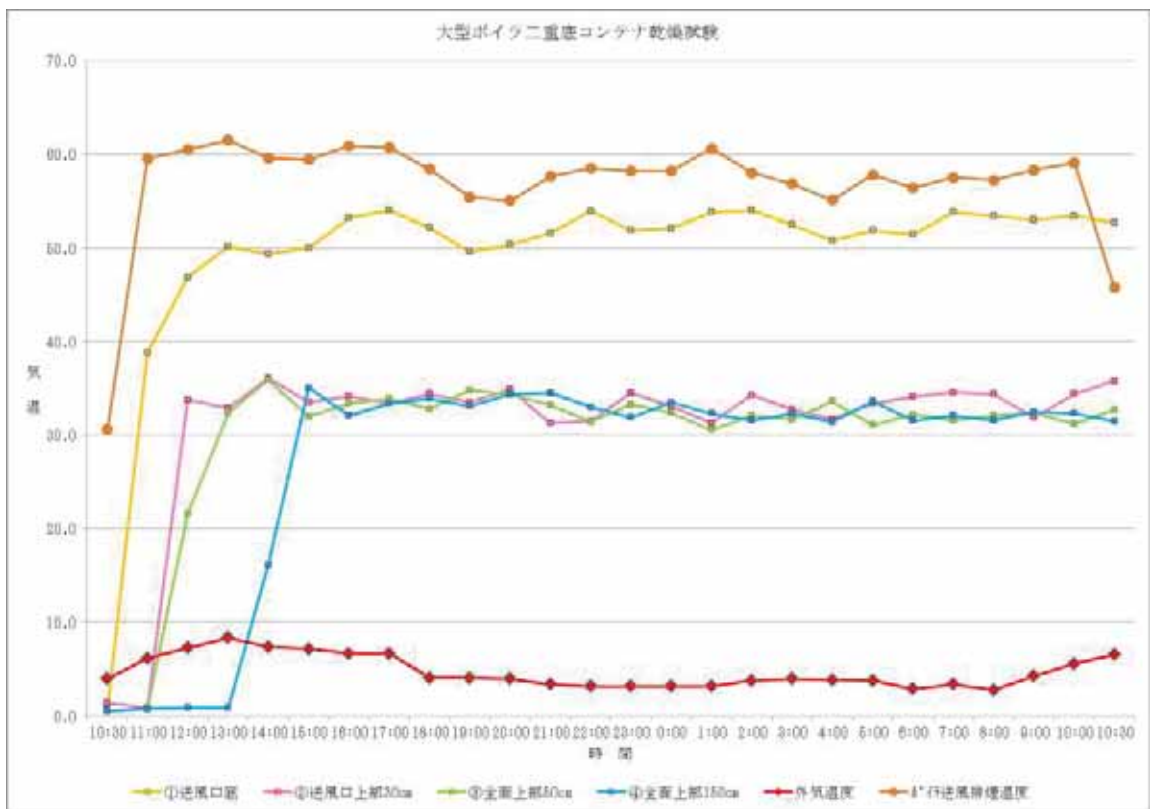


図 2.16 大型ボイラから送気された排煙温度および二重底コンテナ内温度変化

表 2.20 木くず燃料の水分率変化（強制乾燥前と乾燥後）

区 分		平均水分率	適 用
木くず燃料投入時	底	58.57	
	中 断	53.40	
	上 部	55.80	
平 均		55.92	
乾燥後	①送風口底	45.00	
	②送風口上部 30 cm	41.18	
	③全面上部 50cm	41.18	
	④全面上部 150 cm	40.48	
平 均		41.96	



写真 2.13 排煙の送風口と送風ダクト



写真 2.14 排煙送粉ファンと、排煙送風状況（白煙は水蒸気）



写真 2.15 排煙と二重底コンテナを利用した木くず燃料の強制乾燥システム全景

3. 木質バイオマスの新たなエネルギー利用方法

木材生産や製材工場の現場では様々な残材が発生する。これを燃料としてみれば、①形状が不定形であったり、水分が高いなど、燃料としては扱いにくいもの、②形状が比較的均一で水分も一定以下である質の高いものに分かれる。したがって、質の良いもの、低質なものともに燃料利用できて初めて、副産物としてのバイオマスの総合的な有効利用が実現する。

そのためには、2つのタイプのボイラが必要となる。一つは、形状が不定形で水分の高い、低質の原料を燃料利用できるボイラであり、もう一つが、形状や水分が比較的安定した相対的に質の良い原料を利用するボイラである。

小型ボイラと大型ボイラの構造の違いは、図 3.1 に示すとおりである。小型ボイラは、熱交換器が縦型で、燃焼炉と一体となっており、構造上コンパクトにすることができる。また、熱交換器が縦型なので、内臓小型モーターにより熱交換器の自動クリーニングがやりやすい。

これに対し、大型ボイラは、燃焼炉と熱交換器が分かれており、熱交換器も横型で大きくなる。横置きなので振動によるクリーニングができず、コンプレッサーによるクリーニングとなる。このメリットは、燃焼炉を大型にすることができるので、水分が高い、形状が不均一など、低質の材を燃料として使うことができることである。

燃焼炉・熱交換器一体型の小型ボイラ

燃焼炉・熱交換器分離型の大型ボイラ

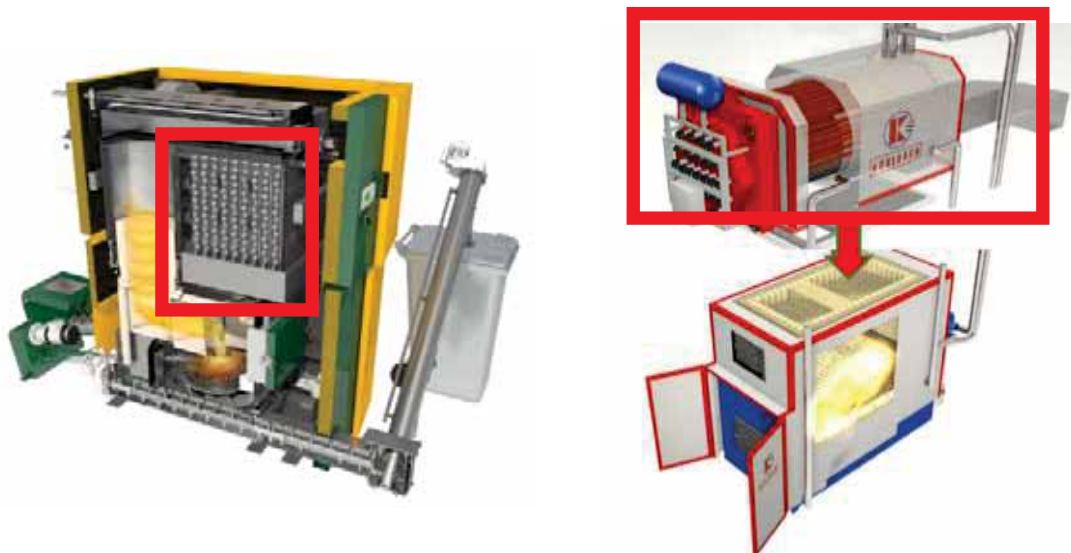


図 3.1 バイオマスボイラーの構造の違い

本事業では、副産物としてのバイオマスの徹底利用を図るため、パークなどの低質の原料を燃料として利用できる大型のボイラと、製材残材や林地残材を木くず燃料化して水分を一定以下に落とした燃料利用でき切る小型ボイラを導入して、実証を行った。

4. 大型ボイラ

1) 大型ボイラの選定

遠野市の製材工場では、年間 2,000～3,000 t のバークが発生している。バークは経費をかけて破棄処分しており、製材工場の負担となっていた。大型のバイオマスボイラーは、このバークを主燃料として蒸気を作り、これを木材乾燥に使うことにある。

現状、遠野の木工団地では 4,000 m³ の木材乾燥が行われ、必要となる蒸気は最大 3,600 t であるが、将来的に 8,000 m³ まで木材乾燥を増やすことを目標に、出力 1,500kW、蒸気 2.4 t のオーストリアのコールバッハ社の大型ボイラを選定した。同社は、1954 年以來、27 カ国で 1,500 基の設備据付実績を持つトップメーカーの一つである。これまでの経験の中で様々な種類のバイオマス燃料を扱い、バークについても多くの実績を持っている。

(1) Kohlbach ボイラ概要

30～60%と広範囲な水分（湿量基準）で、状態の悪く不均一なバイオマス燃料とすることが出来る。特に高水分の燃料は、階段状の火格子が往復駆動するストーカー炉を採用し、空気予熱器も備え高温の燃焼空気を供給することで、水分 50%を超えるような燃料についても安定して燃焼可能となっている。

ボイラへの燃料の投入は、燃料サイロ以降、自動搬送・自動投入され人手は不要である。サイロの床に設置されたウォーキングにより燃料を切出し、後段のプッシャー式の燃料投入機で燃焼炉に燃料を送る。投入量はボイラ出力にあわせ自動でコントロールされる。

ストーカー炉内の安定燃焼、またエコノマイザ、空気予熱器での熱回収により効率的に熱を回収し、ボイラ効率が高い設備である。



写真 4.1 燃焼炉内火格子



写真 4.2 燃料サイロ
(ウォーキングフロア)

(2) Kohlbach ボイラ仕様

- ・ ボイラ出力 : 1,500kW
- ・ 蒸気供給量 : 2.0t/h
- ・ 最高使用蒸気圧力 : 0.98MPa
- ・ 蒸気圧力 : 0.8MPa
- ・ 燃焼室温度 : 950℃
- ・ 燃料サイロ容量 : 容積 231m³ (長さ 11m×幅 6m×高さ 3.5m)
- ・ 燃料使用量 : 1,180kg/h(水分 60%時)、554kg/h(水分 30%時)



写真 4.3 大型ボイラ写真

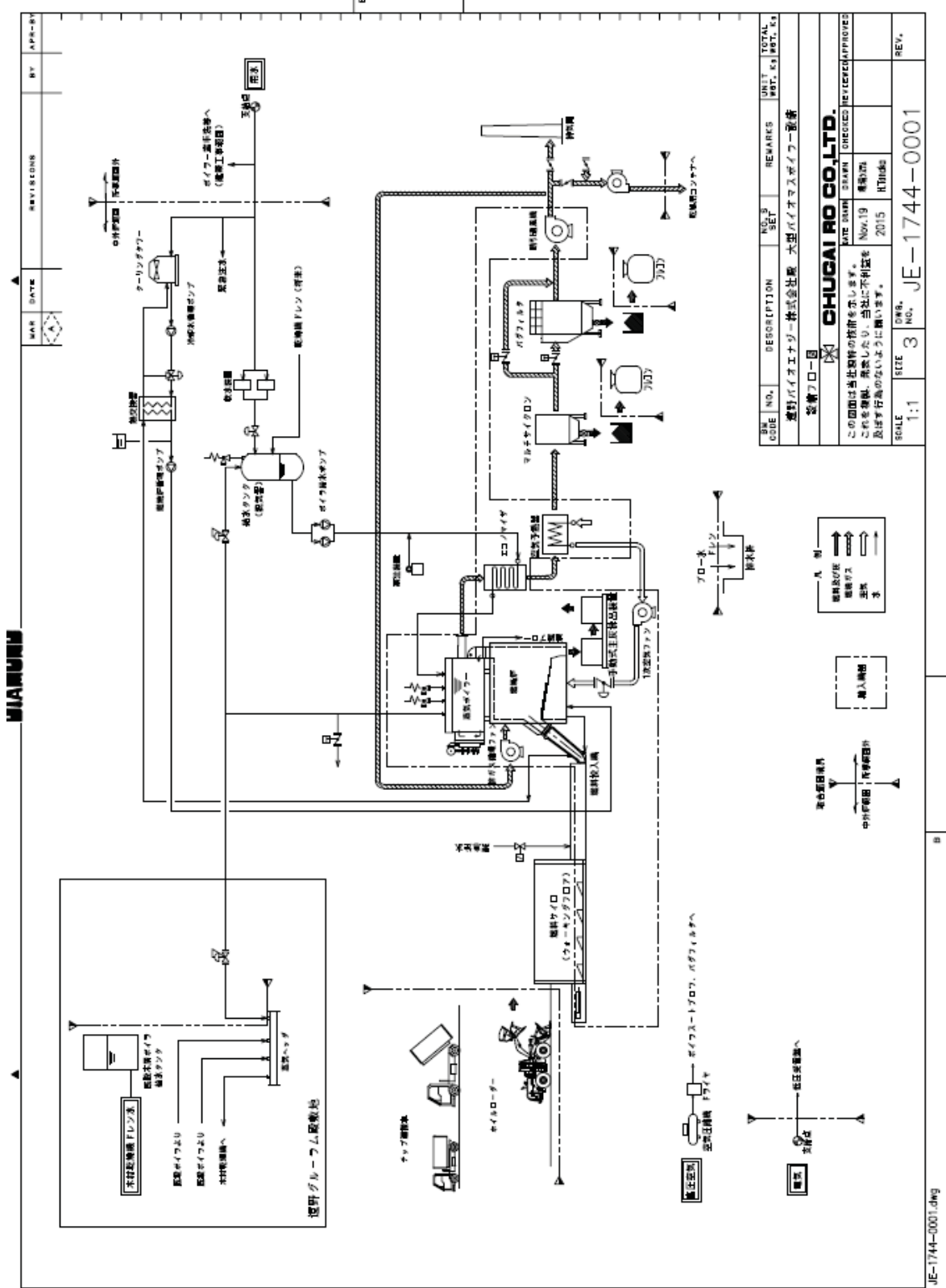


図 4.1 設備フロー図

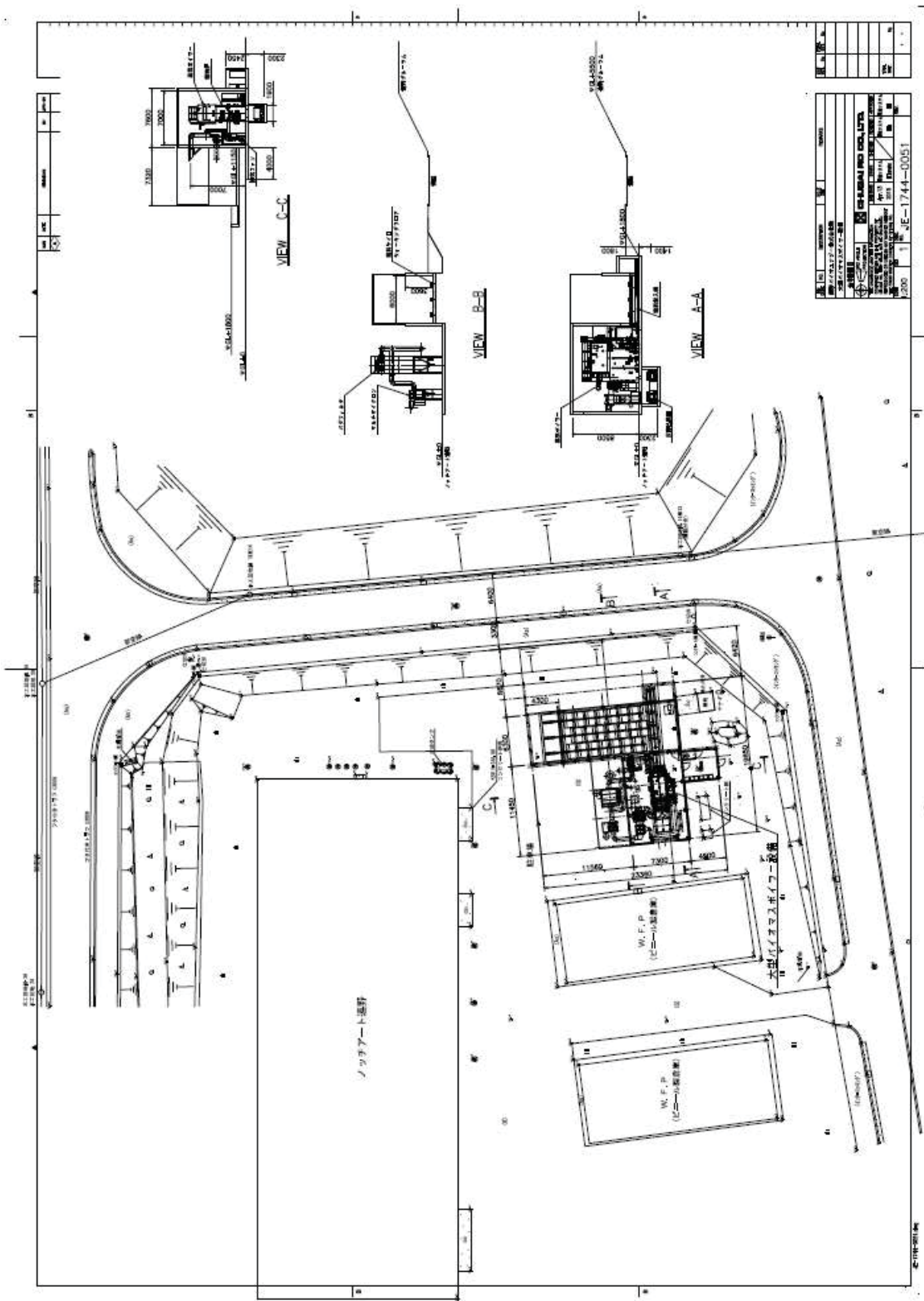


図 4.2 全体配置図

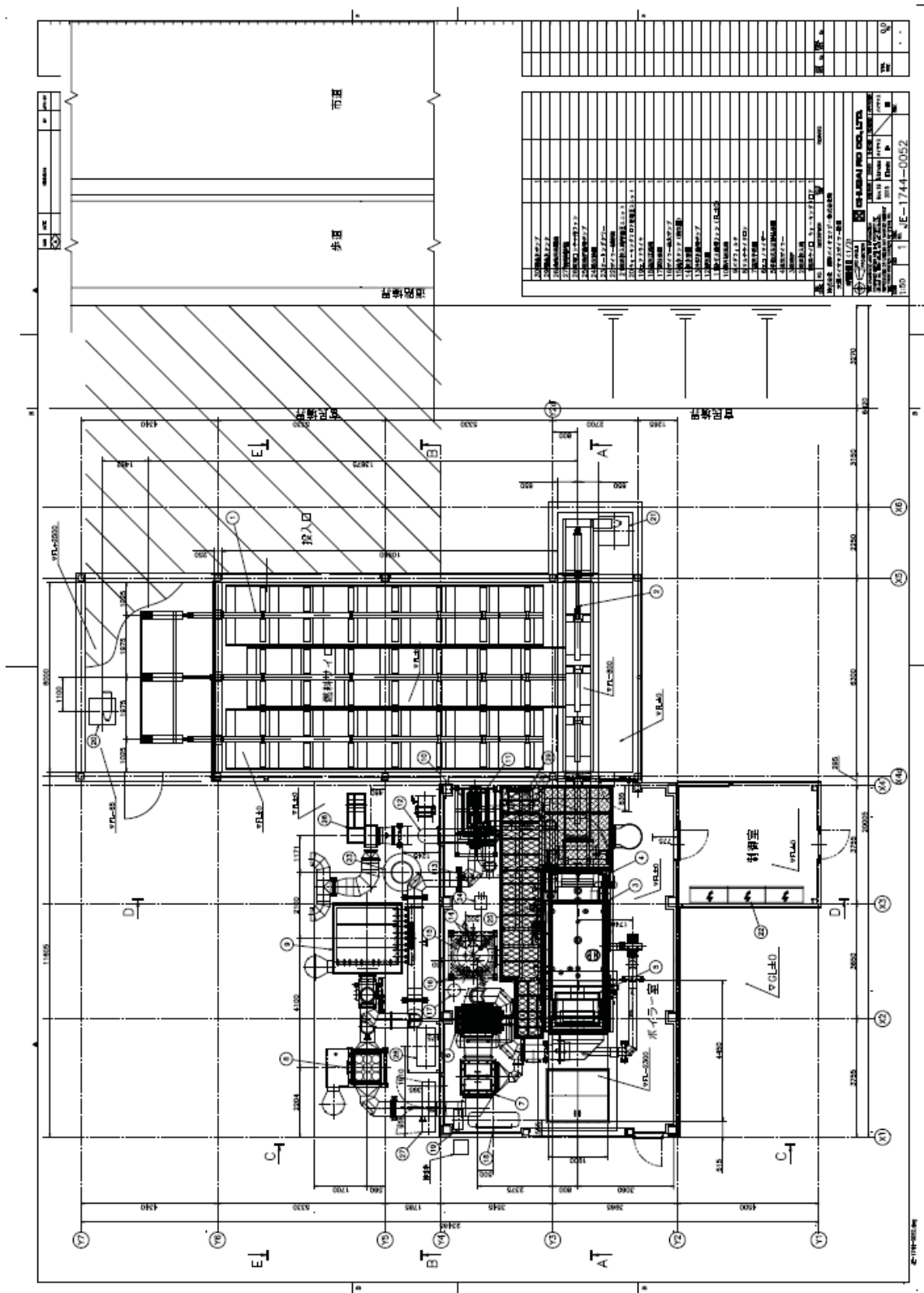


図 4.3 設備平面図

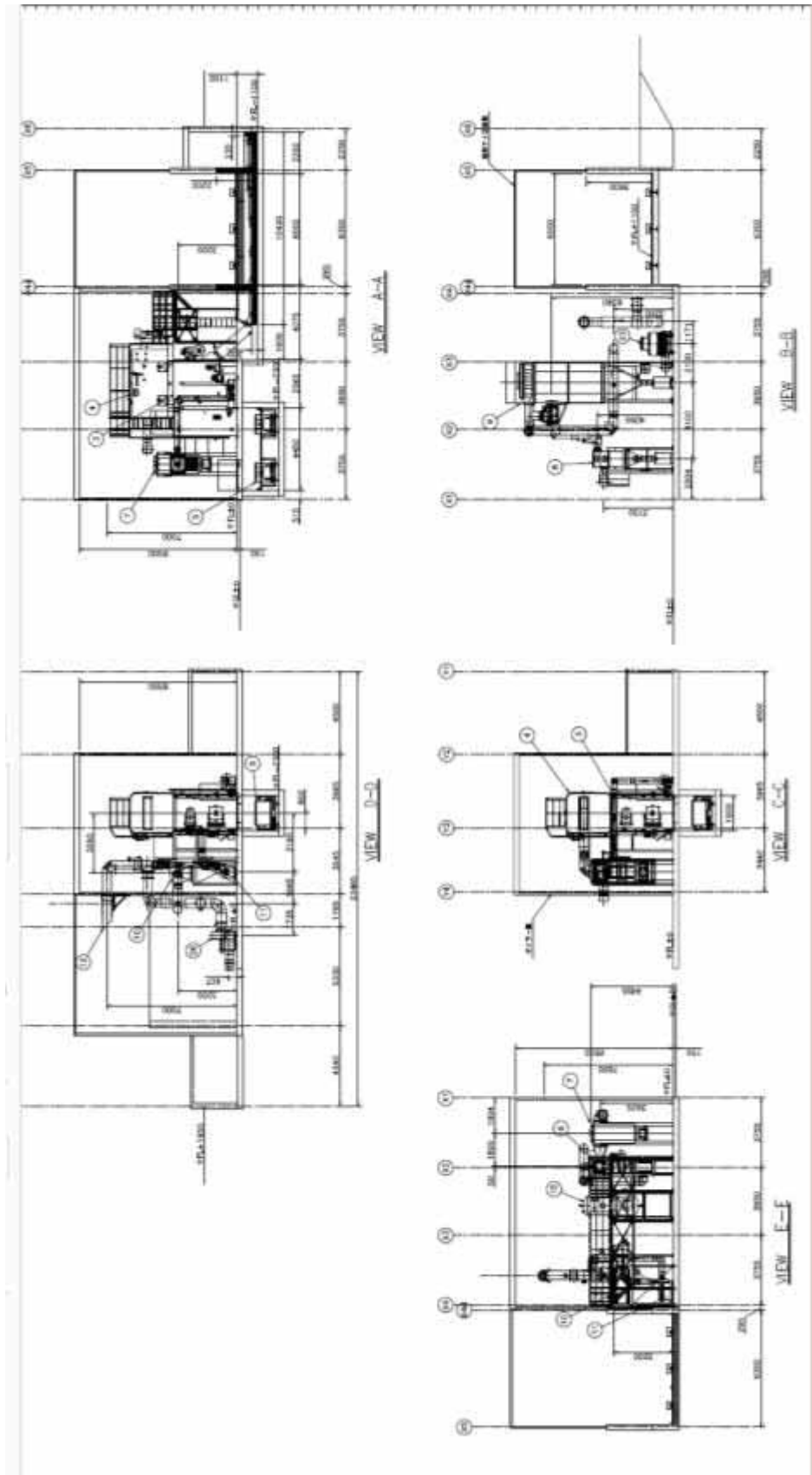


図 4.4 設備立面図

2) 大型ボイラの改造

(1) バークの搬送ができない問題

ボイラは平成 28 年 2 月末に完成し引き渡しを受けたが、実際の運転においては、運転当初より大きな問題として「燃焼炉への燃料投入量不足」が課題として持ち上がった。これは Kohlbach においても初めて経験するような日本独特の燃料性状の事情もあり、燃焼室へ十分な量の燃料が送り込めず、所定のボイラ出力が出せないというものである。以下にその原因を列挙する。



写真 4.3 サイロ内の長いバーク

- ・ スギバークは繊維質が非常に強く、お互いが糸のように絡まり、かさ比重が想定していたものよりも非常に小さいものであった。
- ・ スギバークが絡み合っているため流動性が非常に小さく、プッシャー式の搬送装置であるサイロおよび燃料投入機では、後退時にプッシャーの前に燃料が落ちずにプッシャーと一緒に上に載った燃料も後退し容易に前に運ぶことが出来ない現象が発生した。
- ・ 製材所から排出されるスギのバークは季節的に性状が異なり、特に夏季にはバークが細かく切れず長いまま排出される割合が多くなることが分かった。長いものは 2m を超えるものがあり、想定外のサイズのものが入り混じり、これが益々サイロでの搬送中に絡み合い、搬送量が落ちたり、投入機への落下時にブリッジが発生したり、途中で詰まるといった不具合が発生した。
- ・ また一度破砕燃料での運転を行ったが、破砕サイズが非常に小さく粉体状に近いものであったため、この時は燃焼炉入口部において詰まりが発生させたとともに、燃焼炉からの未燃飛散量が多く、細かすぎる燃料のみの運転が好ましくないことが分かった。



写真 4.4 バークの塊、ブリッジ

(2) 改造

上記の問題を解決するために下記のような対策を行った。

- ・ 燃料の搬送容積を増やすためにウォーキングフロアおよび燃料投入機の油圧装置の容量アップを行いプッシャーの速度を増加した。また燃料投入機についてはシリンダーストロークも増加し1回の搬送量を増やし十分な搬送容積を確保した。
- ・ プッシャーの後退時に燃料と一緒に戻らないような機構を設置した。
- ・ サイロからボイラ室の通過部は形状を円筒形とし、詰まりにくい構造とした。
- ・ 燃料供給についても配慮し、燃料サイズは一定以下のサイズを守るように決めた。



写真 4.5 燃料戻り防止機構

対策後、春先に排出されたバーク 100%を燃料として運転性能の確認運転を行い、定格出力での運転が行われることが確認された。

(3) 今回の経験を踏まえての今後の対応・展開

計画時より燃料性状の確認は大切であり、実際に使用する燃料の形状、水分、かさ比重などの性状を把握し、これにマッチングした搬送装置を選定することが当然ながら重要である。

バーク燃料では完全に制限の無い使用は困難だが、今後条件の悪い季節には木質木くず燃料などとの混合を行い最適な混合比率を見出したり、最低限の範囲で最適なサイズに破碎をすることを合わせたりするなど、経済的に最適な燃料の調整を迫っていく必要がある。

3) 大型ボイラの能力に関する実証

ボイラの燃料搬送の改造を経て、平成 28 年 12 月 5 日から 9 日にかけて、隣接する遠野グルーラムの木材乾燥機に接続して、実証実験を行った。24 時間運転をしたのは、12 月 5 日の 8 時から 8 日の 17 時までである。本実証では、本ボイラがどこまで木材乾燥用の蒸気の負荷変動に対応できるかに焦点があてられた。

全部で 8 基の木材乾燥機で 103 m³の木材乾燥を行った。高い蒸気負荷を必要とする蒸煮および高温セット処理の組合せとする複数の乾燥機への蒸気供給で実験した。

実証は、岩手県、県林業技術センターおよび岩手大学沢辺功名誉教授の全面的な協力を得て行った。蒸気供給および、木材乾燥の結果、以下のとおりである。

(1) 蒸気供給

蒸気供給については、12 月 5 日 10 時より蒸気を供給し、木材乾燥の蒸煮を開始した。スケジュールは表 4.1 のとおりである。木材乾燥については、スギ正角の高温乾燥を行った乾燥機 H で検証を行った。

表 4.1 木材乾燥スケジュール

日時	パークボイラー	重油ボイラー	H (新柴) 正角材	G (新柴) 平角材	A (ヒグマ) 間柱	B (ヒグマ) 間柱	C (アサヒ) ラミナ再乾	D (アサヒ) 薬注入材	E (アサヒ) ラミナ再乾	F (ヒグマ) ラミナ再乾	時							
12月5日	10	0.8Mpa →0.85Mpa	停止中	蒸射				蒸射			10							
	12										12							
	14										蒸射					蒸射		14
	16																	16
	18																	18
	20																	20
	22																	22
12月6日	0	蒸気供給	蒸気供給	蒸射				中温乾燥		中温乾燥	0							
	2										2							
	4										4							
	6										6							
	8										8							
	10										10							
	12										12							
12月7日	0	蒸気供給	停止	高温セット				中温乾燥	中温乾燥	中温乾燥	0							
	2										2							
	4										4							
	6										6							
	8										8							
	10										10							
	12										12							
12月8日	0	蒸気供給	蒸気供給	中温乾燥	蒸射	蒸射	蒸射	中温乾燥		中温乾燥	0							
	2										2							
	4										4							
	6										6							
	8										8							
	10										10							
	12										12							
14	14																	
16	停止	16																

図 4-5 は、実証期間中の蒸気温度、蒸気圧力、蒸気発生量、ボイラ出力を表したものである。これをみると、24 時間運転を行った 12 月 5 日 10 時より 8 日 17 時にかけて、蒸気温度・蒸気圧力は常に一定の範囲に保たれていることがわかる。ボイラは、負荷変動に応じて出力変動を行っている。

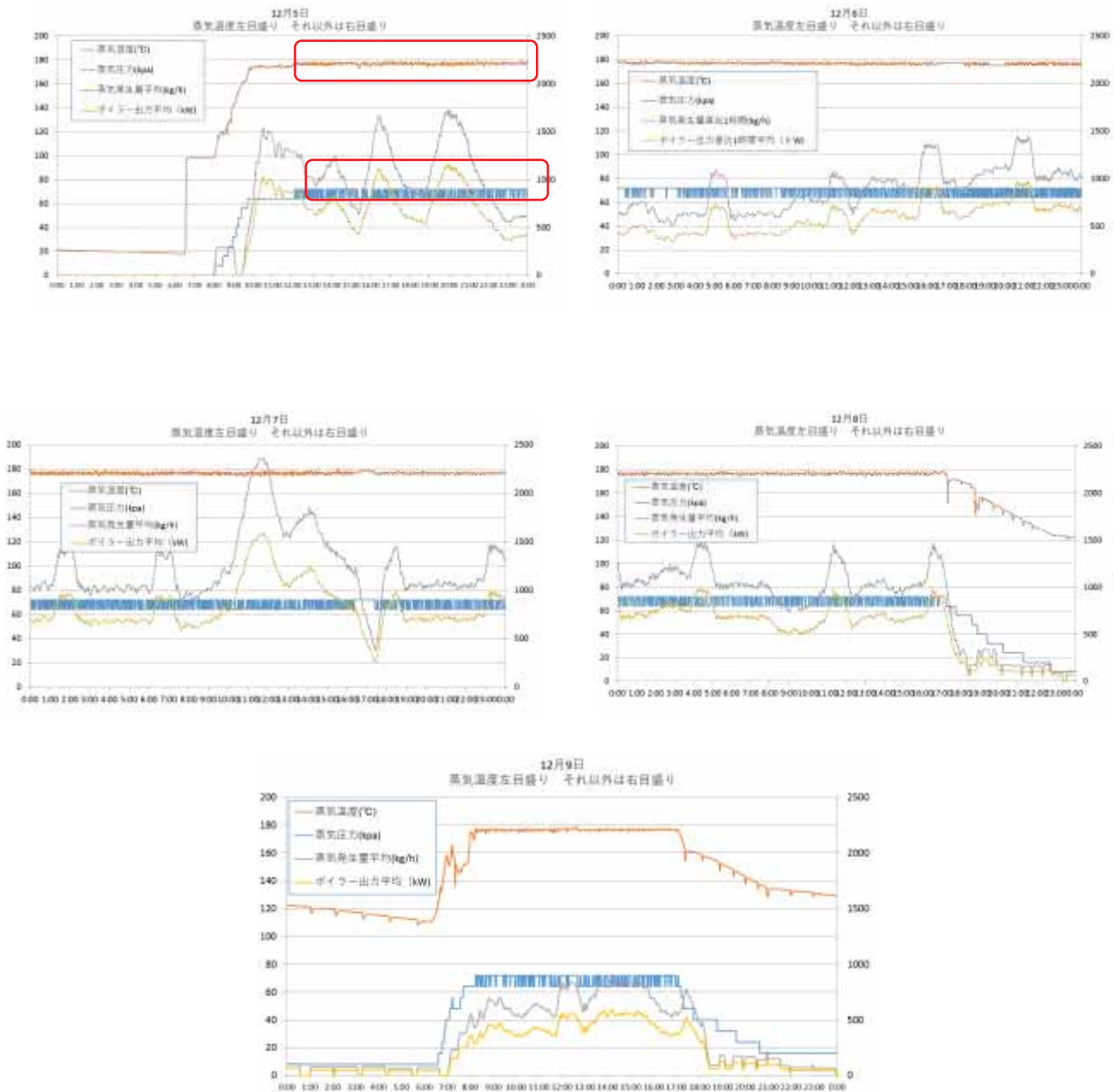


図 4.5 蒸気温度、蒸気圧力、蒸気発生量、ボイラ出力に関するボイラ側データ

図 4-6 は、上記のボイラ側記録データに、乾燥機 H の乾球・湿球温度を書き込んだものである。結果のグラフを見ると、試験対象とした乾燥室 H の温度・含水率ともに変化がなく安定していることがわかる。この間、他の乾燥室へも蒸気供給を行っているが、その影響は受けておらず、蒸気供給量の不足を伺わせるような現象は見られなかった。

乾燥機側からの蒸気負荷変動に対しても、その時々に必要な蒸気量が供給されたといえる。

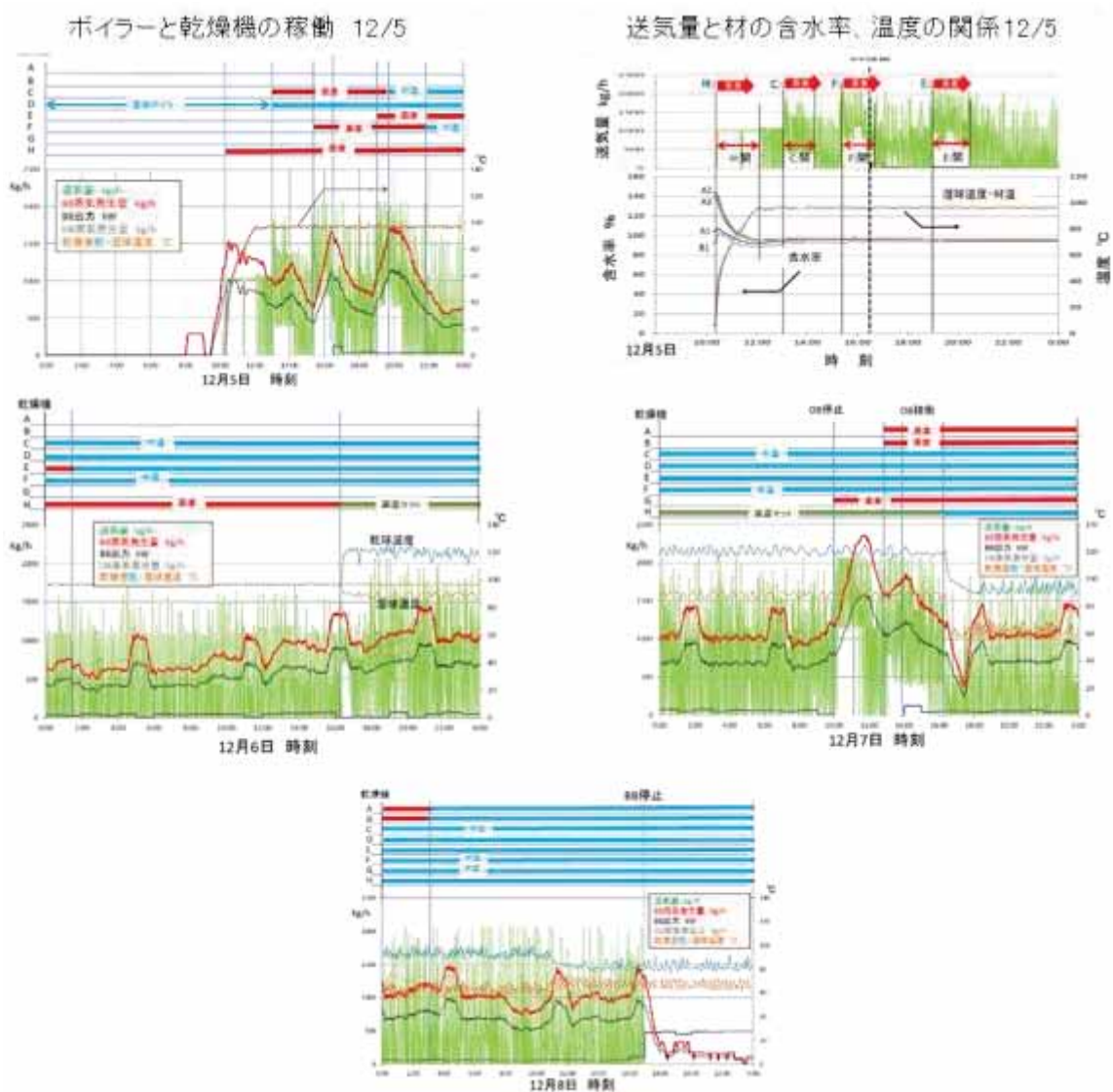


図 4.6- ボイラ側データと乾燥機の稼働、材の含水率データ

(4) 木材乾燥

木材乾燥に関しては主に、H 乾燥機によるスギ正角材の乾燥状態を検証した。各乾燥機の内容については、表 4.2 のとおりである。

表 4.2 木材乾燥機と乾燥する材

乾燥機	容量	乾燥する材	寸法 (mm)	材積 (m ³)	乾燥方法
A	6m ³	間柱	49×113×3000 等	1.6	蒸煮⇒中温
B	(11m ³)	間柱	49×113×3000 等	8.1	蒸煮⇒中温
C	(11m ³)	ラミナ再乾燥	40×205×2000 等	8.8	蒸煮⇒中温
D	(11m ³)	薬注ラミナ			中温
E	(23m ³)	ラミナ再乾燥	40×245×2000 等	18.3	蒸煮⇒中温
F	(23m ³)	ラミナ再乾燥	40×205×4000 等	20.9	蒸煮⇒中温
G	(33m ³)	平割材	49×205×4000	25.1	蒸煮⇒中温
H	(33m ³)	正角材	113×113×3100	22.5	蒸煮⇒高温セット⇒中温
計	151m ³			105.3	

図 4.7 は、乾燥機 H のスケジュール、乾燥機内の温度、スギ正角の含水率の推移を表したものである。乾燥スケジュールにあわせ、乾燥機内の温度が変化し、含水率が調整されていくのがわかる。

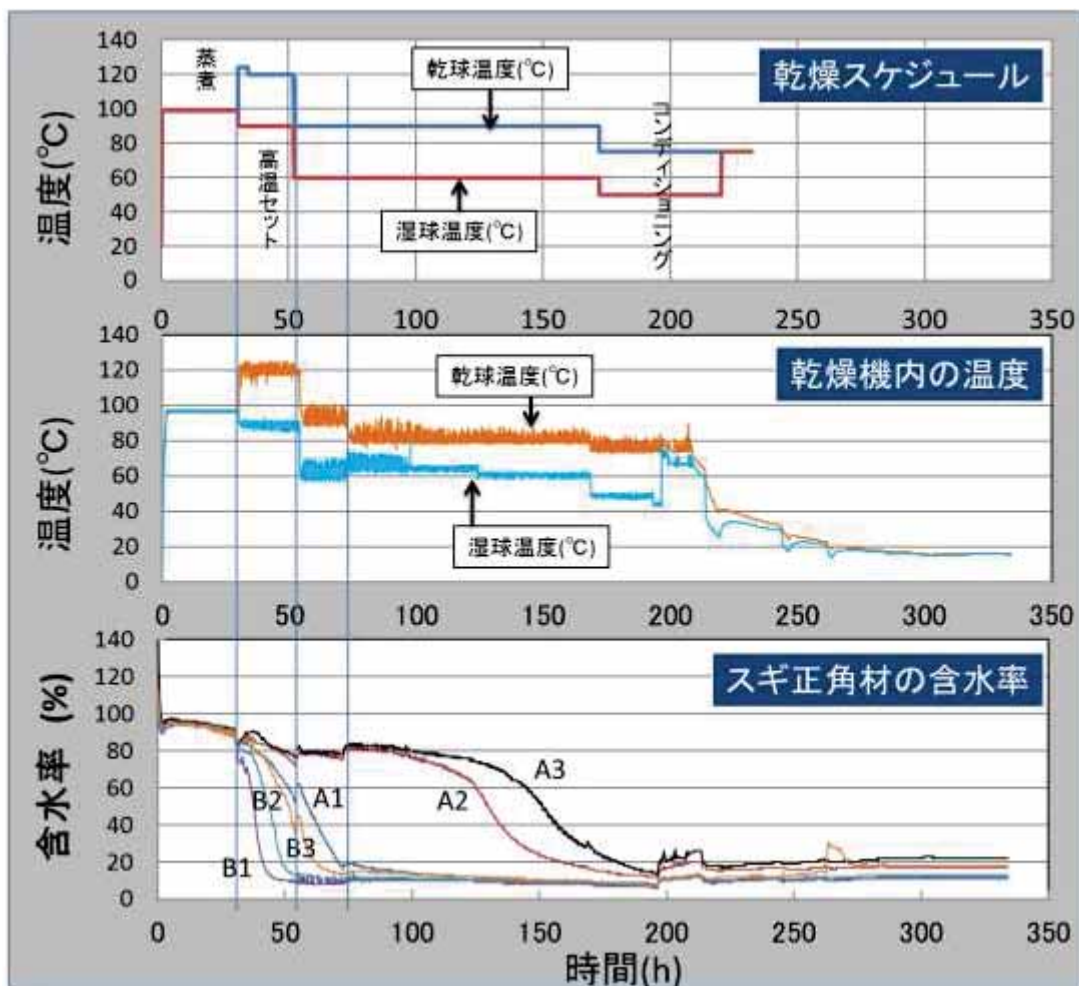


図 4.7 乾燥機 H の推移

図 4.8 は、H 乾燥機の材の含水率の結果である。乾燥材のほとんどが、20%以下、JAS D20 相当となった。材面割れも認められず、遠野グルーラムのノウハウ・技術に対応した乾燥に必要な蒸気が供給されたと判断できる。

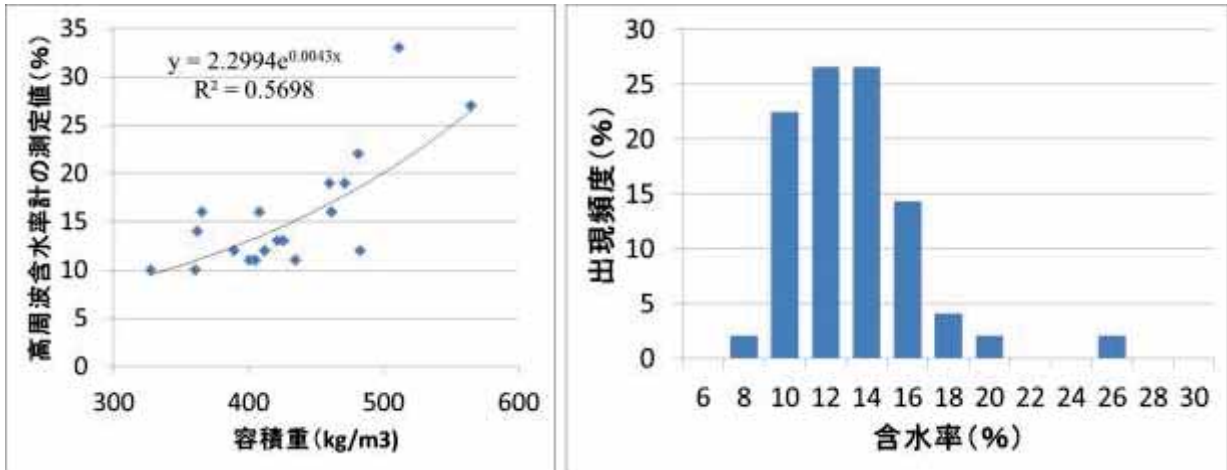


図 4.8 乾燥材の分布

(4) ボイラ稼働率

今回の木材乾燥は、9基ある乾燥機のうち8基を使用して、乾燥機の稼働率の高い状況で実証を行った。したがって、この間のボイラの稼働率を分析すれば、ボイラがどの程度の乾燥能力を持ちうるのかが明らかになる。

表4.3は、バークボイラーの蒸気の送気量である。12月5日～8日までは蒸煮で、もっとも多く蒸気を必要とする期間だが、その間のバークボイラーの送気量は0.49～0.99トン/hだった。蒸煮後では0.3トン/hである。

以上から、ボイラの稼働率は、蒸煮時で25～50%であり、ボイラには余裕があることがわかる。稼働率からすると、この倍程度の木材乾燥は可能な水準といえる。他方、蒸煮後については、稼働率は15%にまで落ちている。ボイラが安定稼働するには30%程度の負荷は必要なことから、何らかの対策が必要である。

なお、本蒸気量は実際の送気量から計算したものであり、蒸気の空中放散や配管ロスなどは考慮していない。

表 4.3 バークボイラーの送気量

	送気量 (蒸気メーター)		稼働率	運転 (送気) 時間
	トン/d	トン/h (平均)		
12月5日	10.6	0.76	38%	10-24、計14時間
12月6日	11.8	0.49	25%	24時間
12月7日	16.8	0.70	35%	24時間
12月8日	16.9	0.99	50%	17まで、計17時間
12月9日	2.7	0.30	15%	8-17まで、計9時間

(注) 稼働率は、送気量/出力 (ここでは2.4トン)。蒸気メーターに至るまでの熱損失は考慮されていないので、実際の稼働率はこれを上回る。

表 4.4 重油ボイラーの蒸発量

	蒸発量		運転 (送気) 時間
	トン/d	トン/h (平均)	
12月5日	3.6		10時よりバークボイラーの送気
12月6日	1.2		バークボイラー24時間稼働
12月7日	1.2		バークボイラー24時間稼働
12月8日	4.3		バークボイラー17時に送気停止
12月9日	6.5		バークボイラーの送気8-17時まで
12月10日	7.5	0.31	バークボイラー停止
12月11日	7.6	0.32	バークボイラー停止
12月12日	7.4	0.31	バークボイラー停止

図 4.9 は、時間ごとの送気量（時間平均値）をグラフ化したものである。

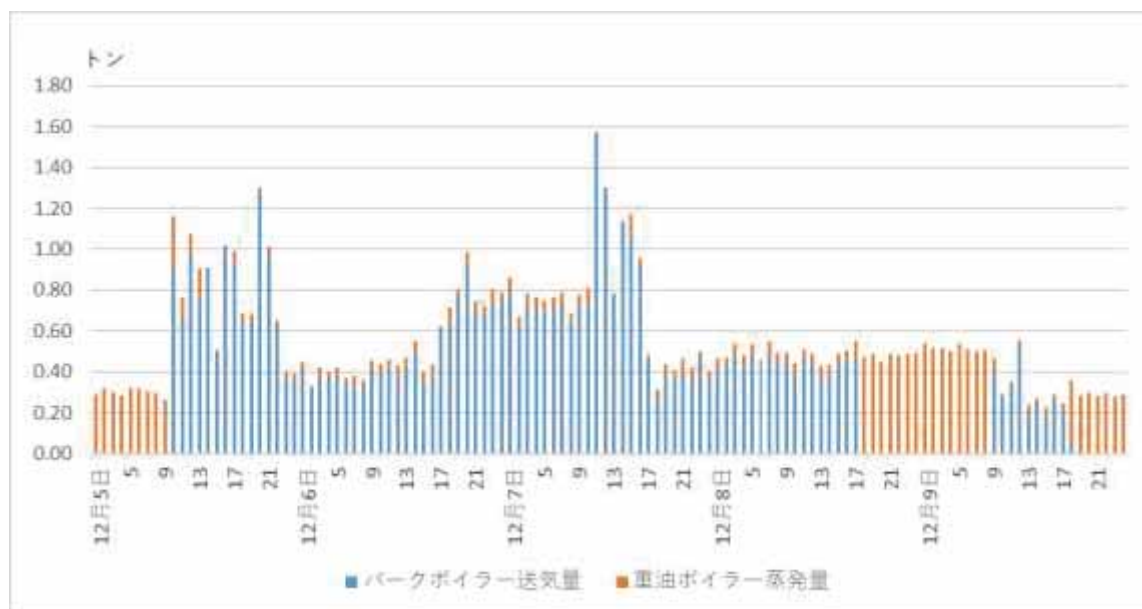


図 4.9 パークボイラーの送気量、および重油ボイラーの蒸発量

4) 大型ボイラーの課題

以上、燃料搬送装置の改良を行い、ある程度安定して燃料を送ることができるようになったこと、Kohlbach の能力の高さは実証された。しかしながら、依然として長いバークが混入すると燃料搬送に支障をきたすことには変わりはない。次なる課題は、バークをどこまで加工せずに利用できるか、または、どの程度だったら加工する必要があるかを見極めることである。

また、バークを加工するにしても、燃料利用するためにはどのような形状がいいのかを見極め、その加工に必要なカッターなどを見つける必要がある。

また、ボイラーを安定して稼働させるには、現在の木材乾燥量では十分ではなく、蒸気の利用先を拡大しなければならない。そもそも、本ボイラー導入の目的は、遠野地域における木材乾燥量の増大にあるのであり、このボイラーの利用方法の検討を巡って、その議論が始まったところである。

他方、隣接するゴム工場で、工場の暖房用に熱を供給してほしいとの要望が出ており、こうした動きはボイラーの稼働率向上に貢献するものである。

また、本ボイラーは、改造期間が長くかかったこともあり、燃料消費量やボイラー効率などのデータをとれるまでには至っていない。これも、今後の課題である。

5. 小型ボイラ

本事業で導入した小型ボイラは、オーストリアのKWB社製である。同社は、年間数千台を生産する出力300kWまでの比較的小型のボイラに特化した量産メーカーである。量産型のボイラに特化したメーカーは、オーストリアを中心に複数社あり、家庭用からホテル、オフィス、工場、地域熱供給などで幅広く使われている。

小型ボイラは、オンオフできるタイプが多い。バッファータンクとのセットで使われ、バッファータンクが設定された温度に達するとボイラは停止し、一定の温度を下回るとボイラが稼働し、熱を供給するというプロセスを繰り返す。これらはすべて、自動で行われる。着火も電気ヒーターを用い、化石燃料は使用しない。このタイプのボイラの場合、熱負荷の少ない夏の給湯需要だけでも、100%バイオマス対応が可能である。

このように、小型ボイラは、使い勝手、コストパフォーマンスに優れ、扱いしやすいことから、日本におけるバイオマスの普及拡大も加速化させる原動力となる。

本事業では、小型ボイラを導入し、イニシャルコスト、ランニングコストや使い勝手などについてデータを収集・分析するとともに、小型ボイラを日本において普及拡大させるための方策を検討した。

1) 小型ボイラの導入に際して留意した点

(1) ボイラ規模の決定

バイオマスボイラー導入に際して重要なのは、出力規模の決定と燃料のハンドリング関係である。バイオマスボイラーは化石燃料ボイラに比べ設備費が割高になるので、可能な限り熱負荷変動の実際に合わせた出力を決定し、設備が過大にならないようにすることが望ましい。小型ボイラ導入実証地である水光園の熱負荷に関しては、入手できたのが月別の重油購入量なので、これをベースにシミュレーションを行い、240kWの出力に決定した。

シミュレーション上は、バイオマスで熱負荷をすべてカバーできる予定だったが、実際には重油ボイラのメンテナンスの問題および浴槽の運用上の問題から、バイオマスのカバー率は8割程度にとどまっている（詳細については3)参照）。

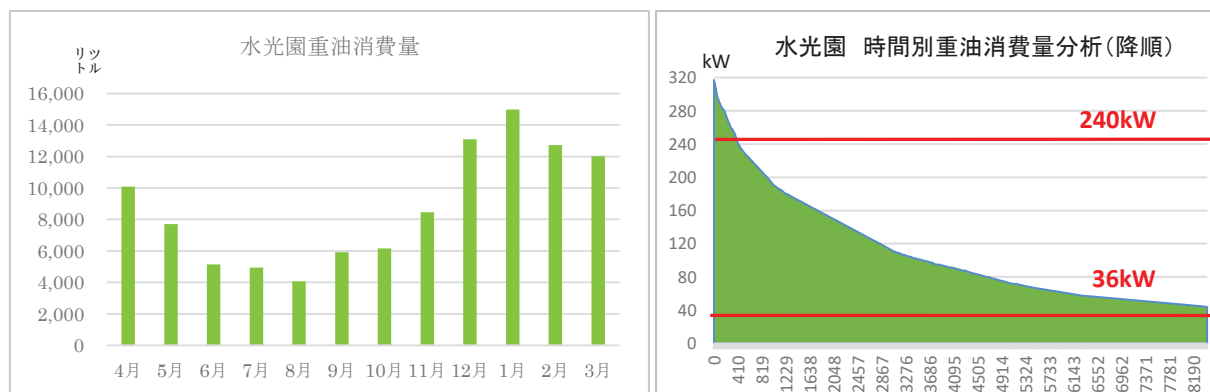


図 5.1 水光園の熱負荷分析

(2)サイロの大きさとアクセスのしやすさ、スクリーンとボイラの接続

サイロの容量は燃料供給のタイミングや非常時の対応などの観点から、可能な限り大きいものが望ましい。冬季のピーク負荷時の1週間が一つの指針であり、水光園でも、チップ消費量1日最大7 m³と予想されたことから、49 m³以上の容量を確保した。

これは実質容量であり、実際の充填率はサイロの容積の6割程度なので、サイロの大きさは90 m³ (5.5m×5.5m×3m)とした。また、容積を可能な限り有効利用できるよう、チップ投入がサイロの真ん中となるような構造とした。

燃料を供給するスクリーンとボイラとの接続も、設計に際しての重要なポイントである。スクリーンは最大でも2段階までにしないと、場所をいたずらにとるのみならず、モーターが増え、設置工事費が高くなる、電気代も増加するなど、エンジニアリングの失敗作になりかねない。

水光園では、スクリーンとボイラを一直線につなぐもっとも単純な方法を選んだ。

サイロへのトラックのアクセスも、4トントラックが可能となるように設計した。

今後、バイオマスボイラー導入に際して、これら点を十分に考慮して設計することが必要である。

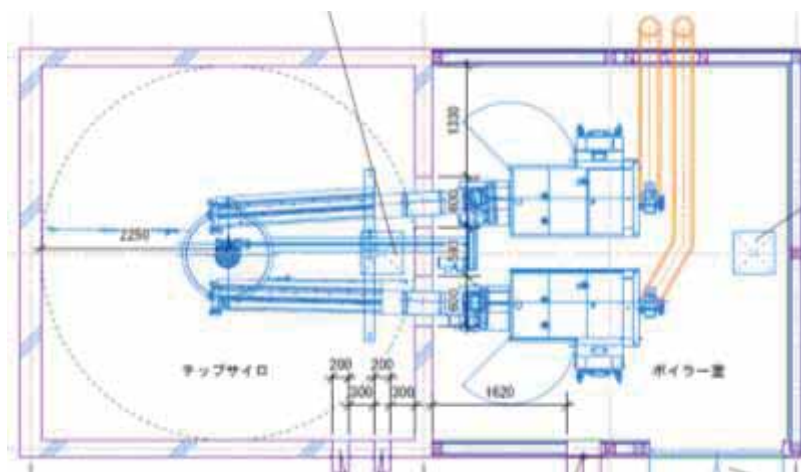


図 5.2 水光園 平面図

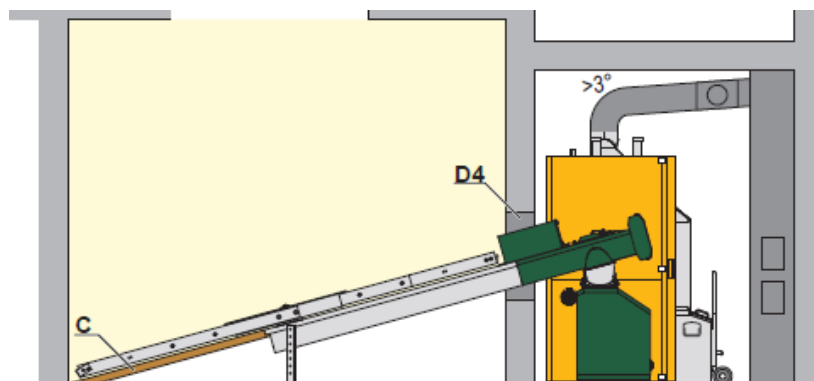


図 5.3 水光園ボイラー断面図 (概念図)

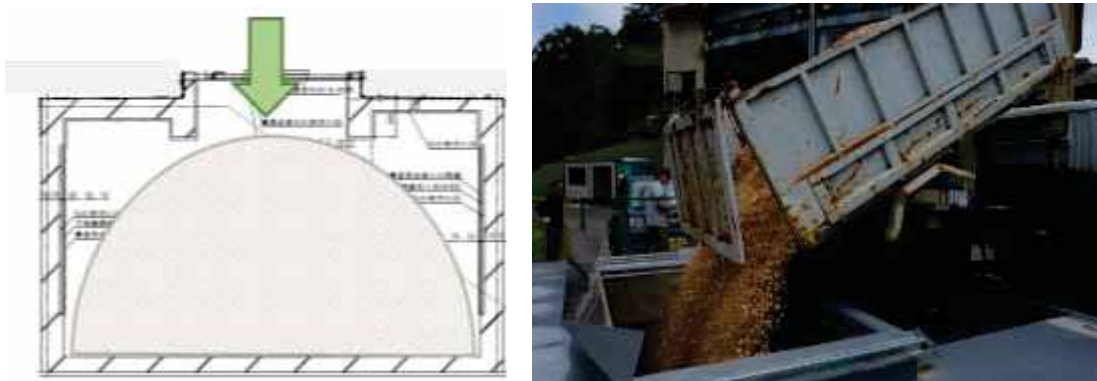


図 5.4 水光園のサイロ

2) 導入設備

(1) バイオマスボイラー設備機器

今回導入したバイオマスボイラーにかかわる設備機器の内容、以下のとおり。ボイラー・燃料供給のみならず、煙突などの周辺機器も合わせて輸入した。バイオマス用の煙突は断熱性能が重要で、国内では対応できるメーカーも少ない。このため、断熱性能に優れた煙突をあわせ輸入した。

表 5.1 バイオマスボイラー設備内容

内容	メーカー	機器名称	数量
バイオマスボイラー 日本仕様無圧開放	KWB	Multifire120kW	2 台
燃料供給装置 Y型	KWB	5.5m	1 台
バッファータンク	KWB	EmpaEco 3000L	2 台
断熱煙突 内径30cm	Stocker		2 台
熱交換器・ポンプ・三方弁	KWB		1 式
制御用ソフト	KWB	ComfortVisio	1 式

(2) 水光園に導入したボイラーの総建設費

従来、日本に導入されてきたボイラーはメーカーが限られており、なかなか価格が下がらない状況が続いていた。小型のボイラーは、その設計や施工も地元で対応可能であり、これによりイニシャルコストをどこまで下げられるかがポイントとなる。

イニシャルコストに関しては、ボイラー価格に焦点があてられることが多いが、配管、建屋など、総合的なイニシャルコストで比較する必要がある。

水光園で導入したボイラーにかかわる総経費、以下のとおりである。

・ボイラー設備一式	2,200 万円
・ボイラー設置・建屋工事	2,200 万円
・配管工事	2,700 万円
・電気工事	200 万円
計	7,300 万円

今回は、ボイラの設計・施工まで、従来のメーカーに頼らず、本事業関係者が自ら行うという初めての試みだったこともあり、要領がよくわからず、結果として割高になったことは否めない。ただし、この時の経験により、どのようにすればイニシャルコストを削減できるかの要点が明らかになり、以降のボイラ導入ではコストを抑えることができるようになった。

3) 1年間の運転実績結果

(1) ボイラ稼働のプログラム

平成 27 年 9 月より平成 28 年 8 月までの 1 年間にわたり、燃焼関係のデータを収集・分析を行った。既存の重油ボイラ 2 台はそのまま残して、併用運転とした。

バイオマスボイラーの運転は、バッファータンクの温度を一定に保つようにボイラが熱を供給するようにプログラムし、バッファータンクの設定温度は 80℃～70℃とした。これは、バッファータンクの上部温度が 70℃に下がるとボイラが起動、タンクの下部温度が 80℃に達するとボイラが停止するというものである。ボイラの起動・停止は全自動で行われる。着火も電気によるイグニッションヒーターを用いる。補助燃料に化石燃料を使用することはない。

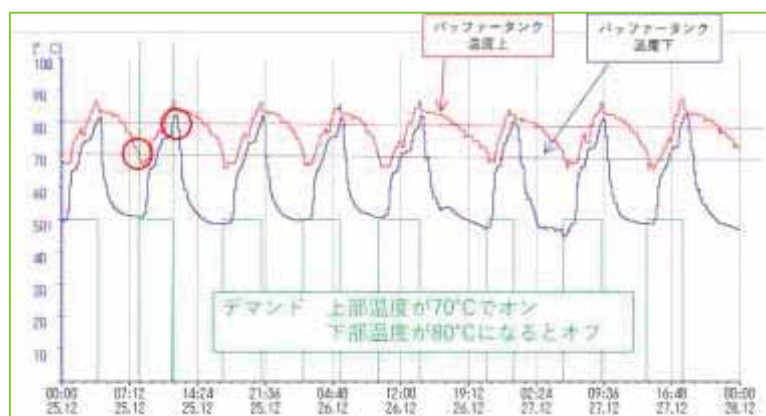


図 5.5 バッファータンクの温度管理によるボイラのオンオフ運転の例

(2) 1年間のボイラの稼働実績と重油ボイラ

ボイラのメーターによると、1年間の定格出力換算での総稼働時間は 3,334 時間だった。ボイラ出力 240kW なので、エネルギー供給量は 80 万 kWh (=240kW x 3334h) になる。他方で、バックアップ用の重油ボイラもこの間、23,600 ㍲、23,000kWh 相当の重油を消費した。したがって、バイオマスと重油の比率は 77%、23%だった。

また、バイオマスと重油の月別のエネルギー供給量については、図 xx のとおりである。バイオマスのカバー率は月によって変動はあるが、66%から 84%の間で推移しており、冬季のみならず、熱需要の少ない夏季においても常に一定以上の重油を消費している。

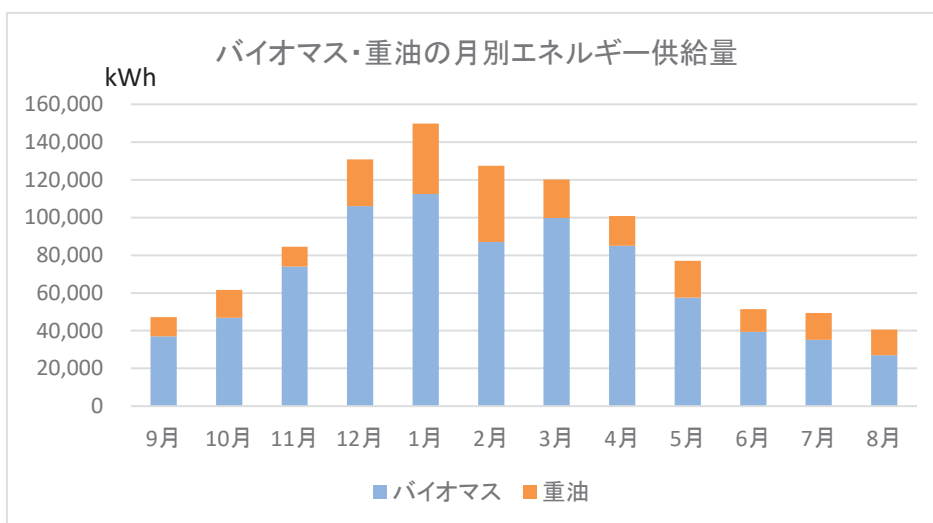


図 5.6 チップ・重油各ボイラの月別エネルギー供給量

本来なら、冬季のピーク時はともかく、それ以外についてはバイオマスのみで熱需要をすべてカバーできるはずである。それにもかかわらず、重油が常に一定以上の熱を供給し続けるのは、最大の原因は重油ボイラが真空式であることである。

真空式重油ボイラは、真空状態を保つためにはボイラ温度を常に温める必要があるとのことで、ボイラ水を常に 70 度以上に保つよう重油ボイラをプログラム設定している。夏期・冬期ともに、重油ボイラが常に一定以上の熱を供給しているのは、このためである。

水光園の真空式重油ボイラは設置後 20 年以上たっており、いずれ更新の時期を迎える。その際にバイオマスボイラーと同じ無圧開放式にすれば、ボイラ水を常に一定以上に保つ必要はなくなる。そうなれば、バイオマスの比率を大幅に高めることができる。

ただし、仮にそうなった場合でも、バイオマスで水光園の熱需要を 100%カバーするのは難しいだろう。というのは、水光園では週に 2 回浴槽の入れ替えを行っており、その際、2 時間以内に新しいお湯に入れ替えなければならないため、短時間に大きな負荷が発生するからである。バイオマスボイラーだけでこれに対応するには無理があり、この間は重油ボイラのバックアップ機能に頼らざるを得ない。

そこで、入れ替えのない通常日と入れ替えのある日で、負荷の違いがどのくらい大きいかを明らかにするため、チップボイラーを止めて、重油ボイラだけで実証してみた。

この結果、浴槽入れ替えの土曜日の消費量は 558 ㍲ (5500kWh)、通常日の重油消費量は 418 ㍲ (4000kWh) だった。仮にチップボイラーが 24 時間フル稼働するとしても、そのエネルギー供給量は 5760kWh (=240kW×24h) である。したがって、浴槽入れ替え日に関しては、チップボイラーだけですべての負荷をまかなうには無理があるといえよう。

他方、通常日の重油消費量は 418 ㍲、約 4000kWh だった。これは、チップボイラー稼働率の 69%に相当するもので、この程度であればチップボイラーのみで十分対応できる水準である。

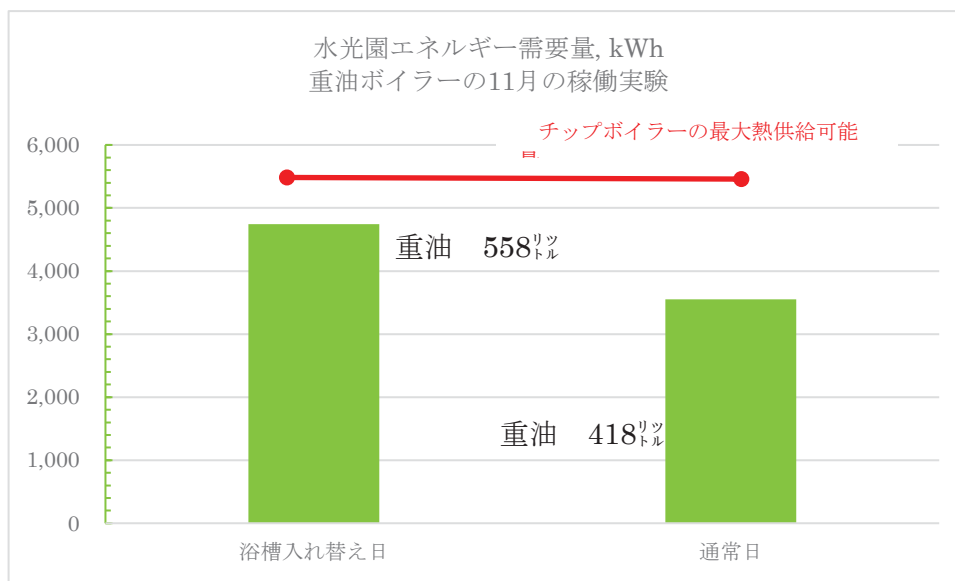


図 5.7 水光園の1日のエネルギー消費量（重油ボイラー稼働による実験）

(3) チップ消費量

上記のとおり、9月から8月までのバイオマスのエネルギー供給量は80万kWhである。チップのエネルギー含有量、740kWh/m³（水分30%）、ボイラ効率94%として、この間のチップ消費量は80万kWh ÷ 740kWh/m³ ÷ 0.94 = 1150 m³となる。ところが、実際のチップ消費量は1330 m³だった。つまり、理論値より16%消費量が多かったことになる。

チップ消費量の理論値と実績値の乖離の度合いは、月によっても大きく異なっている。たとえば、12月のチップ消費量は理論値を45%もオーバーしている。これに対し、2月、3月の実績値の乖離は6%である。

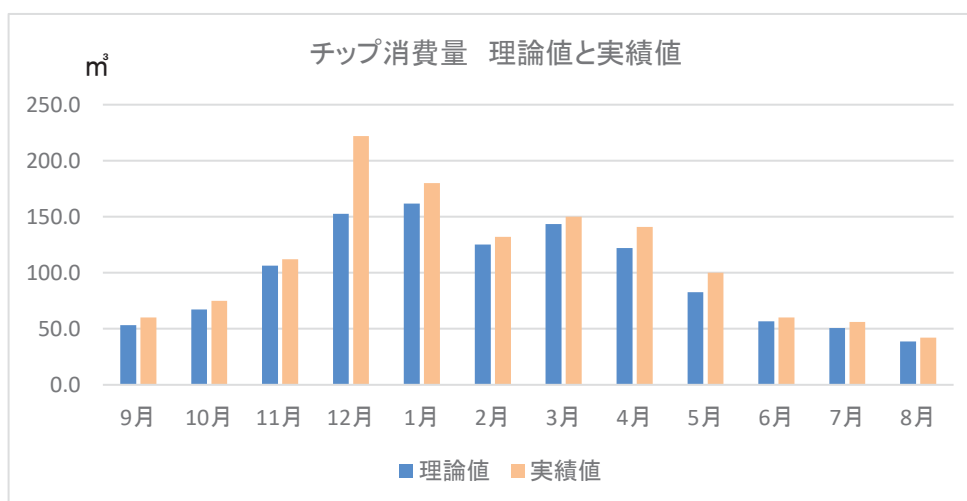
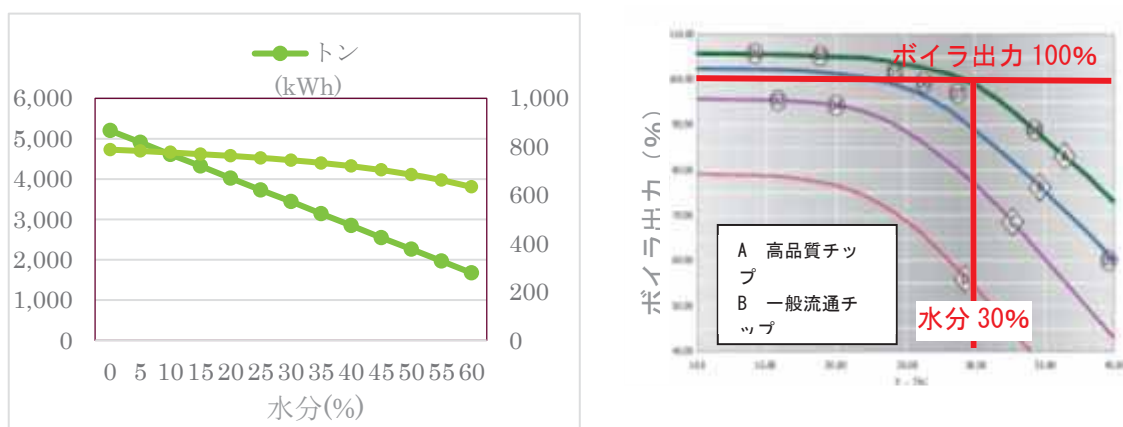


図 5.8 チップ消費量 理論値と実績値

このことは、チップの質と密接に関係している。ボイラは、水分および形状によって、ボイラ出力が大きく左右される。

図 5.9 は、チップの質（水分および形状）によるエネルギー含有量の違いを表したものである。水分が高ければ高いほど、形状が不安定になればなるほど（微細部分が多いなど）、チップのエネルギー含有量は少なくなるとともに、ボイラ効率そのものが低下してくることを示している。

12月に水光園で実際に投入した燃料は、水分も40%を若干上回るほど高く、かつ、微細部分が多いものだった。これに対し、2月、3月には、水分管理され、形状も比較的安定したものを投入した。12月のチップ消費量が理論値を大幅に上回ったこと、これに対し2月、3月のチップ消費量が理論値に近かったことは、このためである。



チップの水分と品質 チップの番号は、上図の番号に対応

01		02		05		06	
	水分14% 針葉樹		水分16% 針葉樹 細かいチップが20%以上混入		水分24% 針葉樹 バークの混入比率が高い		水分26% 針葉樹 微細部が20%以上混入
03		04		07		08	
	水分18% 広葉樹		水分20% 古木の破碎チップが混入		水分28% 広葉樹+松 微細部、バークの混入具合が非常に多い		水分34% 針葉樹
09		10					
	x 燃料としての利用不可 水分40%以上 破碎チップやバークが20%以上混入 エネルギーの多くが水分の蒸発に消費 保管中にカビが発生		x 使用禁止 プラスチック、パーティクルボード、集成材の 破片が混入 有毒ガスが発生				

図 5.9 チップの水分とエネルギー含有量の関係

(4)燃料代

水光園の従来の重油消費量は11万ℓ、平均重油代は80円/ℓなので、年間の燃料代は880万円だった。これに対し、実証期間中の燃料代は、重油が23,642リットルの消費で189万円、チップが1330m³、チップ単価3800円/m³なので、505万円、計694万円となった。この結果、186万円の燃料費削減となった。

上記のとおり、将来的にバイオマスのカバー率を上げ、燃料代削減効果を拡大していくことは十分に可能である。

4) ボイラ効率にかかわる実証試験と結果

バイオマスボイラーは、化石ボイラに比べ設備が大きくなるので割高になることは避けられない。このため、バイオマス導入に際しては、イニシャルコストの抑制もさることながら、ランニングコストをいかに抑えることができるかも、普及拡大に際しての大きなポイントとなる。

ランニングコストのほとんどは、燃料代で占められている。このため、燃料代を抑制するうえで特に重要となるのが、いわばボイラの燃費に相当するボイラ効率である。KWB Multifire120のメーカー発表値のボイラ効率は、94%である。平成28年3月に、実際のボイラ効率を測るため、燃焼試験を行った。

試験に用いた燃料は72kg、平均水分30%である。水分30%のチップのエネルギー含有量は3.4kWh/kgなので、総エネルギー含有量は72kg x 3.4kWh = 245kWhとなる。

この燃料をもちいての試験時間は2時間10分、平均出力は88%だった。したがって、この間のエネルギー供給量は120kW x 2h10 x 0.88 = 229kWhである。

つまり、229kWhの熱を出すのに投入したエネルギー量は245kWhだったので、ボイラ効率は93.5%となり、メーカー公表のボイラ効率94%とほぼ一致する結果となった。また、燃焼試験における灰分は250gであり、絶乾重量比では0.5%だった。灰分は絶乾重量比0.5~2%がメーカー公表値であり、今回はその下限値だった。これは、使用した燃料の形状が安定し、良好な品質だったことが影響していると思われる。

水光園の年間の必要熱需要は約900,000kWhである。従来のバイオマスボイラーの効率はよくて85%なので、その場合の燃料消費量は10.6万kWh相当である。水分30%のチップで、1430m³必要となる。これに対しボイラ効率94%では、燃料消費量は1300m³ですむことになる。遠野のチップ価格は3800円/m³なので、年間50万円ほどの差が出ることになる。

表 5.2 ボイラ効率にかかわる燃焼試験 一覧表

試験燃料	
	質量 kg
スギ枝	11.4
アカマツ枝	11.6
松枯れ	12.5
ヒノキ枝	12.2
広葉樹枝	12.2
ヒノキ製材端材	12.1
計	72
絶乾換算	47

(注) 質量は、試験前の実測値。

ボイラ効率・灰分 試験結果

	データ	備考
ボイラデータ		
ボイラ定格出力	120kW	
ボイラ効率	94%	
チップエネルギー含有量	3.4kWh/kg	水分30%
定格出力時燃料消費量	128kW	ボイラ効率94%として、 $120\text{kW}/0.94=128\text{kW}$
ボイラ試験		
ボイラ運転時間	2時間10分	
ボイラ平均稼働率	88%	
チップ消費量	72kg	
エネルギー供給量 ①	229kWh	$120\text{kWh} \times 2\text{h}10\text{m} \times 0.88$
エネルギー消費量 ②	245kWh	72×3.4
ボイラ効率試験結果		
ボイラ効率 ①/②	93.5%	$229\text{kWh}/245\text{kWh}$
灰分	0.5%	250g

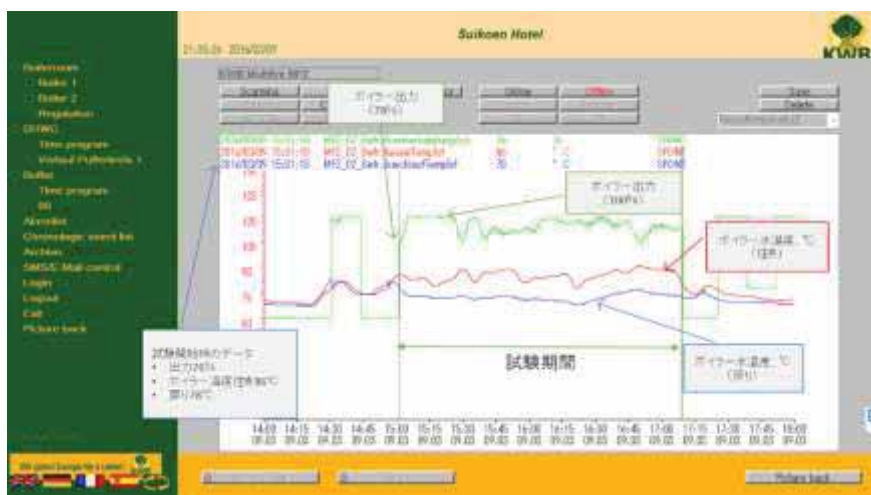


図 5.10 KWB Multifire120 の制御画面による燃焼テストデータ記録

5) その他事項

(1) 燃料の対応度

チップ生産の現場では、バークや微細部分など、燃料としては低質な部分も当然出てくる。これらをわざわざ除去してホワイトチップだけを使うのでは、コストが高くなりすぎる。また、除去された部分の活用も問題となってくる。

今回の事業では、これらをチップと混ぜて均一にした状態で、水光園に供給した。混入比率はおおむね 20%以下である。ボイラの燃焼に関しては、特に支障は生じていない。本ボイラは、基本的に水分が一定以下であれば、燃料への対応度は広く、燃料供給者にとっても扱いやすいボイラといえる。チップ水分 45%以下という条件はあるものの、それをみればバークの混入や微細部の混入などの許容度も高く、地域のチップ供給業者にとってもメリットが多い。



写真 5.1 水光園で使用するチップ

(2) メンテナンス

小型ボイラは構造も比較的単純であり、メンテナンスしやすいように設計されている。このため、適切な研修を受ければ、地元でもメンテナンスや簡単な不具合対応を行うことが可能となる。遠野においては、遠野バイオエナジー社員に対するメンテナンス研修を行い、定期メンテナンスやある程度の部品交換も地元で対応できる体制を構築できた。

メンテナンスは定格出力換算で 1,500 時間ごとであり、水光園の稼働率からすると年間 2 回のメンテナンスが必要となる。メーカーによる定期メンテナンス経費は、2 台で 16 万円なので、年 32 万円になる計算であり、これを内製化できるメリットは大きい。また、ある程度までなら不具合も対応できることから、ボイラの稼働を一段と安定させることができる。

(3) 不具合の発生状況

ボイラ稼働 1 年半の間に、ボイラに起因して発生した主な不具合は、燃料つまり、燃焼炉グレート破損、フライアッシュ用スクリー破損だった。

このうち、燃料つまりは、平均すると 2 か月に一度の割合で発生している。発生場所は、サイロのスクリーから、ボイラのストーカーに落とすところである。これは現場での対応が必要となるが、スクリー上部のふたを開けて、つまりを除去する程度なので、作業そのものは簡単である。

これが比較的頻繁に起こるのは、遠野で使用しているチップの微細部分が比較的多いこと、長尺ものなども混ざっていることなど、比較的ラフな形状のチップを利用していることがあげられる。

なお、サイロの中の燃料搬送用のスクリーでは、燃料つまりは一切発生していない。この部分のモーターは 400V 駆動で強力であること、スクリーの形状も長年の経験値から考え抜かれたものとなっていることが、貢献していると思われる。

部品の破損については、KWB によれば、水光園に導入した Multifire は平成 26 年にモデルチェンジしたものであるが、初期不良対応が完了する前のものであり、この部分が破損したものとのことで、メーカー保証により交換を行った。このため、経費は発生していない。

(4) 使い勝手等

○遠隔監視管理機能

KWB ボイラは、ボイラ制御盤についたモニター画面での操作、およびボイラを PC に接続し、Cmfort Visio というソフトを用いた操作の 2 つで監視・管理する。PC 画面は遠隔での操作が可能であり、ボイラやバッファータンクの状況など、ほとんどすべてのパラメーターを遠隔で監視管理することが可能である。

また、アラームが発生した時にはメールにて連絡が来るので、早い対応が可能である。また、ソフトのアップデートなどは、この機能により KWB 本社から自動でなされるなど、ユーザーにとってメリットの多いシステムである。

○灰の処理

バイオマスボイラーの使い勝手を左右する大きな要因が、灰の処理方法である。今回導入したボイラは、ボトムアッシュ、フライアッシュ含め、すべてボイラ付属の一つの灰コンテナに自動で集められる。容量も 70 リットルある。灰コンテナの容量いっぱいになると、重くなり、作業が大変なので、コンテナに半分くらい灰がたまった状態で、灰捨て作業を行っている。その頻度は、冬期のピーク時で 1 週間ごと、夏期では月に 1 回程度である。

6) まとめ

水光園の小型ボイラが稼働したのは平成 27 年 8 月末であり、それから 1 年半が経過した。初期トラブルなどあったものの、上記の通り、安定した稼働と使い勝手の良さ、燃焼効率の高さなど、欧州で一般にいられている小型ボイラの特徴を確認することができた。

このような実績の下、遠野市内では、民間の福祉施設が 50kW の小型ボイラを導入（平成 28 年 9 月稼働開始）したり、遠野市の新庁舎で導入に向けて建設が進むなど、波及効果がでてきている。

また、遠野地域と並行して、同じモデル事業を利用して、福井県あわら地域でも計 4 台導入され、データが収集されてきている。このように欧州で広く普及する小型ボイラに関する客観的なデータが複数個所からでてくるようになれば、評価が定着し、普及に弾みがつくだろう。

日本で欧州のボイラといえば熱交換器が横型の構造が複雑となるボイラがほとんどだった。これはその構造上、一度火を入れたら連続して運転する必要があること、特に規模が小さいボイラでは割高とならざるを得ないことなどから、バイオマスの本格的な普及を後押しするには力不足だった。

今回の事業を契機に小型ボイラの使い勝手のよさ、コストパフォーマンスの高さ、断続運転可能で多様な熱需要にも対応できることなどが認知されていけば、バイオマスの普及拡大に拍車がかかる可能性が高い。また、本事業で得られた知見は、日本木質バイオマス協会が始まったバイオマスの地域実践家養成研修でのテキストに反映しており、これも今後のバイオマス利用の拡大を後押しするのに貢献を果たすと思われる。

6. システム導入による CO2 削減効果

3カ年事業のうち、実際にボイラが稼働したのは、小型ボイラで1年半であり、大型ボイラに至っては、本格稼働はこれからである。以下に示すのは、現時点での削減効果であり、今後、さらなる効果が期待される。なお、バイオマスサプライチェーンシステム全体としては、熱需要開拓に力を入れていて、木くず燃料ボイラの導入が見込まれるため、この点においても効果拡大が見込まれる。

水光園では、これまで11万リットルの重油を消費していた。小型ボイラ導入後、1年間（平成27年9月～平成28年8月）の燃焼データを分析した結果、木くず燃料消費1,318 m³、重油消費2万 $\frac{1}{2}$ であった。つまり、年間9万 $\frac{1}{2}$ （90万 kWh）の重油を削減したことが分かる。

これを原油換算すると、

$$90 \text{ 万} \times 9.30 \times 10^{-5} \text{ (kWh} \rightarrow \text{原油換算 k}l \text{ への単位変換係数)} = 83.7 \text{ k} \frac{1}{2}$$

である。

環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」の温室効果ガス排出係数を採用すると、原油を使用した場合に排出される年間 CO2 排出量は、

$$83.7 \text{ k}l \times 2.62 \text{ t-CO}_2 / \text{k}l = \text{約 } 220 \text{ t-CO}_2$$

となる。

7. システムの事業採算性

木くず燃料生産システムの事業採算性は、「5.1 木質バイオマスの効率的・安定的な搬出・運搬方法および加工方法」、小型ボイラの事業採算性は、「5.2 木質バイオマスの新たなエネルギー利用方法」に記載のとおりである。

大型ボイラについては、ボイラ設備一式2億円、建屋7,000万円であった。当初予定より金額が大きく、原因の追究を試みたが、小型ボイラと異なり、大型ボイラに関しては、エンジニア専門のメーカーでないと分からない部分があり、まとめるのは難しい。事業採算性に関しては、現状4,000 m³の木材乾燥の増加が不可欠であり、協議をはじめたところである。木材工業関係者と詳細を詰めているところであり、パークや蒸気単価についてもこれら全体像とのすりあわせが必要である。大型ボイラの事業採算性は今後、残された検討課題である。

8. 事業試算

本事業は、今年度が最終年度である。来年度以降、補助金等がない中での今後の事業継続に向けて、事業の要となる地域エネルギー会社として設立した「遠野バイオエナジー株式会社（以下、遠野バイオエナジー）」が目指すべき方向性として、事業試算を行った。

1) 主要事業の概要

(1) 木くず燃料の生産・販売事業

木くず炊きボイラ等の燃料となる木くず燃料を生産し、これら木くず燃料を輸送・販売する事業である。木くず燃料の生産は、本事業で遠野市内に設置した「木くず燃料管理ヤード」で行い、チップパー機により粉碎し、一定期間保管することで乾燥させ、出荷する。木くず燃料の原料は、遠野市内の製材所等から出される残材（工場残材、林地残材）を中心としており、これら原料は、製材所等の木くず燃料材料供給業者がバイオマスセンターに運搬している（今後は、供給業者の負担を考慮し、遠野バイオエナジーによる運搬コストの一部負担を想定している）。木くず燃料とするボイラが導入されている施設等が顧客となり、納入量に応じた価格が遠野バイオエナジーの売上げとなる。



表 8.1 木くず燃料管理ヤード
(木工団地)

さらに、本事業で導入した木くず炊きボイラは、メンテナンスを遠野バイオエナジーで行っており、これらボイラーメンテナンスも木くず燃料販売に伴う売上げとなる。

(2) 熱販売事業

木工団地に本事業で導入したバークを主燃料とする大型ボイラの熱を事業所等周辺施設に販売して収益を得る事業である。燃料は、市内製材所等から出されるバークであり、これまでは、各事業者が産廃費用をかけて処理を行っていたため、それを燃料化することで、各事業所等の収益改善につなげることを想定している。

2) 目指すべき方向性の検討

(1) 検討期間

事業の継続性について主に検討することから、本事業が終了する翌年度の平成 29（2017）年度から 5 カ年度とする。

(2) 検討範囲

目指すべき方向性として、現在実施している事業に加えて、構想がある事業や予想される事業も含めて検討する。

3) ターゲットとなる顧客

(1) 木くず燃料生産・販売事業

木くず燃料販売の顧客は、木くず燃料ボイラが導入されている施設や木質バイオマス発電所等である。

現在、遠野市内には公共施設を中心には、たかむろ水光園（本事業で小型ボイラー導入）、森林総合センター、学校等に木くず炊きボイラが導入されている。

顧客のエリアは、遠野市内を中心として、木くず燃料管理ヤードから車で概ね片道1時間程度が主なターゲットとなる。

そのため、現在の取引先や、上記エリアで取引可能性の高い施設（木くず炊きボイラ導入が決まっている公共施設や、今後木くず炊きボイラへの切り替え等が想定される公共・民間施設、近隣の木質バイオマス発電所等）、熱需要が高く、近い将来に木くず炊きボイラの導入が期待される公共・民間施設を想定し、事業試算を行う。

(2) 熱販売事業

熱販売事業の顧客は、大型ボイラが導入された木工団地近隣の事業所等施設であり、木材乾燥や暖房需要等の活用を想定している。このためには、先方施設等との事前調整や配管の接続等が必要となっている。

木工団地近隣施設への熱供給を想定し、木材乾燥用等の蒸気販売と、暖房用等の温水販売を想定し、事業試算を行う。

4) 試算結果

(1) 木くず燃料生産・販売事業

(千円)

		項目	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	
売上高	売上高計		13,775	21,915	29,591	40,584	49,593	
		遠野市・たかむろ水光園	5,420	5,420	5,420	5,420	5,420	
		チップ販売	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	
		ボイラーメンテ料	520	520	520	520	520	
		遠野市・森林総合センター、学校2校	2,275	2,275	2,275	2,275	2,275	
		遠野市・新庁舎	1,400	2,450	2,450	2,450	2,450	
		民間施設A	-	-	2,800	4,200	4,200	
		遠野市・健康福祉の里	-	1,890	2,688	2,688	2,688	
		遠野市・介護施設(ふれあいホーム附馬牛)	-	-	578	826	826	
		遠野市・青笹保育園、児童館、小学校	-	-	-	595	854	
		民間施設B	4,680	9,360	9,360	9,360	9,360	
		遠野市・市民プール、近隣施設	-	-	-	8,750	17,500	
		民間施設C	-	-	3,500	3,500	3,500	
		■上記いずれかの施設のボイラーメンテ料	-	520	520	520	520	
		項目	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	
売上原価	売上原価計		17,031	21,039	21,904	24,188	25,972	
	材料費	材料費計	6,000	10,790	12,442	14,792	16,724	
		チップ材料費	1,840	2,470	4,122	6,472	8,404	
		発電用チップ材料費	4,160	8,320	8,320	8,320	8,320	
	経費	人件費		4,740	4,740	4,740	4,740	4,740
		計		6,291	5,509	4,723	4,656	4,508
		電力費		-	-	-	-	-
		水道光熱費		-	-	-	-	-
		修繕費		400	400	400	400	400
		消耗品費		192	192	192	192	192
		旅費・交通費		100	100	100	100	100
		地代・家賃		296	296	296	296	296
		リース料		540	540	540	540	540
		減価償却費		1,830	1,303	777	777	777
		租税公課		1,650	1,327	1,092	917	782
		損害保険料		778	778	778	778	778
		通信費		84	84	84	84	84
		車両費		360	420	360	420	360
		雑費		-	-	-	-	-
		計		62	70	104	153	200
				2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
売上総利益		▲3,256	876	7,686	16,396	23,621		
		項目	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	
販売管理費・一般管理費	計		6,863	6,863	6,863	6,863	6,863	
	その他経費	人件費	4,774	4,774	4,774	4,774	4,774	
		小計	2,089	2,089	2,089	2,089	2,089	
		租税公課	35	35	35	35	35	
		旅費交通費	188	188	188	188	188	
		通信費	222	222	222	222	222	
		接待交際費・会議費	100	100	100	100	100	
		損害保険料	81	81	81	81	81	
		消耗品費	96	96	96	96	96	
		外注工賃	30	30	30	30	30	
		地代家賃	360	360	360	360	360	
		顧問料	497	497	497	497	497	
		車両費	300	300	300	300	300	
		諸会費	60	60	60	60	60	
		雑費	120	120	120	120	120	
		2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度		
営業利益		▲10,119	▲5,987	823	9,533	16,758		

※木くず燃料生産・販売事業の中で、全事業の販売管理費・一般管理費を見ている。

試算結果は、2017年度の売上総利益はマイナス325.6万円であるが、2018年度は87.6万円と黒字化し、以降利益は大きくなり、2021年度には2,362.1万円となる。また、営業利益でみると、2018年度はマイナス598.7万円であるが、2019年度は82.3万円と黒字化し、以降利益は大きくなり、2021年度には1,675.8万円となる。

なお、売上原価（材料費や労務費等）が約1,300万円（発電用木くず燃料材料費除く）、販管費が約700万円の現状ベースから営業利益の黒字化を木くず燃料販売量から考えると、遠野市チップ価格3,500円/m³から算出して、約6,000 m³（≒5,714 m³）の木くず燃料の需要が必要となる。さらに、遠野バイオエナジーでリース資産の一部を持たない場合を想定して、売上原価から小型ボイラ設備関係の減価償却費と固定資産税（償却資産税）の合計約150万円（2018年度値）を除くと、約5,000 m³（≒5,285 m³）となる。

(2) 熱販売事業

(千円)

項目		2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
売上高	売上高計	14,104	17,438	19,558	19,842	19,842
	木工団地近隣施設A	10,800	10,800	10,800	10,800	10,800
	木工団地近隣施設B	504	1,008	1,008	1,008	1,008
	木工団地近隣施設C	-	1,080	1,800	1,800	1,800
	木工団地近隣施設D	2,800	4,550	4,550	4,550	4,550
	木工団地近隣施設E	-	-	1,400	1,400	1,400
	遠野市・職業訓練校	-	-	-	284	284
項目		2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
売上原価	売上原価計	24,786	26,033	26,726	26,597	26,341
	パーク材料費	1,464	1,853	2,078	2,129	2,129
	人件費	12,300	12,300	12,300	12,300	12,300
	計	11,021	11,880	12,348	12,168	11,912
	電力費	1,403	1,726	1,928	1,954	1,954
	水道光熱費	1,123	1,381	1,543	1,564	1,564
	消耗品費	159	196	219	222	222
	修繕費	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700
	減価償却費	-	-	-	-	-
	租税公課	3,183	2,806	2,475	2,184	1,927
	損害保険料	126	126	126	126	126
	雑費	2,327	2,946	3,358	3,419	3,419
			2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
売上総利益	【超楽観シナリオ】	▲10,682	▲8,595	▲7,168	▲6,756	▲6,499

※木くず燃料生産・販売事業の中で、全事業の販売管理費・一般管理費を見ている。

試算結果は、2017年度の売上高は1,410.4万円、売上原価は2,478.6万円で、売上総利益はマイナス1,068.2万円となる。2021年度には、公共施設である職業訓練校（2020年度から追加）も想定すると、売上高1,984.2万円、売上原価2,634.1万円、売上総利益でマイナス649.9万円となる。

熱販売事業単体で見ると、2021年度までに黒字化することは難しい状況であるため、木くず燃料生産・販売事業と合わせて、検討していく必要がある。

(3) 事業全体

木くず燃料生産・販売事業および熱販売事業の2つの事業を合わせた事業試算結果は、次の通りである。売上総利益は、2019年度に51.8万円、営業利益は2020年度に277.7万円とそれぞれ黒字化し、2021年度の売上総利益は1712.2万円、営業利益は1,025.9万円となっている。

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
全事業(チップ生産・販売事業および熱販売事業)における売上総利益と営業利益					
売上高	27,879	39,353	49,149	60,426	69,435
売上原価	41,817	47,072	48,631	50,786	52,313
販売管理費・一般管理費	6,863	6,863	6,863	6,863	6,863
売上総利益	▲13,938	▲7,719	518	9,640	17,122
営業利益	▲20,800	▲14,582	▲6,345	2,777	10,259