

令和元年度「地域内エコシステム」技術開発・実証事業
成果報告書

バーク等残材の有効活用×チップ乾燥
小型複合システムの構築・実証



令和2年3月
長崎県森林組合連合会

目 次

第 1 章 はじめに	1
1. 1 背景・目的	1
1. 2 開発するシステム概要.....	5
1. 3 実施場所	10
1. 4 開発・実証実験の実施方法.....	11
第 2 章 バーク等残材の燃焼実験と評価・分析	14
2. 1 燃焼実験の内容・方法.....	14
2. 2 燃焼実験の結果.....	15
2. 3 燃焼実験の評価・分析.....	18
第 3 章 乾燥実験と評価・分析	23
3. 1 乾燥実験の内容・方法.....	23
3. 2 乾燥実験の結果.....	29
3. 3 乾燥実験の評価・分析.....	40
第 4 章 システムの改良・構築	43
4. 1 トータルシステムのハード的改良.....	43
4. 2 運用方法の最適化.....	44
第 5 章 チップ乾燥システムの導入モデル構築	47
5. 1 実運用モデルの想定.....	47
5. 2 モデルの物質収支.....	47
5. 3 コストモデルの構築.....	48
5. 4 導入要件や課題の整理.....	49
第 6 章 総括	53
6. 1 総括	53
6. 2 システムの普及展開.....	55

《本報告書における水分状態の基準値表現について》

水分状態を示す表現には現在 2 つの基準が混同されており、木質燃料の取引を行う上で相互理解の課題となっている。この課題に対し、平成 27 年度に日本木質バイオマスエネルギー協会（当時は木質バイオマスエネルギー利用推進協議会）および関係各団体により整理が行われ、『水分』と『含水率』という言葉で使い分けることとしている（参照：燃料用木質チップの品質規格 <https://www.iwba.or.jp/woodbiomass-chip-quality-standard/>）。

現状ではその使い分けが十分に浸透しているとは言えないが、本事業においては用語の定義が今後一般的になっていくであろうことを鑑み、この水分および含水率という表現方法を採用することとする。以下では、その考え方を以下に示すとともに、本報告書においては双方を使用しているため、その理由について説明を付け加える。

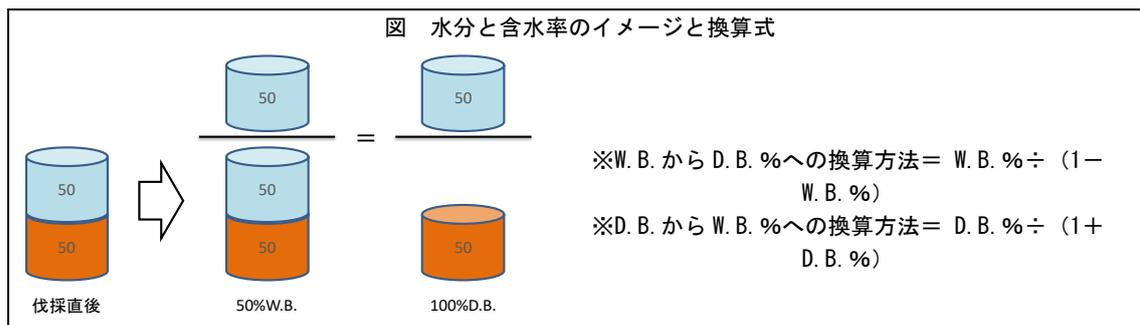
・ W. B.（水分、ウエットベース、湿量基準）

水分を含んだ状態の木材重量を基準としたときの水分であり、木材中の水の重量を、水を含んだ木材全体の重量で除して求める。木質バイオマスのエネルギー利用の場合はこちらが主に使われている。本報告書においても木質チップの含水状態を示す場合には、こちらの基準を用いることとする。

・ D. B.（含水率、ドライベース、乾量基準）

絶乾木材の重量を基準としたときの水分率で、木材中の水の重量を木材の乾燥重量で除して求める。建築用材等では主にこちらの基準が用いられる。

本報告書においては、乾燥能力の考察を行う際にはこちらの基準を用いることとする。理由としては、含水率では、分母が木質部のみの重量であるため、1%当たりの含水重量が変化せず、乾燥能力の表現に適しているためである。



ここで含水率を用いる理由を説明する例として、水分 50%W. B. 時に木質チップのかさ密度 $1 \text{ m}^3 = 0.3 \text{ t}$ とした場合の、水分及び含水率の変化におけるかさ密度の変化を以下に示す。例えば、水分の変化を 50%W. B. \Rightarrow 45%W. B. と、35%W. B. \Rightarrow 30%W. B. で比較した場合、同じ 5%の乾燥でも蒸発させる水の量は 27.3kg と 16.5kg となり 1.65 倍の違いを生じることになる。これは、例えば乾燥速度を乾燥システムの評価項目とした場合、5%W. B./h という表現方法では、乾燥開始時の水分が異なる場合には比較ができないことを意味する。一方、含水率の変化を 100%D. B. \Rightarrow 90%D. B. と、50%D. B. \Rightarrow 40%D. B. で比較した場合、同じ 10%の乾燥で蒸発させる水の量はどちらも 15kg となる。つまり、例えば乾燥速度を 5%D. B./h とした場合、乾燥開始時の含水率が何%D. B. であっても、その乾燥速度を比較に用いることが可能となる。

以上より、木質チップの含水状態の表記には水分 (W. B.) を用いるが、乾燥能力の表記には含水率 (D. B.) を用いることとする。

表 木質チップの水分・含水率別の蒸発水分量

水分 (W. B)	55%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%
含水率 (D. B)	122%	100%	82%	67%	54%	43%	33%	25%
かさ密度 (kg/m ³)	333.3	300.0	272.7	250.0	230.8	214.3	200.0	187.5
5%W. B. 乾燥する際の蒸発水分量 (kg/m³)	-	33.3	27.3	22.7	19.2	16.5	14.3	12.5
含水率 (D. B)	110%	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
水分 (W. B)	52%	50%	47%	44%	41%	38%	33%	29%
かさ密度 (kg/m ³)	315.0	300.0	285.0	270.0	255.0	240.0	225.0	210.0
10%W. B. 乾燥する際の蒸発水分量 (kg/m³)	-	15.0						

※水分状態が変化しても体積は変わらないと想定。

第1章 はじめに

1. 1 背景・目的

(1) 取組の背景

長崎県は小さな県であり離島半島も有していることから、決して林業が盛んなエリアではない。しかしながら、森林の多面的機能の発揮、森林所有者の経済的社会的地位の向上の為、森林組合系統は森林整備事業を推進しており、間伐材の有利販売から森林所有者への利益還元を行い森林経営意欲向上に資する事業を行っている。一方、県内には大型製材工場や低質な間伐材を受け入れる合板工場、バイオマス発電所も現段階ではない事から、一部輸出等は行っているものの、低質材の利活用（供給先）が課題であり、特に離島では大きな課題となっている。

そのような状況下、本会が主体として系統材の集約・大ロット化による有利販売や、カスケード利用推進するための様々な取組を行っており、平成25年度には林野庁事業「地域材供給倍増事業」の採択を受け、バイオマスを含む県産材の新たな流通システムの構築、輸出の拡大を目指した事業計画を作成し、現在も継続的に取り組んでいる。

また、木質バイオマス利用施設が少なく低質材の販路に大きな課題を抱えている離島地区 対馬市の課題解決のため、昨年度「対馬市木質バイオマスエネルギー導入計画」を策定した。その計画の推進の中で、いくつかの課題が新たに顕在化したことから、それらの解決のため、本事業に取り組んだ。

課題とは、昨年度、川中業者（チップ業者、製材所、森林組合施設等）へのヒアリングを行った際、共通の課題であったのがバーク処理（詳細は以下（2）現状の課題1））と、策定した導入計画で高効率なチップボイラの分散導入を検討しているが、導入を想定しているチップボイラは乾燥チップが必要なことである。当初計画においては原木段階での乾燥を前提に計画しているが、時期によっては強制乾燥も必要な場合が想定される。この二つの課題を同時に解決する仕組み、具体的にはバークを燃料としたボイラの熱でチップを乾燥させる簡易で普及性のあるシステムを本事業で構築することが本事業の目的である。

今回、県域すべての森林組合をカバーしている当会が主体的に取り組むを進めていくことにより、本事業で開発するバークを燃料としたボイラによる簡易なチップ乾燥システムをプロトタイプとして、同様の課題を抱える県内の他エリアにも水平展開し、最終的には県内外の同種の課題を抱える地域への普及を目指す。

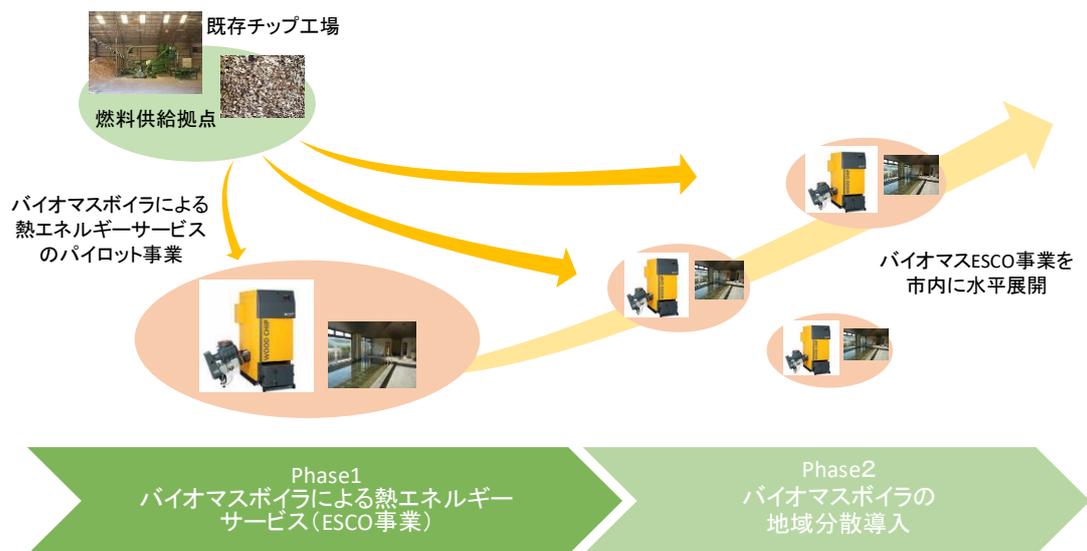


図 1 「対馬市木質バイオマスエネルギー導入計画」における中長期シナリオ

(2) 現状の課題

1) 離島におけるバーク処理の負担軽減

製材工場では素材消費量（16,802 千 m³：H29「木材需給報告書」）の 15.3%のバークが発生する（H17「木材需給報告書」）とされており、全国での年間のバーク発生量は 257 万 m³ と推計される。品質上、用途が限られるためその 13.5%が廃棄処理（H17「木材需給報告書」）となっている。

離島である対馬では堆肥等の需要も限られ、多くが廃棄処分となっているのが実態で、処分費も 27,600 円/t と高額であり、製材業者、チップ業者等のバーク処理の経済的な負担は大きい。業者によっては年間 100 万円近い負担となっている。

さらに対馬市内のチップ工場では、堆積したバークの発火による火災も発生しており、その適正処理、有効利用が求められている。



図 2 剥皮直後のバーク



図 3 土場に保管されたバーク

2) チップボイラの分散導入に向けた安定したチップの乾燥処理体制の強化

対馬市では平成 30 年度に策定した「対馬市木質バイオマスエネルギー導入計画」で、市内の施設へのチップボイラの分散導入を目指している。

ボイラで使用するチップ規格は水分 35%~40%W.B. のものを想定している。原木やチップ状での天然乾燥を基本とするが、年間を通じて品質の安定したチップを供給するためには、時期によっては強制乾燥も取り入れていく必要がある。

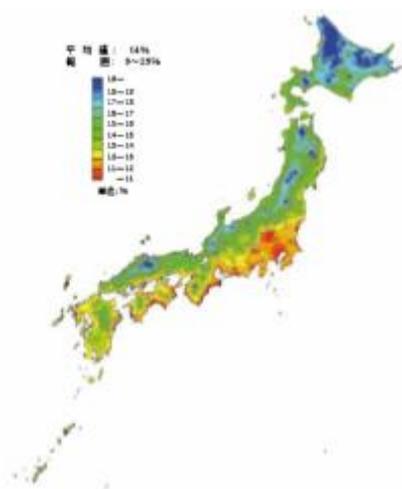


図 4 2月の気候値平衡含水率分布図（全国）

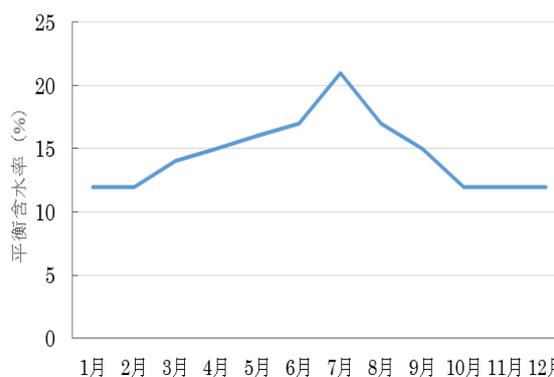


図 5 月別気候値平衡含水率（上五島）

3) チップの強制乾燥技術の普及が今一步

ボイラ向けに限らずガス化発電向けも含め、チップの乾燥は全国的な課題となっており、様々な乾燥設備が開発され商品化されているが、今一步普及が進まない。

設備費が高額、またオペレーションや熱源にかかる費用も含めたシステム全体での乾燥コストが合わないことが一因と考えられる。

- ①バーク等残材の有効活用と処理費の負担軽減
- ②今後需要が見込まれる乾燥チップを低コストに生産する



図 6 チップ乾燥システムの特性領域

(3) 事業の目的

できるだけシンプルな既存の技術を組み合わせ、バーク等残材を燃料とした熱源を活用することで、導入のハードルが低く、かつ従来のバーク等残材の処理費負担も含めた経済合理性が高く、「地域内エコシステム」にも合致する、『コンパクトなバーク利用・チップ乾燥の複合システム』の構築を目指す。

1) 実用性の高いバーク利用とチップ乾燥の小型複合システムのモデル構築

処理が課題とされるバークを燃料として有効利用し、ボイラで作った熱でチップの乾燥を行うコンパクトな複合システムを構築することで、双方の課題の同時解決を目指す。また、商用段階の機器の組み合わせによるトータルシステムの構築を目指すことで、技術的リスクが低く、設備規模、投資額ともに小さく全国どこにでもできる、まさに“地域内エコシステム”に合致するモデル構築を目指す。

■ システム全体のイメージ

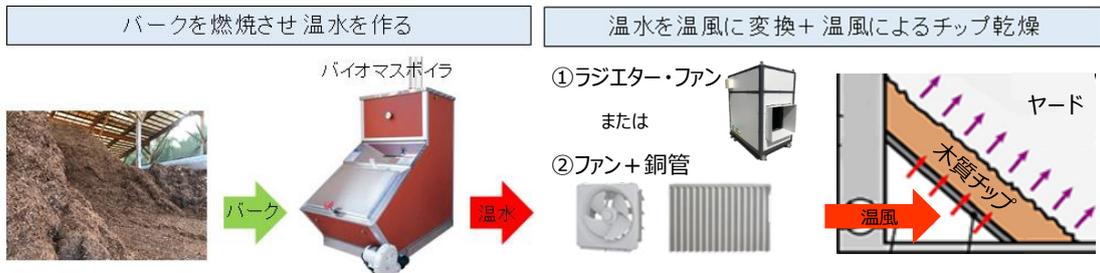


図 7 システムの全体像

2) システム構成・オペレーションの最適化とデータの定量化

実証でのデータ分析を通じて、システムの機器構成の最適化や、燃料・気候・チップ等の条件に応じたオペレーションの最適化とその裏付けとなる定量データの整理を行う。

3) 経済合理性のあるシステム構築

バークの処理費軽減と合わせて経済合理性のある乾燥システムの構築を目指す。

(システムの数値目標)

乾燥コスト (50%W. B. ⇒35%W. B.) : **2.0 円/kg-35%W. B. 以下**

コストイメージ：設備費：300 万円、年間処理量：500t-35%W. B. /年
燃料消費量 (バーク)：40t/年、運用コスト：80 万円/年
(300 万円× (1-1/3) ÷10 年+80 万円) ÷500t=2.0 円/kg-35%W. B.

・バークの処理費削減も含めた乾燥コスト実質ゼロ

4) システムの導入モデル構築

システムの実際の導入を想定し、運用パターンや採算モデルの構築を図る。

1. 2 開発するシステム概要

乾燥システムは、「熱源サブシステム (ボイラ)」「温風製造サブシステム (熱交換器)」「チップ乾燥サブシステム (乾燥倉庫)」といった主要機器で構成される。

(熱源サブシステムの概要)

バークを効率的に燃焼するストーカ式ボイラは規模が大きく価格も高いため、汎用性・実用性を追求し、効率が低くても安価で小型のバイオマスボイラを採用する。

表 1 導入したボイラの仕様 (エーテーオー)

機器名称	ウッドボイラ
メーカー名	エーテーオー(株)
型式	N-350NSB
写真	

熱源	薪、灯油バーナー（補助）
熱源能力	○47,830～69,088kcal/h（平均 67.9kW） ○給湯 5 か所、床暖房 8 畳間相当
燃料量	約 25kg/h
システム価格	約 100 万円（標準価格）※本体のみ
システム図	

（温風製造サブシステムの概要）

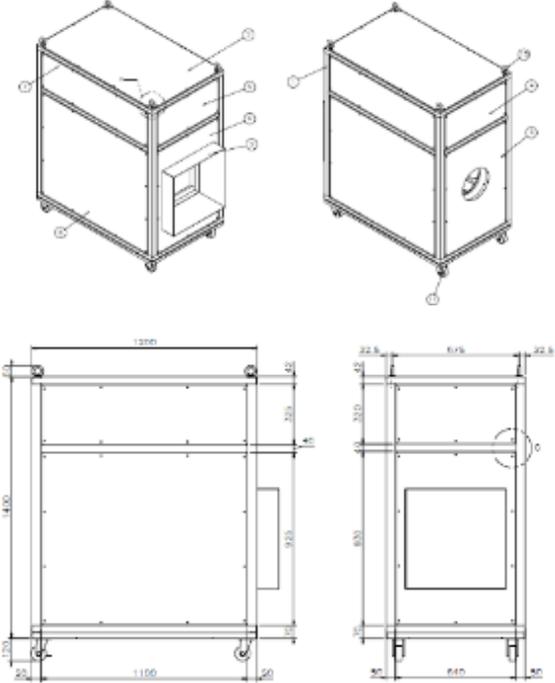
温風製造サブシステム（熱交換機）は、効率は低いが高価な銅管（放熱器として利用）と高効率であるが銅管と比較すると高価なラジエーター・ファンとの 2 種類を比較検証する。なお、システムの汎用性を高めるため、必要に応じて日比谷アメニス社のコンテナ式乾燥機による検証も実施する。

表 2 ラジエーター・ファンと温水温風機の特性比較

項目	ラジエーター・ファン	銅管
価格	高い	安い
エネルギー効率	高い	低い

表 3 ラジエーター・ファンの仕様

名称	移動式ファンユニット	
メーカー名	(株)日比谷アメニス	
形名	熱交換機	・ラジエーター式
	電動機	・約 2.0 kW
	送風機	・ファン

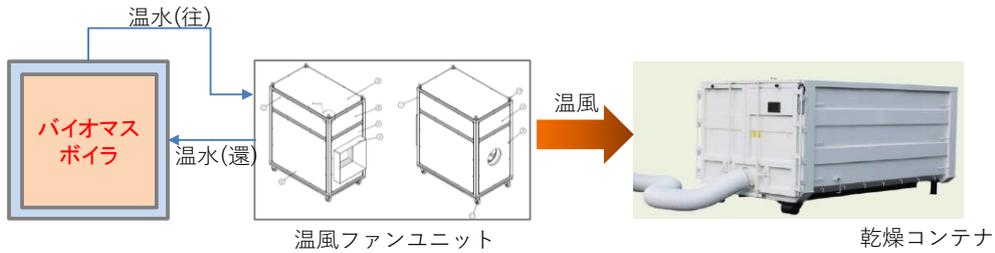
写真	
外形図	
外形寸法	タテ 1200×ヨコ 740×タカサ 1520(キャスター部含む)
想定乾燥能力(kW)	<p>概要：熱源温水より温風を製造し、木質チップ乾燥室内へと送風するファンユニット</p> <p>熱交換出力：69.8kW</p> <p>試算条件：</p> <ul style="list-style-type: none"> 外気：15℃(60RH%) 水量：60L/min 入口温度：温水 65℃ 出口温度：48.4℃ →温風：58℃ 4,800 m³/h <p>消費電力：ファン動力 1.95kW(最大値 3-200V)</p> <p>風量調整：手動による調整 (0～100%の調整)</p>
システム価格	220 万円 ※参考価格

機器仕様	風量：60～100 m ³ /min ※条件による 据付条件：キャスター及びロックにて移動
------	---

表 4 銅管の仕様

名称	銅管式放熱器	
能力	配管径 20A 6m/本 約 1kW (条件により変化) —	
形名	熱交換機	銅管を乾燥システム内に敷設し熱源温水を循環し利用
	電動機	—
	送風機	ファンユニット送風を利用
写真		
システム価格	約 1 万円/本	

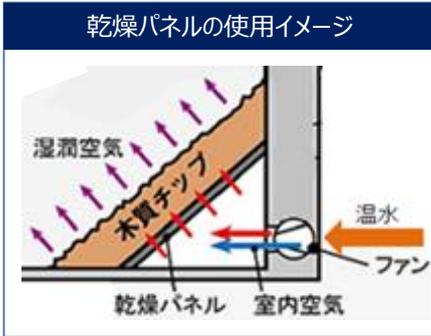
表 5 コンテナ式乾燥機の仕様

機器名称	コンテナ式乾燥機		
メーカー名	極東開発工業(株)		
写真			
熱源	実証施設ボイラを利用		
乾燥量	チップ最大 10m ³		
システム図			

(チップ乾燥サブシステムの概要)

欧州で実績ある温風によるチップ乾燥に採用する乾燥パネルを導入する。

表 6 導入予定の乾燥パネルの仕様

機器名称	乾燥パネル
代理店	(株)日比谷アメニス (塊 CONA 社製)
写真	
熱源	温風
サイズ	3000×1000mm を乾燥ヤードサイズに合わせて利用
材質	鉄板 (1.5mm)・亜鉛メッキ
重量	36kg/枚
付属品	接続部保護端部レール (L3000mm をヤードサイズに合わせて利用)
システム図	

1. 3 実施場所

実証試験の実施場所は、試験に使用する木質チップとパークの入手が容易であり、ヤードの確保が可能な、社会福祉法人が運営している製材・木質チップ工場の敷地内を借用する形で実施した。



社会福祉法人米寿会 対馬資源開発
木質チップ工場敷地内で実施

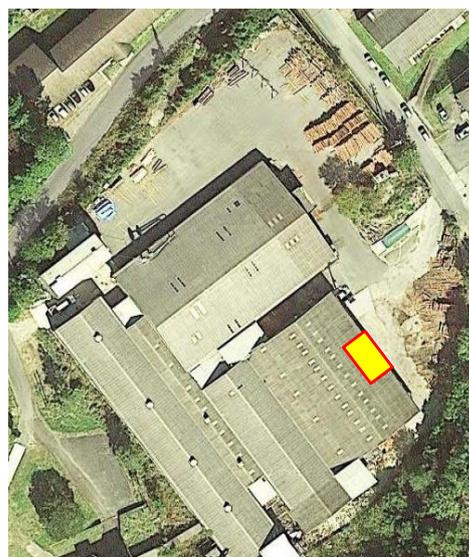


図 8 実証場所の状況

1. 4 開発・実証実験の実施方法

開発、実証試験については、以下の実施フローに沿って実施する。

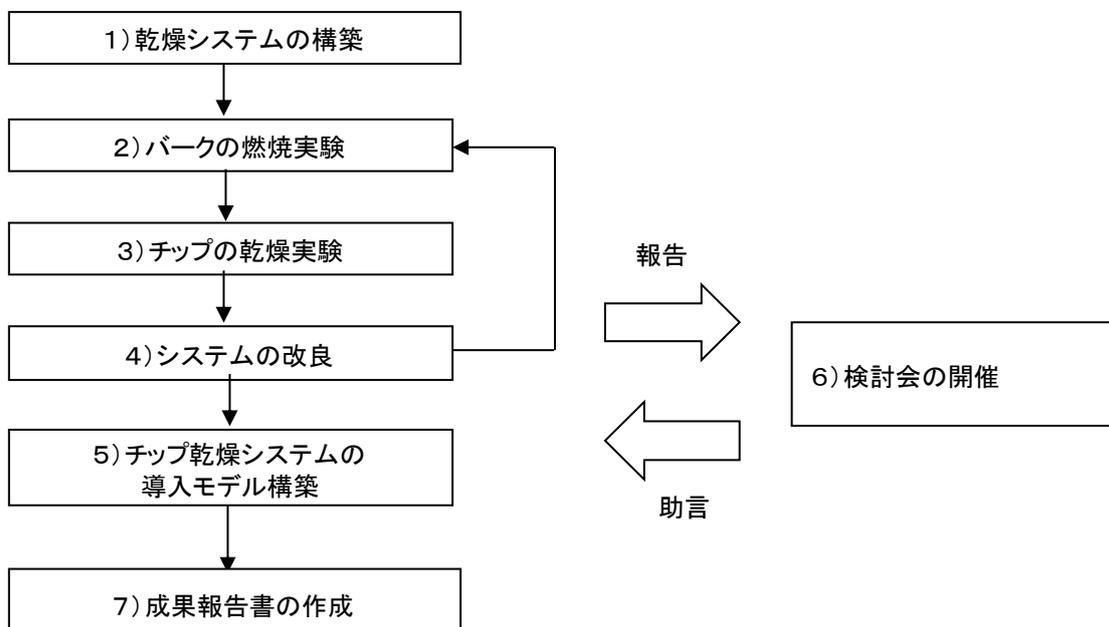


図 9 開発・実証事業の実施フロー

表 7 検討委員会の実施体制

区分	所属・役職	氏名
有識者	株式会社バイオマスアグリゲーション 代表取締役	久木 裕
	R e a s t 株式会社 代表取締役	岡本 繁幸
	株式会社日比谷アメニス 環境エネルギー部 総合経営企画室	大西 竹志
委員	対馬市役所 農林水産部部長	佐々木 雅仁
	対馬市役所 農林しいたけ課長	釜山 直樹
	長崎県 対馬振興局 林業課 係長	銭坪 司剛
	対馬森林組合 営業指導部長	園田 茂
	長崎県森林組合連合会 専務理事	佐藤 義高
事務局	対馬市役所 農林しいたけ課 係長	上松 洋
	長崎県森林組合連合会 業務部次長兼業務指導課長	小川 透
	長崎県森林組合連合会 業務指導課 技師	田中 さゆり

表 8 検討委員会の開催概要

第 1 回	日時	令和元年 8 月 26 (月) 10 時 00 分～14 時 00 分
	場所	対馬市役所 会議室 (対馬市厳原町国分 1441) 対馬資源開発 (対馬市美津島町鶏知甲 882-6)
	内容	1, 全体スケジュールや実施内容の共有 2, 事業の全体的な役割分担について 3, 簡易乾燥システム構築に向けた方向性の確認 4, 現地調査
	実施 状況	
第 2 回	日時	令和元年 12 月 5 日 (木) 13 時 30 分～16 時 30 分
	場所	対馬市役所 会議室 (対馬市厳原町国分 1441) 対馬資源開発 (対馬市美津島町鶏知甲 882-6)
	内容	1, 現地支援委員会でいただいた助言等への対応について 2, バークの燃焼試験および第 1 回チップ乾燥試験の評価分析を受け、今後の試験内容や改良点について検討 3, 今後のスケジュールについて確認
	実施 状況	

第 3 回	日時	令和2年3月13日(金) 13時~15時
	場所	対馬市交流センター 会議室 (対馬市厳原町今屋敷 661 番地)
	内容	上記の日時・場所で実施予定であったが、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い令和2年2月26日に政府より「今後2週間のイベント中止要請」が発表され、飛行機や新幹線移動を伴う検討委員会の開催は、委員および周囲への感染リスクは避けられないものと判断し、中止を決定した。(実施予定であった事業報告書のとりまとめ(案)の確認については、メールや等で共有し確認を行った)

第2章 バーク等残材の燃焼実験と評価・分析

2.1 燃焼実験の内容・方法

(1) 実験計画

バーク等残材の燃焼実験は、効率的な実証のために乾燥試験と並行して進めることとした。以下の要領にて燃焼実験を実施したが、現地調査やヒアリング結果から、特に丸太を敷地内屋外に搬入して一時保管する間に剥離するバークが最も量が多く処分上の課題となっていることから、「土場バーク」として、その活用を検討の中心とした。

表 9 バーク燃焼実験の計画概要

目標	バークの性状に適した燃焼を行うための前処理、投入等の手法の確立と作業コストの定量化
実施内容	バイオマスボイラでのバークの燃焼試験 土場バークを中心に、工場内残材等も利用 サンプル毎の燃焼性、作業性等についてのデータを収集・分析
実施時期	2019年12月～2020年2月

(2) 燃焼実験・データ収集の方法

燃焼実験でのデータの測定項目と方法は以下のとおりとする。バークの水分は、後述する挿し込み式の簡易水分計では形状や性状から計測できない。そのため定温乾燥器を用いた絶乾法を適用する必要があるが、土場バークを乾燥器用容器に入れるためには細かく裁断する必要がある。そのため、燃料利用用に土場バークの堆積層をつくる際にサンプリングを行い、そこから裁断してサンプルを得た。

表 10 バーク燃焼実験でのデータ測定項目と方法

測定項目	測定方法
バークの重量	はかり
バークの水分	定温乾燥器を用いた絶乾法
バークの成分（発熱量）	分析機関に依頼
補給水・給湯温度・流量	温度データロガー、流量計
排ガス温度・濃度	温度データロガー、熱電対
補助燃料の消費量	満タン法による灯油消費量



図 10 土場バークと水分測定用のサンプル

(3) データ分析・評価の方法

収集したデータを分析し、簡易なバイオマスボイラでのバークの燃焼性や効率を確認し、安定的に運用するためのオペレーション上のポイントや燃料となるバークの使用条件等について検討する。作業負担については、現状のバーク処理には産業廃棄物としての処理費用が発生しているため、作業負担と処理費削減効果の関係性も明らかにすることを目指した。

表 11 バーク燃焼実験での評価軸と評価方法

評価軸	評価方法
1) バーク等残材の運用規格	<ul style="list-style-type: none"> ・サンプル毎の燃焼データの比較により運用上の最低限の燃料規格を設定 ・前処理の対応について検討
2) 作業負担	<ul style="list-style-type: none"> ・処理量あたりの燃焼時間 ・作業工程ごとの作業時間
3) バークの燃焼性	<ul style="list-style-type: none"> ・バーク等残材の燃焼状態の観察 ・排ガス温度の測定
4) システムのエネルギー効率	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー効率 = (A) ÷ (B) A: 給湯温度と補給水の温度差、流量から回収した温水の熱量を算定 B: 投入したバークの熱量 ※必要に応じて貯湯量と蒸発量も考慮

2. 2 燃焼実験の結果

実証で使用する土場バーク(燃料用)については、現状は屋外に堆積されている。しかしながら、現地での観察により、堆積されているバークの表層部分は比較的乾燥が進んでいることが確認できた。これは、太陽光や風により乾燥が表層部分のみは進んでいるためと考えられた。また、表層から 20cm 程度の土場バークを取り除くと、土場バークは水分が高い状態になっていた。

そこで本実証試験においては、製材所搬入時および保管時に丸太から剥離して発生し屋外に堆積されるヒノキのバークのうち、特に表層部分を集め、燃料用の堆積バークパイルを試験場所近くにつくることとした。また土場バークの表層部分のすき取りは既存のショベルローダーにより可能であり、追加的な設備も必要がないことから、基本的な運用方法として設定した。さらに、保管中の降雨を防ぐ効果を期待し、木質バイオマス屋外保管用シートを堆積したバークに敷設した。降雨の侵入防止効果については、第4章にて後述する。



図 11 実証で使用する土場バーク (燃料用)

燃焼試験は、土場バーク (燃料用) を手投入により行った。その際に頻度や重量等を測定することで、実運用の最適化を検討するためのデータ取得とした。



燃料には製材所土場に多く発生し、処理に困っているバーク等の残材を使用

バークの投入方法、投入頻度、補助的な燃焼についても実運用を見据えて検証

バークの燃焼状況を確認しながら投入量や投入頻度の最適化を検証

図 12 実証で使用するバーク (燃料用) について

《木質バイオマス保管シート》

製品概要：

喫 TENCATE 社製（代理店：㈱日比谷アメニス）

寸法：50m×6m

面積：300m²

引張強度：12.5kg/m²

製品重量：200g/m²

ロール重量：約 67.5kg

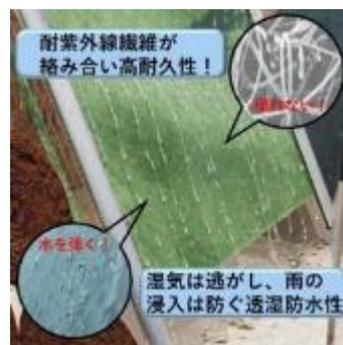
製品原料：耐紫外線ポリプロピレン

耐用年数：通常利用において最大5年間

概要：「耐久性の高さ」、「使用の容易さ」、「透湿防水性」により木質バイオマスの屋外保管・乾燥促進を行う。

使用方法：

- (1) 保管・乾燥させる木質バイオマスを約 45° の傾斜を持たせて堆積し、被せて使用する。（傾斜を利用し、雨水等が本製品をつたうようにして排水させる。必ず保管対象物に傾斜を持たせる。）
- (2) 複数本の本製品をつなぎ合わせて使用する際は、シートのつなぎ目を 50～60cm 程度重ねて、上側のシートが上になるように使用する。
- (3) シート上に重りをのせるなどして、シートを固定する。



2. 3 燃焼実験の評価・分析

1) バーク等残材の運用規格

土場バークは、前述したように丸太の搬入時及び屋外保管時に自然剥離したバークのことであり、年間の発生量が最も安定している。更には、水分も最大で70%W.B.であり、現状、利用用途がなく、処分のためには産業廃棄物として約27,600円/tの処分費が必要となっている。加えて、産業廃棄物処理業者の焼却炉への搬入条件にフレコンバッグに入っていることや、受け入れ可能日に制限がある等の制約もある。このような課題をもつ土場バークを燃料とすることは、木質バイオマス資源の有効活用というコンセプトに合致することはもちろん、処分費用の削減効果という利点も見込まれることから、本事業における燃料利用残材の主たるものは土場バークとしている。

一方、実施場所の製材及びチップ業者にヒアリング調査を行った結果、下表に示す通り、他にもバーク同様、産業廃棄物処理等が必要で、木質バイオマス資源燃料として利用可能な残材が発生していることがわかり、これら残材も一部燃料としてバークと混ぜて実験を行った。

製材残材としている残材は、搬入した丸太を製材工場内にて加工するプロセスで発生するものであり、樹皮部分と共に木部も含まれている。製材残材は発生量が不安定で多くはないが、水分は低いため着火時等に用いるのに適していると考えた。

バークチップは、工場内にて既設のバークチッパーにより製造されるチップである。以前は敷料としてのニーズがあったために製造されていたが、現状は製造を停止している。本事業においては、最大投入量を土場バークそのままの場合と比較するため、0.5m³程の製造をおこなった。

木端や薄板は不定期に発生するものである。また木端の発生量は大きいですが、その他の用途に既に供しており、燃料利用はしやすいものの主たる燃料用残材とはしないこととした。そこで本事業における用途としては、主として設定した土場バークに、木端や薄板の混合量を変化させて燃焼試験を実施した。

表 12 各残材の発生量・性状・処理状況の特徴

項目	土場バーク 	製材残材 	バークチップ 	木端 	薄板 
発生量	約40t/年	約15t/年	製造停止中	約350m ³ /年	注文が来た時のみ不定期に発生
水分状態	表層部分は乾燥(屋外) 16~40%W.B.	乾燥(屋内) 10~20%W.B.	-	ムラあり(屋外) 10~70%W.B.	乾燥(屋外) 7~30%W.B.
処理状況	産廃処理(フレコン要)	産廃処理(フレコン要)	-	一部炭の火付け材や木工細工加工に使用	産廃処理(フレコン要)
利用方針	主燃料	着火時及び予熱燃料	試験製造及び試験燃焼	副燃料	副燃料

2) 作業負担

作業手間に掛かる大きな要因として、一回当たりの最大燃料投入量がある。これは、本事業にて採用しているバイオマスボイラは比較的小型の手投入タイプであり、燃焼炉内の容積と投入口のサイズにより、投入できる量に上限があるためである。燃焼試験の結果得られた、各残材の1回あたりの最大投入量を下表に示す。主たる燃料とする土場バークは最大投入量が約5kgであったのに対し、バークチップ単体では10kg、木端や薄板では土場バーク5kgに加えてそれぞれ7.5kgを投入することができた。この結果は、土場バークはかさ密度が小さいことや数十cmの長い形状のものも多く含まれるため投入量に制限が多いのに対し、バークチップは、細かい分投入しやすいことや、木端や薄板はかさ密度が大きいことが起因している。

表 13 各残材の最大投入量・投入しやすさ

	土場バーク 	製材残材 	バークチップ 	木端 	薄板 
1回あたりの最大投入量	5kg	-	10kg	バーク5kg +7.5kg	バーク5kg +7.5kg
投入の難易度	△	△	○	◎	○
前処理	無	無	要	無	要
課題	かさばって量が投入できない	発生量が多くない	製造に手間とコストがかかる	燃料以外の使用あり	不定期に発生

3) 燃焼性

燃焼性としては、各残材の主には水分状態に大きく左右されることが経験則として得られたが、特徴等を以下に挙げる。

土場バーク：

水分が高い場合には、投入時は土場バーク内の含有水がボイラ内の熱で蒸発して水蒸気として排気されるため、数分程水蒸気を多く含む白煙が発生する。その後は安定的に燃焼する。また、一度に多くの土場バークを入れると、燃焼用の送風ファンの風量または風圧が不足し、断続的に白煙が強くなる状態を数分繰り返していた。性能自体には影響はないと考えられるが、周辺環境がそれを許容できるかは課題となる。

製材残材：

本事業においてはボイラ着火時及び予熱時の燃料として使用しており、水分が低いために良好な燃焼を行っていた。

バークチップ：

チップ化により粒度が細かくなり投入がしやすくなる分、投入量を増やすことができた。

木端：

薪に近い感覚で投入をすることができる。注意点としては、平たい形状が多いので投入時に同一方向に重ねすぎると風が通りにくくなるため、井桁状に近い重ね方が必要となる。

薄板：

木端同様に燃焼性は良いが、一枚が大きな板状であるため、事前の切り分けが必要となる。

排ガス温度の測定については、全7回（Trial1～7）行った乾燥試験（表14参照）の中で、Trial7の土場バーク燃焼時に測定したため以下に図示する。約2.5時間の測定中、排気温度は約350～650℃の範囲で推移し、平均値は約470℃であった。一般的なバイオマスボイラの排気温度が200℃を下回ることを考えると、この排気温度は相対的にかなり高温になっていることがわかる。熱交換出力をみると35～40kW程で推移していることから、投入した燃料の持つ熱量が十分に乾燥システムに利用されていない可能性がある。ただし、この結果は燃料の問題ではなく、ボイラの構造や熱交換をするための2次側の循環水量の問題ではないかと想定された。

Trial7のチップ乾燥試験データ

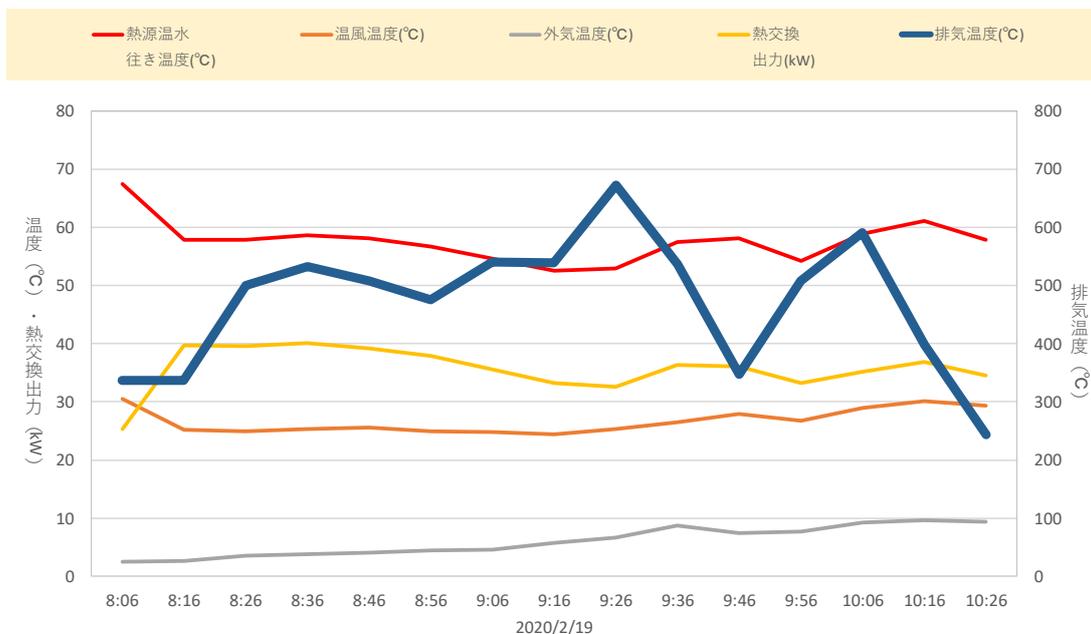


図13 Trial7の排気温度(°C)

4) システムのエネルギー効率

燃焼用ボイラシステムのエネルギー効率の算出式及び算出値を以下に示す。

$$\text{エネルギー効率} = (A) \div (B)$$

A：熱源温水行きと還りの温度差、流量から回収した温水の熱量を算定

B：投入した土場バーク等の熱量

※必要に応じて貯湯量と蒸発量も考慮

本事業においては、ボイラ温水温度が高温になることは Trial1 以外ではなかったため、補給水をほぼ使用しておらず、貯湯量と蒸発量の考慮は行っていない。結果を見ると、Trial1 はエネルギー効率が低い。これは、熱交換システムが銅管の本数が少なく、投入した燃料の熱量に対し、十分な熱交換ができなかったことを示している。また、Trial7 も同様にエネルギー効率が低い。この際の低さの原因として、Trial7 では燃料を最大限投入することとしていたため、投入熱量は大きかった。一方、前述の排気温度で示されたように、排気はかなりエネルギーが含まれている。これらより、燃料を最大限投入してもそのまま熱交換出力に反映されていないことが想定された。

燃料投入量と2次側熱交換出力が適切な場合、50%前後がこのボイラの定格エネルギー効率と考えられる。

表 14 各 Trial のエネルギー効率 (%)

試験条件/Trial		1	2	3	4		5		6		7	
日付		12/4	12/5	12/15	12/16-17	12/16	12/17-18	12/17	1/9-10	1/9	1/10	1/18・1/19
熱源システム		日中ボイラ	日中ボイラ	日中ボイラ	日中ボイラ 夜間:余熱+外気	日中ボイラ	日中ボイラ 夜間:余熱+外気	日中ボイラ	日中ボイラ 夜間:余熱+外気	日中ボイラ	日中ボイラ	日中ボイラ
熱交換システム		銅管	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット
乾燥システム		ヤード	ヤード	コンテナ	ヤード	ヤード	ヤード	ヤード	ヤード	ヤード	ヤード	ヤード
チップ量	㎥/バッチ	6.8	6.8	10.0	12	12	16	16	12	12	12	16
乾燥時間	h	7.7	7.8	9.0	20.8	8.3	20.2	9.2	29.8	8.5	9.5	14
燃料種類		土場バーク	土場バーク 木端	木端	土場バーク	土場バーク	土場バーク 木端	土場バーク 木端	土場バーク パークチップ 木端	土場バーク パークチップ 木端	土場バーク パークチップ 木端	土場バーク 木端 きのこ菌菌床 丸太
投入燃料熱量	kWh/バッチ	198.9	387.1	630.7	560.9	560.9	872.4	872.4	986.1	381.7	566.3	1,024.2
平均温水温度	℃	81.1	65.6	63.4	88.7	68.8	82.7	64.0	29.8	44.7	45.3	68.8
平均温水流量	L/min	28.4	11.2	12.1	12.2	18.9	18.6	18.6	18.4	18.2	18.0	18.1
平均熱交換出力	kW	5.5	29.3	28.1	13.2	31.1	17.4	26.1	15.8	24.9	25.8	34.7
合計熱交換量	kWh/バッチ	82.9	234.6	257.1	277.5	264.4	252.9	243.6	475.1	207.6	219.8	208.0
平均温度差	℃	14.4	44.0	45.7	25.4	46.2	23.8	34.6	17.0	25.2	24.8	29.6
エネルギー効率	%	22%	61%	41%	49%	47%	54%	52%	50%	54%	44%	20%

5) 燃焼の最適化

燃焼の最適化をするためには、燃料の水分、空気供給量、燃料投入量が適切である必要がある。水分は雨除けシートをかけて対策をおこない、空気の供給量は、パークを多く詰め込むと空気の通りが悪くなるので、燃焼が悪くなるため、ファンの規模を変更するなどの対策をおこなう必要がある。

適切な燃料投入量にするためには、燃料投入量に対するボイラのエネルギー効率と2次側熱交換出力を一致させる必要があり、そのための計算を以下でおこなう。

計算式

$$\text{適正投入量 (kg/h)} = \frac{\text{2次側熱交換出力 (kW)}}{(\text{パーク低位発熱量 (kWh/kg-35\%W.B.)} \times \text{ボイラ効率})}$$

使用数値

2次側熱交換出力 34.7kW (全 Trial 最大値)、67.9kW (ATO 公称熱源能力)
針葉樹樹皮低位発熱量 3.21kWh/kg (出典：木質バイオマスボイラ導入指針)
ボイラ効率 50% (全 Trial 値参考)

計算結果

全 Trial 最大値である 34.7kW では、一時間あたり 21.6kg
ATO の公称熱源能力である 67.9kW では、一時間あたり 42.3kg

上記計算結果が一時間あたりの適正な投入量である。

そのため、土場パークの1回あたり最大投入量が5kgなので、Trial 上での能力でも約15分以内毎に投入をする必要があり、投入頻度を減らすためには、木端などと混ぜて投入量を増やすか、排気熱の回収をおこなうなどのエネルギー効率を上げる必要がある。

第3章 乾燥実験と評価・分析

3.1 乾燥実験の内容・方法

(1) 実験計画

乾燥実験は下図に示すように、3つのサブシステムで構成されるシステムを利用して行った。主な試験要因として、2種類の熱交換機器の比較検討及び木質チップの積載量をチップ厚0.5m、0.8m、1.0mの3水準を設定して実施した。実証データの評価・分析結果を受けて、ハード面、運用面の改良は随時行ったうえで、続く実験を実施することとした。



図 14 導入乾燥システム全景

表 15 チップ乾燥実験の計画概要

目標	安定したチップ乾燥を行うための手法や運転方法の確立とコストの定量化	
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> ◆ チップの乾燥実験、チップの水分の測定 ◆ 熱交換器、チップの堆積量別の乾燥性能や作業性等の収集・分析 	
チップ	針葉樹全木生チップ	
熱交換機の種類	ラジエーター・ファン	ファン+銅管
実施時期	2019年12月～2020年2月	
乾燥後目標水分	35%W.B.以下（平均値54%D.B.）	
チップ積載条件	チップ積載容量(厚み)：6 m ³ (0.5m)、12 m ³ (0.79m)、16 m ³ (1.0m) ※燃料用チップ運搬車両の積載量：6 m ³ /台	

(2) 乾燥実験・データ収集の方法

乾燥対象となる木質チップは、製材所で発生するヒノキの背板をチップ化した切削チップと、製紙向けチップ工場で製造されている丸太(針葉樹)をチップ化したホワイトチップの2種類を使用した。

製材工場の稼働状況により、製造する木質チップの水分の状態にもばらつきがあることがヒアリング調査により明らかになっており、年間製造するチップの7割程は水分35%以上であるため、乾燥チップ用ボイラに供するためには乾燥工程が必要となる。

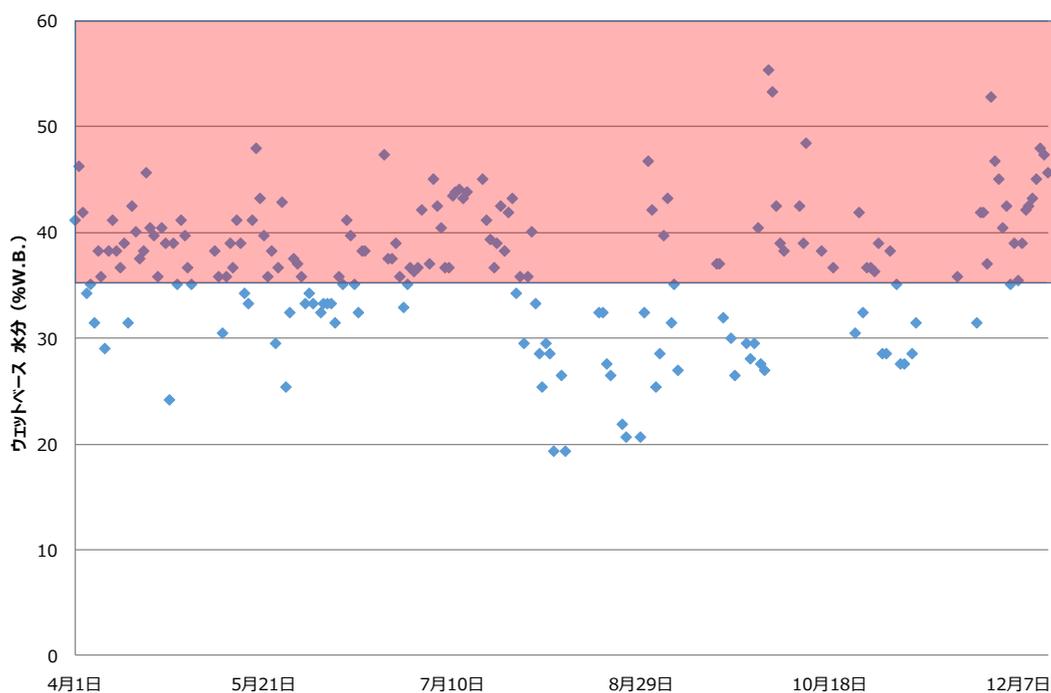


図 15 H30 対馬資源開発木質チップ水分 (バイオマスボイラ向け)

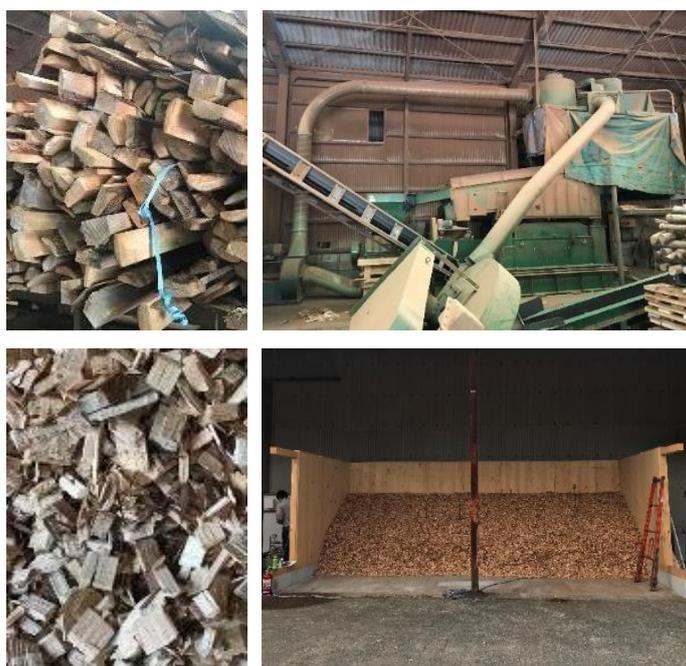


図 16 チップ原料の背板と木質チップ

乾燥実験でのデータの測定項目と方法について以下に示す。センサー設置の目的は、大きくは以下の2点である。

死活管理・稼働状況確認

- ・各サブシステムが正常に稼働しているかの確認、及び、不具合発生時の原因究明のための分析要素とする

システム全体の能力評価

- ・各サブシステムの稼働に関する定量データの把握により、システム全体能力を評価するためのデータ採取。

また、実験にあたっては、下図に示すように各サブシステムを機能することでデータを採取している。



乾燥システムは主にボイラー、ラジエーターファン、乾燥ヤードで構成される



ボイラーで温められた温水から、熱交換により循環水を温め、ファンユニットに接続し、温風をつくる



積層量別に風ムラ測定や、ロガー等による各種計測を実施し、推移を確認

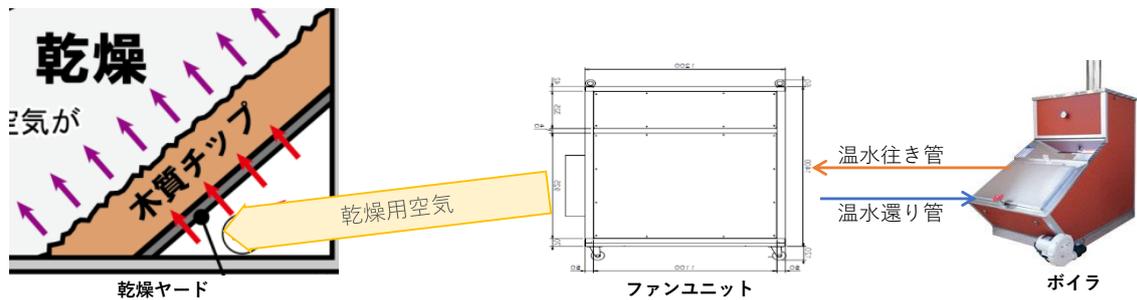


図 17 3つのサブシステムの機能イメージ

実証試験におけるデータ測定項目とその取得方法を以下に示す。

熱源条件・外気条件・温風ファンユニット・乾燥ヤードにおいて、それぞれの動作状態や性能データを設定し、それに沿った使用センサーまたは確認方法を整理し、可能なものはデータロギングすることとした。

表 16 乾燥実験でのデータ測定項目と方法

計測項目	単位	使用センサー	データ記録	備考
1. 熱源条件				
①温水行き温度	°C	センサー (PT100 Ω)	データロガー	
②温水還り温度	°C	センサー (PT100 Ω)	データロガー	
③温水流量	L/min	センサー (流量計)	データロガー	
2. 外気条件				
④温度	°C	おんどとり	データロガー	
⑤湿度	%RH	おんどとり	データロガー	
⑥降水有無 (量)	有無 (mm)	メモ	都度メモ	
3. 温風ファンユニット				
⑦消費電力	kW	クランプ電流計値から推測	都度メモ	
⑧電力消費量	kWh	消費電力×稼働時間にて試算	試験前後で 都度メモ	
⑨風量	m ³ /h	熱式風速計で実測	都度メモ	
⑩静圧	Pa	マンメーターで実測	都度メモ	
⑪吹出し温風温度	°C	センサー (熱電対)	データロガー	
4. 乾燥ヤード				

⑫乾燥用温風温度	°C	センサー（熱電対）	データロガー	
⑬チップ水分	%W. B. %D. B.	水分計 humimeter BLL・定温乾燥機(乾燥前後) ※BLL の水分計による計測の精度を上げるため、あらかじめ複数の同サンプルを加熱乾燥式水分計でも計測し、必要に応じて BLL の水分計の計測結果に補正をかける。	都度メモ	
⑭チップ温度	°C	センサー（PT100Ω）	データロガー	
⑮空気ムラ	m/s	自作測定器（風速計ボックス）	都度メモ	
⑯作業負担		作業人口・時間を記録	都度メモ	

表 17 測定に用いる水分計（チップ用・燃料用）・風速計

チップ水分測定用	燃料及び乾燥前後チップ水分測定用
humimeter BLL Wood Chip Moisture Meter	定温加熱乾燥機
	
<p>長所：即時に低水分チップの計測が可能 短所：45%以上の高水分のチップ計測について、+10~15%の表示ブレが発生する 使用法：乾燥ヤード内の木質チップに対して、水平面で6箇所、深さ別では20cm刻みで測定点を設定し、測定値の平均値をチップ全体の代表値として用いることとした。</p>	<p>長所：低～高水分の幅広い水分のチップについて、正確な水分を計測可能 短所：計測に24時間程度を要するため、同時に複数個所のモニタリングには不向き。</p>
風速ムラ測定器	
ハンディタイプ風速計	



使用法：乾燥中のヤード内木質チップに対して、ハンディタイプの風速計を取り付けた約0.7m×0.7mの蓋状の木製部材を被せ、そこから出てくる乾燥用空気の風速を測定する。測定は全面分を行い、風速の違いを確認する。風速は相対値としてどこから温風が多く出ているかを把握し、乾きやすさの違いや乾燥ムラの確認をする。

(3) データ分析・評価の方法

下表に、乾燥試験の評価項目とその算定式を示す。

表 18 評価項目と算定式

評価項目	算定式
乾燥速度 (%D. B. /h)	<p>乾燥速度 = (乾燥開始時水分(%D. B.) - 乾燥終了時水分(%D. B.)) ÷ 乾燥時間(h)</p> <p>熱交換器の種類やチップの積載条件等の試験条件毎に、木質チップの水分の低加速度(乾燥速度)を上記計算式で求める。</p> <p>開始時のチップの水分や気象条件により乾燥速度は左右されるため、実験時の気象条件も観測する。</p> <p>①熱交換器、②改良前後、③チップ積載量の各条件の実験ケースごとの乾燥速度について、気象条件等も踏まえ総合的に比較評価し、乾燥速度を向上させるための要件や課題を整理する。</p>
水分蒸発速度 (kg / h)	<p>水分蒸発速度 = 乾燥前後の蒸発水分量(kg) ÷ 乾燥時間(h)</p> <p>1時間あたりに蒸発する水分量から、乾燥システムの乾燥時間を算定し、評価する。</p>
エネルギー投入量 (kWh/%D. B.)	<p>乾燥能力あたりのエネルギー投入量 = (投入バークの総熱量(kWh) + 補助燃料(灯油)の消費総熱量(kWh) + 消費電力の一次エネルギー換算(kWh)) ÷ (乾燥開始時水分(D. B.) - 乾燥終了時水分(D. B.))</p> <p>ボイラ燃料の投入から給湯、温風への熱交換、乾燥までのトータルでの乾燥能力あたりのエネルギー投入量を算定し、比較評価する。</p>

乾燥コスト (円/kg-35% W.B.)	①処分費考慮なし 乾燥コスト(円/kg-35%W.B.) =乾燥に係る総経費(円)÷乾燥終了時重量(kg-35%W.B.)
	②処分費考慮あり 乾燥コスト(円/kg-35%W.B.) =(乾燥に係る総経費(円)-バーク処理費(円))÷乾燥終了時重量(kg-35%W.B.)

乾燥コストは、収集した水分データやコストデータを用いて、水分 50%W.B. のチップを 35%W.B. に乾燥させるまでに必要なコストを推計し、それを基に算定する。

乾燥コストは燃料となるバークの処理費を考慮しないケースと、考慮してコストから差し引くケースの 2 パターンを算定する。乾燥速度同様、①熱交換器、②改良前後、③チップ積載量の各条件の実験ケースごとの乾燥コストについて、気象条件等も踏まえ総合的に比較評価し、乾燥速度を向上させるための要件や課題を整理する。

表 19 乾燥に係る総経費

費目	備考
設備費	10 年償却・年間の消費量より勘案
人件費	①作業人工分計上、②余剰人員の活用でゼロの 2 ケース
燃料費	バークはゼロカウント、補助燃料の灯油代
光熱費	消費電力代、水道代
メンテナンス費	設備に係るメンテナンス費
車両費	リフト等の車両の損料・燃料費
乾燥に係る総経費	上記コストの合計

3. 2 乾燥実験の結果

乾燥実験は Trial1 から 7 までの計 7 回実施し、比較項目としては以下を設定した。

- ①熱交換性能：銅管とラジエターとの性能比較による適した熱交換システムの把握
- ②チップ厚：チップの厚み別の乾燥結果の比較による乾燥性能の違いの把握
- ③乾燥施設：ヤードタイプに加えて汎用性向上を目的としたコンテナ乾燥は期待性能を持つか
- ④稼働時間：夜間の送風乾燥の効果の把握
- ⑤その他：燃料投入方法として可能な限り燃料を中断なく入れる場合と作業手間を最小限にするために極力入れない場合の違いや半屋外の乾燥ヤードであることから、雨天時の乾燥システム運用の可能性を検討するため、屋外保管用乾燥シートを乾燥対象チップ表面に敷設した場合としていない場合の乾燥用温風風量の変化の把握

下表に各試験の実施条件と比較項目を示す。

表 20 各乾燥試験の実施条件と比較項目

項目	TRIAL1	TRIAL2	TRIAL3	TRIAL4	TRIAL5	TRIAL6	TRIAL7
実施日	12/4	12/5	12/15	12/16	12/17	1/9-10	2/18-19
熱交換機器	銅管	ラジエーター	ラジエーター	ラジエーター	ラジエーター	ラジエーター	ラジエーター
チップ厚	厚0.5m	厚0.5m	厚1.5m	厚0.8m	厚1.0m	厚0.8m	厚1.0m
チップ容量	6.3m ³	6.3m ³	10m ³	12m ³	16m ³	12m ³	16m ³
乾燥熱源	8hボイラ燃焼	8hボイラ燃焼	8hボイラ燃焼	8hボイラ燃焼 +夜間送風	8hボイラ燃焼 +夜間送風	8hボイラ燃焼 +夜間送風 +8hボイラ燃焼	8hボイラ燃焼 +8hボイラ燃焼
燃料	土場パーク	土場パーク	木端	土場パーク +木端	土場パーク +木端	土場パーク (一部パークチップ) +木端または薄板	土場パーク +木端、丸太、 鹿茸床 等
供試チップ	背板由来 ヒノキチップ	背板由来 ヒノキチップ	背板由来 ヒノキチップ	背板由来 ヒノキチップ	背板由来 ヒノキチップ	原木由来 針葉樹チップ	背板由来 ヒノキチップ
備考			乾燥用コンテナ にて実施			全木生チップ 使用	
比較項目	①熱交換性能	○	○				
	②チップ厚		○		○	○	○
	③乾燥施設			○	○		
	④稼働時間				○		○
	⑤その他		燃料投入方法	燃料投入方法	乾燥シートの 有無(短時間)	燃料投入方法	燃料投入方法

(1) Trial1 乾燥条件・・・日中：ボイラ、チップ量：6.3 m³

熱源から得られる熱交換出力は、ボイラ利用時の日中では約 5.5kW と他の試験に対して1/5～1/7程であった。温風温度も平均14.4℃で低い値となっている。これは、銅管の熱交換性能が小さいことを示している。また、温水温度は平均 81.1℃と他の試験に対して高温であったが、これは熱交換がそれほどされていないためである。試験時の様子としては、熱交換出力が小さいために、ボイラの貯湯タンクの温度があがり過ぎて沸騰してしまい、燃料投入量を抑えざるを得なかった。以上より、銅管による放熱はあまり乾燥効果が見込めないと考えられた。銅管を増やすことで効果向上は見込まれるが、配管スペースの確保や配管内の抵抗上昇への対応、乾燥パネル下部に配管をすることのメンテナンス性の確保等複数の課題がある。

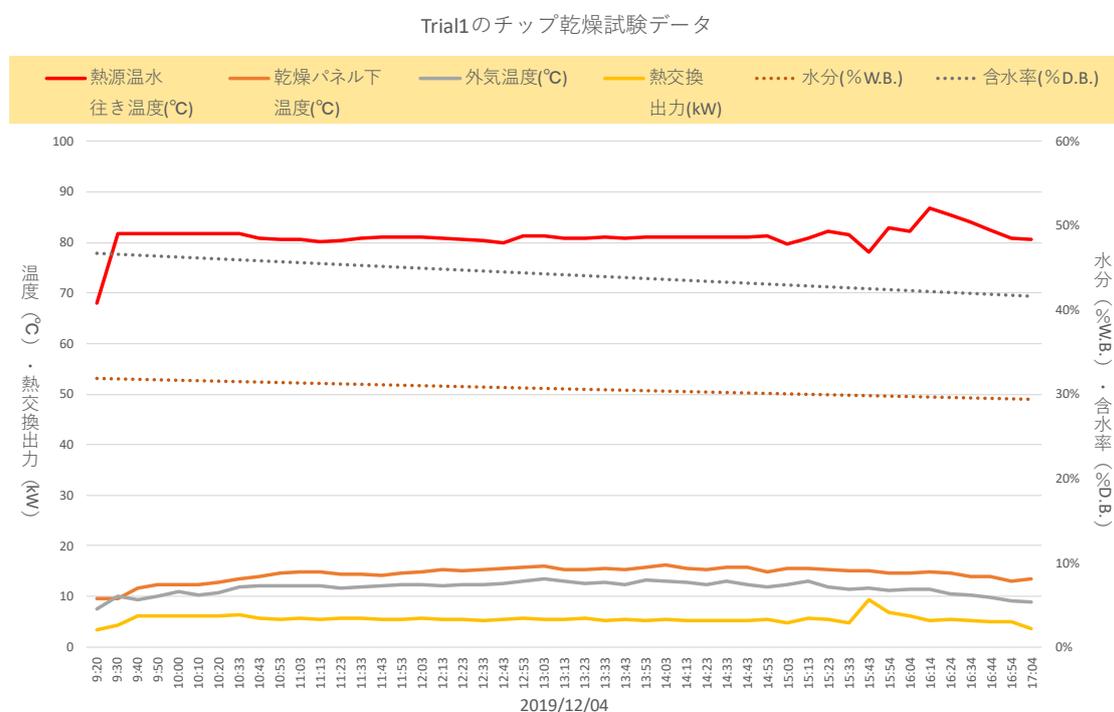


図 18 Trial1 のチップ乾燥試験データ

(2) Trial2 乾燥条件・・・日中：ボイラ、チップ量：16 m³

熱源から得られる熱交換出力は、ボイラ利用時の日中では平均 29.3kW であった。また、温風温度も平均 44.0℃で Trial1 より高い値となっている。これは、ラジエタータイプの熱交換器の性能によるものであり、その優位性が示された。一方で、温水温度は平均 65.6℃であり、Trial1 より低い値を示した。これは投入燃料熱量が 387.1kWh と Trial1 の 198.9kWh に比べて倍程度にはなったが、ボイラ自体の出力が想定よりも低かったためである。燃料をより多く投入できるか、ボイラのシステム効率がより向上することで温風温度もより上がることが想定できる。

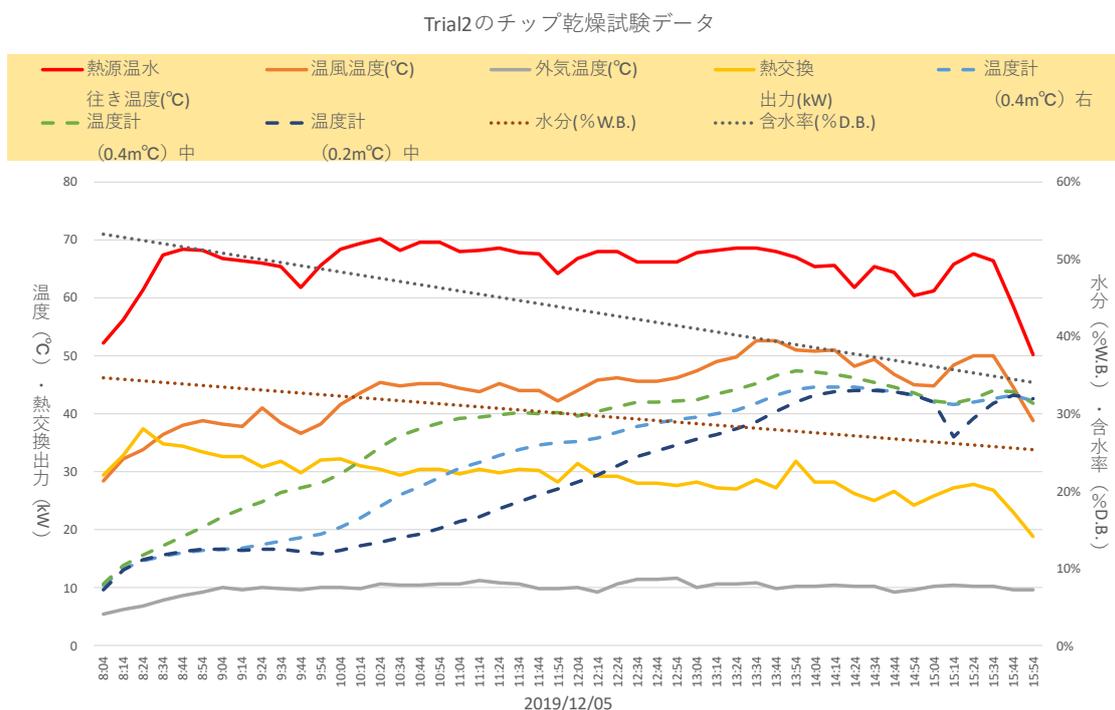


図 19 Trial2 のチップ乾燥試験データ

(3) Trial3 乾燥条件・・・日中：ボイラ、チップ量：10 m³

Trial3は乾燥コンテナを用いた試験である。チップ量は10 m³であり他のいずれの試験とも異なるため比較が難しいが、熱源から得られる熱交換出力は、ボイラ利用時の日中では平均28.1kWと他の試験と同等であった。また、温風温度も平均45.7℃でTrial2に近い値であった。

表 21 乾燥コンテナ試験の概要

実施内容	実証で設置したバイオマスボイラと温風ファンユニットを用い、温風を乾燥コンテナに送って乾燥試験を行う。
目的	乾燥用コンテナ（移動式）を用いた試験を実施することで、システムの汎用性をより高める。
乾燥方法	2重底になっているコンテナ底部への温風吹き込みによる乾燥。
試験方法	①乾燥コンテナにチップを投入する。 ②コンテナと温風ファンユニットをφ300mmのダクトホースで接続する。 ③ボイラを稼働させ発生した温風をコンテナ内に送り、チップを乾燥させる。 ④乾燥させるチップは乾燥前後で水分を測定する。 ⑤乾燥中の重量変化及びチップの温度変化等を測定し、乾燥の傾向をつかむ。

本試験結果からは、乾燥ヤードタイプと同程度の乾燥能力を確認することができた。これにより乾燥システムとして、乾燥ヤード（固定式）と乾燥コンテナ（移動式）の2種類の構成が可能であることを示した。乾燥タイプ別の特徴を以下に示す。

表 22 乾燥タイプの特徴

乾燥タイプ	長所	短所
乾燥ヤード	<ul style="list-style-type: none"> 固定式であり、倉庫として利用可能。 計画に合わせたチップ容積をもつことができる。 複数のサイズの重機による搬入出が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 建設工事費用がつかみにくい 設置工事が必要となるため工期がある程度要する。
乾燥コンテナ	<ul style="list-style-type: none"> 移動式であり、設置が容易。 乾燥後そのまま搬入が可能。 重量測定により乾燥度合いの把握が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 運搬のためには脱着式コンテナ機構搭載車（フックロール等）が必要。 積載量に限度がある。

実際の試験においては、乾燥コンテナを用いる場合は、ファンユニットと乾燥コンテナの間を角丸ダクトと丸ダクトを用いて接続する。また、4t フックロール車によるコンテナの出し入れを行うため、その導線を踏まえた設置を行った。

フックロールは、本事業の実施地の事業者は現在所有していないが、現在対馬島内では複数のフックロールが利用されている。また、チップ乾燥に利用するのは、搬入時と運搬時のみである。したがって、今後そうした車両をチップ運搬に利用できる共同利用のような形が可能である場合には、島内でのチップ需要がさらに増加した場合など、有用な乾燥システムとして選択肢にすることが可能となる。



図 20 乾燥コンテナ試験実施状況

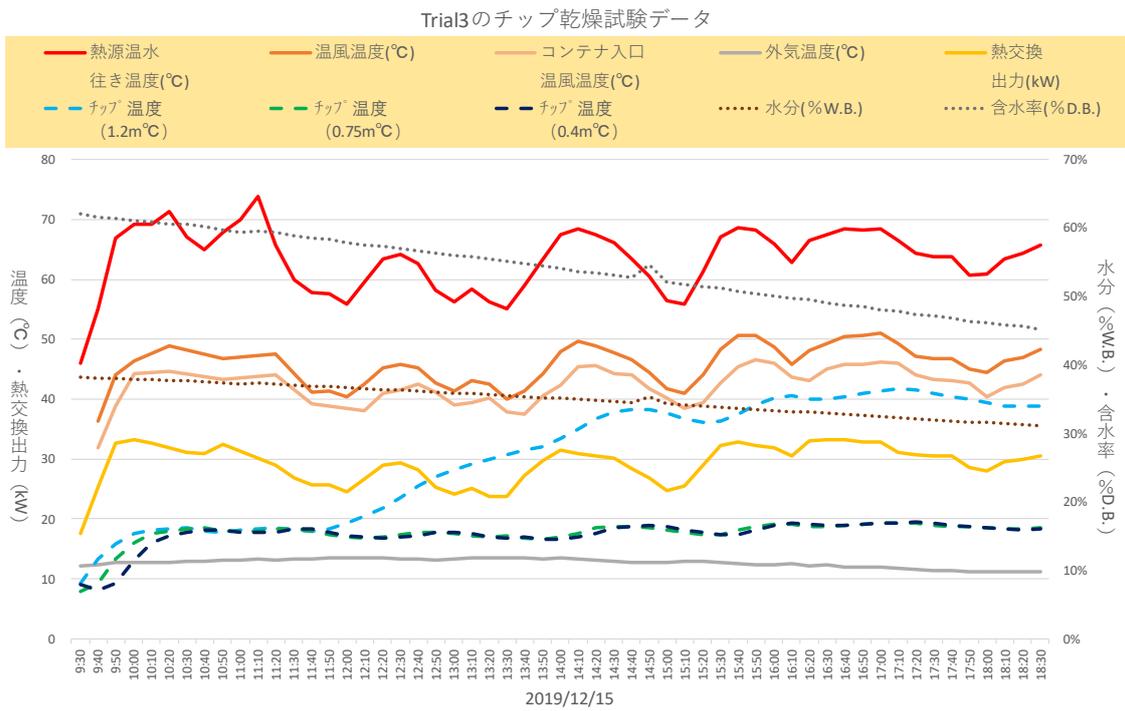


図 21 Trial3のチップ乾燥試験データ

(4) Trial4 乾燥条件・・・日中：ボイラ、夜間：余熱+外気 チップ量：12 m³

熱源から得られる熱交換出力は、ボイラ利用時の日中では平均 31.1kW であったが、夜間も含めた乾燥期間全体でいうと、平均 13.2kW になる。これはグラフ上で見ても明らかなように、夜間はほぼ外気をそのまま乾燥ヤードに送っているためである。経時的な水分測定はできていないために、水分の正確な変化は把握できないが、乾燥開始時と、日中乾燥の終了時、夜間送風の終了時の水分を比較すると、夜間の送風では乾燥効果はあまり期待できないものと想定された。

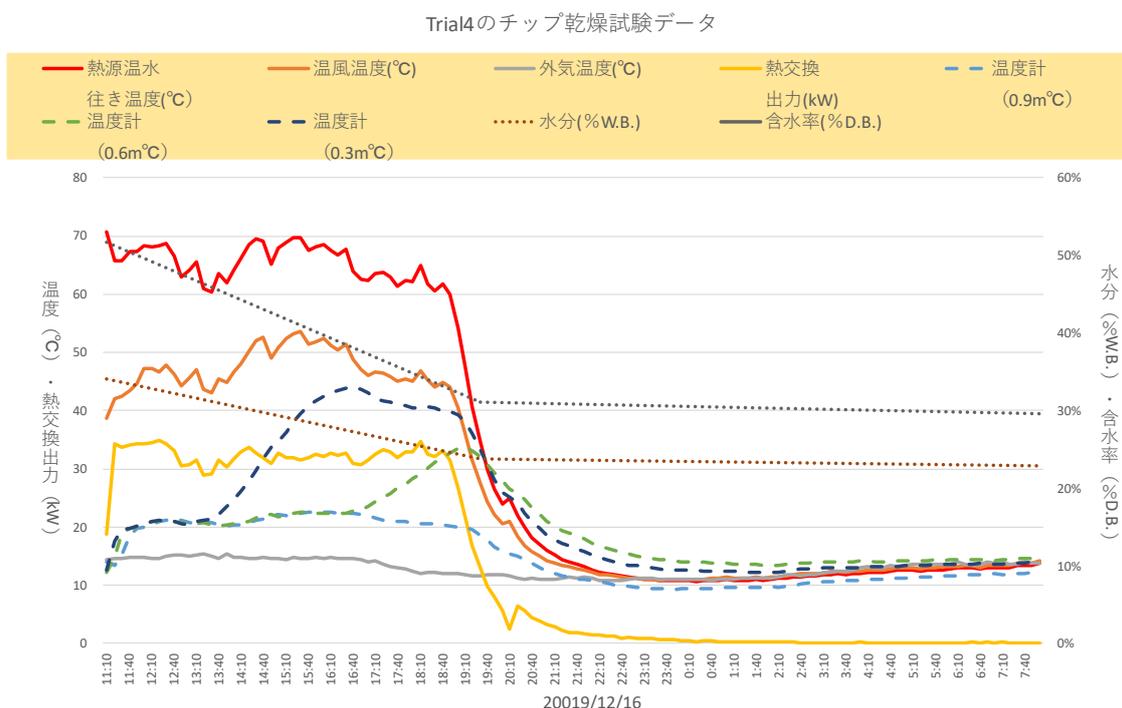


図 22 Trial4 のチップ乾燥試験データ

(5) Trial5 乾燥条件・・・日中：ボイラ、夜間：外気、チップ量：16 m³

熱源から得られる熱交換出力はボイラ利用時の日中では約 26.1kW、温風温度は最大約 40℃であった。チップの量は異なるものの、Trial4 と同じような変化を示している。また、本試験時の日中のみにおける乾燥速度を見ると、最大で約 3%D. B./h であり、本実証の基本的な乾燥目標である、100→50%D. B. (50→33%W. B.) の乾燥には、17 時間程の温風乾燥が必要と想定された。

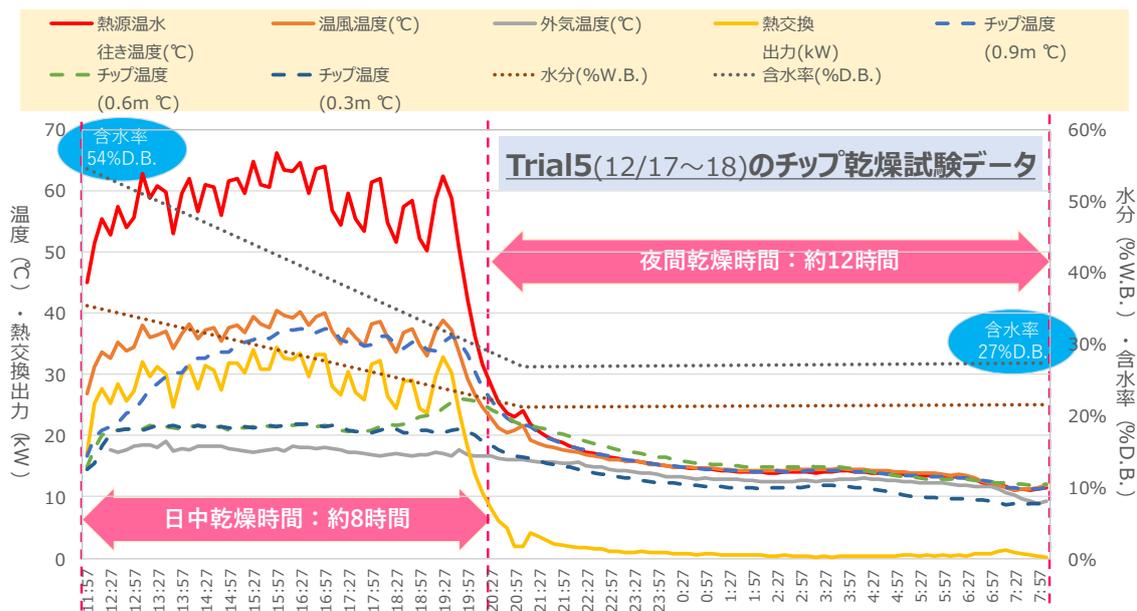


図 23 Trial5 のチップ乾燥試験データ

(6) Trial6 乾燥条件・・・日中：ボイラ+夜間：送風+日中：ボイラ、チップ量：10 m³

熱源から得られる熱交換出力は、ボイラ利用時の日中では約 25kW であったが、夜間も含めた乾燥期間全体でいうと、平均 15.8kW になる。Trial6 では日中ボイラ→夜間送風→日中ボイラと連続的に運転を実施したが、やはりグラフ上で見ても明らかのように、送風による乾燥の効果は限定的と考えられる。また、温風温度は日中においても約 25℃ となっているが、これは後述するファンユニットの改良により、乾燥用温風の風量が増量したためである。熱源熱出力が Trial5 等と同程度あるために乾燥効果に明らかな違いは確認できないが、熱源の熱出力が大きくなる場合には効果の差が出てくるものと考えられる。

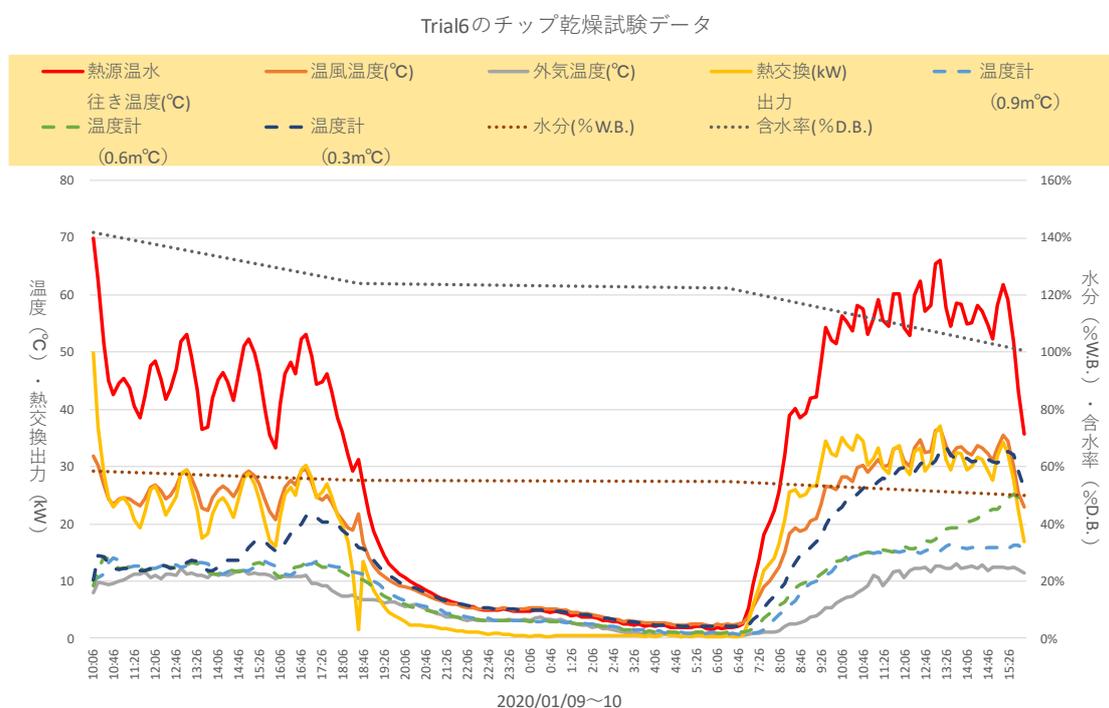


図 24 Trial6 のチップ乾燥試験データ

(7) Trial7 乾燥条件・・・日中：ボイラ×2日間、チップ量：16 m³

Trial7 では、熱源熱出力の最大化を求め、可能な限り燃料投入量・回数を増やした。その影響もあり、熱交換出力は平均 34.7kW と全試験の中で一番大きくなった。一方で投入燃料の合計熱量は 1024.2kWh と他の試験の 2 倍近いにも関わらず、効果としてはそこまで表れていない。この原因として、ボイラのシステム効率の低さが挙げられる。Trial7 のボイラのシステム効率は約 20%となっており、この Trial のみではあるがボイラの排気温度を測定したが、平均 438℃であった。これは一般的なバイオマスボイラの排気温度が 200℃を下回ることを考えるとかなり高温であると言える。その分だけ、熱が排出されているということであり、乾燥能力を上げるためには熱源側の効率向上が必要であると考えられた。また、乾燥速度を見ると平均 1.8%D.B/h と低い値を示していた。これは乾燥開始時水分がすでに 24.6%であり、いわゆる減率乾燥期間の試験結果であることから、他の Trial に比較して乾燥が進行しにくい状態での試験であったためと考えられる。

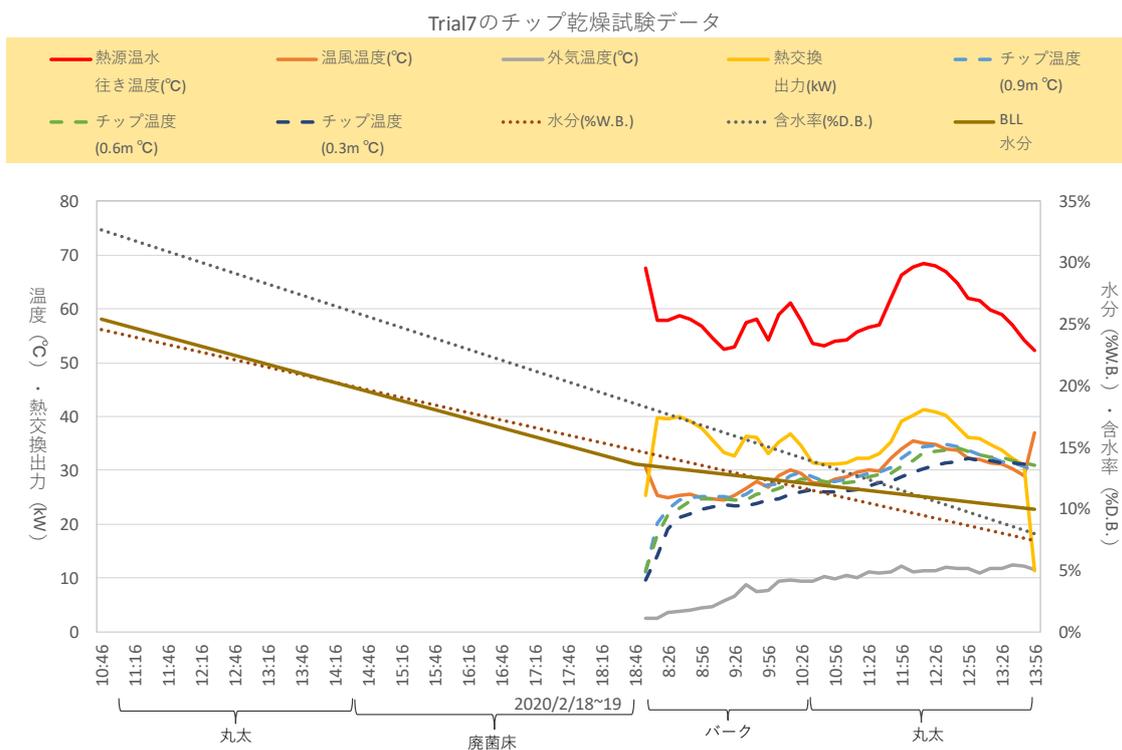


図 25 Trial7 のチップ乾燥試験データ

3. 3 乾燥実験の評価・分析

次ページに各試験の実施条件・結果・評価項目等の一覧を示す。また、以下に明らかになった事項を挙げる。

- ①熱交換性能：ファンユニット(ラジエータータイプ)の熱交換出力は最大で31kWであり、銅管よりも乾燥能力の優位性が高い。
- ②チップ厚：0.6、0.8、1.0mの3パターンで比較試験を行った結果、乾燥速度に大きな差は見られないものの、水分蒸発速度は28.6、54.9、89.4kg/h(日中のみのデータ)とチップ量が増える程増加していた。このことから、**チップ厚は1.0m(16 m³)の方が乾燥効果は高い**と考えられる。ただし、本試験では乾燥ヤードタイプでの乾燥試験であるために、投入チップ重量測定はTrial3とTrial7のみでしか実施ができていない、その点、チップ容量やかさ密度には増減があることを念頭に置く必要はある。
- ③乾燥施設：Trial3と4を比較すると、おおよそ同等の結果が得られた。ヤードタイプに加えて汎用性向上を目的とした**コンテナ乾燥は期待性能を持つ**と言えるが、**放熱ロスや、ダクト等による乾燥用空気風量の減少は課題**となる。
- ④稼働時間：夜間の送風乾燥の効果の把握をした結果、あまり効果は見込めないことが明らかとなった。ただし、水分が高い状態では自由水の蒸発が主となるため、外気の送風でも効果が出てくる可能性がある。
- ⑤その他：燃料投入方法として可能な限り燃料を中断なく入れる場合と作業手間を最小限にするために極力入れない場合の違いを比較すると、熱交換出力は増加するものの、排気による放熱も相当量増えると考えられ、乾燥効果に投入燃料の増加分がそのまま反映されていないことがわかった。熱交換出力がボイラの定格出力値(約70kW)より小さいことから、**ハード面ではボイラの効率向上策、燃料側では燃料投入量・方法・頻度の改善等が課題**となる。

屋外保管用乾燥シートの敷設による乾燥用温風風量の変化は約4%の減少であり、大きな影響はなく利用が可能であると考えられた。

昨年度の地域内エコシステム事業における(株)日比谷アメニスの実証により、バッチ式の木質チップ乾燥施設においては、水分約23%W.B.(含水率30%D.B)までは乾燥速度は概ね一定であることが明らかにされているため、本時実証により、**乾燥速度(%D.B./h)が明らかになったことにより、目標とする水分約35%W.B.までの乾燥時間のおおよその推定が可能**である。

表 23 各試験の結果一覧

試験条件/Trial		1	2	3	4		5		6			7
日付		12/4	12/5	12/15	12/16-17	12/16	12/17-18	12/17	1/9-10	1/9	1/10	1/18・1/19
熱源システム		日中:ボイラ	日中:ボイラ	日中:ボイラ	日中:ボイラ 夜間:余熱+外気	日中:ボイラ	日中:ボイラ 夜間:余熱+外気	日中:ボイラ	日中:ボイラ 夜間:余熱+外気	日中:ボイラ	日中:ボイラ	日中:ボイラ
熱交換システム		銅管	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット	ファンユニット
乾燥システム		ヤード	ヤード	コンテナ	ヤード	ヤード	ヤード	ヤード	ヤード	ヤード	ヤード	ヤード
チップ量	m ³ /バッチ	6.3	6.3	10.0	12	12	16	16	12	12	12	16
乾燥時間	h	7.7	7.8	9.0	20.8	8.3	20.2	9.2	29.8	8.5	9.5	14
燃料種類		土場パーク	土場パーク 木端	木端	土場パーク	土場パーク	土場パーク 木端	土場パーク 木端	土場パーク パークチップ 木端	土場パーク パークチップ 木端	土場パーク パークチップ 木端	土場パーク 木端 きのご廃菌床 丸木
投入燃料熱量	kWh/バッチ	198.9	387.1	630.7	560.9	560.9	472.4	472.4	946.1	381.7	564.3	1,024.2
平均温水温度	°C	81.1	65.6	63.4	33.7	63.8	32.7	54.0	29.8	44.7	45.3	58.8
平均温水流量	L/min	28.4	11.2	12.2	12.2	13.9	13.6	13.6	13.4	13.2	13.0	13.1
平均熱交換出力	kW	5.5	29.3	28.1	13.2	31.1	12.4	26.1	15.8	24.0	25.8	34.7
合計熱交換量	kWh/バッチ	42.9	234.6	257.2	277.5	264.4	252.9	243.6	475.1	207.6	249.8	208.0
平均温風温度	°C	14.4	44.0	45.7	26.4	46.2	23.8	34.6	17.0	25.2	24.8	29.6
エネルギー効率	%	22%	61%	41%	49%	47%	54%	52%	50%	54%	44%	20%
乾燥前平均水分	%W.B.	31.8%	34.7%	38%	34.1%	34.1%	35.2%	35.2%	58.7%	58.7%	55.0%	24.6%
乾燥後平均水分	%W.B.	29.4%	25.4%	31%	22.8%	23.7%	21.5%	21.1%	50.1%	55.3%	50.1%	7.4%
乾燥前平均水分	%D.B.	46.7%	53.2%	62%	51.7%	51.7%	54.4%	54.4%	141.9%	141.9%	122.3%	32.6%
乾燥後平均水分	%D.B.	41.6%	34.0%	45%	29.6%	31.1%	27.3%	26.8%	100.5%	123.9%	100.5%	8.0%
乾燥速度	%D.B./h	0.7	2.5	1.9	1.1	2.5	1.3	3.0	1.4	2.1	2.3	1.8
水分蒸発速度	kg/h	7.8	28.6	24.8	23.6	54.9	39.8	89.4	28.2	43.3	46.6	34.7
エネルギー投入量	kWh/D.B.	47.8	22.6	40.9	31.1	29.7	22.0	19.1	27.2	24.0	28.6	45.0

以上の結果と分析より、現状の乾燥システムにおける、実際に則した最適な運用パターンを考える。

乾燥対象チップの搬入量：試験結果から、最適量はまだ実証データが不足しており明らかではないが、Trial5 は乾燥速度、水分蒸発速度が最も大きいことから、**16 m³が最適**であると想定される。ただし、現状の運搬車両のチップ積載量が約 6 m³であることから、その 2 回分となる **12 m³を基本とすることが、運用上は効率が良い**と考えられる。

燃料の投入：土場バークを最大限使用することが、処理費削減効果という点で最も経済的メリットが大きいが、その分作業時間は必要となる。よって、可能な限り燃料投入を行うことを前提とし、作業者の他の業務とのバランスを取る。一方、木端や薄板は作業手間を減らすことができるが、処理費削減につながらないことと、多く入れすぎてもボイラのエネルギー効率低下を招き、排気温度として投入エネルギーが排出されてしまうため、土場バークのみの運用に付加的に行うものとする。投入頻度や量については、一度の最大投入量を約 7.5kg とし、投入間隔については、作業者に合わせることにする。

第4章 システムの改良・構築

4. 1 トータルシステムのハード的改良

(1) 乾燥用温風の風速ムラ確認

ハンディタイプの風速計を用いた測定器により、チップ表面からの風速をチップの堆積厚み毎に測定した。その結果を以下に示す。

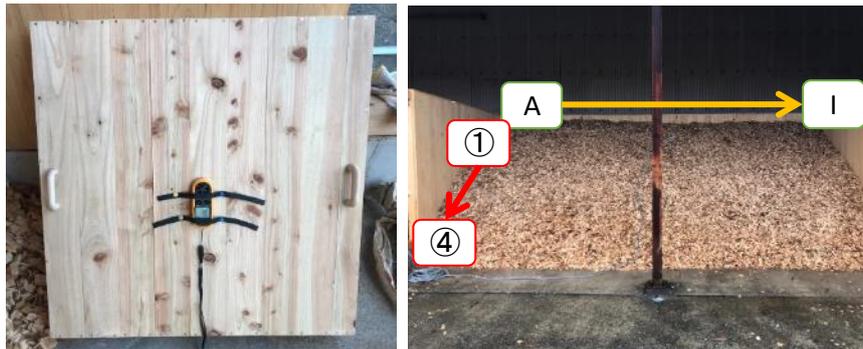


図 26 風速測定器具・及び測定箇所

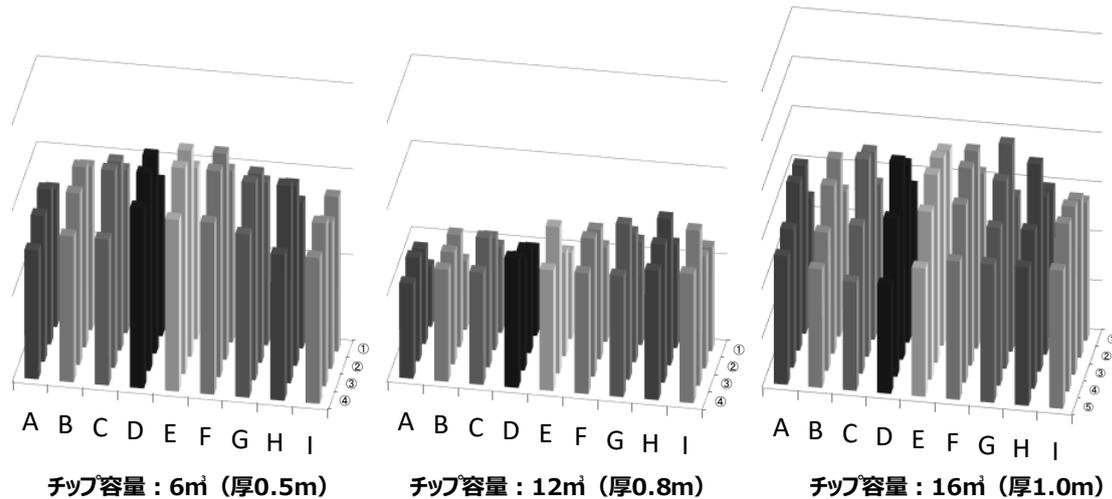


図 27 チップ厚別のチップ表面風速の相対比較

その結果、いずれの厚みにおいても大きなばらつきはないが、向かって左側の上部は風速が低い傾向が見られた。また、挿し込み式水分計による測定結果では、向かって右側の水分が低くなる傾向があることも鑑みると、風速が強い部分が乾燥の進行度が早くなっていると考えられる。この原因としては、向かって左側から温風を吹き込んでいるためと考えられ、より乾燥具合の均一化を目指す場合には、吹込み口の形状や、向かって右側の乾燥パネル裏の空気の流れをどう抑えるか等が検討課題となる。

(2) 燃料投入方法の検討

バーク投入口に合う一輪車の改良により、バーク投入方法の効率化を目指した。



図 28 一輪車を用いたバーク投入方法の改良

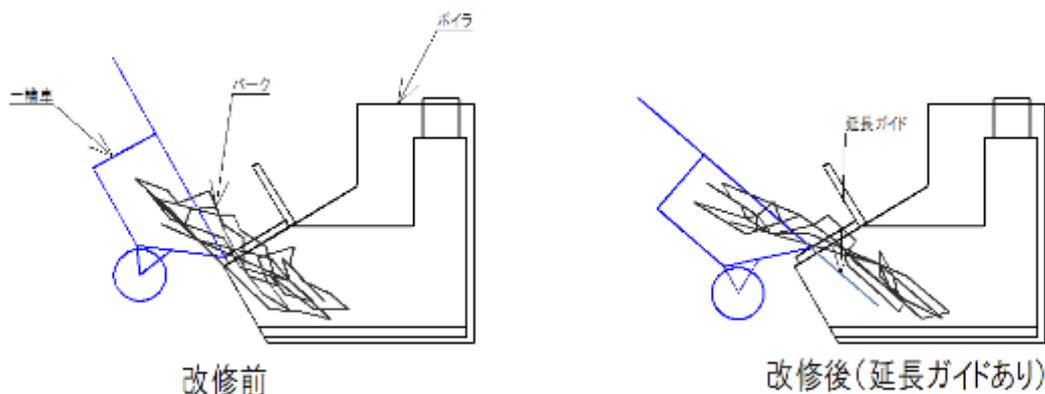
1) 投入方法の改良

ボイラ投入口の大きさに合わせ、最適な一輪車を選定し、土場バーク等の燃料が燃焼室の奥まで入りやすくするための改良をおこなった結果、延長ガイドをつけることにより 20cm 程度奥に押し込むことができた。

ただし、燃料の移動距離が長くなる場合など、一輪車の全長が長くなるため移動が難しくなる。

ボイラ投入口：幅 560×縦 400×奥行き 1300

一輪車：全長 1288×全幅 496×全高 615



4. 2 運用方法の最適化

(1) 燃料投入

1) バークの投入

休止中ではあるが、既存の設備であるバークチッパーを用いて前処理としてチップ化を実施することにより、投入の簡易化を図った。その結果、1回の最大投入量が 5kg から 10kg 程に増加した。ただし、前処理に掛かる作業時間や機械費用等の検討が今後の課題となる。

2) バーク投入頻度

バークの投入に充てる作業時間に合わせて、工場内で発生するバーク以外の残材も混焼させることにより、バーク投入頻度の調整が可能になることが明らかになった。



図 29 土場バークと製材残材の投入状況

3) チップの積載量

0.5m(6.3 m³)、0.79m(12 m³)、1.0m(16 m³)の積載で試験を実施し、1.0mが一番効率が良いことを確認した。ただし、実運用を考えると、燃料用のチップ配達は2tコンテナ車(容積約6 m³)で実施しているため、その2杯分として12 m³を実運用上では採用することも検討が必要と考えられる。



図 30 左: チップ 6.3 m³ 右: チップ 16 m³

(2) 燃料用表層バークの水分対策

燃料として主に使用する土場バークは、敷地内の屋外堆積状態から比較的乾燥した表層部分を集め、再度水分を上げることなく保管することが重要となる。そこで、乾燥シートの効果を確認することとした。2019/12/17に4.5mm/hの強い雨が降った直後のシートの有無によるバークの濡れ具合を確認した結果、防雨効果の高さを目視にて確認した。また、保管期間が3～6ヶ月等長くなれば、微生物の発酵熱による乾燥効果の可能性も考えられる。



降雨直後、シートを掛けていたバークはほぼ濡れていない。



シートを掛けていなかったバークは、表面より20cm程の深さまで雨が侵入していた。

図 31 木質バイオマス保管シートの効果確認

第5章 チップ乾燥システムの導入モデル構築

5. 1 実運用モデルの想定

本開発・実証を行ったフィールドである長崎県対馬市では、チップボイラの分散導入を進めていくうえで、設備費が比較的高額でなくシンプルで高効率な断続運転タイプの小型のチップボイラの採用を想定している。そのうえでは、第1章でも既述のとおり 35～40%W. B. 程度の乾燥したチップを年間通じて安定的に供給することが課題となる。しかしながら第3章 3.1 においてデータで示したとおり、チップ工場が発生するチップは年間を通じた水分の変動があり、季節的には乾燥が必要となることが改めて確認された。一方、本事業での燃焼実験・乾燥実験を経て、開発したチップ乾燥システムの一定の性能、能力が確認された。

ここでは、第2章、3章の燃焼実験、乾燥実験で得られた定量的、定性的データを踏まえ、開発したチップ乾燥システムの実運用モデルについて検討した。燃料種や乾燥設備の機器の組み合わせ、運用方法により複数の実験パターンを比較したが、対馬市内の具体的なチップ工場における実用性が見込まれ、今回の実証の範囲で最も成果が確認された Trial15（ラジエーター・ファン、チップ容量 16m³）の結果を元に、モデルの物質収支やコスト、実運用上の課題等について整理した。

5. 2 モデルの物質収支

実証実験により、バイオマスボイラとラジエーター・ファンとの組み合わせ1ユニットにより1バッチ当たりの乾燥日数を日中8時間の乾燥×2日間とした場合、250日の稼働で合計125バッチ分の乾燥作業を行い、年間600t-50%W. B. の生チップを処理し、465t-35%W. B. の乾燥チップの供給が可能であることが明らかとなった。これは、容量ベースでは年間2,000m³のチップの処理量となる。また、その際の燃料となるパークの必要量は年間60tとなる。第2章に示したように、土場パークの発生量は年間約40t/年としているが、実際産業廃棄物処理を行っている残材には、土場パーク以外にも製材残材や薄板もある。また、土場パーク自体の発生量がより多くなることも考えられることを考慮し、年間60tの燃料使用量に問題はない。第3章で対馬市内の既存チップ工場の年間のチップの水分の傾向からすると、約3割が原料の保管段階で自然乾燥が進み、水分35%W. B. 以下で強制乾燥が必要ない水準であった。

現在、対馬市で導入が計画されている700kW規模のボイラを想定して考えると、本システム1ユニットによる強制乾燥と自然乾燥を組み合わせれば、単純な試算として465t-35%W. B. の強制乾燥チップと235t-35%W. B. の自然乾燥チップで、合計年間700t-35%W. B. の乾燥チップの製造・安定供給が期待できる。原料ベースでは生チップ900t-50%W. B.、チップ容量3,000m³となる。700t-35%W. B. のチップの総発熱量は約2,000MWhとなり、チップボイラの効率を90%、フルロードベースの稼働時間を2500hとすると総出力700kW分のチップボイラの乾燥チップの安定供給をカバーできることとなる。



図 32 チップ乾燥システムの実運用モデル・物質収支（対馬モデル）

5. 3 コストモデルの構築

本システムの販売ベースでの導入費用は、サイロも含めた設備と工事費、設計費トータルで765万円と積算している。ただし、個別システムの生産・調達費のコストダウンや設備工事、建築土木工事等の分離発注、施主自らの施工監理等により500万円程度までのコストダウンは期待できる。

ここでは現実的なターゲットプライスとして導入費用を500万円とした際の乾燥コストの試算を行った。その結果、5.2で示す年間600t-50%W.B.のチップを乾燥させ、465t-35%W.B.の乾燥チップを製造する場合、乾燥コストは3.7円/kg-35%W.B.と試算された。エネルギー効率向上やコスト要因の精査、運用方法の改善により、乾燥コストの削減にはまだ余地があると考えられる。

さらに乾燥コストから燃料に用いるバークの従来の処理費（対馬市の処分費27.6円/kgを採用）を相殺すると、乾燥コストは0.1円/kg-35%W.B.と試算された。対馬市のような割高な処分費の負担がある地域では、乾燥コスト実質ゼロ円に近づくことが示唆された。ただし、バークの場内移動や燃料用置き場、作業時間は短いがその頻度をどこまで対応できるかなどを含めた、現実的な運用方法の検討も必要となる。さらには、チップの熱量ベース取引や化石燃料とのバランス、乾燥チップの熱量以外の付加価値も鑑み、地域内での木質資源利用の経済性を向上させることが重要課題として挙げられる。

対馬市の計画においては、乾燥チップの調達コストは16~17円/kg-35%W.B.程度と想定している。チップ化費用、原料価格、輸送費等に加え、乾燥コストも含めた場合にこの範囲内にコストが収まるか地域レベルでの検証が必要となる。

表 24 乾燥コスト試算結果

評価項目	算定式	試算結果
乾燥コスト	①乾燥コスト処分費考慮なし(円/kg-35%W.B.) =乾燥に係る総経費(円)÷乾燥終了時重量(kg-35%W.B.)	チップ 16 m ³ : 3.7 円/kg-35%W.B. チップ 12 m ³ : 4.9 円/kg-35%W.B.
	②乾燥コスト処分費考慮あり(円/kg-35%W.B.) =(乾燥に係る総経費(円)-バーク処理費(円))÷乾燥終了時重量(kg-35%W.B.)	チップ 16 m ³ : 0.1 円/kg-35%W.B. チップ 12 m ³ : 0.2 円/kg-35%W.B. ※年間 60t の燃料を全量バーク等産廃処理対象物とした場合。
【試算条件】 バーク処分費：27.6 円/kg、1 バッチ当たりチップ乾燥量：12m ³ または 16m ³ 、乾燥前後の水分変化：50% W.B. ⇒35%W.B.、乾燥に係る総経費：設備費、電力料金、人件費		

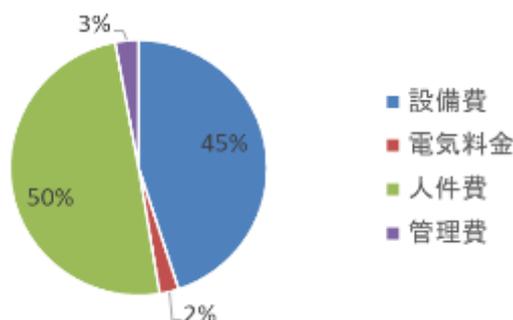


図 33 乾燥コストの構成

5. 4 導入要件や課題の整理

(1) 燃料の投入と処理費削減効果

本事業にて検討している乾燥システムについて、影響の大きな要因として、土場バークを用いることによる産業廃棄物処理費削減効果がある。当然燃焼量が多ければ削減効果は大きい、一方では作業手間も大きくなる。

そこで、その最適化のための検討材料になるべく、土場バークと木端の投入量を変化させた場合の、投入頻度と投入量から作業時間と処理費削減効果を分析した。投入には、その方針として、最大限投入パターン（処理費削減効果優先）と、最低限投入パターン（作業時間削減優先）の2つがある。

検討結果を以下に示す。最大限投入パターンを見ると、土場バークのみを可能なだけ投入した場合、一日当たりの削減処理費は6,624円となった。この際の作業時間は2.4時間であることから、燃料投入に要する人員の時給を1,000円と想定した場合、約4,200円の経済的メリットが出ることがわかる。一方、最小限投入パターンで最も投入頻度が低いパターンでは、一日の削減処理費は1,104円と小さくなるが、投入作業時間をみると0.4時間であるため、この場合にも約700円の経済的メリットは出てくる。

《経済的メリット》

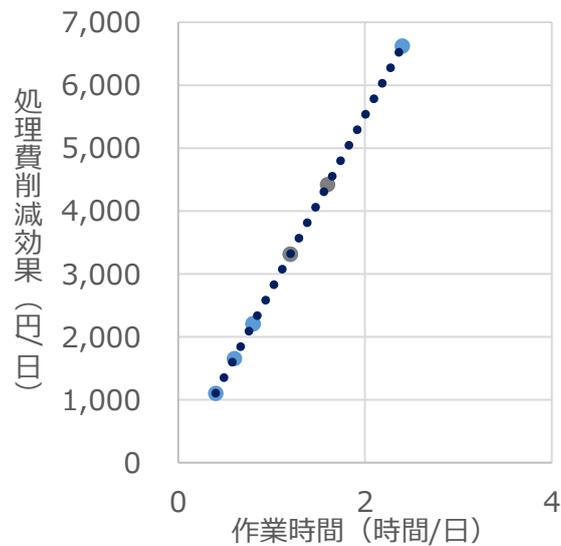
最大限投入パターン 6,624円/日 - (2.4時間×1,000円) = 4,224円/日

最小限投入パターン 1,104円/日 - (0.4時間×1,000円) = 704円/日

以上より、燃料投入に充てられる作業時間により、処理費の削減効果が増減することを確認できた。また、土場バークでは5kgであるのに対してバークチップは10kgが可能であるため、継続的にバークチップを用いることができる場合は、処分費削減効果を向上できる可能性があるが、前処理としてチップ化の工程が必要となるため、その作業手間やコストを検討する必要がある。さらに、残材の中で産業廃棄物としての処理費が掛かっているのは土場バークと製材残材であることから、処理費用削減効果では土場バークを極力多く使用したいところであるが、作業手間や投入量を鑑みると、他の残材利用を含めた最適化が重要であると考えられた。

表 25 燃料投入パターンと作業時間及び処理費削減効果の関係

バーク	木端	投入 間隔	投入 作業時間	年間 処理量	処理費 削減効果
kg/回	kg/回	分/回	時間/日	t/年	円/日
最大限投入パターン					
5.0	0.0	10	2.4	60	6,624
最低限投入パターン					
5.0	2.5	30	0.8	30	2,208
5.0	5.0	40	0.6	30	1,656
5.0	7.5	60	0.4	25	1,104
※1日の作業時間は8hとする。 ※1回の投入時間は3分とする。 ※処理費削減効果はバークの処理費27,600円/tより試算。					



(2) 乾燥システムの汎用性

本事業においては、乾燥ヤードタイプでの乾燥試験を主として行った。これは、乾燥ヤードの方がフックロール等の脱着式コンテナ機構付き車両の有無を問わず汎用性が大きいためである。一方で、車両条件が整う場合には、コンテナ式の乾燥システムも選択肢となり得る。性能としては、まだ十分な比較検証はできていないが、どちらも選択肢として用意できることが大きな意義を持っていると考えられる。



図 34 システムの組み合わせイメージ

(3) 燃焼灰の活用

本事業において燃料として用いる土場パークは、分析により 2.1%の灰分があることが明らかになった。取り組みを継続的に実施する際には持続的に燃焼灰が発生するため、その利用方法の検討が必要となる。

表 26 土場パークの成分分析結果

項目	試料名		ヒノキのパーク	定量 下限値	分析方法
	項目	単位			
無水ベース	灰分	%	2.1	0.1	JIS Z 7302-4 相当
	高位発熱量	J/g	20210	10	発熱量分析装置
	低位発熱量	J/g	18840	10	計算より
	水素	%	6.06	0.01	元素分析装置

土場パークの燃焼灰の分析結果

到着ベース	水分	%	0.2	0.1	重量法
	灰分	%	85.8	0.1	重量法
	未燃物	%	14.1	0.1	重量法

分析結果から得られる年間の燃焼灰発生量（パークのみ利用）を、以下のように試算した。年間 1 t を越える燃焼灰の活用方法の検討が必要となる。

灰分 : 1,200 kg/年 (≒190.3 kg/日 (0%W.B.) × 300 日/年 × 2.1%)
 未燃物 : 197kg
 水分 : 3kg
合計 : 1,400kg/年



図 35 燃焼灰の発生状況

(4) 高水分の燃料投入時の白煙対策

高水分の燃料を投入した際、燃料内の水分が水蒸気になり排気される際、しばらくの間白煙が立つため、近隣条件などを考慮すると立地に制限がある。燃料の自然乾燥などを前処理として行うなどの対策が課題となる。



図 36 白煙発生状況

(5) その他

システムの汎用化を図る上でのその他の課題を以下に整理する。

熱源システム

- ・ 市場のチップ流通量や規模に合わせた乾燥熱源用ボイラの選定が必要
- ・ 乾燥熱源用バイオマスボイラの効率向上
- ・ 土場バーク等残材燃料の投入効率の改善

熱交換システム

- ・ 乾燥用温風の大風量化
- ・ 風量調整による温風温度変化と乾燥効果の関係性の把握
- ・ 冬季以外の乾燥試験データの収集

乾燥システム

- ・ 乾燥ヤードの大容量化による乾燥能力の把握
- ・ 重機種類別運用方法の最適化
- ・ コンテナ乾燥の諸条件における乾燥試験

全体運用

- ・ チップ原料(丸太や製材端材等)の水分等を踏まえた季節別オペレーションの最適化
- ・ チップの水分による適正取引の浸透
- ・ 熱利用ボイラ導入事業者に向けた乾燥チップを使うメリットの明確化
- ・ システムの機器構成の最適化や、各種条件に応じたオペレーションの最適化を検証
- ・ 地域内におけるチップボイラの分散導入に向けて、乾燥システムも含んだ乾燥チップの安定供給体制構築を検討

第6章 総括

6. 1 総括

本事業では、3つのサブシステムで構成されるチップ乾燥システムの開発に取り組み、多様な条件による乾燥実験を重ね、**システム構成、オペレーション方法等のパターンの最適化を図ることで、実運用に資するシステム性能を確認**することができた。ボイラへの燃料投入等のオペレーションの問題や二次側の温水循環、風量調整等のシステム改善の問題など、いくつかの課題はあるものの、検討した対策を投じることで、さらなる効率改善、性能アップも期待される。

経済性の面では当初想定設備導入費用を上回り、実証データを基にしたチップ乾燥コストとしては 3.7 円/kg-35%W. B. と試算されたが、パークの処分費の削減分を差し引くことで**実質的なチップ乾燥コストをほぼゼロとすることが可能なこと**が確認された。

シンプルな機器構成ではあるが、個別システムのハード的改良、また全体システムとしての組み合わせの最適化には改善の余地がある。一方、運用に関しては、導入するサイトでの人的余力やスペース、乾燥頻度等のニーズ等、**ユーザーごとの条件に応じて最適なオペレーションを選択していくことが、本システムを効果的に導入・運用していくうえではポイント**となる。

表 27 技術開発・実証事業の成果

当初の計画・目標	取り組み状況・得られた成果
①乾燥システムの構築 ・パーク等残材を有効活用した、汎用性の高いチップ乾燥技術の確実な構築	①ボイラ、熱交換器、乾燥ヤード等で構成した乾燥システムを構築。 ・既存の製材工場敷地内にある 狭小地 に設置可能な 乾燥システム を構築した。
②オペレーションの最適化 ・オペレーション条件の最適化と課題が整理され、システムの導入モデルが確立される	②7回の乾燥試験やデータ分析を通して、システムの機器構成の最適化や、各種条件に応じたオペレーションの最適化を検証。 ・パークの燃焼試験により、パークの 燃焼性を確認 。 ・チップの乾燥試験により、複数条件下でのチップ乾燥状況を確認。 ・ラジエター・ファンを利用し、チップ積層 16m ³ のケースでは 3%D. B. /h の 乾燥能力を確認 。 (50%W. B. ⇒33%W. B. まで 17 時間) ・課題の整理を行い、実運用に向けた解決案を検討。
③経済合理性のあるシステム構築 ・対馬市の林産業におけるパーク処理の負担軽減、経営力強化	③試験結果を基に乾燥コストや設備導入費を算定。パーク処理費負担も加味した 経済合理性を確認 。 ・簡易な乾燥システムでも 品質規格に適したチップの製造が可能 なことを確認。 ・販売ベースの設備費 765 万円。個別機器のコストダウン、発注・建設スキームの改善により 500 万円程度までのコストダウンも見込める。 ・乾燥コスト 3.7 円/kg-35%W. B. で、対馬市を想定してパーク処理費削減分を差し引くと 実質 0.1 円/kg-35%W. B. となることを確認。

<p>④導入モデル構築</p> <ul style="list-style-type: none"> 対馬市における木質バイオマス熱利用の普及促進、森林保全、地域経済振興 	<p>④対馬内熱利用施設へのチップ供給体制の1つとして、当システムの導入を検証。</p> <ul style="list-style-type: none"> 試験及びデータ分析により、対馬市で課題とされるチップ乾燥とバーク処分の問題を同時解決しうる事が確認された。 特に燃料投入のオペレーション上の課題については検討の余地があるものの、一定の課題解決を図ることで対馬市内の具体的なチップ工場においてシステムの実運用の可能性が確認された。
--	---

6. 2 システムの普及展開

本事業では、長崎県対馬市において地域のニーズ・シーズを踏まえたチップ乾燥システムの開発に取り組んだ。チップ乾燥システムとしての一定の技術的性能が評価され、さらに離島という条件不利地もありバーク処分費の割高な対馬市の条件下においては、処分費削減分も加味すると経済合理性も得られることが確認された。

島嶼部を多く有する長崎県においては、対馬市同様に割高なバーク処分費が木材産業の課題とされている地域は他にも多く見られるものと考えられる。また県内に大規模なバイオマス発電所等の需要地のない長崎県では、近年バイオマス熱利用に対する関心や期待の高まりも見られる。こうした県内のニーズを踏まえると、今後、開発したチップ乾燥システムが県内で普及していくことも想定できる。

たとえば県内の平戸市では、平戸森林組合が経営するしいたけハウスへのチップボイラの導入を進めているところだが、チップ乾燥が課題とされている一方、場内で発生する廃菌床の処分も課題とされている。本実証の成果を生かしつつ、バークに代わり廃菌床が燃料として代替できれば、経済合理性をもって、チップ乾燥と廃菌床の処分の問題の同時解決も期待できる。

本事業の成果を継承しつつ、明らかになった課題に取り組むことで、今後こうした県内のニーズに応え、さらに長崎県森林組合連合会としての森林組合系統のネットワークを生かしていくことで、県内へのシステムの普及、バイオマス熱利用の普及を推進していく。

さらに事業を通じて得られた基本的な設計思想や運用ノウハウを共有していくことで、県外も含めたシステムの普及に結び付け、国内におけるバイオマス熱利用の本格的な普及の一助となることに期待したい。



図 37 森林組合系統のネットワークを生かした他地域への普及展開