

平成26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

平成26年度

未利用竹資源収集・運搬・燃料化システム実証事業

事業実施報告書

平成27年3月

竹資源供給実証事業共同事業体
(山口県・山口県森林組合連合会)

目次

第一章 事業の概要	1
1 はじめに	1
2 実証事業の背景と目的	1
2-1 社会問題化している繁茂竹林	1
2-2 竹を地域のエネルギー作物へ	2
3 実施内容	3
3-1 現地実証試験の概要	4
3-1-1 伐採方法について	4
3-1-2 作業システムについて	5
3-2 竹チップ燃料の発電利用	6
4 実施体制	7
4-1 実施主体	7
4-2 山口県竹資源エネルギー活用協議会（地域協議会）	7
5 実証試験の実施場所	8
第二章 平成 26 年度未利用竹資源収集・運搬・燃料化システム実証事業実施状況	9
1 平成 26 年度事業の概要	9
2 地域協議会の実施等	10
2-1 山口県竹資源エネルギー活用協議会	10
2-2 定期協議会の実施	10
3 実証試験に適用する竹林の選定	11
4 実証試験に適用する路網規格の選定	12
5 伐採・収集・運搬・燃料化現地実証試験	13
5-1 実証試験の推進方針	13
5-1-1 実証試験のサイクル方針	13
5-1-2 分析対象データ	13
5-2 分析における定義	16
5-2-1 システム別作業工程定義	16
5-2-2 コスト算出方法	18
5-3 実証試験に使用した機材の概要	21
5-4 実証試験の全体推進アプローチ	27
5-5 第一回実証試験内容	28
5-5-1 試験コンセプト	28
5-5-2 試験地の概要	29

5-5-3	試験実施状況（竹林オンサイト・チップ化システム）	30
5-5-4	試験実施状況（拠点集積・チップ化システム（長距離搬出型））	35
5-5-5	試験実施状況（拠点集積・チップ化システム（短距離搬出型））	40
5-5-6	試験実施状況（拠点チップ化）	45
5-5-7	データ分析結果	48
5-5-8	実証試験結果	57
5-5-9	課題と対応策	58
5-6	第二回実証試験内容	60
5-6-1	試験コンセプト	60
5-6-2	実施施策	61
5-6-1	試験地の概要	62
5-6-2	試験実施状況（竹林オンサイト・チップ化システム）	63
5-6-3	試験実施状況（拠点集積・チップ化システム（長距離搬出型））	67
5-6-4	試験実施状況（拠点集積・チップ化システム（短距離搬出型））	71
5-6-5	データ分析結果	75
5-6-6	施策効果（周南森林組合）	83
5-6-7	施策効果（カルスト森林組合）	85
5-6-8	施策効果（飯森木材）	86
5-6-9	実証試験結果	87
5-6-10	課題と対応策	88
5-7	第三回実証試験内容	89
5-7-1	試験コンセプト	89
5-7-2	実施施策	90
5-7-3	平ボディトラックの積載性等の検証	92
5-7-4	一次破碎チップパーの機種変更	96
5-7-5	データ分析結果	101
5-7-6	施策効果（拠点集積・チップ化システム（長距離搬出型））	103
5-7-7	施策効果（拠点集積・チップ化システム（短距離搬出型））	105
5-7-8	実証試験結果	107
5-7-9	課題と対応策	108
5-8	H26 年度実証試験の結果	109
5-8-1	システム別状況推移	109
5-8-2	システム別作業工程別状況推移	110
5-9	伐採・収集・運搬・燃料化方法の選定について（平成 26 年度末現在）	111
5-10	実証試験計測データ（その他）	115
6	朝市方式地域集荷システムの実施に向けた検討	118

7	竹チップ燃料の発電施設への供給量	119
8	LCA 手法に基づく環境分析	120
8-1-1	環境性分析の目的と考え方	121
8-1-2	システム境界	122
8-1-3	フォアグラウンドデータ	123
8-1-4	インベントリ分析	124
8-1-5	環境影響評価	125
8-1-6	エネルギー収支分析	127
9	次年度の事業推進方針	128
9-1	事業概念イメージ	128
9-2	事業化に向け実証するテーマ	129
9-3	平成 27 年度スケジュール	131

付録 ミツウロコ岩国発電所における竹チップ燃焼実証試験報告
(平成 27 年 3 月 9 日 株式会社ミツウロコ岩国発電所)

第一章 事業の概要

1 はじめに

山口県では、エネルギーの地産・地消を推進し、新たな地域産業の創出、さらには循環型社会の構築することを目的に、平成 14 年 3 月に「やまぐち森林バイオマスエネルギー・プラン」を策定し、全国に先駆け、間伐材や林地残材などの未利用森林資源をエネルギーとして活用する取り組みを進めてきた。

これら木材を中心とした森林バイオマスエネルギー利用の取り組みは、木質バイオマス発電施設における発電利用及び木質ペレット・ボイラーを中心とする熱利用の拡大により、平成 20 年度には 5 千トンであった森林バイオマス利用量は、平成 25 年度には 3 万 5 千トンに達するなど増加傾向にあるが、平成 24 年 7 月の再生エネルギー固定価格買取制度の開始により、全国で木質バイオマス発電所建設計画が進展し、発電用木質バイオマスの急激な需要増大が見込まれることから、その供給体制の強化が課題となっている。

一方、県内の森林では、繁茂竹林の拡大が顕在化し、森林の適正管理や防災上の観点からも、これら繁茂竹林対策が課題となっていることから、本県では竹のエネルギー利用に着目し、これまで未利用であった竹材の供給体制を新たに構築し、地域で循環可能なエネルギー資源としての活用を図ることとした。

2 実証事業の背景と目的

2-1 社会問題化している繁茂竹林

竹林面積全国第 4 位となっている山口県においても、農山村地域の高齢化・過疎化、タケノコ、竹製品の生産が海外に移転し国産の竹材需要が激減したことなどにより、放置竹林の発生が顕在化し、人工林の侵食や、竹の浅根による豪雨時の表層地すべりの災害発生など、大きな社会問題となっている。



■ 里山での繁茂竹林



■ ヒノキ人工林への侵食例



■ 竹林内部状況例

2-2 竹を地域のエネルギー作物へ

一方、竹は、①伐採しても自然に再生する、②スギ、ヒノキ人工林のような植栽、下刈り、間伐などの育林経費が不要、③竹は成長が早く、短期間に大量の CO2 の吸収が期待できるといった特性があり、育林コスト不要で持続可能な地域の「エネルギー作物」としての大きな可能性を有している。

なお、森林簿から山口県内の竹の資源量としては、150 万トン以上の膨大な利用可能量が賦存していると推計される。

■山口県の竹資源量（推計値）

森林面積	うち竹林面積	竹資源量
426,289ha	12,145ha	1,530,270 t

※森林面積及び竹林面積は「平成 23 年度山口県森林・林業統計要覧」より

※資源量は「平成 16 年度森林バイオマス低コスト供給システム実証事業・支援システム研究報告書」より推計

■山口県内の道路（一般道、林道、作業路）に接する竹林の資源量（推計値）

マダケ	モウソウ	ハチク	計
35,242 t	70,664 t	11,762 t	117,668 t

※資源量は「平成 16 年度森林バイオマス低コスト供給システム実証事業・支援システム研究報告書」より推計

このため、山口県で既に実用化されている間伐材や林地残材の「未利用木材収集・運搬・燃料化システム」をベースに、竹の効率的な伐採、搬出、運搬技術と発電用燃料としてのチップ規格をクリアする低コストチップ化システム、効率的なチップ運搬システムを新たに開発し、竹材の供給体制の構築を図り、地域のエネルギー作物としての竹の利用を推進することとした。

■やまぐち方式未利用木材収集・運搬・燃料化システム

素材生産工程(例)



3 実施内容

本実証事業では、竹材の効率的な伐採、搬出、運搬方法を構築することで、竹チップ燃料供給価格 10,000 円/t-wet を実現させ、地域のエネルギー資源として竹の活用を図ることとしている。

実証事業の実施にあっては、年度単位で段階を踏んで実施することとしており、初年度である平成 25 年度では、実証試験開始に向けた準備期間として竹林確保に向けた場所選定や所有者との調整、実証試験を推進する上での推進体制の整備を実施している。

2 年目となる平成 26 年度では竹のエネルギー利用の事業化に関わる全ての現場作業手法と使用機械の標準化を図るとともに、現場作業での生産性向上施策による効果性評価を実施した。

また、最終年度となる平成 27 年度では、現場作業における更なる低コスト化と本格的な事業化を見据えた竹チップ燃料の生産量の拡大に伴う竹林調達手法の整備を行うこととしている。

平成 25 年度は準備期間と位置付け、実証試験の本格実施となる平成 26 年度及び平成 27 年度についての事業ロードマップは下記の図表 3-1 で示す通りである。

図表 3-1 事業推進ロードマップ

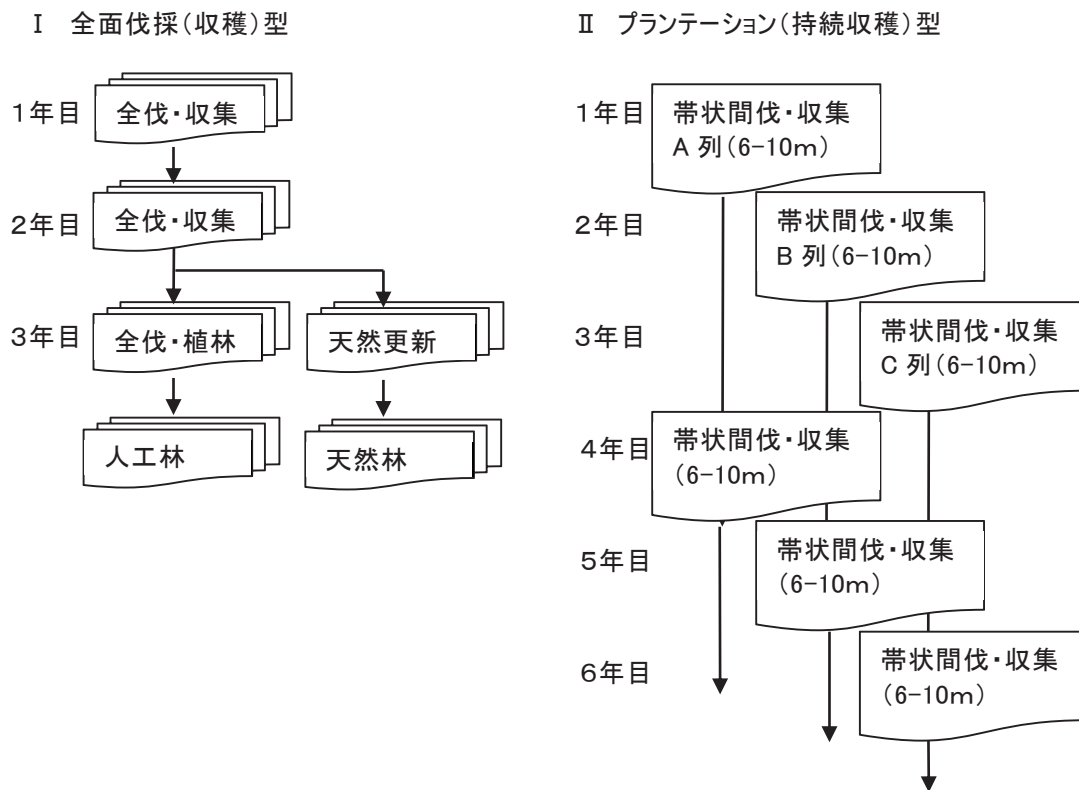


3-1 現地実証試験の概要

3-1-1 伐採方法について

竹林の伐採方法は、周辺森林への拡大が懸念される竹林では、全面伐採（収穫）型によりスギ・ヒノキ人工林又は天然林への樹種転換を促し、大面積の竹林など継続して竹材の供給が可能な竹林では、プランテーション（持続収穫）型とし、竹林の帯状間伐等により伐採を行う。

図表 3-2 伐採方法の選択イメージ



3-1-2 作業システムについて

本実証試験での竹の伐採、竹材の運搬及びチップ加工については、次の3つのシステムを基本に実施する。

主に事業者が行うシステムである竹林オンサイト・チップ化システム及び拠点集積チップ化システムについては、平成 26 年度から現地実証試験を開始し、竹林所有者等から竹材の供給を受ける「朝市方式」チップ化システムについては、平成 27 年度に現地実証試験を実施する。

① 竹林オンサイト・チップ化システム (H26～27)

竹は中空であり、同じ材積でも実質は1/3程度であり運搬効率が劣るという特徴を持つため、移動式チップパーを使用し、竹林内でチップ加工することにより、直接、需要先へ供給する。

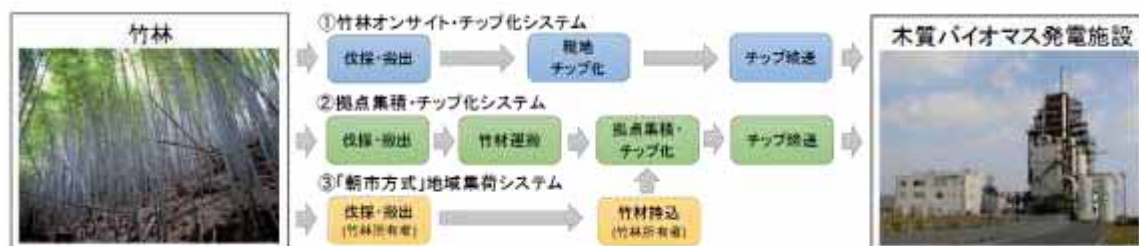
② 拠点集積・チップ化システム (H26～27)

竹林で伐採した竹を短幹等で集積拠点（チップ加工場）に運搬し、拠点でチップ化して需要先へ供給する。

③ 「朝市方式」地域集荷システム (H27)

竹林所有者等が自ら、竹を伐採・搬出し、最寄の集積拠点等へ持ち込み、拠点でチップ化し需要先へ供給する。

図表 3-3 竹チップ燃料供給フロー



図表 3-4 チップ化システムの概要

区分	竹林オンサイト・チップ化システム	拠点集積・チップ化システム	「朝市方式」地域集荷システム
概要	移動式チップパーの活用により、竹林内で竹をチップ化し直接、木質バイオマス発電施設へチップ燃料を共有するシステム	竹短幹等を集積拠点（チップ工場）に運搬し、拠点でチップ化し、木質バイオマス発電施設へチップ燃料を供給するシステム	竹林所有者等が自ら竹を伐採・搬出し、集積拠点に持ち込むシステム
メリット	・作業工程が単純で低コスト	・林業機械の流用が可能であり、既存林業事業者の参入が容易 ・オンサイトと比較し、事業地の選択肢が広い	・伐採場所の確保などに伴う、竹林所有者との交渉が不要
デメリット	・事業者がチップパーを所有する必要がある（レンタル機械が少ない） ・チップパーの騒音により、事業地が限定される ・竹林内にチップ化のための広いスペースが必要 ・チップの長期保管が困難	・工程が複雑でコストが高い	・不確定要素が多いため、竹チップの安定供給には不向き

3-2 竹チップ燃料の発電利用

現地実証試験で製造した竹チップ燃料は、現在、既に稼動している県内2箇所の木質バイオマス発電施設に供給を行い、燃料としての適性及び発電設備への影響等を確認する。
なお、竹チップ燃料については、各発電施設ともに木質チップ燃料に混合して利用する。

■竹チップ燃料供給先

① 中国電力(株)新小野田発電所（石炭混焼）

場所：山口県山陽小野田市新沖2丁目1-1

出力：100万kw（50万kw×2基）

燃料使用量：石炭 約260万t/年

木質バイオマス 約2万t/年



写真 3-1 中国電力(株)新小野田発電所



写真 3-2 木質チップ燃料の受入

② (株)ミツウロコ岩国発電所（木質混焼）

場所：山口県岩国市長野1805-1

出力：1万kw

燃料使用量：木質バイオマス 約12万t/年



写真 3-3 (株)ミツウロコ岩国発電所



写真 3-4 木質チップ燃料の受入

4 実施体制

4-1 実施主体

本実証事業の実施主体として、山口県と山口県森林組合連合会を構成員とする共同事業体を設立し、事業の運営にあたる。

■実施主体

- ① 名称 竹資源供給実証事業共同事業体
- ② 構成員 山口県、山口県森林組合連合会
- ③ 設立 平成25年8月

4-2 山口県竹資源エネルギー活用協議会（地域協議会）

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による、地域一体となった新たな竹資源の収集・運搬・燃料化システムの構築を目的とし、竹の供給事業者、発電事業者及び県を構成員とする地域協議会を設置した。また、本実証事業全般に関する評価、助言を受けるため、学識経験者による外部評価委員を選任した。

■地域協議会

- ① 名称 山口県竹資源エネルギー活用協議会
- ② 構成員 山口県、山口県森林組合連合会、カルスト森林組合、周南森林組合、飯森木材(株)、中国電力(株)、(株)ミツウロコ岩国発電所
- ③ 事務局 山口県農林水産部農林水産政策課
- ④ 設立 平成26年3月4日

図表 4-1 責任分掌

参加組織	責任分掌
山口県 (農林水産政策課)	・ 総合監理、実証試験全体計画作成、総合調整 ・ 未利用竹資源収集・運搬・燃料化システム構築推進
山口県 (林業指導センター)	・ 実証試験における各種データ集計 ・ 機器運用における課題の分析・評価 ・ 竹林再生状況の調査
外部評価委員	・ 実証試験に関する指導・評価
アビームコンサルティング(株)	・ 実証試験における経済性（生産性）・環境性の分析・評価・改善策の提案
山口県森林組合連合会	・ 実証試験場所の確保 ・ 森林組合等との調整、伐採時期・量の調整 ・ 需要先との調整（搬入時期・量と受入可否の確認） ・ 使用する機材の手配 ・ 作業データの回収
カルスト森林組合	・ 実証試験地の確保（竹林所有者との調整）
周南森林組合	・ タケ伐採・収集運搬作業実施 ・ 作業データ記録
飯森木材(株)	・ タケ伐採・収集運搬作業実施、チップ化作業実施 ・ 作業データ記録
中国電力(株)新小野田発電所	・ 燃料チップの受入、発電利用・検証
(株)ミツウロコ岩国発電所	・ 燃料チップ受入データ提供

5 実証試験の実施場所

本実証試験は、県中西部（宇部市、美祢市ほか）及び県東部（周南市ほか）で実施する。

図表 5-1 実施場所



第二章 平成 26 年度未利用竹資源収集・運搬・燃料化システム実証事業実施状況

1 平成 26 年度事業の概要

平成 26 年度では、竹の効率的な伐採・搬出・運搬・燃料化システムの開発を重点に実証事業を実施し、竹チップ燃料供給に係る生産性の向上を図った。また、生産された竹チップ燃料については、木質バイオマス発電施設へ供給し発電用燃料としての適性を確認した。

平成 26 年度の主な実施項目は以下のとおりである。

■ 地域協議会等の開催

実証事業の関係者間で情報を共有し、課題と対策を協議するため、地域協議会を開催した。

■ 現地実証試験に適用する竹林の選定

伐採・収集・運搬・燃料化現地実証試験を行う竹林を選定した。

■ 実証試験に適用する路網規格の選定

竹材搬出用作業路の規格を検討した。

■ 伐採・収集・運搬・燃料化現地実証試験

林業事業者等が行う作業システムとして竹林オンサイト・チップ化システム、拠点集積・チップ化システムを選択し、現地実証試験の継続により竹チップ燃料の供給コストの低減を図った。

■ 朝市方式地域集荷システム（H27）の実施に向けた検討

竹林所有者自ら、竹を伐採・搬出し、集積拠点へ持ち込む「朝市方式」地域集荷システムについて、平成 27 年度実証試験の実施に向け、情報収集を実施した。

■ 竹チップ燃料の発電利用試験

伐採・収集・運搬・燃料化現地実証試験で製造した竹チップ燃料については、(株)ミツウロコ岩国発電所（木質バイオマス専焼）へ供給し、発電設備等への影響確認を実施した。

■ LCA 手法に基づくインベントリ分析等

伐採・収集・運搬・燃料化の実証試験の作業データから LCA 手法に基づくインベントリ分析、エネルギー収支分析を行った。また、システム全体の CO2 削減効果の評価を行った。

2 地域協議会の実施等

2-1 山口県竹資源エネルギー活用協議会

平成 26 年度実証事業の実施状況及び平成 27 年度事業計画の方針等を協議するため、山口県竹資源エネルギー活用協議会を開催した。また、学識経験者による外部評価委員から専門分野に関する指導・助言を受けた。

開催日時	場所	主な協議内容	参集範囲
H27.3.12 10:00～12:00	山口県庁	<ul style="list-style-type: none"> ・平成 26 年度実証事業の実施状況について ・平成 27 年度事業計画の方針について ・その他 	【会員】 山口県森林組合連合会、周南森林組合、カルスト森林組合、飯森木材(株)、中国電力(株)、(株)ミツウロコ岩国発電所、山口県林業指導センター、山口県農林水産部 【外部評価委員】 東京大学 准教授 仁多見俊彦 山口大学 准教授 藤田健 森林総合研究所関西支所 地域研究監 鳥居厚志



山口県竹資源エネルギー活用協議会開催状況

2-2 定期協議会の実施

山口県竹資源エネルギー活用協議会構成員のうち、現地実証事業の担当者レベルでの情報共有及び課題と対策を協議するため、以下のとおり定期協議会を開催した。

開催日	場所	主な協議内容	参集範囲
H26.8.19	山口県庁	・現地実証試験目的、実施体制、試験方針等の認識合わせ	山口県農林水産政策課 山口県林業指導センター 山口県森林組合連合会 周南森林組合 カルスト森林組合 飯森木材(株) アビームコンサルティング(株)
H26.9.9	カルスト森林組合	・第 1 回試験の方針決定	
H26.10.27	林業指導センター	・第 2 回試験に向けての認識合わせ	
H26.11.11	山口県庁	<ul style="list-style-type: none"> ・第 1 回試験結果の共有 ・第 2 回試験の方針決定 	
H27.1.19	山口県庁	<ul style="list-style-type: none"> ・第 2 回試験結果の共有 ・第 3 回試験方針の決定 	
H27.3.11	山口県庁	<ul style="list-style-type: none"> ・第 3 回試験結果の共有 ・H27 年度試験方針等の認識合わせ 	

3 実証試験に適用する竹林の選定

平成 26 年度の伐採・収集・運搬・燃料化現地実証試験の試験地として、次の条件により 5 箇所の竹林を選定した。

■ 選定にあたっての条件

- ① 竹林内にグラブ等々の林業機械の搬入が可能なこと
- ② 竹集積土場へトラック（2～4t）の進入が可能なこと
- ③ 竹林内に作業路の開設が可能なこと

■ 竹林の選定箇所

番号	所在地	所有者数	竹の種類	竹林の状況	区域面積	伐採方法	実施事業体	備考
1	周南市大字金峰 字ケヤケ迫 外	1	モウソウ	侵入竹林 ・純竹林	0.40ha	皆伐	周南森林組合	私有林
2	周南市大字小松 原字南ヶ迫	1	モウソウ	純竹林	0.60ha	皆伐	周南森林組合	私有林
3	山陽小野田市大 字厚狭字立石	1	モウソウ	侵入竹林 ・純竹林	1.20ha	皆伐	カルスト森林組合	市有林
4	山口市巾尾	2	モウソウ	純竹林	0.26ha	皆伐	飯森木材㈱	私有林
5	宇部市大字奥万 倉字黒五郎 外	2	モウソウ	純竹林	1.00ha	帯状 間伐	飯森木材㈱	私有林

■ 竹林の選定にあたっての課題

竹林の選定にあたっては、竹林の位置・竹の資源状況等から事業地としての適性を判断したうえで、竹林所有者等の了承を得る必要があるが、森林簿データ等が現実と乖離しているため、効率的な事業地選定が困難なことや不在村所有者の対応などに時間を要することなどから、平成 26 年度試験地の選定では、用地の確保に多大な労力を費やす結果となった。

これらの課題は竹供給事業の実用化時においても、事業推進の障害となることが予想されるため、竹林の資源情報などの精度向上が求められる。

【課題】

- ① 繁茂竹林の拡大により、既存の竹林資源情報（森林簿データ等）が現実と乖離しており、効率的な事業地の選定が困難なこと
- ② 繁茂竹林では、隣接する竹林と林相に変化がなく、現地において境界の確定が困難なこと（竹林所有者においても境界が判断できないケースが多い）
- ③ 不在村所有者の増加などにより、地籍調査の未実施地区においては、竹林所有者の特定が極めて困難であること（山口県地籍調査進捗率：61%）

4 実証試験に適用する路網規格の選定

平成 26 年度現地実証試験では、3 により選定した竹林において、竹材搬出用の作業路を開設した。作業路規格として、林業用機械の走行を考慮し、幅員 2.5m を基準とした。

作業路網の規格については、竹の伐採方法や竹林の条件（傾斜等）により、最適な路網規格が大きく異なるとともに、その構造等が竹材の搬出コストに及ぼす影響も大きいことから、今後も引き続き検討を要する。

現段階における、路網規格の選定にあたってのポイントとしては、以下のとおりである。

■ 作業ポイント（広場）の設置

伐倒した竹の採材は、作業路上で行うことが効率的であるが、樹高が 15～20m の竹を処理するためには、一定の間隔で作業ポイント（広場）の設置が必要となる。

■ 林内路網密度について

竹林内（伐倒箇所から作業路まで）での集材作業は、斜面下方向に向かい竹樹高の 1.5 倍程度の距離であれば人力により容易に滑落させることが可能なため、作業路の上下間隔としては、30m 程度が適当と推測される。（今後の検証を要する。）

【竹搬出用作業道作設技術研修及び検討会の開催】

日 時：平成 26 年 9 月 1～2 日

場 所：万倉ふれあいセンター

参加者：21 名（森林組合職員、林業事業体職員、県・市職員）

講 師：徳島県指導林業士 橋本光治氏

内 容：①竹林内における作業路路線選定・作業路規格の検討

②既設作業路の検証



作設開設技術研修



路線選定の検討状況



既設作業路の検証状況



既設作業路の検証状況

5 伐採・収集・運搬・燃料化現地実証試験

5-1 実証試験の推進方針

平成 26 年度の実証試験は、竹チップ供給価格 10,000 円/t-wet の達成を目指し、経済性（生産性）の観点から、これまで不明瞭であった竹材伐採に係る現場作業実態の定量計測と定量情報の分析・評価を機軸とし、課題可視化と改善テーマ創出に繋げていくことを推進方針とした。

5-1-1 実証試験のサイクル方針

本実証事業における試験の方針は、竹チップ供給コストの低減を図るとともに、環境的にも持続可能な作業プロセスを構築するために、各実証試験において重点的に作業実績データを収集・分析・評価し、分析結果から明らかになる課題に対し施策を講じる PDCA サイクルを継続させることである。

5-1-2 分析対象データ

下記の図表 5-1 で示す通り、収集の対象となる作業実績データ項目は、上記で述べた経済性（生産性）・環境性の 2 つの分析テーマを基に決定した。第一の経済性（生産性）分析では、竹チップ製造の t あたりコストを算出するために、工程ごとの発生工数や伐採本数、使用機械の経費などの情報を収集した。

一般的な作業現場では紙ベースでの作業実績記録が主流であるが、記録漏れや主観による作業時間の記録によるデータ精度の低さと、用紙であるために取得できるデータ内容が限られるという課題があった。

これを受け、データ収集はスマートフォンアプリ「GPS-Punch!」を使用し、作業員が各工程での作業開始時と終了時に端末を操作し、作業時間や伐採本数や使用燃料量などの作業実績を記録しデータを蓄積する方法を採用した。

これにより、作業員の記録漏れを防ぎ、作業実績値の記録をシステム化しデータの精度を向上させる事が可能となった。また、一定頻度で GPS 機能を利用し作業員の位置データを取得しており、移動動線や回数を分析する事ができた。

なお、その他の作業環境や機械能力などについては、現地調査や機械カタログなどによりデータを収集した。

図表 5-1 分析データ項目一覧

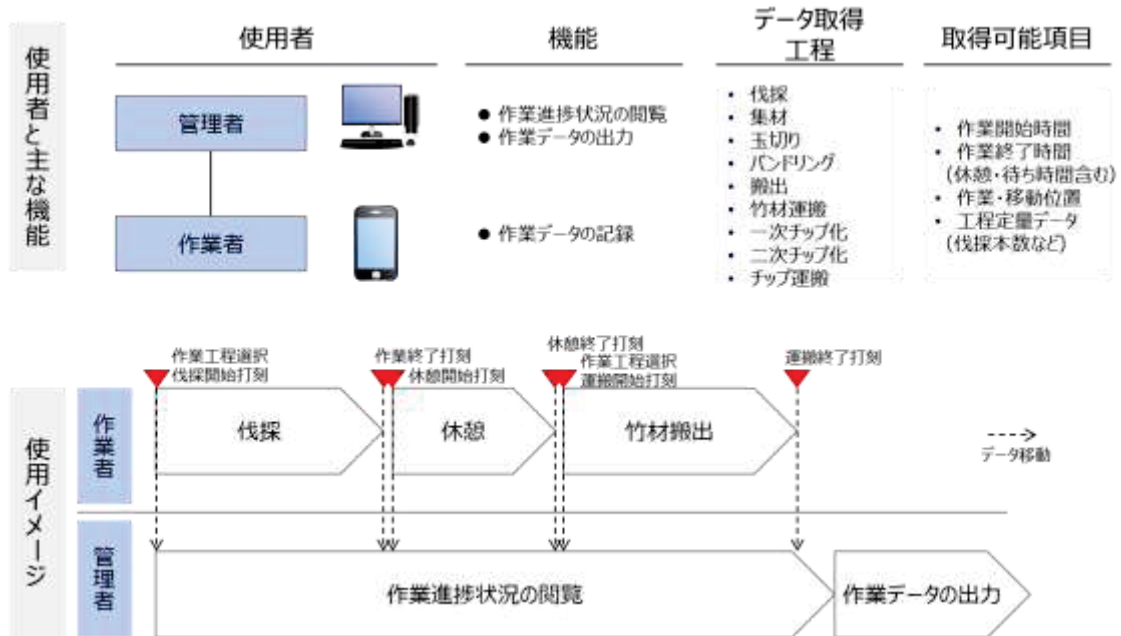
データ項目	データ内容	単位	収集方法	分析テーマ	
				経済性	環境性
作業人数	作業に投入された人員	人	GPS-Punch!	●	
作業日数	作業を実施した日数	日		●	
作業時間	作業に要した時間	分		●	
伐採本数	伐採した竹の本数	本		●	
伐採重量	伐採した竹の重量	Kg		●	
チップ重量	チップ化した竹の重量	Kg		●	●
林内作業車積載率	搬出に用いる機器の積載率	%		●	
燃料使用量	トラック・作業機器の使用燃料量	ℓ		●	●
成立本数	伐採場所に生息する竹の本数	本	現地調査	●	
竹林の種類	純竹林/侵入竹林	—		●	
伐採地の傾斜	伐採作業を行う土地の傾斜角度	度		●	
搬出距離	伐採場所～作業土場までの距離	Km		●	
トラック積載可能容量	トラックに積載できる最大重量	Kg	カタログ等	●	
チップー生産能力	チップーの時間あたり処理能力	Kg/h		●	
人件費単価	1時間当たりの人件費	円/人日	事業体間取り	●	
設備レンタル費	作業機器などの日あたりレンタル費	円/日	請求書/ 領収書	●	
償却費+維持管理費	所有する作業機器の償却費等	円/日		●	
燃料単価	1ℓあたりの各種燃料費	円/ℓ		●	

【参考】スマートフォンアプリ「GPS-Punch!」について

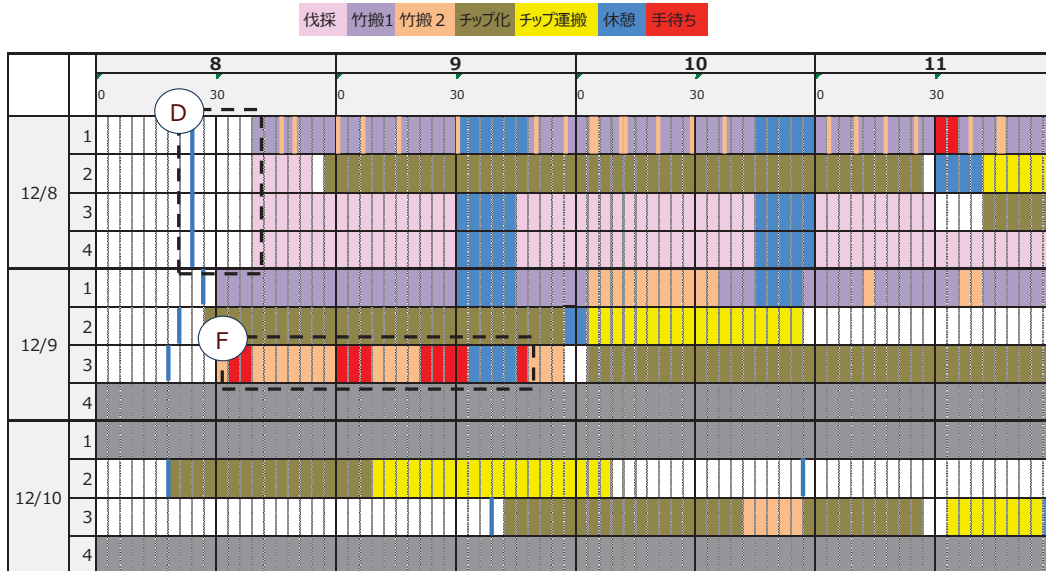
各工程での作業時間などの作業実績は、スマートフォンの活用により、原則として作業員自らが記録することでデータを取得した。

図表 5-2 「GPS-Punch!」の概要

機能と使用イメージ



取得データイメージ



注 D 出勤から作業開始までの時間 & 作業終了から退勤までの時間が長い
 F 竹搬2の作業中に手待ちが発生している
 G チップ化している間、次回のチップ化を予定している作業員に手待ちが発生している

5-2 分析における定義

分析においては、評価軸にズレが生じることを防ぐため、「作業工程」「コスト算出方法」を明確に定義した。

5-2-1 システム別作業工程定義

平成 26 年度において、分析対象となる「竹林オンサイト・チップ化システム」と「拠点集積・チップ化システム」では、それぞれに異なる工程プロセスを定義するが、コスト算出方法は 2 つのシステム共通とした。

■竹林オンサイト・チップ化システム

本システムの工程定義は、下記の図表 5-3 で示す通りである。第一回実証試験では、伐採作業と集材作業を合わせて「伐採・集材」と工程定義したが、分析に十分なデータが得られないことから、第二回実証試験からこの工程を「伐採」「集材」と分けて再定義した。

図表 5-3 竹林オンサイト・チップ化システムの作業工程

		基本プロセス							サブプロセス								
		竹林内	作業道上		集積土場			発電所	*以下に要する時間は全て「その他」に含まれる								
作業内容		伐採	作業道までの搬出	林内作業車への竹材荷積	集積土場までの搬出	竹材荷降	一次チップ投入	トラックへの竹チップ荷積	チップ運搬	竹チップ荷降	準備	片付け	運搬の滞り便	休憩	手待ち	移動	イレギュラー対応
各試験で計測した作業工程	第一回	伐採・集材			搬出		一次チップ化		チップ運搬		未計測	未計測	未計測	休憩	未計測	未計測	未計測
	第二回	伐採	集材		搬出		一次チップ化		チップ運搬		未計測	未計測	未計測	休憩	手待ち	未計測	未計測

*試験地の環境によっては集積土場で行う場合もある

■拠点集積・チップ化システム

本システムの工程定義は、下記の図表 5-4 で示す通りである。

なお、オンサイト・チップ化システム同様に、第二回実証試験から「伐採・集材」工程を「伐採」「集材」「玉切」と分けて再定義した。

図表 5-4 拠点集積・チップ化システムの作業工程

		基本プロセス										サブプロセス												
		竹林内		作業道上			集積土場		バイオマスセンター			発電所	*以下に要する時間は全て「その他」に含まれる											
作業内容		伐採	作業道までの搬出	玉切	バンドリング*	林内作業車への竹材高積	集積土場までの搬出	集積土場への竹材高積	トラックへの竹材高積	竹材運搬	竹材荷降	一次チップ投入	二次チップ投入	トラックへの竹チップ高積	チップ運搬	竹チップ高降	準備	片付け	運搬の繰り返し	休憩	手待ち	移動	イレギュラー対応	
各試験で計測した作業工程	第一回	伐採・集材		玉切	バンドリング*	林内作業車への竹材高積	搬出	集積土場への竹材高積	トラックへの竹材高積	竹材運搬	竹材荷降	一次チップ化	二次チップ化	トラックへの竹チップ高積	チップ運搬		未計測	未計測	未計測	休憩	未計測	未計測	未計測	未計測
	第二回	伐採	集材	玉切	バンドリング*	林内作業車への竹材高積	搬出	集積土場への竹材高積	トラックへの竹材高積	竹材運搬	竹材荷降	一次チップ化	二次チップ化	トラックへの竹チップ高積	チップ運搬		未計測	未計測	未計測	休憩	手待ち	未計測	未計測	未計測

*試験地の環境によっては集積土場で行う場合もある

5-2-2 コスト算出方法

竹チップ tあたりコストの把握において、現地作業を行う各事業者により賃金単価・使用する機械経費等が異なることからコスト分析を容易にするため、算出ルールを統一した。コスト算出方法の算出ルールと算出方法は下記の図表で示す通りである。

図表 5-5 コスト算出方法

#	費目	算出方法	補足
1	人件費	賃金単価 ×作業時間	・賃金単価は各事業者の平均単価である12千円/日に統一している。 ・作業時間は、出勤から退勤までの時間のうち、以下に要した時間は作業時間から除外している。 ・所定の時間より長い準備・片付け ・イレギュラー対応（機械の故障、打ち合わせ）
2	機械経費	機械単価 ×機械拘束日数 ×作業時間比率	・同一の性能を有する機械を使用した場合、機械単価は各事業者の最安値の単価に統一している。 ・機械が最初に使用された日時～最後に使用された日時の期間を機械の拘束日数としている。
3	燃料費	燃料単価 ×燃料使用量 ×作業時間比率	・燃料単価は、各事業者が購入した燃料価格の平均値に統一している。

図表 5-6 経済性分析の算出前提

人件費算出における前提

分析項目	計算式	補足
人件費	$[\text{人件費単価}(\text{円}/\text{分})] \times [\text{作業時間}(\text{分})]$	*1各事業体間で統一した給与(12,00円/日)を適用している
人件費単価	$[\text{給与}^*1] \div [\text{一日の作業時間}^*2]$	*2一日の作業時間は7時間としている
作業時間	$[\text{拘束時間}^*3] - [\text{昼休憩時間}^*4] \pm [\text{補正時間}^*5]$	*3拘束時間はGPS Punch!の出勤から退勤までの時間としている *4昼休憩は1人1日1時間を想定している(全日作業した作業員のみ) *5集計ツールの操作ミス、機械の故障、打ち合わせ等で余分に発生した時間は作業時間(その他)から除外している。(各試験の詳細はコストサマリー参照)

機械経費算出における前提

分析項目	計算式	補足
機械経費	$[\text{機械単価}(\text{円}/\text{日})] \times [\text{機械拘束日数}] \times [\text{比率}^*8]$	*6月の機械稼働日数は25日としている
機械単価		*7機械拘束日数は、機械が最初に使用された日時から機械が最後に使用された日時の期間としている
レンタル機械	$[\text{月間リース料}] \div [\text{機械稼働日数}^*6]$	*8複数工程で同一の機械を使用した場合、機械を稼働していた作業員の作業時間内訳によって、按分する
所有機械	$[\text{償却費} + \text{維持管理費}] \div [\text{機械稼働日数}]$	
機械拘束日数 ^{*7}	$[\text{機械使用終了時間}] - [\text{機械使用開始時間}]$	

燃料費算出における前提

分析項目	計算式	補足
燃料費	$[\text{燃料単価}^*9(\text{円}/\ell)] \times [\text{燃料使用量}(\ell)] \times [\text{比率}^*8]$	*8複数工程で同一の機械を使用した場合、燃料費は機械を使用していた作業員の作業時間内訳によって、按分する
燃料単価	受領情報に準ずる	*9燃料単価は、各事業体が購入した燃料価格の平均値に統一している(124円/ℓ)
燃料使用量	GPS Punch!記録情報に準ずる	

【参考】生産性分析

本実証事業では、経済性分析の一貫として生産性分析を実施した。生産性分析の算出方法は下記で示す通りである。

図表 5-7 生産性分析の算出前提

生産性算出における前提

	分析項目	計算式	補足
主要分析	人時生産性	$[\text{作業量(t)}^{*1}] \div [\text{作業時間(分)}]$	^{*1} 作業量は各実証試験で得た竹チップの重量に基づいている ^{*2} 拘束時間はGPS Punch!の該当作業開始から終了までの時間としている ^{*4} 昼休憩は1人1日1時間を想定している(全日作業した作業員のみ) ^{*5} 集計ツールの操作ミス、機械の故障、打ち合わせ等で余分に発生した時間は作業時間(その他)から除外している。(各試験の詳細はコストサマリー参照)
	作業量	チップ重量	
	作業時間	$[\text{拘束時間}^{*2}] - [\text{休憩時間}^{*3}] \pm [\text{補正時間}^{*4}]$	
補足分析	積載率 ^{*5*6}	$[\text{積載重量(t)}^{*7}] \div [\text{積載可能重量(t)}]$	^{*5} 積載率の測定対象機械は、フォワーダとトラックとしている。ただし、拠点集積チップ化システムのチップ運搬で使用するトラックは木材と混載しているため、対象外とする ^{*6} フォワーダの積載率は、GPS Punch!に記録された積載率の数字を適用している ^{*7} トラックの積載重量は、GPS Punch!に記録された情報に基づいている ^{*8} 稼働率の測定対象機械は、チップパーとトラックとしている。ただし、拠点集積チップ化システムのチップ運搬で使用するトラックは木材と混載しているため、対象外とする
	積載重量	積載量の実績値	
	積載可能重量	積載可能容量 (カタログ値)	
	稼働率 ^{*8}	$[\text{機械生産性(t/h)}] \div [\text{処理能力(t/h)}]$	
	機械生産性	$[\text{機械作業量}] \div [\text{作業所要時間}]$	
処理能力	機械の最大処理能力 (カタログ値)		

各分析項目の対象工程

作業工程	オンサイト方式	伐採	集材	玉切	(枝払い) リンダ	搬出	竹材運搬	チップ化	チップ運搬
	拠点集積方式								
分析項目	人時生産性		$t/\text{人}\cdot\text{時}^{*1*2}$			$t/\text{人}\cdot\text{時}$	$t/\text{人}\cdot\text{時}^{*3}$	$t/\text{人}\cdot\text{時}$	$t/\text{人}\cdot\text{時}$
	積載率		対象外			%	%	対象外	%
	機械稼働率		対象外				%	%	%

5-3 実証試験に使用した機材の概要

平成 26 年度実証試験に使用する機材は、一般に普及する汎用タイプであり、レンタルで借入れが可能な機械を主体に選定した。

なお、選定した機材は以下のとおりである。

■ 伐採用機械

① チェンソー

適用システム：全システム

機種：各種メーカーの 39～50cc クラス
※装着するソーチェンは整備性を考慮し、通常タイプを装着

選定理由：伐倒方向の決定が容易なため選定

② フェラーバンチャ

適用システム：竹林オンサイト・チップ化システム

機種：フェラーバンチャザウルスロボ（松本システムエンジニアリング(株)
MSE25FGZX（ベースマシン 0.25m³ クラス）

特徴：格納式カッターにより、竹の伐倒・玉切・グラップル作業、作業路開設を 1 台で行うことが可能

選定理由：作業路の開設が容易であるとともに、竹材搬出用機械としても使用可能であるため選定 ※工程調査では、玉切・集材用機械として使用



■ 集材及び積込用機械

① グラップル

適用システム：全システム

機種：各種メーカーの0.16～0.25m³ クラス
※現地作業スペース等の広さによりクラスを選択

選定理由：林業用機械として一般に普及し、現地作業での汎用性が高いため選定



② フォーク

適用システム：拠点集積・チップ化システム

機種：0.09m³ クラス

選定理由：汎用性が高く価格が安いいため、グラップルの代用として選定（飯森木材㈱所有機械）



■ 運搬用機械

① 林内作業車

適用システム：全システム

機種：フォワーダやまびこ（㈱筑水キャノム）

【形式】BY460S

【最大積載量】3,100kg

【荷台寸法】L=3.0m、W=1.05m、

H=1.0m（運転席側）

H=0.85m（荷台側）

選定理由：横積みタイプであり、長尺竹の積載性を検証するため選定



② グラップル付きフォワーダ

適用システム：拠点集積・チップ化システム

機種：AK-33（魚谷鉄工業㈱）

【形式】AK-33

【最大積載量】3,000kg

【荷台寸法】L=2.8m

W=1.83m

H=1.08m

選定理由：装着するグラップルによる竹の積込適性を検証するため選定



■ 竹材運搬用トラック

① 箱ダンプ機能付きトラック

適用システム：拠点集積・チップ化システム

機種：2～4t 箱ダンプトラック

【最大積載量】 2,000～3,550kg

【荷台長】 2.9～3.4m

選定理由：滑りやすい竹短幹を安全に運搬でき、
ダンプ機能により竹の積降時間の短縮
が容易なため選定



② クレーン付きトラック

適用システム：拠点集積・チップ化システム

機種：4t クレーン付きトラック（ロング）

【最大積載量】 2,950kg

【荷台長】 5.63m

選定理由：クレーンによる竹材の積込・積降が可
能なため選定



③ 平ボディトラック

適用システム：拠点集積・チップ化システム

機種：2～4t 平ボディトラック（ロング）

【最大積載量】 2,000～4,100kg

【荷台長】 4.35～6.18m

選定理由：荷台長が長く、比重の軽い竹であって
も最大積載量での運搬が可能のため選
定



■ 竹破碎用機械

① 移動式チップパー

適用システム：竹林オンサイト・チップ化システム

機種：GS400D（株大橋）

【チップ化方式】切削型

【寸法】L=4.4m、W=1.25m、
H=1.65m（稼動時）

【処理能力】7.0m³/h（カタログ値）

選定理由：竹林内へ搬入可能な大きさであり、竹チップの品質が良好であることから選定



② 拠点用チップパー

● 一次破碎チップパー

適用システム：拠点集積・チップ化システム

機種：BC1000XLM（SOCIO）

【チップ化方式】切削型

【寸法】L=4.72m、W=1.62m、
H=2.66m（稼動時）

【処理能力】8～10m³（カタログ値）

選定理由：チップ事業者である飯森木材(株)の所有機械



適用システム：拠点集積・チップ化システム

機種：790TC（株リョーキ）

【チップ化方式】切削型

【寸法】L=6.7m、W=2.49m、H=3.37m

【処理能力】70～100m³（カタログ値）

選定理由：破碎能力が高く、竹チップの品質が良好であることから選定



● 二次破碎チップパー

適用システム：拠点集積・チップ化システム

機種：Model S1000（モバーク）

【チップ化方式】破碎型

【寸法】L=10.3m、W=2.59m、
H=3.86m

選定理由：チップ品質の確保のため、二次破碎用として使用（飯森木材(株)所有機械）



■ チップ運搬用トラック

① 箱ダンプ機能付きトラック

適用システム：竹林オンサイト・チップ化システム

機種：4t 箱ダンプトラック

【最大積載量】 3,100kg

【荷台寸法】 L=4.5m、W=2.05m、
H=1.2m

選定理由：集積土場まで進入可能な車両であることから選定



② チップ運搬専用トラック

適用システム：拠点集積・チップ化システム

機種：スライドデッキ式チップ輸送トラック

【最大積載量】 11,000kg

【荷台寸法】 L=9.5m、W=2.34m、
H=2.45m

選定理由：既存の木質チップ燃料輸送車を使用



5-4 実証試験の全体推進アプローチ

平成 26 年度の現地実証試験では、竹林オンサイト・チップ化システム及び拠点集積・チップ化システムの実態把握を目的とする実証試験から始め、コスト比率が高い作業工程の改善について段階的にモデル設計を実施した。

■第一回実証試験

これまでバイオマス燃料用としての竹の伐採・搬出の実績が無く、その作業実態が不明瞭であったため、第一回実証試験では実態把握を主な目的とした。スマートフォンの活用による工程別の作業時間の取得や、竹林環境による生産性の変動などの分析を実施した。

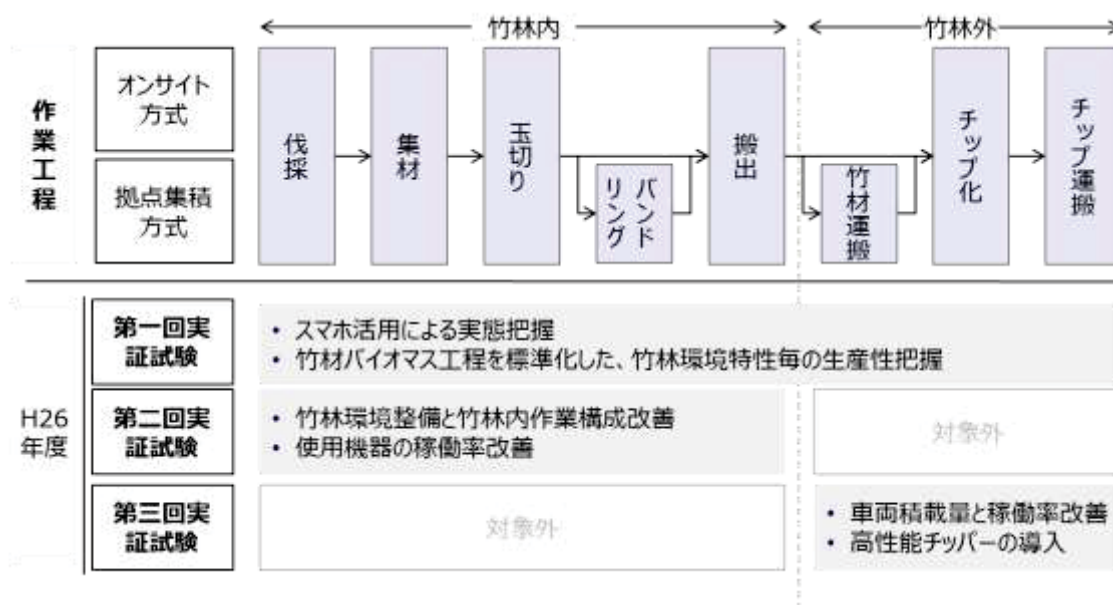
■第二回実証試験

第一回実証試験で明らかとなった竹林内工程のコストが高比率である結果を受け、竹林内作業である伐採～搬出までを対象に、竹林環境や作業構成の改善、作業機械の稼働率向上などの施策を実施した。

■第三回実証試験

第二回実証試験の結果、コスト比率が高くなった竹林外工程である竹材運搬・チップ化の2つを対象に、積載率の向上による運搬回数の削減やトラック共有による機械経費の削減、また高性能チップパーの導入によるチップ製造の生産性・品質向上などの施策を実施した。

図表 5-8 実証試験別スコープ工程



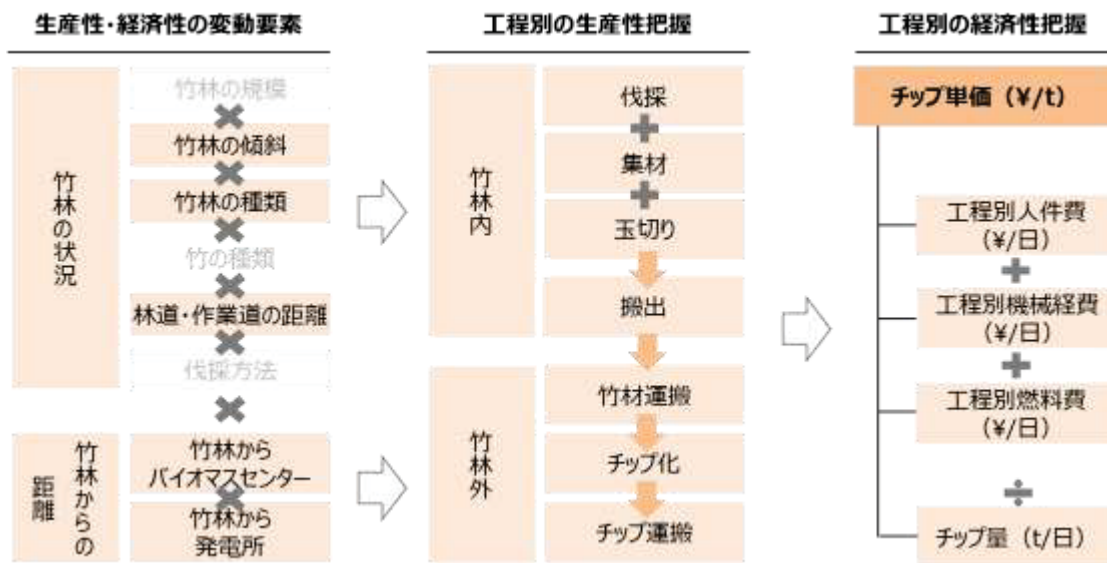
5-5 第一回実証試験内容

5-5-1 試験コンセプト

第一回実証試験では、竹の伐採・搬出作業の実態が不明瞭であることから、実態把握を目的に全ての作業工程について作業生産性の調査を実施し、作業工程毎のコスト発生状況、その結果から得られる生産性向上に向けた課題を選定した。

また、竹林の環境条件（竹林の傾斜や竹林の種類など）がコストへ与える影響を判断するため、環境による変動要素を考慮し複数パターンの試験地を設定した。本試験では、生産性影響度が高いと想定された「竹林傾斜」、「竹林種類」、「集材距離」、「運搬距離」の4つの要素について生産性影響度を分析することとした。

図表 5-9 第一回実証試験のスケープ



図表 5-10 竹林環境の変動要素の内容

変動要素	内容
竹林の規模	作業現場となる竹林の広さ
竹林の傾斜	伐採対象となる竹が生息する竹林の傾斜
竹林の種類	・侵入林（竹が他の木が生息する土地に侵入している竹林） ・純竹林（竹のみが生息する竹林）
竹の種類	本実証試験ではこれまで「モウソウ」のみを伐採している
集材・運搬の距離	・集材（竹林内作業における伐採場所から作業路までの距離） ・運搬（作業路から作業土場までの距離） ※「作業土場」・竹材をチップ化、またはトラックへ積込み（準備も含む）する作業場所
伐採方法	・皆伐（対象区画の竹を全て伐採する方法） ・間伐（伐採時期に達している竹のみを伐採する方法）

5-5-2 試験地の概要

第一回実証試験では、3 事業体でそれぞれの試験地を設定し、実績値の精度を高めるために各 2 サイクルの試験を実施した。

各システム・各事業体に選定した場所の詳細は、下記の図表 5-11 で示す通りある。

図表 5-11 第一回実証試験地の詳細

システム区分		竹林オンサイト・チップ化システム		拠点集積・チップ化システム			
事業体		周南森林組合		カルスト森林組合		飯森木材(株)	
		1 サイクル目	2 サイクル目	1 サイクル目	2 サイクル目	1 サイクル目	2 サイクル目
試験期間		9/16~17	10/30~31	9/26~30	10/21~28	10/4~8	10/10~15
試験地所在		周南市大字金峰		山陽小野田市大字厚狭		山口市中尾	
竹の種類		モウソウ		モウソウ		モウソウ	
伐採方法		皆伐	皆伐	皆伐	皆伐	皆伐	皆伐
運搬距離		竹林~ミツウチ:55km		竹林~拠点:27km 拠点~ミツウチ:109km		竹林~拠点:24km 拠点~ミツウチ:109km	
変動要素	竹林の種類	侵入竹林	侵入竹林	侵入竹林	純竹林	純竹林	純竹林
	竹林の傾斜度	急	緩	緩	緩	緩	緩
	竹林~ 作業路距離	短	短	短	短	短	長
	作業路~ 土場距離	短	長	長	長	短	短

5-5-3 試験実施状況（竹林オンサイト・チップ化システム）

周南森林組合では、竹林オンサイト・チップ化システムにより、伐倒した竹を枝葉付きのままチップ化し発電施設へ運搬するまでの工程別生産性の把握を行った。

なお、当試験地では、竹林の条件が生産コストに与える影響を調査するため、竹林の傾斜及び作業路搬出距離の2つの変動要素により2回の工程調査を行った。

① 試験地の概要

事業体	周南森林組合		
	1サイクル目	2サイクル目	
試験期間	9/16～9/17	10/30～10/31	
試験地所在	周南市大字金峰字ケヤケ迫 外		
区域面積	0.40ha		
竹の種類	モウソウ		
竹伐採本数	生竹 219 本、枯れ竹 48 本	生竹 254 本	
伐採方法	皆伐	皆伐	
作業人員	4 名	4 名	
運搬距離	竹林～ミツウロコ岩国発電所:55km		
変動要素	竹の侵入率(竹林の種類)	92%(侵入竹林)	90%(侵入竹林)
	竹林の傾斜度	40°※(急傾斜)	28°※(緩傾斜)
	竹林から作業路の距離	0m(短距離)	0m(短距離)
	作業路から集積土場の距離	150m※(短距離)	280m※(長距離)

※同一林分内において、下線部の変動要素による作業工程への影響を調査した。

図表 5-12 実証試験立地

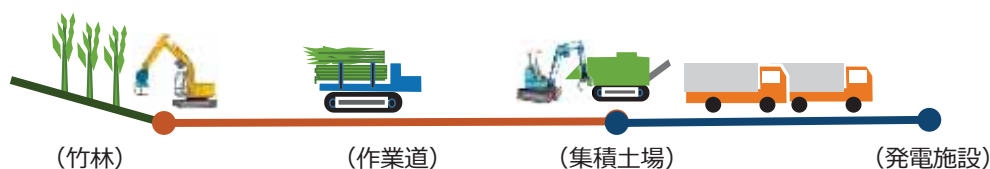


② 使用した機械とその配置

使用した機械とその配置は以下のとおり

主な用途	機材種類	機種	台数
伐倒	チェーンソー	39～50cc 程度	4
伐倒・集材・積込	フェラーバンチャ	フェラーバンチャ ガルソル [®] MSE25FGZX	1
搬出	林内作業車	フォワードヤまびこ BY460S	1
積降・チップパーへの竹投入	グラップル	0.14m ³ クラス	1
チップ化	移動式チップパー	GS400D	1
チップ運搬	箱ダンプトラック	4t 箱ダンプトラック	2

【機械の配置】



③ 作業手順

作業手順は以下のとおり ※1 サイクル、2 サイクル目共通

順序	工程	作業内容	作業員配置(4名)			
			A	B	C	D
1	伐倒	・チェーンソーで竹を斜面下方向へ伐倒し、人力で作業路まで集材 ・フェラーバンチャのアームが届く範囲は機械伐倒	○	△		△
2	集材	・フェラーバンチャで集材し、装備するカッターで2分割程度に採材 (枝払い等は実施しない)		○		
3	搬出	・フェラーバンチャで林内作業車に竹を積込み ・林内作業車で枝付きの竹を作業土場まで搬出		○		
4	チップ化	・作業土場に設置するグラップルで竹を林内作業車から積み下ろし ・人力で枝葉付きの竹をチップパーへ投入(梢端部もチップ化) ・チップパーからトラック荷台へチップを直接排出			○	○
5	チップ運搬	・チップが満載になったら発電施設へ発車 ・発電施設で計量後、チップ積み下ろし			※	※

※作業員 B は、フェラーバンチャのオペレーターとして従事

※作業員 C, D はチップ化工程とチップ運搬工程を交代で実施

※各作業の進捗状況により、各作業員は前後工程を補助(「○」=主たる作業、「△」=補助作業)

④ 作業実施状況

a.1 サイクル目

- ・ 試験区域内に成立する全ての竹(267本※うち枯れ竹48本)を伐倒し、チップ化後、ミツウロコ岩国発電所への竹チップ運搬が完了するまでの工程調査を行った。
(なお、枯れ竹は、伐倒した衝撃やフェラーバンチャで掴んだ際に飛散するものが多く、殆どが利用できなかつたため、次回調査からは伐倒本数から除外している。)
- ・ 急傾斜地での伐倒作業となったが、伐倒した竹が自然に滑落するため容易に集材することができた。
- ・ 林内作業車による搬出を基本としたが、一部グラップルが全竹を掴んだままチップパー設置場所までの搬出を行った。積込積降時間の短縮が図れることから、搬出距離が近い場合には効率的な作業であることが確認された。
- ・ チップ化作業では、竹を1本ずつチップパーへ投入した。また、チップ運搬トラックへのチップ積み込みは、地形(段差)を利用し、荷台へ直接投入した。



写真 5-1 フェラーバンチャによる集材



写真 5-2 林内作業車への積み込み



写真 5-3 グラップルによる積み降ろし



写真 5-4 チップ化作業

b.2 サイクル目

- ・ 試験区域内に成立する全ての竹（229本）を伐倒し、チップ化後、ミツウロコ岩国発電所へ竹チップの運搬が完了するまでの工程調査を行った。
- ・ 1サイクル目より搬出距離が延長されたため、すべて林内作業車で搬出した。



写真 5-5 伐採状況



写真 5-6 作業路への集材



写真 5-7 林内作業車への積込



写真 5-8 チップ化作業

⑤ 作業実績

	1 サイクル目	2 サイクル目
伐採本数	267 本(生竹 219 本、枯れ竹 48 本)	229 本
搬出重量	6,510kg	8,860kg

⑥ 評価

- ・ 2 サイクル目の竹が大型であり、1 本当たり収量が 1 サイクル目より増大した。
(29.7kg/本→38.7kg/本)
- ・ 枯れ竹は、集材・搬出時に飛散し、搬出が困難である。
- ・ 急傾斜地では、伐倒した竹が自然に落下するため集材が容易となる。

5-5-4 試験実施状況（拠点集積・チップ化システム（長距離搬出型））

カルスト森林組合が実施した拠点集積・チップ化システムでは、竹の幹部分のみを集積拠点（チップ工場）に運搬するまでの工程別生産性の把握を行った。

なお、当試験地では、作業路搬出距離の長い「長距離搬出型」として、作業員 4 名体制で作業を実施した。

また、竹林の条件が生産コストに与える影響を調査するため、スギ人工林への侵入竹林と純粋な竹林での作業を変動要素として 2 回の工程調査を行った。更に 2 回の工程調査では、搬出用機械を変更し、その適性を調査した。

① 試験地の状況

事業体	カルスト森林組合		
	1 サイクル目	2 サイクル目	
試験期間	9/26～9/30	10/21～10/28	
試験地所在	山陽小野田市大字厚狭字立石		
区域面積	1.20ha		
竹の種類	モウソウ		
竹伐採本数	224 本	410 本	
伐採方法	皆伐	皆伐	
作業人員	4 名	4 名	
運搬距離	竹林～拠点:27km、拠点～ミツウロコ岩国発電所:99km		
変動要素	竹の侵入率(竹林の種類)	74%※(侵入竹)	100%※(純竹林)
	竹林の傾斜度	22.5°(緩傾斜)	28°(緩傾斜)
	竹林から作業路の距離	0m(短距離)	0m(短距離)
	作業路から集積土場の距離	500m(長距離)	500m(長距離)

※同一林分内において、下線部の変動要素による作業工程への影響を調査した。

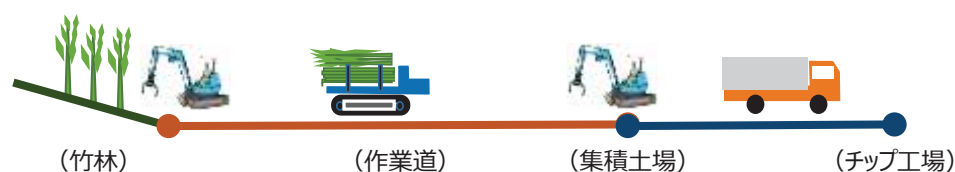
図表 5-13 実証試験立地



② 使用した機械とその配置

主な用途	機材種類	機種	台数
伐倒	チェーンソー	39～50cc 程度	4
集材・積込	グラップル①	0.14m3 クラス	1
搬出	・1 サイクル目 林内作業車 ・2 サイクル目 グラップル付きフォワーダ	・1 サイクル目 フォワーダやまびこ BY460S ・2 サイクル目 UOTANI AK33	1
竹材運搬トラックへの積込み	グラップル②	0.14m3 クラス	1
竹材運搬	箱ダンプトラック	4t 箱ダンプトラック	1

【機械の配置】



③ 作業手順

作業手順は以下のとおり

順序	工程	作業内容	作業員配置(4名)			
			A	B	C	D
1	伐倒	・チェーンソーで竹を斜面下方向へ伐倒	○	○		△
2	集材	・人力又はグラップルで竹を作業路まで集材	○	○	○	△
3	枝払・玉切	・作業路上で、竹の枝払い・玉切を実施 ・竹短幹のみを作業路上に集積し、枝葉付きの梢端部分は作業路脇へ廃棄	○	○		△
4	搬出	・グラップル又は人力で、作業路上の竹短幹を回収し、林内作業車に積込み ・林内作業車で竹短幹のみを作業土場まで搬出 ・作業土場に設置するグラップルで竹短幹を林内作業車から積み下ろし			△ 積込	○
5	竹材運搬	・グラップルで竹短幹をトラックへ積込み ・トラックが満載になったら拠点（チップ工場）へ発車 ・チップ工場に竹短幹を積み下ろし				○

※作業員 C は、集材・搬出工程のグラップルオペレーターとして従事

※作業員 D は、林内作業車オペレーター、トラック運転手として従事

※各作業の進捗状況により、各作業員は前後工程を補助(「○」=主たる作業、「△」=補助作業)

④ 作業実施状況

a.1 サイクル目

- ・ 試験区域内に成立する全ての竹（224 本）を伐倒し、集積拠点（チップ工場）への運搬が完了するまでの工程調査を行った。
- ・ 試験地上部は勾配も緩やかでスギ等支障になる木も多く、かかり木となるため伐倒・集材工程に時間を要した。【写真 5-9】
- ・ 作業路までの集材は人力で行った。
- ・ 玉切はチェーンソーを使用し、作業路上や林内で 3 m に採材した。また、竹短幹は林内作業車で搬出を行った。【写真 5-11、5-12】
- ・ 枝払いは手鋸を使用して搬出する幹のみ実施した。枝葉・梢端部分などの搬出しえない部位は林内や作業路脇に廃棄した。



写真 5-9 侵入竹林での伐倒



写真 5-10 作業路への集材



写真 5-11 林内作業車への積込



写真 5-15-2 作業土場への積降

b.2 サイクル目

- ・ 試験区域内に成立する全ての竹（410本）を伐倒し、集積拠点所（チップ工場）への運搬が完了するまでの工程調査を行った。
- ・ 試験区域内には支障木が殆どなく、効率的な伐倒作業ができた。
- ・ 搬出用機械の積載量が大型化したことにより、搬出工程に改善が見られた。しかし、フォワーダ付属のグラップルが有効活用されていない。

【1 サイクル目】 フォワーダやまびこ BY460S

【2 サイクル目】 UOTANI AK33



写真 5-13 純竹林での伐倒



写真 5-14 グラップルによる集材



写真 5-15 フォワーダ積込



写真 5-16 箱ダンプトラックへの積込

⑤ 試験結果

第一回実証試験の結果は以下のとおり

- ・ 伐採本数と搬出重量

	1 サイクル目	2 サイクル目
伐採本数 (本)	224	410
搬出重量 (kg)	5,710	10,510

⑥ 評価

- ・ 侵入竹林の伐倒作業では、かかり木により作業効率が低下する
- ・ 作業路搬出距離が長い場合には、搬出用機械の積載可能量の大小がコストに及ぼす影響が大きい

5-5-5 試験実施状況（拠点集積・チップ化システム（短距離搬出型））

飯森木材(株)が実施した拠点集積・チップ化システムでは、竹の幹部分のみを集積拠点（チップ工場）に運搬するまでの工程別生産性の把握を行った。

なお、当試験地では作業路搬出距離の近い「短距離搬出型」として、林内作業車を使用しないため、作業員3名体制で作業を実施した。

また、竹林の条件が生産コストに与える影響を調査するため、竹林から作業路までの集材距離の違いを変動要素として2回の工程調査を行った。

① 試験地の状況

事業体	飯森木材(株)		
	1サイクル目	2サイクル目	
試験期間	10/4～10/8	10/10～10/15	
試験地所在	山口市中尾		
区域面積	0.26ha		
竹の種類	モウソウ		
竹伐採本数	206本	169本	
伐採方法	皆伐	皆伐	
作業人員	3名	3名	
運搬距離	竹林～拠点:24km、拠点～ミツウロコ岩国発電所:99km		
変動要素	竹の侵入率（竹林の種類）	100%(純竹林)	100%(純竹林)
	竹林の傾斜度	24°(緩傾斜)	21°(緩傾斜)
	竹林から作業路の距離	15m※(短距離)	35m※(長距離)
	作業路から集積土場の距離	50m(短距離)	50m(短距離)

※同一林分内において、下線部の変動要素による作業工程への影響を調査した。

図表 5-14 実証試験立地



② 使用した機械とその配置

主な用途	機材種類	機種	台数
伐倒	チェンソー①	39～50cc クラス	1
集材・搬出	フォーク	0.09m3 クラス	1
枝払い・玉切	チェンソー②	39～50cc クラス	1
竹材運搬トラックへの積込み	(グラブ付) フォワード	イワフジ U-3CG ※付属のグラブにより、竹材のトラック積込用機械としてのみ使用（竹材搬出用としては未使用）	(1)
竹材運搬	箱ダンプトラック	2t 箱ダンプトラック	1

【機械の配置】



③ 作業手順

作業手順は以下のとおり

順序	工程	作業内容	作業員配置(3名)		
			A	B	C
1	伐倒	・チェンソーで竹を斜面下方向へ伐倒	○	△	
2	集材	・人力で竹を作業路まで集材	○	○	
3	搬出	・フォークで、集材された竹（全竹）の先端を掴み、そのまま集積土場まで牽引 ・搬出した竹を集積土場へ配列（15～20本程度）			○
4	枝払 ・玉切	・チェンソーで配列した竹の枝払い・玉切りを実施 ・枝葉付きの梢端部分は一箇所へ集積（廃棄）	△	○	△ 集積
5	竹材運搬	・グラブ付きフォワードで竹短幹をトラックへ積込み ・トラックが満載になったら、拠点（チップ工場）へ発車 ・拠点（チップ工場）で竹短幹を積み下ろし	○		△ 積込

※作業員Cは、フォークオペレーターとして従事

※各作業の進捗状況により、各作業員は前後工程を補助（「○」=主たる作業、「△」=補助作業）

④ 作業実施状況

a.1 サイクル目

- ・試験区域内に成立する全ての竹（206本）を伐倒し、集積拠点所（チップ工場）への運搬が完了するまでの工程調査を行った。
- ・作業路走行距離が約50mと近距離の場合は、フォークを使用した搬出作業が効率的なことが確認された。【写真 5-18】
- ・搬出した竹を集積土場に1列に並べることにより、玉切・枝払い作業の効率化を図った。【写真 5-19】
- ・伐倒した竹を根元から枝払い・玉切を行い、先端部分は2.8mの長さが確保できなくなる位置まで利用したため、枝払い工程に時間を要した。
※平均5番玉まで利用（先端部末口径：約4cm程度【写真 5-20】）
- ・フォーク1台で、竹の搬出、集積土場での竹の配列、竹短幹の集積作業などの作業に対応したため、機械稼働率は高いものの、フォーク作業がボトルネックとなり、その他工程（他作業員が行う伐倒、玉切・枝払い作業）に待ち時間が生じた。
- ・なお、調査時は台風の接近により風が強く、伐倒時に竹が押し戻されるなど、作業効率の低下が認められている。



写真 5-17 人力による集材



写真 5-18 フォークによる搬出



写真 5-19 玉切・枝払い作業



写真 5-20 竹短幹（先端部）

b.2 サイクル目

- ・試験区域内に成立する全ての竹（169本）を伐倒し、集積拠点所（チップ工場）への運搬が完了するまでの工程調査を行った。
- ・1サイクル目と比較し竹林から作業路までの集材距離が延長したことから、等高線上に竹を並べることにより、竹の滑落を容易にした。【写真 5-21、5-22】
※試験区画中央部から作業路までの距離：1サイクル目 15m→2サイクル目 35m
- ・1サイクル目では、枝払い作業に時間を要していたことから、梢端部分（5番玉等）の枝払いを行わず廃棄した。枝払い作業時間は短縮したが、廃棄される梢端部分及び枝葉が増加し、作業スペースの圧迫が見られた。【写真 5-23、5-24】
- ・なお、山林作業経験の少ない作業員が、竹の伐倒作業に慣れてきたため、1サイクル目と比較し、作業工程に改善が見られた。



写真 5-21 等高線上への竹の配置



写真 5-22 集材作業



写真 5-23 梢端部分の整理



写真 5-24 廃棄された梢端部分

⑤ 試験結果

第一回実証試験の結果は以下のとおり

- ・ 伐採本数と搬出重量

	1 サイクル目	2 サイクル目
伐採本数	206 本	169 本
搬出重量	7,340kg	5,710kg

⑥ 評価

- ・ 作業路集材距離が近い場合には、フォーク（グラップル）による搬出が有効なことが確認された。
- ・ 等高線上に竹を配置することにより、集材距離が長い場合にも集材が容易となる。
- ・ 玉切・枝払い作業では、複数本同時に実施することにより、作業効率が向上する。

5-5-6 試験実施状況（拠点チップ化）

拠点集積・チップ化システムにおけるチップ化工程については、飯森木材㈱森林バイオマスセンターで集中して実施していることから、チップ化工程のみの時間計測を行い生産コストの把握を行った。

なお、繊維が縦に長い竹のチップ化では、規格外チップ（長尺もの）が多く発生することから、当実証試験では切削式チップパー及び破碎式チップパーによる2回の破碎工程を実施し、発電施設の要求するチップ品質を確保している。

① 試験地の概要

場所：山口県宇部市大字藤河内 1291

名称：飯森木材㈱森林バイオマスセンター

② 使用した機械

工程	機材種類	機種	台数
一次破碎工程	竹投入用グラブ	0.16m ³ クラス	1
	切削式チップパー	SOCIO BC1000XLM 	1
二次破碎工程	一次チップ投入用ホイールローダ	CAT910G、CAT910H (バケット容量 1.3m ³) 	2
	破碎式チップパー	モバーク Model S1000 	1

③ 作業実施状況

a. 一次破碎工程

- ・ 作業員2名体制により、1名がグラップル操作、1名が補助作業（落下した竹短幹等の処理、チップー吹出口の調整など）を実施した。
- ・ 集積された竹短幹（約3m）をグラップルで掴み、チップー設置箇所まで運搬しチップーへ投入した。（一度にグラップルで掴む短幹本数は平均10本程度（6～14本）。グラップルの移動距離は2～5m程度。）
- ・ チップー吹き出し口から一次破碎チップを直接トラック荷台に投入した。
- ・ トラックが満載になるまでを1サイクルとして処理時間を計測した。また、一次破碎チップの重量はトラックスケールにて測量した。

図表 5-15 BC1000XLM による竹短幹の一次チップ化作業時間

番号	竹短幹処理本数 (本)	作業時間	チップ生産重量 (t)	チップ生産能力 (t/h)	備考
1	301	0:32:00	3.19	5.98	
2	126	0:16:00	1.39	5.21	
3	389	0:43:30	3.48	4.80	
計	816	1:31:30	8.06	5.29	



写真 5-25 竹の積載状況



写真 5-26 チップーへの投入



写真 5-27 一次破碎チップの計量



写真 5-28 一次破碎チップの集積

b. 二次破碎工程

- ・ 作業員 2 名体制とし、1 名が山積みされた一次破碎チップをホイールローダでチップパーに投入し、1 名が別のホイールローダにより、二次破碎チップを土場に山積みした。
- ・ チッパーの処理能力が一次破碎チップの投入速度に追いついておらず、ホイールローダがチップを積載したままチップパーの前で投入を待つ状態であった。(20～40 秒程度)
- ・ 一次破碎チップ重量は 80.6t であったが、後日計測した二次破碎チップ重量は、70.5t と約 13%の減少が見られた。減少の要因としては、二次破碎時のチップの飛散、乾燥等が考えられる。

図表 5-16 Model S1000 による二次チップ化作業時間

番号	一次破碎チップ重量 (t)	作業時間	二次破碎チップ重量 (t)	チップ破碎能力 (t/h)	備考
1	80.6	1:51:15	70.5	43.4	

※チップ破碎能力は1次破碎チップ重量より算出



写真 5-29 一次破碎チップの積込



写真 5-30 破碎式チッパーへの投入



写真 5-31 破碎式チッパーへの投入



写真 5-32 二次破碎チップの集積

5-5-7 データ分析結果

■ 収集データの内容

第一回実証試験において収集したデータは、下記の図表で示す通りである。

図表 5-17 収集データ（周南森林組合）

機械基礎データ

機械名	日額単価（円）	使用台数	所有区分	備考
チェンソー	400	3	所有機械	
フェラーバンチャ	12,416	0.95	レンタル	伐採・集材
フェラーバンチャ	12,416	0.05	レンタル	搬出
フォワーダ	9,600	1	レンタル	
グラップル	8,440	1	レンタル	
移動式チップパー	11,800	1	リース	
4t 深ダンプ	6,160	2	レンタル	最大積載量：3,100kg

実績データ（1 サイクル）

工程	作業時間（分）	使用機械	機械拘束日数	燃料使用量（ℓ）	備考
伐採・集材	739	チェンソー	1.54	6.7	混合油：193 円/ ℓ
		フェラーバンチャ		1.05	2.6
搬出	204	グラップル	0.96	8	
		フォワーダ	1.05	10	
		フェラーバンチャ	1.01	2	
チップ化	400	移動式チップパー	1.04	18	
チップ運搬	212	4t 深ダンプ	1.51	83	
その他	462				

実績データ（2 サイクル）

工程	作業時間（分）	使用機械	機械拘束日数	燃料使用量（ℓ）	備考
伐採・集材	933	チェンソー	1.92	1.50	混合油：193 円/ ℓ
		フェラーバンチャ		1.33	0.80
搬出	451	グラップル	1.22	29.00	
		フォワーダ	1.33	20.00	
		フェラーバンチャ	1.22	2.60	
チップ化	529	移動式チップパー	1.32	26.00	
チップ運搬	285	4t 深ダンプ	2.00	75.50	
その他	313				

図表 5-18 収集データ（カルスト森林組合）

機械基礎データ

機械名	日額単価（円）	使用台数	所有区分	備考
チェンソー	400	1	所有機械	
グラブプル	8,440	0.6	所有機械	伐採・集材工程
フォワーダ	9,600	1	レンタル	
グラブプル	8,440	0.4	所有機械	搬出
グラブプル	8,440	1	レンタル	竹材運搬
4t 深ダンプ	6,160	1	レンタル	最大積載量：3,550kg
チップパー	14,300	1		一次チップ化
グラブプル	8,440	1	レンタル	一次チップ化
チップパー	75,270	1		二次チップ化
ホイールローダー	20,480	2		二次チップ化
15tトラック	31,180	1		最大積載量：11,000kg
ホイールローダー	20,480	1		チップ運搬

実績データ（1 サイクル）

工程	作業時間（分）	使用機械	機械拘束日数	燃料使用量（ℓ）	備考
伐採・集材	1,345	チェンソー	3.72	3.00	混合油：193 円/ ℓ
		グラブプル		1.87	11.06
搬出	472	フォワーダ	1.14	10.00	
		グラブプル	1.87	6.94	
竹材運搬	396	グラブプル	1.45	2.00	
		4t 深ダンプ	1.61	45.00	
一次チップ化	65	チップパー	0.15	11.06	
		グラブプル	0.15	8.08	
二次チップ化	8	チップパー	0.02	5.95	
		ホイールローダー	0.02	1.91	
チップ運搬	93	15tトラック	0.22	25.77	
		ホイールローダー	0.02	1.91	
その他	696				

実績データ (2 サイクル)

工程	作業時間 (分)	使用機械	機械拘束日数	燃料使用量 (ℓ)	備考
伐採・集材	2,607	チェーンソー	2.36	6.20	混合油 : 193 円/ℓ
				3.00	オイル : 342 円/ℓ
		フェラーバンチャ	2.16	39.00	
搬出	371	フォワーダ	2.51	25.00	
		グラブブル	2.51	15.61	
竹材運搬	366	グラブブル	2.63	15.39	
		4t 深ダンプ	2.63	74.00	
一次チップ化	119	チップパー	0.28	20.35	
		グラブブル	0.28	14.87	
二次チップ化	29	チップパー	0.03	10.96	
		ホイールローダー	0.03	3.52	
チップ運搬	171	15tトラック	0.41	47.44	
		ホイールローダー	0.03	3.52	
その他	936				

図表 5-19 収集データ（飯森木材株）

機械基礎データ

機械名	日額単価（円）	使用台数	所有区分	備考
チェンソー	400	2	所有機械	
グラブプル	5,500	1	所有機械	伐採・集材
グラブプル付フォワーダ	10,000	0.86	所有機械	搬出
グラブプル付フォワーダ	10,000	0.14	所有機械	竹材運搬
2t 深ダンプ	3,800	1	レンタル	最大積載量：1,600kg
チップパー	14,300	1		一次チップ化
グラブプル	8,440	1	レンタル	一次チップ化
チップパー	75,270	1		二次チップ化
ホイルローダー	20,480	2		二次チップ化
15tトラック	31,180	1		最大積載量：11,000kg
ホイルローダー	20,480	1		チップ運搬

実績データ（1 サイクル）

工程	作業時間（分）	使用機械	機械拘束日数	燃料使用量（ℓ）	備考
伐採・集材	2,291	チェンソー	4.34	5.50	混合油：193 円/ ℓ
		チェンソー		3.00	オイル：342 円/ ℓ
		グラブプル	2.40	40.00	
搬出	121	グラブプル付フォワーダ	2.08	0.77	
竹材運搬	442	グラブプル付フォワーダ	2.08	0.13	
		2t 深ダンプ	1.96	43.19	
一次チップ化	83	チップパー	0.20	14.21	
		グラブプル	0.20	10.39	
二次チップ化	20	チップパー	0.02	7.65	
		ホイルローダー	0.02	2.46	
チップ運搬	119	15tトラック	0.28	33.13	
		ホイルローダー	0.02	2.46	
その他	634				

実績データ (2 サイクル)

工程	作業時間 (分)	使用機械	機械拘束日数	燃料使用量 (ℓ)	備考
伐採・集材	1,395	チェンソー	2.64	5.20	混合油 : 193 円/ℓ
				2.50	オイル : 342 円/ℓ
		グラブブル	1.32	38.00	
搬出	99	グラブブル付フォワーダ	1.56	1.44	
竹材運搬	255	グラブブル付フォワーダ	1.56	0.56	
		2t 深ダンプ	0.79	26.36	
一次チップ化	57	チップパー	0.14	9.80	
		グラブブル	0.14	7.16	
二次チップ化	14	チップパー	0.02	5.28	
		ホイールローダー	0.02	1.70	
チップ運搬	82	15tトラック	0.20	22.84	
		ホイールローダー	0.02	1.70	
その他	621				

■分析結果

設定した算出方法と収集したデータに基づきデータ分析を行い、tあたりコストを算出した。各事業体・各サイクルの結果は、下記の図表で示す通りである。

図表 5-20 データ分析結果（周南森林組合）

工程別 tあたりコスト（1 サイクル）

■ コスト

	チップ運搬量 (t)	伐採本数(本)	1本あたりチップ 化重量(kg)	作業人数(人)
周南森林組合	6.51	219	29.73	4

作業工程	作業時間(分)	人件費(円)	機械経費(円)	燃料費(円)	計(円)	tあたり単価(円)	工程単価比率
伐採・集材	739	21,120	10,662	5,653	37,435	5,750	29.0%
搬出	204	5,816	18,383	2,480	26,679	4,098	20.7%
竹材運搬	0	0	0	0	0	0	0.0%
チップ化	400	11,436	12,223	2,232	25,891	3,977	20.1%
チップ運搬	212	6,070	9,326	10,292	25,689	3,946	19.9%
その他	462	13,194	0	0	13,194	2,027	10.2%
合計	2,017	57,636	50,595	20,657	128,888	19,799	100.0%

【補正時間】

集計ツール操作ミス：202分

工程別 tあたりコスト（2 サイクル）

■ コスト

	チップ運搬量 (t)	伐採本数(本)	1本あたりチップ 化重量(kg)	作業人数(人)
周南森林組合	8.86	254	34.88	4

作業工程	作業時間(分)	人件費(円)	機械経費(円)	燃料費(円)	計(円)	tあたり単価(円)	工程単価比率
伐採・集材	933	26,669	16,497	6,688	49,854	5,627	30.3%
搬出	451	12,877	22,747	6,398	42,022	4,743	25.5%
竹材運搬	0	0	0	0	0	0	0.0%
チップ化	529	15,119	15,575	3,224	33,917	3,828	20.6%
チップ運搬	285	8,140	12,323	9,362	29,824	3,366	18.1%
その他	313	8,931	0	0	8,931	1,008	5.4%
合計	2,511	71,735	67,141	25,673	164,549	18,572	100.0%

【補正時間】

集計ツール操作ミス：49分

図表 5-21 データ分析結果（カルスト森林組合）

工程別 t あたりコスト（1 サイクル）

■ コスト

	竹材運搬量 (t)	伐採本数(本)	1本あたりチップ 化重量(kg)	作業人数
カルスト森林組合	5.71	231	24.72	4

作業工程	作業時間(分)	人件費(円)	機械経費(円)	燃料費(円)	計 (円)	tあたり単価(円)	工程単価比率
伐採・集材	1,345	38,416	10,973	2,548	51,937	9,096	30.8%
搬出	472	13,473	17,249	2,101	32,823	5,748	19.5%
竹材運搬	396	11,315	22,191	5,828	39,334	6,889	23.3%
一次チップ化	65	1,852	3,510	2,373	7,735	1,355	4.6%
二次チップ化	8	451	2,182	976	3,608	632	2.1%
チップ運搬	93	2,654	7,276	3,433	13,363	2,340	7.9%
その他	696	19,873	0	0	19,873	3,480	11.8%
合計	3,073	88,035	63,380	17,258	168,673	29,540	100.0%

【補正時間】

集計ツール操作ミス：6分

試験関係外作業時間：150分

工程別 t あたりコスト（2 サイクル）

■ コスト

	竹材運搬量 (t)	伐採本数(本)	1本あたりチップ 化重量(kg)	作業人数
カルスト森林組合	10.51	424	24.79	4

作業工程	作業時間(分)	人件費(円)	機械経費(円)	燃料費(円)	計 (円)	tあたり単価(円)	工程単価比率
伐採・集材	2,607	74,486	20,910	7,057	102,453	9,748	37.3%
搬出	371	10,600	35,719	5,035	51,354	4,886	18.7%
竹材運搬	366	10,457	27,260	11,085	48,802	4,643	17.8%
一次チップ化	119	3,409	6,460	4,368	14,237	1,355	5.2%
二次チップ化	29	829	4,017	1,796	6,642	632	2.4%
チップ運搬	171	4,885	13,392	6,319	24,596	2,340	8.9%
その他	936	26,741	0	0	26,741	2,544	9.7%
合計	4,599	131,408	107,758	35,659	274,825	26,149	100.0%

【補正時間】なし

図表 5-22 データ分析結果（飯森木材㈱）

工程別 t あたりコスト（1 サイクル）

■ コスト

	竹材運搬量 (t)	伐採本数(本)	1本あたりチップ 化重量(kg)	作業人数
飯森木材	7.34	206	35.63	3

作業工程	作業時間(分)	人件費(円)	機械経費(円)	燃料費(円)	計(円)	tあたり単価(円)	工程単価比率
伐採・集材	2,291	65,449	14,927	7,046	87,422	11,910	46.6%
搬出	121	3,458	17,845	95	21,399	2,915	11.4%
竹材運搬	442	12,622	10,365	5,372	28,358	3,864	15.1%
一次チップ化	83	2,381	4,512	3,050	9,943	1,355	5.3%
二次チップ化	20	579	2,805	1,254	4,638	632	2.5%
チップ運搬	119	3,412	9,353	4,413	17,178	2,340	9.2%
その他	634	18,585	0	0	18,585	2,532	9.9%
合計	3,710	106,485	59,806	21,231	187,522	25,548	100.0%

【補正時間】

集計ツール操作ミス：53 分

工程別 t あたりコスト（2 サイクル）

■ コスト

	竹材運搬量 (t)	伐採本数(本)	1本あたりチップ 化重量(kg)	作業人数
周南森林組合	5.06	169	29.94	3

作業工程	作業時間(分)	人件費(円)	機械経費(円)	燃料費(円)	計(円)	tあたり単価(円)	工程単価比率
伐採・集材	1,395	39,844	8,308	6,569	54,721	10,814	43.2%
搬出	99	5,021	11,218	178	16,418	3,245	13.0%
竹材運搬	255	7,286	7,375	3,338	18,000	3,557	14.2%
一次チップ化	57	1,641	3,110	2,103	6,854	1,355	5.4%
二次チップ化	14	399	1,934	865	3,198	632	2.5%
チップ運搬	82	2,352	6,448	3,042	11,842	2,340	9.4%
その他	621	15,530	0	0	15,530	3,069	12.3%
合計	2,523	72,074	38,393	16,095	126,562	25,012	100.0%

【補正時間】

集計ツール操作ミス：41 分

図表 5-23 事業体別・工程別生産性

		オンサイト・チップ化システム	拠点集積・チップ化システム	
		周南森林組合	カルスト森林組合	飯森木材
1 サイクル	伐採			
	集材			
	玉切	0.43	0.25	0.19
	枝払い			
	搬出	1.91	0.73	3.64
	竹材運搬	-	0.87	0.10
	チップ化	0.98	一次チップ：5.29	二次チップ：43.40
チップ運搬	1.84	3.69	3.69	
2 サイクル	伐採			
	集材			
	玉切	0.57	0.24	0.22
	枝払い			
	搬出	1.18	1.48	3.07
	竹材運搬	-	1.72	1.19
	チップ化	1.00	一次チップ：5.29	二次チップ：43.40
チップ運搬	1.87	3.69	3.69	

5-5-8 実証試験結果

下記の図表 5-35 で示す通り、第一回実証試験では、各システムの t 当たりコストが 18,000 円から 29,000 円台である事が判明した。システム別の経済性評価としては、作業工程数が少なく、竹 1 本当たりの収量が高い、竹林オンサイト・チップ化システムに優位性がみられたが、t 当たりコスト目標値に対し約 1.9 倍と高コストである結果となった。

工程別評価としては、伐採・集材、搬出といった竹林内作業に関わるコストが高く、各システム共通として全体作業コストの半分以上の割合を占めていることが明らかとなった。

なお、本試験にて計測対象外とした「その他」作業についても各システム共に 10%以上の割合を占めている事が判明した。

また、下記の図表 5-25 で示す通り、本実証試験での生産性への影響分析対象とした 4 つの変動要素の評価としては、「竹林の種類」と「作業路運搬距離」における生産性への影響が比較的大きい事が確認された。

図表 5-24 一回実証試験コスト明細

作業工程	オンサイト・チップ化システム				拠点集積・チップ化システム								高コスト比率
	周南森林組合				カルスト森林組合				飯森木材				
	1サイクル目		2サイクル目		1サイクル目		2サイクル目		1サイクル目		2サイクル目		
	傾斜：高 搬出：短		傾斜：緩 搬出：長		種類：侵入竹林		種類：純竹林		集材：短		集材：長		
コスト (円)	比率	コスト (円)	比率	コスト (円)	比率	コスト (円)	比率	コスト (円)	比率	コスト (円)	比率	コスト (円)	比率
伐採・集材	5,751	29%	5,627	30%	9,096	31%	9,748	37%	11,910	47%	10,814	43%	
搬出	4,098	21%	4,743	26%	5,748	19%	4,886	19%	2,915	11%	3,245	13%	
竹材運搬	0	0%	0	0%	6,889	23%	4,643	18%	3,864	15%	3,557	14%	
チップ化	3,977	20%	3,828	21%	1,987	7%	1,987	8%	1,987	8%	1,987	8%	
チップ運搬	3,946	20%	3,366	18%	2,340	8%	2,340	9%	2,340	9%	2,340	9%	
その他	2,027	10%	1,008	5%	3,480	12%	2,544	10%	2,532	10%	3,069	12%	
合計	19,798	100%	18,572	100%	29,540	100%	26,149	100%	25,548	100%	25,012	100%	

図表 5-25 第一回実証試験変動要素によるコスト差

変動要素	傾斜 (周南森林組合)		竹侵入率 (カルスト森林組合)		作業道運搬距離 (周南森林組合)		竹林～作業道までの距離 (飯森木材側)	
	急傾斜 (40°)	緩傾斜 (28°)	純竹林 (100%)	侵入竹林 (74%)	短距離 (150m)	長距離 (280m)	短距離 (0~20m)	長距離 (20~30m)
関連工程のt当たりコストの比較 (円/t)	5,750	5,627	9,096	9,748	4,098	4,743	11,910	10,814
	伐採・集材工程		伐採・集材・玉切工程		搬出工程		伐採・集材・玉切工程	
結果	28°~40°の範囲であれば、集材コストの差はない		竹侵入率が高い(純竹林)方が低コストとなった。		短距離である方が低コストとなった。		20~30mの距離では、集材コストの差は見られなかった。	
要因等	急傾斜の場合、足場が悪く作業性が低下するが、伐倒した竹が自然落下するため集材作業が容易となる。安全が確保される場合には急傾斜地での作業も有効。		純竹林の場合、掛かり木の発生がなく、作業性が向上。		短距離では、運搬機械の総運転時間が短縮されるため、機械経費・人件費が減少する。しかし、結果では、待ち時間の発生等により、顕著な差は見られなかった。		当初の予想に反し、長距離の方が低コストとなったが、これは作業方法の改善・作業員の作業習熟度の向上による影響が大きい。	

5-5-9 課題と対応策

第一回実証試験で確認された課題と、それに対する対応策は下記で示す通りである。

■竹林内作業の非効率さ

竹林内作業である伐採・集材工程と搬出工程の各コストの合計が全体の 50%超と高比率であることが明らかになった。これを受け、実証試験での作業観察結果を確認したところ、特に拠点集積・チップ化システムにおいて、作業場所の移動や手待ちが発生している課題が確認された。

しかし、第一回実証試験では、竹林内作業を「伐採・集材」「搬出」の 2 つと荒いメッシュで工程定義し、また、GPS-Punch!へ記録する工程もそれに準じていたため、分析に十分な情報を収集することが出来なかった。(第二回以降、工程を再定義している。)

課題に対する原因の十分な立証が不可能であったため、実証試験中に報告された定性情報を基に課題の原因を仮説に基づき表した。第一に、作業が各作業員に固定化されており人員配置に流動性がなく作業単位が細かくなり、結果作業間にムダな移動が発生している。

第二に、斜面上部で作業を実施している間は、安全上の問題から斜面下部での作業ができないため、前工程の作業完了を待つ手待ちが発生している。この 2 点を原因とし施策を検討した。

具体的な施策として、作業の集約によりこれまで場所を移動して別作業として実施していた作業を、同じ場所で同一作業として実施する作業プロセスへ変更し、移動を削減する。

加えて、作業の同時化により、前工程の完了を待つことなく次工程の作業を開始できる作業プロセスを可能にするために、作業安全規定に基づき実行可能な作業体制を構築する事で手待ちを削減する。

■林内作業車・フォワーダの稼働率の低さ

竹林内作業における搬出工程の機械経費が他工程と比較して高いという結果を受け、作業実績データを分析した結果、この工程の作業時間は他の工程と比較しても長く、且つ林内作業車等の機械経費は竹林内作業の中で最も高い一方で、稼働率が低いという課題が確認された。

この原因としては、林内作業車等で伐採場所から集積土場まで運搬する竹が伐採されるのを待つことが多いため、遊休時間が多く発生していることが挙げられた。

この課題に対し、前工程である「集材」工程で使用するグラップルを流用し、グラップルで伐採場所から集積土場まで竹を牽引することで、林内作業車等の機械経費を無くし(林内作業車等を用いない)、機械経費を削減する。

■枝払い作業のムダ

拠点集積・チップ化システムでの、竹林内作業である伐採・集材工程においてフォワーダでの運搬効率を上げるために竹の余分な梢端部分・枝葉部分を払い落とす「枝払い」が行なわれていた。この枝払いについても、前に述べた通り、工程定義のメッシュが粗く枝払い作業の分析に十分な情報を収集することが出来なかった。

しかし、オンサイト・チップ化システムに比べ、拠点集積・チップ化システムの t あたりコストが高く、且つ竹林内作業比率が高い事実から、この枝払い作業そのものが竹林内作業コストにおける課題の 1 つであると判断した。

この課題に対し、これまでは廃棄してきた枝葉をバンドリングによりチップ原料として有効活用する事で、歩留まりを上げ、チップ化重量を増加させる事でtあたりコストを削減する。

【参考】バンドリングについて

拠点集積・チップ化システムでは、枝払い作業に時間を要するとともに、放置された梢端・枝葉部分が、作業スペースを圧迫していたことから、第二回実証試験では、特殊な機械を使用しないバンドリングを実施した。

バンドリングの手法等については、下記の図表 5-26 で示す通りである。

図表 5-26 バンドリングの概要

バンドリングとは	グラブによるバンドリング作業手順	
かさ張る枝葉・梢端部分を効率的に運搬するため、圧縮・結束し、容積を減少させること	<ol style="list-style-type: none"> ①竹の梢端部分を配列 ②①をグラブで掴み圧縮 ③グラブで掴んだまま麻縄で結束 ④チェーンソーでトラックの荷台の長さに合わせて玉切 	
期待される効果	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(結束作業)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(チェーンソーによる玉切)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	
<ol style="list-style-type: none"> 1.歩留まり率が向上し、重量が増加する (竹1本当りの収量が約2割向上) 2.枝払い作業が削減される 3.積載率が向上する 4.枝葉の廃棄処分の手間が削減される 		

■バンドル形状データ

区分	重量 (kg)	形状					結束 箇所
		長さ (cm)	元口方向		末口方向		
			幅 (cm)	高さ (cm)	幅 (cm)	高さ (cm)	
1番玉	83.0	300	50	52	54	53	3箇所
2番玉	62.5	300	43	40	48	45	4箇所
3番玉	24.0	-	-	-	-	-	-

※地上高 6m 以上の梢端部分 22 本をバンドリングしたものの

■使用した結束用麻縄

倒木起し用麻縄 (強度 : 400~1190N)



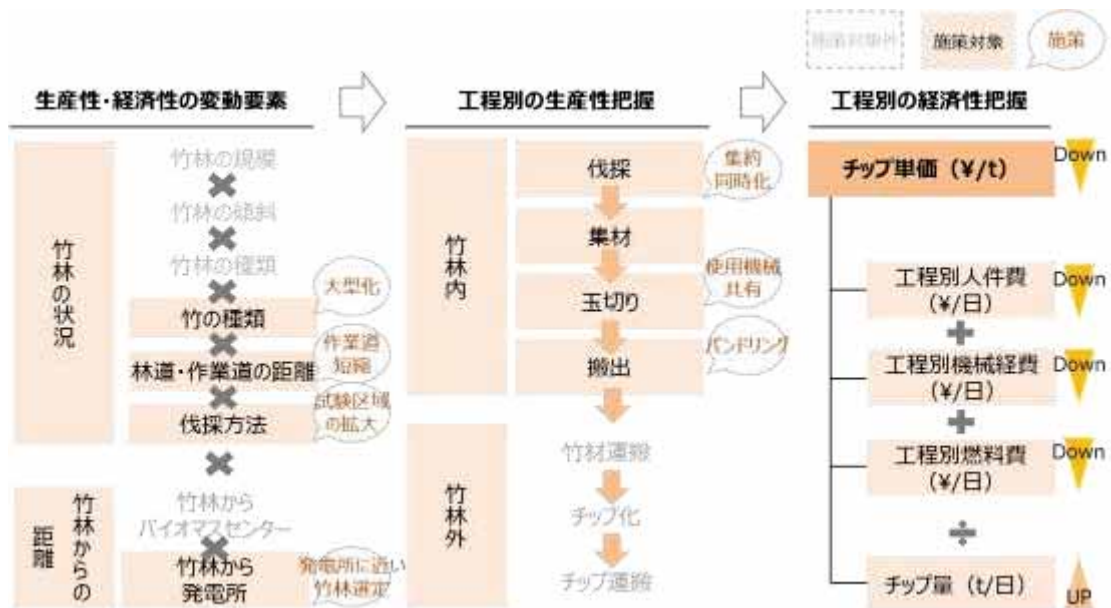
5-6 第二回実証試験内容

5-6-1 試験コンセプト

第二回実証試験では、プロセス改善の第1弾として第一回実証試験の結果よりコスト比率の高い事が明らかになった竹林内作業の生産性向上によるコスト削減を目的とした。

竹林の環境条件面と作業員や機械配置といった作業構成面による生産性低下が判明したことを踏まえ、本試験では、生産性改善効果に期待が持てる「竹種類の大型化」、「竹林内運搬距離の短縮化」、「試験区域の拡大」といった試験環境改善と併せ、「作業の集約と同時化」、「バンドリングによる枝払い作業の削減・歩留まり向上」、「使用機械の共有化」の作業構成改善について生産性を計測し効果分析することとした。

図表 5-27 第二回実証試験のスケープ



5-6-2 実施施策

第二回実証試験において実施する施策は下記の通りである。

■作業構成変更

第一回実証試験にて、前工程の作業を待つ手待ちやムダな作業場所の移動を受け、

- ① 「作業の集約」分断されていた作業プロセスを纏める
- ② 「作業の排除」生産活動に必要な作業を減らす
- ③ 「作業の同時化」伐採エリアの区画整備により伐採・集材・玉切を同時に行う
- ④ 作業と人員を固定化せず、作業順や作業規模に応じた人員を流動的に配置するという施策により作業効率の向上を図った。

■作業方法改善

第一回実証試験にて、竹林内作業において工程ごとに違う機械を使用しているため、各機械の稼働率が低いことを受け、

- ① 作業工程毎の使用機械を連続する工程間で共有する
 - ・集材で使用しているグラップルを搬出に適用（オンサイト）
 - ・集材・搬出で使用しているグラップルをバンドリングに適用（拠点集積）
- という施策により、機械単価の削減を図った。

■重量増加

第一回実証試験にて、枝払いによる工程数の発生と、作業スペースへの影響を受け、

- ① バンドリングの実施により、これまで廃棄していた枝葉部分もチップの資源とすることで、歩留まりを向上させチップ重量の増加を図った。

■環境改善

伐採場所の選定時に、より効率的な作業を実施するために、

- ① 大型の竹の割合が高い竹林を選定する
- という施策により、同じコストで伐採する重量を増加させ生産性の向上を図ると同時に、
- ② 発電施設等から遠い竹林ではなく、近い竹林で試験を実施する
- という施策により、竹材運搬の効率化と燃料費の削減を図った（オンサイト）。

5-6-1 試験地の概要

第二回実証試験では、3事業体でそれぞれの試験地を設定した。各システム・各事業体に選定した場所の詳細は、下記の図表 5-28 で示す通りある。

図表 5-28 第二回実証試験地の詳細

システム区分	竹林オンサイト・チップ化システム	拠点集積・チップ化システム	
事業体	周南森林組合	カルスト森林組合	飯森木材(株)
試験期間	12/8~10	12/15~25	1/16~19
試験地所在	周南市大字小松原	山陽小野田市大字厚狭	宇部市大字奥万倉
竹の種類	モウソウ	モウソウ	モウソウ
伐採方法	皆伐	皆伐	帯状間伐（伐採幅 6m）
竹林の種類	侵入竹林	侵入竹林	純竹林
竹林の傾斜度	緩	緩	緩
運搬距離	竹林～ミツウヅ：31km	竹林～拠点：27km 拠点～ミツウヅ：109km	竹林～拠点：23km 拠点～ミツウヅ：109km

5-6-2 試験実施状況（竹林オンサイト・チップ化システム）

周南森林組合が実施する竹林オンサイト・チップ化システムでは、第一回実証試験からの作業システムの改善点として、搬出工程で使用する林内作業車を削減し、フェラーバンチャで竹の搬出を行うこととした。また、竹林の条件がコストに与える影響を考慮し、大型の竹が生育する試験地を選定し工程調査を行った。

① 試験地の状況と改善策

事業体	周南森林組合	【主な改善策】 ① 機械稼働率向上 ※林内作業車を削減し、フェラーバンチャで竹の搬出を実施 ② チップ運搬距離の短縮 第一回：55km 第二回：31km ③ 竹の大型化 第一回：38kg/本 第二回：50kg/本
試験期間	12/8～12/10	
試験地所在	周南市大字小松原字南ヶ迫	
区域面積	0.60ha	
竹の種類	モウソウ	
竹伐採本数	345本	
伐採方法	皆伐	
作業人数	4名	
竹の侵入率(竹林の種類)	94%(侵入竹林)	
竹林の傾斜度	25°	
竹林から作業路距離	0m	
作業路から集積場所距離	32m	

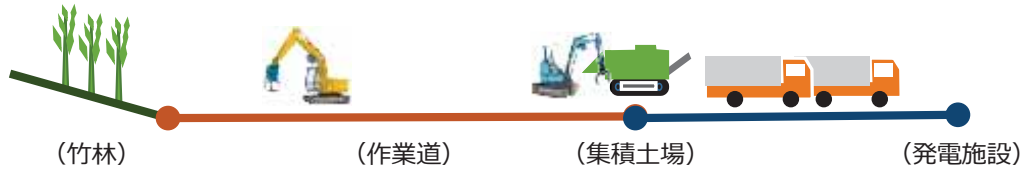
図表 5-29 実証試験立地



② 使用した機械とその配置

主な用途	機材種類	機種	台数
伐倒	チェーンソー	39～50cc 程度	3
集材・搬出	フェラーバンチャ	フェラーバンチャがウルホク MSE25FGZX	1
チップパーへの竹投入	グラブブル	0.14m3 クラス	1
チップ化	移動式チップパー	大橋 GS400D	1
チップ運搬	箱ダンプトラック	4t 箱ダンプトラック	2

【機械の配置】



③ 作業手順

作業手順は以下のとおり

順序	工程	作業内容	作業員配置(4名)			
			A	B	C	D
1	伐倒	・チェーンソーで竹を斜面下方向へ伐倒し、人力で作業路まで集材	○			△
2	集材	・フェラーバンチャで集材し、装備するカッターで2分割程度に採材（枝払い等は実施しない）		○		
3	搬出	・フェラーバンチャで2分割された竹を掴み作業土場まで搬出		○		
4	チップ化	・人力で枝葉付きの竹をチップパーへ投入（梢端部もチップ化） ・チップパーからトラック荷台へチップを排出			○	○
5	チップ運搬	・チップが満載になったら発電施設へ発車 ・発電施設で計量後、チップ積み下ろし				

※作業員Bは、フェラーバンチャのオペレーターとして従事

※作業員C、Dはチップ化工程とチップ運搬工程を交代で実施

※各作業の進捗状況により、各作業員は前後工程を補助（「○」=主たる作業、「△」=補助作業）

④ 作業実施状況

- ・ 試験区域内に成立する竹 345 本（生竹のみ）を伐倒し、チップ化後、ミツウロコ岩国発電所への竹チップ運搬が完了するまでの工程調査を行った。
- ・ 純竹林での皆伐であり、残存木などの障害物も少なく効率的な作業ができた。【写真 5-33、5-34】
- ・ 試験区画が広く、3 人同時の伐倒作業が可能となったため、竹の伐倒を連続して実施することにより、345 本の伐倒が約半日で完了した。
- ・ フェラーバンチャによる竹の搬出量は、一回当り全竹で 5～6 本程度。【写真 5-36】
- ・ 竹チップのトラックへの投入は、ベルトコンベアを使用した。【写真 5-38】（第一回実証試験では段差を利用しチップャーから直接投入した。）
- ・ 使用した移動式チップャーの処理能力に限界があり、チップ化工程がボトルネックとなったが、その他工程は待ち時間も少なく効率的な作業ができた。



写真 5-33 チェンソー伐倒



写真 5-34 伐倒状況



写真 5-35 フェラーバンチャによる集材



写真 5-36 フェラーバンチャによる搬出



写真 5-37 チップ化作業



写真 5-38 ベルトコンベアによる積込

⑤ 試験結果

第二回実証試験の結果は以下のとおり

・ 伐採本数と搬出重量

	1 サイクル
伐採本数	345 本
搬出重量	17,520kg

⑥ 評価

- ・ 機械（林内作業車）の削減により、機械経費が低減した。
- ・ チップ運搬距離の短縮により、運搬コストが低減した。
- ・ 竹の大型化により、単位あたり収量が増加した。

5-6-3 試験実施状況（拠点集積・チップ化システム（長距離搬出型））

カルスト森林組合が実施する拠点集積・チップ化システム（長距離搬出型）では、第一回実証試験からの作業システムの改善点として、バンドリングを実施するとともに、フォワーダ稼働率向上を目的に、竹林内作業にあたる作業員を増員し、伐倒～玉切工程等の強化を図った。

また、竹林内作業の同時化を可能とするため作業エリア（試験区域）を拡大し工程調査を行った。

① 試験地の状況と改善策

事業者	カルスト森林組合		【主な改善策】 ① バンドリングの実施 →枝払いの削減 →重量の増加 ② 作業員数の増 第一回：4名 第二回：5名 ※機械稼働率向上を目的としたもの ③ 作業集約化 作業エリア拡大による同一作業の同時化
試験期間	12/15～12/25		
試験地所在	山陽小野田市大字厚狭字立石		
区域面積	1.20ha		
竹の種類	モウソウ		
竹伐採本数	345本		
伐採方法	皆伐		
作業人数	5名		
竹の侵入率(竹林の種類)	80～100%(侵入竹林)		
竹林の傾斜度	25°		
竹林から作業路距離	0～30m		
作業路から集積場所距離	500m		
使用機械	チェンソー	5台	
	フェラーパンチャ	-	
	フォワーダ	1台	
	グラブブル	2台	
	移動式チップパー	-	
	箱ダンプトラック	1台	

図表 5-30 実証試験立地



② 使用した機械とその配置

主な用途	機材種類	機種	台数
伐倒	チェーンソー	39～50cc 程度	4
集材・積込	グラブ①	0.16m ³ クラス	1
搬出	グラブ ^o ル付きフォワーダ	UOTANI AK33	1
竹材運搬トラックへの積込み	グラブ②	0.14m ³ クラス	1
竹材運搬	箱ダンプトラック	4t 箱ダンプトラック	1

【機械の配置】



③ 作業手順

作業手順は以下のとおり

順序	工程	作業内容	作業員配置(5名)				
			A	B	C	D	E
1	伐倒	・チェーンソーで竹を斜面下方向へ伐倒	○	△		△	
2	集材	・人力又はグラブで竹を作業路まで集材	○	○	○	△	△
3	玉切	・グラブで作業路上に竹を配列 ・チェーンソーで玉切を実施	○	○		△	△
4	バンドリング	・グラブ及び人力でバンドリングを実施	△	○	○		△
5	搬出	・グラブで、フォワーダに竹短幹及びバンドルを積込み ・フォワーダで竹短幹のみを作業土場まで搬出 ・作業土場に設置するグラブで竹短幹等を林内作業車から積み下ろし			○ 積 込	○	
6	竹材運搬	・グラブで竹短幹等をトラックへ積込み ・トラックが満載になったら拠点(チップ工場)へ発車 ・チップ工場に竹短幹等を積み下ろし					○

※作業員 C は、グラブのオペレーターとして従事

※作業員 D は、フォワーダのオペレーターとして従事

※各作業の進捗状況により、各作業員は前後工程を補助 (「○」=主たる作業、「△」=補助作業)

④ 作業実施状況

- ・ 試験区域内に成立する竹 345 本（生竹のみ）を伐倒し、集積拠点（チップ工場）への運搬が完了するまでの工程調査を行った。
- ・ 伐倒竹の集材はグラップルで実施した。【写真 5-40】（作業路から距離がある竹の集材については、人力で作業路上まで滑落させた。）
- ・ 玉切は全て作業路上で実施し、チェーンソーにより 3m に採材した。梢端部はバンドリングを実施し 3m に玉切り、3m 未満の先端部分は作業路脇に廃棄した。【写真 5-41、5-42】
- ・ フォワーダやトラックへの積込は、荷台下部へ竹短幹を先に積載し、荷台上部にバンドルを積載した。それにより短幹の落下を防止する効果があった。
- ・ なお、フォワーダ稼働率の向上を目的に、伐倒から玉切・バンドリング工程にあたる作業員を 1 名増員したが、グラップルの稼働中は他の作業員がグラップル旋回範囲への立入りができないことなどから、全体の待ち時間が増大する結果となった。



写真 5-39 チェンソー伐倒



写真 5-40 グラップル集材



写真 5-41 玉切



写真 5-42 バンドリング作業



写真 5-43 フォワーダ積込



写真 5-44 トラック積込

⑤ 試験結果

第二回実証試験の結果は以下のとおり

- ・ 伐採本数と搬出重量

	1 サイクル
伐採本数	345 本
搬出重量	12,760kg

⑥ 評価

- ・ バンドリングの実施により、竹 1 本当たり収量が増加した。(26kg/本→37kg/本)
- ・ 作業員数の増加を試みたが、グラップル旋回範囲内の立入り禁止など作業スペースの問題から、全体の「待ち時間」が増加した。

5-6-4 試験実施状況（拠点集積・チップ化システム（短距離搬出型））

飯森木材㈱が実施する拠点集積・チップ化システム（短距離搬出型）では、第一回実証試験からの作業システムの改善点として、バンドリングを実施するとともに、使用機械の変更を行った。また、トラックの侵入が可能な作業路を開設することにより搬出距離の短縮を図った。

なお、当試験地では、竹林の循環利用を目的とした伐採方法として、帯状間伐を選択し、工程調査を行った。

① 試験地の状況と改善策

事業体	飯森木材(株)		【主な改善策】
試験期間	1/16～1/19		
試験地所在	宇部市大字奥万倉字黒五郎		① バンドリングの実施
区域面積	1.00ha		→枝払いの削減
竹の種類	モウソウ		→重量の増加
竹伐採本数	151本		
伐採方法	帯状間伐（伐採幅 6m）		② 機械の変更
作業人数	3名		第一回：フォーク
竹の侵入率(竹林の種類)	100%(純竹林)		第二回：グラブ
竹林の傾斜度	22°		
竹林から作業路距離	0m		③ トラックの林内乗り入れ
作業路から集積場所距離	0m		→搬出距離の短縮
使用機械	チェンソー	2台	
	フェラーバンチャ	－	
	フォワーダ	－	
	グラブ	1台	
	移動式チップパー	－	
	箱ダンプトラック	1台	

図表 5-31 実証試験立地



② 使用した機械とその配置

主な用途	機材種類	機種	台数
伐倒	チェーンソー	39～50cc 程度	2
集材・搬出・積込	グラップル①	0.16m3 クラス	1
竹材運搬	箱ダンプトラック	4t 箱ダンプトラック	1

■ 第一回実証試験からの機種変更

飯森木材(株)の第一回実証試験では、集材運搬用機械としてフォークを使用していたが、扱いが容易なグラップルに変更した。



フォークヘッド



グラップルヘッド

【機械の配置】



③ 作業手順

作業手順は以下のとおり

順序	工程	作業内容	作業員配置(3名)		
			A	B	C
1	伐倒	・チェーンソーで竹を斜面下方向へ伐倒	○		△
2	集材	・人力で竹を作業路まで集材	○		△
3	搬出	・グラップルで竹先端を掴み集積場所へ搬出		○	
3	玉切	・グラップルで作業路上に竹を配列 ・チェーンソーで玉切を実施	○		△
4	バンドリング	・グラップル及び人力でバンドリングを実施	○	○	△
6	竹材運搬	・グラップルで竹短幹等をトラックへ積込み ・トラックが満載になったら拠点(チップ工場)へ発車 ・チップ工場で竹短幹等を積み下ろし		△ 積込	○

※作業員Bは、グラップルのオペレーターとして従事

※各作業の進捗状況により、各作業員は前後工程を補助(「○」=主たる作業、「△」=補助作業)

④ 作業実施状況

- ・ 試験区域内に成立する竹 240 本（生竹のみ）を帯状に伐倒し、集積拠点（チップ工場）への運搬が完了するまでの工程調査を行った。
- ・ 帯状間伐の伐採幅は 6m、残存幅を 6m とし 3 列の伐採を行った。6m の伐採幅であれば、かかり木の発生も少なく作業性の低下は見られなかった。【写真 5-45、5-46】
- ・ 伐倒竹はグラップルで集材し、作業路から遠い伐倒竹の集材については人力で作業路上まで滑落させた。
- ・ 玉切は山土場で実施し、チェンソーにより約 2.8m に採材した。【写真 5-48】
- ・ 梢端部はバンドリングを実施し 2.8m に玉切り、2.8m 未満の先端部分は作業路脇に廃棄した。（枝払いは行っていない。）【写真 5-49】
- ・ フォワーダやトラックへの積込は、荷台下部へ竹短幹を先に積載し、荷台上部にバンドルを積載した。それにより短幹の落下を防止する効果があった。【写真 5-50】
- ・ 作業全体を通じて待ち時間が少なく効率的な作業ができた。少人数作業（3 名体制）では、各作業員が前後工程の進捗状況の把握が容易なことから、各自の役割が明確となることが要因と考えられる。



写真 5-45 帯状間伐による伐採



写真 5-46 伐倒状況



写真 5-47 グラップル集材



写真 5-48 玉切作業



写真 5-49 バンドリング作業



写真 5-50 トラック積載状況

⑤ 試験結果

第二回実証試験の結果は以下のとおり

・伐採本数と搬出重量

	1 サイクル
伐採本数	151 本
搬出重量	6,630kg

⑥ 評価

- ・ 帯状間伐であっても、伐採幅の確保により、作業性の低下は見られなかった。
(伐採幅 6m、残存幅 6m)
- ・ 竹の大型化、バンドリングの実施により、竹 1 本当り収量が増加した。
(35kg/本→44kg/本)
- ・ 人員、機械台数を最小限の体制としたが、待ち時間が少なく、機械稼働率も良好。

5-6-5 データ分析結果

■ 工程定義の再定義

第一回実証試験での竹林内作業の実態を更に詳細に把握すべく、第二回実証試験以降からは工程の粒度を細かくした。変更内容は下記の図表 5-32 で示す通りである。

図表 5-32 工程定義の変更内容

竹林オンサイト・チップ化システム

工程定義（第一回）	工程定義（第二回）	備考
伐採・集材	伐採	
	集材	
搬出	搬出	
チップ化	チップ化	
チップ運搬	チップ運搬	
その他	その他	

拠点集積・チップ化システム

工程定義（第一回）	工程定義（第二回）	備考
伐採・集材・枝払い・玉切	伐採	
	集材	
	玉切	
－	バンドリング	追加
搬出	搬出	
一次チップ化	一次チップ化	
二次チップ化	二次チップ化	
チップ運搬	チップ運搬	
その他	その他	

■ データ分析方法

第二回実証試験のデータ分析方法は、第一回の方法と同じである。

■収集データの内容

第二回実証試験において収集したデータは下記の図表で示す通りである。

図表 5-33 収集データ（周南森林組合）

機械基礎データ

機械名	日額単価（円）	使用台数	所有区分	備考
チェンソー	400	3.00	所有機械	
フェラーバンチャ	12,416	0.74	レンタル	集材
フェラーバンチャ	12,416	0.26	レンタル	搬出
グラブ	8,440	1.00	レンタル	
チップパー	11,800	1.00	レンタル	
発電機	944	1.00	レンタル	
ベルトコンベア	952	1.00	レンタル	
4t 深ダンプ	6,160	2.00	レンタル	最大積載量：3,100kg

実績データ

工程	作業時間（分）	使用機械	機械拘束日数	燃料使用量（ℓ）	備考
伐採	336	チェンソー	1.04	13.50	混合油：193 円/ ℓ
		チェンソー		3.30	オイル：342 円/ ℓ
集材	442	フェラーバンチャ	1.68	48.20	
搬出	283	フェラーバンチャ	1.68	16.80	
		グラブ	1.17	20.00	
チップ化	899	チップパー	2.36	55.00	
		発電機	2.36		
		ベルトコンベア	2.36		
チップ運搬	330	4t 深ダンプ	4.27	72.50	
その他	764				

図表 5-34 収集データ（カルスト森林組合）

機械基礎データ

機械名	日額単価（円）	使用台数	所有区分	備考
チェンソーA	400	0.4	所有機械	伐採
チェンソーB	400	0.17	所有機械	
グラブブル a	8,440	0.56	レンタル	玉切
チェンソーA	150	0.25	所有機械	搬出
チェンソーB	150	0.43	所有機械	
チェンソーC	150	0.65	所有機械	
グラブブル a	8,440	0.29	レンタル	バンドリング
チェンソーA	150	0.35	所有機械	
チェンソーB	150	0.4	所有機械	
チェンソーC	150	0.35	所有機械	
チェンソーD	150	1	所有機械	
チェンソーE	150	1	所有機械	
フォワーダ	10,000	1	レンタル	搬出
グラブブル a	8,440	0.15	レンタル	
グラブブル b	8,440	1	レンタル	竹材運搬
4t 深ダンプ	6,160	1	レンタル	最大積載量：3,550kg
チップパー	14,300	1		一次チップ化
グラブブル c	8,440	1		
チップパー	75,270	1		二次チップ化
ホイローダー	20,480	2		
11tトラック	31,180	1		最大積載量： 11,000kg
ホイローダー	20,480	1		

※ 1 台のチェンソーを、伐採・玉切・バンドリングで使用しているため、機械経費はチェンソーを操縦していた作業員の作業時間内訳によって按分している。

実績データ

工程	作業時間（分）	使用機械	機械拘束日数	燃料使用量（ℓ）	備考
伐採	260	チェーンソーA	2.28	0.74（混合油）	混合油：193円/ℓ
		チェーンソーB	2.29	0.44（オイル）	オイル：342円/ℓ
集材	493	グラブ	2.43	41.09	
玉切	709	チェーンソーA	2.28	1.46（混合油）	混合油：193円/ℓ オイル：342円/ℓ
		チェーンソーB	2.29		
		チェーンソーC	1.79	0.87（オイル）	
バンドリング	894	グラブ	2.43	21.09	
		チェーンソーA	2.28	2.50（混合油） 1.49（オイル）	混合油：193円/ℓ オイル：342円/ℓ
		チェーンソーB	2.29		
		チェーンソーC	1.79		
		チェーンソーD	2.18		
		チェーンソーE	2.15		
搬出	351	フォワーダ	2.18	16.92	
グラブ		2.43	11.10		
竹材運搬	493	グラブ	2.25	16.72	
		4t 深ダンプ	2.39	91.00	
一次チップ化	145	チップパー	0.34	24.71	
		グラブ	0.34	18.06	
二次チップ化	35	チップパー	0.04	13.30	
		ホイローダー	0.04	4.28	
チップ運搬	208	11tトラック	0.49	57.59	
その他	1,993				

※ 1台のチェーンソーを、伐採・玉切・バンドリングで使用しているため、機械拘束日数は同じ工程であっても機械によって異なる。使用燃料は工程ごとに纏めて記載している。

図表 5-35 収集データ（飯森木材株）

機械基礎データ

機械名	日額単価（円）	使用台数	所有区分	備考
チェーンソーA	400	0.40	所有機械	伐採
チェーンソーB	400	0.18	所有機械	
グラブブル a	8,440	0.49	レンタル	集材
チェーンソーA	150	0.20	所有機械	玉切
チェーンソーB	400	0.28	所有機械	
グラブブル a	8,440	0.33	レンタル	バンドリング
チェーンソーA	150	0.40	所有機械	
チェーンソーB	400	0.54	所有機械	
グラブブル a	8,440	0.18	レンタル	竹材運搬
2t 深ダンプ	3,800	1.00	レンタル	最大積載量：2,000kg
チップパー	14,300	1.00	所有機械	一次チップ化
グラブブル b	8,440	1.00	所有機械	
チップパー	75,270	1.00	所有機械	二次チップ化
ホイローダー	20,480	2.00	所有機械	
15tトラック	31,180	1.00	所有機械	最大積載量：2,000kg
ホイローダー	20,480	1.00	所有機械	

※ 1 台のチェーンソーを、伐採・玉切・バンドリングで使用しているため、機械経費はチェーンソーを操縦していた作業員の作業時間内訳によって按分している。

実績データ

工程	作業時間（分）	使用機械	機械拘束日数	燃料使用量（ℓ）	備考
伐採	158	チェーンソーA	1.16	0.91（混合油）	混合油：193円/ℓ
		チェーンソーB	1.12	0.58（オイル）	オイル：342円/ℓ
集材	275	グラブブル a	1.16	12.35	
玉切	118	チェーンソーA	1.16	0.67（混合油）	混合油：193円/ℓ
		チェーンソーB	1.12	0.43（オイル）	オイル：342円/ℓ
バンドリング	357	グラブブル a	1.16	8.38	
		チェーンソーA	1.16	1.21（混合油）	混合油：193円/ℓ
		チェーンソーB	1.16	0.77（オイル）	オイル：342円/ℓ
竹材運搬	401	グラブブル a	1.16	4.65	
		2t 深ダンプ	1.05	39.19	
一次チップ化	75	チップパー	0.18	12.84	
		グラブブル b	0.18	9.38	
二次チップ化	18	チップパー	0.02	6.91	
		ホイローダー	0.02	2.22	
チップ運搬	108	15tトラック	0.26	29.93	
		ホイローダー	0.02	2.22	
その他	332				

※ 1 台のチェーンソーを、伐採・玉切・バンドリングで使用しているため、機械拘束日数は同じ工程であっても機械によって異なる。使用燃料は工程ごとに纏めて記載している。

■分析結果

設定した算出方法と収集したデータに基づきデータ分析を行い、tあたりコストを算出した。各事業体・各サイクルの結果は下記の図表で示す通りである。

図表 5-36 データ分析結果（周南森林組合）

工程別 t あたりコスト

■ コスト

	チップ運搬量 (t)	伐採本数(本)	1本あたりチップ 化重量(kg)	作業人数(人)
周南森林組合	17.52	345	50.78	4

作業工程	作業時間(分)	人件費(円)	機械経費(円)	燃料費(円)	計(円)	tあたり単価(円)	工程単価比率
伐採	336	9,605	416	3,730	13,752	785	6.6%
集材	442	12,629	15,438	5,977	34,044	1,943	16.4%
玉切	0	0	0	0	0	0	0.0%
バンドリング	0	0	0	0	0	0	0.0%
搬出	283	8,092	15,222	4,563	27,877	1,591	13.5%
竹材運搬	0	0	0	0	0	0	0.0%
チップ化	899	25,695	32,262	6,820	64,777	3,697	31.3%
チップ運搬	330	9,442	26,326	8,990	44,758	2,555	21.6%
その他	764	21,827	0	0	21,827	1,246	10.5%
合計	3,055	87,291	89,665	30,080	207,036	11,817	100.0%

【補正時間】

集計ツール操作ミス：17分

試験外作業：28分

図表 5-37 データ分析結果（カルスト森林組合）

工程別 t あたりコスト

■ コスト

	竹材運搬量 (t)	伐採本数(本)	1本あたりチップ 化重量(kg)	作業人数(人)
カルスト森林組合	12.76	345	36.99	4

作業工程	作業時間(分)	人件費(円)	機械経費(円)	燃料費(円)	計(円)	tあたり単価(円)	工程単価比率
伐採	260	7,416	520	295	8,230	645	2.7%
集材	493	14,091	11,473	5,095	30,659	2,403	10.0%
玉切	709	20,270	407	578	21,255	1,666	6.9%
バンドリング	894	25,538	6,942	3,606	36,086	2,828	11.7%
搬出	351	10,029	24,905	3,475	38,409	3,010	12.5%
竹材運搬	493	14,481	33,730	13,357	61,569	4,825	20.0%
一次チップ化	145	4,139	7,843	5,303	17,285	1,355	5.6%
二次チップ化	35	1,007	4,876	2,180	8,063	632	2.6%
チップ運搬	208	5,931	16,259	7,672	29,862	2,340	9.7%
その他	1,993	56,527	0	0	56,527	4,430	18.4%
合計	5,580	159,428	106,955	41,560	307,944	24,134	100.0%

【補正時間】

集計ツール操作ミス：65分

機械トラブル：181分

図表 5-38 データ分析結果（飯森木材㈱）

工程別 t あたりコスト

■ コスト

	竹材運搬量	伐採本数(本)	1本あたりチップ化重量(kg)	作業人数
飯森木材	6.63	151	43.91	3

作業工程	作業時間(分)	人件費(円)	機械経費(円)	燃料費(円)	計(円)	tあたり単価(円)	工程単価比率
伐採	158	4,514	263	237	5,014	756	5.2%
竹搬1	275	7,865	4,764	972	13,601	2,051	14.2%
玉切り1	118	3,380	162	176	3,718	561	3.9%
バンドリング	357	10,190	3,554	973	14,717	2,220	15.3%
竹搬2	0	0	0	0	0	0	0.0%
竹材運搬	401	11,446	5,765	3,449	20,660	3,116	21.5%
一次チップ化	75	2,150	4,075	2,755	8,981	1,355	9.4%
二次チップ化	18	523	2,534	1,133	4,190	632	4.4%
チップ運搬	108	3,082	8,448	3,986	15,516	2,340	16.2%
その他	332	9,488	0	0	9,488	1,431	9.9%
合計	1,842	52,639	29,564	13,681	95,884	14,462	100.0%

【補正時間】

なし

図表 5-39 事業体別・工程別生産性

	オンサイト・チップ化システム		拠点集積・チップ化システム		
	周南森林組合		カルスト森林組合		飯森木材
伐採	3.13	1.35 ^{*1}	2.95	0.32 ^{*1}	2.52
集材	2.38		1.55		1.45
玉切	-		1.08		3.36
バンドリング	-		0.86		1.12
搬出	3.71		2.18		- ^{*2}
竹材運搬	-		1.55		0.10
チップ化	1.17		一次チップ：5.29 二次チップ：43.40		
チップ運搬	3.18		3.69		3.69

*1 伐採からバンドリングまでの人時生産性は、チップ重量を伐採からバンドリングまでの作業時間で除することで算出している。

*2 飯森木材の第 2 回試験では、作業地の環境によって搬出作業の必要がなかった為、測定対象外とする。

5-6-6 施策効果（周南森林組合）

第二回実証試験における周南森林組合の施策効果は、t あたりコストが第一回実証試験の 18,572 円（2 サイクル目）から 6,755 円削減の 11,817 円となった。各工程の施策別効果は下記で示す通りである。

■全工程

歩留まり向上によりチップ化重量を増やし、t あたりコストを削減する事を目的とした施策「竹の大型化」の効果は、竹一本当たりのチップ化重量が第一回の 34.88kg から 46%増加し 50.78kg となった。

これは、第一回実証試験でこの 50.78kg が達成できていたと仮定すると、t あたりコストが 12,757 円となり 5,815 円のコストダウンとなるほどの効果である。

なお、以下 3 つの施策には歩留まり向上の施策が効果として影響する。

■伐採・集材工程

第一回実証試験の実績と比較すると、施策「作業集約・作業排除・作業同時化」による作業効率化の効果が 52%、施策「工程間での機会の流用」が 51%のコスト削減となり 2 つの施策を合わせると t あたりコストが 2,899 円の削減となった。

この施策への課題としては、「作業同時化」において作業安全規定を遵守する作業区画の横幅を十分に確保・維持することが必要であり、十分な横幅がないと作業安全規定の制約に接触しコスト増加（手待ちの発生）を招く恐れがある。

■搬出工程

第一回実証試験と比較すると、前工程である集材工程の機械を流用することで機械経費を削減させることを目的とした施策「工程間での機会流用」が t あたりコスト 1,699 円、66% の削減となった。

この施策への課題としては、作業環境と使用機械の適性を見極めて機械を使用することが必要であり、機器の能力、使用頻度と移動距離の相関関係を踏まえた機器選定がされないと能力不足によるコスト増加（搬出回数・時間の増加）を招く恐れがある。

■チップ運搬

第一回実証試験と比較すると、需要先（発電所）に近い竹林を選定することにより運搬コストの削減を目的とした施策「チップ運搬距離の短縮」が t あたりコスト 812 円、24% の削減となった。

図表 5-40 周南森林組合の施策効果 (円/t)

工程	施策	科目	第一回	第二回	削減額	削減率
伐採・集材	・作業集約	人件費	3,010	548	1,741	58%
				721		
	・作業排除	燃料費	755	213	201	27%
				341		
		合計		3,765	1,823	1,942
・機械の工程間共有	機械経費	1,862	24	957	51%	
			881			
	合計		5,627	2,728	2,899	52%
搬出	・機械の工程間共有	機械経費	2,567	869	1,699	66%
チップ運搬	・チップ運搬距離の短縮	人件費	919	539	380	41%
		機械経費	1,391	1,503	-112	-8%
		燃料費	1,057	513	544	51%
		合計	3,366	2,555	812	24%

※伐採・集材工程における第二回実証試験のコストは、上段が伐採、下段が集材の実績値である。

図表 5-41 周南森林組合の歩留まり向上施策効果 (円/t)

	第一回	第二回	増加率
チップ運搬 (kg)	8,860	17,520	98%
伐採本数 (本)	254	345	36%
チップ化重量/本 (kg)	34.88	50.78	46%

5-6-7 施策効果（カルスト森林組合）

第二回実証試験におけるカルスト森林組合の施策効果は、t あたりコストが第一回の 26,149 円（2 サイクル目）から 2,015 円削減の 24,134 円となった。各工程の施策別効果は下記で示す通りである。

■全工程

周南森林組合での「竹の大型化」に加え、拠点集積・チップ化システムの 2 事業体では「バンドリング」合わせて実施した。カルスト森林組合の歩留まり向上の施策効果は、竹一本当たりのチップ化重量が第一回の 24.79kg から 49%増加し 36.99kg となった。

これは、第一回実証試験でこの 36.99kg が達成できていたと仮定すると、t あたりコストが 17,525 円となり 8,624 円のコストダウンとなるほどの効果である。

なお、以下 2 つの施策には歩留まり向上の施策が効果として影響する。

■伐採・集材工程

第一回実証試験の実績と比較すると、施策「作業集約・作業排除・作業同時化」による作業効率化の効果が t あたりコスト 4,017 円、52%の削減となった。

■搬出工程

第一回実証試験と比較すると、第二回より開始した前工程であるバンドリング工程の機械を流用することで機械経費の削減を目的とした施策「工程間での機械共有」が t あたりコスト 903 円、27%の削減となった。

図表 5-42 カルスト森林組合の施策効果（円/t）

工程	施策	科目	第一回	第二回	削減額	削減率
伐採 集材 玉切	・作業集約 ・作業排除 ・作業同時化	人件費	7,087	3,274	3,813	54%
		燃料費	671	468	204	30%
	合計		7,759	3,742	4,017	52%
バンドリング 搬出	・機械の工程間共有	機械経費	3,399	2,496	903	27%

※伐採・集材工程における第二回実証試験のコストは、上段が伐採、下段が集材の実績値である。

図表 5-43 カルスト森林組合の歩留まり向上施策効果（円/t）

	第一回	第二回	増加率
チップ運搬 (kg)	10510	12760	21%
伐採本数 (本)	424	345	-19%
チップ化重量/本 (kg)	24.79	36.99	49%

5-6-8 施策効果（飯森木材）

第二回実証試験における飯森木材(株)の施策効果は、tあたりコストが第一回の25,012円(2サイクル目)から10,550円削減の14,462円となった。各工程の施策別効果は下記で示す通りである。

■全工程

飯森木材(株)での歩留まり向上施策効果は、竹一本当たりのチップ化重量が第一回の29.94kgから47%増加し43.91kgとなった。

これは、第一回実証試験でこの43.91kgが達成できていたと仮定すると、tあたりコストが17,056円となり7,956円のコストダウンとなる効果である。

なお、以下2つの施策には歩留まり向上の施策が効果として影響する。

■伐採・集材工程

カルスト森林組合と同様に第一回実証試験の実績と比較すると、施策「作業集約・作業排除・作業同時化」の効果がtあたりコスト6,587円、72%の削減となった。

■搬出工程

カルスト森林組合と同様に第一回実証試験の実績と比較すると、施策「工程間での機械共有」がtあたりコスト536円、76%の削減となった。

ここまで削減率が高くなった理由として、伐採場所と作業土場の距離を限りなく近くすることで、搬出に一切のコストが発生していないことが挙げられる。

図表 5-44 飯森木材(株)の施策効果（円/t）

工程	施策	科目	第一回	第二回	削減額	削減率
伐採 集材 玉切	・作業集約 ・作業排除	人件費	7,874	2,377	5,497	70%
		燃料費	1,298	209	1,089	84%
	合計			9,173	2,586	6,587
バンドリング 搬出	・機械の工程間共有	機械経費	2,217	536	1,681	76%

※伐採・集材工程における第二回実証試験のコストは、上段が伐採、下段が集材の実績値である。

図表 5-45 カルスト森林組合の歩留まり向上施策効果（円/t）

	第一回	第二回	増加率
チップ運搬 (kg)	5060	6630	31%
伐採本数 (本)	169	151	-11%
チップ化重量/本 (kg)	29.94	43.91	47%

5-6-9 実証試験結果

下記の図表 5-63 で示すとおり、第二回試験では、竹林内のコスト比率が下がり、各システムの全作業工程にかかる t あたりコストが 11,000 円から 24,000 円台と前回試験から事業者によって約 2,000 円～10,000 円程コスト削減を成果として出すことが出来た。効果の内訳としては削減額が最も多い飯森木材(株)で、環境面が約 2,000 円となり作業構成面が約 8,000 円という結果となった。本実証試験による竹林内生産性が向上したことにより、コスト構成比率として施策対象外とした竹林外に関わる作業コスト比率が増える結果となった。

図表 5-46 第二回実証試験コスト明細

作業工程	オンサイト・チップ化システム		拠点集積・チップ化システム			
	周南森林組合		カルスト森林組合		飯森木材	
	コスト(円/t)	比率	コスト(円/t)	比率	コスト(円/t)	比率
伐採	785	7%	645	3%	756	5%
集材	1,943	16%	2,403	10%	2,051	14%
玉切	0	0%	1,666	7%	561	4%
バンドリング	0	0%	2,828	12%	2,220	15%
搬出	1,591	13%	3,010	13%	0	0%
竹材運搬	0	0%	4,825	20%	3,116	22%
チップ化	3,697	31%	1,987	8%	1,987	14%
チップ運搬	2,555	22%	2,340	10%	2,340	16%
その他	1,246	11%	4,430	18%	1,431	10%
合計	11,817	100%	24,134	100%	14,462	100%

高コスト比率

5-6-10 課題と対応策

第二回実証試験で確認された課題と、それに対する対応策は下記で示す通りである。

■作業プロセス

竹林内作業への施策により、低コスト化を推進できた一方で「その他」が全体に占める割合は第一回から大きく改善されていないという課題がある。実証試験中の報告された定性情報によると、その他の内容である手待ちが発生する原因として、作業スペースの制約より作業を実施する事が出来ないことが原因として挙げられた。

これへの対応策として、作業環境の竹林条件に合わせた機械の選定や人員構成、及び作業プロセスをバリエーション化することで、例え竹林条件が変化しても作業を中断させない(手待ちを発生はせない)体制を構築する。

■竹林外作業の高比率

拠点集積・チップ化システムにおける竹林外作業である、竹材運搬・一次チップ化・二次チップ化・チップ運搬の各工程コストの合計が、第一回実証試験の飯森木材(株)では全体の30%程度であったものが、第二回では50%超へと推移した。

これを受け、実績データを確認したところ、第一に、GPS-Punch!で取得した作業日報データより、竹材運搬において運搬と運搬の間に手待ちが発生していることと、第二にトラックの積載率データ¹より、毎度70%程度の背積載率で運搬していることが課題として明らかになった。

手待ちの原因として、竹材をバイオマスセンターへ運搬する時間が、積載率を高くするのに十分な量の竹材を伐採する時間より短いことが挙げられる。これへの対応策として、2つの事業体でトラックを共有し、これまで発生していた手待ち時間で他の事業体の竹を運搬することで、手待ち分の人件費を削減すると同時に、トラック機械経費、燃料費をも削減する。

また、積載率の低さの原因として、使用しているトラック種別が挙げられる。第二回実証試験までは、収容スペースが限られているダンプトラックを使用してきたため、中空である竹材を積載する場合では重量を100%にすることが困難になる。これへの対応策として、平ボディトラックへの種別変更により積載重量を向上させる。

¹ Appendix にデータを記載

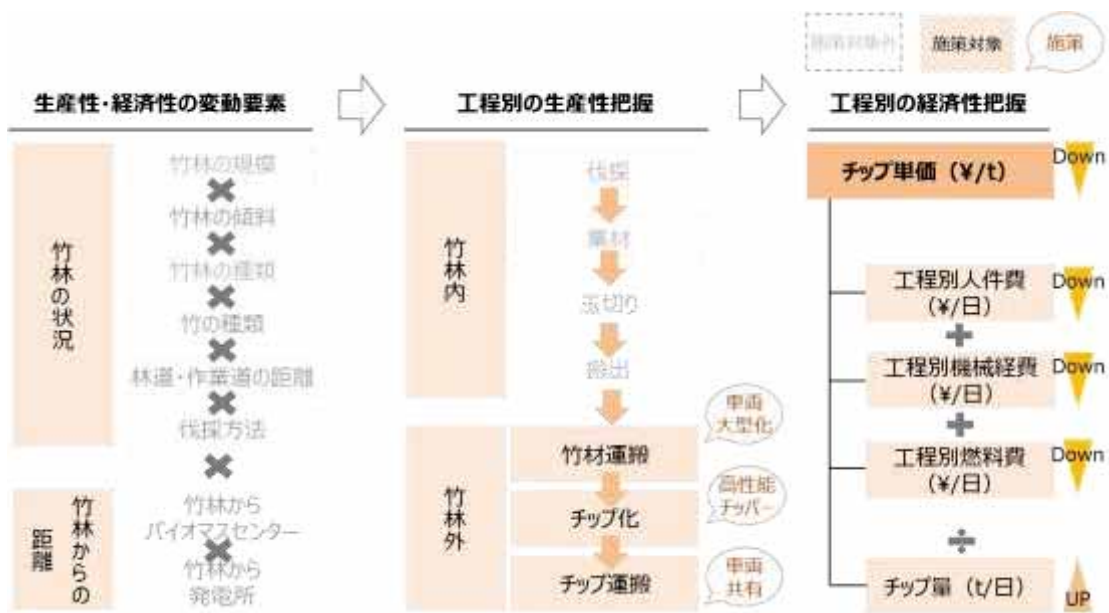
5-7 第三回実証試験内容

5-7-1 試験コンセプト

第三回実証試験では、プロセス改善の第2弾として第二回実証試験の施策によりコスト比率が増えた竹林外作業の生産性向上によるコスト削減を目的とした。

トラックの積載率の向上効果が期待できる「トラック種別の変更」、事業全体でトラック経費の削減が期待できる「事業体間でのトラック共有」に併せ、事業化にとっても重要であるチップ品質の向上に向けた「一次破碎チップパーの機種変更（拠点）」の設備改善についてコスト・品質を分析することとした。

図 5-47 第三回実証試験のスコープ



5-7-2 実施施策

第三回実証試験において実施する施策は下記の通りである。

■トラック種別変更

カルスト森林組合と飯森木材を試験実施対象の事業体とし、積載重量を 100%に近づけることで積載効率を向上させ、運搬回数を削減させるものである。第二回実証試験までは、竹材運搬工程にてダンプトラックを使用してきたが、積載できる高さ・幅が固定されており積載重量が 70%程度に留まっていた。この課題に対し、荷台長が長く、積載できる高さ・幅の変更が可能な平ボディトラックへ種別を変更することで改善を図った。

●運搬トラックの変更



箱ダンプトラック



平ボディトラック

■事業体間のトラック共有

拠点集積・チップ化システムを採用する飯森木材とカルスト森林組合との間でトラックを共有することで、双方で発生している待ち時間を削減すると同時に、トラックを 1 台単位で削減することでチップ製造コストを事業トータルで削減するものである。

■一次破碎チップパーの機種変更

チップ化工程を担う飯森木材を試験実施対象の事業体とし、第二回実証試験まで使用してきた一次チップでのチップパー（現状では二次チップまで実施）を高性能チップパーへ変更し、生産性の向上による機械稼働時間と、破碎能力の向上によるチップ品質の向上を図る。

●一次破碎チップパーの変更



第一回、第二回試験



第三回試験

図 5-48 第三回実証試験のテーマと施策

○：試験対象
×：試験実施対象外

テーマ	施策	周南 森林組合	カルスト 森林組合	飯森木材 株式会社
トラック積 載率向上	平ボディ大型タイプの採用	×	○	○
トラック稼 働率向上	事業者間のトラック共有	×	○	○
チップ生産 効率化	高性能チップパーの導入	×	○ ○ ○	
チップ品質 の向上 (サイズ適正化)	高性能チップパーの導入	×		
	サンプル検品体制の検討	×		

※飯森木材(株)森林バイオマスセン
ターで実施

5-7-3 平ボディトラックの積載性等の検証

飯森木材(株)森林バイオマスセンターにおいて、ロングタイプの平ボディトラック（3車種）の竹短幹の積載性及び走行時の安全性等の検証を行った。

① 使用したトラック

車種	4t 平ボディトラック (ロングタイプ)	2t 平ボディトラック (ロングタイプ)	4t クレーン付トラック (ロングタイプ)
			
選定理由	長尺竹の積載が可能であり、最も運搬効率がいため	侵入路が狭いケースにおいても使用が可能のため	クレーンによる積込ができ、グラブ等の積込用機械の削減が可能のため

図 5-49 トラック積載可能量の比較（推定値）

区分		4t 箱ダンプトラック	4t 平ボディトラック(ロング)	2t 平ボディトラック(ロング)	4t クレーン付きトラック(ロング)	備考	
車両仕様	荷台寸法	全長(mm)	3,400	6,180	4,350	5,630	
		全幅(mm)	2,060	2,130	1,780	2,140	
		全高(mm)	1,280	430	410	390	
	最大積載量(kg)	3,100	4,100	2,000	2,950		
竹積載可能量	推定積載可能寸法	全長(mm)	3,300	6,080	4,250	5,530	荷台長-100mm（竹前後余裕）
		全幅(mm)	2,060	1,930	1,580	1,940	荷台幅-200mm（スタクション左右幅）
		全高(mm)	1,280	1,330	1,085	1,030	必要なスタクションの高さ
		容積(m ³)	8.7	15.6	7.3	11.1	
	積載重量(kg)	竹(kg)	2,200	3,946	1,842	2,794	竹重量を 253kg/m ³ で推定
		スタクション(kg)	-	150	150	150	スタクション重量を 150kg で推定
		計	2,200	4,096	1,992	2,944	
	積載効率		71%	100%	100%	100%	

② 実施状況

■ 4t 平ボディトラック（ロング）

a. 積載試験

トラック荷台長に合わせた 6m の竹短幹を積載したところ、積載高 1.5m で最大積載量までの積込が可能であった。なお、積込・積降時間の計測あたっては、グラップルを使用し、竹短幹の元口と末口を交互とすることで、上部が水平になるように積載している。【写真 5-51、5-52】

【積込量】 約 4,000kg(スタンション重量分を除いた最大積載量)

【積込時間】 13 分 45 秒（グラップル積込回数 12 回 1 回の積込量約 333kg）

【積降時間】 10 分 55 秒



写真 5-51 積載状況（6m 材）



写真 5-52 積載高（約 1.5m）

【参考】

- ・グラップルで 6m の竹短幹を掴むと割れが生じ易く、竹を揃えて積込むことが困難となり、積み込みに時間を要する。【写真 5-53】



写真 5-53 割れの状況

b. 走行試験

ベルト式荷締機により竹を固定した後に、試験地（飯森木材バイオマスセンター）内で走行時の安全性を確認した。

平坦地での走行には支障はなかったものの、坂道（登り勾配 10%）での発進試験の際に荷崩れが発生しており、荷台後部の竹の固定が必要となる。【写真 5-54、5-55】



写真 5-54 荷締機だけの固定



写真 5-55 荷締機+コンパネによる固定

■ 2t 平ボディトラック（ロング）

a. 積載試験

長さ 4.2m の竹短幹を積込み、積載可能量の確認を行った。

レンタルしたトラックの荷台に合わせたスタンションが準備できなかったため、今回の試験では積載量が 1,500kg となったが、荷台に適合したものの使用により最大積載量までの積込は可能と考えられる。【写真 5-59】

また、4t 車と比較して材長が短くなるため、積込時の割れも少なくグラップルによる積込も容易にできた。

【積込量】 1,500kg

【積込時間】 7 分 30 秒

【積降時間】 1 分 00 秒 ※スタンションごとグラップルで積み降ろし



写真 5-56 2t 平ボディトラック



写真 5-57 荷台形状



写真 5-58 積載高（約 1.1m）



写真 5-59 使用したスタンション

内寸：L=1,800 mm、W=1,550 mm、
H=1,100mm

重量：140 kg

b. 走行試験

ベルト式荷締機により竹を固定し、試験地（飯森木材バイオマスセンター）内で走行時の安全性を確認した。

坂道（登り勾配 10%）の発進試験においても、ベルト 3 点締めのための固定で荷崩等の発生はなかった。



写真 5-60 荷締機による固定

■ 4t クレーン付トラック (ロング)

a. 積載試験

装備するクレーンを使用し、竹の積込時間の計測を行った。

なお、積込みにあたっては、荷台後部アオリを倒した状態とし、6m の竹短幹が積載高 1.5m で最大積載量 3,000kg の積載が可能であった。

【積込量】 約 3,000kg(スタンション重量分を除いた最大積載量)

【積込時間】 3 分 50 秒 (積込回数 3 回 1 回の積込量約 1,000kg)

※1,000kg 束の準備時間 10 分 00 秒 (3 束分)

【積降時間】 7 分 30 秒 (積降回数 3 回)



写真 5-61 積込作業前の竹短幹



写真 5-62 スリングによる吊り上げ



写真 5-63 積込作業



写真 5-64 積込作業

5-7-4 一次破碎チップターの機種変更

第二回実証試験までの拠点集積・チップ化システムにおけるチップ化工程については、飯森木材(株)の所有チップターのうち、比較的チップ形状の安定した切削式チップター（SOCIO BC1000XLM）により一次破碎を行ってきたが、BC1000XLM については、処理能力が低いこと、また、直径の大きい竹梢端部バンドルを直接チップ化することが困難なことから、生産性向上を目的に、処理能力の高い切削式チップター（リョーキ(株)790TC）を選定し、竹への適性を確認した。

① 使用した機械

対象機種：リョーキ(株) 790TC



図 5-51 790TC 諸元表

項目	790TC
エンジン型式	CAT C9.3 ディーゼル Tier4i 325HP (243kW) 2400rpm
投入間口	530mm 高さ × 914mm 幅
最大処理径	軟質材：500mm 硬質材：350mm
最大処理量	70～100m ³ /時
ローターサイズ	940mm 径 × 914mm 幅
ローター回転数	1280rpm
破碎ナイフ数	6 枚（3 列×2 ポケット）ダブルエッジ型
フィードコンベアー	チェーンコンベアー式
排出シュート	270 度旋回式（油圧駆動）
走行	自走式クローラー
燃料タンク容量	257 リットル
作動油タンク容量	136 リットル
総重量	12.7 トン
外形寸法	全長 6703mm×全幅 2490mm×全高 3365mm（排出シュート高さ）

※メーカーカタログより

図 5-51 チップター処理能力の比較

区分	第一回・第二回実証試験	第三回実証試験
一次チップ化工程 (切削式)	SOCIO BC1000XLM (カタログ値:8～10m ³)	リョーキ 790TC (カタログ値:70～100m ³)
二次チップ化工程	モバーク Model1000 (竹処理能力:53t/h)	

②実施状況

a. 竹の破碎試験

(a) 試験方法

- ・ 竹短幹及び竹梢端部バンドルをグラップルにより、790TC に連続投入し破碎を行った。【写真 5-67、5-68】
- ・ 処理能力の確認は、790TC への竹投入開始から深ダンプ荷台が満載になるまでの時間を計測し、時間内に生産されたチップ重量から算出した。【写真 5-69、5-70】

【その他使用機械】0.2m³ クラスグラップル（イワフジ GS65LJV）

2t 深ダンプトラック

【竹短幹形状】長さ：約 3m、直径：5～15cm 程度

【竹梢端部バンドル形状】長さ：約 3m、直径：30～50cm 程度

※バンドルは、枝葉つきの竹梢端部 8～15 本を麻ひもで結束したもの



写真 5-65 竹の集積状況



写真 5-66 バンドル



写真 5-67 竹短幹の投入



写真 5-68 バンドルの投入



写真 5-69 チップ排出状況



写真 5-70 トラックスケールによる計量

(b) 試験結果

- ・790TC による竹短幹の破砕では時間当たり 15.06t/h、竹梢端部バンドルの破砕では 14.29t/h の処理能力が確認された。これまで使用している BC1000XLM の処理能力は 5.29t/h であり、790TC は約 3 倍の能力となる。
- ・なお、今回試験では 790TC の処理能力にグラップルの竹投入速度が追いついておらず、投入方法の見直しにより、更に処理能力が向上するものと思われる。
- ・また、BC1000XLM においては、直径 40cm 程度の竹梢端部バンドルを投入した場合、投入口が小さいため結束ひもを人力で切断する必要があるが、790TC ではその殆どがバンドル形状を保持したままでのチップ化が可能であった。

図 5-52 790TC によるチップ生産工程

・竹短幹

番号	グラップル投入回数 (回)	竹短幹処理本数 (本)	作業時間	チップ生産重量 (t)	備考
1	11	141	0:06:43	1.60	
2	9	139	0:05:41	1.37	
3	11	159	0:05:23	1.58	
4	13	169	0:07:07	1.57	
5	11	135	0:05:46	1.45	
6	13	162	0:05:48	1.59	
7	11	163	0:06:27	1.61	
計	79	1,068	0:42:55	10.77	

時間当たりチップ生産能力 15.06 t/h

・竹梢端部バンドル

番号	グラップル投入回数 (回)	竹短幹処理本数 (本)	作業時間	チップ生産重量 (t)	備考
1	16	141	0:06:43	1.60	

時間当たりチップ生産能力 14.29 t/h

(参考) BC1000XLM による竹短幹のチップ生産工程

番号	竹短幹処理本数 (本)	作業時間	チップ生産重量 (t)	備考
1	301	0:32:00	3.19	
2	126	0:16:00	1.39	
3	389	0:43:30	3.48	
計	816	1:31:30	8.06	

時間当たりチップ生産能力 5.29 t/h

※H26.10.21 計測データ

(C) チップ形状

- ・木質バイオマス発電所受入れ規格である 50mm を超えるチップ（規格外チップ）の重量比率は、竹短幹チップでは 4.9%、竹梢端部バンドルチップでは 3.7% となった。【表 4】
- ・竹梢端部バンドルチップは、規格外チップの占める重量比率が竹短幹チップより少ない結果となったが、その殆どが軽量の細長い枝部分であるため、本数比率から見た場合には、竹梢端部バンドルチップの方が混入率は多くなる。
- ・790TC においてもチップパーの構造上、長尺物の規格外チップの混入は避けられないため、現状では竹短幹・バンドルともに 2 次破碎が必要となる。
- ・竹梢端部バンドルを結束する麻ひもについては、破碎したチップ内に 30cm 以上のものの混入が認められるが、大部分が 10cm 未満に裁断されている。

■竹短幹チップ（790TC）



写真 5-71 竹短幹チップ



写真 5-72 規格外チップ（竹短幹）

■竹梢端部バンドルチップ（790TC）



写真 5-73 バンドルチップ



写真 5-74 規格外チップ（バンドル）



写真 5-75 葉の形状



写真 5-76 結束用麻縄

図 5-53 一次破碎チップの形状 (790TC)

種類	チップ重量							チップ 最大長 (mm)
	区分	~2 mm	~5 mm	~30 mm	~50 mm	51 mm~	計	
竹短幹 チップ	重量(g)	248.8	464.3	1,040.6	3.3	90.0	1,847.0	160
	比率	13.5%	25.1%	56.3%	0.2%	4.9%	100%	
バンドル チップ	重量(g)	268.5	420.9	395.6	7.6	42.1	1,134.7	362
	比率	23.7%	37.1%	34.9%	0.7%	3.7%	100%	

※竹短幹チップ及び竹梢端部バンドルチップから、6 リットルのサンプルを無作ために抽出し、大きさ別に重量の測定を行った。

※チップ大きさ別の選別にあたっては、2mm メッシュ・5mm メッシュ・30mm メッシュのふるいを使用し、ふるいを通り抜ける細長いチップ及び 50mm を超えるチップについては、目視により選別を行った。

5-7-5 データ分析結果

第三回時試験では、竹林外作業を対象としたため、前回まで同様の竹林内作業を含む全ての作業プロセスを実際に行なうことはせず、施策対象となる工程での変更後作業をスポット的に実施し、対象工程の実績値を第二回実証試験の実績値と置き換えることでtあたりコストを算出した。(対象工程以外の実績値は第二回実証試験結果を採用)

■収集データ

第三回実証試験において収集したデータは下記の図表で示す通りである。

図表 5-54 収集データ (カルスト森林組合)

機械基礎データ

機械名	日額単価 (円)	使用台数	所有区分	備考
4t 平ボディ	8,000	0.5*	レンタル	最大積載量：4,000kg
グラブ	8,440	1	レンタル	竹材運搬
チップ	45,500	1	レンタル	
グラブ	8,440	1	レンタル	一次チップ化

*トラックを飯森木材と共有するため。トラック使用台数は 0.5 に設定

実績データ

工程	作業時間 (分)	使用機械	機械拘束日数	燃料使用量 (ℓ)	備考
竹材運搬	238	4t 平ボディ	1.31	45.50	
		グラブ	1.24	8.36	
一次チップ化	51	チップ	0.12	43.72	
		グラブ	0.12	22.90	

図表 5-55 収集データ (飯森木材株)

機械基礎データ

機械名	日額単価 (円)	使用台数	所有区分	備考
4t 平ボディ	8,000	0.5*	レンタル	最大積載量：4,000kg
グラブ	8,440	1	レンタル	竹材運搬
チップ	45,500	1	レンタル	
グラブ	8,440	1	レンタル	一次チップ化

*トラックを飯森木材と共有するため。トラック使用台数は 0.5 に設定

実績データ

工程	作業時間 (分)	使用機械	機械拘束日数	燃料使用量 (ℓ)	備考
竹材運搬	192	4t 平ボディ	0.33	23.51	
		グラブ	0.36	2.79	
一次チップ化	26	チップ	0.06	22.71	
		グラブ	0.06	11.90	

■分析結果

設定した算出方法と収集したデータに基づきデータ分析を行い、tあたりコストを算出した。各事業体・各サイクルの結果は下記の図表で示す通りである。

図表 5-56 データ分析結果（カルスト森林組合）

工程別 t あたりコスト

■ コスト

	竹材運搬量	伐採本数(本)	1本あたりチップ化重量(kg)	作業人数
カルスト森林組合	12.76	345	36.99	4

作業工程	作業時間(分)	人件費(円)	機械経費(円)	燃料費(円)	計(円)	tあたり単価(円)	工程単価比率
伐採	260	7,416	520	295	8,230	645	3.0%
集材	493	14,091	11,473	5,095	30,659	2,403	11.2%
玉切	709	20,270	407	578	21,255	1,666	7.8%
バンドリング	894	25,538	6,942	3,606	36,086	2,828	13.2%
搬出	351	10,029	24,905	3,475	38,409	3,010	14.1%
竹材運搬	238	6,785	16,845	6,679	30,309	2,204	10.3%
一次チップ化	51	1,455	6,442	8,260	16,157	1,266	5.9%
二次チップ化	35	1,007	4,876	2,180	8,063	632	2.9%
チップ運搬	208	5,931	16,259	7,672	29,862	2,340	10.9%
その他	1,993	56,527	0	0	56,527	4,430	20.7%
合計	5,231	149,049	88,669	37,839	275,556	21,424	100.0%

図表 5-57 データ分析結果（飯森木材株）

工程別 t あたりコスト

■ コスト

	竹材運搬量	伐採本数(本)	1本あたりチップ化重量(kg)	作業人数
飯森木材株式会社	6.63	151	43.91	3

作業工程	作業時間(分)	人件費(円)	機械経費(円)	燃料費(円)	計(円)	tあたり単価(円)	工程単価比率
伐採	158	4,514	263	237	5,014	756	5.7%
集材	275	7,865	4,764	972	13,601	2,051	15.3%
玉切	118	3,380	162	176	3,718	561	4.2%
バンドリング	357	10,190	3,554	973	14,717	2,220	16.6%
搬出	0	0	0	0	0	0	0.0%
竹材運搬	192	5,471	9,460	3,261	18,192	2,109	15.8%
一次チップ化	26	755	3,395	4,292	8,442	1,273	9.5%
二次チップ化	18	523	2,534	1,133	4,190	632	4.7%
チップ運搬	108	3,082	8,448	3,986	15,516	2,340	17.5%
その他	332	9,488	0	0	9,488	1,431	10.7%
合計	1,584	45,269	32,579	15,030	92,878	13,374	100.0%

5-7-6 施策効果（拠点集積・チップ化システム（長距離搬出型））

第三回実証試験におけるカルスト森林組合（拠点集積・チップ化システム（長距離搬出型））の施策効果は、tあたりコストが第二回実証試験の 24,134 円から 2,710 円削減の 21,424 円となった。各工程の施策別効果は下記で示す通りである。

■竹材運搬工程

第二回実証試験の実績と比較すると、施策「トラック種別の変更」が 52%、施策「事業体間のトラック共有」が 57%のコスト削減となり、2つの施策合計で tあたりコストが 2,621 円の削減となった。

「トラック種別の変更」によるトラック積載率の効果は、第二回では 70%程度であった積載率を 98%まで向上させる結果となった。

一方でトラック種別の変更における課題としては、走行中の荷崩れが懸念されるため、今後、安全性確保するための施策が必要である。

■チップ化工程

施策「高性能チップパーの導入」が 7%の削減となった。

また、チップ品質の面では、無作為サンプル検査を実施した結果、二次破碎後の 50mm 以上のチップ（電力会社への納品基準）の混入率が 1.75%となった。

平成 26 年度の供給先である(株)ミツウロコ岩国発電所からは、現状のチップ品質に問題はないと報告を受けているため、現状の混入率を担保する事と低コストを両立させる事が今後の課題である。

（※第二回実証試験まで一次チップ化で使用した従来のチップパーで破碎した場合の、二次チップ品質の規格外チップ混入率のデータが不足しているため、品質における機械性能の比較は実施できていない。来年度の実証試験にて、実施する予定である。）

図表 5-58 カルスト森林組合の施策効果（円/t）

施策	科目	第二回	第三回	削減額	削減率
トラック種別変更	人件費	1,135	532	603	53%
	燃料費	1,047	523	524	50%
	合計	2,182	1,055	1,127	52%
トラック共有	機械経費(トラック)	1,824	330	1,494	82%
	機械経費(グラブ)	819	819	0	0%
	合計	2,643	1,149	1,494	57%
チップ化	人件費	324	114	210	65%
	機械経費	615	505	110	18%
	燃料費	416	647	-231	-56%
	合計	1,355	1,266	89	7%
科目合計（円/t）		6,180	3,470	2,710	44%

図表 5-59 カルスト森林組合のトラック積載率

		カルスト森林組合			
		第1回		第2回	第3回*
		サイクル1	サイクル2		
運搬本数		231	424	345	-
本あたり重量		25kg	25kg	37kg	-
運搬重量		5.71t	10.51t	12.7t	-
トラック種別		4tダンプ	4tダンプ	4tダンプ	4t平
積 載 率	1回目	57%	57%	52%	98%
	2回目	53%	66%	57%	
	3回目	50%	70%	66%	
	4回目	-	65%	65%	
	5回目	-	38%	55%	
	6回目	-	-	64%	

*第3回では、実際の運搬ではなくトラック車種の変更による積載向上試験のみを実施している。

5-7-7 施策効果（拠点集積・チップ化システム（短距離搬出型））

第三回実証試験における飯森木材㈱（拠点集積・チップ化システム（短距離搬出型））の施策効果は、tあたりコストが第二回実証試験の14,462円から1,088円削減の13,374円となった。各工程の施策別効果は下記で示す通りである。

■竹材運搬工程

第二回実証試験の実績と比較すると、施策「トラック種別の変更」が41%、施策「事業体間のトラック共有」が9%のコスト削減となり、2つの施策合計でtあたりコストが1,007円の削減に留まっている。

これは、第二回実証試験の2tトラックから4tへ変更したため、機械経費が増加した事が原因であるが、2事業体間でのトラック共有により車両台数が1/2となるため、下記の図表5-61で示す通り、2他事業体全体で見たトータルコストは、第二回実証試験の実績と比較すると53%削減している。

■チップ化工程

カルスト森林組合と同様に、一次チップ工程では第三回チップターのほうが安くなると判断した。（チップ化工程は飯森木材㈱森林バイオマスセンターのみで実施）

図表 5-60 飯森木材㈱の施策効果（円/t）

施策	科目	第二回	第三回	削減額	削減率
トラック種別変更	人件費	1,726	825	901	52%
	燃料費	520	492	28	5%
	合計	2,247	1,317	929	41%
トラック共有	機械経費(トラック)	408	330	78	19%
	機械経費(グラブ)	461	461	0	0%
	合計	870	792	78	9%
チップ化	人件費	324	114	210	65%
	機械経費	615	512	102	17%
	燃料費	416	647	-232	-56%
	合計	1,355	1,273	81	6%
科目合計（円/t）		4,471	3,382	1,088	24%

図表 5-61 カルスト&飯森トータルでの運搬コスト削減効果

		第二回		第三回		削減率
		カルスト	飯森	カルスト	飯森	
運搬重量 (t)	事業体別	12.76	6.63	12.76	6.63	53%
	トータル	19.39		12.76		
コスト (円)	事業体別	307,944	95,884	267,634	91,104	
	トータル	403,828		267,634		
コスト/t (円)	トータル	4,241		2,001		

図表 5-62 飯森木材(株)のトラック積載率

		飯森木材			
		第1回		第2回	第3回 ^{*2}
		サイクル1	サイクル2		
運搬本数		206	169	151	-
本あたり重量		36kg	30kg	44kg	-
運搬重量		7.34t	5.06t	6.63t	-
トラック種別		2t	2t	2t	4t平
積載率	1回目	74%	64%	66%	98%
	2回目	77%	62%	71%	
	3回目	77%	62%	67%	
	4回目	76%	66%	59%	
	5回目	74%	-	69%	
	6回目	81%	-	-	

*第3回では、実際の運搬ではなくトラック車種の変更による積載向上試験のみを実施している。

5-7-8 実証試験結果

第三回実証試験の結果、試験を実施した飯森木材㈱・カルスト森林組合では、竹林外比率が第二回実証試験に比べ減少した。特にカルスト森林組合では、竹林外のコスト比率が38%から29%まで大幅に減少する結果となった。

一方で、「その他」コストでは、最大のカルスト森林組合で21%発生しており、tあたりコスト10,000円を達成するためには、「その他」コストを更に分析し、課題把握と対策の実施が引き続き必要である。

図表 5-62 第三回実証試験コスト明細

作業工程	オンサイト・チップ化システム		拠点集積・チップ化システム			
	周南森林組合		カルスト森林組合		飯森木材	
	コスト(円/t)	比率	コスト(円/t)	比率	コスト(円/t)	比率
伐採	785	7%	645	3%	756	6%
集材	1,943	16%	2,403	11%	2,051	15%
玉切	0	0%	1,666	8%	561	4%
ハンドリング	0	0%	2,828	13%	2,220	17%
搬出	1,591	14%	3,010	14%	0	0%
竹材運搬	0	0%	2,204	10%	2,109	16%
チップ化	3,697	31%	1,898	9%	1,905	15%
チップ運搬	2,555	22%	2,340	11%	2,340	17%
その他	1,246	11%	4,430	21%	1,431	11%
合計	11,817	100%	21,424	100%	13,374	100%

*周南森林組合の値は第二回実証試験実績をスライドしている。

5-7-9 課題と対応策

第二回実証試験で確認された課題と、それに対する対応策は下記で示す通りである。

■平ボディトラック運搬の安全配慮

トラック種別の変更により効果が確認されたが、走行途中の荷崩れなど安全面での課題が実証試験にて確認された。荷崩れの発生はコスト悪化要因となるため、事業化に向けては安全面の施策が必要である。

■トラック共有計画

第三回実証試験では、カルスト森林組合事業地～飯森木材事業地～森林バイオマスセンターを一周するミルクラン方式が最も効率的であると考え、それが実現可能である前提のもとシミュレーションを行い、理論上トラックの共有が可能であるかを判断した。そのため、トラック共有の実現可能性が課題として挙げられる。

また、伐採地へ集材に向かった時点で運搬に十分な竹の伐採ができていない場合、手待ち時間の発生による人件費や機械経費が増加するため、トラック共有の効果が限定的になってしまう可能性がある。

これへの対応策として、運搬計画と連動した伐採計画を策定する事で、手待ち時間の発生を避けトラック共有の効果を最大化する。

■チップ品質レベルの担保

平成 26 年度の(株)ミツウロコ岩国発電所における燃焼試験では、これまで竹チップ燃料の利用による搬送系のトラブルは確認されていない。しかしながら、無作為サンプル検査では 50mm 以上の規格外チップの混入が認められているため、事業化に向けては、チップ化工程の見直しによりチップ品質の向上を図る。

更なる品質の向上に向け、チップパー破碎刃の交換が施策として挙げられる。チップパーは一度に 3 時間程度稼動し続けるため、仮説としてチップパー破碎刃の劣化により、稼動開始直後と一定時間経過後では 50mm 以上の混入率が後者の方が多いた事が課題として挙げられる。

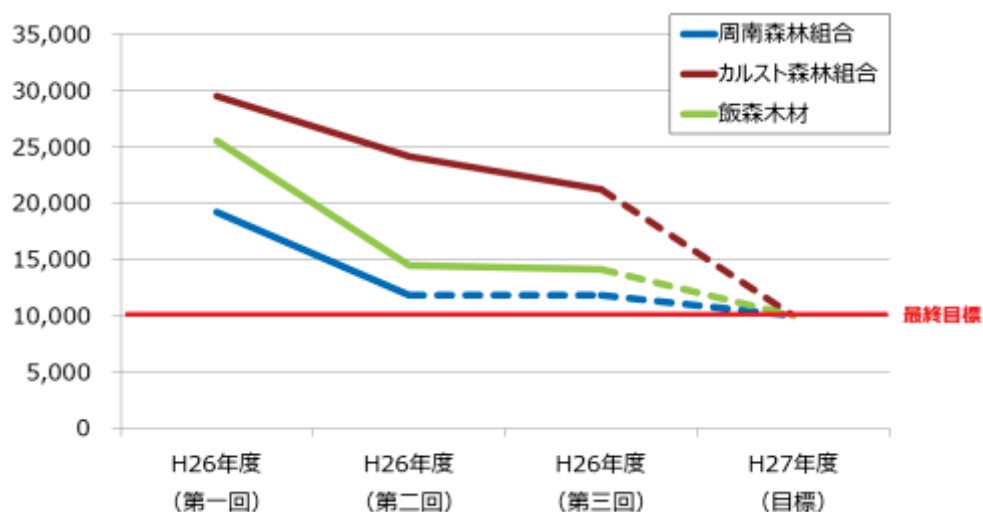
これへの対応策として、チップパー稼動開始から一定間隔でサンプリング検査を実施する事で、チップパー破碎刃の劣化スピードを分析し、最適な刃の交換タイミングをプロセス化する。これにより、チップ品質向上と検品や二次チップ化工程の作業効率化させる。

5-8 H26 年度実証試験の結果

5-8-1 システム別状況推移

第三回実証試験を終えた時点での t あたりコストは、オンサイト・チップ化システムの周南森林組合は約 12,000 円、拠点集積・チップ化システムのカルスト森林組合は約 21,000 円、飯森木材は約 14,000 円まで削減した。次年度では、事業化に向け全ての事業者で t あたりコストを 10,000 円まで削減することが引き続き目標である。

図表 5-63 事業者別 t あたりコスト推移



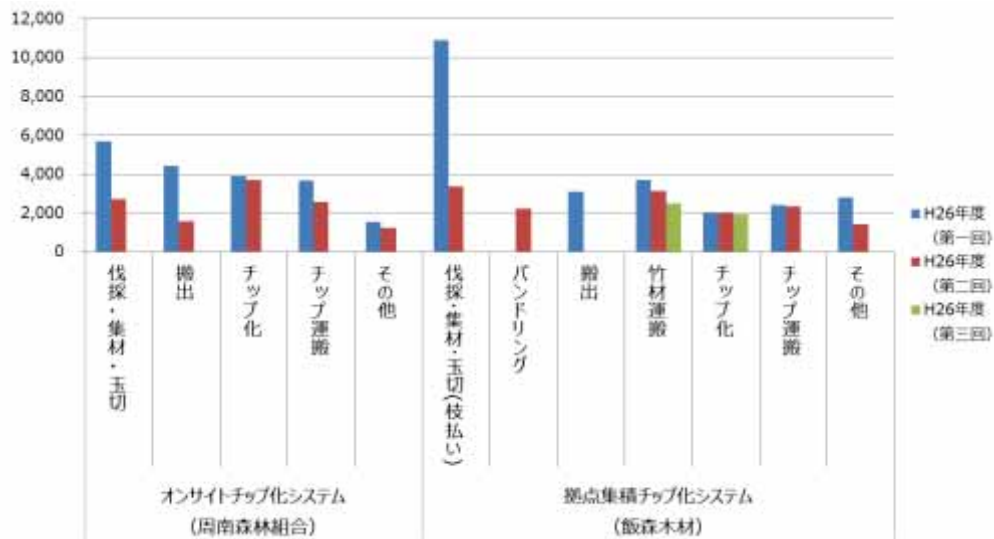
*第一回実証試験の値は、1 サイクル目と 2 サイクル目の平均値を使用している。

*周南の第三回実証試験の値は第二回実証試験野の実績値をスライドしている。

5-8-2 システム別作業工程別状況推移

工程別コスト推移では、第一回実証試験の拠点集積・チップ化システムにおいて高い割合を占めていた「伐採・集材・玉切」が、第二回実証試験では大幅に削減され、他工程と同等の水準となっている。

図表 5-64 工程別 t あたりコスト推移



*第一回実証試験の値は、1 サイクル目と 2 サイクル目の平均値を使用している。

*第三回実証試験は、対象工程のみを表示している。

5-9 伐採・収集・運搬・燃料化方法の選定について（平成 26 年度末現在）

平成 26 年度実証試験の成果を受けて、現段階における各作業システムを以下のとおりとした。

ただし、今年度の抽出した課題の解決に向け、平成 27 年度に引き続きその改善を図り、システムの改善を進めていく。

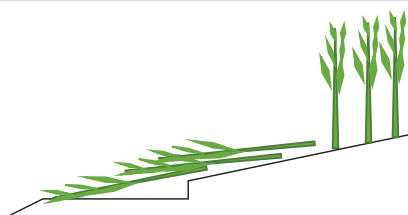
① 竹林オンサイト・チップ化システム

移動式チップパーの活用により、竹林内で竹をチップ化し、直接、木質バイオマス発電施設へチップ燃料を供給する作業システムについては、以下のシステムを基本とする。

①伐倒

【機械】 チェンソー、フェラーバンチャ

【手順】 ①チェンソーで竹を斜面下方向へ向け伐倒
※アームの届く範囲は、フェラーバンチャで伐倒
②人力で竹を集材（作業道まで竹先端を出す）



②集材（搬出）

■ 集積土場まで近いケース（約150m未満）

【機械】 フェラーバンチャ

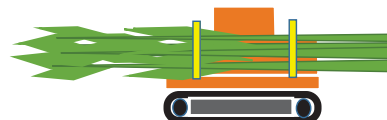
【手順】 ①全竹の梢端部分をフェラーバンチャで掴む
②集積土場へそのまま牽引



■ 集積土場まで遠いケース（約150m以上）

【機械】 林内作業車、フェラーバンチャ

【手順】 ①竹をフェラーバンチャで2分割
②林内作業車へ積み込み、集積土場へ搬出



注）「150m」の基準については、H26 末の暫定値であり、今後の検討を要する。

③チップ加工

【機械】 移動式チップパー、グラブ、チップ運搬トラック

【手順】 ①グラブ又は人力によりチップパーへ竹（枝葉付）を投入

②チップを直接トラック荷台へ積み込み

③チップが満載になったら発電施設へ発車

※チップ運搬トラック2台で対応



④チップ運搬

【機械】 チップ運搬トラック

【手順】 ①発電施設へチップを積み降ろし



② 拠点集積・チップ化システム

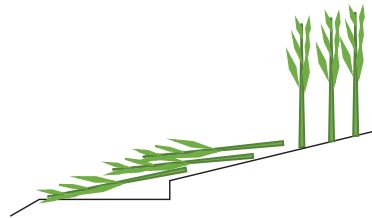
竹短幹を集積拠点（チップ工場）に運搬し、拠点でチップ化し、木質バイオマス発電施設へチップ燃料を供給する作業システムについては、以下のシステムを基本とする。

- a. 竹林～集積拠点（チップ工場） 作業路走行距離が約 150m 以上の場合
注）「150m」の基準については、H26 末の暫定値であり、今後の検討を要する。

① 伐倒

【機械】 チェンソー

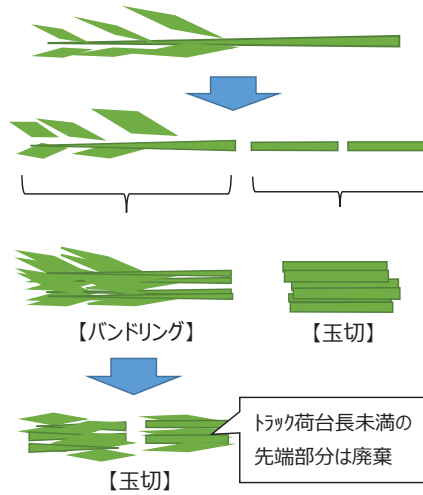
- 【手順】 ①チェンソーで竹を斜面下方向へ向け伐倒
②人力で竹を集材（作業道まで竹先端を出す）



② 集材～玉切・バンドリング

【機械】 チェンソー、グラブ

- 【手順】 ①グラブで作業道上へ集材した竹を並べる
②枝の無い部分をチェンソーで玉切
③枝の付着した部分はバンドリングし玉切
※玉切長はトラック荷台長に合わせる



③ 搬出

【機械】 フォワーダ（林内作業車）、グラブ

- 【手順】 ①グラブで荷台へ積み込み
②集積土場へ搬出
③グラブで集積土場へ積み下ろし



④ 竹材運搬

【機械】 トラック、グラブ

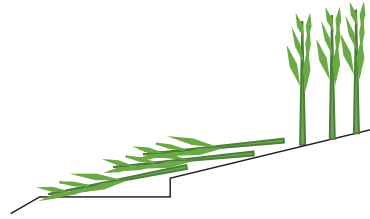
- 【手順】 ①竹短幹・バンドルをグラブで積み込み
→下に竹短幹、上にバンドルを載せる
②満載になったらチップ工場へ発車
③チップ工場で積み下ろし



- b. 竹林～集積拠点（チップ工場）※作業路走行距離が約 150m 未満の場合
 注）「150m」の基準については、H26 末の暫定値であり、今後の検討を要する。

①伐倒

- 【機械】 チェンソー
 【手順】 ①チェンソーで竹を斜面下方向へ向け伐倒
 ②人力で竹を集材（作業道まで竹先端を出す）



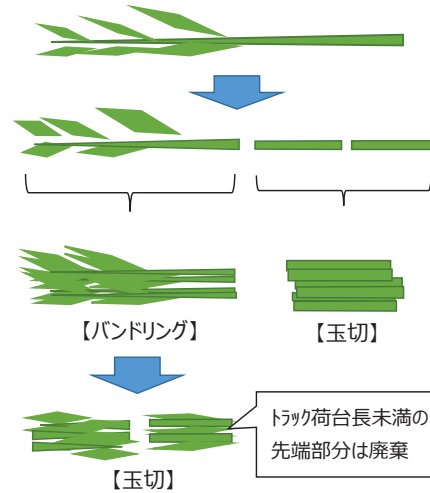
②搬出

- 【機械】 グラップル
 【手順】 ①全竹の梢端部分をグラップルで掴む
 ②集積土場へそのまま牽引



③玉切・バンドリング

- 【機械】 チェンソー、グラップル
 【手順】 ①集積土場へ搬出された竹を並べる
 ②枝のない部分をチェンソーで玉切
 ③枝のある部分はバンドリングし玉切
 ※玉切長はトラック荷台長に合わせる
 ④竹短幹・バンドルは作業道脇に集積
 または、トラックへ直接積み込み



④竹材運搬

- 【機械】 トラック、グラップル
 【手順】 ①竹短幹・バンドルをグラップルで積み込み
 →下に竹短幹、上にバンドルを載せる
 ②満載になったらチップ工場へ発車
 ③チップ工場で積み下ろし



c. 集積拠点（チップ工場）～発電施設

①竹積み降ろし

- 【機械】トラック
【手順】①竹林から運搬した竹を計量後、積み降ろし



②チップ化（一次破碎）

- 【機械】切削式チップパー、グラブ
【手順】①竹短幹等をグラブで切削式チップパーへ投入
②一次破碎チップを二次破碎工程へ移動



③チップ化（二次破碎）

- 【機械】破碎式チップパー、バケットローダ
【手順】①一次破碎チップを破碎式チップパーへ投入
②二次破碎チップを保管



④チップ運搬

- 【機械】チップ運搬トラック
【手順】①チップ運搬トラックでチップを発電施設へ運搬
②発電施設へチップを積み降ろし



5-10 実証試験計測データ（その他）

各実証試験で実施した機械稼働率・積載率は下記で示す通りである。

■機械稼働率（チップパー稼働率）

		オンサイト・チップ化システム		拠点集積・チップ化システム				
		周南森林組合		カルスト森林組合		飯森木材		
第1回試験	サイクル	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	
	チップ重量	6.51t	8.86t	5.71t	10.51t	7.34t	5.06t	
	稼働率	一次チップパー	32.2%	33.15%	94.64% (BC1000)			
		二次チップパー	-	-	81.63%			
第2回試験	チップ重量	17.5t		12.7t		6.63t		
	稼働率	一次チップパー	38.56%		94.64% (BC1000)			
		二次チップパー	-		81.63%			
第3回試験	チップ重量	-		12.7t		6.63t		
	稼働率	一次チップパー	-		30.73% (790TC)			
		二次チップパー	-		81.63%			

*第3回では、拠点集積・チップ化システムを施策対象としたため、周南森林組合では試験を実施していない。

■機械稼働率（トラック稼働率）

		オンサイト・チップ化システム		拠点集積・チップ化システム			
		周南森林組合		カルスト森林組合		飯森木材	
		チップ運搬		竹材運搬		竹材運搬	
第1回試験	サイクル	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
	運搬距離	55km	55km	27km	27km	24km	24km
	稼働率	46%	54%	58%	45%	55%	76%
第2回試験	運搬距離	31km		23km		20km	
	稼働率	82%		66%		88%	
第3回試験	運搬距離	-		23km		20km	
	稼働率① ^{*2}	-		31%		41%	
	稼働率② ^{*3}	-		49% ^{*2}			

*1 第3回では、拠点集積・チップ化システムを施策対象としたため、周南森林組合では試験を実施していない。

*2 トラック種別をダンプから平ボディに変更し、積載率を向上させた場合のシミュレーション値。トラックの拘束日数は第二回試験時から変更しないものとしている。
*3 トラック種別変更に加え、事業者間でトラックを共有した場合のシミュレーション値。トラックの拘束日数は第二回試験時(カルスト)から変更しないものとしている。

■積載率（フォワーダー積載率）

		オンサイト・チップ化システム		拠点集積・チップ化システム				
		周南森林組合		カルスト森林組合		飯森木材		
第1回実証試験	サイクル	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	
	搬出距離	150m	280m	450m	500m	20m	20m	
	搬出重量	6.51t	8.86t	5.71t	10.51t	7.34t	5.06t	
	積載率(回) フォワーダー	~25%	3	0	1	0	0	0
		~50%	8	1	0	1	0	2
		~75%	2	0	1	1	0	0
~100%		1	15	6	5	5	3	
計	14	16	8	7	5	5		
第2回実証試験	搬出距離	32m		30m		0m		
	搬出重量	17.52t		12.7t		6.63t		
	積載率(回) フォワーダー	~25%	-		0		-	
		~50%	-		0		-	
		~75%	-		1		-	
		~100%	-		7		-	
計	-		8		-			

*1 第2回試験の周南森林組合ではラップルにて搬出を行った為、機械積載率測定対象外とする。

*2 第2回試験の飯森木材では、作業地の環境によって搬出作業の必要がなかった為、機械積載率の測定対象外とする。

■積載率（竹材運搬の車両積載率）

		オンサイト・チップ化システム ^{*1}				拠点集積・チップ化システム								
		周南森林組合				カルスト森林組合				飯森木材				
		第1回		第2回		第1回		第2回		第1回		第2回		第3回 ^{*2}
	サイクル1	サイクル2	第2回	第3回	サイクル1	サイクル2	第2回	第3回 ^{*2}	サイクル1	サイクル2	第2回	第3回 ^{*2}		
運搬本数	-	-	-	-	231	424	345	-	206	169	151	-		
本あたり重量	-	-	-	-	25kg	25kg	37kg	-	36kg	30kg	44kg	-		
運搬重量	-	-	-	-	5.71t	10.51t	12.7t	-	7.34t	5.06t	6.63t	-		
トラック種別	-	-	-	-	4tダンプ	4tダンプ	4tダンプ	4t平	2t	2t	2t	4t平		
積載率	1回目	-	-	-	-	57%	57%	52%	98%	74%	64%	66%	98%	
	2回目	-	-	-	-	53%	66%	57%		77%	62%	71%		
	3回目	-	-	-	-	50%	70%	66%		77%	62%	67%		
	4回目	-	-	-	-	-	65%	65%		76%	66%	59%		
	5回目	-	-	-	-	-	38%	55%		74%	-	69%		
	6回目	-	-	-	-	-	-	64%		81%	-	-		

*1 オンサイト・チップ化システムでは竹材運搬を行わない為、車両積載率測定対象外とする。

*2 第3回では、実際の運搬ではなくトラック車種の変更による積載向上試験のみを実施している。

■積載率（チップ運搬トラック積載率）

	オンサイト・チップ化システム			拠点集積・チップ化システム						
	周南森林組合			カルスト森林組合			飯森木材			
	第1回		第2回	第1回		第2回	第1回		第2回	
	サイクル1	サイクル2		サイクル1	サイクル2		サイクル1	サイクル2		
運搬本数	219	254	345	-	-	-	-	-	-	
運搬重量	6.51t	8.86t	17.52t	-	-	-	-	-	-	
トラック種別	4t	4t	4t	-	-	-	-	-	-	
積載率	1回目	103%	101%	拠点集積・チップ化システムのチップ運搬は木材と混載している為、積載率は100%としている。						
	2回目	107%	89%							102%
	3回目	-	95%							105%
	4回目	-	-							95%
	5回目	-	-							97%
	6回目	-	-							66%

6 朝市方式地域集荷システムの実施に向けた検討

平成 27 年度実証試験では、竹林所有者等自ら竹を伐採・搬出し、集積拠点へ持ち込むシステムとして、「朝市方式」地域集荷システムの実施を予定している。竹の受入条件・ルール等を検討するにあたり、鹿児島県北薩地域（中越パルプ工業㈱川内工場への製紙用竹チップの供給）における、竹集荷システム事例の調査を行った。

■ 鹿児島県北薩地域における竹集荷システムの概要

- ・ タケノコ生産者が中心となり、タケノコ生産林整備の副産物である竹材を地域のチップ工場へ出荷
- ・ 出荷者の約 9 割は軽トラックにより、竹材を持ち込み
- ・ チップ工場での竹材の買取価格は、6,200～9,700 円/t（市町補助金を含む）
- ・ チップ工場では、製紙用竹チップとして、中越パルプ工業㈱川内工場へ販売



タケノコ生産林



タケノコ生産者の竹材持込



軽トラック積載状況



集積状況

■ 山口県への適用にあたっての課題

- ・ 山口県の竹林面積は ha と全国第 4 位の資源量を有するものの、タケノコの年間生産量は年間 114t（H25）と、鹿児島県（5,270 t）の約 2%に止まっている。現状では、タケノコ生産者からの出材は期待できないため、実証試験では地域で活動する竹林ボランティア団体等を対象とする。
- ・ 事業化にあたっては、タケノコ生産との連携による、竹林利用モデルの構築を図る必要がある。

7 竹チップ燃料の発電施設への供給量

平成 26 年度実証事業では、竹チップ燃料 869 トンを生産し、木質専焼発電施設である(株)ミツウロコ岩国発電所へ供給を行った。

当発電施設の平成 26 年 7 月から平成 27 年 2 月の期間に使用した木質系燃料 66,048 t のうち、竹チップ燃料の占める割合は約 1.3%となっていることから、実証期間内においては、これまでのところ問題等は発生していない。次年度では、竹チップ燃料の混合率を段階的に増加させ、ボイラーや燃料搬送設備への影響を検証する必要がある。

なお、中国電力(株)新小野田発電所（石炭混焼）では、平成 26 年 8 月に施設火災が発生し、設備の完全復旧に至っていないため、平成 26 年度には竹チップ燃料の供給は行っていない。

図 7-1 ミツウロコ岩国発電所への竹チップ燃料供給量

(単位 : t)

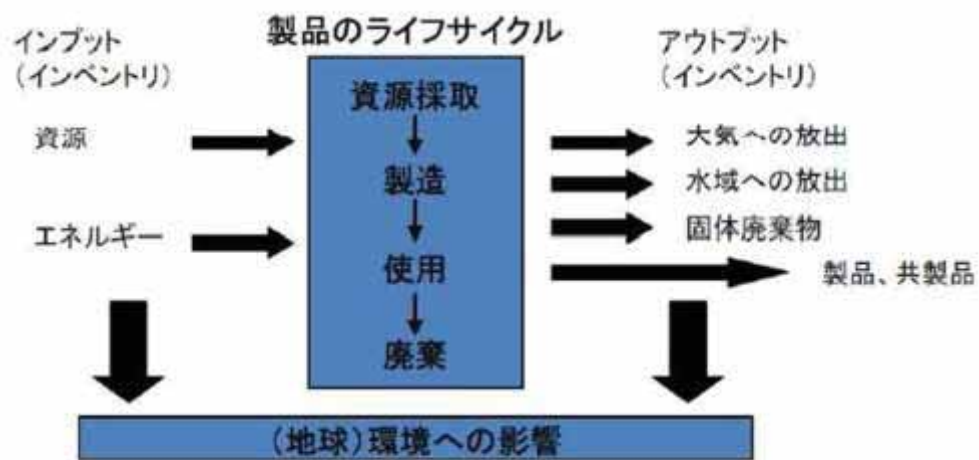
区分	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	合計
(株)ミツウロコ岩国発電所	45	38	134	51	206	147	96	152	869

8 LCA手法に基づく環境分析

一般的に木質バイオマス燃料は、カーボンニュートラル²であり環境負担の少ない持続可能なエネルギーであるとされている。しかし、チップ製造における伐採、竹材運搬、チップ化、チップ運搬など、ほぼ全ての工程において運搬機器や作業機器が用いられており、それらは機器には化石燃料が使用されている。そのため、実際にカーボンニュートラルであり、持続可能なエネルギーであるかの判断には十分な環境分析が必要である。

本実証事業では、LCA分析³（ライフサイクルアセスメント分析）を用い、竹が伐採されエネルギーとして消費されるまでに環境に与える影響を分析し、事業化に向け環境面における実現可能性・持続可能性を評価する。

図表 8-1 LCA分析手法の概要



【出典】カーボンフットプリントについて LCA・環境ラベルとの関係
社団法人産業環境管理協会 カーボンフットプリント推進チーム 石塚氏資料

²一連の人為的活動を行った際に、排出される二酸化炭素と吸収される二酸化炭素が同じ量である、という概念

³製品のライフサイクルにおける、投入資源、環境負荷及びそれらによる地球や生態系への環境影響を定量的に評価する方法

8-1-1 環境性分析の目的と考え方

環境性分析の目的は、竹バイオマス燃料事業に関する各工程について、LCA手法に基づいたインベントリ分析⁴、及びエネルギー収支分析⁵を行い、環境負荷を定量的に算定することである。考え方の参考としては、環境省「温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン（平成23年10月）」や他の先進事例などに倣っている。

「データ収集方法」には、製品を生産する各工程において使用した資源・エネルギーと排出物を詳細に計算し集計することで環境負荷を求める「積み上げ法」と、約500項目存在する産業連関表を用いて、部門間の金額ベースのやりとりから特定製品に関わる環境負荷を算定する「産業関連法」があるが、本実証事業により適している前者「積み上げ法」を採用している。

本実証事業における環境性分析の基本的な考え方は下記の図表 7-2 で示す通りである。

図表 8-2 環境性分析の考え方

対象製品	竹チップ
対象実施事業体	周南森林組合/飯森木材㈱
機能単位	1GJ（1GJの発熱量を得る為には約95kgの竹チップが必要）
データ収集期間	12月8日～12月10日/1月16日～1月19日 ^{*1}
データ収集方法	積み上げ法
原単位データ (各温室効果ガスの排出係数/温暖化係数)	環境省「温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン（平成23年10月）」に基づいている
システム境界	P.81「システム境界」参照
評価する影響領域	資源消費、地球温暖化
評価する環境負荷物質	軽油、CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O

⁴製品やサービス等を原料の調達から製造、流通、使用、排気、リサイクルにわたるライフサイクル全体を対象として考え、各段階で投入される資源、エネルギー又は排出物を定量的に把握する分析手法

⁵投入エネルギーに対して、そのエネルギー設備からのどれだけのエネルギーが生産されるかを「出力エネルギー / 入力エネルギー」の倍率で示したエネルギー収支を比較する分析手法

8-1-3 フォアグラウンドデータ

フォアグラウンドデータとは、LCA 分析における基礎データである。本実証事業でのフォアグラウンドデータは、竹伐採量（チップ燃焼量）24.15t の製造に要した各作業工程での燃料使用量、運搬距離の定量データを用いている。

本分析では、事業全体としての環境評価を実施するために、竹林オンサイト・チップ化システムを採用する周南森林組合と、拠点集積・チップ化システムを採用する飯森木材の合計をデータとして採用している。また、これらの値は全て第二回実証試験によって得られた実績値を採用しており、工程ごとの値は下記の図 8-4 で示す通りである。

図表 8-4 フォアグラウンドデータ一覧（周南・飯森の合計）

工程		分類	品目	単位	量
インプット	伐採	原材料	竹	t	24.15
		エネルギー	ガソリン	ℓ	18.29
	集材	エネルギー	軽油	ℓ	60.55
	玉切り	エネルギー	ガソリン	ℓ	1.10
	バンドリング	エネルギー	軽油	ℓ	3.38
			ガソリン	ℓ	1.97
	搬出	エネルギー	軽油	ℓ	36.80
	竹材運搬	エネルギー	軽油	ℓ	43.84
		原材料輸送 ^{*1}	2tトラック	km	160.00
	チップ化	エネルギー	軽油	ℓ	86.36
チップ運搬	エネルギー	軽油	ℓ	104.65	
	製品輸送 ^{*1}	4tトラック	km	490.80	
15tトラック					
アウトプット	チップ燃焼	製品 ^{*2}	竹チップ	t	24.15

^{*1} 原材料輸送と製品輸送についてはトラック往復分を考慮している。※（走行距離）＝（運搬距離）×2×（運搬回数）

^{*2} 各プロセスからは1つの製品しか生産されず副製品の発生がないものとし、配分は考慮していない。

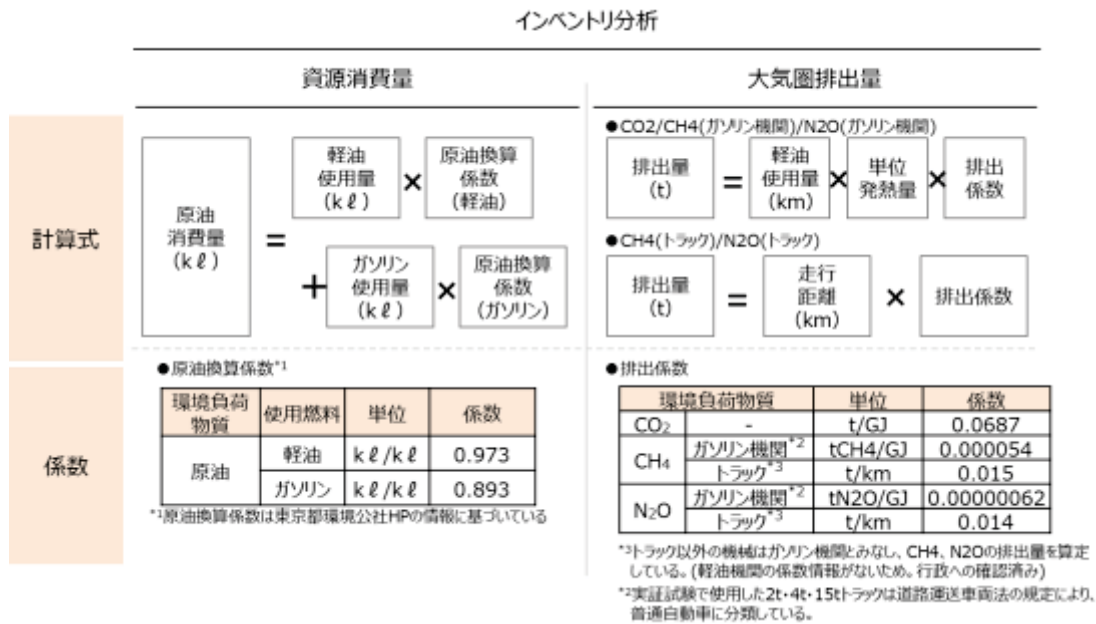
8-1-4 インベントリ分析

インベントリ分析では、前項で説明したシステム境界内の竹チップのライフサイクルにおいて、化石燃料などの資源がどれだけ投入され、また排気ガスや廃棄物がどれだけ排出されたかを計算する。本実証事業では、資源消費量と大気圏排出量の2項目を算定した。

資源消費量・大気圏排出量の各計算式と係数は下記の図表 7-5 で示す通りである。なお、大気圏排出量の係数・計算式は、環境省地球環境局「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン（平成 23 年 10 月）」を参考とする。

インベントリ分析の計算方法と係数は下記の図 8-5 で示す通りである。

図表 8-5 インベントリ分析の計算方法と係数



インベントリ分析の結果、竹林オンサイト・チップ化システムを採用する周南森林組合と、拠点集積・チップ化システムを採用する飯森木材の合計で、竹チップ製造に投入された燃料は原油 297.884kg であり、大気圏に排出される CO₂ は 928.248kg、CH₄ は 0.054kg、N₂O は 0.014kg であった。

工程ごとの投入燃料・大気排気量は下記の図 8-6 で示す通りである。

図表 8-6 インベントリ分析結果

区分	環境負荷項目	単位	原材料調達				製品製造・製品輸送				合計
			伐採	集材	玉切	バンドリング	搬出	竹材運搬	チップ化	チップ運搬	
資源消費量	原油*	kg	13.884	50.081	0.838	8.426	30.432	36.254	71.421	86.549	297.884
大気圏排出量	CO ₂	kg	42.436	156.229	2.562	26.207	94.932	113.094	222.798	269.990	928.248
	CH ₄	kg	0.004	0.012	0.000	0.002	0.007	0.003	0.018	0.007	0.054
	N ₂ O	kg	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.007	0.014

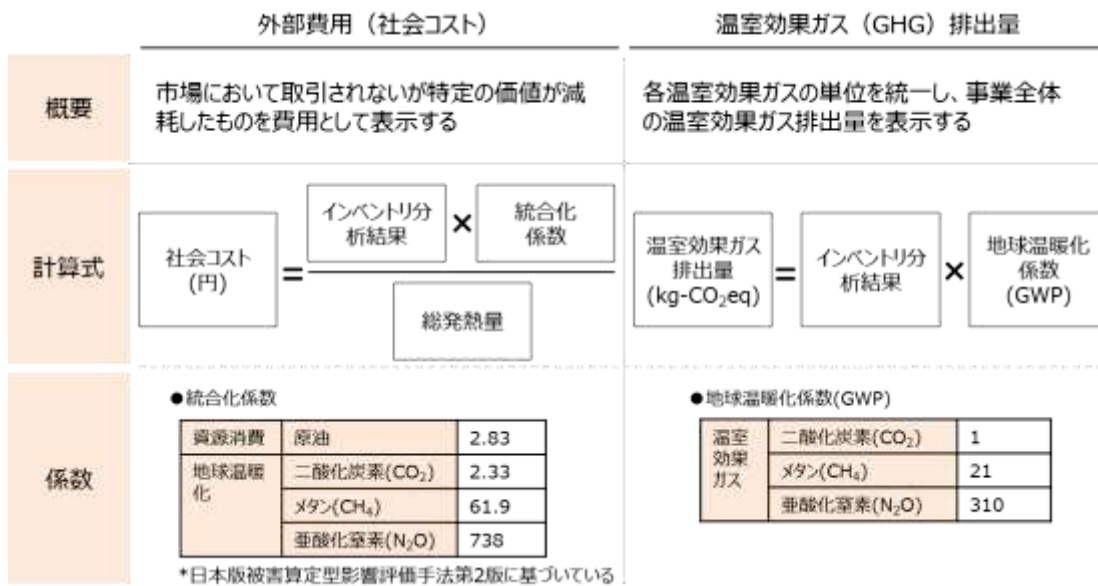
*原油 1kℓ の重量は、石油連盟 HP の統計情報より 850kg としている。

8-1-5 環境影響評価

環境影響評価では、前項で算出したインベントリ分析結果と統合化係数により、市場において取引されていないが、特定の価値が減耗された仮定しその費用を計算する「外部費用」と、各温室効果ガスの単位を統一し事業の温室効果ガス排出量を計算する「温室効果ガス排出量」にてライフサイクルにおける環境影響評価を実施した。なお、外部費用と温室効果ガス排出量の計算式・係数は、株式会社森のエネルギー研究所「木質バイオマス LCA 評価事業の結果について（平成 24 年 7 月）」を参考とする。

各項目の計算式と係数は下記の図 8-7 で示す通りである。

図表 8-7 環境影響評価方法

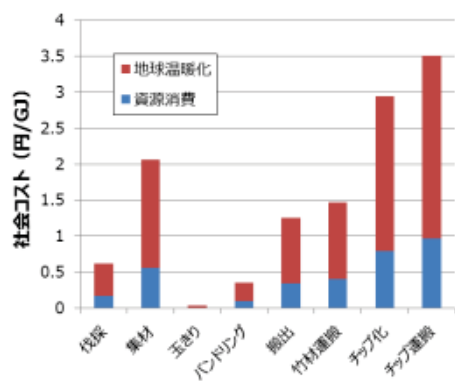


下記の図 7-8 で示す通り、竹林オンサイト・チップ化システムを採用する周南森林組合と、拠点集積・チップ化システムを採用する飯森木材の合計で、竹チップ 1GJ あたりの社会コストは 12 円（外部費用：3.325 円＋地球温暖化：8.847 円）という結果になり、中でもチップ運搬が占める割合が最も高く、約 30%を占めている。

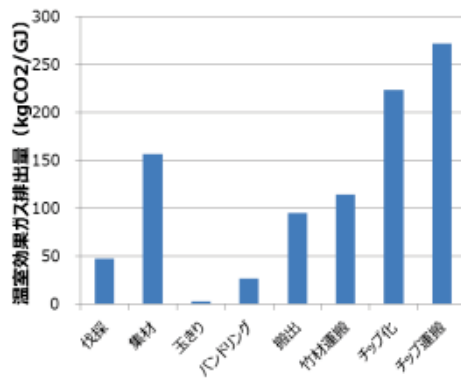
図表 8-8 環境影響評価結果

区分	単位	原材料調達					製品製造・製品輸送			合計
		伐採	集材	玉切	バンドリング	搬出	竹材運搬	チップ化	チップ運搬	
外部費用	円/GJ	0.155	0.559	0.009	0.094	0.340	0.405	0.797	0.966	3.325
地球温暖化	円/GJ	0.410	1.503	0.025	0.252	0.911	1.063	2.143	2.539	8.847
地球温暖化(内訳)	CO ₂ 円/GJ	0.390	1.436	0.024	0.241	0.872	1.039	2.047	2.481	8.529
	CH ₄ 円/GJ	0.019	0.063	0.001	0.011	0.038	0.016	0.090	0.038	0.276
	N ₂ O 円/GJ	0.001	0.004	0.000	0.001	0.001	0.008	0.006	0.020	0.041

●外部費用(社会コスト)



●温室効果ガス排出量

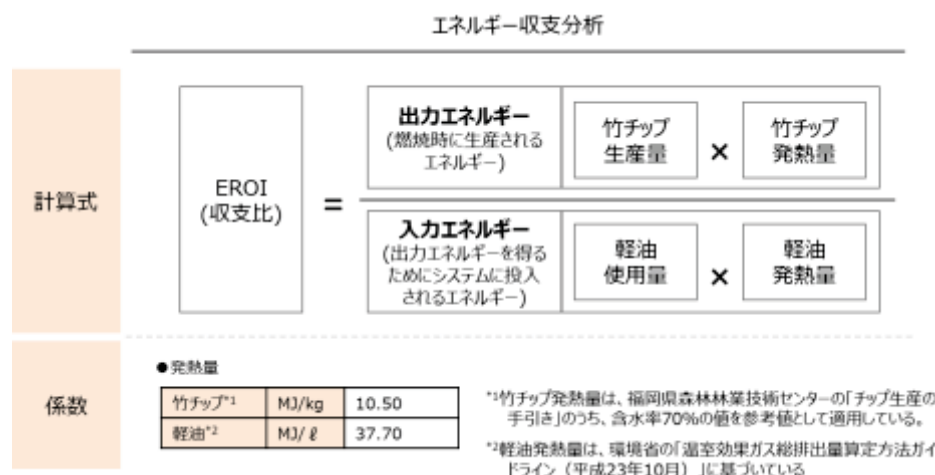


8-1-6 エネルギー収支分析

入力エネルギーと出力エネルギーの収支比（EROI）を明らかにし、エネルギーの「質」を測定するため、エネルギー収支分析を実施した。ここでは、事業にとって最も理想的な「質」を明らかにするため、竹林オンサイト・チップ化システムを採用する周南森林組合と、拠点集積・チップ化システムを採用する飯森木材の第二回実証試験実績のエネルギー収支を比較することで、より環境効率の良いシステムを明らかにした。

エネルギー収支分析の計算式と係数は下記の図表 8-9 で示す通りである。

図表 8-9 エネルギー収支分析の計算式と係数



下記の図表 7-12 で示す通り、エネルギー収支分析の結果、竹林オンサイト・チップ化システムを採用する周南森林組合で EROI が 21 ポイント、拠点集積・チップ化システムを採用する飯森木材で 14 ポイントとなり、竹林オンサイト・チップ化システムが 7 ポイント、50%高い結果となった。

この分析結果から、竹材バイオマス事業においては竹林オンサイト。チップ化システムが環境効率の良いエネルギー生産方法であると明らかになった。

図表 8-10 エネルギー収支分析結果

	出力エネルギー		入力エネルギー		EROI (収支比)
	竹チップ生産量(kg)	熱量(MJ)	燃料使用量(ℓ)	熱量(MJ) ^{※2}	
周南森林組合 (オンサイト・チップ化システム)	17,520	183,960	229	8,645	21
飯森木材 (拠点集積・チップ化システム)	6,630	69,615	133	5,004	14

9 次年度の事業推進方針

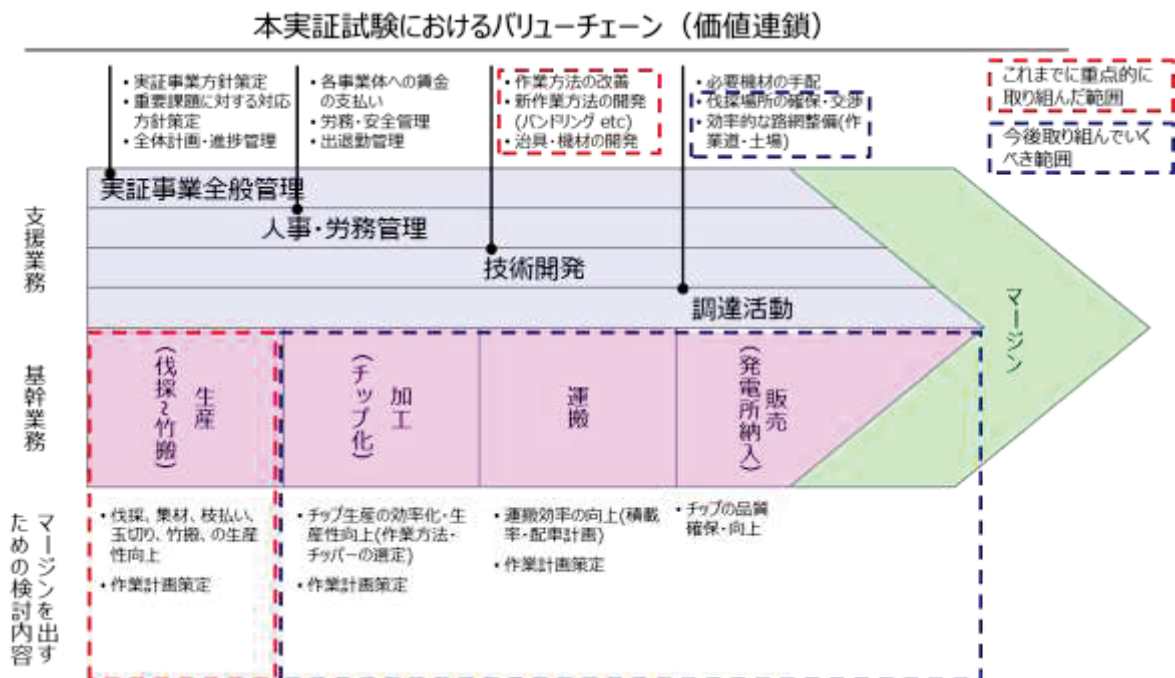
9-1 事業概念イメージ

今年度は、経済性（生産性）の改善に主眼を置き実証試験を実施し、目標である tあたり10,000円には到達していないものの、一定の効果を確認することができた。次年度では、今年度と同様に作業の効率化や歩留まりの向上などの経済性（生産性）改善を継続する一方で、竹材バイオマス事業に関わるバリューチェーン⁶全体の事業モデルの検証を実施していく。

第三回実証試験では、竹材運搬工程とチップ化工程の竹林外をスコープに実証試験を実施したが、今年度は竹林内を中心に実証事業を推進してきた。次年度では、伐採から発電施設への納品まで全てのプロセスを対象に実証し、各プロセスや各工程の部分最適ではなく、事業全体最適を追求し持続可能な事業の構築を目指す。

本実証事業をバリューチェーンフレームワークに当てはめたイメージは下記の図表 10-1で示す通りである。

図表 10-1 本実証事業におけるバリューチェーンイメージ



⁶ マイケル・ポーターが著書『競争優位の戦略』の中で用いた言葉。バリューチェーンの活動を主活動と支援活動に分類した。主活動は購買物流、オペレーション、出荷物流、マーケティング・販売、サービスからなり、支援活動は企業インフラ、人材資源管理、技術開発、調達から構成される。

9-2 事業化に向け実証するテーマ

バリューチェーン全体の事業モデルを検証し、事業全体最適を実現するために、具体的には「最適オペレーションの構築」と「事業基盤の整備」の2つのテーマを実証する。

■最適オペレーションの構築

tあたり10,000円の達成という、経済性（生産性）の向上は本実証事業にとって必達課題であり、次年度も引き続き実証対象とするが、更に事業視点での評価を実施するために「実費ベース」でのデータの収集・分析を行なう。

今年度までは、作業プロセスの改善を主な目的としたため、各工程で実際に作業した時間・機械を使用した時間などをベースにコストを分析・評価してきた。具体的には、機械故障などへのイレギュラー対応時間を作業時間から除き、機械経費の算出は実際に使用した時間のみを経費発生対象としていた。

実際の事業においては、人件費は労働時間単位で発生し、機械経費もレンタルやリースであれば契約期間単位で発生する。各工程において発生した作業時間は、今年度と同じ粒度でデータ収集・分析を実施する一方で、コストについては支払い実費をベースで収集・分析することで事業化の実現可能性を評価する。

また、竹林内作業における作業路網の規格の選定に向けた分析・評価を行なう。平成26年度実証試験において、作業路上の作業ポイント（広場）の有無や路網密度が竹の搬出コストに影響を与えることが確認されているため、適用する作業システムや地形条件等に合わせた最適な路網規格を選定し、竹の搬出コストの低減を図る。

■事業基盤の整備

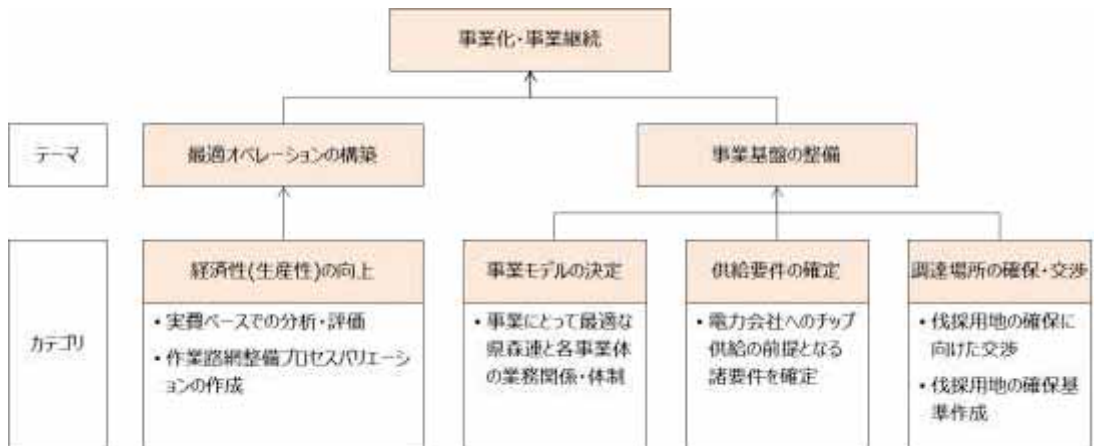
事業基盤の整備において最優先となる事項は「調達場所の確保・交渉」である。原料である竹を調達できなければ事業化は不可能であり、竹林を安定確保するプロセスが必要である。

しかし、現在の課題として、竹に関する資源情報の精度が低いため効率的な事業地の選定が困難なことや、1箇所竹林であっても複数の地権者が存在し交渉に時間を要するという事実が挙げられる。これに対し、航空写真等による竹資源情報の高精度化、森林GISを活用した所有者情報の管理手法等を実証することで、事業化時の早期の竹林確保を実現させる。

また、次に優先する事項は「供給要件の確定」である。需要側である発電事業者が求める竹チップの納品量や納品頻度、チップ品質などの諸要件を確定し、供給における前提条件を定義する事で供給体制のあるべき姿を明確にし、それを実現するプロセスを構築する必要がある。

本年度の供給先である(株)ミツウロコへ岩国発電所からは、現状のチップ品質レベルに問題はないと報告を受けており、今後は(株)ミツウロコ岩国発電所などの木質バイオマス発電施設等に対して低コストでより多くの竹チップを供給する体制を構築していく。

図表 10-2 実証テーマの全体像イメージ



9-3 平成 27 年度スケジュール

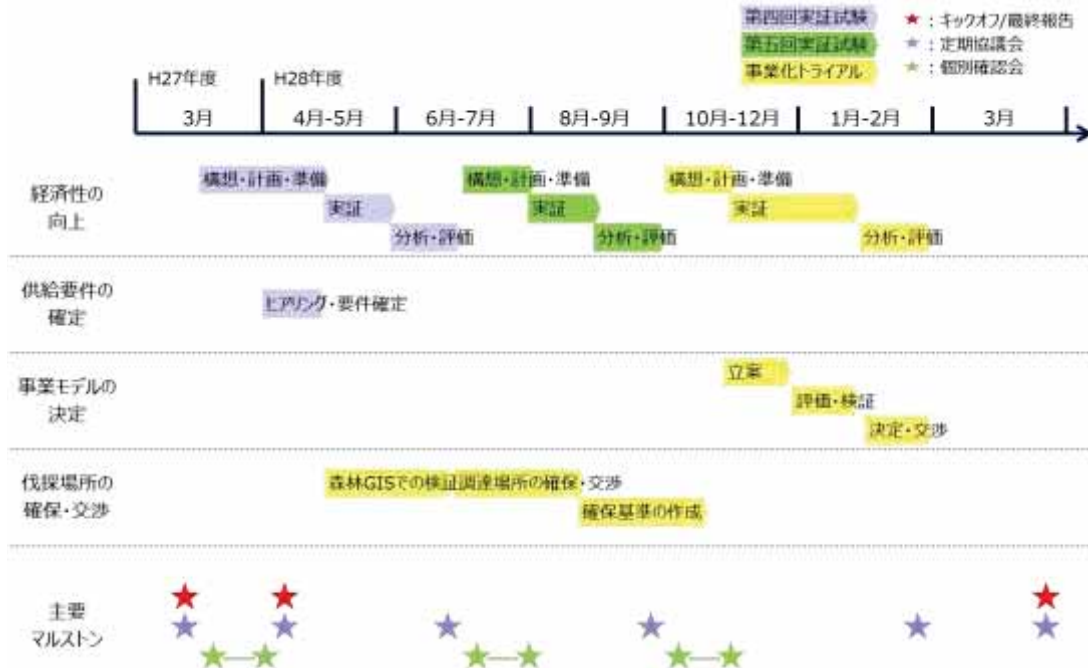
下記の図表 10-4 が次年度の実証事業スケジュールの大枠イメージである。第四回実証試験では、今年度の実証試験を通し明らかになったものの施策を講じることが出来ていない課題を中心に分析・評価する。

第四回実証試験と並行して、第五回実証試験、第六回実証試験（事業化トライアル）に使用する伐採場所の確保を進める。次年度の第五回・第六回では、実際の事業に近い環境を再現するために実証試験対象区域の拡大を図る。

第五回実証試験では、これまでの実証試験結果を踏まえ、各工程においてこれまで蓄積してきた最も効率的な作業手法や作業プロセスを実施し、実証試験における最終確認と位置づける。また、事業モデルなどの事業全体に関わる事項もこの実証試験の対象とし、コスト算出方法なども事業モデルの支払い体系に順じ分析・評価する。

第六回実証試験では、これを事業化トライアルと位置づけ、本実証事業の最終結果とする。

図表 10-3 H27 年度スケジュール大枠イメージ



ミツウロコ岩国発電所における 竹チップ^o燃焼実証試験報告

内 容

- 1 . 緒 言
- 2 . ミツウロコ岩国発電所設備概要
- 3 . 燃料分析表(竹チップ^oと他の燃料分析比較)
- 4 . 燃料使用実績 (2014 年 7 月～2015 年 2 月)
- 5 . 運転実績 (グラフ) (2014 年 7 月～2015 年 2 月)
- 6 . 考 察

平成 27 年 3 月 9 日

株式会社ミツウロコ岩国発電所

1. 緒言

株式会社ミツウロコ岩国発電所は、木質バイオマス燃料専焼ボイラーを設置しており、燃料種別としてはリサイクル建築廃材、リサイクル生木、一般木材、PKS、未利用木材を混焼している。

今回、これに加えて竹チップを H25 年 7 月～H26 年 2 月までの間、燃料として混ぜ込み使用し、ボイラーに及ぼす影響を調査したので以下の通り報告する。

設備概要

ボイラー型式	循環流動層自然循環単胴型
最大蒸発量	45t/h
主蒸気	7.1Mpa(最高)×458°C(最高)
使用燃料	木質バイオマス(100%)
硫黄酸化物対策	燃焼室直接石灰石投入炉内脱硫方式
窒素酸化物対策	低温2段低Nox燃焼方式
ばいじん対策	バグフィルター除塵
タービン型式	減速機付復水型
定格出力	10,000kw
主蒸気	5.4Mpa × 450°C
回転数	約9,000rpm
発電機型式	3相交流同期横軸回転界磁型
定格容量	11,112KVA
力率	0.9
電圧	6.6KV
周波数	60Hz
回転数	1,800rpm

3. 燃料分析表(竹チップと他の燃料分析比較)

燃料受入時のサンプル採取による成分分析結果を下表に示す。特徴としてカリウム成分が他の燃料分析値に比較して、やや高めを示している。これは燃焼灰の融点、軟化点を低くし、ボイラー伝熱管への灰融着によるクリンカー生成成長を促進し、熱伝達の障害、ひいては通風障害を招く要因になり、懸念される成分である。

以後、これを踏まえた上で運転実績をもとにして考察を加える。次ページに下記分析表をもとに無水ベースへ換算した表をも示す。

燃料分析結果 (受入時のサンプル)			2014年					2015年		平均 (単純平均)	
			07月04日	08月11日	09月10日	10月08日	11月10日	12月10日	01月09日		02月10日
リサイクル 建廃	全水分	%	19.7	30.2	15.4	21.5	28.2	24.5	39.6	18.9	24.8
	灰分	%	1.3	2.6	1.7	3.3	2.6	2.5	2.2	3	2.4
	低位発熱量	kJ/kg	13,800	11,190	14,830	13,070	12,010	13,780	10,280	14,500	12,933
	炭素(C)	%	39.77	32.91	41.78	38.22	35.04	37.08	29.39	39.5	36.7
	水素(H)	%	5.84	5.19	5.97	5.37	4.66	4.91	4.11	5.32	5.2
	窒素(N)	%	0.47	0.40	0.45	0.80	0.43	0.31	0.40	0.51	0.5
	酸素(O)	%	32.8	28.6	34.5	30.6	28.8	30.5	24.2	32.6	30.3
	硫黄(S)	%	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.04
	塩素(Cl)	%	0.08	0.07	0.12	0.11	0.20	0.10	0.06	0.08	0.10
	ナトリウム(Na)	%	0.05		0.05						0.05
	カリウム(K)	%	0.07		0.07						0.07
	リサイクル 生木	全水分	%	47.2	43.7	50.1	39.9	46.2	47.7	41.9	44.0
灰分		%	3.6	3.6	2.7	4.4	6.4	6.8	7.1	2.9	4.7
低位発熱量		kJ/kg	7,780	7,810	7,330	9,450	7,460	7,820	8,590	9,030	8,159
炭素(C)		%	25.04	25.36	23.82	28.30	23.54	23.68	25.82	26.71	25.3
水素(H)		%	3.81	3.95	3.46	4.12	3.13	3.30	3.60	3.78	3.6
窒素(N)		%	0.28	0.33	0.29	0.34	0.32	0.29	0.29	0.25	0.3
酸素(O)		%	20.0	23.0	19.5	22.8	20.3	18.1	21.2	22.3	20.9
硫黄(S)		%	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03
塩素(Cl)		%	0.03	0.03	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
ナトリウム(Na)		%	0.05		0.04						0.05
カリウム(K)		%	0.20		0.17						0.19
一般木材		全水分	%	45.0	48.5	55.4	48.7	47.8	52.5	51.3	57.8
	灰分	%	2.0	1.2	2.5	1.3	3.1	2.5	3.0	2.9	2.3
	低位発熱量	kJ/kg	8,810	8,230	6,610	8,240	8,550	8,010	7,690	6,390	7,816
	炭素(C)	%	27.37	25.67	22.12	26.01	26.07	24.25	24.36	20.86	24.6
	水素(H)	%	3.87	3.83	3.00	3.53	3.22	3.02	3.19	2.66	3.3
	窒素(N)	%	0.17	0.09	0.17	0.10	0.11	0.11	0.12	0.15	0.1
	酸素(O)	%	21.4	20.6	16.5	20.3	19.5	17.4	17.8	15.4	18.6
	硫黄(S)	%	0.03	0.02	0.05	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03
	塩素(Cl)	%	0.09	0.06	0.17	0.03	0.10	0.18	0.16	0.12	0.11
	ナトリウム(Na)	%	0.08		0.16						0.12
	カリウム(K)	%	0.13		0.08						0.11
	未利用木材	全水分	%	51.1	53.9	49.8	47.3	49.3	50.3	52.9	50.2
灰分		%	1.0	0.8	1.8	1.1	1.6	3.4	3.1	2.9	2.0
低位発熱量		kJ/kg	7,440	6,630	7,660	8,420	8,020	7,860	7,120	7,740	7,611
炭素(C)		%	24.58	22.30	24.40	26.49	25.12	24.23	22.72	23.34	24.1
水素(H)		%	3.64	3.5	3.45	3.79	3.21	3.32	3.17	3.19	3.4
窒素(N)		%	0.08	0.07	0.11	0.07	0.09	0.13	0.14	0.14	0.1
酸素(O)		%	19.6	19.4	20.4	21.2	20.6	18.5	17.9	20.2	19.7
硫黄(S)		%	<0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
塩素(Cl)		%	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
ナトリウム(Na)		%	<0.01		0.03						0.02
カリウム(K)		%	0.06		0.13						0.10
PKS		全水分	%	34.8	32.7	32.9					17.2
	灰分	%	2.2	2.9	2.1					2.7	2.5
	低位発熱量	kJ/kg	11,090	11,600	11,930					15,660	12,570
	炭素(C)	%	33.92	34.48	34.86					42.4	36.4
	水素(H)	%	4.60	4.68	4.56					5.43	4.8
	窒素(N)	%	0.34	0.32	0.29					0.35	0.3
	酸素(O)	%	24.1	24.8	25.2					31.8	26.5
	硫黄(S)	%	0.03	0.03	0.03					0.03	0.03
	塩素(Cl)	%	<0.01	<0.01	<0.01					0.03	0.01
	ナトリウム(Na)	%	<0.01		<0.01					0.02	<0.01
	カリウム(K)	%	0.04		0.05					0.18	0.09
	竹チップ	全水分	%	34.5		40.9	40.0	39.1	42.6	43.6	45.2
灰分		%	1.2		0.9	0.9	0.9	0.7	1.1	0.7	0.91
低位発熱量		kJ/kg	10,500		9,490	9,880	10,150	9,550	9,310	8,980	9,694
炭素(C)		%	31.97		28.96	29.58	29.89	28.45	27.68	26.93	29.1
水素(H)		%	4.80		4.20	4.22	3.88	4.11	3.91	3.79	4.1
窒素(N)		%	0.20		0.15	0.12	0.12	0.09	0.10	0.12	0.1
酸素(O)		%	27.1		24.7	25.0	25.9	23.9	23.5	23.1	24.7
硫黄(S)		%	0.02		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
塩素(Cl)		%	0.14		0.09	0.10	0.11	0.09	0.09	0.11	0.10
ナトリウム(Na)		%	<0.01		0.01						0.01
カリウム(K)		%	0.33		0.23						0.28

平均値算定にあたり、<0.01 は 0.00 として算出した

竹チップの形状、サイズを右写真に示す。サイズは概ね 50mm 以下で、懸念していた燃料搬送系の不具合は発生しなかった。燃料分析の無水ベース換算値から灰分が他の燃料に比較して少ないことが窺える。これは竹チップのみ燃焼した場合、灰に含まれるカリウムの割合も高くなる事を意味している。



燃料分析結果 (受入時のサンプル) 無水ベース換算			2014年						2015年		平均 (単純平均)
			07月04日	08月11日	09月10日	10月08日	11月10日	12月10日	01月09日	02月10日	
リサイクル 建廃	全水分	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	灰分	%	1.62	3.72	2.01	4.20	3.62	3.31	3.64	3.70	3.2
	低位発熱量	kJ/kg	17,799	17,113	17,985	17,334	17,709	19,063	18,659	18,462	18,015
	炭素 (C)	%	49.53	47.15	49.39	48.69	48.80	49.11	48.66	48.71	48.8
	水素 (H)	%	7.27	7.44	7.06	6.84	6.49	6.50	6.80	6.56	6.9
	窒素 (N)	%	0.59	0.57	0.53	1.02	0.60	0.41	0.66	0.63	0.6
	酸素 (O)	%	40.85	40.97	40.78	38.98	40.11	40.40	40.07	40.20	40.3
	硫黄 (S)	%	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.07	0.05	0.05
	塩素 (Cl)	%	0.10	0.10	0.14	0.14	0.28	0.13	0.10	0.10	0.14
	ナトリウム (Na)	%	0.06		0.06						0.06
カリウム (K)	%	0.09		0.08						0.08	
リサイクル 生木	全水分	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	灰分	%	6.82	6.39	5.41	7.32	11.90	13.00	12.22	5.18	8.53
	低位発熱量	kJ/kg	16,970	15,813	17,199	17,384	16,013	17,232	16,588	18,089	16,911
	炭素 (C)	%	47.42	45.04	47.74	47.09	43.75	45.28	44.44	47.70	46.06
	水素 (H)	%	7.22	7.02	6.93	6.86	5.82	6.31	6.20	6.75	6.64
	窒素 (N)	%	0.53	0.59	0.58	0.57	0.59	0.55	0.50	0.45	0.54
	酸素 (O)	%	37.88	40.85	39.08	37.94	37.73	34.61	36.49	39.82	38.05
	硫黄 (S)	%	0.06	0.05	0.04	0.05	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05
	塩素 (Cl)	%	0.06	0.05	0.10	0.08	0.06	0.08	0.07	0.05	0.07
	ナトリウム (Na)	%	0.09		0.08						0.09
カリウム (K)	%	0.38		0.34						0.36	
一般木材	全水分	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	灰分	%	3.64	2.33	5.61	2.53	5.94	5.26	6.16	6.87	4.8
	低位発熱量	kJ/kg	18,064	18,335	17,926	18,436	18,669	19,626	18,424	18,566	18,506
	炭素 (C)	%	49.76	49.84	49.60	50.70	49.94	51.05	50.02	49.43	50.0
	水素 (H)	%	7.04	7.44	6.73	6.88	6.17	6.36	6.55	6.30	6.7
	窒素 (N)	%	0.31	0.17	0.38	0.19	0.21	0.23	0.25	0.36	0.3
	酸素 (O)	%	38.91	40.00	37.00	39.57	37.36	36.63	36.55	36.49	37.8
	硫黄 (S)	%	0.05	0.04	0.11	0.04	0.06	0.08	0.08	0.07	0.07
	塩素 (Cl)	%	0.16	0.12	0.38	0.06	0.19	0.38	0.33	0.28	0.24
	ナトリウム (Na)	%	0.15		0.36						0.25
カリウム (K)	%	0.24		0.18						0.21	
未利用木材	全水分	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	灰分	%	2.04	1.74	3.59	2.09	3.16	6.84	6.58	5.82	4.0
	低位発熱量	kJ/kg	17,827	17,305	17,739	18,221	18,250	18,345	17,925	18,062	17,959
	炭素 (C)	%	50.27	48.37	48.61	50.27	49.55	48.75	48.24	46.87	48.9
	水素 (H)	%	7.44	7.59	6.87	7.19	6.33	6.68	6.73	6.41	6.9
	窒素 (N)	%	0.16	0.15	0.22	0.13	0.18	0.26	0.30	0.28	0.2
	酸素 (O)	%	40.08	42.08	40.64	40.23	40.63	37.22	38.00	40.56	39.9
	硫黄 (S)	%	<0.01	0.02	0.02	<0.01	<0.01	0.02	0.04	0.02	0.02
	塩素 (Cl)	%	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.02	0.02	0.02
	ナトリウム (Na)	%	<0.01		0.03						0.02
カリウム (K)	%	0.12		0.26						0.19	
PKS	全水分	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	灰分	%	3.37	4.31	3.13					3.26	3.5
	低位発熱量	kJ/kg	18,344	18,451	19,005					19,432	18,808
	炭素 (C)	%	52.02	51.23	51.95					51.21	51.6
	水素 (H)	%	7.06	6.95	6.80					6.56	6.8
	窒素 (N)	%	0.52	0.48	0.43					0.42	0.5
	酸素 (O)	%	36.96	36.85	37.56					38.41	37.4
	硫黄 (S)	%	0.05	0.04	0.04					0.04	0.04
	塩素 (Cl)	%	<0.01	<0.01	<0.01					0.04	0.01
	ナトリウム (Na)	%	<0.01		<0.01					0.02	<0.01
カリウム (K)	%	0.06		0.07					0.22	0.12	
竹チップ	全水分	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	灰分	%	1.83		1.52	1.50	1.48	1.22	1.95	1.28	1.5
	低位発熱量	kJ/kg	17,347		17,788	18,133	18,272	18,493	18,440	18,449	18,132
	炭素 (C)	%	48.81		49.00	49.30	49.08	49.56	49.08	49.14	49.1
	水素 (H)	%	7.33		7.11	7.03	6.37	7.16	6.93	6.92	7.0
	窒素 (N)	%	0.31		0.25	0.20	0.20	0.16	0.18	0.22	0.2
	酸素 (O)	%	41.37		41.79	41.67	42.53	41.64	41.67	42.15	41.8
	硫黄 (S)	%	0.03		0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03
	塩素 (Cl)	%	0.21		0.15	0.17	0.18	0.16	0.16	0.20	0.18
	ナトリウム (Na)	%	<0.01		0.02						0.01
カリウム (K)	%	0.50		0.39						0.45	

平均値算定にあたり、<0.01 は 0.00 として算出した

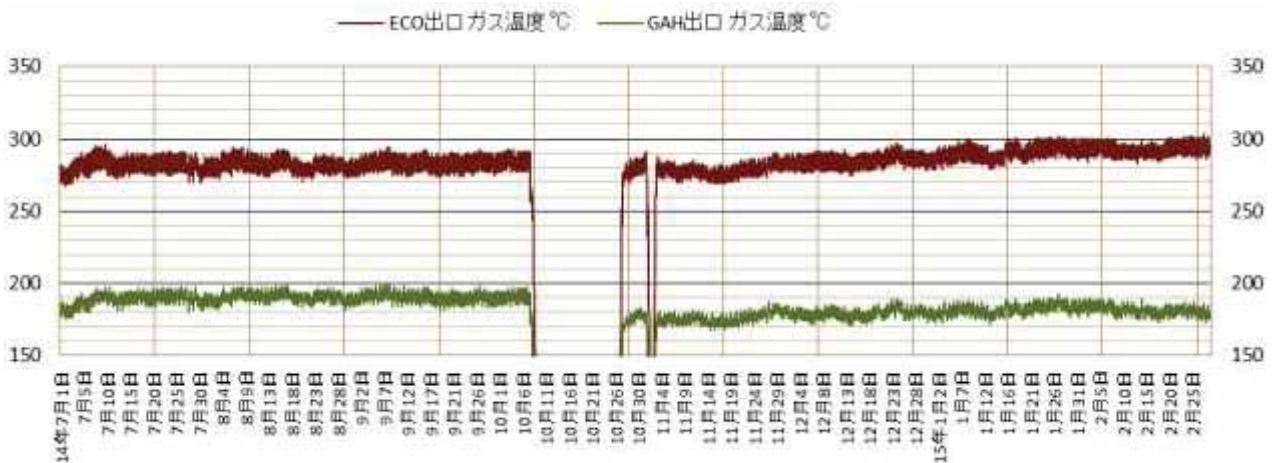
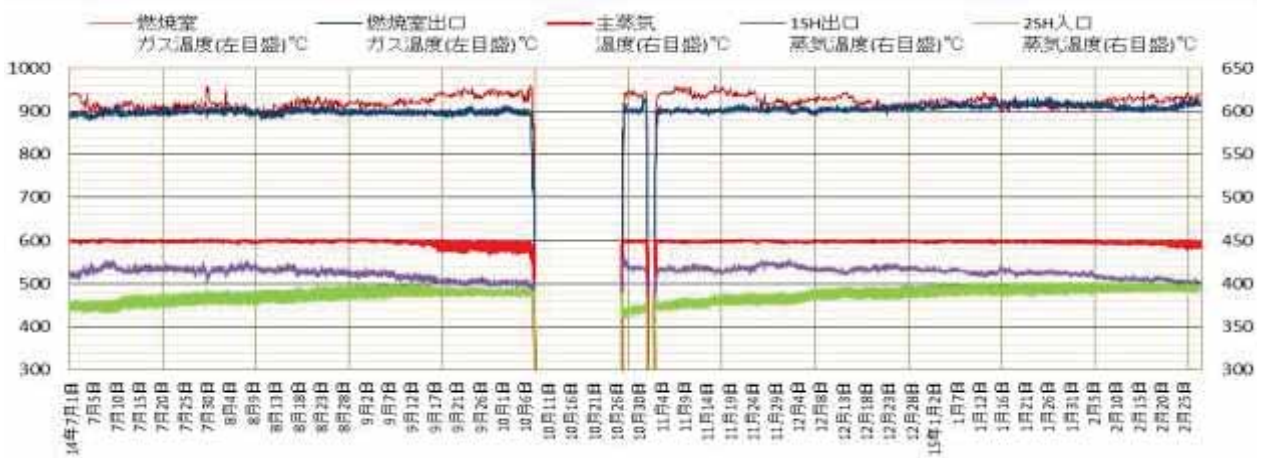
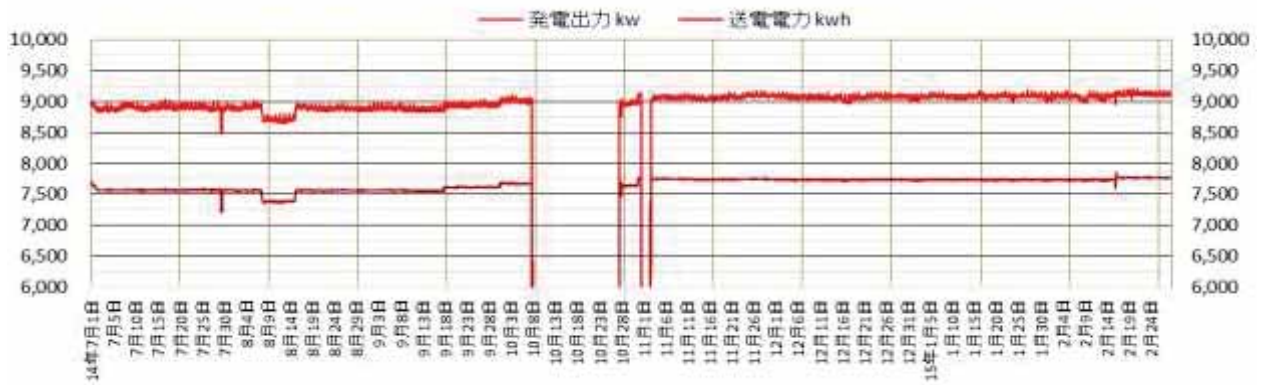
4. 燃料使用実績

竹チップ使用割合は、湿ベース、絶乾ベースとも 約 1.3% となっており、今回のボイラーへの混焼実証試験に際しては、竹チップによるボイラーへの影響は、表面化していないものと考察する。

燃料ボイラー使用実績		2014年						2015年		合計平均	使用割合	
燃料種別		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月			
建築廃材	投入量(湿)	t	3,510	3,427	3,018	1,274	2,417	2,770	2,882	1,818	21,116	32.0%
	水分	%	28.3	26.9	22.0	21.2	20.0	23.6	25.0	25.0	24.5	
	絶乾量	t	2,517	2,506	2,353	1,005	1,932	2,116	2,160	1,364	15,953	39.0%
生木	投入量(湿)	t	1,671	1,676	1,669	383	2,208	1,874	1,867	1,263	12,611	19.1%
	水分	%	47.3	47.2	44.6	42.7	42.2	46.1	45.6	46.5	45.4	
	絶乾量	t	881	885	925	219	1,275	1,011	1,016	676	6,888	16.9%
一般材	投入量(湿)	t	375	277	328	80	169	334	238	224	2,025	3.1%
	水分	%	47.6	46.9	44.2	41.1	42.1	46.8	46.0	48.6	46.0	
	絶乾量	t	197	147	183	47	98	177	129	115	1,093	2.7%
PKS	投入量(湿)	t	284	491	131				98	760	1,763	2.7%
	水分	%	22.7	22.1	19.7				17.7	15.5	18.9	
	絶乾量	t	220	382	105				81	642	1,430	3.5%
未利用材	投入量(湿)	t	3,925	3,869	3,432	1,503	2,758	3,987	4,079	4,110	27,664	41.9%
	水分	%	47.2	47.0	44.4	41.8	42.2	46.1	46.0	48.7	45.9	
	絶乾量	t	2,072	2,052	1,908	875	1,594	2,150	2,203	2,108	14,964	36.6%
竹	投入量(湿)	t	45	38	134	51	207	147	96	152	869	1.3%
	水分	%	36.4	34.1	40.6	33.7	36.2	40.5	39.6	42.7	38.9	
	絶乾量	t	28	25	80	34	132	87	58	87	531	1.3%
合計	投入量(湿)	t	9,810	9,777	8,712	3,291	7,759	9,112	9,260	8,327	66,048	100.0%
	水分	%	39.7	38.6	36.3	33.8	35.1	39.2	39.0	40.0	38.1	
	絶乾量	t	5,915	5,998	5,554	2,179	5,032	5,542	5,647	4,992	40,860	100.0%

5. 運転実績 (グラフ)

以下にボイラー運転実績の主要データを示す。



6. 考 察

① 燃料としての有効性

竹チップの有効発熱量（低位発熱量）は燃料分析結果からして、他の木質燃料に比較して遜色は無く、木質バイオマス燃料として有効である。

② 燃料成分について

他の木質燃料と比較して、灰分が少なく有効発熱量も遜色の無いことからして灰処理量が軽減する傾向にあると考える。

一方、灰の融点温度を低下させるカリウム成分が多く、ボイラー伝熱面への灰融着による熱伝達阻害が懸念される。

③ 竹チップ混焼によるボイラー実証運転に際して

H26年7月～H27年2月までの間、他の木質バイオマス燃料に混ぜ込み実証運転を行なった結果、②項で懸念されたボイラー伝熱面への灰融着による熱伝達阻害の兆候は認められなかった。

運転実績（グラフ）において運転続行に伴い1SH出口～2SH入口蒸気温度の差が小さくなっている。これは2SH、1SH管伝熱面に灰融着及び成長による熱伝達阻害が進行した結果である。

本現象は過去、竹チップを混焼する以前からの兆候であり、今回、特に顕著な傾向を示した訳ではない。

従って竹チップ使用割合1.3%混焼においては、なんら問題は無かったものと考えられる。

これは、使用割合が1.3%と低いため、竹チップ燃焼による影響が表面化しなかったものとも考えられる。

④ 燃料搬送系統に関して

実証試験実施前、オーバーサイズチップが混入し、搬送系のトラブルの原因になると懸念していたが、実証試験で納入された物は、概ね50mm以下で使用割合が少なかったこともあり、搬送系のトラブルは認められなかった。

但し、逆に粉状になったものが多く、篩にかけた場合、歩止りが悪くなると思われる。

⑤ 今後に際して

今後は、竹チップ使用割合を5%、10%と段階的に増加してどの程度まで可能かを検証したい。

推測の域ではあるが、5%～10%くらいは可能ではないかと考えている。

平成 26 年度森林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

平成 27 年 3 月

発注者 林野庁

委託者 竹資源供給実証事業共同事業体

代表者 山口県山口市滝町 1-1

山口県

構成員 山口県山口市駅通り二丁目 4-17

山口県森林組合連合会