

平成19年度木質バイオマス利活用 地域モデル実践事業

成果報告書

平成20年3月

社団法人 全国木材組合連合会

はじめに

本報告書は平成19年度木質バイオマス利活用推進対策事業として実施した地域モデル実践事業の成果を取りまとめたものである。木質バイオマスの利活用は、持続可能な社会の実現、地球温暖化の防止に資することから「バイオマス・ニッポン総合戦略」においても重要な課題に位置づけられている。しかしながら、林地残材についてはなかなか利用が進まないため、これらを含む木質バイオマスの一層の利活用を図る目的で、全国数カ所で木質バイオマスの総合利用に関するモデル事業を実施した。

この事業の実施にあたっては、木質バイオマスの利活用に積極的に取り組む企業から新たな提案を募集し、これをモデル事業として実践することとした。具体的には、林地残材の利用を中心に、実稼働している施設を活用した実証試験等を実施し、林地残材利用のための新たな取り組みの実現可能性や問題点等に関する分析を行った。

応募総数は15団体であったが、この中からモデル事業としてふさわしく、且つ計画の実現性が高い事業を4つ選考し、事業を実施した。課題の選定並びに事業の進行にあたっては、岐阜県立森林アカデミー学長の熊崎実氏を委員長とする実証事業実施団体選定委員会のご指導をいただいた。委員の皆様には厚くお礼申し上げます。

報告書の第2章「実証事業の実施結果」は、各事業実施団体の実施結果をそれぞれ個別に取りまとめたもので、本報告書の骨子となる部分である。株式会社イワクラによる「パーティクルボード及び木質ペレット原料としての未利用木材の集荷システムの開発」、遠野興産株式会社による「林地残材収集・運搬事業」、秩父市による「木質バイオマス・ガス化・コジェネによる地域実証事業」、エヌ・アンド・イー株式会社による「林地残材等のMDF利用モデル実践」を取り上げている。事業実施団体からの報告に基づき、(社)全国木材組合連合会が総括的に取りまとめた。報告書の作成にご協力いただいた皆様に厚くお礼申し上げます次第である。

本事業の成果が、今後全国各地で実施される林地残材等の未利用木質バイオマスの利活用に関与することを期待している。

平成20年3月

社団法人 全国木材組合連合会
会長 庄司 橙太郎

実証実施団体選定委員会

- 委員長 熊崎 実（岐阜県立森林文化アカデミー学長）
- 委員 今富 裕樹（独立行政法人森林総合研究所林業工学研究領域長）
- 吉田 貴紘（独立行政法人森林総合研究所加工技術研究領域
木材乾燥研究室主任研究員）
- 城子 克夫（バイオエネルギーコンソーシアム座長）
- 木村 司（木村木材工業株式会社代表取締役社長）

目 次

1. 実証事業の概要	1
2. 実証事業の実施結果	
2. 1 パーティクルボード及び木質ペレット原料としての未利用木材の 集荷システムの開発（株式会社 イワクラ）	5
2. 2 林地残材収集・運搬事業（遠野興産株式会社）	29
2. 3 木質バイオマス・ガス化・コージェネによる地域実証事業 （秩父市）	55
2. 4 林地残材等のMDF利用モデル実践 （エヌ・アンド・イー株式会社）	83
3. 実証事業の成果と今後の課題	103
4. まとめ	106

1. 実証事業の概要

本事業は公募により選定された団体が行う木質バイオマス資源の総合利用モデルを構築する取り組みを支援するもので、実稼働している施設を活用して林地残材等の未利用木質バイオマスの利用促進を図るモデル実証事業である。

林地残材等の未利用木質バイオマスの利用に当たっては、川上から川下までの一貫した林業コストの縮減を図るシステム等とも連携した新たなビジネスモデルの構築が重要である。このため、木質バイオマスの効率的な収集、運搬、林地残材等による新木質材料の製造、熱エネルギー利用、バイオマス発電等に総合的に取り組む事業を選定することとした。

実施した事業の内容は概ね次のとおりである。

(1) パーティクルボード及び木質ペレット原料としての未利用木材の集荷システムの開発（株式会社イワクラ）

同社は北海道苫小牧に大規模なパーティクルボード工場を有し、林材部門においては造林、造材、木材集荷事業を行うなど幅広く事業を展開している。また、最近では木質ペレット製造設備を整備し、木質バイオマスの総合利用に取り組んでいる。今回の実証事業は、山地に放置されたままになっている小径木や端材等の未利用木材をパーティクルボードや木質ペレット原料として利用するための、木材集荷システムの構築に取り組んだものである。これにより、原料の安定集荷とパーティクルボードや木質ペレットの安定生産を目指している。集荷の対象とした未利用木材は、国有林風倒木処理現場において放置されていたもので、これを効率的に集荷する方法の検討を行った。方法としては、林地現場で破砕してから運搬する方法と、未利用木材をそのまま工場に運搬してから破砕する方法について、最終製品までの総合利用評価を含む実証事業を実施した。また、破砕や運搬方法に関して、使用設備や作業方法を変えた様々な実証試験を実施し、コスト面、環境面からの総合的な評価を試みた。

林地残材等の集荷量は、予備試験及び事業予算外での集荷を合わせて、全体で約2,000トンが達成された。

(2) 林地残材収集・運搬事業（遠野興産株式会社）

同社は福島県いわき市において、木材チップの製造販売並びに運搬事業を行っており、産業廃棄物処理や木質ペレットの製造販売にも取り組んでいる。チップ製造設備としては全国有数の規模を持ち、製紙、ボード、燃料、家畜敷料向けに近隣の多くの工場に分別して納入している。原料は、これまで製材工場からの残廃材や建築解体材が主体であったが、近年、周辺地域で木質バイオマス発電や合板工場向けのチップ需要が急増し、原料となる木質バイオマス資源の争奪戦の様相を呈している。そこで、これまで林内に放置されていた未利用間伐材・林地残材の搬出・輸送・チップ化を行い、新たな資源としての利活用可能性を探る目的で本実証事業に取り組んだ。

事業内容としては、従来からの集材方式に加え、高性能林業機械の活用による収集、運搬、加工の高能率化と、新たにスカイウッドシューター（空中滑り台方式）による小径木や

曲がり材等の簡易集材システムの実用化に取り組んだ。また、集材現場としては主伐と間伐の両方を取り上げている。

林地残材等の集荷量は、高性能林業機械を用いた集材とその他の集材方式を含め全体で約2,000トンが達成された。

(3) 木質バイオマス・ガス化・コージェネによる地域実証事業（秩父市）

同市は地域内の森林資源の活用と地域経済の活性化を目的として、平成18年12月にバイオマス発電所を完成させ、そのエネルギーを同市のレクリエーション施設で活用する事業に取り組んでいる。この発電設備は小規模ではあるが、木質バイオマス・ガス化・コージェネ方式としては日本初の実用機であり、各方面から注目されている。この施設はもともと地域資源の有効活用を目的として導入されたものであるが、これまでは燃料として比較的高品質のチップが使われており、これを林地残材等の未利用木質バイオマスに転換していくことが課題であった。そこで、今回この実証事業において林地残材等の未利用材の活用に取り組んだ。

実証事業における課題としては、林地残材等の未利用バイオマスの収集とそのコスト削減、バイオマス発電所での利用に適したチップの製造システムの確立、林地残材チップを使ったバイオマス発電所の継続運転の確保、発電所からの生産エネルギーの有効活用が掲げられた。

林地残材等の集荷量の目標は、当初 260トン(700m³、含水率13%－wet換算) が設定されたが、発電所の稼働率が期待ほど上げられなかったことや事業実施期間の制限等により、最終的には実績は 110トン(300m³、含水率13%－wet換算) となった。

(4) 林地残材等のMDF利用モデル実践（エヌ・アンド・イー株式会社）

同社は平成7年に徳島県小松島市にスギ材を主原料とするMDF工場を立ち上げ現在に至っている。しかしながら、近年原料となるチップの調達が困難になってきていることから、林地残材等の未利用木材の利用を検討していた。一方、徳島県では林業再生からさらに飛躍の発展を図る目的で、間伐材の増産とそれに関わる流通、加工体制の充実、強化と木材の利用推進を掲げ「林業再生プロジェクト」を推進していた。こうしたことから両者の連携によりこの実証事業が実施されることとなった。

実証事業としては、近年、全木集材とプロセッサ造材の組み合わせにより素材生産性が向上していることから、これによって従来放置されていた林地残材を副産物として利用可能かどうかの検証を実施することとなった。各種の機械及び作業方法を組み合わせた検証パターンを設定し、収集・運搬の効率化を図る方法を検討した。また、林地残材の運搬方式として、現地で移動式チップパーにより減容化して運搬する方法の可能性についても検討した。

林地残材等の集荷量の実績は、最終的には約4,000トンに達し、当初の目標をほぼ達成することが出来た。

2. 実証事業の実施結果

2. 1 パーティクルボード及び木質ペレット原料としての 未利用木材の集荷システムの開発 (株式会社 イワクラ)

2. 1. 1 実証事業のねらいと実施内容

(1) 実証事業のねらい

a 林地残材の利用

二酸化炭酸の排出抑制や最近の国際的な原油価格の高騰の影響から、循環資源である木質原料に注目が集まっている。

森林は、木材生産だけではなく、水源のかん養、土砂流出の防止、二酸化炭素の吸収・貯蔵機能による地球温暖化防止など、様々な公益的機能を有している。しかし、外国産の安価な木材などとの競合等により木材価格が長期にわたり低迷していることから、木材生産の採算性が低下し、管理の行き届かない森林の増加が懸念される状況となっている。このため、森林づくりを下支えする林業・木材産業の健全な発展に向けて、適切な森林資源利用の仕組みづくりを進める必要がある。

なかでも森林整備の過程で発生する間伐材や、伐採後搬出されず林内に残されている未利用木材の有効活用は、地域資源の循環利用や地球温暖化の防止につながるものとして重要である。

この実証事業では、株式会社イワクラが有する、林地から木材を集荷する高度なノウハウを活用して、未利用木材の集荷システムの開発を行い、パーティクルボード及び木質ペレットの原料として使用する。このシステムの活用により、造林から保育・伐採までの森林整備のリサイクルが円滑に進み、森林の有する多面的機能が持続的に発揮されていくことが期待される。

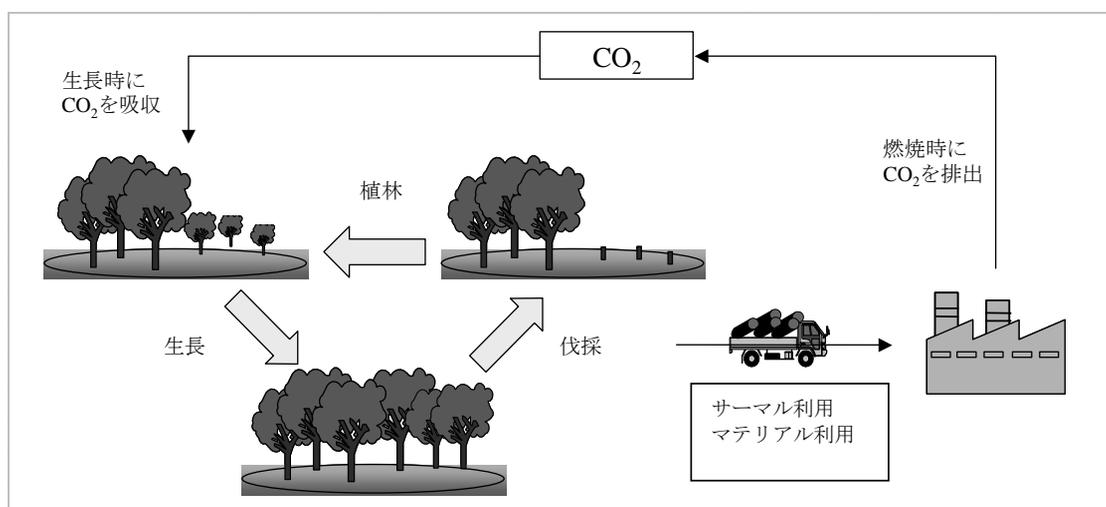


図 2. 1. 1 森林資源の循環利用

b 原料の安定確保

針葉樹合板の需要拡大及び建築解体材等の用途(燃料・エタノール)拡大により、ペレット及びパーティクルボードの原料確保が難しくなっている。長期的に大量製造を目指

し維持してゆく為には、原料の安定確保が最優先課題となっている。

株式会社イワクラには、社内に造林・造材を行っている部門があり、年間3万m³程度の間伐を主とした伐採作業を行っている。これまでは、伐採された原木から製材用木材と製紙用チップを取り、残りの小径木・枝条・残材等は林地に未利用のまま置かれていたのが現状である。しかし、林地未利用材の用途としては、ペレット原料やパーティクルボード原料のほか、さらに低品質のものは、熱源としてバークボイラーの燃料としてカスケード利用することが可能である。このため、本事業においてそのシステム作りに取り組んだ。

伐採された木で残材となる部分

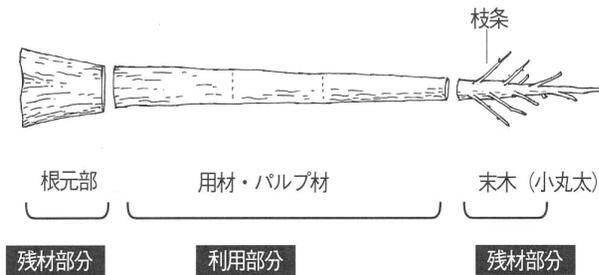


図 2.1.2 林地残材の発生部分



写真 2.1.1 林地残材 (糸井地区)



写真 2.1.2 林地残材 (樽前地区)

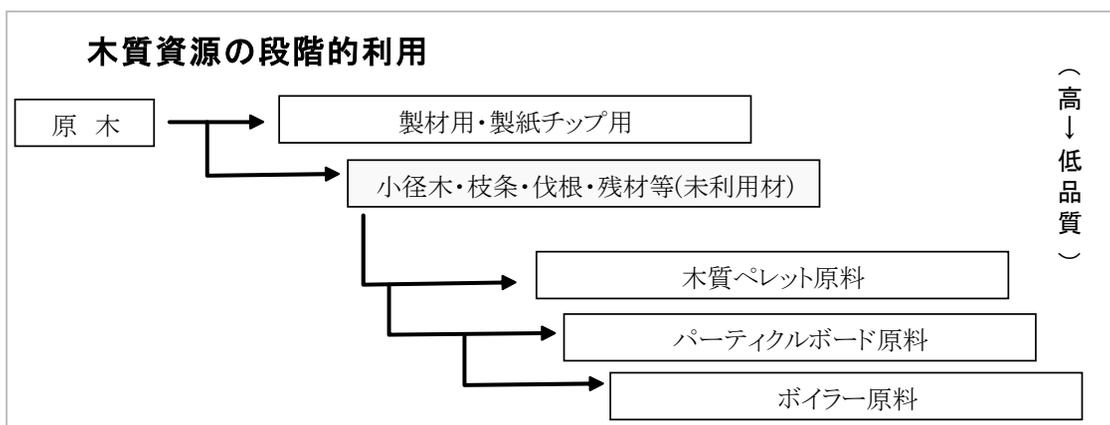


図 2.1.3 木質資源カスケード利用図 (イワクラ)

(2) 実証事業の内容、規模

a 実証事業の実施内容

① 集荷目標

未利用木材集荷目標は、予備試験及び実証試験外の集荷量も含め、全体で1,700トン(原木及び一次破砕チップ重量)とする。

② 現地で破砕するシステムについて

苫小牧樽前及び糸井地区にて、国有林風倒木処理事業の中で、林地に破砕機を持ち込んで、林地未利用木材の収集・破砕・集荷・運搬システムについて、作業効率及びコスト面から実証試験及び調査検討を行う。

糸井地区の集荷樹種はカラマツと広葉樹がメインで、樽前地区の集荷樹種はエゾマツとトドマツがメインであるが、集荷場所及び樹種の差による作業効率とコストの比較を行う。

③ 原木で運ぶシステムについて

啓明地区にて、林地未利用木材の収集・破砕・集荷・運搬システムについて、作業効率及びコスト面から実証試験及び調査検討を行う。

山林現地でチップ化する方法と、原木のまま山林現地から工場へ運ぶ方法で、コスト試算を行い、未利用木材の集荷コストを明らかにする。

④ 未利用木材のマテリアル利用について

未利用木材がパーティクルボード原料として利用可能かどうかを検討するため、現状の建築解体材チップで製造した製品との品質比較を、試験プレス試作品により行う。

⑤ 未利用木材のサーマル利用について

既設のペレット造粒機で未利用木材を原料にしたペレットを試作し、品質を確認する。

b 予備試験について

本事業の実施に先立って、複数の破砕機を山林現地に持ち込み、適切な破砕機を選択するための比較試験を行った。

表 2.1.1 破砕機の比較のための予備試験の結果

山地残材集積・破砕・運搬工事(樽前山)				試験期間 平成19年 5月 8日～平成19年 6月14日		
メーカー	総作業時間 (h)	総搬出数量		1時間当りの作業量	1時間当りの作業量	備考
機種		(m3)	(t)	m3/h	t/h	
A社	52.1	536.6	117.4	10.3	2.3	5/21～5/31 (実働5.5日)
タブ式						
日立建機(株)	31.9	534.0	111.0	16.7	3.5	6/1～6/11 (実働4.0日)
ZR-120(横入式)						
B社	18.6	204.7	40.5	11.0	2.2	6/11～6/13 (実働2.5日)
タブ式						
総量		1275.3	268.9			

A社の破砕機は、上部から木材を投入するタブ式で、材料の太さ、長さ、形状を問わず破砕できる。長い物で約2 m程度は投入できるが、破砕効率を考えると1 m以下のものが望ましい。機械の操作はホッパーに材料を投入後、自動操作が可能（リモコン操作も可）で、オペレーターが他の作業（集積等）ができる。重機から降りないので安全である。網目はφ75を使用した。機械部品は他重機と同一部品を多く使用していて、消耗品・故障・損傷時の修理・交換等に時間がかからない。

日立建機(株)の破砕機は、横から木材を投入する横入式で、破砕能力は他メーカーより優れていて、チップに均一性があり品質良く仕上がる。横入れ式で飛散物が少なく安全性に優れている。移動時コンベアが折りたたみ式になりコンパクトに移動ができる。リモコンにより遠隔操作が可能で、重機オペレーターが機械から下りずに、操作が可能。網目はφ80とφ50を使用した。

B社の破砕機は、上部から木材を投入するタブ式で、材料の太さ、長さ、形状問わず破砕できる。長い物で約3 m程度は投入できるが、破砕効率を考えると1 m以下のものが望ましい。タブが深いので投入がしやすいが、飛散物が多く大きな飛散物も目立つ。作業中は接近が困難でありリモコンがないので操作はやや危険。チップの形状にバラツキがある。網目はφ50を使用した。

移動式破砕機の選定については、山林現場に持ち込むため、作業性が良く、搬送が容易な事も考慮した。以上の検討の結果、破砕能力及び安全面より、この実証事業では日立建機(株)の破砕機（写真 2.1.4）を使用することとした。日立建機(株)破砕機仕様を表 2.1.2 に示す。

表 2.1.2 日立建機製破砕機の仕様

出力 (PS/rpm)	重量 (kg)	全長×全幅×全高 (mm)
56/2, 150	10,460	7,800×2,400×3060



写真 2.1.3 タブ式破砕機



写真 2.1.4 横入式破砕機

c 選定した破砕機の性能及び運搬車両

日立建機(株)の破砕機の網目サイズはφ80とφ50があるが、パーティクルボード製造ラインへ直接投入できるチップ形状を考慮し、φ50を使用することとした。破砕能力は3.5 トン/時間であるため、1日8時間稼働で、生産能力は28 トン/日になる。ダンプ1台に約5 トン積み、1日4往復出来るとした場合、必要なダンプ数は概ね2台となる。



写真 2.1.5 破砕機網目

d 仮ヤード設置について

生産したチップに土砂を混入させず、集荷効率を上げるため、仮ヤードを設置することとした。

破砕機の能力は 16.7m³/時間より、生産能力は 133.6m³/日と設定し、約 1 日分のチップをストック出来る大きさとして、実証試験では縦 6m×横 11m×高 1.5m=99m³の仮ヤードを設置することとした。

e 異業種会社との連携について

今回の木材集荷システムの開発は、土木建築業の(株)小橋建設の協力により行った。その理由として、重機を所有していることもあるが、もう一つの大きな理由は、林業の視点では気づかない異業種からの新しい視点でアイデアを出してもらっていることにある。

(3) 実証事業の実施期間、実施体制、実施場所

a 実施期間

平成19年9月10日～平成19年12月15日

予定した工程表を以下に示す。

工 程 表 (予 定)																					
地 区	細 目	稼働日数	9 月					10 月					11 月					12 月			
			1 ~ 5	6 ~ 10	11 ~ 15	16 ~ 20	21 ~ 25	26 ~ 30	1 ~ 5	6 ~ 10	11 ~ 15	16 ~ 20	21 ~ 25	26 ~ 30	1 ~ 5	6 ~ 10	11 ~ 15	16 ~ 20			
糸井地区	集材作業	10																			
	破砕運搬作業	10																			
樽前地区	集材作業	15																			
	破砕運搬作業	15																			
啓明地区	集材運搬作業	5																			
	破砕作業	5																			

図2.1.4 工程表 (予定)

b 実証事業のフロー

以下のような流れで実証事業を実施した。

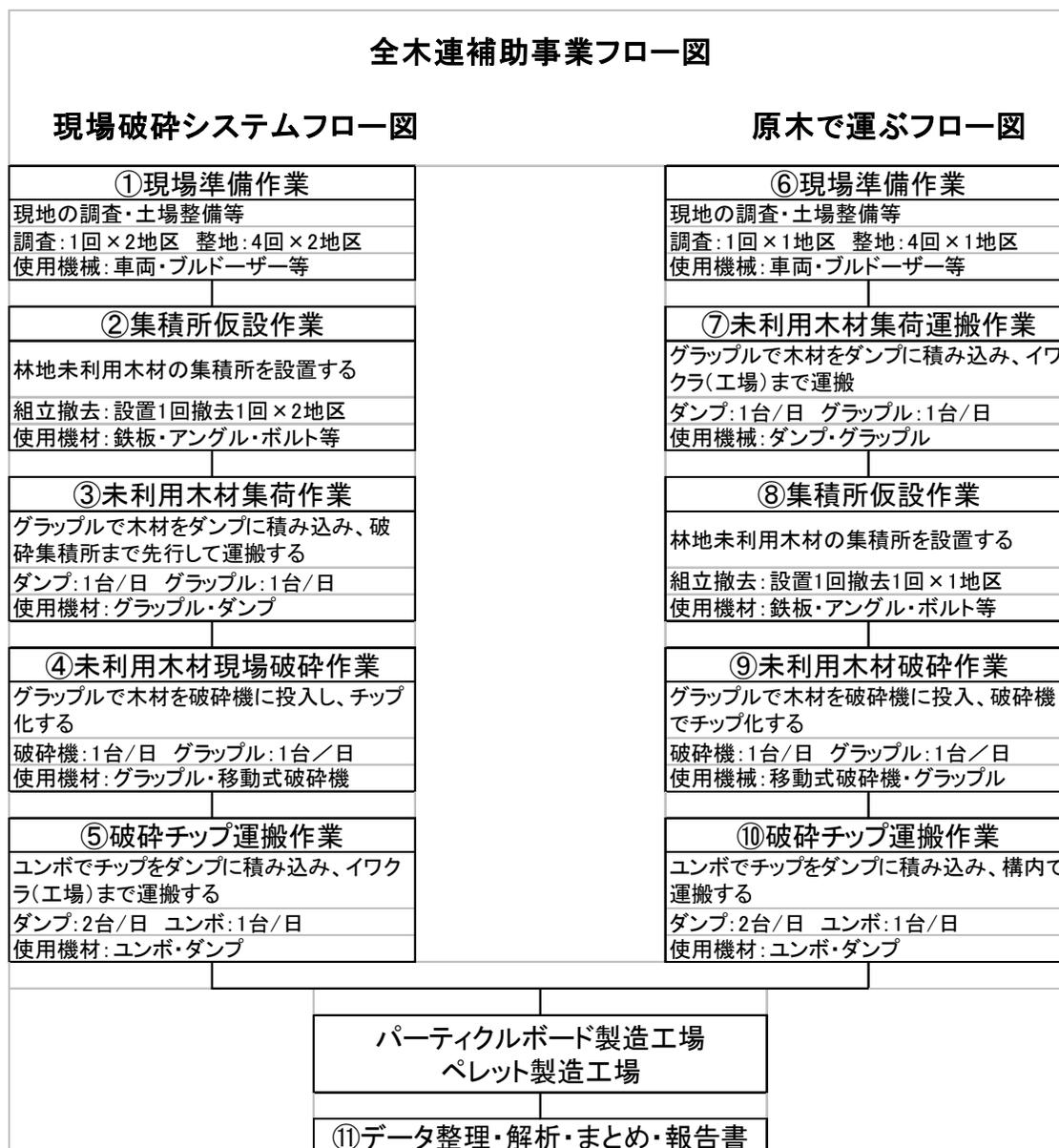


図2.1.5 実証事業のフロー図

c 実証事業の実施場所



図 2.1.6 実証事業の実施場所

d 木材集荷場所

国有林 北海道苫小牧糸井地区・樽前地区・啓明地区

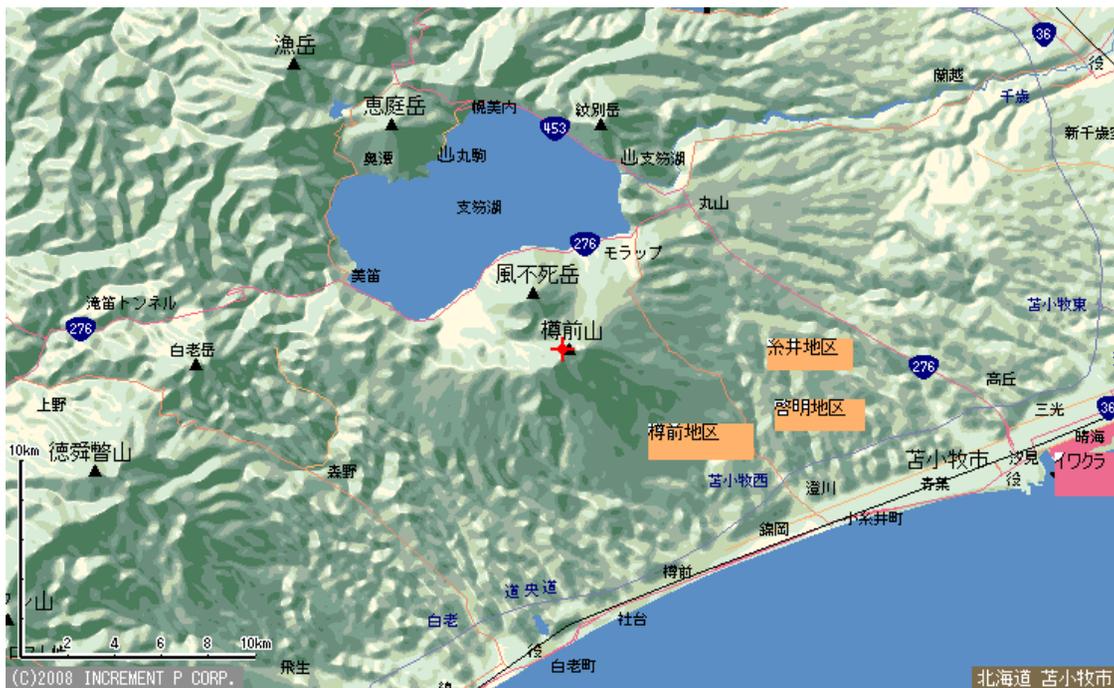


図 2.1.7 実証事業の実施地区

苫小牧樽前及び糸井地区では、国有林風倒木（平成16年の台風18号による風倒木）処理現場において、林地に破砕機を持ち込んで、林地未利用木材を収集・破砕・集荷・運搬するための作業効率及びコストについて、実証試験による調査検討を行った。糸井地区の集荷樹種はカラマツと広葉樹がメインであり、樽前地区の集荷樹種はエゾマツとトドマツがメイン、啓明地区はトドマツがメインである。これらについて、集荷場所及び樹種の差による比較を行った。

表 2.1.3 場所(地区)別の実施概要

地 区	糸井	樽前	啓明
場所（林班）	1358	253・254・262	1417
(株)イワクラからの距離（km）	23	28	21
面積（ha）	12	25	7
樹 種	カラマツ・広葉樹 枝が多い	トドマツ・赤エゾマツ 丸太が多い	トドマツ・広葉樹 枝・丸太両方
伐採時期	H18.4 頃	H19.3 頃	H18.11 頃
立木の体積（m ³ ）		3434	1120
土地の状態・傾斜	広い・平ら	広い・緩やか	狭い・緩やか

e 木材利用場所

株式会社イワクラ 北海道苫小牧市晴海町 23 番地 1

イワクラホモゲン工場（パーティクルボード原料として利用）

イワクラペレット工場（ペレット原料として利用）

2. 1. 2 実証事業の実施方法

(1) 未利用木材集荷システムの実証

実証試験で使用した機械及び労務費の単価を表 2.1.4 に示す。

表 2.1.4 使用機械及び労務費単価一覧

労務費・使用機械	機種	単価 (円/日)
賃金	ダンプ運転手等	11,300
技術者給	重機オペレーター等	20,000
バス	ハイエース	26,000
ブルドーザー	D31P	16,000
10 トンダンプ	41-32	30,000
10 トンダンプ	60-38	30,000
グラップル	313B	35,000
グラップルソー	312B	35,000
移動式破砕機	日立 ZR-120	160,000
チップバケット	脱着式	15,000

10 トンダンプは 2 台使用した。大きさは以下の通りである。

表 2.1.5 10 トンダンプの諸元

車番	幅 (m)	長さ (m)	高さ (m)	体積 (m ³)
60-38	2.2	5.1	1.8	20.2
41-32	2.3	5.5	1.88	23.78

環境に配慮し、破砕現場には簡易トイレを設置した。また、チップをダンプに積み込むとき、グラップルをチップバケットに取り替えて作業を行い、一台の機械を兼用することによりコストダウンを図った。



写真 2.1.6 ブルドーザー



写真 2.1.7 重機搬入車



写真 2.1.8 グラップル (先)



写真 2.1.9 移動式破砕機



写真 2.1.10 10トンダンプ



写真 2.1.11 簡易トイレ



写真 2.1.12 グラップル付



写真 2.1.13 チップバケット付

(2) マテリアル及びサーマルリサイクルに関する検討、分析等
 以下のような流れでチップを利用することとした。

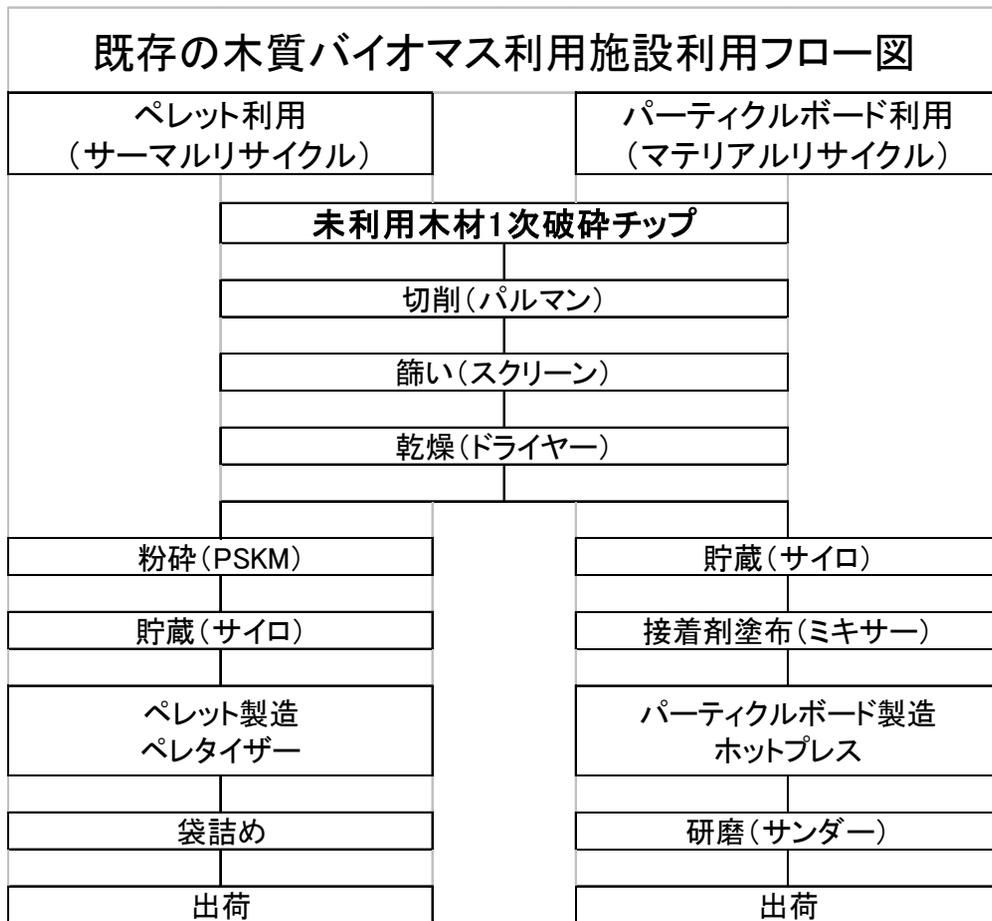


図 2.1.8 チップ利用図



写真 2.1.14 木質ペレット



写真 2.1.15 パーティクルボード

(3) 実証事業の実施体制

実証事業は株式会社イワクラが行い、共同実施者として株式会社小橋建設に協力を依頼した。

2. 1. 3 実証事業の実施結果

実証事業の実施に要した日数を次の工程表（実績）に示す。表 2. 1. 4 の予定に比べ、樽前地区ではやや長く、また啓明地区では短くなっている。

工 程 表（実績）																					
地 区	細 目	稼働日数	9 月					10 月					11 月					12 月			
			1 ~ 5	6 ~ 10	11 ~ 15	16 ~ 20	21 ~ 25	26 ~ 30	1 ~ 5	6 ~ 10	11 ~ 15	16 ~ 20	21 ~ 25	26 ~ 30	1 ~ 5	6 ~ 10	11 ~ 15	16 ~ 20	21 ~ 25	26 ~ 30	
糸井地区	集材作業	5																			
	破碎運搬作業	17																			
樽前地区	集材作業	12																			
	破碎運搬作業	26																			
啓明地区	集材運搬作業	6																			
	破碎作業	0																			

図 2. 1. 9 工程表（実績）

(1) 現地破碎システムの実証

a 未利用林地残材の集材

事業の実施場所は、北海道苫小牧糸井地区及び樽前地区である。糸井地区では、平成 19 年 9 月に実質 5 日間の作業を、また樽前地区では、平成 19 年 9 月及び 11 月に実質 12 日間の作業を行った。

作業はグラップルソー（312B）及びグラップル（313B）と 10t ダンプ 2 台で行い、林地残材を集積現場に集めた。集材作業は 1 日あたり 8 時間行った。



写真 2. 1. 16 糸井地区 集積作業



写真 2. 1. 17 糸井地区 集積作業



写真 2.1.18 樽前地区 集積作業



写真 2.1.19 樽前地区 集積作業

表 2.1.6 集材作業に要した機械、人員、燃料

集材作業		糸井地区	樽前地区
		延べ日数(日)	延べ日数(日)
グラップル (2台/日)	機械	10	22
	運転手	10	22
	燃料	999 (リットル)	2,493 (リットル)
10トンダンプ (2台/日)	機械	10	22
	運転手	10	22
	燃料	1,103 (リットル)	3,079 (リットル)

b 道路の整地

作業道を確保するため、糸井地区では3日間、樽前地区では2日間の道路整地作業を行った。



写真 2.1.20 糸井地区道路整地



写真 2.1.21 樽前地区道路整地

c 仮ヤード

各地区とも、仮ヤードの組立・設置に1日、撤去には1日を要した。



写真 2.1.22 糸井地区仮ヤード組立



写真 2.1.23 樽前地区仮ヤード組立

d 未利用林地残材の現地破碎

糸井地区では、平成19年10月に実質17日間の作業を行い、樽前地区では、平成19年10月から12月にかけて実質26日間の作業を行った。

作業はグラップルで木材を移動式破碎機に投入し、破碎チップはグラップルにチップバケットを取り付けてダンプに投入した。破碎機の運転はグラップルの運転手がリモコンで操作した。破碎作業の1日の作業時間は、8時間で行った。



写真 2.1.24 糸井地区破碎作業



写真 2.1.25 樽前地区破碎作業

表 2.1.7 破碎作業に要した機械、人員、燃料

破碎作業		糸井地区	樽前地区
		延べ日数(日)	延べ日数(日)
グラップル	機械	18	26
	運転手	18	26
	燃料	1,109 (リットル)	2,135 (リットル)
破碎機	機械	17	25
	チップバケット	17	24
	燃料	2,767 (リットル)	6,181 (リットル)

e 破碎チップの運搬

2台のダンプを使って柵イワクラのホモゲンおよびペレット工場まで運搬した。ダンプの稼働実績については、実運搬時間をカウントする事とし、これを1日8時間稼働として延べ日数で示した。



写真 2.1.26 チップ運搬作業

表 2.1.8 運搬作業に要した機械、人員、燃料

運搬作業		糸井地区	樽前地区
		延べ日数(日)	延べ日数(日)
10 トンダンプ	機械	13.125	28.8125
	運転手	13.125	28.8125
	燃料	1,155 (リットル)	3,487 (リットル)

注) ダンプは実稼働時間をカウントした。13.125日は105時間の事を表す。

(2) 原木のまま運搬するシステムの実証

a 未利用林地残材の運搬

平成 19 年 12 月に集材作業を合計 6 日間行った。作業はグラップルソー (312B) と 10t ダンプ 2 台を用いて行った。



写真 2.1.27 啓明地区集材



写真 2.1.28 啓明地区集材

表 2.1.9 啓明地区の集材作業に要した機械、人員、燃料

集材作業		延べ日数 (日)
グラップル	機械	6
	運転手	6
	燃料	551 (リットル)

b 未利用林地残材の集材・運搬

2 台のダンプで、集積場所から(株)イワクラまで運搬した。



写真 2.1.29 啓明地区の運搬作業

表 2.1.10 啓明地区の運搬作業に要した機械、人員、燃料

運搬作業		延べ日数 (日)
10 トンダンプ	機械	12
	運転手	12
	燃料	1,713 (リットル)

(3) 未利用林地残材の集荷に関する結果のまとめ

a 集荷量

地区別のダンプ集荷台数及び集荷量を表 2.1.11 に示す。

表 2.1.11 地区別のダンプ集荷台数及び集荷量のまとめ

		集荷台数 (台)	集荷重量 (t)	集荷材積 (m3)
チップ集荷	糸井地区	50	282.54	1278.10
	樽前地区	114	641.01	3076.90
	糸井・樽前合計	164	923.55	4355.00
原木集荷	啓明地区	36	113.69	—
総合計		200	1037.24	

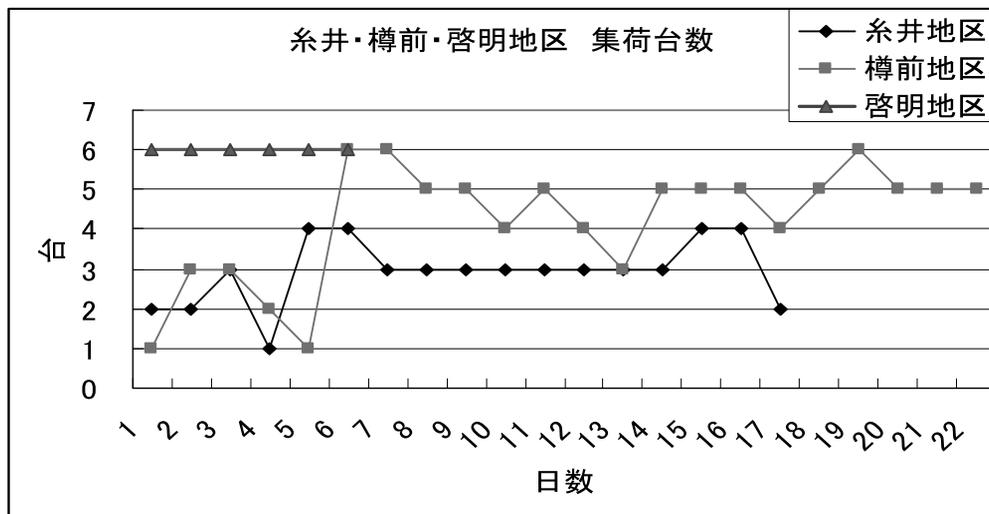


図 2.1.10 各地区集荷台数

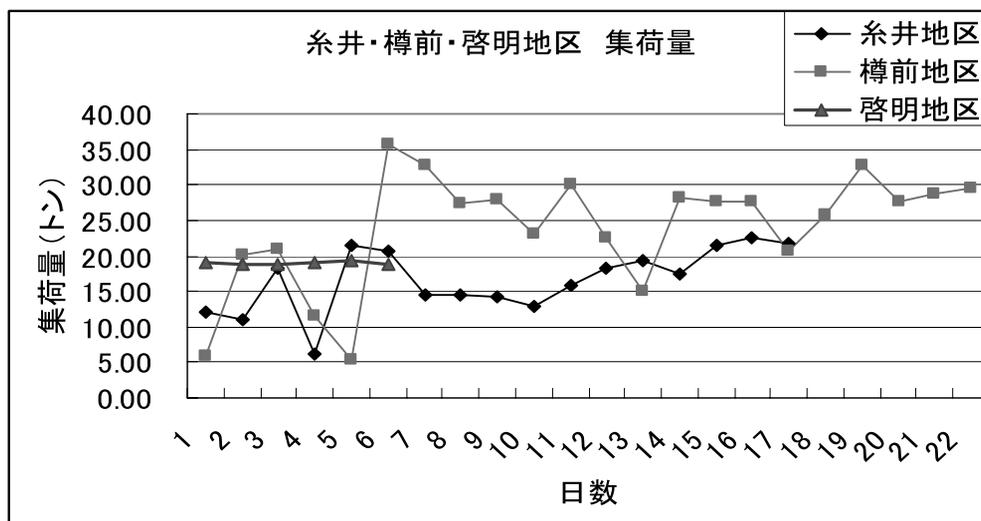


図 2.1.11 各地区集荷量

b 集材費用

集荷量に対する集荷費用を表 2.1.12 に示す。

表 2.1.12 地区別の集荷量と集荷費用

	集材費 (円)	破砕費 (円)	運搬費 (円)	その他 (円)	合計 (円)	集荷量 (トン)
糸井	1,219,444	4,437,872	682,973	1,030,792	7,371,080	282.54
樽前	2,798,384	6,804,552	1,615,370	1,263,823	12,482,129	641.01
啓明	397,222	—	704,586	259,000	1,360,808	113.69
合計	4,415,050	12,738,722	3,002,929	2,553,615	21,214,018	1,037.24

その他の経費は、「調査費」「仮ヤードレンタル・加工・組立・撤去」「トイレレンタル」「現場管理者」「重機運搬費」等である。

燃料単価については 9 月から 12 月までの間に燃料である軽油が値上がりしたため、燃料代は平均をとって 122 円/ℓとして計算している。

c チップ化体積について

樽前地区での破砕において、チップ化による体積の変化を調べた。11m³の原木を破砕機でチップ化した結果、19.3m³のチップが得られ、その重量は 3.54 トンであった。ゆえに 1m³の原木を破砕機でチップにする場合、1.8m³のチップとなることが検証された。



写真 2.1.30 原木破砕前



写真 2.1.31 原木破砕後

(4) 未利用林地残材の集荷システムに関する検討、分析結果

a チップの製造単価

集材、破砕、運搬等に要する経費からチップの製造単価を試算した結果を表 2.1.13 に示した。

表 2.1.13 地区別の実証試験におけるチップの製造単価

	集材費 (円/トン)	破砕費 (円/トン)	運搬費 (円/トン)	その他費 (円/トン)	合計 (円/トン)
糸井	4,316	15,707	2,417	3,648	26,089
樽前	4,366	10,615	2,520	1,972	19,473
啓明	3,494	(13,161)	6,197	2,278	25,131
平均					23,564

注) 啓明地区の破砕単価は、糸井・樽前地区の平均の値としている。

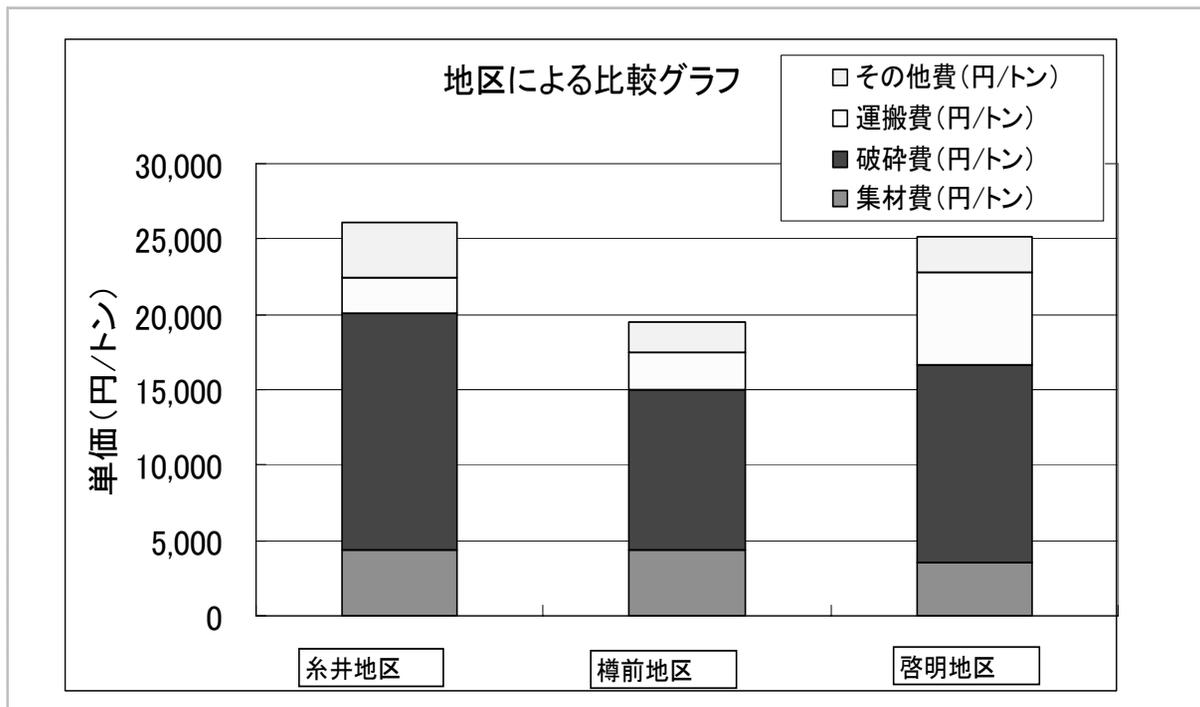


図 2.1.12 地区別のチップ単価比較

b 糸井地区と樽前地区との違いについて

現地で破砕した糸井地区と樽前地区とを比べると、集材費用については、両地区ともほぼ同様であった。樽前地区の方が集荷面積が約2倍広いことを考慮すると、樽前地区の方が集荷効率は良かったと言える。この理由としては、樽前地区では、造材を行ったときに既にある程度未利用材の集荷作業が行われており、その残材が残されていたためと考えられる。

表 2.1.14 糸井地区と樽前地区との比較

	集材費 (円/トン)	破砕費 (円/トン)	運搬費 (円/トン)	その他費 (円/トン)	合計 (円/トン)
糸井	4,316	15,707	2,417	3,648	26,089
樽前	4,366	10,615	2,520	1,972	19,473

破碎費用に関しては、糸井地区は樽前地区に比べて約 1.5 倍の単価となった。この理由の一つとして、糸井地区の原料は枝がメインであり、樽前地区は原木がメインであった事の差が考えられる。今回使用した破碎機は、木材を横から入れるタイプであり、枝などの細い木材は、効率良く破碎機に入れることが出来なかったため、その影響が出たと考えられる。それに比べ樽前地区での太い木材では、高い破碎能力を発揮した。

もう一つの理由として、木材の含水率の影響が考えられる。含水率（ウェットベース）について糸井地区と樽前地区で比較した結果を表 2.1.15 に示す。

表 2.1.15 含水率に関する比較結果

	含水率 (%)	絶乾集荷量 (トン)	絶乾チップ破碎単価 (円/トン)
糸井	21	233.50	19,006
樽前	45	442.09	15,392

糸井地区のチップ含水率は平均 21%であり、樽前地区は 45%であった。含水率による補正を行って絶乾集荷量を求め、絶乾チップ破碎単価を比較すると、糸井地区は樽前地区に比べて約 1.2 倍程度単価が高くなっている。

また、含水率の差は、破碎機の破碎能力の差にも影響を及ぼす。チップ含水率が高い方が、重量があるため破碎機の目皿から抜けやすい。

運搬費用については、糸井地区 2,417 (円/トン) ・樽前地区 2,502 (円/トン) とほぼ同等の結果であった。

その他の費用については、破碎日数が多い樽前地区の方が糸井地区より単価が安くなっている。

c 現地破碎方式と原木集荷方式の違いについて

原木で工場まで運んだ啓明地区は、糸井・樽前地区に比べて約 1.5 倍の単価となった。

集材作業に関しては、グラップルでトラックに積み込む作業はどちらも同じであるので差は無いと考えられる。

運搬作業に関しては、糸井・樽前地区でチップ化してトラックに積むと約 6.5 トン積めるが、原木では約 3.3 トン程度しか積めない。このため、チップ化してから積み込んだ方が効率は良いと考えられる。

表 2.1.16 糸井・樽前地区の平均と啓明地区との比較

	集材費 (円/トン)	運搬費 (円/トン)	集材+破碎費 (円/トン)
糸井・樽前地区 平均	4,341	2,469	6,810
啓明地区	3,494	6,197	9,691

d 破砕能力について

実証試験における破砕機の破砕能力は表 2.1.17 のとおりであった。予備試験の時に比べ、破砕原料が太く破砕しやすいものだったため、破砕能力は高い値が得られた。

表 2.1.17 予備試験時と実証試験時の破砕能力

	破砕量 (トン)	破砕時間 (hr)	破砕能力 (トン/hr)
予備試験	111.0	39.1	3.5
糸井地区	282.54	136.0	2.1
樽前地区	641.01	224.0	2.9

e チップ単価について

糸井地区と樽前地区を合わせた、実証試験における平均的な現地破砕チップの単価は、表 2.1.18 のとおりであった。これを標準的な針葉樹丸太チップの単価 (表 2.1.19) と比べると約 1.85 倍になっており、一般の丸太チップよりもかなり高くついている。

表 2.1.18 実証試験における平均的なチップ単価

	合計金額	合計集材量	単価
現地破砕チップ単価 (トン換算)	19,853,210 (円)	924 (トン)	21,497 (円/トン)
現地破砕チップ単価 (ガサ m ³ 換算)	19,853,210 (円)	4,355 (m ³)	4,559 (円/m ³)

表 2.1.19 標準的な針葉樹丸太チップの単価

	単価 (円/トン)
針葉樹丸太 チップ	11,600

注) 農林水産統計 木材価格 北海道地区 (平成 19 年 9 月)
チップ工場 出値 (運賃別途)

(5) 林地残材のマテリアル及びサーマルリサイクル利用について

a パーティクルボード原料としての利用

林地残材からのチップを使用して、試験室レベルでパーティクルボードを試作してみた。パーティクルボードは表層と芯層で構成されているが、表 2.1.20 の②のように表層と芯層の全層を林地残材に変えたものと、③のように芯層のみを林地残材に変えたものを試作し、これらの性能を通常の製品と比較した。試験結果を表 2.1.20 に示すが、通常品と比べほぼ同等の試験結果が得られ、今回収集した林地残材はパーティクルボード原料として問題なく使用可能であることが確認できた。

表 2.1.20 林地残材チップで試作したパーティクルボードの物性試験結果

		含水率	曲げ強度		はく離		木ネジ	
			%	D(g/cm ³)	N/mm	D(g/cm ³)	N/mm	D(g/cm ³)
①	通常品	6.35	0.68	16.50	0.70	0.45	0.69	563.1 / 334.7
②	全層エゾ松	7.23	0.68	18.90	0.70	0.40	0.68	588.4 / 351.9
③	通常/エゾ松	7.12	0.67	15.76	0.66	0.47	0.67	587 / 382.8

パーティクルボード製造に関して、建築解体材チップと未利用林地残材チップを比較すると、チップ重量が同じであっても、容積は林地残材チップの方が大きい特性がある。このため、林地残材チップは軽量ボードや紙貼用台板用として使用することが可能である。



写真 2.1.32 パーティクルボードの試作



写真 2.1.33 試作用のプレス

b 木質ペレット原料としての利用

林地残材を使用して、木質ペレットを製造し、その性能を北海道立林産試験場で分析した。分析結果を以下に示す。

表 2.1.21 林地残材により製造した木質ペレットの性状分析

試験項目	単位	結果	(JIS 化予定) 基準
比重 (かさ密度)	[g/cm ³]	0.68	0.55 以上
含水率 (水分)	[%]	5.5	10.0 未満
水分	[%]	6.9	—
灰分	[%]	1.5	※1
揮発分	[%]	74.1	—
固定炭素	[%]	17.5	—
水素 (H) 含有量	[%]	5.7	※2
炭素 (C) 含有量	[%]	52.6	※2
窒素 (N) 含有量	[%]	0.5	※2
発熱量	[J/g]	20,260	16,900 以上

※1・・・(財)日本住宅・木材技術センター策定「木質ペレット品質規格素案」の、灰分区分2：1.0%以上2.0%未満の品質基準を満足している。

※2・・・北海道大学図書刊行会発行「林産学概論」によれば「およそ炭素50%、水素6%で、残りは酸素と微量の無機物、窒素」とあり、一般的な元素組成と言える。窒素分については、若干高く樹皮の値に近い。

以上の結果から、今回試作したペレットは(財)日本住宅・木材技術センター策定「木質ペレット品質規格素案」における全木(混合)ペレットと同等の性能を持つと考えられる。(北海道立林産試験場)



写真 2.1.34 試作ペレット

2. 1. 4. 考察、その他

(1) 得られた成果のまとめ

a 未利用林地残材の集荷量について

今回の実証事業において、1037トンの未利用木材が集荷出来た。これに先立って実施した予備試験並びに実証試験以外での集荷量を合わせると951トンが集荷できており、全体で合計1988トンの未利用林地残材を集荷することが可能であった。

b 集荷場所による違い

現地での破碎において、集荷場所により破碎能力に差が生じた。これは材の含水率の違いによるものと考えられる。造材後の経過時間が一年半で、枝が多く含水率が低い糸井地区は破碎効率が悪く、造材後の経過時間が半年で、幹部分が多く含水率が高い樽前地区では破碎効率が良かった。

c 現地破碎システムと原木集荷システムによる違い

現地破碎と原木集荷の場合では、現地破碎の方がチップ製造単価は低かった。工場側での受入も考慮すると、破碎機で作業できる場所が確保出来るならば、チップ化して集荷した方が効率は良いと考えられる。

d 集荷コストについて

最も効率の良かった樽前地区でも、チップ単価は19,473(円/トン)であり、一般の針葉樹丸太チップ11,600(円/トン)(運賃別途)より高くなっている。

f マテリアルリサイクルについて

未利用林地残材をパーティクルボードの原料として利用する場合、十分化粧板などの高品質ボード原料として使用出来る。

g サーマルリサイクルについて

未利用林地残材を木質ペレットの原料として利用する場合、通常の製品と同レベルの品質のペレット生産が可能である。

(2) 今後の課題

a 集材場所について

現在は株式会社イワクラ林材部が伐採作業を行った場所でのみ、林地残材集荷を行っているが、将来的には他社が伐採作業を行った場所でも、林地残材の利用を検討する必要がある。これにより集材量の増加が見込まれる。

b 集材現場について

今回の実証事業の実施場所は、風倒木処理現場で、場所が広く傾斜はなだらかだったため、作業効率は高かったが、今後は場所が狭く急峻な作業効率の劣る場所での集荷システムの効率化についても検討を行う必要がある。

また今回は集荷現場までの距離が、30km以内と近かったが、さらに集荷場所を遠方まで広げて検討する必要がある。

c 移動式破砕機について

破砕機のリース料が1日16万円とかなり高くついていたが、これは処理量が少なくリース料が割高になったためである。通年で使用できるようになれば、リース料も安くなると考えられる。

d 破砕機の改良について

現状の破砕機について改良すべき点を以下に示す

①燃料タンクの大きさを、連続運転に適応出来る様に270ℓから400ℓ程度に大きくする。

②枝等の細い木が破砕機の供給口に投入しにくいので、供給口を広くして木を吸い込みやすいようにする。また供給ベルトコンベアにギザギザをつけて、供給量を増やす。

③作業効率を上げるため、グラブルのオペレーターから破砕機の供給口が見やすいようにする。

④破砕チップを高く積み上げられるように、搬出のベルトコンベアを長くする。

⑤粉状のチップが舞って、ラジエーターの吸入口に粉が付着し、破砕機がオーバーヒートを起こすことがあったので、この点を改良する。

e 林地残材の集材効率について

今後は、造林作業時または地拵え時に、同時に現地において破砕が行うようなシステムの確立が必要である。これにより、コストダウンの可能性があると考えられる。

2. 2 林地残材収集・運搬事業

(遠野興産株式会社)

2. 2. 1 実施事業のねらいと実施内容

(1) 実証事業のねらい

2002年に「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定された後、重油価格の値上がりや地球温暖化問題に対する意識の高まりもあって、福島県内においても木質バイオマスの利活用を行う施設が増加している。とりわけこの1,2年で設備の新設や規模拡大がなされており、木質バイオマス資源が確実に不足しているのが実情で、これまで未活用であった林地残材の利活用が必要不可欠となっている。

そこでこれまで利用されることのなかった林地残材を、木質バイオマス資源として製紙用・ボード用チップや燃料用チップとして複合的な利活用を図る道筋を作ることが本事業の目的である。間伐により発生する林地残材や林地内に残置されている未利用材等を有効活用するため、その前提となる林地残材の発生量の把握、林地内における林地残材の搬出コスト(林地から林道までの搬出費用)の分析などを行い、林地残材及び未利用間伐材の収集、輸送、再適用途の選択等一連の工程を実証試験により検証する。収集・輸送実験においては、当地域周辺の素材生産作業現場において、短幹集材後に林内に放置されている木質バイオマスの林内からの収集・搬出、及びトラックによる輸送試験を行う。

本調査の意義としては、木質バイオマス資源の収集、搬出、加工、供給、活用という一連のシステムを構築することによって、地球温暖化防止への貢献、山林の整備を行い森林の多面的機能の発揮の実現への橋渡し、地域資源の循環的利用による持続可能な社会のモデル形成等を実現することが挙げられる。また、この木質バイオマス資源の利活用を行うシステムを、全国各地の製材工場・チップ工場・森林組合等に適合する形で普及させることにより、国内における木質バイオマスのマテリアル・エネルギー両面での利活用の促進が期待される。なお、本事業は、実施主体である遠野興産株式会社が位置する、福島県いわき市内及びその周辺地域を対象地域とし、各種団体と連携を取りつつ実施した。

(2) 実証事業の内容、規模

利用用途の実態把握に関しては、収集した材を木材市場(いわき材加工センター)に輸送する用材と遠野興産(株)岩石工場に輸送するチップ材とに分別した上で、搬出量及びそれに要したコスト、実際の販売価格等を実施箇所ごとに明らかにする。

収集にあたっては、①従来から用材の搬出に用いられている、集材機やウインチ等を用いる方法、②作業道を開設しチェーンソー伐倒を行った後に、林内作業車・フォワーダ等の小型木材運搬車両にグラップルで積み込む方法、③グラップルソーを使用して伐倒・集材を行い、プロセッサで造材後にフォワーダに積み込む高性能林業機械を主体にした集材方法等を行う。

また、小径木や曲がり材等の、用材としての市場価値が低い材については、新規に開発された「布製の滑り台：SWC(スカイ・ウッド・シュート)」を用いた簡易な方法による

コストダウンの可能性の検討を行う。また、将来的には、森林管理署等が用材生産のため伐採する際に、伐採業者と連携して、スイングヤードによる全木集材を行い、山土場まで搬出した後にプロセッサによる造材を行うことにより林地残材の集積・搬出を容易とするシステムについても検討する。

これら林地残材を集積して遠野興産(株)のチップ工場に運搬した後は、残材の等級に応じて最適な使用用途に細かく分類することにより、林地残材から製造した製品の販売価格の最大化を図る。具体的には、柱材としては使えないもののうち、部分的に使用可能な丸太はラミナ用として丸太のまま(協)いわき材加工センターへ輸送し、それ以外は遠野興産(株)岩石工場にて加工製品化し、供給先へ安定供給を行う。パルプ材は製紙用チップ(チップ化後に製紙会社へ)、チップダストはペレット原料(遠野興産(株)岩石工場内のペレット工場でペレットを生産)、バークは粉砕して家畜敷料(県内外の畜産業者へ)、ドンコロ(不定形の根元部)及び直径 5cm 以上の枝は皮付きチップ(合板工場、ボード工場へ)、そのほか 5cm 以下の枝、葉、伐根は燃料チップ(製紙工場等)へと分別して利用する。

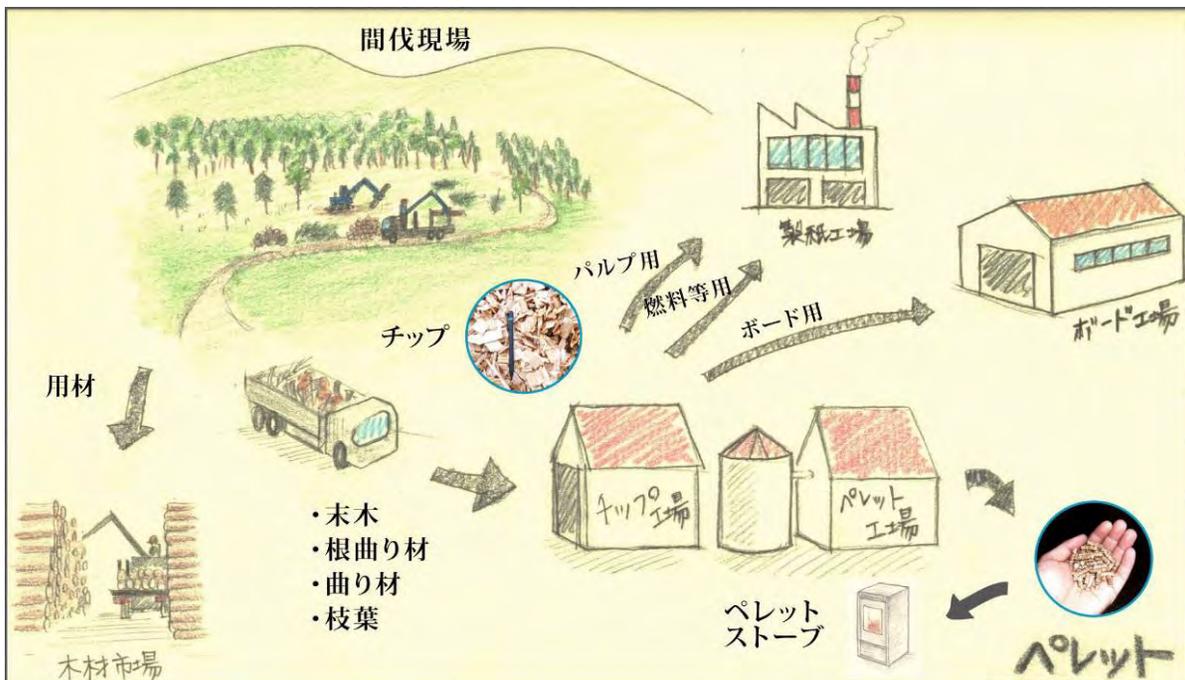


図 2.2.1 本事業で対象とする木材の、入口から出口までの流れ

(3) 実証事業の実施期間、実施体制、実施場所

a 事業の実施期間

H19年11月～H20年2月

b 事業の実施体制

事業実施主体：遠野興産株式会社

共同実施機関：NPO 環境資源保全研究会

共同実施機関：株式会社森のエネルギー研究所

協力機関：岐阜県立森林文化アカデミー

c 事業の実施場所

遠野興産株式会社岩石工場

福島県いわき市内地域（遠野興産岩石工場より同心円で約 60km 圏内）

d 遠野興産株式会社の概要

遠野興産株式会社は、福島県いわき市遠野町根岸字石田 44-3 を本社所在地として、昭和 52 年に創業した。福島県いわき市遠野町滝字島廻 49 に保有するチップ工場では、いわき市の製材工場等から排出される製材端材等の大部分だけでなく、近隣市町村や茨城県北部からの残廃材を集荷し、チップ、おが粉等に加工し、販売している。

また、遠野興産株式会社のチップ工場では、素材生産業者等が生産した間伐材等を工場に受け入れ、製紙用チップに加工している。これまでも、まとまった量の間伐材等については、同社のトラックが通行できる林道等の土場へ集材されれば集荷を行ってきた。

さらに、平成 18 年 3 月からは木質ペレットの製造を開始しており、集荷した材は製紙用チップ等の原料とするだけでなく木質ペレットの原料としても利用している。

表 2.2.1 遠野興産(株)で生産している主な製品

対象		概要
チップ	雑木チップ	広葉樹の原木から生産した製紙用チップ
	白パルプチップ	針葉樹原木から生産した製紙用チップ
	白チップ	製材所の端材等から生産した製紙用チップ
	皮付きチップ	剥皮していない製材背板等から生産したボード用チップ
	古材チップ	合板、パレット等から生産したボード用チップ
	燃料チップ	建築廃材等から生産したチップで、製紙工場における発電と乾燥用熱源に利用
樹皮		チップ生産時の樹皮剥離で発生する樹皮で、家畜敷料に利用 チップ生産時の樹皮剥離で発生する樹皮で、バーク堆肥用に堆肥工場利用
チップダスト		チップ生産過程で出るチップくずで、家畜敷料用として畜産農家で利用
おが粉		製材工場から集荷したおが屑等で、粒子をそろえたおが粉にして家畜敷料用として畜産農家で利用
木質ペレット		間伐材、製材所端材等を原料とした木質系燃料

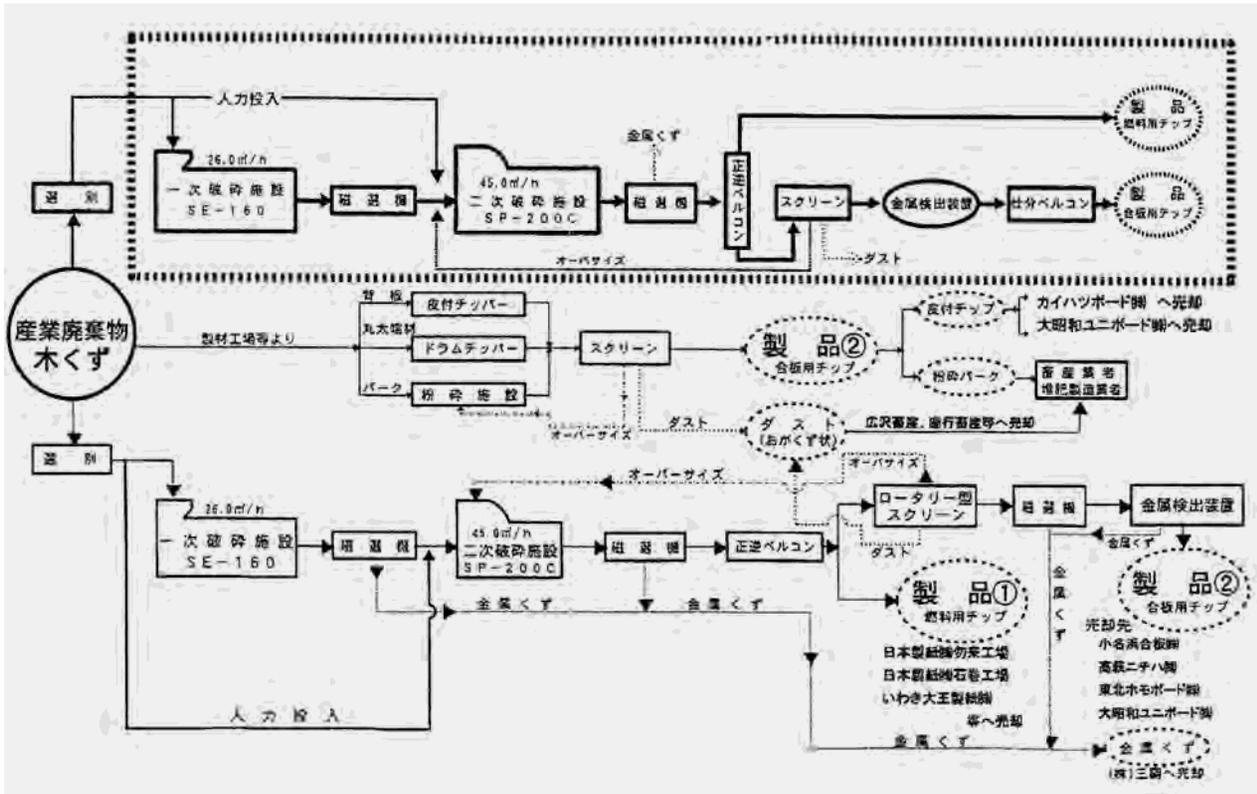


図 2.2.2 遠野興産㈱の産業廃棄物処理工程



図 2.2.3 遠野興産㈱のペレット生産プラント

2. 2. 2 実証事業の実施方法

(1) 高性能林業機械を用いた林地残材収集・運搬・加工システムの実証

バイオマス資源の収集・輸送に関しては、当地域周辺の素材生産現場において、短幹集材後に林内に放置されている木質バイオマスの林内からの収集・搬出、及びトラックによる輸送について実証試験を行う。

収集した材は、木材市場（いわき材加工センター）に輸送する用材と遠野興産(株)岩石工場に輸送するチップ材とに分別した上で、搬出量及びそれに要したコスト、実際の販売価格等を実施場所ごとに明らかにする。

収集にあたっては、作業道を開設しチェーンソー伐倒を行った後にフォワーダ等の木材運搬車両にグラップルで積み込む方法と、グラップルソーを使用して伐倒・集材を行い、プロセッサで造材後にフォワーダに積み込むといった高性能林業機械を主体にした方法等を行う。

フォワーダ等で搬出した林地残材は、一旦林道脇の土場に集積し、ここで 10t トラック等の大型車両に改めて積込を行う。用材は協同組合いわき材加工センター(製材工場及び木材市場)へ輸送し、主としてラミナ材用に販売し、残るチップ材は遠野興産(株)岩石工場に運搬しチップ加工を行う。チップ工場では残材の等級に応じて最適な使用用途に細かく分類することにより、林地残材から製造した製品の販売価格の最大化を図る。具体的には、パルプ材は製紙用チップ（チップ化後に製紙会社へ）、チップダストはペレット原料（遠野興産(株)岩石工場内のペレット工場でペレットを生産）、バークは粉碎して家畜敷料（県内外の畜産業者へ）、ドンコロ(不定形の根元部)及び直径 5cm 以上の枝は皮付きチップ（合板工場、ボード工場へ）、そのほか 5cm 以下の枝、葉、伐根は燃料チップ(製紙工場等)へ、という分配を行う。

a 林地残材収集・輸送実証試験で使用した高性能林業機械

本事業で使用した高性能林業機械を次に示す。

表 2.2.2 本事業で使用した高性能林業機械の一覧

	利用機器	機器メーカー	型式
①	フォワーダ(ウインチ・グラップル有)	イワフジ工業(株)	U-3
②	フォワーダ	イワフジ工業(株)	U-4
③	グラップル付ミニバックホウ	イワフジ工業(株)(ヤンマー)	B50
④	グラップル付ミニバックホウ(ウインチ有)	イワフジ工業(株)(ヤンマー)	B50
⑤	グラップル(ウインチ有)	日立建機	ZX70 (0.25)
⑥	グラップルソー (ウインチ有)	日立建機	ZX135 (0.45)
⑦	プロセッサ	イワフジ工業(株)	CT-500
⑧	グラップル(単木はさみ)	新キャタピラー三菱	

b 実証試験の実施場所

高性能林業機械を用いた実証試験の実施場所は、いわき市内の次の10箇所である。

表 2.2.3 実証試験の実施場所

	事業実施作業場所	面積	施工内容
①	三和町字差塩 173-40	1.65ha	搬出
②	山田町字田中	4.74	伐採 搬出
③	三和町上市萱字舞台 220-1	3.41	搬出
④	三和町上三坂字綱木 26・186-3	1.11	搬出
⑤	鮫川河川敷	—	玉切り、搬出
⑥	三和町上三坂字綱木 214-5	2.66	間伐、搬出
⑦	合戸字仁井宿 245-2	8.32	間伐
⑧	合戸細戸 165-1	0.96	間伐
⑨	合戸内畑	1.01	間伐
⑩	平上片寄字柳沢 86-3	9.22	間伐、搬出



図 2.2.4 遠野興産(株)の位置と実証試験の実施場所

c 実施場所別の実証試験の方法

① 三和町字差塩(さいそ)：間伐

遠野興産(株)岩石チップ工場より 50km ほど離れたいわき市三和町内の個人の所有する民有林地で約 1.65ha あり、対象となるバイオマス資源は平成 19 年 3 月に伐採した林齢 45 年程のスギである。当該地域における施業担当はいわき市森林組合で、搬出実施期間は平成 19 年 11 月 12 日～平成 19 年 11 月 21 日の 11 日間である。

表 2.2.4 三和町字差塩における実証試験の概要

項目	概要
所在地	いわき市三和町字差塩 173-40
施業林班概要	民有林(個人) 1.65ha (約 1.2ha)
伐採日	平成 19 年 3 月
施業班	いわき市森林組合
搬出実施期間	平成 19 年 11 月 12 日～平成 19 年 11 月 21 日
対象となるバイオマス資源	スギ 林齢 45 年
木材輸送距離	現場→遠野興産 50 k m
	現場→いわき材加工センター 61 k m



写真 2.2.1～2 三和町字差塩における実証試験対象地の現場



図 2.2.5 森林簿

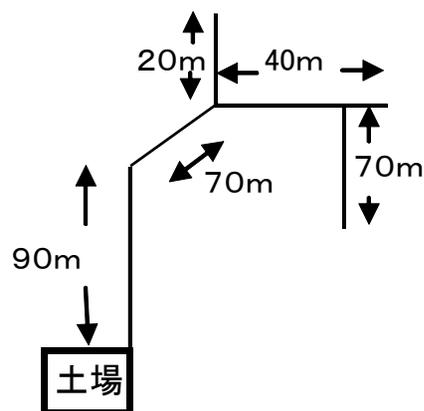


図 2.2.6 作業道搬出距離

本試験地で使用した高性能林業機械は次のとおりである。

表 2.2.5 使用した高性能林業機械の一覧

	使用機器	メーカー	型式
①	グラップル付ミニバックホウ(ウインチ有)	イワフジ工業(株)	B50
②	フォワーダ	イワフジ工業(株)	U-4
③	グラップル(ウインチ有)	日立建機(株)	ZX70 (0.25)

既に伐倒が行われた間伐現場において、まず第一にミニバックホウを用いて作業道（総延長 290m）を作設した。その後、作設した作業道上にてグラップルでフォワーダに未利用間伐材・林地残材を積込む作業を行い、林道脇の土場まで輸送した。この土場に積まれた材は、グラップル付の 10t トラックに積み込み、用材はいわき加工センターへ、またチップ材は遠野興産(株)岩石工場へ輸送した。



写真 2.2.3～6 三和町字差塩における実証試験の状況

② 山田町字田中：広葉樹(雑木)皆伐

遠野興産(株)岩石チップ工場より 3km 離れたいわき市三和町内の個人所有の民有林地で約 4.74ha あり、対象となるバイオマス資源は平成 19 年 3 月に伐採した雑木林 95%、針葉樹 5%程の皆伐地である。当該地域における施業担当は E-ウッドで、搬出実施期間は平成 19 年 11 月 15 日～平成 20 年 1 月 16 日の 62 日間である。

表 2.2.6 山田町字田中における実証試験の概要

項目	概要
所在地	いわき市山田町字田中 58-6 他
施業林班概要	民有林（個人）4.74ha
伐採日	平成 19 年 3 月（皆伐地）
施業班	E ウッド
搬出実施期間	平成 19 年 11 月 15 日～平成 20 年 1 月 16 日
対象となるバイオマス資源	雑木林 95% 針葉樹 5%
木材輸送距離	現場→遠野興産 3km
	現場→いわき材加工センター 10km



写真 2.2.7～8 山田町字田中における実証試験対象地の現場



図 2.2.7 森林簿

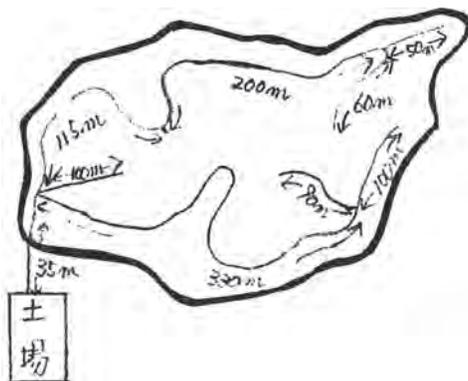


図 2.2.8 作業道搬出距離

本試験地で使用した高性能林業機械は次のとおりである。

表 2.2.7 使用した高性能林業機械の一覧

	使用機器	メーカー	型式
①	グラップル(単木はさみ用)	新キャタピラー三菱(株)	
②	フォワーダ	イワフジ工業(株)	U-4
③	グラップルソー(ウインチ付)	日立建機(株)	ZX135 (0.45)
④	プロセッサ	イワフジ工業(株)	CT-500

広葉樹民有林において、第一に作業道(総延長 1,080m)を 8 日間かけて作設した。そして、広葉樹を中心とする木々の伐採をチェーンソーとグラップルソーを用いて行い、玉切り、集材、搬出作業を順次行った。材の搬出は広葉樹パルプ材を優先して行い、続いて用材を搬出、最後にまとめて枝葉を搬出した。搬出は作業道上にてグラップルでフォワーダに材の積込を行い、林道脇の土場まで輸送する形とした。この土場に積まれた材は、グラップル付の 10t トラックに積み込み、用材はいわき加工センターへ、チップ材は遠野興産(株)岩石工場へ輸送した。なお、枝、葉は 10t トラックに積み込んで遠野興産(株)岩石工場へ輸送したが、容積 20m³ の 10t トラックに平均で 2t 程度しか積み込むことができず、輸送時の見かけ比重が 0.10 程度と非常に小さく輸送効率が悪かった。



写真 2.2.9～12 山田町字田中における実証試験の状況

③ 三和町上市萱(かみいちがや)字舞台：間伐

遠野興産(株)岩石チップ工場より 36km ほど離れたいわき市三和町内の共有林地で約 3.41ha あり、対象となるバイオマス資源は平成 19 年 10 月に伐採した林齢 45 年程のスギである。当該地域における施業担当はいわき市森林組合で、搬出実施期間は平成 19 年 11 月 22 日～平成 19 年 12 月 18 日の 28 日間である。

表 2.2.8 三和町上市萱における実証試験の概要

項目	概要
所在地	いわき市三和町上市萱字舞台 220-1
施業林班概要	共有林 3.41ha
伐採日	平成 19 年 10 月
施業班	いわき市森林組合
搬出実施期間	19 年 11 月 22 日～19 年 12 月 18 日
対象となるバイオマス資源	スギ 林齢 45 年
木材輸送距離	現場→遠野興産 36km
	現場→いわき材加工センター 55km



写真 2.2.13～14 三和町上市萱における実証試験対象地の現場



図 2.2.9 森林簿

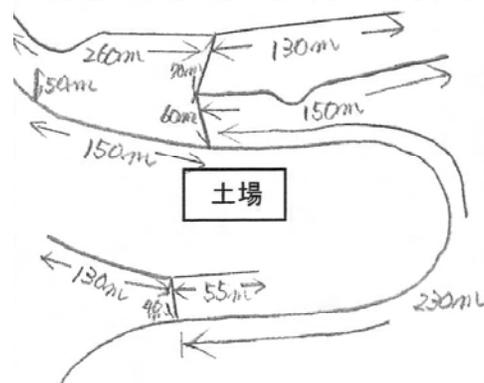


図 2.2.10 作業道搬出距離

本試験地で使用した高性能林業機械は次のとおりである。

表 2.2.9 使用した高性能林業機械の一覧

	使用機器	メーカー	型式
①	グラップル付ミニバックホウ(ウインチ有)	イワフジ工業(株)	B50
②	フォワーダ	イワフジ工業(株)	U-3
③	グラップル(ウインチ有)	日立建機(株)	ZX70 (0.25)

既に伐倒が行われた間伐箇所において、第一にミニバックホウを用いて作業道（総延長上部 720 m、下部 225m）を作設した。この作業道は既設の林道につなげる形で作設した。作業道上にてフォワーダ備え付けのグラップルを用いて未利用間伐材・林地残材の積込を行い、林道脇の土場まで輸送した。この土場に積まれた材は、グラップル付の 10t トラックに積み込み、用材はいわき加工センターへ、チップ材は遠野興産(株)岩石工場へ輸送した。



写真 2.2.15～18 三和町上市萱における実証試験の状況

④ 三和町上三坂(かみみさか)字綱木：間伐

遠野興産(株)岩石チップ工場より 36km ほど離れたいわき市三和町内の個人所有の民有林地で約 1.11ha あり、対象となるバイオマス資源は平成 19 年 10 月に伐採した林齢 40 年程のスギである。当該地域における施業担当はいわき市森林組合で、搬出実施期間は平成 19 年 12 月 14 日～平成 19 年 12 月 28 日の 15 日間である。

表 2.2.10 三和町上三坂における実証試験の概要

項目	概要
所在地	いわき市三和町上三坂字綱木 26-186-3
施業林班概要	民有林(個人) 1.11ha
伐採日	平成 19 年 10 月
施業班	いわき市森林組合
搬出実施期間	平成 19 年 12 月 14 日～平成 19 年 12 月 28 日
対象となるバイオマス資源	スギ 林齢 40 年
木材輸送距離	現場→遠野興産 43km
	現場→いわき材加工センター 53km



写真 2.2.19～20 三和町上三坂における実証試験対象地の現場



図 2.2.11 森林簿

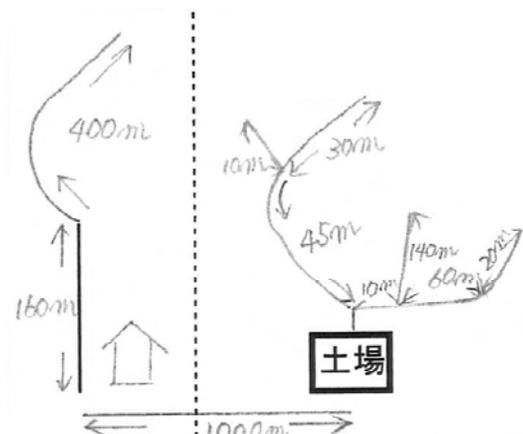


図 2.2.12 作業道搬出距離

本試験地で使用した高性能林業機械は次のとおりである。

表 2.2.11 使用した高性能林業機械の一覧

	使用機器	メーカー	型式
①	グラップル付ミニバックホウ	イワフジ工業(株)	B50
②	フォワーダ	イワフジ工業(株)	U-3
③	グラップル	日立建機(株)	ZX70 (0.25)

既に伐倒が行われた間伐箇所において、第一にミニバックホウを用いて作業道（総延長 林内 315 m、土場から林道脇まで 1,560m）を作設した。林内においては作業道上にてフォワーダ備え付けのグラップルを用いて未利用間伐材・林地残材の積込を行い、林外の土場まで輸送した。この現場においては、10t トラックが入ることの可能な既設の林道から林分が離れていたため、一度林外の土場までフォワーダで搬出した材を、林道脇まで 1,560m の距離を再度フォワーダにて輸送する形をとった。この土場に積まれた材は、グラップル付の 10t トラックに積み込み、用材はいわき加工センターへ、チップ材は遠野興産(株)岩石工場へ輸送した。



写真 2.2.21～22 三和町上三坂萱における実証試験の状況

(2) 小径木、曲がり材等の収集システムの実証

小径木や曲がり材等の、用材としての市場価値が低い材の効率的な集材方法を探る一環として、最近研究開発が進められている「スカイ・ウッド・シュート(SWC)：布製の滑り台」を用いた簡易な方法による集材に着目し、林地での集材実験を行った。

a スカイ・ウッド・シュート (SWC) の概要

現状においては、材価の低迷、人件費・集材コストの高騰および低い生産性等から、間伐材の収穫・利用の採算が合わず、その結果、利用可能な材であっても切り捨てられて林内に放置されたままとなっているケースが多い。今回は簡易集材方式として新たに考案された布製空中スベリ台スカイウッドシュート (Sky Wood Chute 以下、SWC) に注目した。SWCは、清水幸丸教授(元三重大学、現名古屋産業大学)によって考案され、NPO法人環境資源保全研究会(理事長：吉田孝男氏)、および石綿幸雄氏によって試験開発中の、傾斜地における集材ツールである。



写真 2.2.23 架設された SWC の様子



写真 2.2.24 SWC への間伐材の投入

① SWC の特徴

全長約 30m、幅 0.9m、重量は 13kg で、大人一人で運べるほどの軽量である。滑走面はポリエステル製で、その両側にポリエステル製スリングベルトが装着されており、この本体スリングが架線における主索の役割を担う。本体スリングを直接立木に巻きつける、もしくは別のスリングやワイヤ等で中継して立木に取り付ける構造になっている。スリングには一定間隔で同じ材料でできた立木懸架用アイ (図 2.2.13) が付けられていて、この部分にロープなどを結び、SWCの高さを調節する中間支持が可能である。また、アイ同士の連結によって別のSWCを繋ぎ、集材距離を延長することも可能である。例えば、2本のSWCを連結することによって約60m長の滑走が可能となる。

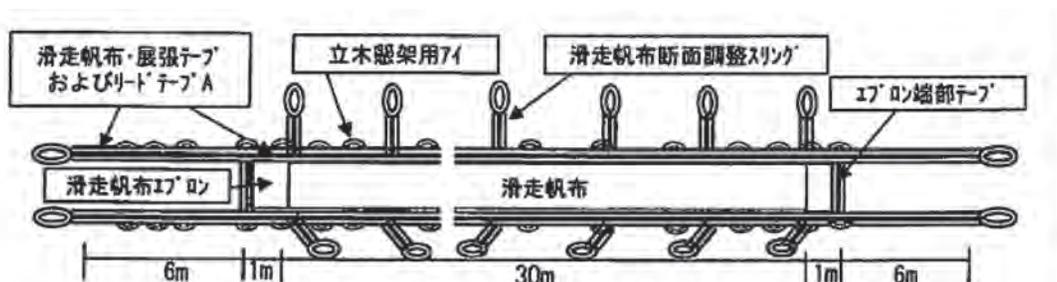


図 2.2.13 SWC の構造概要・平面略図

② SWC を用いた集材の作業フロー

SWC 機器は軽量で非常にコンパクトなので、その機能の特徴から実施する際の作業工程は極めてシンプルであり、少人数で実施することが可能である。また、SWC の経験をつんだ指導者のもとで数回の研修を行うことにより、林業の専門的な技術を有せずとも作業の実施が可能となる。

ただし、SWC の設営時には、材が滑走しても地面に布地が接触することが絶対にならないように細心の注意を払う必要がある。また、自重で滑走が可能であるのは傾斜が 25 度～30 度以上の林分に限られ、緩傾斜地においては材を手で押すか、ロープ等で斜面下から引っ張ることによって丸太を集材することが必要である。以下に、SWC による集材の標準的な作業工程を示す。

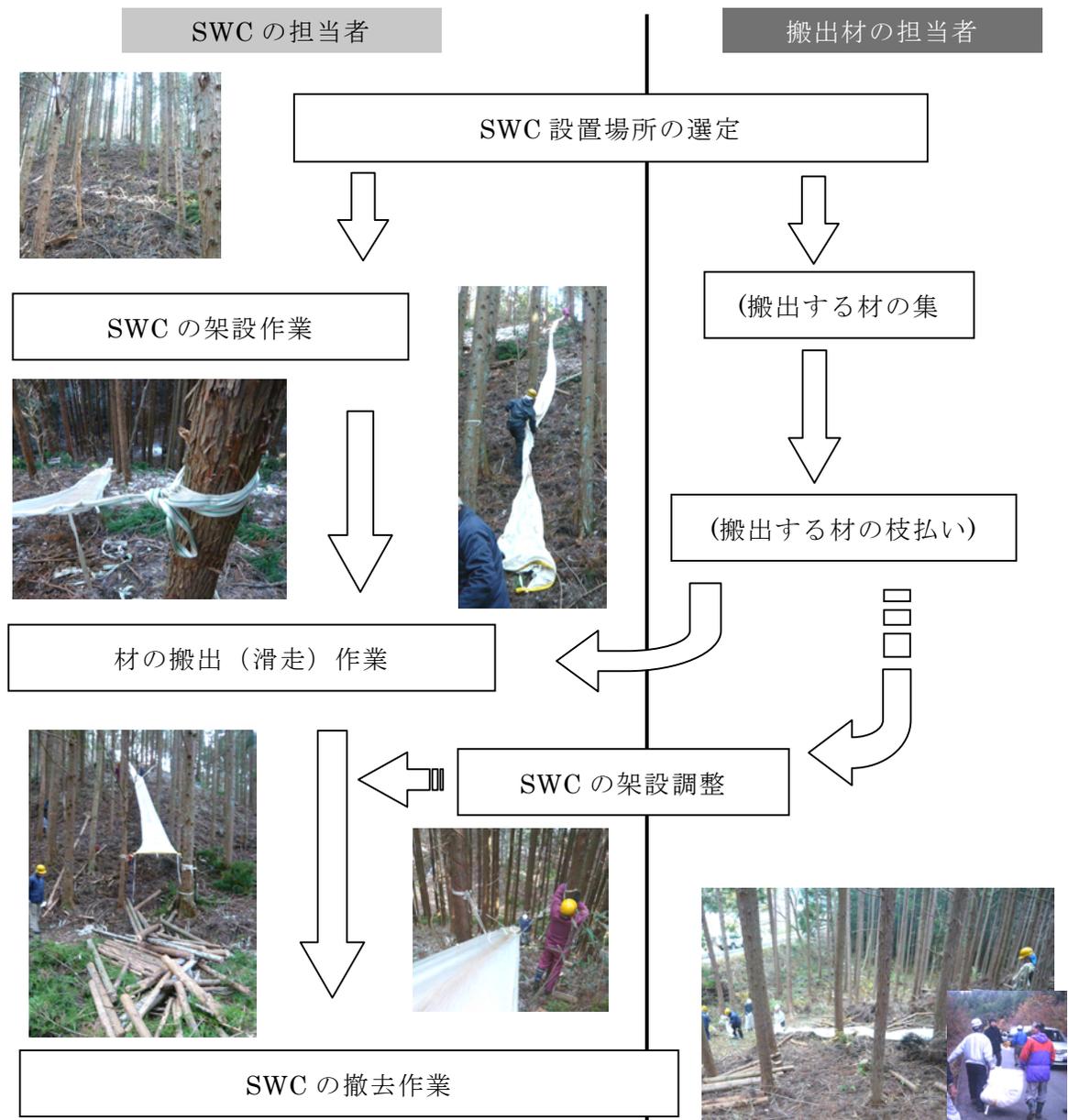


図 2.2.14 SWC を用いた集材作業の実施フロー (2～3 人の複数人の場合)

※上記の写真は、今回の各実験現場において撮影されたものを組み合わせたものであり、同一現場ではない。

b SWC 実証試験現場の選定方法

本事業においては、いわき市内の伐り捨て間伐後の林分において、林地に残された小径木、短材を、SWC を用いて集材する実験を行い、その作業能率を計測するものとした。実験にあたっては SWC を開発した岐阜森林アカデミーの松本武講師、NPO 環境資源保全研究会理事長の吉田孝男氏の指導の下で試験を実施した。

・SWC 実証試験現場①(いわき市遠野町入遠野)

実験は、2007 年 11 月に遠野町入遠野の間伐林分において実施した。この林分は、福島県いわき農林事務所の呼びかけで組織されたボランティア団体「緑の応援隊」の活動場所であり、同年 11 月 17 日(土)にボランティア参加者の人力による林地残材の集材が行われた場所である。

表 2.2.12 SWC 実施試験の集材箇所条件(遠野町入遠野) と現場写真 2.2.25～26

項目	値	項目	値
平均傾斜角	22 度(緩傾斜地)	斜面長	25m(頂部から出口部まで)



なお、同じ現場においては、2007 年 12 月 8 日に「緑の応援隊」の手により、第 2 回の林地残材集材ボランティア活動が行われた。ボランティア参加者 40 名の前で、SWC を用いて林内に散在する残材を間断なく滑走させることに成功し、今後の普及可能性を示すことができた。

・SWC 実証試験現場②～⑥(いわき市合戸字仁井宿)

上記①の実証試験とは別の条件で性能を把握するため、傾斜が 25～30 度程度と比較的急傾斜である合戸(ごうど)字仁井宿の間伐現場(図 2.2.4 の地図参照：No.7)を選定し、5 箇所 SWC 実証実験②～⑥を行った。

表 2.2.13 SWC 実施試験の集材箇所条件(合戸字仁井宿) と現場写真 2.2.27～28

項目	値	項目	値
平均傾斜角	23 度～32 度	斜面長	19m～34m



2. 2. 3 実証事業の実施結果

(1) 高性能林業機械を利用した林地残材収集・運搬・加工システムの実証結果

表 2.2.3 に示した実施場所のうち、①から④の現場の実験結果について、以下に収集したバイオマスの量とその内訳を示す。

①、③、④の現場(三和町字差塩等)では、伐倒・造材を森林組合が通常の伐り捨て間伐と同様の方法で実施した現場において、林内に残された未利用間伐材・林地残材の搬出を行った。これらの林地残材のうち、用材として利用可能な部分は用材用として分別し、それ以外をパルプ用材と短材に区分した。なお、「ドンコロ」とは、根元部の太い短材をさす。

表 2.2.14 ①三和町字差塩の現場からの搬出実績

搬出対象とした林地残材・ 未利用間伐材の内訳	用材	20 t	21.063m ³
	針葉樹パルプ材	42.18 t	32.88m ³
	短材 (ドンコロ)	2.63 t	3.6m ³
搬出実績合計(重量換算、及び材積換算)		64.81t	57.543m ³

表 2.2.15 ②山田町田中の現場からの搬出実績

搬出対象とした林地残材・ 未利用間伐材の内訳	用材	60 t	59.548m ³
	パルプ材	807.03 t	567.79m ³
	枝、葉	140 t	1,400 ガサ m ³
搬出実績合計(重量換算、及び材積換算)		1,007t	2,020m ³

表 2.2.16 ③三和町上市萱字舞台の現場からの搬出実績

搬出対象とした林地残材・ 未利用間伐材の内訳	用材	110 t	132.519m ³
	針葉樹パルプ材	64.94 t	44.94m ³
	短材 (ドンコロ)	13.85 t	12m ³
搬出実績合計(重量換算、及び材積換算)		189t	190m ³

表 2.2.17 ④三和町上三坂字綱木の現場からの搬出実績

搬出対象とした林地残材・ 未利用間伐材の内訳	用材	40 t	38.725m ³
	パルプ材	56.34 t	38.74m ³
	短材 (ドンコロ)	3.6 t	4.0m ³
搬出実績合計(重量換算、及び材積換算)		100t	81m ³

以上の 4 カ所の現場 (①～④) における高性能林業機械による集材搬出量を合計すると、概算で① : 65t (57m³) ② : 867t (627 m³) ③ : 189t(190 m³) ④ : 100t (81m³) であり、合計 : 1,211t (978 m³) である(ただし、②の現場の枝葉を除くいた数値)。また、この他、表 2.2.3 に示した⑤～⑩の場所での搬出量を加えると、収集量は全体で 2,000t を超えている。

(2) 小径木、曲がり材等の用材収集システムの実証結果

a SWC の設置・集材・撤去作業の比較

本事業で実施した、SWC を利用した 6 回の小径木や曲がり材の収集実験における架設・集材・撤去作業に係る作業人数と作業時間は表のとおりである。実証試験①はいわき市遠野町入遠野において、また実証試験②～⑥はいわき市合戸字仁井宿において実施した(2.2.2(2)b : SWC 実証試験現場の選定方法を参照のこと)。

表 2.2.18 SWC 実証試験結果の比較

	実証試験①(07年11月30日)			実証試験②(08年1月24日)		
	作業時間 (分)	作業人員 (人)	作業人工 (人・分)	作業時間 (分)	作業人員 (人)	作業人工 (人・分)
架設作業	40	3	120	10	4	40
集材作業(滑走)	30	5	150	14	2	28
撤去作業	10	2.5	25	10	2	20
作業時間合計	80	—	295	34	—	88

	実証試験③(08年1月25日)			実証試験④(08年1月25日)		
	作業時間 (分)	作業人員 (人)	作業人工 (人・分)	作業時間 (分)	作業人員 (人)	作業人工 (人・分)
架設作業	27	3	81	17	3	51
集材作業(滑走)	18	2	36	17	2	34
撤去作業	8	2	16	13	2	26
作業時間合計	53	—	133	47	—	111

	実証試験⑤(08年1月25日)			実証試験⑥(08年1月25日)		
	作業時間 (分)	作業人員 (人)	作業人工 (人・分)	作業時間 (分)	作業人員 (人)	作業人工 (人・分)
架設作業	22	3	66	30	3	90
集材作業(滑走)	26	2	52	18	2	36
撤去作業	8	2	22	7	2	14
作業時間合計	56	—	140	55	—	140

	平均		
	作業時間 (分)	作業人員 (人)	作業人工 (人・分)
架設作業	24	3.2	75
集材作業(滑走)	21	2.5	56
撤去作業	10	2.1	21
作業時間合計	55		151

① 架設作業について

架設作業については、SWC の専門指導員による監修のもとで作業人員 3 人で行なうと、作業時間が 17 分～30 分となっている。これは、滑走における調整作業が生じるためであり全工程のなかで最も作業時間を費やしている。また、同一作業員が初めて架設した実証試験①では 27 分の作業時間を費やしていたのが、5 回目の試験時の実証試験⑤では 17 分と、設置条件は異なるが、作業員が要領をつかむことによって大きく作業時間を短縮できることが確認された。

② 集材作業について

集材作業については、架設時に材が効率よく流れるよう設定できれば、作業人員はシューターへの投入口と出口にそれぞれ最小で 1 人ずつ担当すればごく少数人員で望ませることができる。集材時間については、放置された材の量に比例するが、今回の実証試験では、30～70 本程の材の量であれば、20 分ほどで集材可能である。ちなみに集材作業時間を最も費やした実証試験④では、集材時に材がスムーズに流れるように適宜調整を行いながら行なったので、他の試験より作業時間が多くかかっている。材の滑走については、実証試験①のような緩傾斜地（20 度前後）では、材の自重による滑走が難しかったことから、本来の使用法とは言えず、生産性が低かった。ただし、地引集材に比べれば抵抗は格段に小さく、緩傾斜地での人力集材の補助としての利用が可能である。

③ 撤去作業について

撤去作業は、集材終了時に立木に固定していたスリングを外すのみであり、一連の道具を収納するのに、概ね 8 分～13 分と作業時間がとられないことが実証された。なお、今回実証試験を行った林分条件では、一連の作業時間を見ると、どの現場も概ね 1 時間程で全工程を終了することができた。また、SWC における習熟度を向上させることにより、現段階の作業時間をさらに短縮させることができると考えられる。以上、実証試験を行った考察として、架設および集材作業に関しては、強度、架設時の基礎張力、滑走面の耐久性、必要な架設高や傾斜等について設計基準を明確にする必要があることが確認された。

b SWC を用いた集材の 1 日あたり集材量の比較

計 6 回行った実証試験では、1 回あたりに集材した材の重量は 639～931kg となっている。これらは材積換算すると 0.46～1.23 m³となる。概ね、1 試験当たり 1 時間弱であるが、この実証試験結果から単位時間あたりの集材量を求め、これを 6 倍して 1 日あたりの集材量を算出した。

今回、実証試験に携わった作業員が林業未経験であることや、SWC を利用することがはじめてであったことを考慮すると、かなり良い結果が得られており、簡易集材方法として今後の利用に期待がもてるとの感想が現場の作業員からもあがってきている。

表 2.2.19 SWC 実証試験において集材した材の重量と換算材積

	実証 1	実証 2	実証 3	実証 4	実証 5	実証 6	平均
集材した材の重量 (kg)	860	386	851	878	931	639	757
集材した材積 (m ³)	1.23	0.46	0.73	0.98	0.75	0.86	0.82
1 日の推定集材重量(t/人日)	1.05	1.58	2.30	2.85	2.39	1.64	1.97
1 日の推定集材材積(m ³ /人日)	1.50	1.90	1.99	3.19	1.93	2.22	2.08

※ 1 日の推定集材材積は、材積÷作業時間(人・時)×1 日の作業時間 6 時間で積算

c SWC 集材の作業能率の比較

実証試験の結果から、搬出作業能率は 1.5～3.2 m³/人日と試算される。図 2.2.15 はこれを比較したものであるが、実証①～②の初期の段階と比べ、実証③～⑥では作業員が各作業要領を把握したことにより、同一林分における作業で安定的な集材能率が得られている。

参考のため、岐阜森林アカデミーの松本武氏が岐阜県美濃市内の私有林で実施した一般的な簡易集材方式とされるヤエン、修羅、ポータブルウィンチによる作業結果を同図に示した。

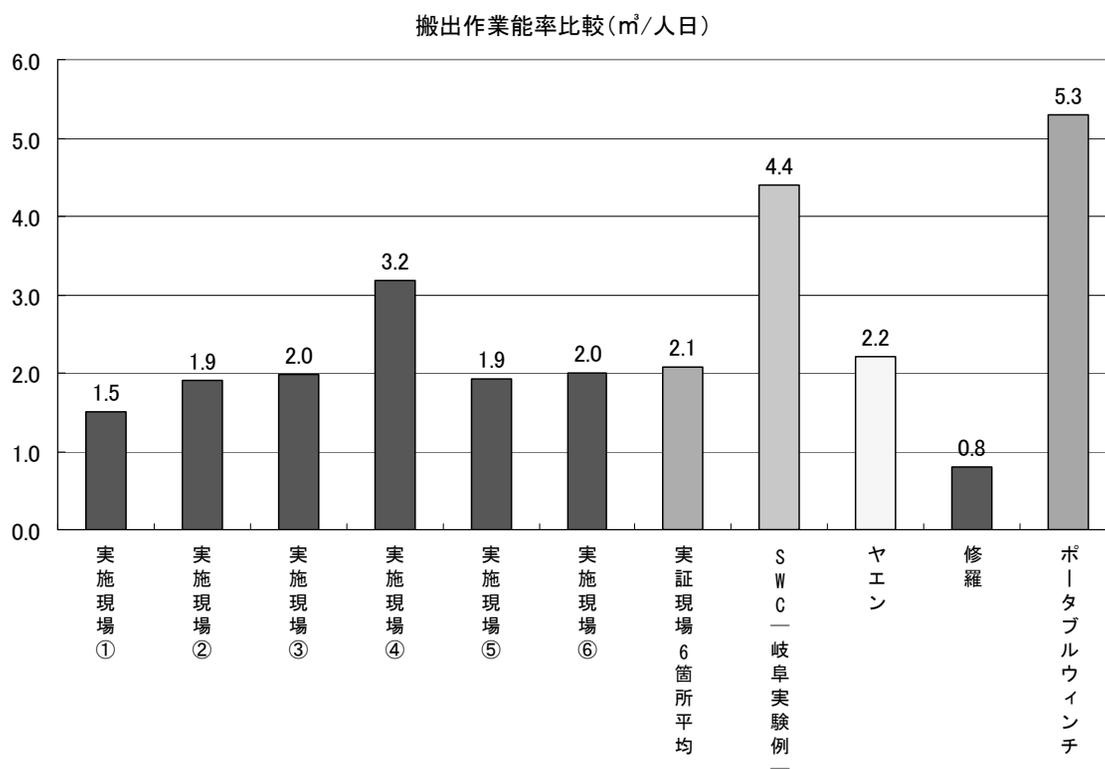


図 2.2.15 簡易集材方法別の作業能率比較

岐阜の私有林と本事業の実証試験現場では、林分の地形条件や集材対象となる材が異なるため単純に比較することは出来ないが、SWC 集材の集材能率はかなり高いことがわかる。また、ヤエン、修羅、ポータブルウィンチは専門技術を必要とするため、習得までに時間がかかるが、SWC は数回の技術指導を受ければ、その作業要領を把握することが容易であり、これが他の簡易集材方式と比べ優位な点といえる。

また、SWC の耐久性については、実証試験①～⑥で材積にして約 5 m³の材を搬出したが、この範囲では滑走面や支持部材の目立った損傷は特に確認されなかった。

2. 2. 4 実証結果に関する検討、分析

(1) コストについて

高性能林業機械による集材の実証試験について、現場別に間伐と主伐に分けてコスト比較を行った。

a 間伐の場合

用材部分の収支のうち、三和町上市萱(かみいちがや)字舞台の現場③では、用材の販売収入が搬出コストを上回り黒字であった。用材を販売して得られる収入は、各現場とも平均単価 8,902 円/m³、10,568 円/m³、9,014 円/m³ であり、大差が無い。そこで支出の内訳を見ると、用材の運搬距離も大きくは変わらず、収支に大きな影響を与えているのは現場ごとの集材コストであることがわかる。このことから、現在は伐り捨て間伐が行われている林分であっても、高性能林業機械を用いた集材作業を行い、10t トラックといった大型車両による輸送を行うことにより、収支の合う形で間伐材の搬出を行える可能性があることが示唆された。

三和町差塩の現場①(集材～搬出～輸送コスト：15,498(円/m³))で、用材搬出が赤字となった原因としては、高性能林業機械を用いてはいるが、このような集材・搬出作業をこの実証試験で初めて行った現場であるため、作業員が高性能林業機械による作業に習熟していなかったことが考えられる。集材・搬出の作業能率の低下が、コスト増大の原因と考えられるが、このほかに施業面積が 1.2ha であり、比較的小規模であったことも原因していると考えられる。

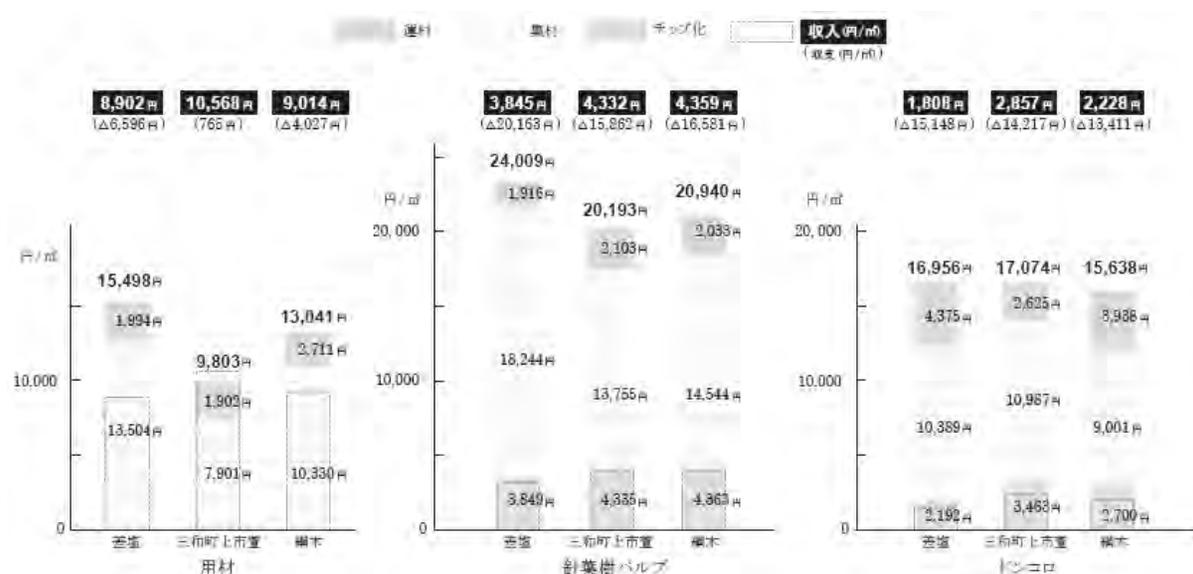


図 2.2.16 現場ごとの集材・運材コストの比較：(単位：円/m³)

三和町上三坂字綱木の現場④(集材～搬出～輸送コスト：13,041(円/m³))で、用材搬出が赤字となった原因としては、施業面積が 1.1ha であり、①の三和町差塩と同様に小規模であったことと、林外の土場から林道脇の土場まで 1,500m を超えるフォワーダ運搬が必要であったこと等が考えられる。ただし④の現場においては、ha あたりの用材搬出重量が 36t/ha、パルプ材・ドンコロ材と合わせると 90t/ha であり、①の用材搬出重量 17t/ha、パルプ材・ドンコロ材と合わせて 54t/ha と比較してそれぞれ面積あたり 2 倍程度の搬出重量が得られている。この影響もあり、用材の収支が④の現場においては▲4,027(円/m³)であり、①の現場の▲6,596(円/m³)に比較して有利になっている。

一方、①、④と同様のスギ間伐現場である三和町上市萱字舞台の現場③(集材～搬出～輸送コスト：9,803(円/m³))では、施業面積が 3.41ha と①、④の 3 倍程度の広さがあり、事業規模が大きかったことから集材コストが低減でき、収支が 765(円/m³)と黒字になったと考えられる。

チップ用材については、集材～輸送～チップ化までの支出とチップ価格(サイロ下)との比較で考えた場合、全ての箇所赤字であった。間伐時の林地残材をチップ化した後に得られる収入(チップのサイロ下価格)は、m³ 換算で針葉樹チップの場合 4,000 円/m³ 前後であるが、この価格は工場でのチップ化に要するコストとほぼ同程度である。すなわち、工場に着価格 0 円/t で針葉樹チップ材が届くならば、チップ化を行って販売してもトントン程度で済むことになる。現状では、これに山からの残材の収集コストやトラック輸送のコストをプラスすることは難しい。

また、ドンコロ材の場合には、皮付きチップのサイロ下单価が針葉樹製紙用チップよりも安いことから、さらに採算性が低く、工場でのチップ化コストすらまかなえない状況にある。

一方、間伐林分からの林地残材の積込・輸送コストは 2,000 円/t 前後かかり、それほど大きな差はないが、集材コストは 8,000 円/t～15,000 円/t 程度とばらつきが大きく、しかもチップ用材の収入をはるかに上回るものであった。

林地残材(特に枝葉)の集材については、間伐地で用材の集材に性能を発揮する高性能林業機械であっても、低コスト化につながるとは限らないことが示唆された。ただし、集材コストの中で最も多くの割合を占めるのは重機のリース代ではなく労務費であることから、労働生産性を向上させ作業能率を高めることが必要である。そこで、小径木や枝葉といった林地残材については、グラップルやフォワーダ等の高性能林業機械での残材の集材ではなく、小型の安価な林業機械や林地残材の収集に特化した機器を使用することが望ましいと考えられる。

b 主伐の場合

山田町田中の現場②(雑木(広葉樹)皆伐)においては、用材部分の収支は 1,224(円/m³)と黒字になった。これは、用材の販売価格が 11,596(円/m³)とやや高価であったことが大きな要因と考えられる。

ただし、この現場②では、用材搬出の支出額が 10,372(円/m³)となり、間伐現場④(13,041(円/m³))と同程度、ないしは間伐現場③(9,803(円/m³))を上回っている。一般に、皆伐地では間伐よりも低コストで集材作業が可能とされているにもかかわらず、支出額が

上回った理由としては、この現場が①、③、④の間伐現場のような常用雇用ではなく請負契約であったことと、間伐現場のように「既に伐倒されている材を集材する」のではなく、広葉樹の現場では伐倒～造材～集材～搬出～トラック輸送まで全てのプロセスを実施しなければならなかったことの2点が挙げられる。

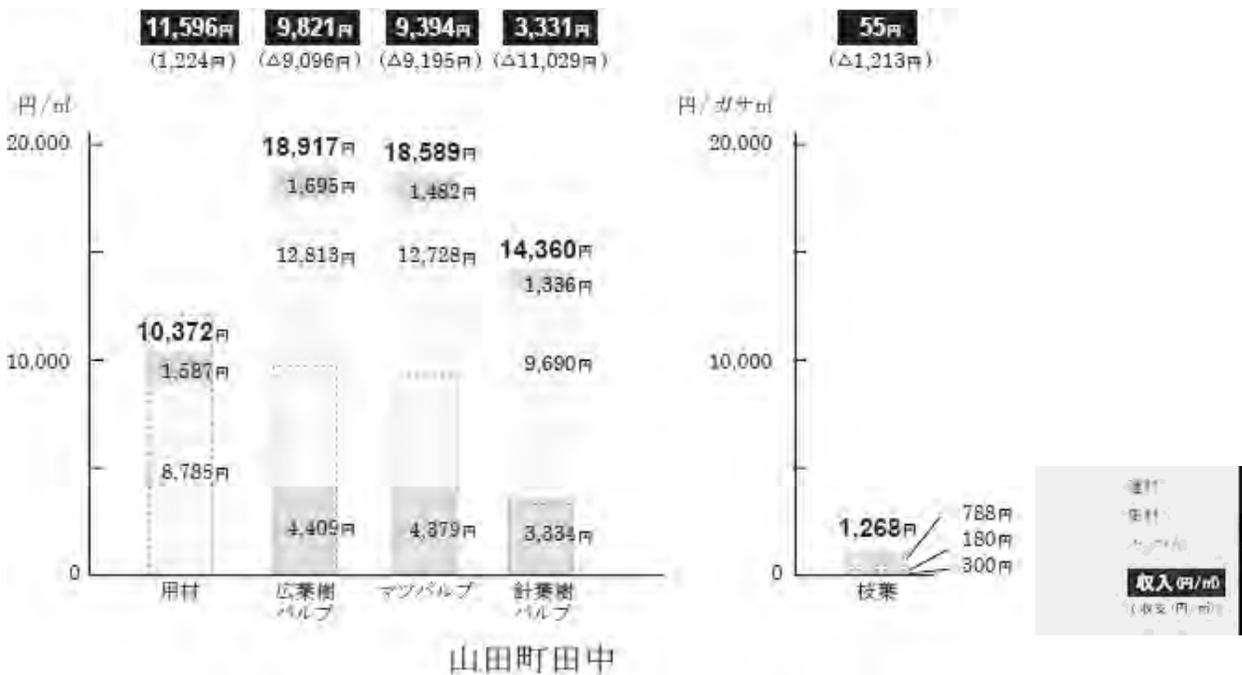


図 2.2.17 現場ごとの集材・運材コストの比較(単位：円/m³)

また、枝、葉のみを集材した山田町田中の現場②では、グラップル・フォワーダ等の高性能林業機械を用いて搬出を行ったが、枝葉のかさが非常に大きいため作業道上の輸送効率もトラックによる輸送効率も低かった。トラックは 20m³ 積みであったが、平均で 2t 程度しか枝葉を積み込むことができなかった(すなわち、比重が 0.10 程度であった)。枝、葉に関しては収入が 55 円/ガサ m³(550 円/t)程度であり、収支は▲1,213 円/ガサ m³((12,130 円/t)のマイナスとなる。

以上を総括すると、請負制度の場合には、「m³ いくら」という単位で業者に伐倒・造材・搬出を委託するが、業者側は損をする金額では請け負わない。すなわち、単価が m³ あたり 1 万円前後の用材であれば業者側に儲けがあるため搬出が行われるが、市場の単価がせいぜい数千円程度の林地残材の場合には、集材だけで赤字になるため林地残材の搬出が行われないということになる。こうしたことから、実際に林地残材の収集を進めていく場合には、常用雇用による仕組みを作っていくことが望ましいと考えられる。

(2) 作業能率について

間伐材の搬出現場、及び皆伐現場における伐倒～造材～集材の作業現場について、「作業員が一日に何 m³ の材を搬出することができたか」を表す作業能率を求めた。その結果を次に示す。

①三和町字差塩：1.6 (m³/人日)

- ②山田町田中(P) : 5.9(m³/人日)
- ③三和町上市萱字舞台 : 2.7(m³/人日)
- ④三和町上三坂字綱木 : 2.3(m³/人日)

この数値を一般に国際競争力を持つとされる生産性である 10(m³/人日)と比較すると、極めて低い値にとどまっている。なお、岐阜県で実施されている新生産システムにおいて、チェーンソー伐倒→グラップル木寄せ→プロセッサ造材→グラップル積込→フォワーダ搬出という、今回の遠野興産(株)における作業とほぼ同じシステムを用いている森林組合においては 4.5(m³/人日)という生産性をあげている(岐阜県立森林文化アカデミー 松本武講師資料)。このことから、生産性の向上に関してこの 4.5(m³/人日)を超えることが 1 つの目標となる。

(3) 収集・運搬・チップ化に要するエネルギーの検討

林地残材の収集・運搬・チップ化に要するエネルギーについて、ドンコロ材を対象に計算してみた。ドンコロ材のうち重量比で 90%が燃料利用可能であったと仮定すると、エネルギー収支(利用可能エネルギーに対する消費エネルギーの比率)は下記のように計算された(ドンコロ材 1t が、生材であることを考慮して 10,000MJ と設定)。

- ①三和町字差塩 : 11.2%
- ②山田町字田中 : 3.2%(※枝、葉)
- ③三和町上三坂字舞台 : 5.0%
- ④三和町上市萱字綱木 : 7.9%

よって、林地残材の集材・運送・チップ化に要するエネルギーは、木材自体の持つエネルギーの数%程度であり、林地残材の熱エネルギー利用は地球温暖化抑制に極めて有効であることが確認された。

2. 2. 5 考察、その他

今後の課題としては以下の点が挙げられる。

- ① 高性能林業機械を用いた間伐による用材搬出と林地残材搬出の連携
地域の森林組合とも協力した施業の実施が必要である。
- ② 1事業地あたりの面積の目安の把握

10ha 以上の規模から、1ha 以下の林分まで、様々な規模での間伐・皆伐を行い、最低限何 ha 程度の面積を確保できれば用材搬出が黒字化するのか、といった適正規模の把握が必要である。

- ③ 小型的林業機械を用いた残材の搬出

枝葉、小径木の集材・搬出に適した機械を選択または開発する必要がある。

- ④ 林地残材から製造した製品(チップ、ペレット等)の付加価値の増大

現状では、いわき市近辺において針葉樹製紙用チップ・皮付きチップであれば、サイロ下(チップ工場での売り値、輸送費別)で 9 円/絶乾 kg・5 円/絶乾 kg 程度の価値を持つが、燃料用チップの場合にはほぼ 0 円/kg である。仮に、林地残材の主用途を燃料用チップとするならば、この価格が上昇しない限り、用材以外の部分の残材の収集に係る収支をプラスに転じることは困難である。地球温暖化防止の観点から、燃料用チップの価格を相

対的に上昇させる政策、もしくは燃料用チップから別用途の高付加価値製品を製造するための取り組み等が必要とされる。

⑤ スカイ・ウッド・シュートを用いた効率的な残材搬出の可能性検討

小径木や枝葉等は機械による集材を行っても集材・輸送能率が極めて低いことから、残材の搬出コストを低減する方策としては、機械化に頼るばかりでなく別の対策も考える必要がある。今回、布製の滑り台「スカイ・ウッド・シュート」を用いた集材作業において、その架設・撤去の容易さと張替え時間が短時間で済むという機動性を確認することができた。さらに集材能率を高めていく必要がある。

たとえば、今回の実験では、材の投入口(斜面上)と出口(斜面下)を固定し、1線が終了次第別の箇所へ移動するという形式であったが、これを改善する方策として、材の出口(斜面下)を1点固定し、1線が終了次第、材の投入口のみ横に移動して張替えを行う「扇形の集材」形式などが考えられる。また、現地視察時に寄せられた意見の中には、材の出口(斜面下)をダイレクトにトラックの荷台に直結させ、斜面下でのトラックへの積み替えをなくせないかといったものがあった。スピードを上げて落下してくる材に対しての安全性の確保、トラックの荷台の強度等の問題はあがあるが、今後の検討課題の一つに挙げられる

⑥ 搬出・輸送・チップ化コストの大幅な削減

現状では林地残材の搬出・輸送・チップ化総コストが約2万円/生重量t程度と極めて高いことから、大幅なコスト削減を行い、欧州並の水準である1万円/生重量t程度まで削減させることが課題として求められる。この解決のためには、地域の森林組合等と連携し、高性能林業機械を能率的に用いた間伐材の搬出作業の実施と、同時に林地残材の搬出を行うことによって搬出コストを低下させることが考えられる。また、施業の団地化、作業道を中心とする高密度路網の整備といった方策も必要である。その他、SWCのような簡易な集材方式の活用により、地域住民が自力で林地残材を搬出可能になるようなシステムの構築も求められる。

一方で、現状の相場において燃料チップはタダ同然の価格であり、針葉樹製紙用チップの場合でもチップ化コストをまかなうのがやっとの状況である。このことから、林地残材の出口となるチップ価格を適正な価格で買い取ることが可能となる仕組みを構築することが下流側の課題となる。また、将来的には、常用雇用者で、山での伐倒→集材→用材・チップ材の生産を行い、収益をあげることでできるシステムを構築することが目標となる。

2. 3 木質バイオマス・ガス化・コジェネによる地域実証

(秩父市)

2. 3. 1 実証事業のねらいと実施内容

(1) 実証事業のねらい

a 背景と目的

秩父市の木質バイオマス・ガス化・ガスエンジン・コジェネレーション・システム（以下「ガス化・コジェネ」という。）は、秩父市のレクリエーション施設である「吉田元気村」（以下「元気村」という。）敷地内に、本施設の自家発電設備「ちちぶバイオマス元気村発電所」（以下「バイオマス発電所」）として平成 18 年 12 月に完成し、平成 19 年 4 月 1 日から元気村の営業に合わせて通常運転（火曜休業）を行っており、生産する電気と熱（温水）を元気村に供給している。

バイオマス発電所導入の背景は、同市が市域の 87%の森林（埼玉県全体の森林面積の 40%に相当する）を有し、恵まれた自然環境にありながら地域経済は停滞し、少子高齢化と人口減少が進むとともに、戦後の拡大造林による人工林は木材価格の低迷等により手入れが行き届かず、荒廃が危惧されていることによる。

こうした地域が抱える深刻な問題と、今まさに喫緊の問題である地球温暖化問題、原油価格の高騰等に対して、地域内の未利用資源の有効活用により森林の保全と、森林資源の収集・輸送・加工から生産するエネルギーの利用までを通じた循環型システムの構築により地域活性化をめざすために、木質バイオマスエネルギー事業を行政として立ち上げ推進している。

この木質バイオマス発電事業は、小規模プラントではあるが、日本初の木質バイオマス・ガス化・コジェネの実機として、林地残材等未利用資源の活用等を促す新しい地域内循環システムの形成をめざすものであり、その波及効果として次のことが期待される。

① 森林の再生と保全、② 資源循環型社会の構築、③ 林業をはじめとする産業の振興、④ エネルギー等新規産業の創出と雇用の創出による地域の活性化、⑤ 地球温暖化等の地球環境問題への対応、⑥ 環境学習の推進

b 実証事業のねらい

この実証事業では、林地残材等木質バイオマス利用のコスト削減、バイオマス発電所のスムーズかつ継続的な運転、生産エネルギー等の有効利用等について取り組む。目標として次を掲げ、木質バイオマス利用の全国展開のきっかけとなることを目指す。

- ① D S S 運転※1 で、安定かつ安全な継続的運転の確保
- ② 林地残材等木質バイオマスの利用量 300m³ (110 t (含水率 13% - wet))
- ③ 林地残材等木質バイオマスの収集・輸送・チップ加工のコスト低減を図り、燃料用チップの価格を 15,000 円/t-dry 以下にする。
- ④ 熱利用効率の報告

注： ※1 デイリー・スタート・ストップ運転（日々、立ち上げて停止する。）

(2) 実証事業の内容、規模

a 内容

木質バイオマス・ガス化・ガスエンジン・コージェネ・システム「ちちぶバイオマス元気村発電所」は、林地残材、製材端材、剪定枝葉等未利用木質バイオマスを原料としてガス化しガスエンジンにより電気と熱を生産し、「吉田元気村」施設へ供給し、余剰電力をR P S電力販売する。

この事業では、未利用木質バイオマスの収集・運搬・加工を通じた低コスト利用から、発電所のスムーズかつ継続的な運転の確立、元気村等でのエネルギー利用等まで、木質バイオマス利用の川上から川下までの総合的な木質バイオマス利用地域モデルシステムの開発、実証、評価を行う。

b 規模

① 設備の概要

- ・発電方式；固定床ダウンドラフト型木質バイオマス・ガス化・ガスエンジン・コージェネレーション
- ・計画値；発電端出力 115 k w 送電端出力 100 k w
総回収熱量 231Mcal/h 有効利用熱量 150Mcal/h
バイオマス使用量 125kg/h 1.5 t /d(12h/d) 450 t / y (300d/y)
※ いずれも含水率 13% - wet
- ・熱供給先及び方法；元気村お風呂・足湯へ温水で供給、ガス化・コージェネのチップ乾燥機に温風を供給
- ・助燃材；L P G (システム起動、停止時のみ)
- ・余剰電力；R P S 認定電気として東京電力㈱に販売

② バイオマス使用量

- ・計画値は、年間 450t (12 時間/日、300 日/年運転時、含水率 13% - wet 換算)、原木換算で 1,200m³ (スギ比重 0.38 を使用) とした。
- ・このうち、本事業では、300m³ の市有林等の林地残材等を収集し利用する。

③ 運転計画

- ・運転時間・日数；12 時間/日、25 日/月で、元気村の電力需要・熱需要に合わせた運転を目標とする (元気村休館日は運転休止)。

(3) 実証事業の実施期間、実施体制、実施場所

a 実施期間

平成 19 年 9 月 1 日～平成 20 年 2 月 29 日

b 実施体制

- ① 責任者；秩父市長 栗原 稔
- ② 事務局；秩父市環境農林部バイオマス・環境総合研究所
 - ・当該事業実施について、計画、事業実施、事業結果のまとめを行う。
 - ・当該事業実施に係る調整を行う。
 - ・秩父市バイオマスエネルギー研究事業運営評価委員会の事務局を担う。

③ 共同実施者

- ・東京大学大学院農学生命科学研究科、秩父広域森林組合、アジア・イノベーション・イニシアティブ株式会社

④ 技術指導者

- ・山崖佳昭；アジア・イノベーション・イニシアティブ株式会社プリンシパル・インベスティゲーター

木質バイオマス・ガス化・ガスエンジン・コジェネに係る技術的指導

- ・鮫島正浩；東京大学大学院農学生命科学研究科生物材料科学専攻 教授
ガス化原料及び地域マーケット木質チップの量と品質管理に係る技術的指導

- ・仁多見俊夫；東京大学大学院農学生命科学研究科森林利用学専攻 准教授
未利用木質バイオマスの低コスト調達に係る技術的指導

⑤ 秩父市バイオマスエネルギー研究事業運営評価委員会

- ・業務内容：森林の公益的機能の向上、資源循環型社会の構築、地域の活性化等を目指すため、事業の運営方法・実施方法の検討、事業評価に基づく成果の検証

・委員構成

湯原 哲夫：東京大学サステナビリティ学連携機構特任研究員

田邊 敏憲：㈱富士通総研経済研究所主席研究員

鮫島 正浩：東京大学大学院農学生命科学科生物材料科学教授

仁多見俊夫：東京大学大学院農学生命科学科森林利用学准教授

新井重一郎：元東京理科大学教授

江尻 康雄：林野庁関東森林管理局埼玉森林管理事務所長

星 裕治：埼玉県農林部秩父農林振興センター所長

井上十三男：秩父市議会議長

今井 康友：東京電力㈱熊谷支社長

岸 重義：吉田元気村指定管理者の㈱龍勢の町よしだ参与

横幕 宏幸：月島機械㈱バイオマスプロジェクトリーダー

c 実施場所

ちちぶバイオマス元気村発電所；秩父市上吉田 4942-1

吉田元気村；同上

秩父市役所；秩父市熊木町 8 番 15 号

その他、秩父市内及び秩父地域内

2. 3. 2. 実証事業の実施方法

ちちぶバイオマス元気村発電所は、平成 18 年 12 月の試験運転開始から本実証試験の開始までの間、ガス化・コジェネの性能等の経過をみるため、一定の条件の原料チップを使用して運転を行ってきた（平成 18 年 12 月秩父市バイオマスエネルギー運営評価委員会の方針による）。このため、秩父地域内のチップ製造事業者 6 社から、各事業者が加工できるチップサンプルと見積を徴し、ガス化・コジェネ製造メーカーの意見も聞き、スギ、ヒノキ等の木部チップ（樹皮付き）を選定し、使用してきた。それらは製材所から出る背板を

切削チップーにより加工したもので、粒径が平均 3 c m の製紙用チップと同様のものである。本実証事業では、この燃料チップに林地残材等を利用することを目標とし、そのための林地残材等木質バイオマス利用のコスト削減、バイオマス発電所のスムーズかつ継続的な運転、生産エネルギー等の有効利用等について取り組んだ。



写真 2.3.1 試験運転開始から使用しているチップ

(1) 林地残材等未利用木質バイオマス利用のコスト削減

森林資源の利用に当たっては、特に蓄積の大きい資源の充実した森林の持続的利用システムの構築が必要であるため、木材供給と併せた木質バイオマスの利用を主に検討を行う。

a 主伐、間伐時の効率的かつ低コストのバイオマス収集、輸送、加工システムの実証

素材生産事業者と森林組合との連携による、森林施業に伴うバイオマス収集から、木材輸送事業者による輸送、民間チップ事業者によるチップ加工まで、低コストを目指した一連のバイオマス利用方法の実証を行う。

b 高性能林業機械による伐倒木の搬出実験

ロングリーチアーム型ハーベスタ、グラブプル、プロセッサ、フォワーダ等の高性能林業機械を用いた素材生産コストの低減方法を検討する。

c チップ加工システムの実証

本実証事業のチップ加工は、主としてバイオマス発電所の試験運転開始以来、燃料チップを納品してきた事業所で行うこととしたが、これ以外にも林地残材等のチップ加工方法として新たな方法を見いだすため、各種チップーを借上げ実証試験を行う。ガス化発電では燃料チップの形状や特性がプラント性能に大きく影響するため、その選択は重要であり、燃料チップの変更に伴う最適な運転方法について検討する。

(2) バイオマス発電所のスムーズかつ継続運転の確立

D S S (デイリー・スタート・ストップ) による 12 時間/日、300 日/年の安定かつ安全な継続的運転の確保を目指すためシステムの特性を把握する。

a 運転特性の把握

プラントの運転特性に係るデータ蓄積を行い、安定かつ安全な継続運転の礎とする。

また、特性を把握した上での改善点を把握する。

b 原料を変えてのプラント特性・運転法の把握

針葉樹、広葉樹、枝条、樹皮等多様な原料に対応できるように、原料の種類を変えたときのプラントの特性と運転方法を把握する。

c 連続運転の特性把握

連日 24 時間試験運転を行った場合のプラント特性を把握する。また、夜間の熱利用等エネルギー利用も含めた経済的メリット等も把握する。

d 施設運用改善点の把握

次年度以降の無人運転を視野に入れた運転員の削減方法、及び効率性、メンテナンスや使い勝手等を考慮した施設改良点・改造点を把握する。

e 運転・保守マニュアルの整備

運転経験・実績を反映して、運転・保守マニュアルを作成する。

(3) 生産エネルギー等の利用

「木質バイオマスエネルギー事業」がシステムとして経営的に成り立つため、生産されたエネルギー等の利用先・利用法のうち熱利用について、発電所内で発生する温風のハウス事業への利用を研究する。

2. 3. 3 実証事業の実施結果

(1) 林地残材等未利用木質バイオマス利用のコスト削減

a 主伐、間伐時の効率的かつ低コストのバイオマス収集、輸送、加工システムの実証

① バイオマスの収集、輸送

バイオマス利用のため、主伐、間伐に伴って発生する梢端部、細材、曲材等を調達した。調達方法は、次のとおりである。

- ・ 市内羊山公園の民有林所有者の協力を得て、11月23日に第3回薪拾いイベントをボランティア60人の参加で開催した。間伐後の林地残材約19m³を林内から拾い出し、トラックで荒川集積場に輸送した（後日、固定式切削チップパーでチップ化実験した）。
- ・ 大滝市道13号線の開削に伴い発生した伐倒木を森林組合木材センターに（道路工事車両が）運び、森林組合が造材。発生したバイオマスはチップ加工場へ輸送した（1台10m³）。
- ・ 美の山皆野町有林の非皆伐（90%）の立木売払いに伴い、森林組合が集材機により全幹集材したバイオマスを、グラップル付き8tトラック等でチップ加工場へ輸送した（3台30m³）。
- ・ 大滝中津川県有林の立木売払いに伴い、民間素材生産事業者が架線集材する際に、山元土場まで全幹集材し土場で玉切った。バイオマスは、一箇所に集積され、グラップル付き8tトラック等で輸送した（2台20m³）。
- ・ 大滝栃本市有林の搬出間伐に伴い発生した梢端部等30m³のバイオマスをグラップル付き8tトラック等でチップ加工場へ輸送した（3台30m³）。
- ・ 12月の間伐材搬出実験で林内から搬出した間伐材を林道、作業道上で造材後に発生

した梢端部、細材、曲材等のバイオマスをグラップル付き 8t トラックでチップ加工場へ輸送した。なお、林道脇に約 40m³ のバイオマスが確認できたが、1 台輸送後の降雪により以後の輸送は、雪融け後とした（1 台 10m³）。

- ・ 定峰市有林の搬出間伐で発生し集積場に貯留した細材、曲材等のバイオマスをグラップル付き 8t トラック等でチップ加工場へ輸送した（14 台 140m³）。
- ・ 上吉田矢丸の民有林の森林組合による搬出間伐で施業後残っていたバイオマスで、森林組合が集積場へ運搬してあったものをグラップル付き 8t トラックでチップ加工場へ輸送した（1 台 10m³）。
- ・ 大滝市道開削現場から発生したバイオマスで一旦、建設会社が荒川集積場へ運搬したものをグラップル付き 8t トラック等でチップ加工場へ輸送した（5 台 50m³）。



写真 2.3.2 バイオマス輸送



写真 2.3.3 バイオマス輸送

② チップ加工

チップ加工場へ輸送したバイオマス（原木 300m³）は、チップ加工後バイオマス発電所に輸送し発電用燃料として使用した。原木m³とチップm³との換算比率は 1：2.2 としたが、これは平成 19 年 4 月から 8 月までの入荷チップの容積（輸送トラック荷台容積）とクレーン重量計測の平均の実績値から求めたものである。



写真 2.3.4 チップ加工場における原木



写真 2.3.5 チップ加工場のチッパー



写真 2.3.6 発電所ストックヤードへ納入



写真 2.3.7 元気村敷地内の堆積チップ

③ チップ調達コスト

民有林等からの原木バイオマスの調達には、100 円/m³が必要である。間伐、主伐に伴い林道脇、作業道脇、土場等に発生したバイオマスは、グラップル付き 8tトラックでチップ加工場まで輸送したが、チップ加工の後、これを輸送して発電所に到着するまでのチップ調達コストは、最終的に平均 14,814 円/t-dryであった。

表 2.3.1 調達バイオマスの運搬、チップ加工・輸送コストの内訳

	所在	バイオマス原木量 (m ³)	燃料費 (円)	運搬手数料 (円)	チップ加工手数料 (円)	合計	備考
0	羊山民有林	(19)	(1,900)	(0)	(0)	(1,900)	チップ化実験
1	大滝市道工事	10	0	16,800	34,650	51,450	
2	美の山町有林	30	3,000	50,400	103,950	157,350	
3	中津川県有林	20	10,000	33,600	69,300	112,900	
4	栃本市有林	30	0	50,400	103,950	154,350	
5	中山田市有林	10	0	16,800	34,650	51,450	
6	定峰市有林	140	0	147,000	485,100	632,100	集積場
7	矢丸民有林	10	1,000	16,800	34,650	52,450	
8	荒川集積場	50	0	84,000	173,250	257,250	
	合計	300	14,000	415,800	1,039,500	1,469,300	チップ化実験を除く

※ 参考：

燃料チップの調達コストは、1,469,300 円 ÷ (300m³ × 2.2) ≒ 2,226 円/m³
 重量換算では、12,889 円/t (気乾)、14,814 円/t (絶乾)

実証事業の結果から、チップ調達コストを分析すると、およそ次のようになる。

- (1) 原木価格；市有林からの原木 0 円、民有林からの原木 100 円/m³ (263 円/t(気乾重量))
- (2) 原木輸送費；森林からの運搬 1,680 円/m³ (4,421 円/t(気乾重量))、市場広瀬土場(集積場)からの運搬 1,050 円/m³ (2,763 円/t(気乾重量))
- (3) チップ加工費；チップ換算で 1,575 円/m³ (加工費、チップ輸送費込み。)であり、原木換算すると、3,465 円/m³(原木。9,118 円/t(気乾重量))
算出式 $1,575 \text{ 円/m}^3 \times 2.2 = 3,465 \text{ 円/m}^3$ (原木)

これらの数値に基づいて、各調達場所からの燃料調達コストを比較した結果は、次のとおりである。

- (1) 市有林→チップ加工場→バイオマス発電所

	原木購入費	輸送費	チップ加工・輸送費	合計
原木換算；	0 円/m ³	+1,680 円/m ³	+3,465 円/m ³	= 5,145 円/m ³
(気乾)	0 円/t	+4,421 円/t	+ 9,118 円/t	=13,539 円/t
(絶乾)	0 円/t	+5,982 円/t	+10,480 円/t	=16,462 円/t

- (2) 民有林→チップ加工場→バイオマス発電所

	原木購入費	輸送費	チップ加工・輸送費	合計
原木換算；	100 円/m ³	+1,680 円/m ³	+3,465 円/m ³	= 5,245 円/m ³
(気乾)	263 円/t	+4,421 円/t	+ 9,118 円/t	=13,802 円/t
(絶乾)	302 円/t	+5,982 円/t	+10,480 円/t	=16,764 円/t

- (3) 集積場→チップ加工場→バイオマス発電所(市有林からの材)

	原木購入費	輸送費	チップ加工・輸送費	合計
原木換算；	0 円/m ³	+1,050 円/m ³	+3,465 円/m ³	= 4,515 円/m ³
(気乾)	0 円/t	+2,763 円/t	+ 9,118 円/t	=11,881 円/t
(絶乾)	0 円/t	+3,176 円/t	+10,480 円/t	=13,656 円/t

- (4) 集積場→チップ加工場→バイオマス発電所(民有林からの材)

	原木購入費	輸送費	チップ加工・輸送費	合計
原木換算；	100 円/m ³	+1,050 円/m ³	+3,465 円/m ³	= 4,615 円/m ³
(気乾)	263 円/t	+2,763 円/t	+ 9,118 円/t	=12,144 円/t
(絶乾)	302 円/t	+3,176 円/t	+10,480 円/t	=13,958 円/t

参考のため、これまでの製材端材を原料とする購入チップの価格を示すと、チップ加工・輸送費を含め価格はチップ換算で 2,100 円/m³、原木換算で 4,620 円/m³ であり、重量換算では次のようになる。

(気乾)	12,157 円/t
(絶乾)	13,975 円/t

これらの結果から、林地残材の利用に関しては、集積場まで集められたものであれば、製材端材からのチップとほぼ同様の価格で購入可能であるが、林地から収集してくる場合はこれよりかなり割高になることがわかった。

b 高性能林業機械による伐倒木の搬出実験

① 実験の概要

中山田市有林は、面積 5.35ha、スギ 33～41 年生、ヒノキ 36～40 年生、カラマツ 27 年生の林分である。保育事業として 30%の切り捨て間伐が行われていた。

この伐倒木を、林道上を移動するロングリーチアーム型グラップルにより木寄せ搬出（林道から 20m以内の範囲）し、林道上でプロセッサにより造材し、素材とバイオマスはそれぞれ林道脇に置いた。また、林内作業道を使いロングリーチ型ハーベスタが伐倒木を木寄せ搬出、造材し、素材とバイオマスはそれぞれ作業道脇に置いた。さらに、同機により作業道上から届く範囲（8m以内）の劣勢木を伐倒、造材し、素材と梢端部・曲材等バイオマスは、フォワーダで林道まで運搬し、素材は林道上にはい積みし、バイオマスは、林道脇林内にまとめて置いた。

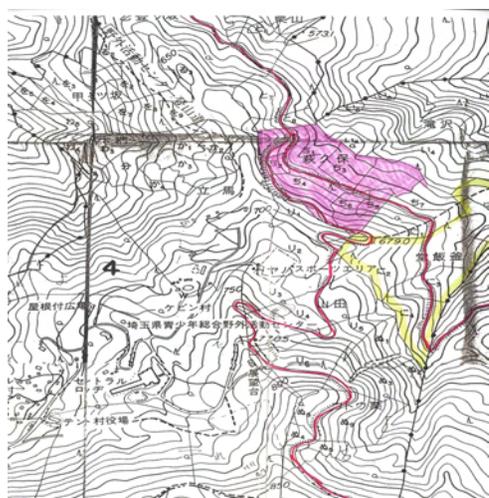


写真 2.3.8 間伐前の中山田市有林

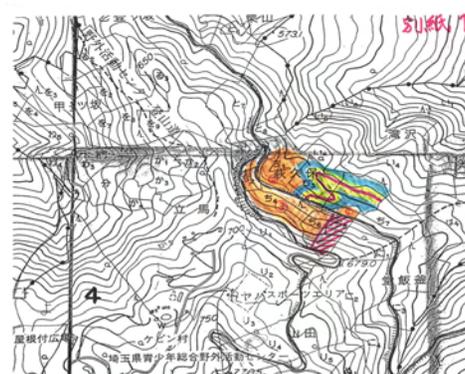


写真 2.3.9 実験前（保育間伐後）の中山田市有林

中山田市有林



搬出実験場所の詳細



- 例示
- 前回の間伐時の作業道跡
 - CATロングリーチ伐倒エリア（作業道から7 m範囲）
 - CATロングリーチ木寄せ用先行伐倒エリア（作業道から7～20m）
 - 丸鋸エンジニアリング ロングリーチ搬出エリア
①エリア：支線から 20m範囲 ②エリア：支線から 40m範囲
③エリア：支線上方
 - 丸鋸エンジニアリング ロングリーチ伐木・搬出エリア

図 2.3.1 中山田市有林の搬出実験現場

② 実験の目的

間伐材の搬出について、高性能林業機械を使用して効率的に実施し、今後の秩父地域の森林施業に資することを目的に、東京大学大学院農学生命科学研究科森林利用学研究室、秩父広域森林組合、新キャタピラー三菱㈱、丸順エンジニアリング㈱の協力を得て実施した。

- ・実施時期 平成19年12月13日(木)～25日(火) 作業日数 10日間
- ・場所 秩父市山田萩ノ久保地内 山田4-1～6
- ・事業内容 高性能林業機械により間伐材の搬出(一部伐倒・搬出)を行い、素材並びにバイオマス利用における効率性とコストを評価する。
- ・作業工程 伐倒木木寄せ・伐倒並びに木寄せ、造材、小運搬、土場はい積、観測結果取りまとめ。
- ・高性能林業機械
新キャタピラー三菱㈱ ロングリーチハーベスタ(312C テレスコ)
丸順エンジニアリング㈱スーパーロング「リーチマン」(グラップル)
- ・その他林業機械 ハーベスタ (KET0051)、フォワーダ (イワフジ AK-33)



写真 2.3.10 ロングリーチ型ハーベスタ



写真 2.3.11 ロングリーチ型グラップル

③ 素材及びバイオマス原料の搬出

本実験で造材した丸太は、185m³である。



写真 2.3.12 プロセッサ



写真 2.3.13 フォワーダ

また、バイオマス原料用として、梢端部、細材、曲材等を搬出したが、根元の端材は加工がしにくいため除外した。林道脇に集積したバイオマス量は約 40m³ と見込まれ、これらをフォワーダ 10 台を用いて作業道から搬出した。このうちの 10m³ を降雪前に木材運搬事業者がチップ加工場まで輸送した。



写真 2.3.14 作業道からのバイオマス運搬 写真 2.3.15 林道脇に集積されたバイオマス

④ 搬出コスト

今回の搬出実験に要した経費は総額で 1,364,391 円であったが、この中には、高性能林業機械の使用料、浜松から遠路秩父まで運搬する経費等が含まれているため、これらの高性能林業機械を県、公社等の公共セクターが所有し林業労働力確保対策等で利用できる状況を想定して評価すると次のようになる。すなわち、想定経費は 1,236,291 円となる。

表 2.3.2 高性能林業機械の使用による搬出コストの試算結果

項目	想定経費	想定経費の根拠
森林組作業員人件費	580,432 円	31.5 人日
ロングリーチハーベスタ借上料	147,000 円	21,000 円/日×7 日
ロングリーチハーベスタ点検	0 円	
ロングリーチハーベスタ回送料	50,400 円	25,200 円/回×2
スーパーロングリーチ借上料	105,000 円	21,000 円/日×5 日
スーパーロングリーチ点検料	0 円	
スーパーロングリーチ回送料	50,400 円	25,200 円/回×2
プロセッサ借上料	50,400 円	8,400 円/日×6 日
プロセッサ点検料	0 円	
プロセッサ回送料	50,400 円	25,200 円/回×2
フォワーダ借上料	52,500 円	5,250 円/日×10 日
フォワーダ点検料	0 円	
フォワーダ回送料	0 円	2 トン車運搬可で不要
軽油	149,759 円	
計	1,236,291 円	

⑤ 素材生産コストと作業効率

この実験による、素材生産量は 185m³、林道脇までのバイオマス搬出量は 40m³ であったため、バイオマス運搬のためのフォワーダ 10 台分のコストも含めて試算すると、素材生産コストは 6,683 円/m³、生産効率は 5.87m³/人日となった。これに対し、バイオマスを一切搬出なかった場合には、フォワーダに要する使用料、人件費、燃料費が削減されることから、純素材生産コストは 6,456 円/m³、生産効率は 6.17m³/人日となる。

⑥ まとめ

一連の高性能林業機械を用いた効率的な作業の中で、素材と合わせてバイオマスを収穫すれば、バイオマス収穫に要するコストは非常に小さくなることがわかった。

この実験では、素材生産コストに 1m³ あたり 227 円/m³ を負担することで、バイオマスを林道脇まで搬出することができた。

c チップ加工システムの実証

林地から搬出した木質バイオマスのチップ加工方法について、各種チップパーを借上げて実証試験を行った。

① 実験の背景

現在、保育のための間伐は、切捨てと巻き枯らしがほとんどである。また、搬出間伐、皆伐の場合も、根元の端材、梢端部、枝状等は林内に捨て置かれるか、林内又は林道上で造材時に発生した場合でも再び林内に戻される事例が多い。これらの部位は、発生時点で収穫し利用するシステムができれば、マテリアルとエネルギーとして有効利用することができる。

また、特に皆伐の場合には、端材等を林内に放置することで、再造林時の地拵えに 30 万～50 万円/ha のコストを要するが、バイオマスをチップ加工して利用することで、このコスト削減にもつながり、再造林を速やかに行うことができると思われる。

② 林道端、土場におけるバイオマスのチップ化実験

間伐材、林地残材等を林道脇、土場、作業道など施業現場でチップ加工し、トラック輸送する目的で、小型チップパーなどによる実験を行った。この実験は、単にチップ加工の効率化だけではなく、前項で延べた森林整備のためにも有効である。未利用バイオマスを発生時点でチップ化すれば、エネルギー、土壌改良材、家畜の敷藁等として活用できる。

本市では、生活環境行政の中で、ごみの減量化とグリーンバイオマスのリサイクル推進を推進しており、公園等の剪定枝の破砕処理を行うために移動式チップパーを市民や市民団体に貸し出す「緑のリサイクル事業」を行っている。

また、この事業の延長として、木質バイオマス利用を多様化し利用量全体を増やそうと考えている。したがって、森林施業に伴う発生バイオマスを林内に戻す前に、林道端や土場において、スムーズにチップ加工を行うことを目的にして実験を行った。

固定式設備を有するチップ事業者と比べて、効率や採算性では劣るが、バイオマス発生元でのチップ加工をボランティアやシルバー人材センター会員により行うことで、公共セクターが担う林内整備と資源の有効利用が可能になる。移動式チップパーは、市やシルバー人材センターが維持管理することとし、固定費や燃料費は公共が担い、作業はシルバー人材センター会員が行うとして、人件費と効率を求めることとした。

このほか、移動式の破砕作業の中で、原料バイオマスの種類（幹部、根部、枝条等）を選ばず、グラブプルと組み合わせることで高効率を得ることのできるタブグラインダーについても、森林組合作業員が担うと想定して実験を行い、人件費相当額を算出した。

また、上記のいずれの場合も加工チップは、作業に当たる者が輸送するものとした。



写真 2.3.16 緑のリサイクル用チッパー



写真 2.3.17 薪割り体験（薪拾いイベント）

③ 実験用チッパー及び諸元

バイオマス発電所を1日12時間運転するためのチップ使用量は、約10m³であり、2～4tトラックで一度に輸送が可能である。

実験で用いたチッパーは、自走式ブラシチッパー、固定式切削チッパー、タブグラインダーであり、諸元及び必要機材、人員等は次表のとおりである。

表 2.3.3 実験に用いた破碎機械の諸元、必要機材、人員等

	自走式ブラシチッパー	固定式切削チッパー	自走式タブグラインダー
破碎装置	東興産業(株) 95CR ・ディーゼルエンジン 82PS ・チッパーナイフ 2枚 ・最大処理径 230mmφ ・薪割り機付き ・概算重量 2,550kg	協和機工(株) KF-818A ・モーター 20HP ・破碎口寸法 463×274mm ・回転刃 6枚 ・固定刃 4枚 ・スクリーン 30mmφ ・処理量 400～600kg/hr ・機械重量 1,130kg	(株)諸岡 MC-2000 ・ディーゼルエンジン 200PS ・カッター刃 32個 ・スクリーン 30mmφ～50mmφ ・タブ 1,800mmφ×D1,300mm ・重量 9,230kg
必要な機材	なし	薪割機、ディーゼル発電機 コンベア	油圧ショベル（グラブプル）
想定作業員	シルバー人材センター3人	シルバー人材センター3人	森林組合 2人

上記のいずれも、自前の機械であれば、燃料にバイオマス発電所で製造しているバイオディーゼル燃料（BDF）を使用できるため、環境に優しく、稼動コストが低廉となる。

④ 自走式ブラシチッパーによるチップ化実験

9月20日は針葉樹及び広葉樹をチップ化した。

10月5日は本市生活衛生課で委託しているシルバー人材センター会員2人に作業協力を要請し、チップ化実験を行った。原料木は、1年前に伐採した針葉樹と平成19年8月に伐

採した針葉樹（生木）を使用した。

チップパー近くに原料木を準備し、手投入した。このチップパーは、横方向から、長材を投入し、引き込んでチップ化するため、原料木は重いのが、1回投入当たりの効率が良い。

シルバー会員3人で木集め、チップ化、トラック輸送を行うことにより、5m³/日の原料木を投入しチップ6.3m³/日を土場で製造できることがわかった。チップパー稼働時間は4セクション実施し74分であった。この場合の、チップを製造するために必要な人件費は、2,833円/m³となる。(17,850円÷6.3m³)



写真 2.3.18 自走式ブラシチップパーへ材を投入



写真 2.3.19 自走式ブラシチップパーによるチップ化



写真 2.3.20 チップ化作業



写真 2.3.21 作成したチップ

⑤ 固定式切削チップパーによるチップ化

実験

11月23日の「薪拾いイベント」で調達した林地残材を荒川集積場でチップ加工した。

11月28日（水）（チップ加工1日目）は、シルバー会員2人が、以降12月4日（火）～7日（金）（チップ加工2日目～5日目）及び10日（月）（チップ加工6日目）は、シルバー会員3人がチップ加工作業を行った。

使用した機械は、チップパー、発電機、薪割り機等である。集積場から人力で材を運搬し、薪割り機に投入できる長さにチェーンソーによる玉切り、薪割し、チップ化した。製造したチップは、ベルトコンベアでトラック荷台へ積載し、集積場からバイオマス発電所まで運搬した。

この実験では、シルバー人材センター職員 3 人で、チップパー脇までの原料木の運搬、薪割り、チップ化、輸送を行い、チップ 6.3m³/日を土場で作成できることがわかった。チップを製造するために必要な人件費は、2,833 円/m³となる。(17,850 円÷6.3m³) 作業量としては、シルバー会員 3 人で十分可能なものであり、チェーンソーの取扱いや安全資材等を含めた資機材の準備品、休憩を含めた作業間隔等についても工夫ができた。



写真 2.3.22 固定式切削チップパーによるチップ化



写真 2.3.23 ダンプへの積載



写真 2.3.24 チェーンソーによる玉切り



写真 2.3.25 薪割り

⑥ 自走式タブグラインダーによるチップ化実験

太材の根元の端材を効率的にチップ加工できる方法として、タブグラインダーにグラップルで材を投入する方法を試みた。この作業は、森林組合での作業を想定したもので、オペレーターは 2 人とし、グラップル、タブグラインダーと輸送用トラックの運転を行い、さらに原料木移動や機械メンテ等のチップ作業準備、輸送、チップ作業を行うものとする。

投入材は、大滝中津県有林からのもので、約 2.5m³ を 2 回に分けてタブグラインダーに投入した。1 回目は、30mm φ スクリーンを使用し、原料木約 1m³ をタブに投入し、12 分間でチップ約 2m³ を得た。2 回目は 50mm φ スクリーンを使用し原料木約 1.5m³ から約 4m³ のチップを得た。

スクリーンの違いによるチップの大きさ等への影響は認められなかった。チップは、綿状で絡まりつきやすく、ガス化原料としての適性はよくないと思われるが、太い端材を有効利用する上で、この処理能力に勝るものは無いと思われる。このチップについては篩で選別し、チップボイラー用燃料、家畜の敷藁、土壌改良材等として有効利用を図るのが良いと思われる。

この方法では、グラップルによる自走式タブグラインダーへの原料木の投入が必要であるため、この場合に純粋なチップ作業に当てられる時間を 3.5 時間/日とすると、土場で製造できるチップの量は 52.5m³/日となり、チップ 1 m³ 当たりの人件費は 320 円/m³ となる。



写真 2.3.26 グラップルで材を投入



写真 2.3.27 自走式タブグラインダーによるチップ化

⑦ まとめ

林地残材の発生元で、ボランティアやシルバー人材センター会員、森林組合作業員が作業を行う場合を想定して、チップ製造方法について検討し、次の結果を得た。

シルバー会員が行う場合は、チップ 1 m³ あたり、2,800～3,000 円程度の人件費が発生するが、この単価でハウス栽培農家や温泉旅館の熱源用チップボイラーの燃料として利用が進めば、バイオマスの利用拡大につながるものと思われる。

原油高騰の中、現在、灯油価格は 100 円/ℓであり、木質ペレットが熱量当たり販売単価で灯油に引き合うか、安い事例も見受けられる。灯油の熱量は 8.9Mcal/ℓであり 100 円/ℓのときには 11 円/Mcal となる。一方、チップの熱量を 3.5Mcal/kg として、フレコンパック入りチップ 1m³ 当たりでは、重量が含水率により 150～200kg/m³ 程度であるので、約 500Mcal/m³ として、チップ加工人件費 3,000 円/m³ より、チップ 1kg 当たり 6 円/Mcal となり、チップ加工のシルバー産業の可能性が出てくる。また、施業残材処理による林内整備という観点から、農家が自前でチップ化して燃料や敷藁として利用したり、団塊

の世代が余暇を利用したボランティア活動としてチップ化し労務費程度の対価で提供すれば、さらに格安に燃料が調達できるようになる。

林地残材等の未利用資源を活用することで、現在の原油価格高騰の影響を受けている業種のコスト削減につながるとともに、化石燃料代替燃料としてCO2排出削減に貢献する。さらに、森林整備の促進（公益性の向上）、高齢者の生きがいつくり（働く機会の創出、健康増進）、ボランティア活動の達成感（社会貢献）等相乗的な効果がでるものと思われる。

地球温暖化防止、原油価格高騰の背景において、林地残材等のバイオマスは、加工、提供方法を多用に設定し、需要家を拡大することで利用量拡大を進めるチャンスである。

また、今回、チップ化実験を行い、本市のガス化方式に投入するチップを作るうえでは、固定式ブラシチッパーによる方法が好ましいことがわかった。原料木の投入が横方向からであり、梢端部や曲材を2～6m程度の長さで投入することができ、作業を省力化できるためだ。不整形部分は、篩を設けることで一定の規格に統一できるため、粒径3cm程度のチップを製造するチッパーを導入すれば、ボランティアやシルバー会員からのガス化発電用原料チップ製造供給システムを形成できるようになる。

（２）バイオマス発電所のスムーズかつ継続運転の確立

国内初の本質バイオマスのガス化・ガスエンジン・コジェネの実用機として稼働を始めたシステムであり、本質バイオマス・ガス化利用の可能性を高め、広めていくために、本市の担う役割は大きいと認識している。

平成20年2月28日には、試験運転開始からのガスエンジン稼働時間が3,000時間を越え、また、2月17日には、試験運転開始からの発電量が20万kWhに達した。所期の性能を維持しながら、安定的に継続的な運転を確保していくことが最も大きな目標である。このため、日々の通常運転における記録、データの蓄積を継続運転実証として行うとともに、原料を林地残材等に変えてガス化発電実験や連続運転実験などを行い、システムの特性把握を行うこととした。

本システムの特徴

- ・ 部品点数が少なく、シンプルな構成の中で、ガス中タールの問題をガスエンジンに負担がかからない程度（エンジンメーカー保証値内）まで解決している。
- ・ システムのイニシャルコストが比較的安価である。
- ・ ガス化工程において、全体的に負圧であり、安全面で優れる。
- ・ 精製ガスのクリーニングは、乾式フィルター方式であり、排水処理が不要。
- ・ システム規模が小さいため、運転に特別な資格を必要としない。
- ・ システムの起動、停止が簡単で、短時間で行える。
- ・ システム起動時、停止時にはLPGを使用するが、本質精製ガスの運転中におけるLPGの助燃材としての使用はない。
- ・ ヤードのチップ投入～ガス化炉へのチップ投入まで、ガス化炉からの排炭作業が自動化されており、通常運転時においては、特別なことがない限り手間がかからない。



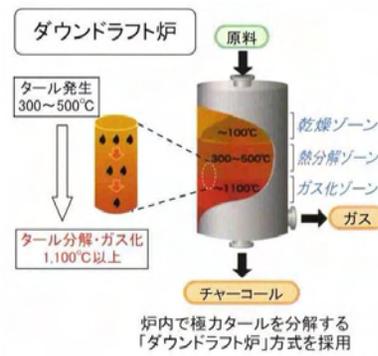
ガスエンジン



チップヤードとクレーン



ガス化炉



ガス化炉内イメージ

図 2.3.2 バイオマス発電施設の概要

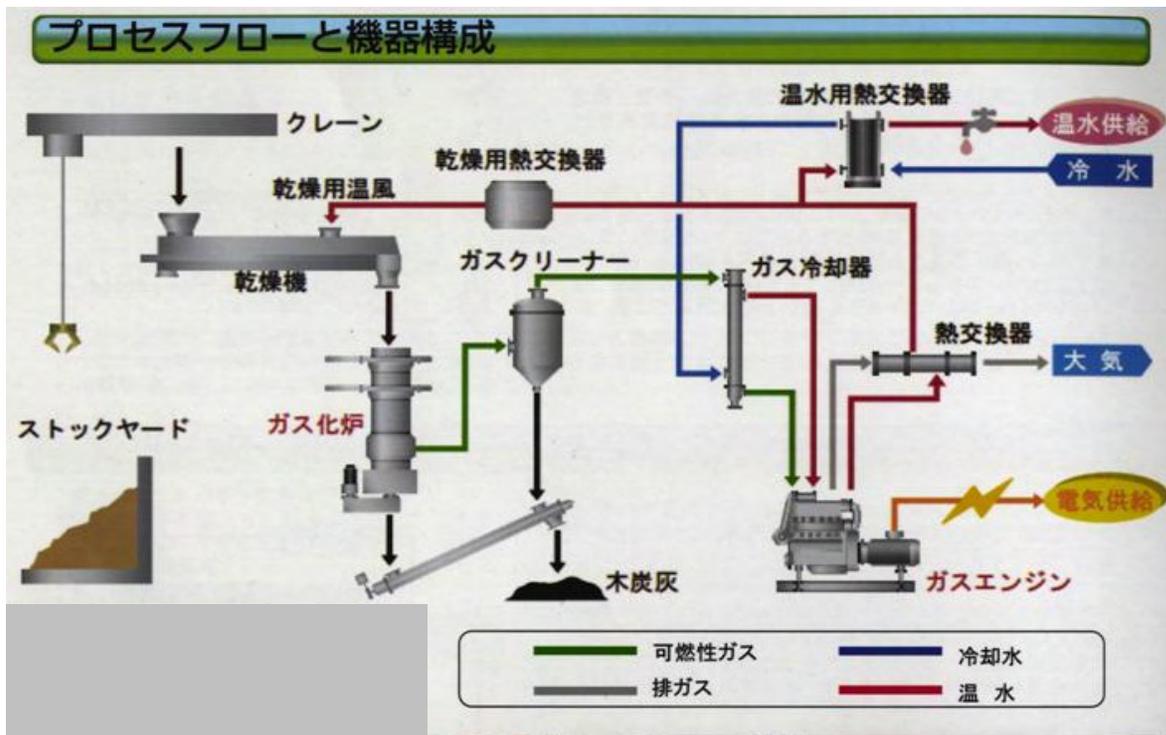


図 2.3.3 バイオマス発電所のシステムフロー図

a 運転特性の把握

実証試験で得られた運転特性を整理すると次のようになる。

- ・ 部品点数が少なく、エンジンが精製ガスを吸引するタイプのガス化・ガスエンジン方式であるため、エンジンが引けるガス熱量により発電量に多少の変動が見られる。
- ・ 試験運転開始以来、同一形状の針葉樹切削チップを使用しプラント特性の把握を行ってきた。チップ化実験で作った形状の異なるチップも使用したが、排タール量の増加等の影響が出るため、試験運転開始から使用してきたチップ形状が本システムには最適であることがわかった。
- ・ ダウンドラフトによるガス化方式では、ガス化炉内高温域を通ったガスによる発電方式であるため、タールは分解され少量となる。メーカーデータでは、ガス化炉出口でのタール量は $0.58\text{g}/\text{Nm}^3$ である。
- ・ ガス冷却器での循環水温度が低すぎると、ガスの温度低下によるタール発生量が多くなり、ガスエンジン等にもタールが流れてしまうようだ。
このため、ガス冷却器、ターボ、プラグ等にタールが付着しガスの流れが悪くなり発電量の低下に繋がることもある。
- ・ ガスクリーナーでは、乾式フィルターで粉塵等を除去しているが、D S S 運転の影響か、システム停止後クリーナー内のガスが冷えるとガス中タールが固まり、フィルターのガスの通りを悪くする状況がある。この場合も発電量の低下につながる。
- ・ 原料により炭の抽出量を調整し、適した設定値を求めることにより、発電量、タール、炭の量も安定する。
- ・ 温水供給は、常時一定量を送ることで循環水温度が安定し、エンジン、ガス冷却器でのガス温度も安定するため、システム全体としてバランスがよくなり、安定した運転ができる。
- ・ フィルター等の圧損が上がり、発電量の低下が見られる場合は、無理な運転は行わず、早急に清掃等を行い、通常運転に戻す方がよい。
- ・ 発電量の低下は、循環水の温度低下に繋がり、タール等の発生の原因になり、システム全体に悪影響を及ぼすため、原因を追究し清掃等の対応を行う必要がある。

b 原料を変えてのプラント特性・運転法の把握

今後の間伐材、枝条残材、剪定枝、樹皮等への原料転換を見据えて、山土場でのバイオマスのチップ化実験を行った。このチップをガス化発電に使用し、プラントの特性把握を行った。チップ化実験で得られたチップは、いずれも試験運転開始時（平成 18 年 12 月）からのチップに比べ細かく、不整形のものも含まれていた。

ガス化発電実験の結果を次に示す。

表2.3.4 ガス化発電実験結果の概要

	月日	対象チップ	実験時間	発電量	主な結果
1	9/20	間伐材不整形 (ブラシチッパー)	5:19 (13:02)	342kWh	ガス化炉下部温度の低下(20~30℃)、炉内ブリッジ疑い、タール3.2kg/日、炭3・1/6缶/日
2	9/21	広葉樹不整形 (ブラシチッパー)	5:35 (9:45)	357kWh	炉内ブリッジ疑い、タール1.2kg/日、炭2・2/3缶/日
3	10/12	間伐材細目 (チップ加工場製)	4:30 (13:59)	436kWh	発電量が安定し、瞬間値110kW超、ガス化炉下部温度低下(120℃)、炉内ブリッジなし、タール8.6kg/日、炭4・1/4缶/日
4	10/15	間伐材生木 (ブラシチッパー)	11:22 (12:35)	730kWh	炉内ブリッジなし、クリーナー圧損高いためマニュアル運転、ガス化炉下部温度低下、タール5.4kg/日、炭3・2/3缶/日
5	11/30	間伐材不整形 (タブグラインダー)	4:56 (8:32)	219kWh	発電しない事象出現、ガス化炉出口温度上昇(720℃)、炉内ブリッジ形成、実験断念
6	12/1	間伐材 (固定切削チッパー)	3:40 (12:50)	321kWh	瞬間値100kW発電あり、タール9.6kg/日、炭5・5/6缶/日
	12/5	間伐材 (固定切削チッパー)	9:06 (11:43)	658kWh	発電量は上がったが不安定、ガス化炉出口温度差130℃以上、タール10.2kg/日、炭6・1/3缶/日
	12/10	間伐材 (固定切削チッパー)	10:38 (11:35)	690kWh	ガス化炉出口温度の低下(605~490℃)、タール27.6kg/日、炭7・5/6缶/日
	12/12	間伐材 (固定切削チッパー)	11:37 (12:25)	745kWh	発電は不安定、タール22.2kg/日、炭7・1/4缶/日
	12/13	間伐材 (固定切削チッパー)	6:16	284kWh	ガス化炉出口圧力が不安定
		マツ (固定切削チッパー)	5:51 (12:35)	275kWh	ガス化炉出口温度の低下(458℃)、タール31.6kg/日、5・2/3缶/日
	12/14	マツ (固定切削チッパー)	5:01 (7:42)	343kWh	通常より発電量はよい、タール13.4kg/日

注：・実験時間は、運転中に対象チップを投入した時間、()内は総運転時間を示す。
・炭の排出量はドラム缶数で表示した。



写真 2.3.28 細目チップ



写真 2.3.29 発電トレンド

12回におよぶガス化発電実験を行ったが、今回使用したチップは、いずれも通常使用しているチップより粒径の小さなものであった。第3回目の実験では、安定的に100kW発電ができるなど、チップを細かくした方が、発電量が高く安定する可能性があるかもしれないとの希望も沸いた。しかし、ガス化発電におけるタールと炭の排出量が通常より多いこともわかった。不整形のチップでは、ガス化炉内にブリッジが起きることも問題であった。また、タブグラインダーによるチップでは、発電量が不安定になり、綿状の軽いチップがガス化炉内でブリッジを形成し、発電量が0kWになり、ガス化炉出口温度が上昇し、システム停止を何度も繰り返すなどの現象も起こった。その結果、このチップの使用は断念し、全て乾燥機内から抜き出すことになった。

12月1日から行った第6回以降のガス化発電実験では、チップ化実験で製造された間伐材（スギ）の細かいチップを都合5日間、その後13日から14日にかけてはマツのチップを使用した。この場合は、タールの排出量が異常に多く（最高31.6kg/日）、炭も通常の約2倍排出された。チップ粒径が小さいことで、ガス化炉内排炭装置から炭が早く排出され、ガス化層がうまく形成されずに精製ガス中タールの分解が十分に行われなかったためという結論を得た。エンジンへのタールの飛来により、エンジン内部がタールで固まってしまい、動かなくなる事象も出現したが、清掃によりエンジンは再起動できた。シンプルな仕掛けで、ガス中のタールを分解する固定床ダウンドラフト炉は、適するチップ形状とのバランスの中でタールを分解する機能をうまく発揮する方式であることもわかった。継続運転を行っていく上でのチップ形状と固定床ダウンドラフト炉の特性を把握する上での得がたい知見となった。

c 連続運転の特性把握

バイオマス発電所は、試験運転からDSSによる12時間/日を目標とした運転を行ってきた。ここでは、24時間/日の連続運転を行ったときのシステムの特性を把握することを目的に連続運転実験を行った。

また、当市のバイオマス事業には、ハウスへの熱供給というテーマがあり、夜間暖房用として発電システムから発生する熱を利用する計画である。今回の連続運転実験に合わせて、簡易な農業用ビニールハウスを用い、乾燥機へ供給している温風の余剰分をハウスへ直接送る熱供給実験を行った。

① 連続運転実験及び熱供給実験の実施方法

連続運転実験・熱供給実験実施要領

1	目的	24時間/日の連続運転を行ったときのプラント特性を把握するとともに、夜間ビニールハウスへコジェネ温風を供給することで熱の有効利用に係る調査を行う。
2	実施時期	平成20年1月28日（月）～平成20年1月30日（水） 平成20年2月15日（金）～平成20年2月17日（日）

3	実験項目	(1) 連続運転実験：24時間/日の連続運転時のプラント特性の把握 ・ 定時記録の作成 (2) 熱供給実験：仮設ビニールハウスへのコジェネ温風供給熱量の把握 ・ 温風量、供給熱量、ハウス内温度等
4	勤務体制	(1) 職員体制：別紙「ハウス熱量実験時の勤務体制」のとおり (2) 応援体制：月島機械㈱へ夜間勤務技術者の応援を要請
5	環境整備	吉田元気村コテージを仮眠室として用意する。
6	緊急対応	(1) 緊急事態の場合は、実験を中止又は延期する。 (2) 緊急時の部内緊急連絡網、消防、東京電力、関東電気保安協会、吉田元気村への連絡体制の構築

② 連続運転による効果

連続運転では、D S S 運転と違い以下のような効果が見込まれる。

- ・ 日々のガス化発電システムの立ち上げ、たち下げによるシステム全体の温度変化がないため、安定した運転ができる。システムを構成する金属のためにもよい。
- ・ ガスクリーナーは、通常運転時には立ち上げから一定の間は差圧が上昇し、数時間後から差圧が低下する傾向がある。毎日システムを停止するため、毎日この状態が繰り返えされる。連続運転時には、この傾向が長時間に及ぶため、差圧が低下した状態が長期に及び、安定して発電量が高く維持できることが期待できる。
- ・ 立ち上げ、たち下げ時のL P G消費は、連続運転を行う間は発生しないため、L P G消費の削減につながる。

③ 24時間連続運転の実施結果

- ・ 連続運転は初めての試みであり、システム稼動から既に1年を経過しており、どのような状況が発生するか予想ができないため、2回に分けて実験することにした。
- ・ 2回目の連続運転は、炭の抜出が悪くなり停止したが、炉内の開放点検を行うことにより、再立上げすることができた。

④ まとめ

24時間運転は、通常のD S S 運転では発生しない事象が現れることを予想したが、まさにその通りとなった。システム運転開始から既に1年が経過しており、オーバーホール前ということもあり、部品の磨耗や想定しない箇所へのタールの影響等が確認できた。

長時間運転の中で停止した原因が、チップ投入ゲートなど日常清掃を行っていないところであったことから、1年間の運転による全体的なオーバーホールの必要性と、日常的な点検箇所を把握する上で成果があった。

夜間の乾燥機余剰熱の経済性については、「(3) 生産エネルギー等の利用」で述べる。

d 施設運用改善点の把握

継続運転により、設備に対する運用改善点を洗い出したところ次のとおりとなった。

- ・ 1日分の排出炭を受けられる容器を検討する。(現状 200 リットルドラム缶)
- ・ チップヤード内のクレーンバケットがつかめな位置を把握し、無人運転前には必ずチェックする。
- ・ 無人運転を実施する場合、事故防止のために、施設内に見学者が自由に出入りできないように建物全体に柵等を設ける必要がある。
- ・ トラブル発生時に携帯電話へメッセージ配信する機能を活用する。
- ・ システムの状況を把握するために、定期的に稼動状況のデータ収集を自動で行う。
- ・ 定期点検は必ず実施し、人的なミスによるシステム停止を防止する。
- ・ ガス配管は、容易に清掃ができるようにする。
- ・ 各機器のメンテナンス実施時に容易に作業ができるよう足場の設置や、機器の吊り下げ用フック等を設置する。
- ・ 安全な作業スペースを確保する。
- ・ 乾燥機の吹き戻りチップを集塵し、埃をなくす。
- ・ システム状況把握のためのデータ自動収集。
- ・ ガスクリーナー及びガス冷却器の清掃点検用に一時的なガスクリーナー、ガス冷却器を設置し運転中断時間を減少する。
- ・ 炭とガスクリーナーの粉塵を分けてドラム缶に受ける。
- ・ エンジン及びターボのタール等の対策として、エンジントラブル以外の設備側非常停止時にはエンジンのみ自動でLPG運転に切り替わり、クーリング運転を行う。また、トラブル解消時には、そのまま通常運転に切り替わる。
- ・ 安定した運転が出来るよう更に改善点の把握を行う必要がある。

表 2.3.5 9月から1月までの運転実績

月	運転 日数	運転時間 時間：分	発電量 (kwh)			受電量 (kwh)	チップ使用量 (m ³)	LPG使用量 (m ³)	備考
			発電量	送電量	所内消費量				
9	22	224：59	14,596	10,319	4,277	1,003	136	198.4	
10	25	253：06	14,947	10,233	4,714	957	136	238.5	
11	23	217：35	13,768	9,709	4,059	1,040	116	272.0	
12	20	213：31	12,459	8,546	3,913	1,238	121	199.6	
1	24	257：14	17,259	12,286	4,973	1,066	153	233.6	
計	114	1166：25	73,029	51,093	21,936	5,304	662	1,142.1	
月平均	23	233：17	14,606	10,219	4,387	1,061	132	228.4	
日平均		10：14	640	448	192	47	5.8	10.0	

注：・9月は夏休み中の連続運転後の清掃点検を5日間行い、運転日数が少なくなった。

- ・ 12月はチップを変えたガス化実験の結果、タール等の影響による運転停止期間があり、運転日数が少なくなった。

- ・12月はガス化実験と発電量低下に伴い、ガスクリーナーフィルター清掃を2回実施した。

e 運転・保守マニュアルの整備

運転、保守については、原則として月島機械により作成された要領書によることとするが、システムの起動、停止の簡単なマニュアル及びトラブル発生時の対応方法について、臨時にシステムを運転できるよう内容を整備した。

① 運転マニュアル

コジェネシステムを運転するために、システム立ち上げ要領、停止要領、クレーン操作要領を作成した。(内容は省略)

② トラブル発生時の対応マニュアル

CO検知停止時の対応、ガス化炉出口圧力LL停止時の対応、炭化物抜出CV故障、下段スライドゲート開異常、ガス冷却器出口ガス温度HH、ガス化炉上部温度HH、ガス化炉出口温度HH、乾燥機ホッパーLL、発電機回転数HH、ガスエンジン正常信号OFF・エンジン制御盤非常停止について、対応マニュアルを作成した。(内容は省略)

(3) 生産エネルギー等の利用

24時間連続運転にあわせて、乾燥機余剰熱を利用した「熱供給実験」を行った。

a 使用機材

- ・送風用ダクト (品名：トラスコ社製 収納型フレキシブルダクトφ320mm)
仕様 寸法φ320mm×5m、本体生地厚み0.35mm
- ・送風機 (品名：トラスコ社製 ハンディジェット軸流ファン 外径290mm)
仕様 単相100V出力405W、ダクト径φ320mm、ファン外径φ290mm、
風量52m³/分
- ・ビニールハウス
仕様 長さ10.77m・幅3.66m・高さ2.48m、
表面積128.01m²(底面積含む)
体積153.80m³
ビニール素材 MKVプラテック社製 ノービエースみらい(厚み0.1mm)
ビニール枚数 1枚

b 方法

① 実験装置

- ・バイオマス・コジェネ施設内のチップ乾燥機用空気供給ダクト(φ580mm)に収納型フレキシブルダクト(以下、「ハウス用ダクト」という。保温材なし。)を接続する。ハウス用ダクトは、2本使用し同ダクトの接続部分にハンディジェット軸流ファン(以下、「ブロア」という。)を接続した。

- ・ブロアは、コジェネ内部と外界の境界部分コジェネ側に設置し、ハウス用ダクト1本は、コジェネ内部に、もう1本は、外界部分に使用した。
- ・ハウス用ダクトは、ビニールハウスの北西側末端下部に接続した。
- ・ビニールハウスは、バイオマス・コジェネ施設隣のアスファルト舗装された敷地上に設置。土のう等で固定した。
- ・排気は、ビニールハウスとアスファルト舗装面の間と、ハウス出入口扉の隙間から抜けるようにした。

② 計測項目

- ・温度は、乾燥機用空気送風機付近ダクト、ブロア出口、ビニールハウスダクト出口、外気温、及びハウス内最低温度の5点を計測した。
- ・風速は、乾燥機用空気送風機付近ダクトとブロア出口の2点を計測した。
- ・計測は、1時間毎に行い、24ポイントのデータを収集した。
 ※ ハウス内最低温度については、事前にハウス内の複数箇所に温度計を設置し、最低点のものを使用した。

c 結果

計測日時：平成20年2月16日(土) 0:00~24:00

計測時間：24時間

天気：晴れ

① 温度変化

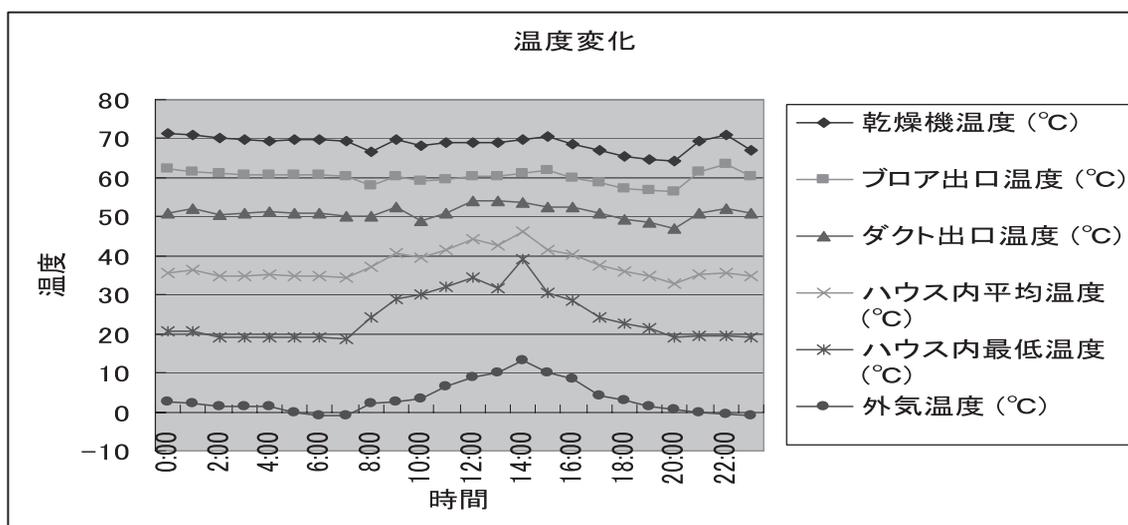


図 2.3.4 ビニールハウス実験における温度の測定結果

- ・ 24時間の平均外気温 3.3°C
- ・ // 平均乾燥機用空気温度 68.7°C
- ・ // 平均ダクト出口空気温度 51.1°C
- ・ // ハウス内平均温度 37.6°C
- ・ // ハウス内最低温度の平均値 24.1°C

- ・ 計測中の外気最低温度 -1℃ (23:00 時点)
- ・ // ハウス内最低温度 19℃ (23:00 時点)
- ・ // ハウス内平均温度の最低値 33℃ (20:00 時点)

② 熱量

乾燥機用空気熱量	Ave. 171,140 kcal/h (Max. 179,139 kcal/h)	22:00 時点
ハウス供給空気熱量	Ave. 19,309 kcal/h (Max. 20,262 kcal/h)	13:00 時点
ハウス排気空気熱量	Ave. 14,813 kcal/h (Max. 17,669 kcal/h)	14:00 時点
ハウス表面放熱量	Ave. 4,496 kcal/h (Max. 5,431 kcal/h)	4:00 時点
ハウス用ダクト放熱量	Ave. 2,802 kcal/h (Max. 3,500 kcal/h)	0:00 時点

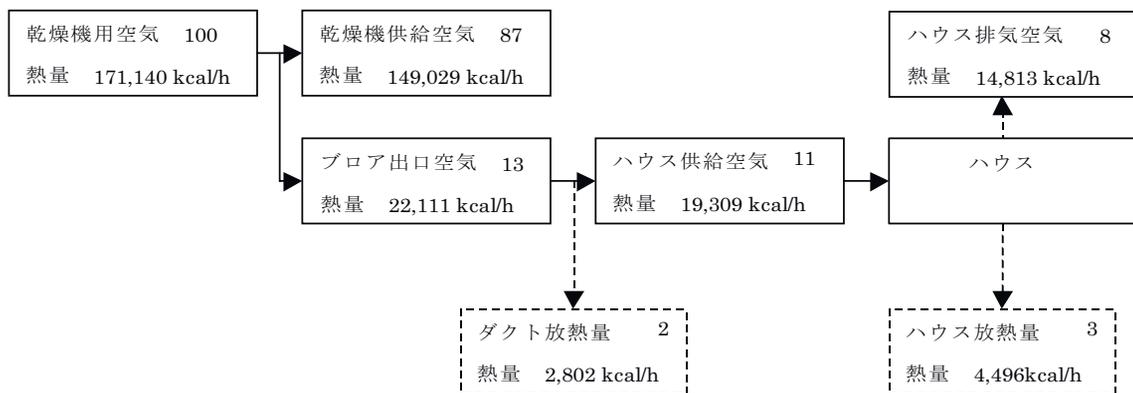


図 2.3.5 乾燥機用空気熱量を 100 とした場合のハウス排気空気までの熱収支 (平均値)

d 考察

- ・ 今回の実験装置で、外気温が氷点下 1℃ の時でもハウス内を 19℃ 以上に保つことができた。
- ・ 外気温の低下による乾燥機用空気熱量への影響はほとんどないことがわかった。
- ・ 乾燥機用空気熱量は、温水供給時間帯外の深夜から未明時の方が高いことがうかがえ、外気温が下がる同時間帯であっても、ハウス内を 19℃ 以上に保てた要因であると推測する。
- ・ ハウス内を 19℃ 以上に保つことができれば、熱帯性植物 (パイナップル、マンゴー等) でも生育させることが可能である。
- ・ また、ラン科植物 (コチョウラン、カトレア等) も生育させることが可能である。
※ ただし、日照、土壌状態等は別途検討が必要。
- ・ 今回設置したハウスの場所は、11:30 頃から 13:00 頃の間には日照がなくなる (山陰に太陽が入ってしまう) ため、その時間帯のハウス内温度が低下する現象が起こった。
- ・ ハウス供給空気熱量および排気空気熱量がそれぞれ 13 時、14 時に最大値を記録した要因は、太陽光による影響と推測する。

- ・ 今回の実験は、ハウスのビニールは 1 枚掛けで実施し、ハウス用ダクトについても保温処理をしていないものを使用した。放熱を抑えた構造のハウス（ビニールを複数枚掛けるなど）及び保温性の高いダクトを使用することにより、熱源（バイオマスコジェネ施設）からの距離を伸ばすことができると思われる。また、ハウスの体積についても、増大させることができると推測する。

e 経済性

- ・ 灯油が 100 円／リットルとする。熱量を 8.9Mcal／リットルとする。冬期（11 月から 3 月までの 5 ヶ月間）の日数を約 150 日とし、16:00 から翌 8:00 まで 16 時間加温すると仮定すると、灯油に換算して、約 50 万円に相当する。

2. 3. 4. 考察、その他

秩父市では、木質バイオマス・ガス化・ガスエンジン・コジェネ（熱電併給）を使い、木質バイオマス利用の川上から川下までの低コスト、効率的な流れの構築をめざしている。

森林からのバイオマス収穫は、保育間伐後の市有林において高性能林業機械を使用した間伐材の搬出実験を行った。2 台のロングリーチ型機械は、いずれも 3,000 万円台の機械で 0.45 サイズであり、造材等においてもパワーがあり、森林組合作業員も取扱いのよさを感じていた。作業の組み合わせによっては、もっと効率を上げられ、施業コストの低廉化に貢献すると期待できる。今回の 6.17m³／人日の効率は、通常秩父で効率がよい場合の 4 m³／人日を上回るもので成果がでた。また、バイオマス収穫のみを捉えると、素材生産コストに 227 円／m³（687 円／t-dry）を負担することでバイオマスを林道脇まで出すことができ、主伐、間伐時の素材生産に合わせてバイオマスを収穫すると効果的なことが明らかになった。

次に、民間のチップ加工場までのバイオマスの収集、輸送、加工、発電所までのチップ輸送において、14,814 円／t-dry を得た。今まで購入していたチップが、13,975 円／t-dry（チップ 2,100 円／m³）であったので、初めて林地残材等をチップ加工場に搬入し、未利用バイオマスの活用につながられた点で成果である。森林組合作業員、輸送事業者、チップ加工場との連携がとれた結果であり、新しい流れが作れた。

今後は、さらに効率的で低コストなバイオマスチップ調達を検討し、10,000 円／t-dry 以下をめざしたい。この実現には、バイオマス・コジェネへの燃料供給だけでなく、木質バイオマスの多用途的な利用拡大が必要である。具体的には、製紙用チップ、キノコ菌床、家畜用敷き藁、土壌改良材等の利用である。現在は、原油価格の高騰により農家、温泉旅館等で厳しい経営状況であり、地域産業を支えるためにもチップボイラー等の利用を促進し、チップマーケットの拡大を図っていくには適時である。一般家庭へのペレットストーブ、薪ストーブの普及も重要である。様々な利用拡大策により、木質バイオマス利用量全体を増加させることが必要である。

また、民間事業者によらずに、ボランティアやシルバー会員によるバイオマスの発生元（土場、林道脇等）でのチップ化を想定した実験を行った。3 人で 6.3m³／日、約 3,000 円／m³ のコストとなる。森林整備に資するバイオマス利用拡大のための公共的事業として労務費だけを考えれば、熱量ベースで灯油に十分対抗できる価格（6 円／Mcal）であっ

た。森林組合がタブグラインダーを使用する場合は効率が上がる。

バイオマス発電所のスムーズかつ継続運転の確立のため、9月から1月まで継続運転実証を行った。この間、運転データを蓄積し、通常と違う粒径や原料チップ（チップ化実験で製造等）を利用したガス化発電実験、24h連続運転実験を行った。

ガス化発電実験では、通常より細かいチップを使ったことで、ガス化炉内のガス化層の形成がうまくできずにタールが大量に排出された。シンプルな構造の固定床ダウンドラフト炉の特性（チップ形状とのマッチング）を理解する上で貴重な知見となった。

これらの知見も含め、システムの特性を把握し、無人運転等も視野に入れた施設運用改善点と運転・保守マニュアルへと反映させた。安定かつ安全に継続運転を行うためである。

原油価格の高騰により熱の有効利用は重要な課題である。試算したように、乾燥機余剰熱（温風）もハウスの夜間温度保持に効果的（一冬で50万円相当）であり、温水利用が需要家側（元気村）の利用者数により変動することからも、システムから回収できる熱の有効利用は、今後十分検討する必要がある。

RPS法認定電気料金が安く抑えられ、バイオマス等再生可能エネルギーの普及拡大がなかなか進まない。ドイツのように通常電気料金の3倍の価格を再生可能エネルギーに設けることで、バイオマス発電は飛躍的に推進できるであろう。技術的にはその域に達している。

2. 4 林地残材等のMDF利用モデル実践

(エヌ・アンド・イー株式会社)

2. 4. 1 実証事業のねらいと実施内容

(1) 実証事業のねらい

木質バイオマスを利用することは持続可能な山村社会の維持と地球温暖化防止に寄与することから「バイオマス・ニッポン総合戦略」においても、重要な課題となっている。

廃棄物系木質バイオマスについては利用が進んでいるものの、林地残材等の未利用木質バイオマスは、収集・運搬コストが高いため、ほとんど利用されていない状況にある。林地残材などの未利用バイオマスを利用するためには、バイオマスの収集・運搬に係る費用を低減することが、不可欠となっている。

徳島県では、平成19年度からオンリーワン徳島行動計画の下、県の林業を再生から飛躍へとステップアップさせる為、間伐材の更なる増産とそれに見合う流通・加工体制の充実・強化と木材の利用拡大を図る「林業再生プロジェクト」の推進が示された。中でも、生産される木材のうち用材として活用されていない未利用木質バイオマスの活用が重要な課題となっており、弊社に対する期待が高まっている。

弊社は平成7年に徳島のスギ材を主に活用したMDF工場を立ち上げて現在に至っているが、ここ1～2年地球温暖化の観点から、スギ材等の国産材を活用した高品質・高性能ボードへのハウスメーカーなどの評価が高まり、需要が増えている。しかしながら、原材料の潤沢な調達が出来ず、需要増に応じられない状況となっている。

このため、本事業では、木材生産の取組と連携した林地残材などの木質バイオマスの効率的な収集・運搬等のシステムの検討、開発などを行う。加えて、この成果を活用して、安定的な木質バイオマスの利用促進にも寄与して行くこととする。

(2) 実証事業の内容、規模

林地残材の利用については、近年、全木集材とプロセッサ造材の組合せにより素材生産性が向上したことにより、副産物としての利用可能性が高まってきている。

今回の事業では、①収集・運搬の効率化、②伐採後の現場での林地残材集材による利用率増の評価、③林地残材の減容化・軽量化、④原木からのチップ化歩留等の検証に取り組むこととし、作業方法に応じて各種の検証パターンを定めて実施した。

また、本事業における木質バイオマスの収集目標数量は次のとおりとした。

表2.4.1 木質バイオマス利活用についての収集目標数量

区分		*利用目標 (m3/年)			
チップ工場入手		平成19年度	平成20年度	平成21年度	合計
林地	間伐系	800	1,200	1,600	3,600
	主伐系	2,700	3,500	5,000	11,200
計		3,500	4,700	6,600	14,800

*：利用目標数量は、原木ベースとする

(3) 実証事業の実施期間、実施体制、実施場所

a 実施期間

平成19年度の計画は、次の工程表に準じて行うこととした。

表2.4.2 実証事業の工程表 (平成19年度)

項目	10月	11月	12月	01月	02月
検討協議会開催		1回		2回	
伐採現場の調査	→	→	→	→	
実施方法の検討	→		→		
技術指導					
活用実証(現場等)		→	→	→	→
効率性・コスト分析				→	→
成果のとりまとめ					→

今年度は山土場からの運搬、チップ化について実証する

b 実施体制

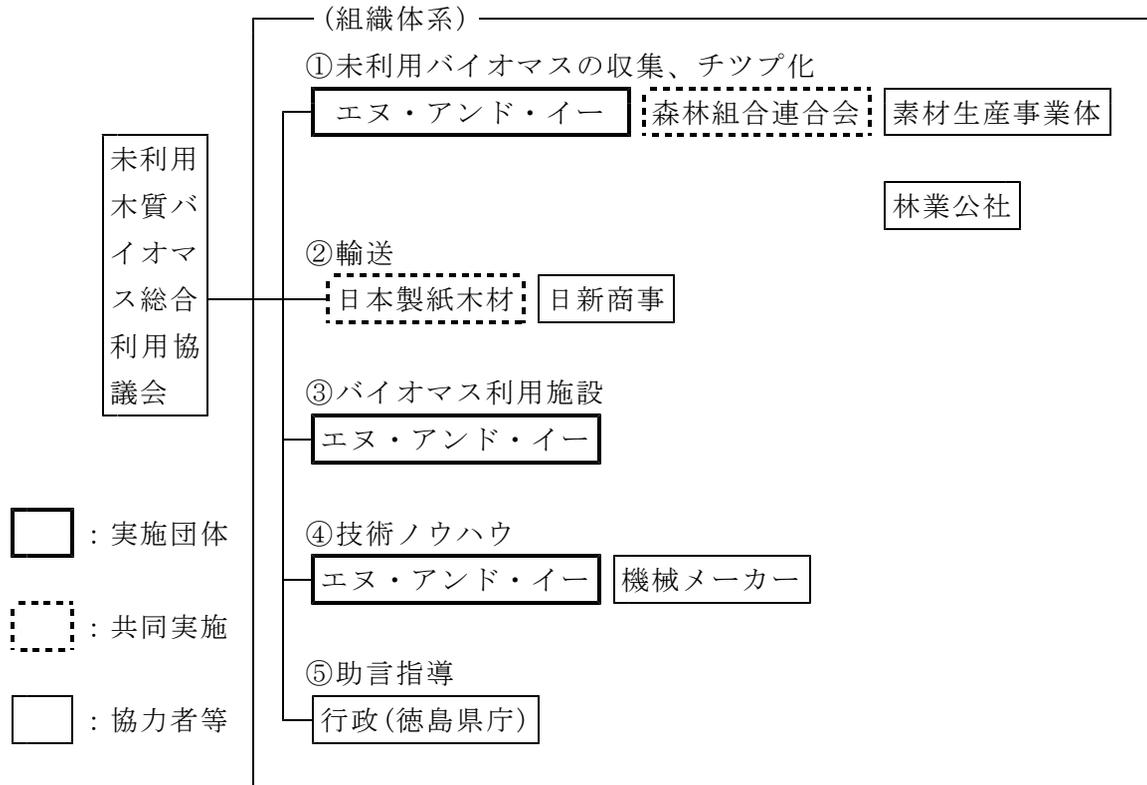


図2.4.1 実証事業の実施体制

c 実施場所

林地残材の収集場所：徳島県下全域(那賀郡那賀町、海陽町、三好市ほか)

間伐系は県有林、林業公社造林地

主伐系は私有林

チップ工場：徳島県那賀郡那賀町中山字黒沢西谷 1 2 - 1

チップヤード：徳島県小松島市和田津開町字北 3 9 5 番地 6

MDF工場：徳島県小松島市和田津開町字北 3 9 5 番地 6

2. 4. 2 実証事業の実施方法

実証事業の実施方法は、次の図に準じて実施する。

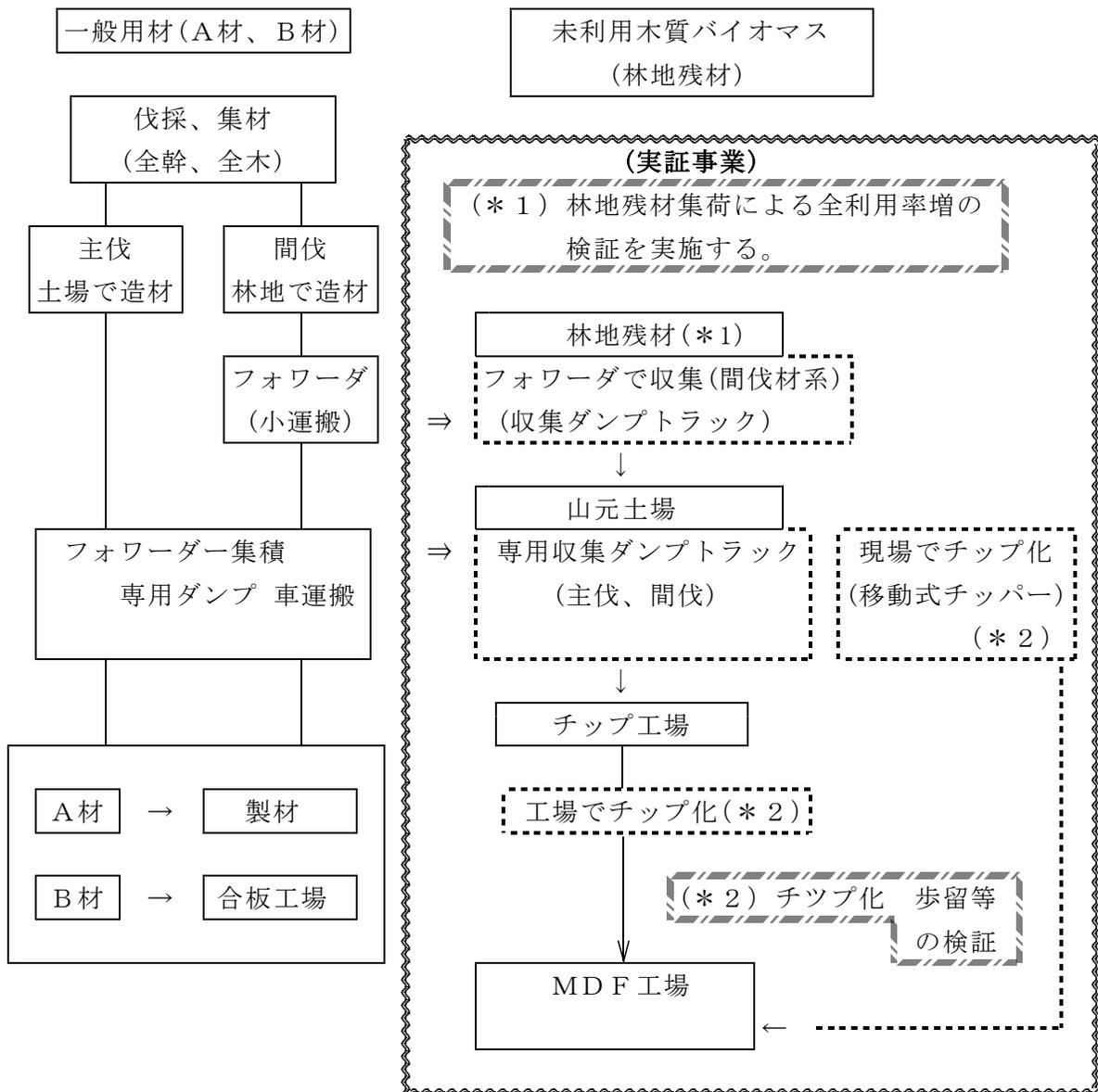


図2. 4. 2 実証事業の実施方法

実証事業の実施にあたり、間伐、主伐別に次の検証パターンを定めて実施した。

・間伐の場合の検証パターン

(車輻系)プロセッサ造材→フォワーダ積込・小運搬→林道で収集車に積込

(架線系)プロセッサ造材→プロセッサ・グラップルで仕分→トラック積込

①山土場トラック積込→運搬→チップ工場→MDF工場

②山土場トラック積込→運搬→チップヤードでチップ化→MDF工場

③山土場チップ化→トラック積込→運搬→MDF工場

・主伐の場合の検証パターン

(車輻系)プロセッサ造材→フォワーダ積込→山土場集積→収集車積込

(架線系)プロセッサ造材→プロセッサ・グラップルで仕分→トラック積込

①山土場トラック積込→運搬→チップ工場→MDF工場

②山土場トラック積込→運搬→チップヤードでチップ化→MDF工場

③山土場でチップ化→トラック積込→運搬→MDF工場

a 収集・運搬の効率化

全木集材で造材時に発生する林地残材の収集を前提として、次の方法による効率化の実証を行った。

① 間伐の場合

新間伐システム(列状間伐し、小型スイングヤーダ+小型プロセッサ+フォワーダにより搬出するシステム)において、間伐材を全木集材し、小型プロセッサで造材し、用材と端材に分類し、フォワーダに載せて林道まで小運搬し、専用運搬ダンプに積み替えチップ工場に運搬する。

② 主伐の場合

林道まで全木集材し、プロセッサで造材し、用材と端材に分類し、大型のフォワーダにて積み替え土場に集積後、専用運搬ダンプに積み替えてチップ工場に運搬する。

b 伐採後の現場での林地残材集材による利用率増の評価

間伐、主伐の現場でのC材の集材量増による利用率の上昇を検証する為に、事業箇所別の調査を実施した。

c 林地残材の減容化・軽量化

林地残材(造材・端材)を集積した山土場等に移動式チップパーを持ち込み、MDF原料に適したサイズに破碎して積み込み、MDF工場へ直送する方法で検証を行った。

なお、原木積み込みの際の解体重機使用については、林地残材の形状不揃いによる容積増の為、検証作業は取りやめることとした。

d 原木からのチップ化歩留り等の検証

投入原木から絶乾チップ生産迄の歩留りの正確な数値を把握するため、原木重量(ton)→原木材積(m³)→絶乾チップ(ton)の換算係数の測定を実施した。

2. 4. 3. 実証事業の実施結果

a 収集・運搬の効率化

別表 1, 2 参照

各実施主体、事業箇所別に 伐採方式、搬出方法、輸送形状を調査・検証し、収集量(t)を集計した結果、今回の事業における総収集量の内訳は、間伐材が42%、主伐材が58%であった。また、搬出方法別では、車輛系が68.5%、架線系が31.5%であった。

これらの実績からすると、林地残材の集材に関しては、架線系よりも車輛系の搬出方式の方が適していると言えよう。

また、今回収集した林地残材は短尺材も含めて、MDF用の原料として全量チップ化し、使用可能である事が確認出来た。

表2.4.3 林地残材の収集実績

区分	伐採方式	搬出方法	収集実績t	%
間伐	新聞伐システム	車輛	1,025.9	25.8
		架線	642.5	16.1
	小計		1,668.4	41.9
主伐	全幹、全木 集材	車輛	1,697.6	42.7
		架線	610.9	15.4
	小計		2,308.5	58.1
合計			3,976.9	100.0

当初、間伐・主伐とも各々集材した林地残材を、産業廃棄物運搬ダンプで使用されている着脱式の収集箱にて回収する事を想定していたが、各山土場には、仕分けスペースを優先する関係で収集箱を長期間集積する場所の確保が非常に難しく、特に1m以下の短尺材については専用のダンプ式トラックでの運搬が絶対条件と判断した。

但し、実際に短尺材の搬出実験を実施した所、次の様な事が確認できた。

- ① 徳島県下では、山土場までの道路整備が不十分であるため、作業車に対して車幅などに関する制限が設けられている。
- ② 短尺材の積込みは、2m上の長尺材と比較して、積込み時間が最低でも1時間(10ton積みの場合)程度かかり、かつ作業開始時は2人作業となることもあり、長尺材の時のような1人作業は難しい事がわかった。
- ③ 林地での作業からの情報では、通常作業では2~3日程度で山土場の仕分け場所周辺に短尺材が集積されるが、これらの材が作業に支障をきたす事から従来は、谷に廃棄したり、山腹に放置してきたとの事であった。今回、林業事業者の方々に工場に来ていただき、林地残材の集荷の目的を工場見学等を含めて説明する機会を設けたことにより、徐々に収集に協力いただける様になった。

収集作業において、積込みにはある程度の時間を要するが、荷おろしが短時間で済むダンプ車(中型、箱サイズ≒20m³)の利用は絶対条件となる事がわかった。

- ④ ダンプ車の型式については、グラップル付きが適するかどうかは、故障しがちとの意見もあり検討の必要がある。主伐・間伐にかかわらず、山土場あるいは、林道際まで集積可能であれば、弊社で専用ダンプ車を確保し、回収に廻る事により集荷量の増

を図る事も可能と考えられる。

b 伐採後の現場での林地残材集荷による利用率増の評価

別表3 参照

事業箇所の代表事例として、間伐と主伐の3現場について、林地残材を集荷することによる全体の利用材積増加の評価を行った（写真2.4.1～4）。

A・B材の材積に対する、C材の出材材積の比率は、事業箇所によって2～32%（別表3参照）となっており、平均で概ね19.6%程度の材利用率の上昇が確認された。

表2.4.4 代表的な事業箇所における調査結果のまとめ

項目	単位	間伐	主伐	主伐
所在地		那賀郡那賀町	三好市	東洋町
面積	ha	10.52	10.27	3.97
樹種		スギ	スギ	スギ
林令	年	45～57	40～60	50～60
胸高直径	cm	23	24	26
立木蓄積	m3	3,237.0	7,497.1	2,000.9
伐採材積	m3	1,159.0	7,497.1	2,000.9
伐採率	%	33.38	100.0	100.0
AB材材積	m3	765.3	4,952.7	1,271.1
AB材材積率	%	66.0	66.1	63.5
C材材積	m3	170.2	1,431.1	385.2
C材材積率	%	14.7	19.1	19.3
全利用材積	m3	935.5	6,383.8	1,656.3
全利用率	%	80.7	85.2	82.8
上昇率	%	22.2	28.9	30.3

利用率増についての林業事業者の評価は総じて良好であり、林地残材を主とするC材の材積増加により、全利用率が大幅に上昇したことにより、林業事業者側に付加価値向上の認識が出てきつつあると考えられる。また、林地荒廃や河川への流出を防ぎ、再造林の際の障害も減少させられる事が可能と考えられる。

しかし、林地残材に対する林業事業者の評価は各実施主体毎に相当なバラツキがあり、我々川下のメーカーからの林地残材の用途についての情報の発信が必要と考えられる。このため、本事業の実施期間中に何社かの事業主の方に工場見学の時間を作っていただき、スギを主とする針葉樹チップを用いたMDFの利点をご理解いただく様に努めた。



①ブロッカー造材



②フォワーダー積み込み



③フォワーダー運搬



④山土場集積



⑤トラック積み込み



⑥列状間伐

写真2.4.1 間伐（車両系）現場の状況



①架線集材



②プロセッサ造材



③山土場集積



④林地残材(端材)



⑤ダンプトラック積込み



⑥荷おろし作業

写真2.4.2 間伐（架線系）現場の状況



①伐採現場



②集材



③プロセッサ造材作業



④フォワーダー運搬



⑤仕分け作業

写真2.4.3 主伐（車両系）現場の状況



①伐採現場



②架線集材



③プロセッサー造材



④林地残材(端材)



⑤ダンプトラック積込み



⑥荷おろし作業

写真2.4.4 主伐（架線系）現場の状況

c 林地残材の減容化・軽量化

林地残材(造材・端材)を山土場に集積し、移動式チップパーによる破砕作業を実施した(写真2.4.5)。実施内容は次の通りである。

表2.4.5 自走式チップパーによる破砕実証試験の概要

項目	内容
実施日	平成19年11月22日
実施場所	三好郡東みよし町中庄
実施者	徳島県森林組合連合会
樹種	スギ
使用設備(*)	東興産業(株)自走式ブラシチップパー 150C-86
投入材積	3.8539m ³
投入本数	97本
投入重量	3,498Kg
処理時間	21分50秒
生チップ重量	3,250Kg
絶乾チップ重量	1,502Kg
運送先	エヌ・アンド・イー(株)
運送距離	92Km
運送時間	3時間10分

(*) 処理能力は、6~10m³/時間

自走式チップパーによる破砕実験はほぼ機械設備処理能力の範囲内での加工は出来たが、MDF用として適した形状ではなく、皮の混入も多いため、非常に使用しにくいものと判断せざるを得ない。特に、弊社が定常的に使用しているチップでは、スギの皮付きチップの皮率を3%前後に制限していることから、バーカー処理の無い現場破砕の場合は皮の混入率の上昇は避けられず、使用が難しいことがわかった。また、現場で処理することにより材の材積そのものは減少するが、トラック運搬時のチップの容積は、工場で生産されたチップに比べ約2倍となり、必ずしも減容化による運搬効率の向上に寄与しないことがわかった。これはチップ形状の違いによるものである。その為、実証実験はこの1回で終える事としたが、今後現地での破砕方式を採用していくためには、当社での利用に適する自走式チップパーの開発が必要である。



①投入材料の検収



②材料の投入準備終了



③破砕機への投入作業



④箱ダンプ車への投入



⑤箱ダンプ車による運搬



⑥チップヤードでの荷おろし作業

写真2.4.5 移動式チップパーによる破砕実験の状況

d 原木からのチップ化歩留り等の検証

別表4 参照

今回の実証事業において収集する林地残材の目標数量は、m3単位で設定しているが、実際の納入時には、原木重量を ton で計量するか、チップの重量で検収を実施することになる為、目安となる換算係数を確認しておく必要があると判断し、徳島県森林組合連合会の協力をいただき、換算係数の測定の為のチップ化作業を約半日間実施した。その結果、原木から絶乾チップ生産に至る歩留りについて、目安となる数値の確認が出来た。検証の結果、次の様な換算係数が得られた。

$$\begin{aligned} \text{投入原木重量 (ton)} \times 0.843 &= \text{投入原木材積 (m3)} \\ \text{投入原木材積 (m3)} \div 2.2254 &= \text{絶乾チップ生産量 (ton)} \end{aligned}$$

原木～チップ換算係数(スギ)の検証

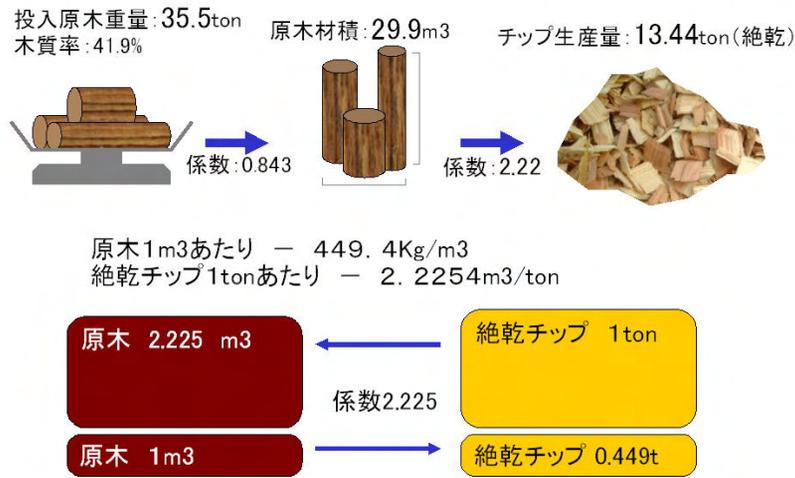


図2.4.3 原木とチップとの換算係数を求めるための検証実験の結果

表2.4.6 検証実験で使用したスギ材の体積、重量等

4 m	3 3 4 本	2 5 . 4 5 0 m3
3 m	8 1 本	4 . 4 6 5 m3
<計>	4 1 5 本	2 9 . 9 1 5 m3
原木重量		3 5 , 4 8 0 Kg
生チップ生産量		3 2 , 0 6 0 Kg
絶乾チップ生産量		1 3 , 4 4 3 Kg
木質率 (%)		4 1 . 9 3 %
実証実験実施日		平成 1 9 年 1 2 月 8 日

今回の実証実験は冬期の出材で実施したが、秋口の出材に対してはこれと異なる数値となる可能性があるため、別途再検証することが必要であると考えられる。



①投入原木



②リフトによる搬入



③バーカー処理作業



④チップサイロ



⑤バーク回収



⑥チップ車積込

写真2.4.6 原木からのチップ化歩留り検証実験

2. 4. 4. 考察、その他

本事業に取り組むにあたり、徳島県が平成19年度に掲げた「林業再生プロジェクト」の中で、初めて小径材・端材(C材)などを、MDFに積極的に利用する為の流通・加工の整備を川下でも進めたいとの意向が示されたこともあり、林業事業者及びその関係者の方々の積極的なご協力をいただき林地残材の集荷を実施することが出来た。その結果、目標値の3,500m³の95.8%(3,353m³)の実績を残す事が出来た。

また、ボイラー燃料への未利用バイオマス資源の活用については、かねてからチップ選別工程で発生する微細チップを燃料として利用しており、今後は移動式チップパー等により枝条等を含めた小径材を破砕処理し、活用することも検討して行きたい。

今後、林地残材の活用をさらに一段と推進するためには、次の様な課題に積極的に取り組む必要があると考えられる。

① 林地残材を活用し価値を見出す為には、林地の整備が必要

林地残材の搬出は、環境保護の観点からも急務な課題であり、林地荒廃や河川の流失を防ぐとともに、再造林の際の障害も減少できるため、これらと連携を深めた事業の実施が必要とされる。

② 林地残材を出材する事により、林業事業者にメリットの享受が可能

林地残材を利用する側(弊社)からの情報の積極的な開示とその意識の提示が必要である。これと同時に、林業事業者が林地残材の出材に対するメリットを感じられるような評価に関する方向づけと何らかの補助の実施が必要となる。

③ 林地残材の出材には、出材と運送方法の改善、改良が急務

林業事業者、運送業者、需要者(弊社)を含めた、組織化、情報の共有化を進め、出材の効率化に取り組む必要がある。

別表1

林地残材等のMDF利用モデル実践事業(平成19年度)の実施結果まとめ

流域	実施主体	事業箇所	伐採方式	搬出方法	輸送形状		輸送先	チップ		集荷実績 数量 ton	各出材現場についての評価		地残材計	配送コスト	総合評価	
					素材	端コロ		製造先	製造方式		品質	出材設備				出材能力
那賀川	県有林	那賀町水崎	間伐	車輻	○	○	日新商事	日新商事	切削	皮剥ぎ	224.18	△	△	○	1,410	△+
		海陽町上小谷														
	林業公社	那賀町六丁	間伐	架線	○	○	日新商事	日新商事	切削	皮剥ぎ	295.34	△+	△+	△+	○	△+
		美波町山河内													2,000	
	私有林<A>	那賀町文谷	間伐	架線	○	○	日新商事	日新商事	切削	皮剥ぎ	92.18	△	○	△	1,500	△
	私有林	那賀町・美馬町・美波町	間伐	車輻	○	△	日新商事	日新商事	切削	皮剥ぎ	212.70	△	△	△	○	△
	私有林<C>	那賀町音谷・川俣	間伐	車輻	○	○	日新商事	日新商事	切削	皮剥ぎ	152.34	△	△	○	○	△+
	私有林<D>	那賀町源太	間伐	架線	○	△	日新商事	日新商事	切削	皮剥ぎ	254.92	○	△	○	2,556	○-
	私有林<E>	高知県東洋町	主伐	架線	○	○	日新商事	日新商事	切削	皮剥ぎ	456.96	○	○	○	3,300	○
私有林<F>	那賀町大戸	間伐	車輻	○	○	日新商事	日新商事	切削	皮剥ぎ	300.00	○	○	○	1,600	○	
その他																
吉野川	私有林<G>	東三好町中庄	間伐	車輻	○	△	現地	現地	破碎	皮付き	1,988.62	△	△	△	2,320	△
	私有林<H>	三好市吾橋	主伐	架線	○	△	王子三加茂	王子三加茂	切削	皮剥ぎ	49.74	○	△	△	2,000	△
	私有林<I>	東祖谷小川	主伐	架線	○	△	N&E	N&E	破碎	皮付き	50.23	○	△	△	1,500	△-
	私有林<J>	美馬市穴吹	間伐	車輻	○	△	日新商事	日新商事	切削	皮剥ぎ	1,697.61	◎	◎	○	△-	○+
	私有林<K>	高知県 本山町	主伐	架線	○	○	日新商事	日新商事	切削	皮剥ぎ	101.20	○	△	△	4,309	△
	その他															
	小計															
合計																
										1,988.25				4,045		
										3,976.87				3,182		

(m3換算)

那賀川流域 1,676.8
吉野川流域 1,676.5
計 3,353.3

* 素材⇒チップの取得量の計算方法
原木m3⇒チップ換算t 与 原木m3/2.2
原木t ⇒チップ換算t =(原木t * 0.8432)/2.2

別表2

林地残材等のMDF利用モデル実践事業(平成19年度) 収集実績数量集計表

流域	実施主体	事業箇所	生産予定時期	計画数量 m ³	確定実績 Kg	単価 円/ton	金額 A+B+C	内 訳				立木代(C)	
								機械損料	燃料	人件費	搬出費用計(A)		運賃(B)
那賀川	県有林	那賀町水崎	10/下旬～12/末	360	201,940	6,037	1,219,111	351,318	118,132	255,515	724,965	284,735	209,411
		海陽町上小谷	11/下旬～12/末	60	22,240	6,142	136,598	39,949	13,479	26,414	79,842	31,358	25,398
	林業公社	那賀町六丁	12/初旬～4/下旬	200	235,640	5,512	1,298,846	318,623	82,635	164,278	565,536	471,280	262,030
		美波町山河内	12/初～2/末	60	59,700	6,142	366,677	78,005	37,191	63,904	179,100	119,400	68,177
	私有林<A>	那賀町丈ヶ谷(塹谷)	12/初～4/末	500	58,980	6,300	371,574	136,115	29,729	55,331	221,175	88,470	61,929
		那賀町丈ヶ谷(上原)			33,200	6,300	209,160	76,620	16,706	31,174	124,500	49,800	34,860
	私有林	吉野・相生・美馬	1/下旬～2/末	0	104,180	6,022	627,350	288,515	63,014	117,281	468,810	135,100	23,440
		阿波サンイン	1/下旬～2/末	0	108,520	6,300	683,676	250,445	54,699	101,806	406,950	162,780	113,946
	私有林<C>	那賀町音谷		0	68,780	6,142	422,446	120,010	39,308	87,602	246,920	96,980	78,546
		上那賀町川俣	12/中旬～4/下旬	200	83,560	7,000	584,920	117,621	30,567	60,712	208,900	292,460	83,560
	私有林<D>	上那賀町源太(金磯)	1/下旬～4/下旬	0	254,920	7,000	1,784,440	358,830	93,253	185,217	637,300	892,220	254,920
	私有林<E>	高知県東洋町	12/初旬～5/中旬	0	456,960	6,000	2,741,760	691,817	178,732	363,243	1,233,792	1,507,968	0
	私有林<F>	那賀町大戸	12/初旬～3/下旬	0	300,000	6,000	1,800,000	691,862	195,724	432,414	1,320,000	480,000	0
	その他			100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計			1,480	1,988,620	6,158	12,246,558	3,519,730	953,169	1,944,891	6,417,790	4,612,551	1,216,217	
吉野川	私有林<G>	東三好町中庄	11/初旬～4/下旬	80	35,480	7,350	260,778	111,847	36,734	73,169	221,750	0	39,028
	私有林<H>	三好市吾橋	11/下旬～4/下旬	700	49,740	4,500	223,831	72,961	14,257	24,697	111,915	74,610	37,306
	私有林<I>	東祖谷小川	11/下旬～4/上旬	300	50,230	6,500	326,496	73,680	14,397	24,941	113,018	175,805	37,673
			11/下旬～4/上旬	840	1,697,610	9,034	15,336,223	1,752,777	2,395,223	3,491,245	7,639,245	7,315,016	381,962
	私有林<J>	美馬市穴吹	1/下旬～4/下旬	100	101,200	6,000	607,200	191,413	62,866	125,221	379,500	151,800	75,900
	私有林<K>	高知県 本山町	10/初旬～5年(150ha)	0	53,990	8,020	432,980	61,020	15,744	31,216	107,980	325,000	0
小計			2,020	1,988,250	8,645	17,187,508	2,263,698	2,539,221	3,770,489	8,573,408	8,042,231	571,869	
合計			3,500	3,976,870	7,401	29,434,066	5,783,428	3,492,390	5,715,380	14,991,198	12,654,782	1,788,086	

事業箇所の事例紹介

別表 3-1

林名	計算式	山林①(間伐)	山林②(間伐)	山林③(間伐)	山林④(間伐)
所在地		那賀町水崎	那賀町音谷	海陽町上小谷	那賀町六丁
面積(ha)	①	10.52	4.87	10.95	10.31
樹種		スギ	スギ	スギ	スギ
林令(年)		45~57	44	38	49
平均樹高(m)		20	17	13	20
平均胸高直径(cm)		23	22	21	24
立木本数(本/ha)	②	761	1,320	1,395	1,172
立木材積(m ³ /ha)		308	403	379	502.7
立木蓄積(m ³)		3,273	1,962.61	4,150.05	5,182.84
伐採本数(本/ha)	③	254	440	440	352
伐採材積(m ³ /ha)	④	110	167	109	151
伐採材積(m ³)	⑤=④*①	1,159	813	1,194	1,557
伐採率(%)	⑥=③/②	33.38	33.33	31.54	30.03
A・B材利用材積(m ³)	⑦	737.172	600.6	896.071	868.2
A・B利用率(%)	⑧=⑦/⑤*100	63.60	73.85	75.08	55.77
杭利用材積(m ³)	⑨	28.076	0	18.748	43
利用材積計(含む杭)(m ³)	⑩=⑦+⑨	765.248	600.600	914.819	911
利用率(含む杭)(%)	⑪=⑩/⑤*100	66.03	73.85	76.65	58.53
C材出材量(t)	⑫	201.94	68.78	22.24	235.64
材積換算係数	⑬=0.843m ³ /t	0.843	0.843	0.843	0.843
C材利用材積(m ³)	⑭=⑫*⑬	170.235	57.982	18.748	198.645
C材利用率(%)	⑮=⑭/⑤	14.69	7.13	1.57	12.76
全利用材積(m ³)	⑯=⑩+⑭	935.483	658.582	933.567	1,109.845
全利用率(%)	⑰=⑯/⑤*100	80.71	80.98	78.22	71.29
利用量上昇率(%)	⑱=(⑯-⑩)/⑩*100	22.25	9.65	2.05	21.80

林名	計算式	山林⑤(間伐)	山林⑥(択伐)	山林⑦(間伐)	山林⑧(間伐)
所在地		美波町山河内	那賀町丈ヶ谷	那賀町相生	美波町阿波カライシ
面積(ha)	①	4.62	10.01	7.62	7.88
樹種		スギ・ヒノキ	スギ	スギ	スギ
林令(年)		37	70	45	40
平均樹高(m)		11	23	15	13
平均胸高直径(cm)		21	34	22	20
立木本数(本/ha)	②	1,280	615	1,420	1,380
立木材積(m ³ /ha)		246	553.5	377.7	303.7
立木蓄積(m ³)		1,136.52	5,540.54	2,878.07	2,393.16
伐採本数(本/ha)	③	420	210	445	456
伐採材積(m ³ /ha)	④	60	201	117	94.39
伐採材積(m ³)	⑤=④*①	277	2,012	892	743.79
伐採率(%)	⑥=③/②	32.81	34.15	31.34	33.04
A・B材利用材積(m ³)	⑦	162.18	1,566	621.72	401.28
A・B利用率(%)	⑧=⑦/⑤*100	58.51	77.83	69.74	53.95
杭利用材積(m ³)	⑨	0	0	0	43.776
利用材積計(含む杭)(m ³)	⑩=⑦+⑨	162.180	1,566.000	621.720	445.056
利用率(含む杭)(%)	⑪=⑩/⑤*100	58.51	77.83	69.74	59.84
C材出材量(t)	⑫	59.7	92.18	104.18	108.52
材積換算係数	⑬=0.843m ³ /t	0.843	0.843	0.843	0.843
C材利用材積(m ³)	⑭=⑫*⑬	50.327	77.708	87.824	91.482
C材利用率(%)	⑮=⑭/⑤	18.16	3.86	9.85	12.30
全利用材積(m ³)	⑯=⑩+⑭	212.507	1,643.708	709.544	536.538
全利用率(%)	⑰=⑯/⑤*100	76.66	81.69	79.59	72.14
利用量上昇率(%)	⑱=(⑯-⑩)/⑩*100	31.03	4.96	14.13	20.56

別表 3-2

林名	計算式	山林⑨(間伐)	山林⑩(皆伐)	山林⑪(択伐)	山林⑫(皆伐)
所在地		那賀町源太・川俣	高知県東洋町	那賀町大戸	三好市西祖谷吾橋
面積(ha)	①	10.53	3.97	11.66	2.41
樹種		スギ	スギ	スギ	スギ
林令(年)		45~55	50~60	60	48
平均樹高(m)		17	20	23	18
平均胸高直径(cm)		24	26	30	24
立木本数(本/ha)	②	985	900	760	1,210
立木材積(m ³ /ha)		364.6	504	547	455
立木蓄積(m ³)		3,839.24	2,000.88	6,378.02	1,097
伐採本数(本/ha)	③	323	900	250	1210
伐採材積(m ³ /ha)	④	130	504	180	455
伐採材積(m ³)	⑤=④*①	1,368.90	2,000.88	2,098.80	1,097
伐採率(%)	⑥=③/②	32.79	100.00	32.89	100.00
A・B材利用材積(m ³)	⑦	876.1	1,271.1	1,599.416	785.529
A・B利用率(%)	⑧=⑦/⑤*100	64.00	63.53	76.21	71.64
杭利用材積(m ³)	⑨	0	0	0	0
利用材積計(含む杭)(m ³)	⑩=⑦+⑨	876.100	1,271.100	1,599.416	785.529
利用率(含む杭)(%)	⑪=⑩/⑤*100	64.00	63.53	76.21	71.64
C材出材量(t)	⑫	338.48	456.96	300	99.97
材積換算係数	⑬=0.843m ³ /t	0.843	0.843	0.843	0.843
C材利用材積(m ³)	⑭=⑫*⑬	285.339	385.217	252.900	84.275
C材利用率(%)	⑮=⑭/⑤	20.84	19.25	12.05	7.69
全利用材積(m ³)	⑯=⑩+⑭	1,161.439	1,656.317	1,852.316	869.804
全利用率(%)	⑰=⑯/⑤*100	84.84	82.78	88.26	79.32
利用量上昇率(%)	⑱=(⑯-⑩)/⑩*100	32.57	30.31	15.81	10.73

林名	計算式	山林⑬(皆伐)	山林⑭(間伐)	山林⑮(間伐)	山林⑯(皆伐)
所在地		三好市東祖谷小川	東三好町中庄	美馬市穴吹	高知県本山町
面積(ha)	①	10.27	4.20	6.70	1.80
樹種		スギ	スギ	スギ	スギ・ヒノキ
林令(年)		40~60	40	42	45~60
平均樹高(m)		20.4	17	16	18
平均胸高直径(cm)		24	24	22	26
立木本数(本/ha)	②	1,500	1,300	1,375	1,200
立木材積(m ³ /ha)		730	468	399	480
立木蓄積(m ³)		7,497.10	1,965.6	2,673.30	864
伐採本数(本/ha)	③	1,500	429	459	1,200
伐採材積(m ³ /ha)	④	730	154	133	480
伐採材積(m ³)	⑤=④*①	7,497.10	646.80	891.10	864.00
伐採率(%)	⑥=③/②	100.00	33.00	33.38	100.00
A・B材利用材積(m ³)	⑦	4,952.666	428.25	555.21	628.8
A・B利用率(%)	⑧=⑦/⑤*100	66.06	66.21	62.31	72.78
杭利用材積(m ³)	⑨	0	0	0	0
利用材積計(含む杭)(m ³)	⑩=⑦+⑨	4,952.666	428.250	555.210	628.800
利用率(含む杭)(%)	⑪=⑩/⑤*100	66.06	66.21	62.31	72.78
C材出材量(t)	⑫	1,697.61	35.48	101.2	53.98
材積換算係数	⑬=0.843m ³ /t	0.843	0.843	0.843	0.843
C材利用材積(m ³)	⑭=⑫*⑬	1,431.085	29.910	85.312	45.505
C材利用率(%)	⑮=⑭/⑤	19.09	4.62	9.57	5.27
全利用材積(m ³)	⑯=⑩+⑭	6,383.751	458.160	640.522	674.305
全利用率(%)	⑰=⑯/⑤*100	85.15	70.83	71.88	78.04
利用量上昇率(%)	⑱=(⑯-⑩)/⑩*100	28.90	6.98	15.37	7.24

まとめ

別表 3-3

林名	合計	間伐計	主伐計	主伐(皆伐)	主伐(択伐)
伐採材積計	25,111	9,542	15,569	11,459	4,111
A・B材利用材積計	16,950	6,147	10,804	7,638	3,165
同利用率	67.5%	64.4%	69.4%	66.7%	77.0%
利用材積計(含む杭)	17,084	6,280	10,804	7,638	3,165
同利用率	68.0%	65.8%	69.4%	66.7%	77.0%
C材利用材積計	3,352	1,076	2,277	1,946	331
同利用率	13.4%	11.3%	14.6%	17.0%	8.0%
全利用材積計	20,436	7,356	13,080	9,584	3,496
利用量上昇率	19.6%	17.1%	21.1%	25.5%	10.4%

3. 実証事業の成果と今後の課題

実証事業で得られた成果と今後の問題点を、各実証事業別にとりまとめ次に示す。

(1) パーティクルボード及び木質ペレット原料としての未利用木材の集荷システムの開発（株式会社イワクラ）

現在、造林・造材の山林作業においては、製材用・パルプ材用に丸太を取った後の小径木や枝などは集荷せず、山林現場に残しているのが現状である。今回この実証事業では、これらの林地残材をパーティクルボード及び木質ペレット原料として有効活用する方法について検討を行った。

林地未利用木材を利用するための方法として、林地に破砕機を持ち込み現地でチップ化して工場へ運ぶシステムと、小原木のまま山林現場から工場へ運ぶシステムについて実証試験を実施した。その結果、今回の実証事業において、1,037トンの未利用木材を集荷することが出来、予備試験及び実証事業外での集荷の951トンと合わせて、全体で1,988トンの集荷が達成された。

現地での破砕システムについては、集荷場所により破砕能力に差が生じ、枝が多く含水率が低い糸井地区では破砕効率が悪く、太い材が多く含水率が高い樽前地区では高い破砕効率が得られた。また、現地破砕方式と原木集荷方式では、現地破砕の方がチップ製造コストは低く、破砕機で作業できる量と場所が確保出来るならば、現地でチップ化して集荷した方が効率は良いと考えられる。ただし、チップ製造コストについては、最も集荷効率の良かった樽前地区でも19,473（円/トン）かかっており、通常の針葉樹丸太チップの購入価格である11,600（円/トン）（運賃別途）よりは、かなり高い結果となっている。なお、未利用木材からのチップは、量的、品質的には十分パーティクルボード及びペレット原料として利用可能であった。

今後の課題としては、造材作業時又は地拵え時に現地未利用木材の破砕を同時に出来るようなシステムを確立することにより、コストダウンの可能性があると考えられる。再造林のための経費を含めたより詳細な経済性の評価が必要である。

(2) 林地残材収集・運搬事業（遠野興産株式会社）

これまで林内に放置されていた未利用間伐材や林地残材等を有効活用するため、未利用材の搬出・輸送・チップ化を効率的に行うための実証事業を実施した。具体的には、間伐地(9箇所)に作業道を作設して高性能林業機械により残材を搬出し、用材は木材市場へ丸太として販売し、パルプ材・ドンコロ材（根元部）は遠野興産(株)岩石工場へ輸送しチップ化を行った。また、広葉樹皆伐地1箇所で用材・広葉樹パルプ材・枝葉等の搬出を行った。その結果、搬出した残材の量は合計で 2,000tonに達した。

林地残材からのチップ製造コストは、間伐箇所によって異なるが、およそ16,000円/m³～24,000円/m³(生重量換算で14,000円/ton～23,000円/ton)であった。これらを集材、チップ化、運材別にわけてみると、最もコストが高かったのは集材作業にかかる経費であった。今回の実証事業では、高性能林業機械を用いた場合でもそれほど低コスト化の効果

が得られなかったが、その原因は作業員がこれらの新しい機械による作業に不慣れであったことによると考えられる。また、現場の施業面積の規模も大きく影響し、小規模の場合はどうしても経費が割高になる。

用材搬出と合わせた収支について見ると、施業面積が大きい場合は用材部分の搬出のみで十分採算が合わせられるケースもあったが、今回の実証事業現場については、ほとんどが赤字になり、チップ収集にはかなりのハードルがあることがわかった。針葉樹チップの場合チップの販売価格は低く、これではせいぜいチップ工場でのチップ化コストを賄える程度である。このため、仮に林道近くに運び出された材であっても、これを運搬してくるための経費がかかり増しになることになる。また、広葉樹枝葉の場合は容積が多く、輸送上の問題がある。

このほか、小径木や曲がり材の搬出については、新規技術として注目されているスカイ・ウッド・シュート（空中スベリ台）方式による簡易集材の実証試験を行い、集材作業能率として平均で2/m³人日程度との推計結果が得られた。架設、集材、撤去に要する時間も1サイクル60分前後と短く、機動性の高い特徴がある。

今後の課題としては、高性能林業機械を利用した最適な作業方法及び施業規模の把握、小径木、端材等の搬出に適した方法の開発、林地残材からのチップの付加価値向上、収益をあげられるような搬出、輸送、チップ化システムの開発が必要である。

（3）木質バイオマス・ガス化・コジェネによる地域実証事業（秩父市）

この実証事業は、バイオマス発電所における燃料に、林地残材等の未利用資源の活用を目指すモデル事業として実施した。そのための課題として、林地残材等木質バイオマス利用のコスト削減、バイオマス発電所のスムーズかつ継続的な運転、生産エネルギー等の有効利用に取り組んだ。

木質バイオマス利用のコスト削減については、森林組合、素材生産業者、木材輸送業者チップ加工事業者と連携して低コスト化の方法を検討し、コスト分析を行った。バイオマス収集の方法としては、主伐、間伐別に様々な搬出方式で行い、ボランティアの活用も検討課題とした。多くは、林道端に集積された材をグラップル付きの運搬車で集め、これをチップ加工場に輸送する方法を取ったが、これらのコスト分析に基づいて、燃料の調達コストをモデル化して試算した。これによると、各原料集積現場からの燃料調達コストは、チップ換算で13,600～16,700円/t-dry(原木換算で4,500～5,200円/m³)であり、これまで製材端材から作られていた購入チップの価格、13,975円/t-dry(原木換算で4,620円/m³)よりもやや高い程度であった。ボランティア・シルバー会員等の作業費のみを見込めば、灯油代より安い燃料として利用できる可能性がある。

また、高性能林業機械による伐倒、搬出、造材作業において、燃料用バイオマスを収集しチップ化する方法について検討した。チップパーは自走式、固定式の各種タイプのものを用いて実験した。設備費や燃料等は市が別途経費で負担することを想定し、今回はチップ製造に係る人件費のみを試算したが、チップ1 m³あたりの人件費はシルバー人材を活用するとして約3,000円/m³であった。

このほか実証事業では、発電所の安定・安全な継続的運転を目指して、燃料を林地残材チップに変えた場合のシステム運転特性の把握を行い、施設運用のための改善点の把握と

運転・保守マニュアルの整備を行った。さらに、発電の際に発生するチップ乾燥機の余熱を農業用ハウスへ供給する試験を行い、ハウス暖房用灯油の代替として1日あたり3,500円、一冬で50万円相当の節減が可能であることがわかった。

実証期間中に、試験運転開始からのガスエンジン稼働時間が3,000時間を越え、木質バイオマス・ガス化・コージェネの運転をさらに一步前進させることが出来た。今後は、地球温暖化防止、森林整備の促進、高齢者の雇用促進、ボランティア活動の育成といった観点も含めて、燃料チップの林地残材への転換に積極的に取り組んで行く予定である。

(4) 林地残材等のMDF利用モデル実践（エヌ・アンド・イー株式会社）

MDF工場の原料として、スギを主体とする林地残材等の未利用木材を活用するためのモデル実証事業を実施し、コスト評価に基づく最適利用システムの検討を行った。実証方法としては、間伐、主伐別に各種の造材、収集方法を組み合わせた検証パターンを設定し、それぞれ材の収集量や作業能率、必要とされる経費等の分析を行った。

標準的な作業方法としては、間伐の場合は列状間伐してスイングヤーダーや架線で全木集材し、プロセッサーで造材して用材と端材に分け、端材はフォワーダーに載せて林道まで運搬し、これを専用の運搬ダンプに積み替えてチップ工場に運ぶ方法とした。また、主伐の場合は、伐採現地又は近くの集積所でプロセッサーで造材し、分別した後、大型のフォワーダーに積み替えて土場に集積後、これを専用ダンプで工場へ運搬した。今回の事業における集材量は、間伐材が42%、主伐材が58%を占め、搬出方式別では車輻系が68.5%、架線系が31.5%であった。この結果からすると、徳島県下では集材作業として車輻系の方が適していると考えられる。搬出、運搬を含む林地残材の収集コストについては5,500～9,000円/ton が得られており、平均では7,400円/ton であった。

林地残材を収集することによる森林資源の利用率向上について、間伐と主伐から3現場を選んで検証した結果、用材（A材、B材）量に対して、林地残材（C材）の利用率は約22～30%増加する結果が得られた。このような大幅な利用率の向上が認められたことにより、林業事業者側にもその意義が認められつつあり、このことは本事業の大きな成果であった。しかし、林業事業者の評価は各実施主体によって様々であり、今後お互いの理解を深めていく努力が必要とされる。

自走式チップパーを用いて山土場で減容化する実証事業については、製造されるチップの品質上の問題や運搬方法等の問題によって、今回の実証事業の範囲では良い方法を見いだすことが出来なかった。今後、適するチップパーの開発や能率の良い運搬車輻の開発等が必要である。また、林業事業者、運送業者との事業の組織化、情報の共有化等をさらに推進する必要がある。

4. まとめ

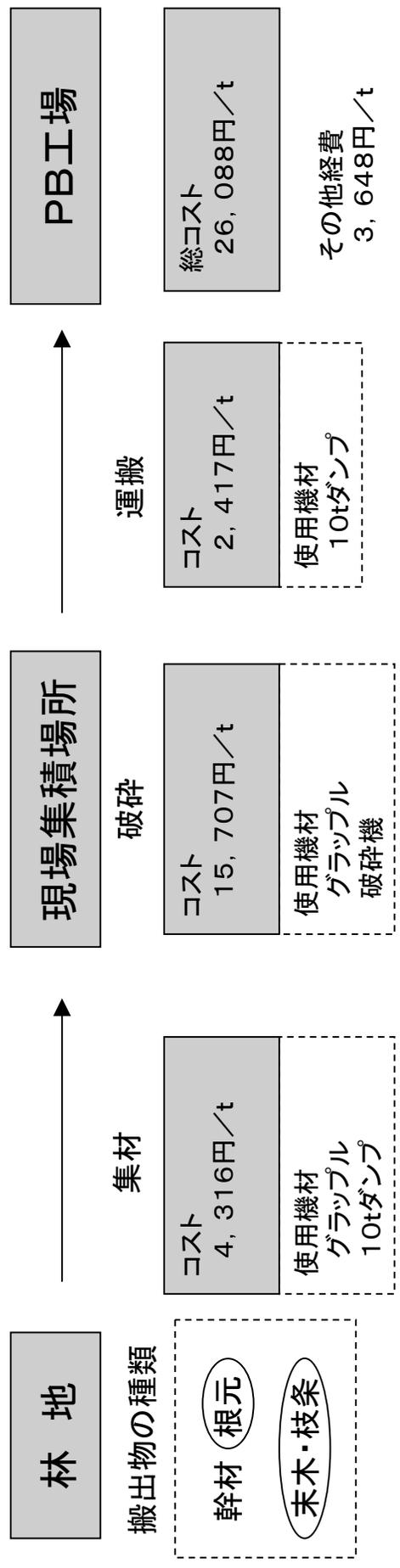
実証事業として4実施団体の課題を取り上げたが、発電設備の運転状況に左右される特殊事情をかかえる秩父市の場合を除いては、概ね当初目標とした林地残材等の利用量を達成することが出来た。各事業における林地残材の収集状況やコストに関するとりまとめとして、代表的な実施例を取り上げ、図4. 1～12に概要を示した。しかしながら、数値の表示方法や収集した林地残材の重量と材積との換算率、コスト試算の方法等に関しては、統一して示すことが困難であったため、各事業実施団体から報告された数値をそのまま示している。

これらのまとめの図から、林地残材の収集コストについてある程度の目安が得られるが、一部の特殊な条件を除き、いずれもかなり高くついでおり、林地残材の利用を可能にするには外部からの何らかの経済的な支援が必要なことが伺える。単独で経済的に成り立つ条件を見いだすことは、現状ではかなり難しいことが明らかになった。今後は、未利用材のさらなる利用促進を目指して、林地残材等の搬出、造材、運搬、破碎等の低コスト化のための技術を、新たな機械の開発を含めて検討していく必要があると考えられる。また、林地残材の用途についてもより適する使い方を追求していくとともに、詳細なコスト評価を行い、問題点を明確にしていくことが必要であり、さらには川上から最終ユーザーに至る林地残材利用のための新たな仕組みを構築していくことが必要である。

図4.1 林地残材の活用事例

苫小牧市糸井地区 (株)イワクラ

林地の状況
 ・樹種－カラマツ、広葉樹
 ・面積－12ha
 ・PB工場までの距離－23km
 ・搬出－19年9～10月 ※風倒木の処理跡地(伐採は18年4月頃)



林地残材の状況



移動式チップパーによる破砕

搬出量(材積はチップ換算)
 283t (1,278m³)
 ※チップ換算
 密度0.22t/m³

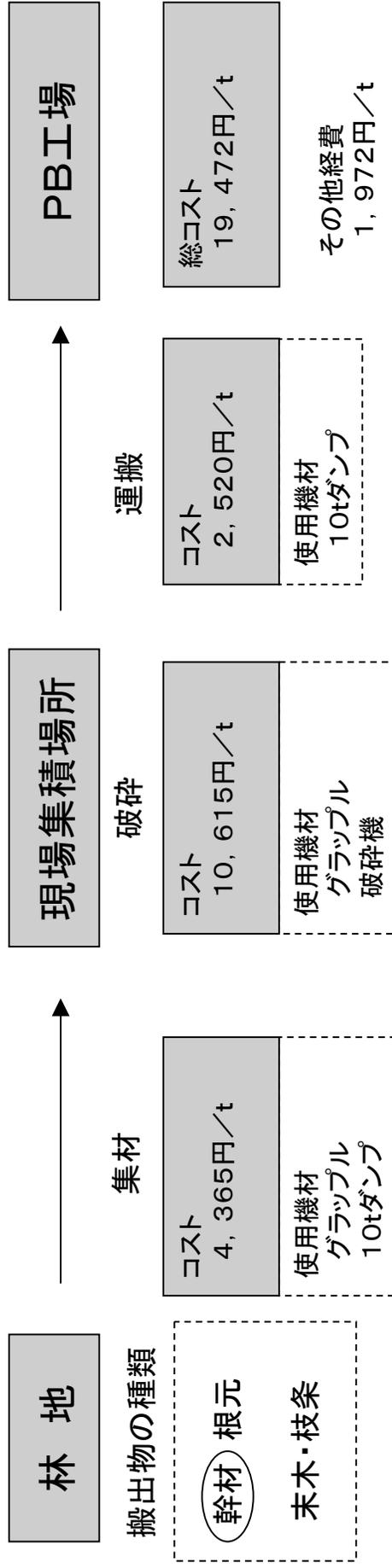
備考

- ・総コストには「調査費」、「重機運搬費」、「仮ヤード組立」等の「その他経費」を含む。
- ・枝が多く乾燥していたため、破砕効率が悪かった。

図4.2 林地残材の活用事例

苫小牧市樽前地区 (株)イワクラ

林地の状況
 ・樹種—トドマツ、赤エゾマツ ・PB工場までの距離—28km
 ・面積—25ha ・搬出—19年9～12月 ※風倒木の処理跡地(伐採は19年3月頃)



移動式チップパーによる破砕

備考

- ・総コストには「調査費」、「重機運搬費」、「仮ヤード組立」等の「その他経費」を含む。
- ・幹が多く破砕しやすかったため、効率が良かった。

搬出量(材積はチップ換算)
 641t (3,077m³)
 ※チップ換算
 密度0.21t/m³

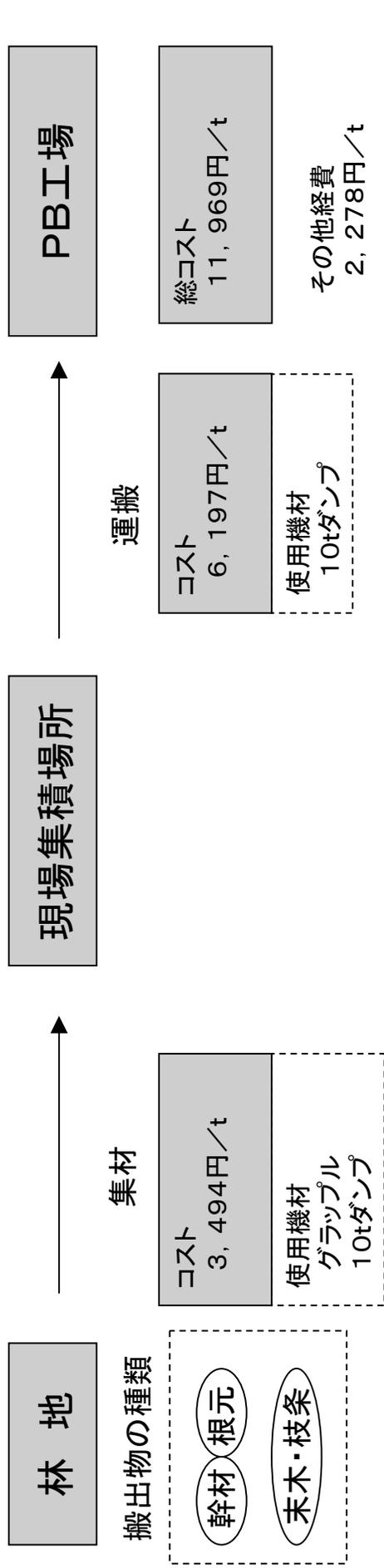


林地残材の集材

図4.3 林地残材の活用事例

苫小牧市啓明地区 (株)イワクラ

林地の状況
 ・樹種—トドマツ、広葉樹
 ・面積—7ha
 ・PB工場までの距離—21km
 ・搬出—19年12月 ※風倒木の処理跡地(伐採は18年11月頃)



林地残材の集材



集積場所からの運搬

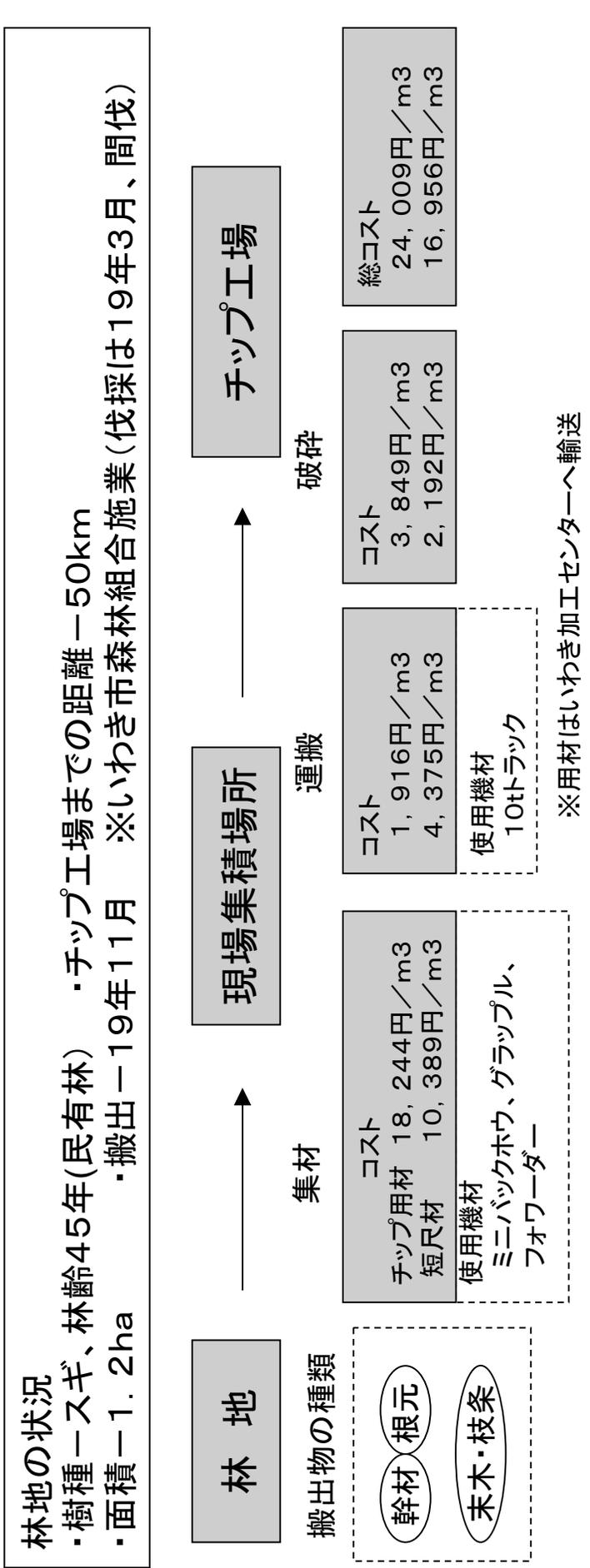
搬出量 114t

備考

- ・総コストには「調査費」、「重機運搬費」等の「その他経費」を含む。
- ・運搬の際の、積み込み材積が少ないことが問題。

図4.4 林地残材の活用事例

いわき市三和町差塩地区 遠野興産(株)



林地残材の状況



グラブプルによる集材

搬出量

用材	20t (21m ³)
パルプ用材	42t (33m ³)
短尺材	2.6t (3.6m ³)

備考

・既間伐現場に作業道を作成し、グラブプルでフォワーダーに積み込み、林道脇の土場まで輸送。

図4.5 林地残材の活用事例

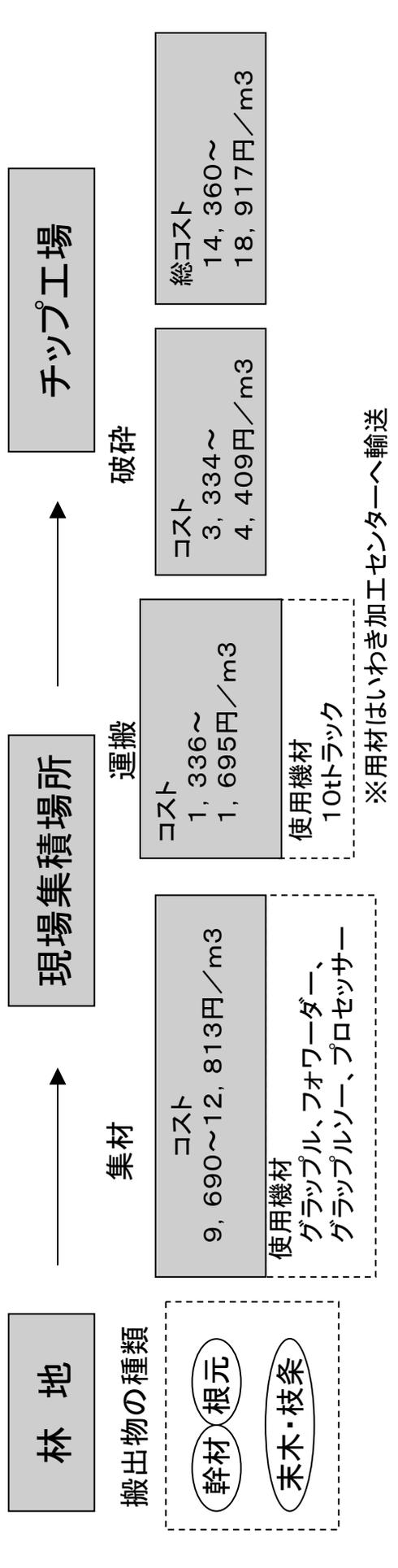
いわき市山田町田中地区 遠野興産(株)

林地の状況

- ・樹種－広葉樹、雑木95%、針葉樹5%(民有林)
- ・面積－4.7ha
- ・搬出－19年11月～20年1月

・チップ工場までの距離－3km

※Eウッド施業(伐採は19年3月、皆伐)



実証試験地の状況



枝、葉の搬出

搬出量(広葉樹雑木、皆伐)
用材 60t (60m³)
パルプ用材 807t (568m³)
枝、葉 140t

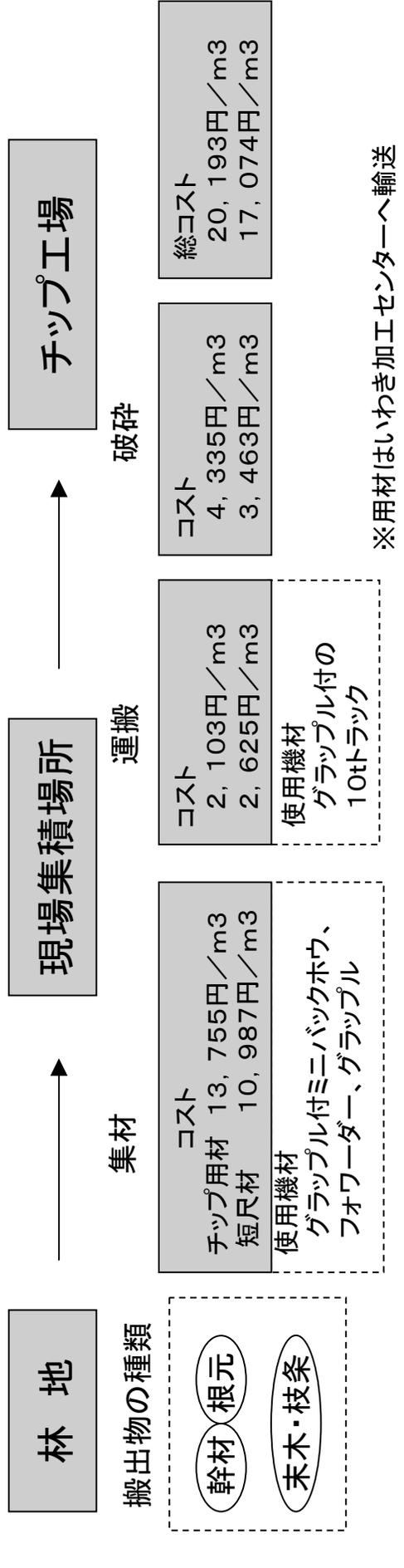
備考

・枝、葉は容積20m³のトラックに2トン程度しか積み込み不能で、輸送効率が低い。

図4.6 林地残材の活用事例

いわき市三和町上市萱地区 遠野興産(株)

林地の状況
 ・樹種－スギ、林齢45年(共有林) ・チップ工場までの距離－36km
 ・面積－3.4ha ・搬出－19年11月～12月 ※いわき市森林組合施業(伐採は19年10月、間伐)



林地残材の状況



グラップルによる集材

搬出量
 用材 110t (133m³)
 パルプ用材 65t (45m³)
 短尺材 14t (12m³)

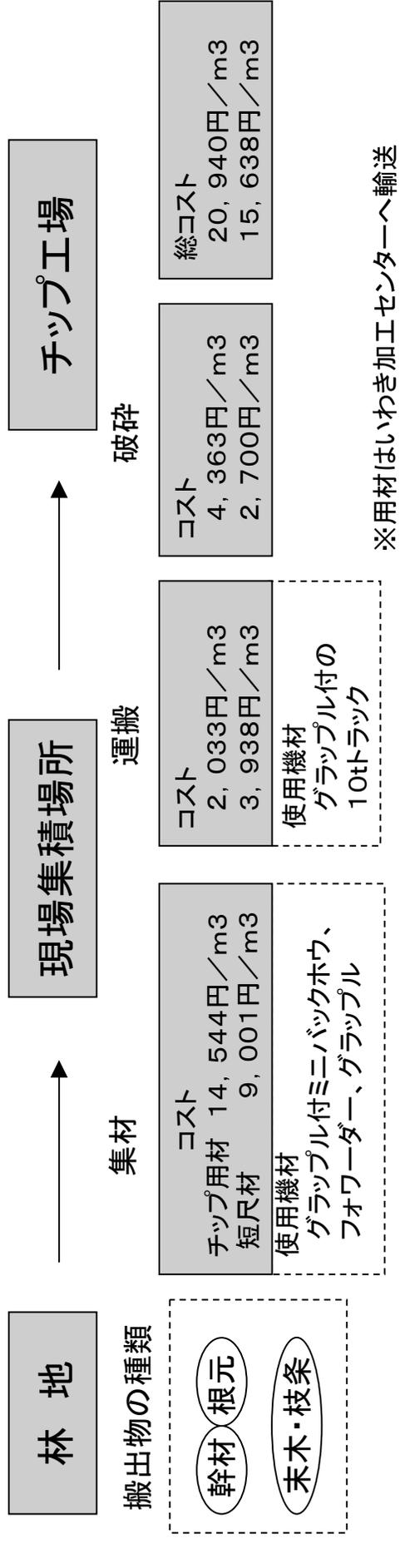
備考

・既間伐現場に作業道を作成し、グラップル付のフォワーダーに積み込み、林道脇の土場まで輸送。

図4.7 林地残材の活用事例

いわき市三和町上三坂地区 遠野興産(株)

林地の状況
 ・樹種－スギ、林齢40年(民有林) ・チップ工場までの距離－43km
 ・面積－1.1ha ・搬出－19年12月 ※いわき市森林組合施業(伐採は19年10月、間伐)



林地残材の状況



林道脇の集積場所の状況

搬出量
 用材 40t (39m³)
 パルプ用材 56t (39m³)
 短尺材 3.6t (4m³)

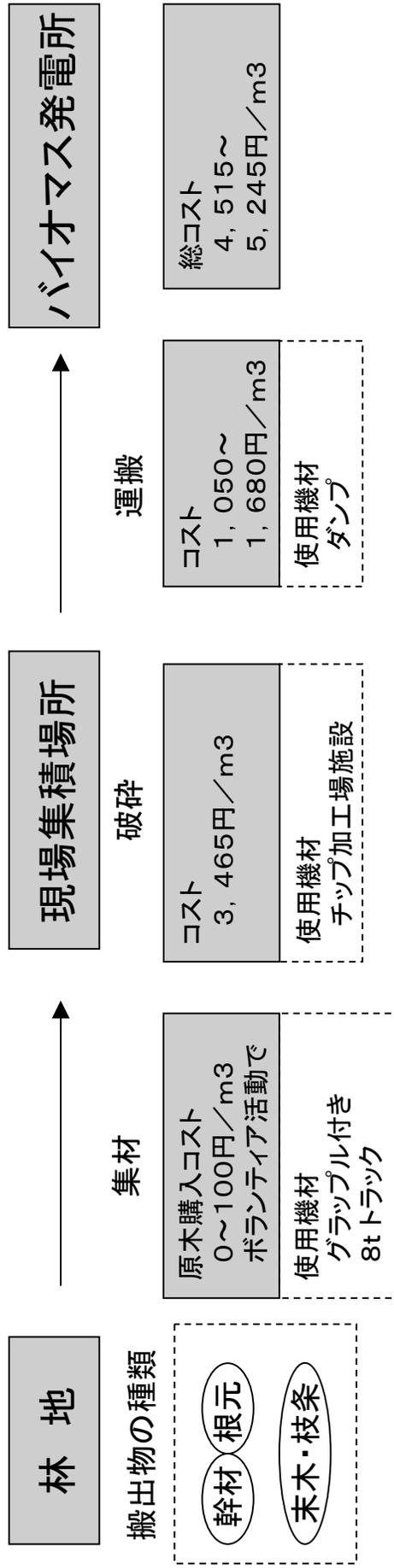
備考

- ・林道からの距離が離れているため、一度林外の土場までフォワーダーで搬出し、再度フォワーダーに積み換えて、林道脇の土場まで輸送。

図4.8 林地残材の活用事例

ちちぶバイオマス元気村発電所(秩父市)

林地の状況
 ・樹種－スギ、ヒノキ、カラマツ(市有林、民有林)
 ・面積－不明
 ・搬出－19年9月～20年2月 ※立木売払い地から搬出(伐採は18～19年頃)



林地残材の輸送



チップ加工場の状況

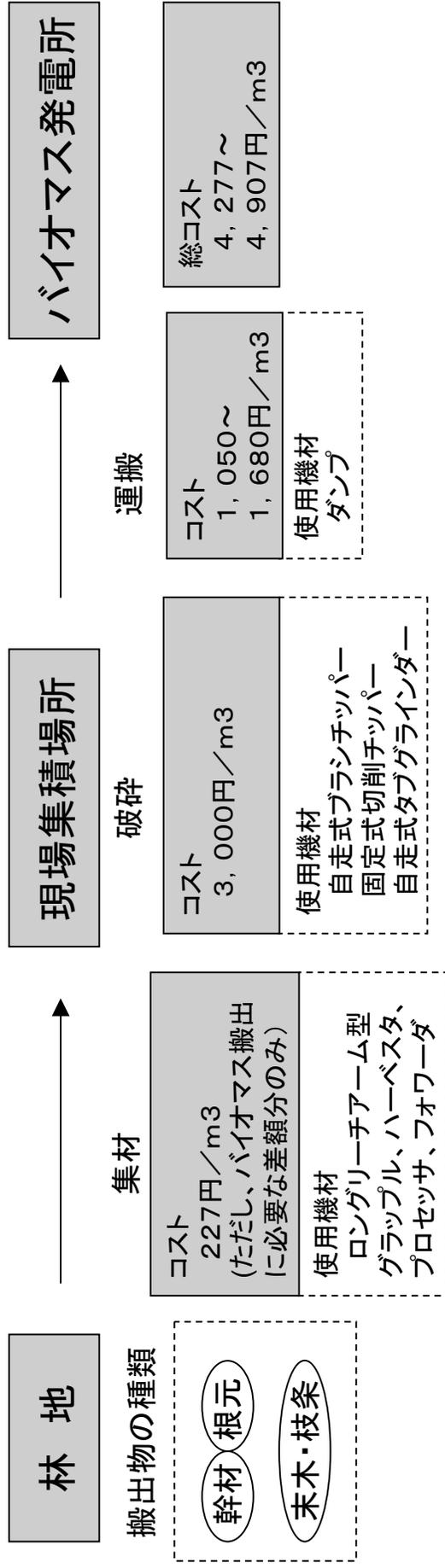
搬出量(材積は原木換算)
300m³

図4.9 林地残材の活用事例

ちちぶバイオマス元気村発電所(秩父市)

林地の状況

- ・樹種—スギ33～41年生、ヒノキ36～40年生、カラマツ27年生(市有林)
- ・面積—5.3ha ・搬出—19年11～12月 ※保育事業として30%間伐を実施



ロングリーチャー型グランプルによる集材



自走式ブラシチップパーによるチップ化

搬出量(材積は原木換算)

素材 185m³
バイオマス 40m³

図4. 10 林地残材の活用事例

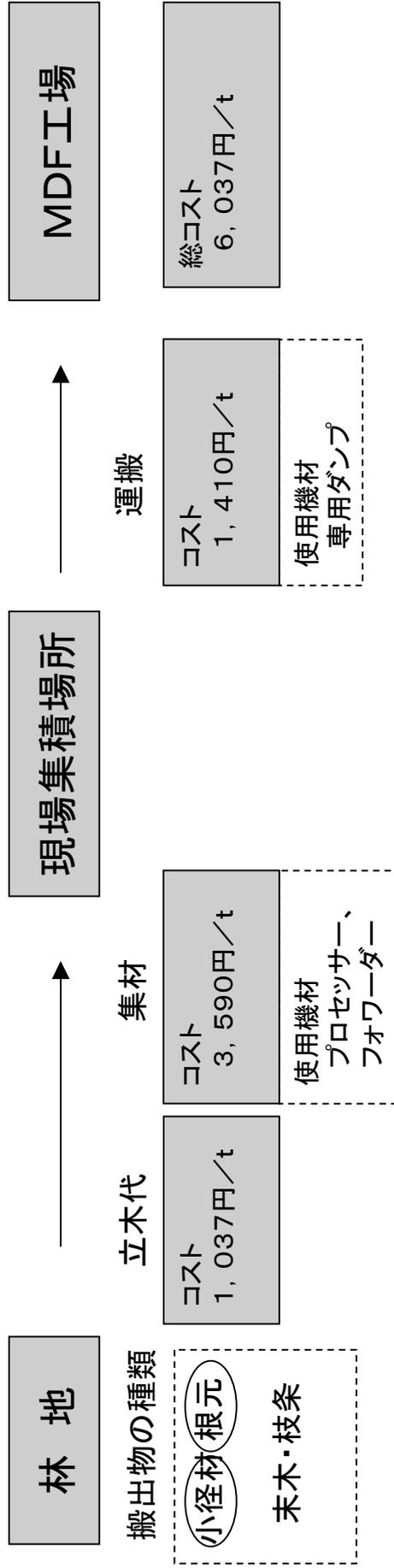
徳島県那賀町水崎地区 エヌ・アード・イー(株)

林地の状況

- ・樹種—スギ、林齢45～57年(県有林)
- ・面積—10.5ha

・MDF工場までの距離—55km

・搬出—19年10～12月 ※伐採も同時期、間伐



列状間伐



フォワーダー積込み

搬出量

A, B材 737m³

C材 202ton (170m³)

※材積換算率は 0.843m³/ton

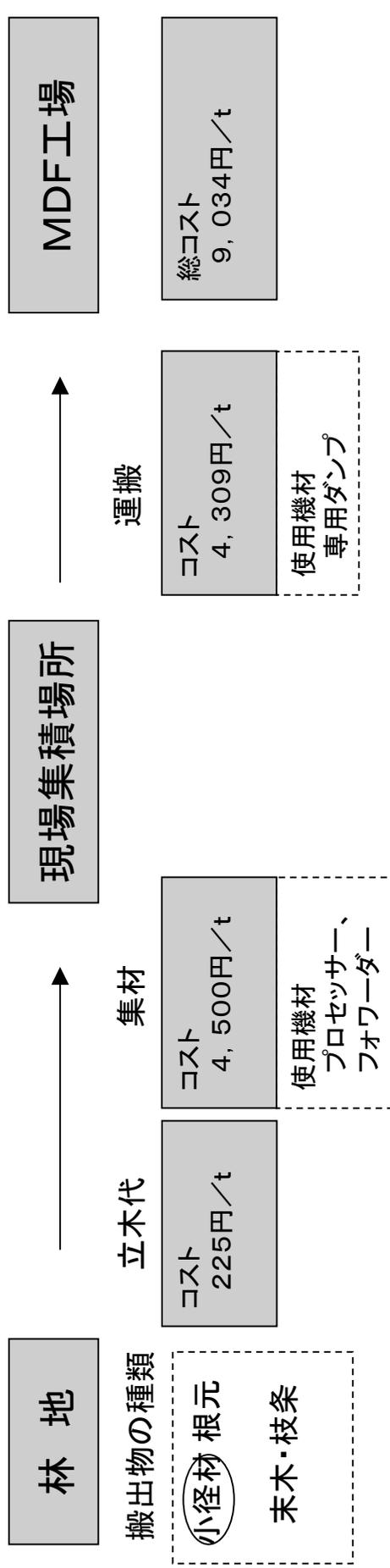
備考

- ・間伐は徳島県「新間伐システム」に従って実施。
- ・全木集材し、林内で造材後、林道まで小運搬。

図4.11 林地残材の活用事例

徳島県三好市東祖谷小川地区 エヌ・アランド・イー(株)

林地の状況
 ・樹種—スギ、林齢40～60年(私有林) ・MDF工場までの距離—90km
 ・面積—10.3ha ・搬出—19年11月～20年2月 ※伐採も同時期、主伐



伐採現場



プロセッサ—造材

搬出量
 A,B材 4,953m³
 C材 1,697ton (1,431m³)
 ※材積換算率は 0.843m³/ton

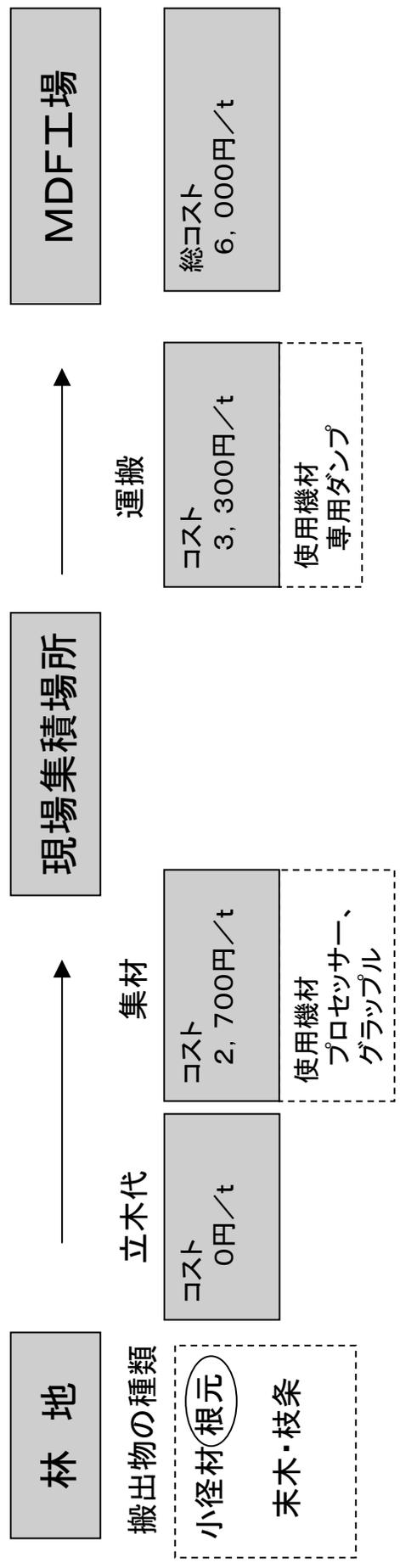
備考

- ・林道まで全木集材し、プロセッサで造材後、用材と端材に仕分け専用ダンプに積込み。

図4.12 林地残材の活用事例

高知県東洋町地区 エス・アンド・イー(株)

林地の状況
 ・樹種－スギ、林齢50～60年(県有林)
 ・面積－4.0ha
 ・MDF工場までの距離－80km
 ・搬出－19年12～20年2月 ※伐採も同時期、主伐



架線集材



林地残材

搬出量
 A,B材 1,271m³
 C材 457ton (385m³)
 ※材積換算率は 0.843m³/ton

備考
 ・架線集材し、プロセッサーで造材。

平成19年度林野庁補助事業
木質バイオマス利活用推進対策事業

平成19年度木質バイオマス利活用 地域モデル実践事業成果報告書

発行：2008年（平成20年）3月
社団法人 全国木材組合連合会

〒100-0014
東京都千代田区永田町2丁目4番地3号永田町ビル6階
TEL (03) 3580-3215(代表) FAX (03) 3580-3226

URL <http://www.zenmoku.jp>
