

令和6年度林野庁補助事業成果発表(セミナー)
「地域エコシステム」技術開発・実証事業

皆伐再造林と連動した
枝条残材チップ製造・供給システムの開発
フェーズ2

令和7年2月21日
一般社団法人ゼロエミやまなし



一般社団法人

ゼロエミやまなし

事業の背景

事業参画者

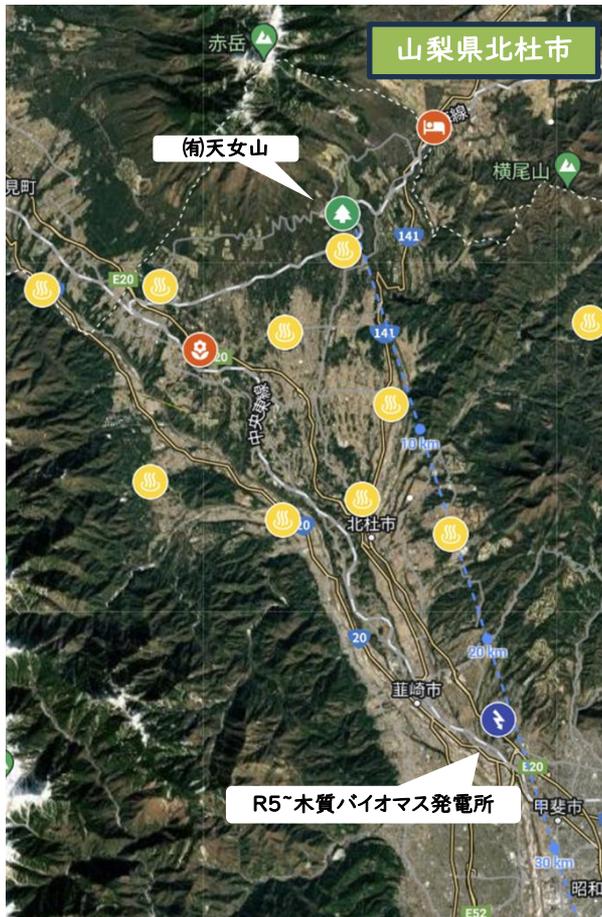
(一社)
ゼロエミ
やまなし

(有)天女山

(株)森の
エネルギー
研究所

(株)日比谷
アメニス

地域の温浴施設等へ
小型木質バイオボイラーの
導入を検討中。



林業視点

枝条は再造林作業に
支障

全国的な課題

枝条を『なくしたい』

バイオマス視点

燃料需給の逼迫

競合しない原料が
必要

枝条を『つかいたい』

枝条を木質バイオマス
ボイラーの燃料として
利用できないか？

枝条の運搬コストは？

チップの品質は？

土砂の混入は？

事業のテーマと目的

皆伐再造林と連動した 枝条残材チップ製造・供給システムの開発

1. 『枝条の利用を前提とした』チップ製造供給システムを構築する。
2. 小型木質バイオマスボイラーに供するチップの品質を確保する。
3. レーザードローン測量で枝条の資源量を把握する。

事業実証地の概要

項目	概要
実施年度	令和6年度
所在地	北杜市
所有者	個人所有者
面積	0.90 ha
気象データ	平均気温 10.7度
標高	1,060~1,080m
樹種	カラマツ・アカマツ・一部モミ等 (カラマツ約9割 人工林)
樹齢	71・73年生
平均勾配	13.46% (南→北全長方向)
皆伐後の利用	再造林予定



皆伐再造林と連動した 枝条残材チップ製造・供給システムの開発

目的

- 『枝条の利用を前提とした』チップ製造供給システムを構築する。

目標

- ・グラップルフォークを使うことにより地拵え経費の削減。
- ・バイオマスフォワーダを利用することによる運搬コストの削減。
- ・枝条の林内残置をできるだけ低減。
- ・チップー稼働効率上昇による生産性の向上。

小型木質バイオマスボイラーの燃料として
供給可能なチップの生産コスト(19円/kg)

1. 『枝条の利用を前提とした』チップ製造供給システムを構築

実施内容

『枝条の利用を前提とした』



項目	① 造材(枝払い) ・枝条の集積	② 林内運搬	③ チップ生産・搬出 (山土場)
作業項目	<ul style="list-style-type: none"> ・全幹集材 ・ハーベスタ造材 ・作業道沿いに棚状に枝条を集積 ・棚での自然乾燥 ※棚の高さ約2~2.5m、 ※乾燥2~3ヶ月間 	<ul style="list-style-type: none"> ・グラップルフォークにてバイオマスフォワーダに枝条積込・圧縮・運搬 ※土砂混入軽減のため、枝条はフォワーダ積込前にグラップルフォークにてふるう 1~2回高所より落下させる 	<ul style="list-style-type: none"> ・枝条のチップング ・車載式チッパーとコンテナ2台使用による稼働効率の向上
作業員数	1~2名	1名	1名
使用機械	<ul style="list-style-type: none"> ・ハーベスタ x 1 (0.45m³ベース) ・木材グラップル x 1 (0.45m³ベース) 	<ul style="list-style-type: none"> ・グラップルフォーク x 1 (0.45m³ベース) ・バイオマス対応型フォワーダ x 1 	<ul style="list-style-type: none"> ・木材グラップル x 1 (0.1m³ベース) ・車載型中型ドラムチッパー x 1 ・10m³コンテナ x 2

1. 『枝条の利用を前提とした』チップ製造供給システムを構築

実証結果

本システム適用での枝条チップ製造原価は

21.1円/kg (33.9%W.B.※)

※本実証での枝条チップ平均水分

+

地拵え経費削減分 -3.6円/kg (同上)

地拵え削減分を含むチップ製造原価は 17.5円/kg (同上)

小型木質バイオマスボイラーの燃料に供することができる価格水準

主な要因

- ① チッパー等の稼働率上昇による1日当たりチップ製造量の増加
R5 8.8t/日 → R6 16.5t/日 (大幅に増加)
- ② 集積枝条の残分の減少と歩留まりの改善
歩留まり R5 54.9% → R6 71.4% (大幅な改善)
- ③ 皆伐面積あたりの枝条チップ生産可能量の増加
R5 28.5 t /ha → R6 63.4 t /ha
- ④ 地域内エコシステムの事業規模に適した設備構成への改善

1. 『枝条の利用を前提とした』チップ製造供給システムを構築

① 造材(枝払い)・枝条の集積

実施内容

ハーベスタ造材で発生した枝条を木材グラップルで棚状に集積



ハーベスタ造材



造材後の枝条の状況



枝条集積棚を作成
(サイズは概ね高さ3m以内、長さ10m)

得られた成果

- 通常の地拵えに比べ主に重機を利用することによる人員の削減。
- 全幹集材をし、ハーベスタによる枝払いをすることで、枝条を集め易くなり、土砂の混入を低減することができる。
- 皆伐地は、材のストックヤード・乾燥場所になる。



1. 『枝条の利用を前提とした』チップ製造供給システムを構築

① 造材(枝払い)・枝条の集積

□ 通常の地拵えに比べ主に重機を利用することによる人員の削減。

『今回の皆伐地』と、『他の皆伐地』での地拵えに係る作業効率を比較

皆伐地 (今回の実績)	他の皆伐地 (有)天女山 実績)
<ul style="list-style-type: none">・皆伐地面積: 0.90 ha・全枝条集積所要日数: 約5.5日間	<ul style="list-style-type: none">・機械地拵え実施面積: 1.08ha・機械地拵え所要日数: 8.0日間
<p>→ 枝条集積効率: 0.164 ha/日</p>	<p>→ 地拵え作業効率: 0.135 ha/日</p>



- ・オペレータ所感としても、通常の機械地拵えと同程度の作業負荷
- ・人力による地拵えの手直しの作業負荷を軽減

1. 『枝条の利用を前提とした』チップ製造供給システムを構築

② 林内運搬

実施内容

グラップルフォークとバイオマスフォワーダを利用して、枝条を棚から土場に運搬



枝条をつかむ・ふるう・落とす



枝条を満積載まで積載



土場へ運搬

得られた成果

- 枝条は、グラップルフォークで積込むことによって、土砂の混入を軽減することができる。
- グラップルフォークを使うことで、一度に多くの枝条を積込むことができる。
- バイオマスフォワーダを利用することで、一回の運行で約2.1トンの枝条を運搬できる。
(通常のフォワーダに比べて少なくとも2倍以上)
- 集積枝条の残分を大幅に減少することができる。R5:26.9% → R6:8.8%

※グラップルフォーク：イワフジ工業(株)の林地残材用アタッチメント。幅の広い頑強なフォークが、枝条や短尺材等の林地残材を効率的に集積。

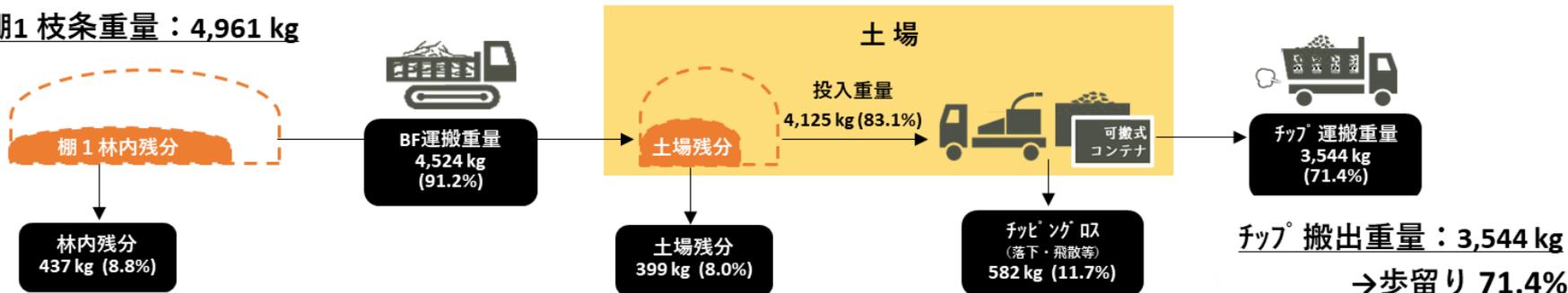
※バイオマスフォワーダ：(株)諸岡のバイオマス対応型フォワーダ。拡張構造の荷台幅は、通常フォワーダに対して最大約1.8倍。

1. 『枝条の利用を前提とした』チップ製造供給システムを構築 システム全体を通じての歩留り

・林内残分(=ロス)重量比が減少 R5:26.9% → R6:8.8%

・林内集積枝条～チップ搬出に至る歩留りが改善 R5:54.9% → R6:71.4%

棚1 枝条重量：4,961 kg



(令和6年度)

【棚1 → 土場 → チップ】

棚1 枝条重量 …① (kg)	4,961	BF枝条運搬重量 …② (kg)	4,524	チップ重量 …④ (kg)	3,544
棚1 残材重量 (kg)	437 9%	土場残材重量 (kg)	399 9%	チップかさ比重 (kg/m ³)	276.7
棚1 集積層積 (m ³)	48.8	チップ投入材重量 …③ (kg)	4,125	チップ容積 (m ³)	12.8
棚1 残材層積 (m ³)	2.1 4%			分離微細チップ (kg)	8
(参考値)		BF運搬歩留り(=②/①) (%)	91.2%	チップング歩留り(=④/③) (%)	85.9%
集積枝条かさ比重 (kg/m ³)	101.7	チップ投入歩留り(=③/②) (%)	91.2%	チップ/土場枝条歩留り(=④/②) (%)	78.3%
				チップ/林内枝条歩留り(=④/①) (%)	71.4%

R6 工程別重量・ロス比率

	重量 (kg)	ロス重量 (kg)	ロス比率 (%)
集積枝条重量	4,961	-	-
BF材運搬重量	4,524	437	8.8%
チップ投入重量	4,125	399	8.0%
チップ製造重量	3,544	582	11.7%
		ロス比率計	28.6%

(令和5年度)

R5実証【南-1,3 → BF材② → MRC3000】

南-1,3 枝条重量 …① (kg)	2,587	BF枝条運搬重量 …② (kg)	1,890	チップ重量 …④ (kg)	1,420
南-1,3 残材重量 (kg)	697 27%	土場残材重量 (kg)	172 9%	チップかさ比重 (kg/m ³)	248.6
南-1,3 集積時体積 (m ³)	28.0	チップ投入材重量 …③ (kg)	1,718	チップ容積 (m ³)	6.1
(参考値)		BF運搬歩留り(=②/①) (%)	73.1%	チップング歩留り(=④/③) (%)	82.6%
集積枝条かさ比重 (kg/m ³)	92.4	チップ投入歩留り(=③/②) (%)	90.9%	チップ/土場枝条歩留り(=④/②) (%)	75.1%
				チップ/林内枝条歩留り(=④/①) (%)	54.9%

R5 工程別重量・ロス比率

	重量 (kg)	ロス重量 (kg)	ロス比率 (%)
集積枝条重量	2,587	-	-
BF材運搬重量	1,890	697	26.9%
チップ投入重量	1,718	172	6.6%
チップ製造重量	1,420	298	11.5%
		ロス比率計	45.1%

1. 『枝条の利用を前提とした』チップ製造供給システムを構築

③ チップ生産

実施内容

車載型チッパーとコンテナの2台の運用による枝条チップの生産



車載型チッパー Biber6



木材グラップル0.1m3



チップ搬出用コンテナ2基



アームロール車

得られた成果

- 4t車に搭載可能なチッパーを導入することにより多くの現場で利用できる。
- コンテナを2台運用することで、チッパーの稼働効率を上げチップの製造コストを下げることができる。
- グラップルの操作員一人でオペレーションが可能であり、人員を削減することができる。

※ R5年度に実施した枝条チップングの結果と比較すると、

生産効率 R5年度:2.97 t/h(出力186.5kW) → R6年度:2.13t/h(出力55kW)

→出力差ほどの生産効率の低下はみられなかった。

1. チップ製造原価試算、分析・評価

試算条件①：想定スケジュール・所要日数推計

作業工程	土場への 枝条集材運搬	土場での 枝条チップ化	チップ運搬(10m ³)	
	グラブ・ルフォーク + バ イオマスフォワーダ	グラブ + 車載型チップパー	4t深ダンプ (脱着式コンテナ ①)	4t深ダンプ (脱着式コンテナ ②)
サイクルタイム	35分(0.58h) (片道約130m)	80分(1.33h) (チップ10m ³ 製造)	往復60分(1h) (10km圏内運搬想定)	
作業員数	1名	1名	1名	
8:00	↓	↓	---	↓
8:30	↓	↓	---	↓
9:00	↓	↓	---	↓
9:30	↓	↓	↓	---
10:00	↓	↓	↓	---
10:30	↓	↓	---	↓
11:00	↓	↓	---	↓
11:30	↓	↓	---	↓
12:00	休憩	休憩	休憩	
12:30	↓	↓	---	↓
13:00	↓	↓	↓	---
13:30	↓	↓	↓	---
14:00	↓	↓	---	↓
14:30	↓	↓	---	↓
15:00	↓	↓	---	↓
15:30	↓	↓	---	↓
16:00	残枝条整理	↓	↓	---
16:30	↓	↓	---	↓
17:00	↓	↓	---	↓
17:30	↓	↓	---	↓
18:00	↓	↓	---	↓
時間 (h/日)	0.58h x 10回 = 計 5.8 h	1.33h x 6回 = 計 8.0 h	1.0h x 6回 = 計 6.0 h	
重量(t/日)	2.1t x 10回 = 計 21.0 t/日	2.13t/h x 8h = 計 17.0 t/日	10m ³ x 0.275 x 6回 = 計 16.5 t/日	

凡例 ← 往復運搬
 --- コンテナへのチップ充填

・実証結果を踏まえ本システムで1日あたり想定 作業スケジュールを左記の通り組んだ場合、
 (設定条件)
 - 10m³コンテナ2基で運用
 - 熱需要家(チップ供給先)まで片道10km圏内、
 土場コンテナ脱着時間・ダンプ時間含め往復60分想定

➡チップ製造・搬出量:
 $10\text{m}^3\text{コンテナ} \times 6\text{回分} \times 0.275\text{t/m}^3$
 $= 16.5\text{t/日}$ ※枝条チップ平均かさ密度

➡本皆伐地での枝条チップ重量:
 枝条資源量79.94t(推計値)に対し、
 枝条チップ化歩留り71.4%とした場合、
 $79.94\text{t} \times 71.4\% = 57.08\text{t}$

➡全枝条チップ化所要日数:
 $57.08\text{t} \div 16.5\text{t/日} = 3.46\text{日} \div 3.5\text{日間}$

・チップ生産効率には改善余地あり
 …土場残分増運用、一部丸太併用、ホレタ習熟等

・「地域内エコシステム」における熱利用事業規模として必要十分なチップパー規模・設備構成と考える。

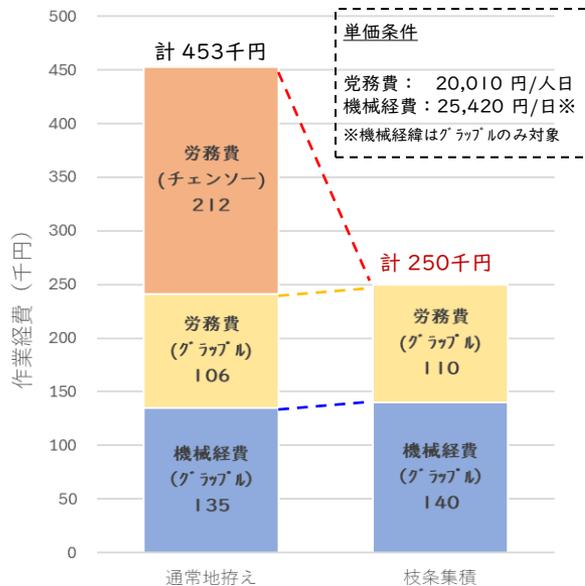
1. チップ製造原価試算、分析・評価

試算条件②：地拵え経費削減額

本皆伐実証地(0.9ha)における枝条集積作業と通常地拵えを実施した際のコスト試算

➡ 通常地拵え 453千円 - 枝条集積 250千円 = **203千円の経費削減**

- ・ 通常地拵え … 所要日数: 5.3日、作業員数: グラップル作業員1名+チェンソー作業員2名(計3名)
- ・ 枝条集積 … 所要日数: 5.5日、作業員数: グラップル作業員1名(計1名)



通常地拵え



枝条集積

- ・ 枝条集積と通常の地拵えでは、機械作業（グラップル）に伴う労務負荷・所要日数に大きな差は生じない。
- ・ 地拵えではグラップル作業員その他、棚整形のためにチェンソー作業員が並行作業を行うことが多いが、枝条集積に関してはグラップル操作員のみで作業が完遂できる。

➡ チェンソー作業員が不要となる **枝条集積の方が、人工が少なく経費を削減できる。**

1. チップ製造原価試算、分析・評価

チップ製造原価 試算結果 (本実証地0.90ha、前述作業スケジュールにて3.5日間稼働を想定)

【重機・費目別コスト積算】

項目		① G _F : グラブ ルフォーク(0.45)	② BF: ハイオマスフォワード	③ G _N : グラブ ル(0.1)	④ チッパー: 車載型チッパー	⑤トラック: 4t深ダンプ (8m3)	費目別コスト(千円)	チップkgあたり(円/kg)
重機償却/レンタル費	(千円)	168	105	63	119	137	591	10.4
購入重機 保守・修理費	(千円)		69		74	27	171	3.0
燃料費	(千円)	15	17	13	24	10	81	1.4
労務費*	(千円)	42	42	42	42	84	252	4.4
回送費	(千円)	36	36	36			108	1.9
重機別コスト	(千円)	261	270	154	260	258	1,203	
チップkgあたり	(円/kg)	4.6	4.7	2.7	4.6	4.5		21.1

※労務費：①・②を1名で兼任、③・④を1名で兼任、⑤で1名の計3名体制を想定して試算

【工程別コスト積算】

経費収支	単位	金額(千円)	チップkgあたり(円/kg)	備考
1. 地拵え削減コスト		-203	-3.6	別紙、地拵え経費削減額試算参照
2. 枝条集材		531	9.3	① G _F + ② BF
3. 林内チップ化		414	7.3	③ G _N + ④ チッパー
4. チップ運搬		258	4.5	⑤トラック
経費収支 計		1,001	17.5	
チップ製造原価				
5. チップ製造量	(t)	57.1		
6. チップ製造原価	(円/kg)		17.5	

・地拵え経費削減分を除く
本システム適用でのチップ製造原価は
21.1円/kg (33.9%W.B.※)

※本実証での枝条チップ平均水分

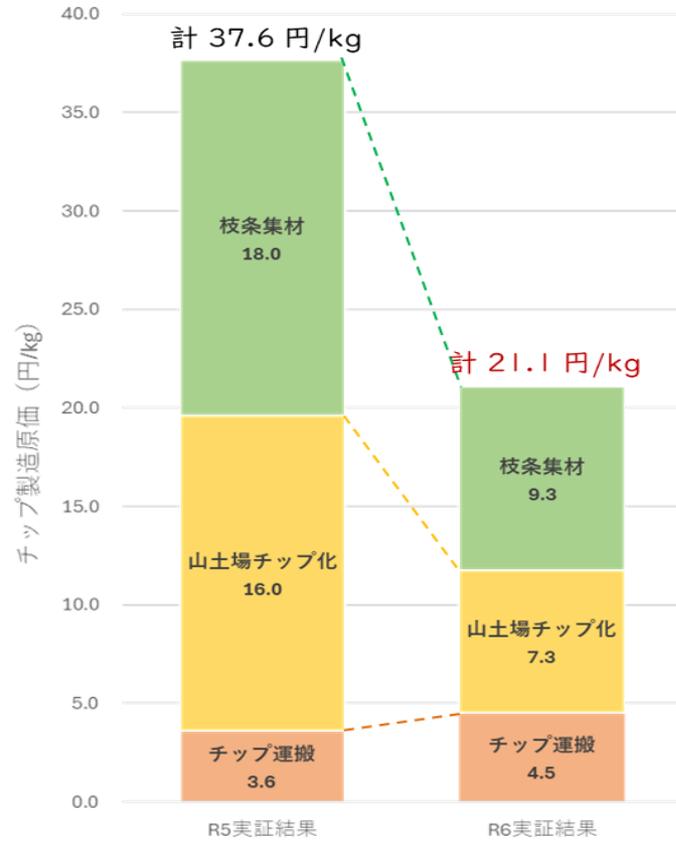
・地拵え経費削減分を含む本システム適用
でのチップ製造原価は **17.5円/kg**
(同上)

地域内エコシステム熱利用に
供することができる価格水準

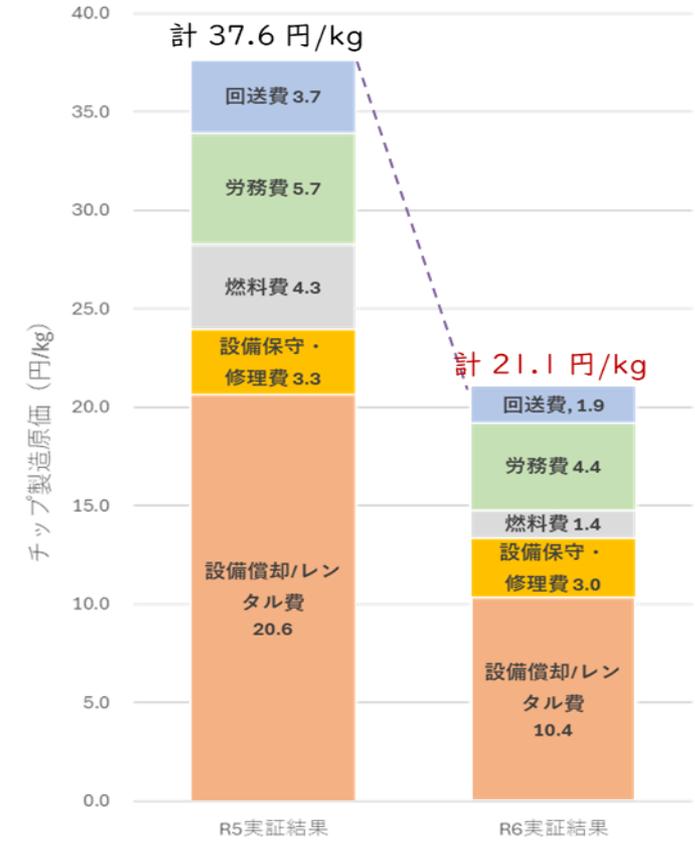
1. チップ製造原価試算、分析・評価

枝条チップ製造原価の 令和5年度と6年度の比較

項目		R5実証結果	R6実証結果
皆伐面積	(ha)	1.49	0.90
枝条チップ 搬出量推計	(t)	42.4	57.1
単位面積チップ 搬出量	(t/ha)	28.5	63.4
枝条チップ 化所要日数	(日)	5.0	3.5
日単位チップ 搬出量	(t/日)	8.5	16.3



チップ製造原価比較_工程別内訳



チップ製造原価比較_費目別内訳

1. チップ製造原価試算、分析・評価

チップ製造原価 昨年度との差額要因分析

工程	R5・R6比較結果	要因分析
枝条集材	18.0 → 9.3 円/kg (8.7円/kg、48.5%減)	<ul style="list-style-type: none"> ・後段のチップ搬出体制を改善したことで、バイオスワローダ稼働率が向上 運搬可能回数：R5: 6回/日 → R6: 10回/日 ・バイオスワローダ 枝条運搬重量の再検証・補正 R5: 1.8t/回 → R6: 2.1t/回(低限值)
山土場チップ化	16.0 → 7.3 円/kg (8.7円/kg、54.6%減)	<ul style="list-style-type: none"> ・車載型小型チップパー採用にて、生産効率は約2/3に減少、 他方、チップパー設備投資額は1/2以下、 時間当たり燃料消費量も1/3以下に削減（※エンジン出力も1/3以下） ・後段のチップ搬出体制を改善したことで、山土場でのチップ稼働率が向上、 日単位チップ製造・搬出可能量が増加 R5: 8.8t/日 → R6: 16.5t/日
チップ運搬	3.6 → 4.5 円/kg (0.9円/kg、24.9%増)	<ul style="list-style-type: none"> ・車載型小型チップパー採用に伴い、チップパー回送とチップコンテナ運搬を 車両1台で兼用することを想定。7トン(増ト)コンテナ専用車および 10m³コンテナ2基の設備投資を想定※したことにより、機械経費が増加。 ※R5は4トン深ダンプ(8m³)1台のレンタルにて試算実施

【システム全般】

皆伐面積あたりの枝条チップ製造可能量が大幅増加 R5: 28.5 t/ha → R6: 63.4 t/ha (約2.2倍)

・主要因①: バイオマス利用を前提とした機械造材・集積

土砂分低減により全体の製造歩留り(重量%)が改善 … R5: 54.9% → R6: 71.4% (約1.3倍)

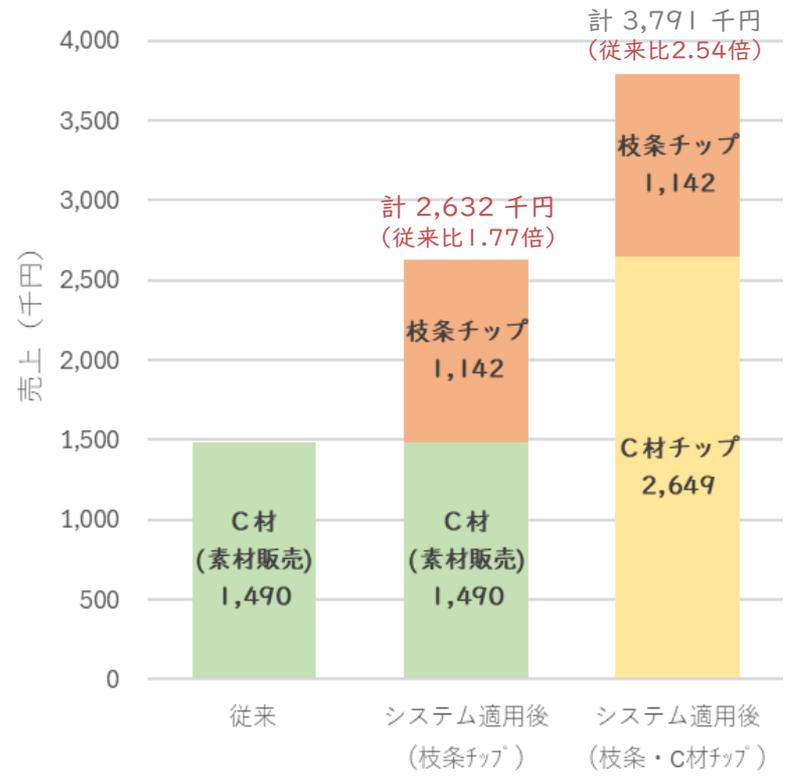
・主要因②: 皆伐地における枝条資源量の推計手法の変更・再検証

R5の枝条資源量(t)を少なく推計していた可能性有 … R5: 51.9 t/ha → R6: 88.8 t/ha
(約1.7倍)

1. 枝条チップ化による付加価値向上効果の分析

本実証地における売上実績と枝条チップ(熱利用)活用効果検証

- **枝条チップ販売により売上は1,142千円増、C材素材販売のみの従来比で売上1.77倍。**
枝条チップ製造原価17.5円/kg、販売単価20.0円/kgとすると、**利益は143千円増。**
- **なお、C材もチップ製造販売に活用した場合の総売上は3,791千円、従来比で売上2.54倍。**



C・D材出荷実績 (従来)

商材分類	材積/重量	販売単価	売上
C材 (チップ用素材販売)	201.38 m ³	7,400 円/m ³ **	1,490 千円
D材	0 t	0 円/t	0 千円
計	201.38 m ³		1,490 千円

※ 農林水産省 木材価格統計調査 木材チップ用素材価格(R5年度)より



C・D材(枝条)の熱利用向けチップ活用による経済効果 (本システム適用後)

商材分類	材積/重量	販売単価	売上
C材チップ (35.0%W.B.)	132.45 t ^{*1}	20,000 円/t ^{*2}	2,649 千円
D材(枝条)チップ (33.9%W.B.)	57.08 t	20,000 円/t ^{*2}	1,142 千円
計	189.53 t	20,000 円/t	3,791 千円

※1 C材 (チップ用素材)販売実績201.38(m³)に、カラマツ丸太比重 0.69(35%W.B.)、チップング歩留り95%を乗じて算出。
 ※2 燃料チップの平均販売単価は、市内温浴施設熱利用向けに販売する場合の想定単価 (20円/kg) を設定。

皆伐再生造林と連動した 枝条残材チップ製造・供給システムの開発

目的

2. 小型木質バイオマスボイラーに供する**チップの品質**を確保する。

目標

水分 : 35%W.B以下 (54%D.B.以下) の乾燥度合い

粒度分布 : 小規模チップボイラに適した品質 (P16・P26・P32)

灰分 : 土砂の混入を低減することで灰分を低い値に抑える

更なる品質の向上

粒度分布改善 : 簡易スクリーンによる**微細チップの除去機構**の検討

水分管理促進 : **透湿防水シートを布設**することによる乾燥・保管効果

2. 小型木質バイオマスボイラーに供するチップの品質(まとめ)

【品質の検証結果と考察】

= チップ品質 =

- 林地残材を原料とした木質チップでも、最終的に寸法P26,水分M35,灰分A1.0~1.5と、バイオマスボイラーに対する品質基準を概ね満たすことができる。

= 土砂の混入についての考察 =

- 重機による棚整形時や運搬積み込み時にふるいや落下作業を行うことで土砂分が低減し、製造したチップの灰分が求める品質基準を満たしたと考えられる。

枝条材チップの品質	
原料	皆伐地 林地残材
樹種	カラマツ
チップの種類	切削チップ
寸法区分	P26
水分区分	M35
灰分区分	A1.0 or A1.5
かさ密度	272.5 kg/m ³
高位発熱量	19.5 MJ/kg(dry)
炭素	51.0 %
水素	5.6 %
窒素	0.4 %

表4. 水分区分(到着ベース)

区分	水分 M (湿量基準含水率)	参考 (乾量基準含水率)
M25 (乾燥チップ)	≤25%	≤33%
M35 (準乾燥チップ)	26-35%	34-54%
M45 (湿潤チップ)	36-45%	55-82%
M55 (生チップ)	46-55%	83-122%

注) M>55%のチップは対象外

表5. 灰分区分

区分	灰分 %
A1.0	A≤1.0
A1.5	A≤1.5
A3.0	A≤3.0
A5.0	A≤5.0

表3. 寸法区分

区分	微細部	主要部	粗大部	最大長
	チップ重量の10%未満	チップ重量の80%以上	チップ重量の10%未満	
P16	<4mm	4-16mm	16-32mm	<85mm
P26	<4mm	4-26mm	26-45mm	<100mm
P32	<8mm	8-32mm	32-63mm	<120mm
P45	<16mm	16-45mm	45-90mm	<150mm

注) 寸法: ふるいの目開き寸法

2. 小型木質バイオマスボイラーに供するチップの品質(水分)

【枝条の乾燥試験】

試験目的:各棚における枝条の水分(W.B.)変化を把握(分析は含水率(D.B.)にて実施)
 品質目標:熱利用チップボイラ(35%W.B以下)に適した品質を獲得
 分析方法:各棚から太枝・細枝を初期・中間・最終の計3回採取し水分を測定

【測定試験区概要】

項目	棚①		棚②		棚③	
棚の設置位置	皆伐地の斜面上部		皆伐地の斜面中部		皆伐地の斜面下部	
透湿防水シート有無	シート有 (当初布設)	シート無	シート有 (当初布設)	シート無	シート有 (中間期布設)	シート無
対象物	枝条残材(カラマツ中心)				 サンプル(太枝・細枝)	
枝条棚設置期間	10/7~12/11					
サンプリング日	【枝条】実証前(伐採時):9/4 初期:10/7 中間11/11 最終12/9~11 【チップ】12/12					
分析内容	枝条およびチップ化後の水分(含水率)測定、かさ密度、粒度分布、灰分 等					

伐採



棚設置



棚試験終了



サンプリング



サンプリング



チップ化



2. 小型木質バイオマスボイラーに供するチップの品質(水分)

【枝条含水率の変化 秋期(R6)・夏期(R5)の比較】

目標 : 含水率を54%D.B.以下(水分35%W.B.以下)まで乾燥

開始時: 伐採直後含水率は7月-約70%D.B.(約41%W.B.) (R5)

9月-約81%D.B.(約44%W.B.) (R6)

結果: 夏期(R5): 伐採(7月)から約3か月間で約20%D.B.まで低下

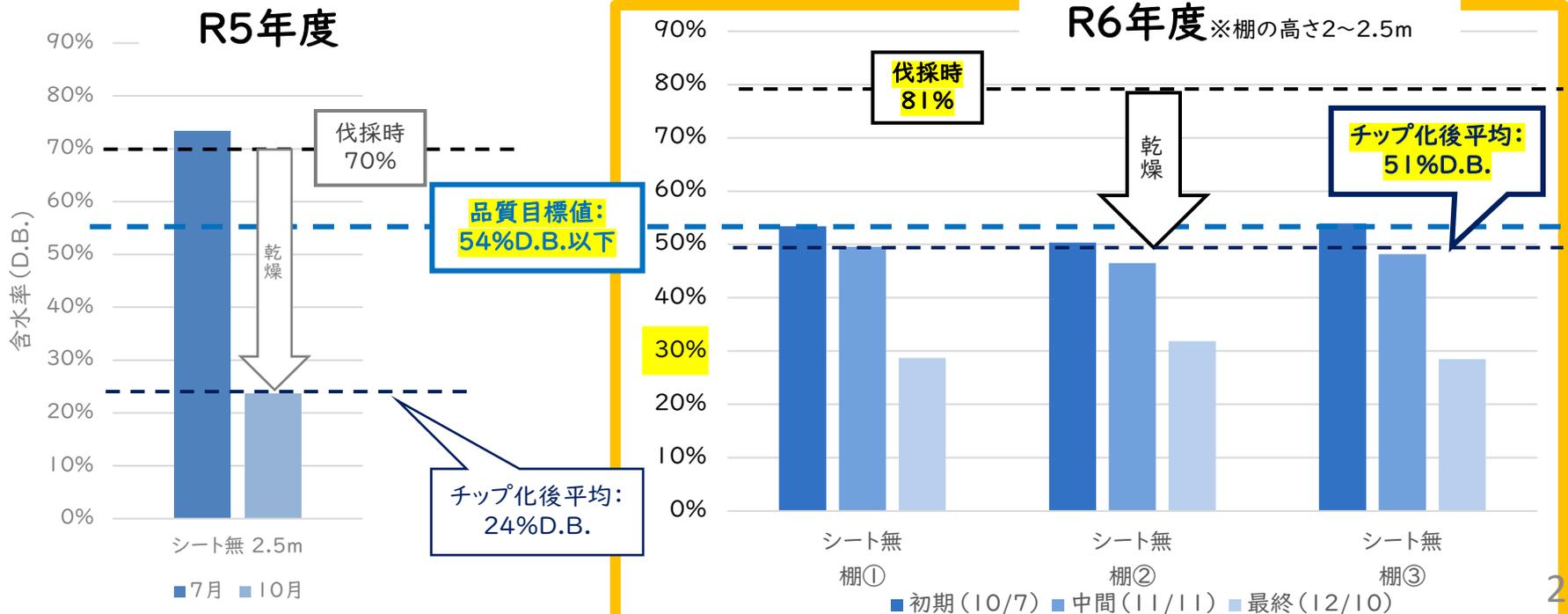
秋期(R6): 伐採(9月)から約3か月間で約30%D.B.まで低下

冬季(R6): 実証中

考察: 枝条とチップの含水率には差があるが、チップの状態では目標水分(含水率)を達成している。

夏季および秋季の結果から、春季~秋季は3ヶ月の乾燥期間で目標水分に達すると想定。

集積枝条の変化とチップ化後の含水率(D.B.)



2. 小型木質バイオマスボイラーに供するチップの品質(粒度分布)

【枝条チップの粒度分布分析】

試験目的:チップの品質確認項目として、粒度分布を測定。

品質目標:熱利用チップボイラに適した品質(P16・P26・P32)を獲得。

分析方法:チップサンプルを電磁式ふるい振とう機にて測定。

【結果】

- ・バイオマスエネルギー協会の規格ではP26相当。⇒バイオマスボイラの基準を概ね満たす。
- ・微細チップが10%を超える場合もあり、対策が求められる。

No.	径 (mm)	試験結果				ボイラメーカー 要求仕様
		1回目	2回目	3回目	平均	
①	63~	0.0%	0.0%	0.0%	1.5%	<6%
②	45~63	0.0%	0.6%	0.7%		
③	31.5~45	0.7%	1.3%	1.3%		
④	16~31.5	43.2%	41.3%	41.4%	88.8%	>60%
⑤	8~16	12.8%	12.9%	19.7%		
⑥	3.15~8	33.1%	32.3%	29.6%		
⑦	0~3.15	10.1%	11.6%	7.2%		
総重量		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	

本木質バイオマスエネルギー協会規格 P26相当 P26相当 P26相当

※日本木質バイオマスエネルギー協会規格はふるい径が異なるため近い径からの推定。

表3. 寸法区分

区分	微細部 チップ重量の10%未満	主要部 チップ重量の80%以上	粗大部 チップ重量の10%未満	最大長
P16	<4mm	4-16mm	16-32mm	<85mm
P26	<4mm	4-26mm	26-45mm	<100mm
P32	<8mm	8-32mm	32-63mm	<120mm
P45	<16mm	16-45mm	45-90mm	<150mm

注)寸法:ふるいの目開き寸法



粒度分布実施状況

※円形縮分法を用いて縮分を行った試料を利用

2. 小型木質バイオマスボイラーに供するチップの更なる品質向上①

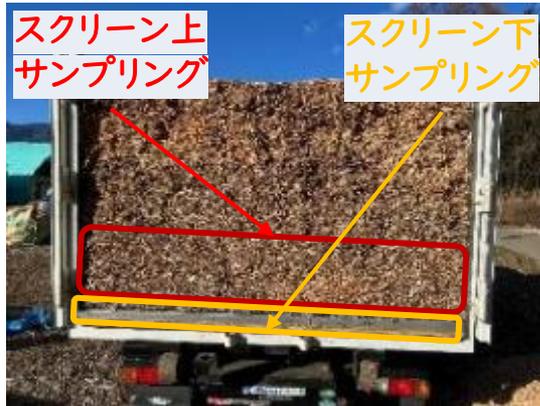
目的 : 簡易スクリーンによる微細チップの除去機構の検討

品質目標: 微細チップの重量割合10%未満

方法 : コンテナ底部にスクリーンを設置し、スクリーン上下でのサンプルを粒度分析

簡易スクリーン

5km運搬後のチップサンプリング



【粒度分布分析結果】

- スクリーン上側のチップは径0~3.15mmのチップが1.3~2.7%となり品質改善。

⇒スクリーンによるふるい効果を確認。

⇒コンテナ内下部のみではなく、チップ全体に対して効果が出るような機構・方法が必要。

スクリーン上側のチップの品質

No.	径 (mm)	枝条棚①	枝条棚②	参考:C材丸太
①	63~	0.0%	0.0%	0.0%
②	45~63	0.7%	0.7%	0.0%
③	31.5~45	2.0%	2.0%	0.7%
④	16~31.5	74.0%	70.2%	50.0%
⑤	8~16	8.7%	8.6%	16.7%
⑥	3.15~8	13.3%	16.6%	30.0%
⑦	0~3.15	1.3%	2.0%	2.7%
総重量		100.0%	100.0%	100.0%

2. 小型木質バイオマスボイラーに供するチップの更なる品質向上②

目的 : 透湿防水シートを枝条棚に布設することで、乾燥・保管効果を促進。

品質目標: シートの有無における効果を確認し、使用シーンを特定する。

【透湿防水シートの評価】

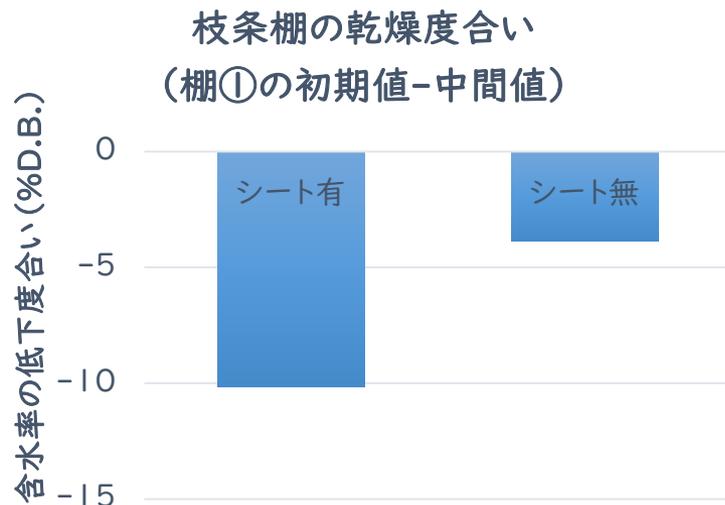
メリット:

- 降雨量の多かった最初の1か月(初期～中間)において、シートをかけた方が乾燥を促進。
- 降雪時にシートを布設することで、凍結防止・降雪付着防止の効果が想定(冬季試験中)。

デメリット:

- シートのかけはがしに手間が必要(特に枝条は引っかかりなどがある)。
- シートをかけた場合、降雨による土砂の洗い流し効果が弱まる可能性。

⇒ 対象物が枝条の場合、降雨量の多い時期にシートを布設することで、効果を得やすい。



皆伐再造林と連動した 枝条残材チップ製造・供給システムの開発

目的

3. レーザードローン測量で**枝条の資源量を把握**する。

目標

ドローン測量によって枝条棚の全体量を測定し、枝条資源量を推計するための換算係数を求める。(枝条棚層積 m^3 /幹材積 m^3)

実施内容

- ・皆伐後の枝条集積後にレーザードローン測量を行い枝条棚の層積を把握。
- ・枝条棚の一部を用いて枝条の重量を実測し、枝条棚のかさ比重を算出。

得られた成果

- ・**レーザードローンを利用した皆伐地における枝条の資源量の推計手法。**
- ・ドローン解析による幹材積の推定が可能であれば、
それに基づく枝条資源量および枝条チップ量の推定も可能となる。

3. レーザードローン測量で枝条の資源量を把握する。

結果

ドローンを利用した皆伐地における枝条の資源量の解析方法

1. 皆伐地の材積をレーザードローンで測量

ドローン解析

対象面積: 0.90ha

解析材積: 507.87 m³

… 実材積: 522.23 m³
解析誤差: -2.8 %



2. 幹材積における枝条集積量の把握

$$\frac{\text{全枝条棚集積量 } 783.74 \text{ m}^3}{\text{幹材積 } 522.23 \text{ m}^3} = 1.50 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

(枝条棚集積量はドローン解析、幹材積は実材積による)

➡ 係数A 幹材積に対する枝条集積量の係数

3. 枝条集積量に対する重さの把握

$$\frac{\text{棚Iにおける枝条の重さ}^* 4.961 \text{ t}}{\text{棚Iにおける枝条集積量 } 48.78 \text{ m}^3} = 0.102 \text{ t/m}^3$$

(枝条重量は実測値、枝条集積量はドローン解析による)

* 枝条チップ平均水分 33.9%W.B.

➡ 係数B 枝条集積量に対する重さの係数



3. レーザードローン測量で枝条の資源量を把握する。

結果

ドローンを利用した皆伐地における枝条の資源量の解析方法

本皆伐地 枝条資源量: $580.26 \text{ m}^3/\text{ha} \times 1.50 \times 0.102 = 88.78 \text{ t}/\text{ha}$

枝条資源量 (t/ha) = 幹材積 (m³/ha) × 係数A 1.50 × 係数B 0.102

※ 枝条チップ平均水分 33.9%W.B.

係数A 幹材積に対する枝条集積量の係数
係数B 枝条集積量に対する重さの係数

本皆伐地 枝条チップ供給可能量: $88.78 \text{ t}/\text{ha} \times 71.4\% = 63.39 \text{ t}/\text{ha}$

枝条チップ供給可能量 (t/ha) = 枝条資源量 (t/ha) × 製造歩留り (%)

考察

(※チップの製造歩留まりはPII参照)

- 既往研究の推測手法を用いて試算した場合、枝条資源量は48.74生t/haとなり、上記の88.78 t/ha とは差が示された。

※参照:林野庁「木質バイオマス利用に向けての一考察」内、森林総合研究所による推測手法

- カラマツ林の皆伐地では1haあたり40~80tの林地残材が収集可能との報告もある。

※参照:北海道林産試験場資料

- 本事業の試算は実測値を用いた手法であり、今後は実地検証を重ねて再現性を高め、ドローン解析による幹材積から、枝条資源量・枝条チップ量を把握することを目指す。

⇒ 樹種・平均樹高・植栽密度等のデータ相関から精度向上を図れると考える。

まとめ

開発システム適用条件

- ・皆伐再造林 … 皆伐後、再造林を行う施業地であること
- ・冷涼地 … 枝条の乾燥期間(3ヶ月間~)を設けても追加の下刈り作業が発生しない地域
- ・カラマツ林 … 枝条の集積乾燥期間・ふり作業を経て落葉/葉部除去を行えること
(他樹種での適用可否は要別途検証)
- ・緩傾斜地 … 全幹集材・ハーベスタ/プロセッサ造材を行える施業地であること

1. 『枝条の利用を前提とした』チップ製造供給システムを構築する。

- ▶ 枝条チップ製造供給原価21.1円/kg、地拵え経費削減分含むと17.5円/kg
→ 地域内エコシステム熱利用に供することができる価格水準

2. 小型木質バイオマスボイラーに供するチップの品質を確保する。

- ▶ チップ水分35%W.B.以下、粒度分布・灰分も概ねボイラ要求水準を満たす
→ 地域内エコシステム熱利用に供することができる品質水準

3. レーザードローン測量で枝条の資源量を把握する。

- ▶ 立木段階から枝条資源量・枝条チップ供給可能量を把握できる推計手法を開発
→ 地域毎に複数回検証を重ねることで、再現性・精度の向上を図れる手法

地域内エコシステム構築 ～目指す姿～

本システムを適用した地域内エコシステム 熱利用モデル

(燃料チップ需給規模 年間1,000t イメージ)

間伐施業：12 ha/年

- C材チップ※ 200 t/年

※間伐材は中間土場で乾燥・チップ化

燃料チップ計 200 t/年

皆伐再造林：4 ha/年

- 枝条チップ 260 t/年

- C材チップ 540 t/年

燃料チップ計 800 t/年

熱需要家②：農業ハウス
チップ需要量 250 t/年

熱需要家①：公共温浴施設
チップ需要量 450 t/年

熱需要家②：観光ホテル
チップ需要量 300 t/年

目指す姿

持続可能な森林整備と
地域内循環・熱利用の両立

～ 皆伐跡地を、地域材のストックヤード・バイオマス集積拠点として活用 ～