

広葉樹のエネルギー利用への 新たな取組

「広葉樹枝条のバイオマス発電への有効活用」

富山県森林組合連合会

令和3年12月

Supported by



農林水産業
みらい基金

1 事業実施の趣旨

(1) 富山県林業の現状と課題

- ① 富山県には178千haの民有林があり、そのうち、薪炭林としての役目が終了し、半世紀以上ほとんど手つかずの天然広葉樹林が61%の109千ha存在し全国的に見ても高い比率となっている。
- ② この天然広葉用樹林は、キノコ栽培の原料等として需要が高まっており、富山県においてもオガ粉生産やバイオマス発電のための原木として、伐採利用が増加してきている。
- ③ 広葉樹の利用は幹部分のみであり多くの枝条部分は現地に放置されており、天然更新の際の阻害要因となっている。
- ④ 当森林組合連合会は、各森林組合や民間事業体の協力により、県内バイオマス発電所に原木の供給を行っているが、量的には十分な状況ではない。

(2) 事業実施の目的

- ① 伐採時に発生する大量の枝条については、現在利用が試みられていないが、現地でチップ化しエネルギー利用することは、出材の採算性向上、天然更新の阻害要因の除去や地球温暖化等の環境問題対策、更には豪雨時の林内からの林産物の流出による被害の拡大の予防の面からも重要である。
- ② 枝条のエネルギー利用を実現化するためには、広葉樹林の枝条の賦存量の特定方法の開発を行うことと、実際に伐採を行い、発生する枝の利用可能量の計測、チップ化作業の生産性、運搬も含めた費用の算出など燃料としての実用性や生産手法を検証し、枝葉のエネルギー利用の事業化を図る必要がある。
- ③ 県内森林組合等に事業実施の取組を推進するとともに、全国に現在利用されていない広葉樹の枝条のチップ化事業の取組について発信するもの。

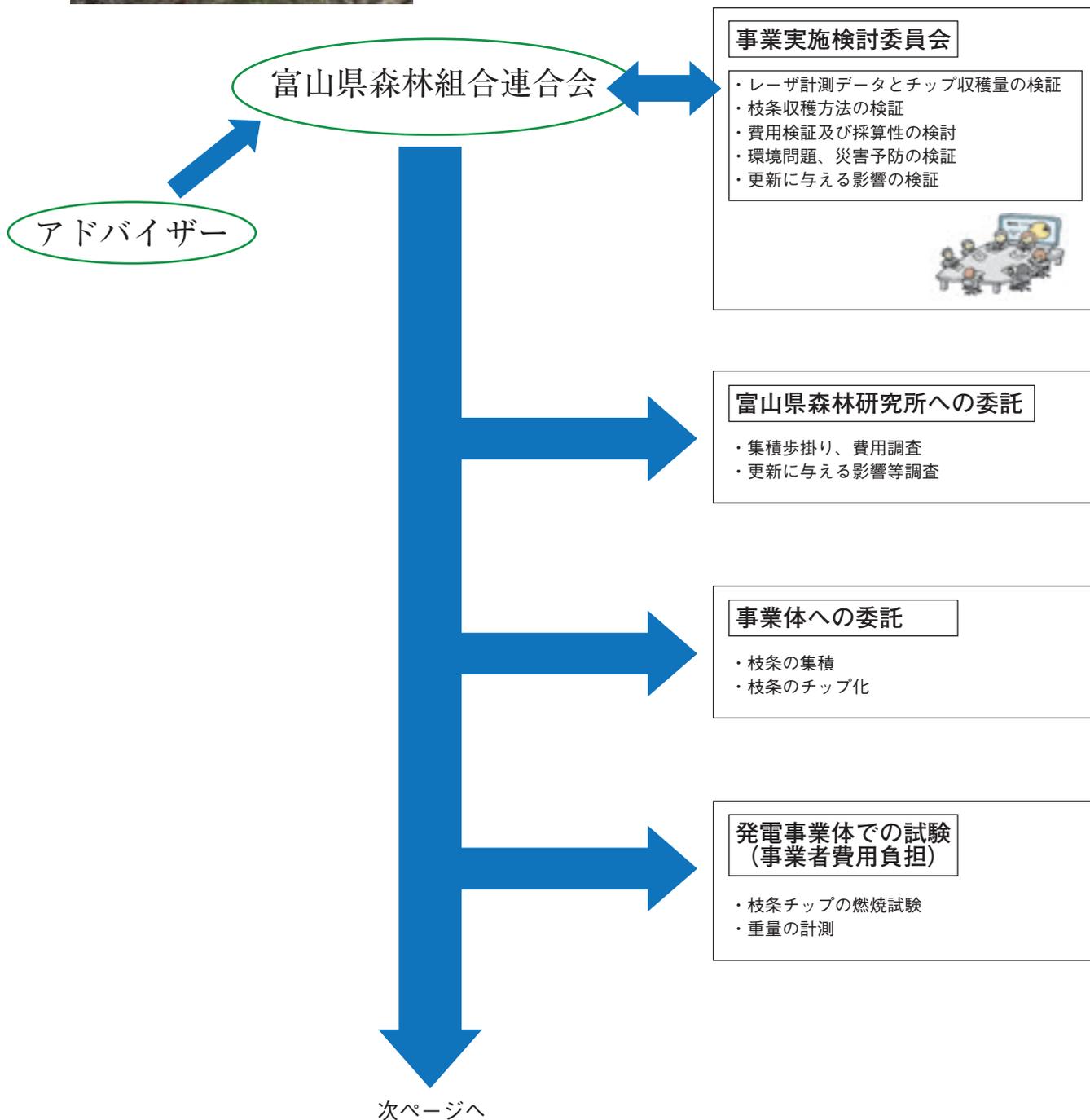
2 事業のイメージ

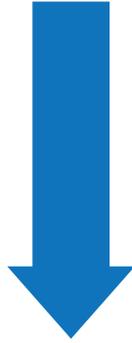
素材生産時に発生する枝条のエネルギー利用への取組「森林資源を無駄なく利用し環境保全・災害予防と林業収益性を改善する」

利用されずに残された枝条



バイオマスエネルギーへの活用

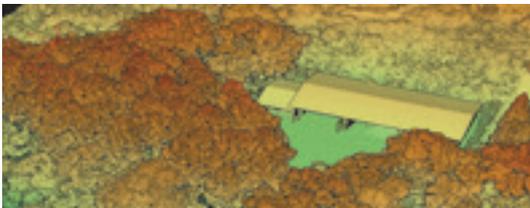




航空測量会社への委託

大型ドローンと地上レーザ計測の解析 ⇒ 枝条の量の推定

大型ドローンによる計測



地上レーザ計測による補完



指針作成（事業実施検討委員会）

- ・ 広葉樹の枝条のチップチップ化事業の効率的な手法
（更新伐等との連携、伐採時期、葉の処理、更新に与える影響）

事業定着研修

県内事業体に対し枝条のチップ化の手法について研修

3 事業実施個所の概要

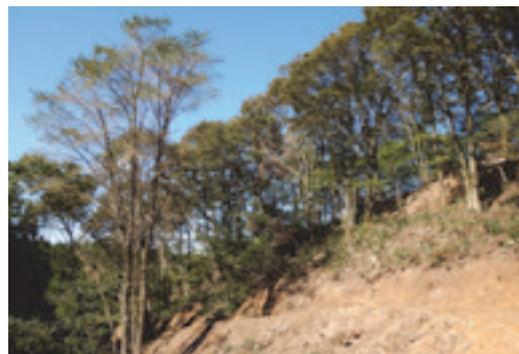
(1) みらいプロジェクト事業実施場所



(2) 南砺市蔵原の林況



蔵原地区の作業前のコナラを主体とする林況



更新伐を実施中の状況

(3) 富山市平等の林況



作業前のコナラを主体とした林況



作業前のコナラを主体としてハウノキ等の混ざる林況

4 ドローン及び地上レーザ計測の状況



蔵原地区のドローンレーザ計測離陸
(2020.4.15)

8コース、2フライト、対地高度80m



平等地区のドローンレーザ計測離陸
(2020.4.16)

13コース、4フライト、対地高度120m



平等地区の2回目（展葉期）
ドローンレーザ計測離陸（2020.6.17）



地上レーザのコースの打合せ



① 地上レーザのセット



② 計測

5 南砺市蔵原枝条の集積とチップ化の状況



幹部と枝条の採材



幹部の計測



枝条の積込み運搬



チップ化前の枝条



移動式木材粉碎機（諸岡MC-4000）



チップ化作業の状況

6 富山市平等枝条の集積チップ化状況



①枝条の集積状況



②枝条のフォワーダでの収集



③枝条のチップ実施箇所での集積



・チップ作製の状況
・諸岡MC-4000



・チップの作製状況



・枝条のチップの状況



発電所倉庫へ持ち込んだチップの状況



発電所のチップパー機で試験的に
チップを作製した状況



発電所で試験的に行ったチップ状況

7 レーザ計測データによる枝条材積の推定

(1) 解析に使用したデータ

ア 計測方法

本検討では、レーザ計測データによる枝条材積量を推定するために、ドローン搭載型のレーザ計測装置と、可搬型地上レーザ装置を用いて計測作業を行った。レーザ装置の諸元を表 1 及び表 2 に示す。

表 1 地上レーザ装置 (Zeb Horizon) の諸元

装置名称	Zeb Horizon (イギリス GeoSLAM 社製)
測定レンジ	100m
レーザクラス	CLASS1 @903nm
計測速度	30 万点/秒
レーザセンサ数	16 アレイ
鉛直角分解能	2°
水平角分解能	0.38°
相対精度	最大 6mm

表 2 ドローンレーザ装置 (TOKI) の諸元

項目	計画値	備考
有効レーザ発射回数	50 万 (500kHz) 発/秒	
スキャン角度	330 度	
計測飛行速度	15~20km/h	4 ~ 5m/s
飛行対地高度	70m	標準高度
スキャン周波数	54.6 回/秒	
照射点密度	100 点/m ²	

イ 計測時期

計測時期は、広葉樹が展葉前の令和2年4月期と、展葉後の6月に実施した。展葉期についてはドローンによる計測のみ実施した。計測した日を以下に示す。

【落葉期 地上レーザ】 令和2年4月 15 日 (蔵原地区)、16 日 (婦中平等地区)

【落葉期 ドローンレーザ】 令和2年4月 7 日

【展葉期 ドローンレーザ】 令和2年6月 17 日

ウ レーザ計測方法

① 地上レーザ

使用した地上レーザは、計測装置を持った作業者が林内を歩き回ることによって、周辺の三次元座標を計測する仕組みである。対象範囲を網羅するため、複数回の計測を行い、後処理で同一の座標系に合成する処理を行った。また取得する範囲の抜けや、必要な樹木に測定点が当たるよう、事前に調査範囲内を踏査し、歩行コースを検討の上実施した。今回計測した広さが地区で異なっていたため、計測回数が異なっている。地区別の調査面積や作業時間等を表 3 に示す。

表 3 地上レーザの測定数量まとめ

地区名	婦中平等地区	蔵原地区
計測対象面積 (ha)	1.53	0.67
計測セッション数*	5	1
作業時間 (hr)	4.0	2.5

※地上レーザは1回の計測時間は約 10 分程度でクローズする。これを複数回実施することで必要な範囲を計測しており、1回の連続した計測をセッションとしている。

② ドローンレーザ

ドローンレーザは対象範囲を網羅するため、計測範囲を横断する直線飛行を、隣接コースと一部範囲を重ねながら平行に行うことで面的に計測を行った。また対象地区の地形や安全面、必要な点密度を考慮し対地高度が決定した。今回の調査で実施した計測作業の諸元を表 4 に示す。

表 4 ドローンレーザの計測仕様まとめ

地区名	婦中平等地区	蔵原地区
計測コース数	13 コース	8 コース
フライト数	4 フライト	2 フライト
対地高度	120m	80m

上記で計測されたデータは点群データとして樹木の幹や枝を表現することができ、これらのデータを解析することで材積、枝条などとの関係を検証した。

エ 各データの特徴と比較

① 地上レーザとドローンレーザの比較

各計測データは、計測視点の違いにより樹木の部位毎の測定密度に偏りが生じる。地上レーザは、地表付近や低い位置の樹幹部に多く照射され、上方の樹冠に対しては照射密度が低下する。一方、ドローンレーザは、上空から照射するため、樹冠表層は多く点が照射されるが、樹幹部はレーザが当たりにくく照射密度が低下する傾向にある。この違いを確認するために、地上から 1m 毎の層別にレーザ点数をカウントし、最大点数の樹高階に対する割合を計測手法別に計算した(図 1 参照)。この図で示されるとおり、地上レーザでは地表から離れるに従い照射点の割合が小さくなるのに対し、ドローンレーザでは地表から 16m 付近をピークとした分布となっている。枝条の再現性については、地上レーザの方が計測点密度細かいため、再現性が高いデータとなる。今回対象とする樹冠部に対しては、ドローンレーザでも表層から地表付近までかなりの割合で照射されており、樹冠部の解析には支障はないと考えられる。

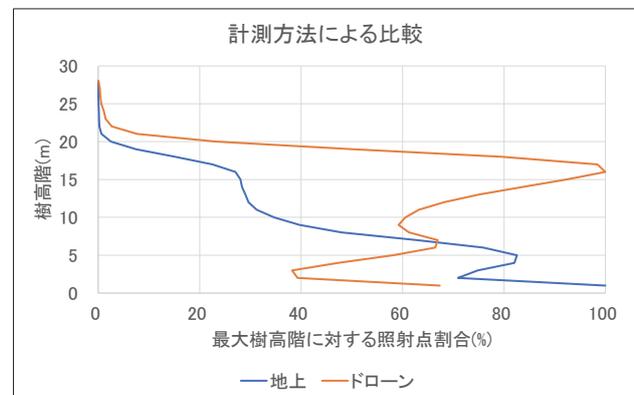


図 1 計測方法の違いによる樹高階別照射点数割合の比較(婦中平等地区)

② 落葉期と展葉期の比較

上空から計測するドローンレーザでは、着葉の有無により照射点が地上に届く割合が異なっている。展葉期では、レーザが葉に遮られ、地表付近まで到達する照射の割合が大きく減少する。計測方法の比較と同様、計測時期別に層別の照射点の割合を算出した(図 2 参照)。

この結果から、着葉期では、レーザが樹冠部の下の方まで届く割合が大きく低下していることが確認され、樹冠部に対する情報精度も低下していると考えられる。

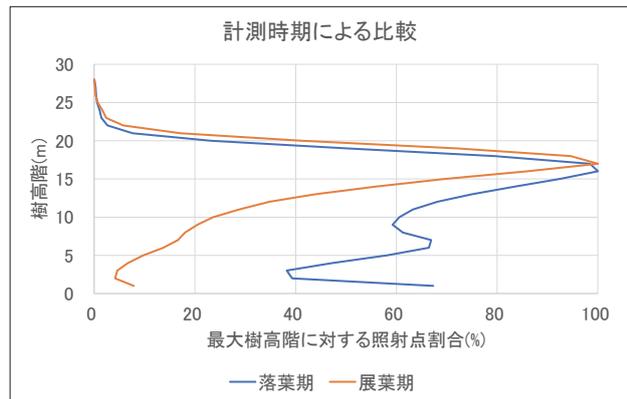


図 2 計測時期の違いによる樹高階別照射点数割合の比較(婦中平等地区)

(2) 解析手法の検討

ア 解析手法について

森林調査で利用されるレーザの解析手法のうち、今回の検討では以下に述べる 3 種類の手法を検討した。

① 単木モデルによる解析

今回取得したデータのうち、枝条の形状が把握可能な地上レーザについて、単木モデル化による材積量の推定を試みた。同手法はこれまで針葉樹や孤立した街路樹等で解析された事例が多く、本調査地のように枝条が入り組んだ広葉樹林での解析事例はあまりない。今回試行した結果では、枝葉が隣接木と入り組み樹冠や場合によっては樹幹の区別が困難な箇所が多く、地上調査結果により較差検証を行ったが、良好な結果が得られなかった。

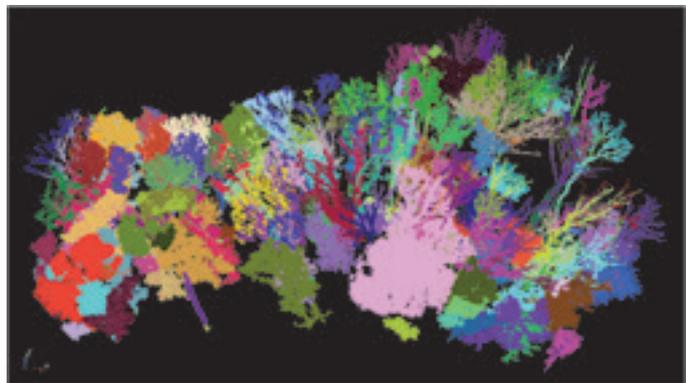


図 3 単木単位でモデル化されたレーザデータ例

② 総体積法による解析

総体積法は、空隙を含む総体積を DCHM(樹冠高)から算出し、そのうちの一定割合を材積が占めると考える推定手法である(図 4 参照)。

現地での枝条材積については、婦中平等地区における功程調査において算出された数量(7.4 m³)に対して各データに対する換算式を算出した(表 5 参照)。ただし、同手法では、樹冠内の空



図 4 総体積の概念

隙部の量や枝条部の粗密にかかわらず同様の数値として算出されるため、同換算式を用いるためには、林相の状態や、樹冠の発達度に対する補正などが必要になると考えられる。

表 5 功程調査内における空間体積と枝条材積への換算係数

対象地区	計測データ	婦中平等地区 功程調査範囲
対象面積 (ha)		0.0850
空間体積 (m ³)	地上レーザ (落葉期)	11,157.158
	ドローン (落葉期)	12,258.504
	ドローン (展葉期)	13,844.914
枝条材積への 換算係数a (枝条材積=a×空間体積)	地上レーザ (落葉期)	6.63251E-04
	ドローン (落葉期)	6.03663E-04
	ドローン (展葉期)	5.34492E-04

③ ボクセル手法を用いた解析

上記で総体積法においては、樹冠内の空隙を反映できない旨記載したが、この点を反映させる方法として、ボクセル手法を用いた検討を行った。

ボクセル手法は、解析する空間を賽の目上に分割し、一定格子の立方体にレーザ点が含まれるか否か、または点数を集計することで、空間的な地物の分布などを解析する手法である。これにより樹冠内の空隙部分を考慮した解析を行うことができる。本検討では、計測範囲全体を、1m格子に区切り、格子ごとに点数をカウントした(図5参照)。

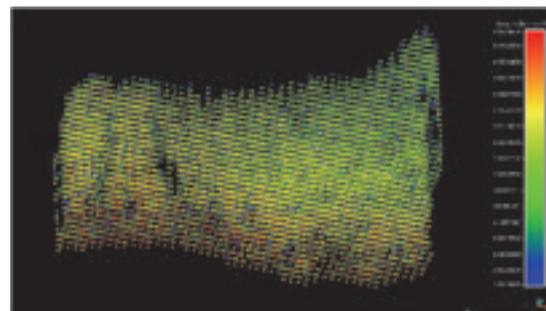


図 5 ボクセル解析例(婦中平等地区)

地上レーザにおいては、枝条の形状を再現できていることが目視判断で確認でき、枝条の量に応じて点数が多くなるのが期待されるものの、樹幹部においては非常に多くの点が存在しており、そのままでは枝条の状況が反映しづらいと判断された(前述図1参照)。このため、樹幹部のデータを除去することで、この影響を軽減することを検討した。

レーザ点の鉛直分布を狭い範囲に絞って確認すると、上方からレーザ点数の増減を見た場合、樹幹部を捉えたと考えられる位置から下方で、点数が大幅に増加する傾向が見られた(図6参照)。そこで樹幹部と樹冠部の情報が交差する高さ領域を、全体の鉛直分布から推察し、2~10mの範囲において、急激に点数が増加する位置を1m格子毎に確認し、確認された位置から下方の点を除去することで樹幹部の影響を軽減した(図7参照)。この補正後データから、樹冠部の体積を集計した(表6参照)。枝条材

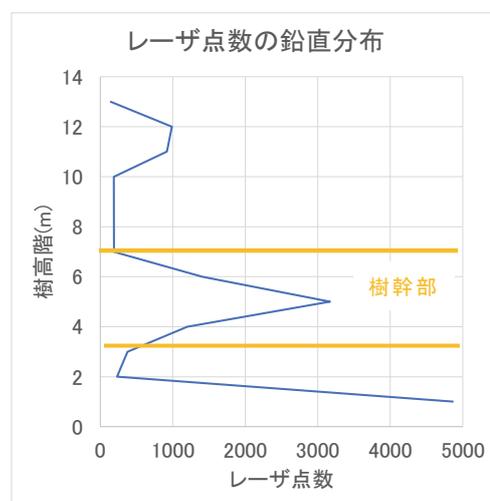


図 6 レーザ点の鉛直分布例

積とボクセル体積の関係は、ボクセル体積の一部を枝条材積が占めている関係であり、ボクセル体積を定数倍すると枝条材積が算出されると推定しその乗数を計算した。その結果から平等事業地区全体において以下の関係式を算出した。

$$[\text{枝条材積}(\text{m}^3)] = 0.00116744 \times [\text{ボクセル体積}(\text{m}^3)]$$

樹幹部の補正がなされたデータを元に、水平方向に 5m×5m 範囲でレーザ点数を集計し、推定した換算式を用いることで調査地区内の枝条材積の水平分布図を試作した(図 8 参照)。同図では、集計した 5m 区画単位で m³ 当たりの枝条量が示されており、調査地内での枝条の分布状況が把握できる。同図を活用することで、例えば経済性を考慮した集材計画を立案する上で有効な、収量が見込める箇所を事前に把握する上で役立てることができる。また、GIS にこのデータをデジタル地図として登録することで、ある特定範囲の収量見込みを計算したり、傾斜度等の地形情報と組み合わせ活用することが可能となる。

(3) まとめ

今回の検討では、2 手法のレーザ計測を行ったが、計測精度と、今回の調査及び他所での作業実績などを踏まえ、各手法の精度や作業費についてとりまとめた。

表 7 計測手法別まとめ

計測手法	計測精度	1日当たりに可能な作業量(最低作業量)	1日当たりの作業費	ha 当たり単価
地上レーザ	ドローンに比べ高精度 枝条の形状も捉えることが可能	3ha	80万円	約 27万円
ドローンレーザ	地上レーザに比べれば劣る 樹冠の広がりや樹幹部の位置は推定可能	50ha	300万円	6万円

ha 当たりの単価は広域的に調査可能なドローンレーザが安価であるが、作業を実施する上の最低数量が 50ha であり、これより小面積の場合は ha 当たりの単価は上昇する。概ね 11ha で地上レーザとドローンレーザの費用は同等となり、それ以上の面積ではドローンレーザの方が安価となる。ただし地形条件等により作業効率変動することを、検討時には考慮する必要がある。

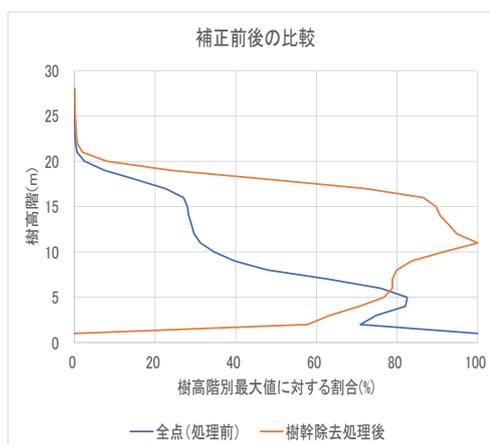


図 7 樹幹部除去補正前後の鉛直分布(婦中平等地区)

表 6 ボクセル体積集計結果

地区名	面積(ha)	材積(m ³)	ボクセル体積(m ³)
婦中平等地区全体	1.54ha	173.0	148192.0

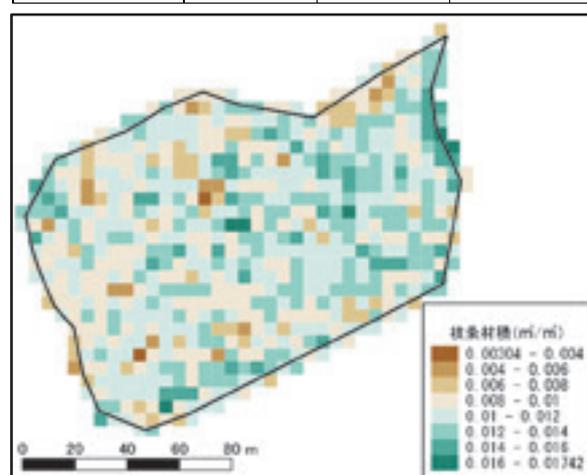


図 8 m²あたりの枝条材積推定分布図例(婦中平等地区)

8 広葉樹伐出及び枝条チップ化の生産性とコスト

1. 試験地及び調査方法

試験地は南砺市蔵原地内（蔵原事業地）および富山市婦中町平等地内（平等事業地）のいずれもコナラが優占する広葉樹林である。

蔵原事業地（0.73ha）では 2020 年度にコナラなどの一部を保残木とする更新伐施業が実施された。丸太の伐出および枝条の収集や破砕などの作業に関する功程調査を行うため、事業地内に 0.11 ha の功程調査区を設けた。10 月 19 日に調査区内の立木の約 9 割（本数割合）を伐倒した。その後 10 月 22～23 日にかけて、伐倒木の造材および集材を実施した。さらに 12 月 24 から 25 日にかけて集積した枝条のチップ化作業を行った。伐倒にはチェーンソー、造材にはグラップルソー（ベースマシン 12 t クラス）、集材および枝条の収集にはフォワーダ（最大積載量 4 t）、チップ化には移動式木材粉砕機（諸岡 MC-4000）とグラップルローダーを使用し、それぞれの作業を行った。

平等事業地（1.54 ha）は 2021 年度に皆伐施業が実施された。事業地内に 0.08 ha の工程調査区を設定した後、4 月 9 日に伐倒し、4 月 14～15 日にかけて造材を実施した。6 月 15～16 日にかけて丸太の集材および枝条の収集と破砕を行った。各作業に用いた機械は蔵原事業地と概ね同様であるが、集材および枝条の収集に使用したフォワーダの最大積載量は 3.5 t であった。

全ての作業の様子はビデオカメラで撮影され、作業時間解析に供された。生産された丸太については造材直後に末口・元口直径および材長の測定を行った。丸太の最小末口径は概ね 10cm とし、それを下回る場合は枝として取り扱った。また、生産された枝条チップは着脱式コンテナ車に直接投入され、射水市のバイオマス発電所に運搬した後、重量が計測された。チップ運搬に用いたコンテナ車は蔵原事業地が 7 t、平等事業地が 8.5 t であった。

2. 結果

ここでは枝条の収量および収集や破砕の生産性と経費についてのみ報告する。蔵原事業地および平等事業地の工程調査区において生産された丸太と枝条の収量は表-1 のとおりであった。枝条の収量は蔵原事業地と平等事業地においてそれぞれ 42.7 dry t / ha および 57.5 dry t / ha であり、丸太を含めた全収量の 20%程度を占めた。

枝条収集作業の生産性は蔵原事業地と平等事業地においてそれぞれ 3.95 dry t / 人時（5.76 wet t / 人時）および 3.21 dry t / 人時（4.40 wet t / 人時）であった。なお、蔵原事業地と平等事業地の平均運搬距離はそれぞれ 204 m および 509 m であり、1 車当たりの積載量はそれぞれ 1.58 wet t および 1.33 wet t であった。積載量はいずれの事業地においても使用したフォワーダの最大積載量の半分にも満たないが、生産性は丸太の集材生産性を上回った。これは枝条の積み込みや積み下ろしに要する作業時間が丸太集材より総じて少なく、とくに積み下ろしはダンピングにより行われ、わずかな作業時間しか要さないためである。

蔵原・平等事業地における枝条破砕作業の生産性を表-2 に示した。生産性は 2.5～3.0 dry t / 人時（概ね 4.0 wet t / 人時）であった。既往の研究事例と比較し、本調査における破砕作業の生産性は比較的低い値を示した。これは切削式の破砕機を使用したことによる可能性が考えられたことから、同等の出力を有する打撃式破砕機（Vermeer HG4000 TX2）を用いて、別に枝条の破砕作業を行ったが、生産性は 3.1 dry t / 人時にとどまり、大幅な改善は認められなかった。

枝条の収集と破砕作業に要する経費を試算するために用いた単位時間当たりの機械損料および燃料費は表-3 のとおりとし、作業員の労務単価はいずれの作業に従事した場合も 20,100 円/日（公共工事設計労務単価表）とした。両事業地における枝条の収集と破砕に要する経費を表-4 に示した。経費はいずれも 9,400 円 / wet t（13,000 円 / dry t）程度と試算された。また、現場からバイオマス発電所までの木材チップの運搬経費は蔵原事業地および平等事業地においてそれぞれ 3,000 円 / wet t および 2,000 円 / wet t 程度と見積もられる。発電所における燃材向け木材チップの価格に関する資料は見当たらないが、パルプ向け広葉樹チップの令和 2 年度における全国平均価格は 19,400 円 / t（木材価格統計調査）とされている。仮にこれと同等の価格で枝条チップを買い取ることが可能であれば広葉樹枝条の燃材向けチップ生産は十分に実現性を有する。

表-1 丸太および枝条の収量（左：蔵原0.11ha 当り、右：平等0.08ha 当り）

種別	材積	質量	割合	種別	材積	生重	乾重	割合		
	m ³	dry t	%		m ³	wet t	dry t	%		
丸太	35.1	22.2	82.5	丸太	22.1	20.3	14.0	75.2		
枝条	7.4	4.7	17.5	枝条	7.3	6.3	4.6	24.8		
合計	—	42.5	26.9	100.0	合計	—	29.4	26.6	18.6	100.0

表-2 枝条の破碎作業の生産性（左：蔵原、右：平等）

生重生産性	乾重生産性	材積生産性	生重生産性	乾重生産性	材積生産性
t/人時	dry t/人時	m ³ /人時	t/人時	dry t/人時	m ³ /人時
3.90	2.67	4.22	4.14	3.02	4.76

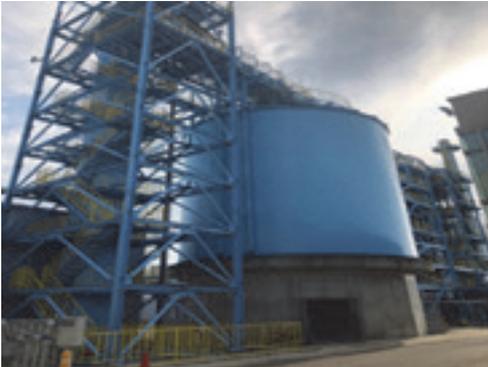
表-3 経費計算のための使用機械の損料と燃料費

機械種別	機械価格 円	標準使用年数 年	年間運転標準時間 時間	年間管理費率 %	維持修理費率 %	残存率 %	損料率 x10 ⁻⁶	損料 円/時	燃料費 円/時
破碎機	31,000,000	8	560	10	35	14	449	13,908	10,656
チェーンソー	184,000	3	900	8	75	7	711	130	76
グラブソー	14,700,000	8	1,000	9	40	14	238	3,502	1,450
グラブ	13,400,000	8	1,000	9	40	14	238	3,192	1,450
フォワーダ	6,500,000	8	650	9	70	12	424	2,758	636

表-4 枝条の収集と破碎に要する経費

	経費			経費	
	円/wet t	円/dry t		円/wet t	円/dry t
機械損料			機械損料		
破碎機	3,570	5,201	破碎機	3,363	4,611
グラブ	819	1,194	グラブ	772	1,058
フォワーダ	479	697	フォワーダ	627	860
燃料費			燃料費		
破碎機	2,643	3,850	破碎機	2,577	3,533
グラブ	360	524	グラブ	351	481
フォワーダ	107	155	フォワーダ	145	198
労務費			労務費		
破碎機	—	—	破碎機	—	—
グラブ	860	1,253	グラブ	810	1,111
フォワーダ	581	847	フォワーダ	762	1,045
合計	9,418	13,722	合計	9,408	12,898

9 バイオマス燃料としての検証



チップを持ち込んだ
グリーンエネルギー北陸の発電施設



発電所倉庫へ持ち込んだチップの状況



発電所のチップパー機で試験的にチップ
を作製した状況



発電所で試験的に行ったチップ状況

- ① 発電所で現在使用しているスギチップと比較すると今回の物は粒度が細かい。(荒いものにすると、細い枝が長い状態で混入する欠点がある。)
- ② 発電所の常設チップパー機で試験的に行ったところ比較的荒い計上のものを素早く作成できた。
- ③ 発電所では、作成済みのスギチップと混合し燃焼を行い、不都合は生じなかった。

参考

今回の実証から、約100t/haの枝条チップが生産できた。これを発電した場合グリーンエネルギーの例をもとに算出したところ、1haで14.5世帯へ1年間供給することができる。現在、年間約200haの広葉樹の伐採が行われていることから、2,900世帯/年へ供給することが可能と試算できる。

10 更新状況調査

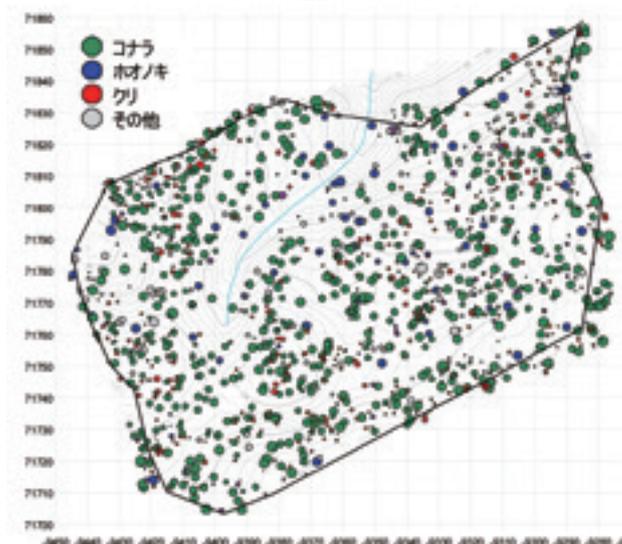
① 伐採前の林況【平等】

- 伐採前2020年4～5月に毎木調査
- 林分材積208m³/ha
- 材積割合コナラ76%、ホオノキ9%
- その他有用広葉樹ではクリ0.5%
- 2021年2～4月皆伐

伐採前の林内(2020.4)



伐採前立木位置図



伐採前樹種組成

樹種	本数 /ha	胸高断面面積 合計		材積 m ³ /ha	材積 割合
		m ² /ha	m ² /ha		
1 コナラ	537	21.4	158.5	76.4%	
2 ホオノキ	75	2.6	18.9	9.1%	
3 ソヨゴ	181	1.7	8.1	3.9%	
4 タカノツメ	34	0.6	4.1	2.0%	
5 オオウラジロノキ	54	0.6	3.4	1.6%	
6 ウリカエデ	114	0.6	2.3	1.1%	
7 アカマツ	7	0.4	3.0	1.4%	
8 アオハダ	34	0.3	1.5	0.7%	
9 ヤマボウシ	35	0.2	1.2	0.6%	
10 アズキナシ	12	0.2	1.6	0.8%	
11 クリ	9	0.2	1.0	0.5%	
その他17種	120	0.8	3.7	1.8%	
計	1209	29.6	207.5	100.0%	

② 調査方法【平等】

- 萌芽 (対象種：コナラ、ホオノキ、クリ)
2021年秋に伐採地1.48ha全域で切株の萌芽有無と樹高を調査

コナラ



ホオノキ



クリ



- 実生 (対象種：コナラ、ホオノキ、クリ)
2021年秋に帯状区0.13haで実生の樹高を調査

コナラ



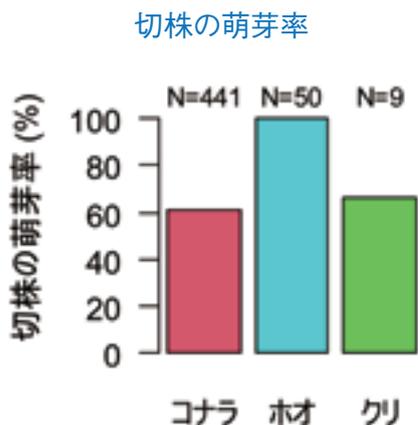
ホオノキ



クリ



③ 萌芽率と萌芽・実生の密度【平等】



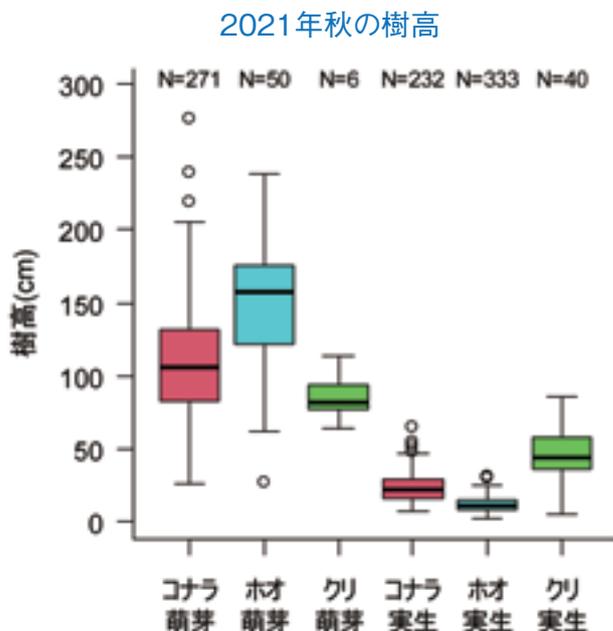
萌芽と実生の密度

	伐採前 株密度 a (/ha)	伐採後 萌芽株密度 b (/ha)	萌芽率 (左図) b/a	伐採後 実生密度 (/ha)
科ナラ	299	184	61%	3,473
ホオノキ	34	34	100%	2,493
クリ	6	4	67%	299
計	339	222		6,265

- 樹齢は大部分約55年生
- 科ナラとクリ切株は約2/3萌芽
- ホオは全て萌芽

- 科ナラの萌芽株密度は184株/haに過ぎず、萌芽のみでは科ナラ林再生は困難
- 3種とも実生密度は萌芽株密度より高く、科ナラ約3,500本/ha、ホオ約2,500本/ha、クリ約300本/ha
- 伐採前株密度と比較して科ナラ実生密度は相対的に低い＝伐採のタイミングと堅果豊作のズレのため
- ホオは埋土種子になるため、豊凶の影響なく伐採に反応し相当数の実生が発生

④ 萌芽と実生の樹高【平等】



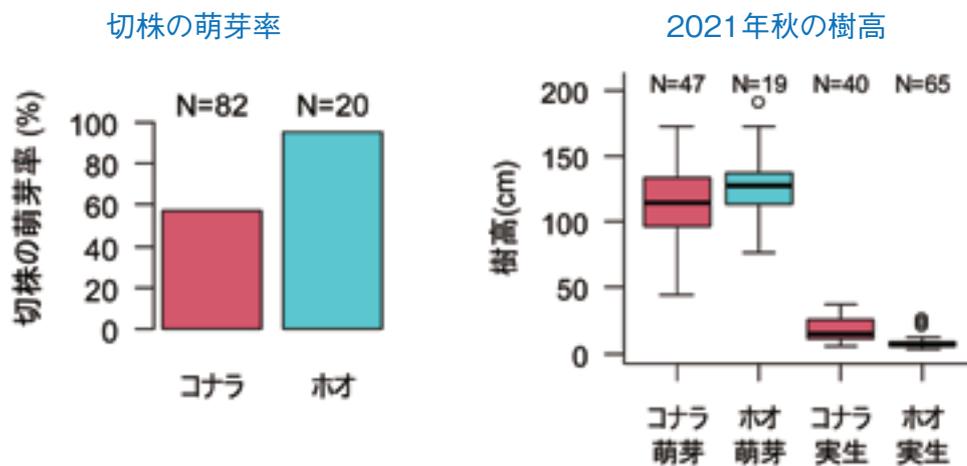
- 萌芽の樹高はホオ>科ナラ>クリ
- ホオ萌芽は半数以上が150cm超
- 科ナラ萌芽は半数以上が100cm超

- 実生の樹高はクリ>科ナラ>ホオ
- 3種とも実生は萌芽より樹高低い

- 更新林分において科ナラ、ホオ等の有用樹比率を高めるためには、萌芽と比べて成長は遅いが密度は高い、実生の生育促進作業（刈払いや除伐）が有効

⑤ 更新状況【蔵原】

- コナラ、ホオについて平等と同様に調査
- 萌芽率、樹高成長とも平等と同様の傾向



⑥ 枝条搬出による更新促進効果

本プロジェクト(平等)
枝条も搬出



射水市コナラ林伐採跡地
枝条が大量に残存



- 枝条は更新樹の発生や生育を阻害するうえ、刈払い等の更新補助作業を妨害
- 枝条搬出は更新にもプラスの効果

11 農林水産みらいプロジェクト事業の取りまとめ

- (1) ドローン、地上レーザ計測による枝条量の把握について
- ① 広葉樹枝条の蓄積を把握するため、地上レーザとドローンレーザを使い計測を行った。その結果、地上レーザがより正確に把握できるが、対象森林面積が大きい場合は、ドローンによる推測が適している。今回のようにアプローチが容易で比較的緩傾斜の場所では11haが分岐点となり、それ以下の場合は地上レーザが優位となる。
 - ② ドローンレーザを活用する場合は、落葉期に実施することが望ましい。
 - ③ 解析については、単木モデルでの解析は困難と判断された。また、総体積法では、今回の功程調査区において換算係数を導き出せた。
 - ④ 更に事業実施区域全体では、幹部の影響を取り除くための手法を検討しボクセル法による推定を行い、関係式を導き出した。
 - ⑤ ボクセル法により推定した枝条の量を5m×5mのメッシュで図上に表し、今後事業を実施するうえで事業地の選定、作業道の開設位置の決定に有用な手法を示すことができた。

(2) 枝条のチップ生産について

ア 生産時の条件

区 分	伐採時期	チップ生産時期	葉の状況
① 南砺市蔵原	令和2年 9月から10月	12月末	伐採時着葉 チップ生産時落葉
② 富山市婦中町平等	令和3年 3月から4月	5月下旬から 7月上旬	伐採時落葉

※平等地区では枝の定義を元口10cm以下とした

イ 生産量

区 分	伐採面積	チップ生産量	ha当たり生産量
① 南砺市蔵原	0.67ha	18.15t	27.1t
② 富山市婦中町平等	1.54ha	149.40t	97.0t

注1 平等地区については、区域の幹伐採量、枝条をチップにしたもの全量を発電所等の計量機で測定した量である。

注2 実証地で生産量が大きく異なるのは、蔵原地区において作業が12月末となったため積雪があり、枝条を全て集めることが困難となったことなどの要因による。

ウ 結果

- ① 平等地区1.54haの幹の生産量218.91tに対し枝条の生産量は、149.40tであり、幹：枝条は6：4の割合となる。広葉樹の枝条は、生産するにあたって十分な量が存在する。なお、調査区の結果と全体の差は、調査区の値が全体の値の平均的な値を示していないことや、幹と枝の仕分けに相違があったことが考えられる。
- ② 枝条チップ生産経費について平等地区の調査では、約9,300円/wet^トであり、運搬費2,000円/wet^トを加えると11,300円となる。上記の結果については、機械損料について導入の際の補助金について考慮していないが、森林組合等で導入する場合は50%程度の補助金が入ることとなり、生産費は6,637/wet^トとなり、運搬費を加えても約8,600円程度となる。
- ③ 生産費を抑える必要があることから、今後、使用するチップパー機について、より効率の良い機種を選定及び導入に当たって補助制度の活用等を検討すれば採算性を確保できる。

(3) バイオマス燃料としての検証

ア 広葉樹枝条の成分について

- ① ナトリウム、カリウムを多く含むと、発電用ボイラーに悪影響があることから、今回の枝条のサンプルを採取し測定したところ、ナトリウム0.0044%カリウム0.097%と問題のない値を示した。

イ チップの形状について

- ① 今回作成したチップは、既存のスギチップと混合し燃焼を行い不都合なく燃焼した。
- ② 今後、チップの形状が細かったことから、発電効率も考慮しチップの仕上がりの形状と製造能力について十分検討したうえで、チップパー機選定を行う必要がある。

(4) 更新に及ぼす影響

ア 更新の状況

- ① 今回の2箇所の事業地では、切り株からの萌芽又は実生により更新するに必要な苗は確保されたと考える。
- ② なお、伐採1年目の調査結果であり、今後追跡調査が必要と考える。
- ③ 萌芽については、ホオノキの発生が際立って高く、有用な樹種でもあり期待できる。

イ 枝条のチップ化が更新に及ぼす影響

- ① 他地区との比較でも、チップ化で枝条を林地から持ち出すことにより、更新樹の発生や生育に好影響を与える。
- ② 刈り払い等の作業にもプラス効果が期待できる。

(5) まとめ

- ① 今回の事業を実施し、バイオマス発電の燃料として広葉樹の枝条を活用することは、今回の量的な調査、費用調査において林業の採算性の向上につながる結果を確認することができた。
- ② 枝条を搬出することは、広葉樹林の天然更新に対しても好影響があることが分かった。
- ③ レーザ計測による広葉樹資源の把握方法を試み、広葉樹を利用するうえで有効な手段を見出すことができた。
- ④ 豪雨時の林内からの林産物の流出については、具体的な調査は行わなかったが、流出する物が無くなることから効果はあると考える。
- ⑤ SDGsの必要性が求められる現在、林内に放置されてきた広葉樹の枝条を電気として国民に供給することは大きな意義がある。

(6) 終わりに

「農林水産業みらいプロジェクト」事業を実施し、一定の成果を上げたことに感謝するとともに、今後、採算性の向上を図りながら、枝条のチップ化に取り組み、この事業の有効性を広く普及したいと考えております。

今回、この事業の採択とご指導を頂きました農林水産業みらい基金に厚く御礼を申し上げますとともに、事業地の提供をはじめ実施に当たってご協力いただきました、株式会社富山環境整備並びに富山県西部森林組合に対し感謝を申し上げます。

また、事業実施に当たっては、枝条チップの受け入れ、燃焼試験に協力頂いた株式会社グリーンエネルギー北陸、株式会社グリーンマテリアル北陸に感謝申し上げます。

広葉樹の枝条量をレーザ計測で推測する、今まで例のない方法に取り組んでいただいた中日本航空株式会社、枝条のチップ化を実施して頂いた中川工業株式会社並びに今後実施するうえで重要な、費用検証や天然更新の調査を実施して頂いた、富山県森林研究所に感謝申し上げます。

更に、今回の事業の実施にあたり、その都度アドバイスを頂いた東京大学准教授 吉岡拓如氏、富山県農林水産公社理事長 須沼英俊氏に御礼を申し上げます。