

3.5. 現地実証におけるデータ集計・分析・評価

実証におけるデータは、林地未利用材を効率よく集荷する作業システムの工程別作業時間、現場経費、生産量などのデータを取得整理してコスト・生産性を分析した。

実証現場のデータ収集は、各事業体に森林施業の日報記録を依頼して、工程別の人・機械の稼働時間を分析したとともに、技術職員が各工程1～2日現場作業に立ち会ってビデオ撮影によるランタイム検証と工程別のサイクルタイムを計測して、作業日報の検証後にデータ分析を行った。

コスト・生産性の分析手法は「森林施業プランナーテキスト改訂版」（2016年6月 森林施業プランナー協会）の第7章 原価管理、並びに「間伐生産性・コスト分析シート使い方マニュアル～利用間伐の生産性とコストの把握・分析のために～」(全国森林組合連合会)を参考に整理・分析した。

なお、収集したデータの分析は、各事業体の技術者人件費や、機械の減価償却費、維持管理費、並びに間接事業費（事務管理費・諸経費）を使用して分析すると、各事業体の経費的なバイアスにより、実証事業の比較が出来ないために、以下の条件を設定してコスト計算を行い分析した。

表 3.10 データの分析に使用した数量および単価

項目		分析に使用した数量および単価
工程別作業量	人(人工)	工程別稼働時間を6時間で割り戻した日換算を使用、最低日数を半日(0.5人工)単位で切り上げ。
	林業機械(台)	工程別稼働時間を6時間で割り戻した日換算を使用、最低日換算を0.1時間単位で切り上げ。
機械経費	減価償却費(円)	林野庁「高性能林業機械利用高度化マニュアル」(2012)に準拠した1日当り損料を使用。なお、資料に記載ない機械は耐用年数8.5年、年間稼働時間200日、維持管理費率50%、残存率14%で損料を試算。
	維持管理費(円)	
消費燃料	ガソリン・軽油・混合油(ℓ・円)	実証範囲で実際に使用した燃料量とした。なお、データ提出が無かった機械は、カタログ値の消費燃料で試算。チェーンオイルの計上はしない。
機械回送費	林業機械輸送費(往復)(円)	全ての地区往復30,000円で統一。
人件費	日額金額・福利厚生費(円)	全ての技術者を30,000円/日で統一。 (日額賃金25,260円、労働災害保険料1,515円、雇用保険料252円、厚生年金保険料1,938円、健康保険料1,035円(日額福利厚生費4,740円))。
間接事業費	事務人件費・諸税負担金等(円)	各事業体直接事業費の20%で統一。
出材積	製材用製品(m ³)	A～C材 径級別現場検知数量。
	木くず量(層積 チップm ³)	D材・枝条のトラック積算量。
売 上	製品・木くず代金(円)	事業体から売上を聞き取り。【報告書内情報とする】

1) 道北地区（中頓別町）

道北地区（中頓別町）の作業工程別数量と単価、生産コストは、表 3.11 に示すとおりである。

(1) 作業工程別数量と単価

① 実証地データと出材積

実証地面積は 1.32ha で毎木調査による蓄積は 601.14 m³であり、フェラバンチャ（ザウルス）とグラップルおよびブルドーザー全木集材による出材積は 463.77 m³、未利用材の出材率は 16.9%であった。

実証データは、木くず生産量は 4 t フェームダンプ 2 車（20 m³層積）で、生産時間 50 分、使用燃料 140、毎木調査結果より試算された D 材および枝条想定量は 94 m³である。

実証面積：	1.32ha	未利用材の出材積内訳
立木本数：	1,375 本	
立木蓄積：	601.14 m ³	未利用材：94.00 m ³ → おが粉：235 m ³ 層積
出材積：	463.77 m ³	
立木蓄積-出材積：	137.37 m ³	
未利用材の出材率：	16.9%	

② 工程別単価と工程別生産性

実証データに基づく工程別単価と工程別生産性は以下のとおり、全ての工程単価が割安になっている。特に、一般的に造材の生産性が高い。しかし、極積作業の単価が高い。これは、ハーベスタがストローク式で長尺の狂いは少ないが、機械速度が遅く、集材や極積速度とマッチングしていないことと、オペレータの熟練度が低いことが影響していると考えられる。

地拵えは 1.32ha を伐木前に肩掛け式草刈り機（ブラッシュカッター）で全面ササ刈りをしたため経費高となっている。また、グラップルレーキの枝条整理も 6.5 人工と他の実証地と比較して、2 倍の時間を要しており、地形的に急峻であったことなども影響している。

	【工程単価】	【工程別生産性】
伐木：	857 円/m ³	44.1 m ³ /人日
集材：	970 円/m ³	54.5 m ³ /人日
造材：	958 円/m ³	71.3 m ³ /人日
極積：	910 円/m ³	61.8 m ³ /人日
地拵え：	787,431 円/ha	22.3 人日/ha
木くず生産：	681 円/m ³ 層積	117.5 m ³ 層積/人日

(2) 生産性と生産コスト

工程別単価を基にした1人日当りの生産性は、14.05 m³/人日の生産性である。また、伐出コストは3,695 円/m³と北海道内の平均値と比べるとやや割高である。

木くず生産コストは681 円/m³層積の低コスト生産となっている。

生産性 :	14.05 m ³ /人日
伐出コスト :	3,695 円/m ³
地拵えコスト :	787,431 円/ha
木くず生産コスト :	681 円/m ³ 層積 (1,703 円/m ³ 50%w. b.)

(3) 製品販売と事業収益

実証データに基づく製品販売額を事業体から報告書内情報として提供を受けて、事業収益を試算した結果、1,170,360 円の収支が計上できた。従って、山林所有者への還元金は ha 当り 880,000 円となる。

未利用材の収支は、380,500 円（現場木くず化経費 160,000 円、売上 540,500 円、収支貢献割合 33%）であった。

実際の事業費と比べると人件費と間接事業費を割高に設定、木材運搬費も地域内の短距離であれば 1,800 円/m³と推察するため、収支率は試算より高いと考える。

なお、本事業では伐木前に全面ササ刈りを人力（ブラッシュカッター）で行った経費が 707,940 円であったため、未利用材の販売益が無いと収支は 462,000 円と低くなる。仮に、伐木前の全面ササ刈りが無く、グラップルレーキによる地拵えが現行の2倍の経費がかかったとした場合の山林所有者還元金（ha 換算）は 1,380,000 円/ha で、木くずの事業費収益の貢献率は 30%となる。

事業費	現場事業費 :	2,913,940 円	(実証事業地内)
	間接事業費 :	582,700 円	(現場事業費×20%)
	木材運搬費 :	927,500 円	2,000 円/m ³ で計上
	計 :	4,424,140 円	(現場事業費+間接事業費)
販売費	用材売上代金 :	5,054,000 円	463.77 m ³ (用材・P)
	未利用材売上金 :	540,500 円	235 m ³ 層積×2,300 円 (おが粉単価)
	計 :	5,594,500 円	
収 支	山林所有者還元金 :	1,170,360 円	
	山林所有者還元金 (ha 換算) :	≒880,000 円	

2) 道北地区（上川町）

道北地区（上川町）の作業工程別数量と単価、生産コストは、表 3.12 に示すとおりである。

本実証地では、実際に出材した未利用材を全て木くず化して、バイオマス発電所に販売した。このため、実証に伴う生産性・コストは全て実数である。

(1) 作業工程別数量と単価

① 実証地データと出材積

実証地面積は 0.64ha で毎木調査による蓄積は 287.16 m³であり、フェラバンチャとグラップルによる出材積は 191.81 m³、未利用材の出材率は 16.2%であった。

現地に残った未利用材は広葉樹の枝条が多かったため 37 m³であった。現地に残った未利用材を移動式チップパー機で切削した結果 93 m³層積となった。

実証面積：	0.64ha	未利用材の出材積内訳
立木本数：	289 本	
立木蓄積：	287.16 m ³	未利用材：37 m ³ → 木くず：93 m ³ 層積
出材積：	191.81 m ³	
立木蓄積-出材積：	95.35 m ³	
未利用材の出材率：	16.2%	

② 工程別単価と工程別生産性

実証データに基づく工程別単価と工程別生産性は以下のとおり、伐木経費が割高となっているが町道沿いの伐木をチェーンソーとグラップルの併用作業としたためと考えられる。また、造材も割高であるが、広葉樹の混合割合が高かったためと考える。地拵えは 0.64ha をグラップル大型レーキ 2.0 日の作業量であった。なお、伐木前の全面機械ササ刈は 2 人工であった。

	【工程単価】	【工程別生産性】
伐木：	1,799 円/m ³	31.9 m ³ /人日
集材：	786 円/m ³	76.7 m ³ /人日
造材：	1,835 円/m ³	27.4 m ³ /人日
極積：	321 円/m ³	191.8 m ³ /人日
地拵え：	328,094 円/ha	6.0 人日/ha
木くず生産：	849 円/m ³ 層積	93.0 m ³ 層積/人日

(2) 生産性と生産コスト

工程別単価を基にした1人日当りの生産性は、11.62 m³/人日で地形要件、伐木前のササの全面刈払いを考慮すると生産性は高いとは言えない。また、伐出コストも4,741円/m³と全道平均と比較するとやや高めである。木くず燃料の生産は849円/m³層積で低コスト生産となっている。

生産性 :	11.62 m ³ /人日
伐出コスト :	4,741 円/m ³
地拵えコスト :	328,094 円/ha
木くず生産コスト :	849 円/m ³ 層積

(3) 製品販売と事業収益

実証データに基づく製品販売額を事業体から報告書内情報として提供を受けて、事業収益を試算した結果、93,440円の収支が計上できた。従って、山林所有者への還元金はha当り140,000円となる。

未利用材の収支計上は木くず燃料絶乾13tを現場渡し16,500円/t(絶乾)で発電事業者に214,000円(現場木くず化経費78,980円、売上135,020円)であり、木くずの事業費収益が無いと収益は-41,580円の赤字になる。

事業費	現場事業費 :	1,198,860 円	(実証事業地内)
	間接事業費 :	239,700 円	(現場事業費×20%)
	木材運搬費 :	383,600 円	2,000 円/m ³ で計上
	計 :	1,822,160 円	(現場事業費+間接事業費)
販売費	用材売上代金 :	1,701,000 円	191.81 m ³ (用材・P)
	未利用材売上金 :	214,600 円	
	計 :	1,883,000 円	
収 支	山林所有者還元金 :	93,440 円	
	山林所有者還元金 (ha 換算) :	≒140,000 円	

表 3.12 道志地区（上川町）における生産性結果

●実証地条件		立木本数：	立木蓄積-出材積	立木蓄積-出材積	立木蓄積-出材積	立木蓄積-出材積	立木蓄積-出材積
実証面積：	0.64ha	289本	95.35m ³				
立木蓄積：	287.16m ³	191.81m ³	37m ³	37m ³	37m ³	37m ³	37m ³
●作業工程（時間）							
作業工程	伐木	集材	造材	はい積	地捨て	未利用材集積・運搬	木くず生産
チェーンソー	12時間	ザウルス	チェーンソー 16時間	ザウルス 15時間	グラブ 7時間	未利用材集積・運搬	木くず生産
ザウルス	11時間		プロセッサ 26時間		林業用ク ラッシャー		
グラブ	12時間						
●施業結果							
作業工程	人工数	現場技術者	林業機械	林業機械	林業機械	林業機械	工程別生産性
	(1)	平均日額(円)	小計	日額(円/日)	燃料使用量(ℓ)	燃料単価(円/ℓ)	(出材積÷人工数) (m ³ /人日・ha)
伐木	2.0	60,000	①	2.0	800	180	
	2.0	60,000	チェーンソー	2.0	22,500	120	
	2.0	60,000	ザウルス★	2.0	15,900	120	
集材	2.5	75,000	チェーンソー	2.5	22,500	120	
	2.5	75,000	ザウルス	2.5	22,500	120	
造材	4.5	135,000	チェーンソー	4.5	24,300	120	
	4.5	135,000	プロセッサ	4.5	24,300	120	
はい積	1.0	30,000	ザウルス	1.0	22,500	120	
	1.0	30,000	ザウルス	1.0	22,500	120	
地捨て	2.0	60,000	グラブ	2.0	15,900	120	
	2.0	60,000	林業用ク ラッシャー★	2.0	9,500	120	
木くず生産	1.0	30,000	トラクター 牽引式	1.0	40,100	120	
	1.0	30,000	チップパー 機	1.0	40,100	120	
●生産性・コスト		現場事業費計		現場事業費計		現場事業費計	
総人工数	16.5	人日	1,198,860	1,198,860	1,198,860	1,198,860	1,198,860
生産性	11.62	m ³ /人日	191.81	191.81	191.81	191.81	191.81
伐出コスト	4,741	円/m ³	328,094	328,094	328,094	328,094	328,094
地捨てコスト	328,094	円/ha	849	849	849	849	849
木くず生産コスト	849	円/m ³ 層積	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0

注) ★：機械回送費(往復)計上機械

生産性・コスト	(1) 主伐現場技術者人工数計	(2) 出材積÷主伐現場技術者人工数計	(3) 工程単価計	(4) ha当たり地捨てコスト	(5) 層積(チップm ³)当たり生産コスト
総人工数	16.5	人日	1,198,860	1,198,860	1,198,860
生産性	11.62	m ³ /人日	191.81	191.81	191.81
伐出コスト	4,741	円/m ³	328,094	328,094	328,094
地捨てコスト	328,094	円/ha	849	849	849
木くず生産コスト	849	円/m ³ 層積	93.0	93.0	93.0

3) 道央地区（京極町）

道央地区（京極町）の作業工程別数量と単価、生産コストは、表 3.13 に示すとおりである。

なお、本地区では木くず燃料の利用が無い。また、近隣では酪農家の敷藁材としての木くずの利用情報がなかったため、実証で生産した木くず燃料はマルチング材として活用した。実証で生産した木くず燃料は 12 m³層積であり、このデータを基に毎木調査結果で想定された枝条量で換算して生産コストを試算した。また、事業の収益性は、昨年の道央地区のバイオマス用木くず燃料価格を基に試算した。

(1) 作業工程別数量と単価

① 実証地データと出材積

実証地面積は 0.63ha で標準値調査による蓄積は 211.55 m³であり、ハーベスタとフォワーダによる出材積は 140.18 m³、未利用材の出材率は 18.6%であった。

実証データは、木くず生産量は 2 t フェームダンプ 3 車（12 m³層積）で、累計生産時間 19 分、使用燃料 9 l、毎木調査結果より試算された D 材および枝条想定量は 32 m³である。

実証面積：	0.63ha	未利用材の出材積内訳	
立木本数：	251 本		
立木蓄積：	211.55 m ³	未利用材：	32.00 m ³ → 木くず：80.00 m ³ 層積
出材積：	140.18 m ³		
立木蓄積-出材積：	71.37 m ³		
未利用材の出材率：	18.6%		

② 工程別単価と工程別生産性

実証データに基づく工程別単価と工程別生産性は

以下のとおり、生産性が高いハーベスタ 1,369 円/m³で、ボトルネックは集材 2,166 円/m³であり、何れも生産性が高い。工程別生産量でも伐木・造材が 56.0 m³/人日の生産量である。

地拵えも 176,952 円/ha であり、北海道の地拵え歩掛の半数程度で仕上がっている。

	【工程単価】	【工程別生産性】
伐木・造材：	1,369 円/m ³	56.0 m ³ /人日
集材：	2,166 円/m ³	40.0 m ³ /人日
極積：	421 円/m ³	140.1 m ³ /人日
地拵え：	176,952 円/ha	3.0 人日/ha
木くず生産：	972 円/m ³ 層積	80 m ³ 層積/人日

(2) 生産性と生産コスト

工程別単価を基にした1人日当りの生産性は、20.03 m³/人日で主伐としては少し低い生産性であり、集材の生産性が低い地形等を勘案するとやむ得ない範囲である。伐出コストは3,956円/m³であり、北海道内の高い生産性2,900～3,500円/m³と比較するとやや高目である。

木くず生産は生産量が少なく推察され、972円/m³層積と道北地区と比較してわずかに割高となっている。

生産性：	20.03 m ³ /人日
伐出コスト：	3,956円/m ³
地拵えコスト：	176,952円/ha
木くず生産コスト：	972円/m ³ 層積

(3) 製品販売と事業収益

実証データに基づく製品販売額を事業体から報告書内情報として提供を受けて、事業収益を試算した結果、123,200円の収支が計上できた。従って、山林所有者への還元金はha当り190,000円となる。

未利用材の収支計上は、木くず燃料を原木80 m³層積(25t)、現場渡し6,500円/t(熱利用サイロ着値8,500円/t(水分率40%-カラマツ比重0.77、運送料2,000円/t))で試算すると162,500円(現場木くず化経費77,780円、売上84,720円)であり、木くずの事業費収益の貢献率は69%となる。

事業費	現場事業費：	744,100円	(実証事業地内)
	間接事業費：	148,800円	(現場事業費×20%)
	木材運搬費：	280,400円	2,000円/m ³ で計上
	計	1,173,300円	(現場事業費+間接事業費)
販売費	用材売上代金：	1,134,000円	140.18 m ³ (用材)
	未利用材売上金：	162,500円	※32 m ³ ≒25t×6,500円/t(現場渡し)
	計	1,296,500円	
収 支	山林所有者還元金：	123,200円	
	山林所有者還元金 (ha換算)：	≒190,000円	

表 3.13 道央地区（京極町）における生産性結果

●実証地条件		立木本数:	251 本	立木蓄積-出材積	71.37m ³	出材積 (試算値)	32m ³	未利用材	140.18m ³	出材積 (試算値)	71.37m ³	未利用材生産量 (層積)	18.6%
●作業工程 (時間)		伐木・造材	集材	はい積	グラップル	7時間	グラップル	12時間	グラップル	12時間	木くず生産	2時間	80 m ³ 層積
実証面積:	0.63ha	立木本数:	251 本	立木蓄積-出材積	71.37m ³	出材積 (試算値)	32m ³	未利用材	140.18m ³	出材積 (試算値)	71.37m ³	未利用材生産量 (層積)	18.6%
立木蓄積:	211.55m ³	出材積 (用材・P):	140.18m ³	出材積 (試算値)	32m ³	未利用材	140.18m ³	出材積 (試算値)	71.37m ³	未利用材生産量 (層積)	71.37m ³	未利用材生産量 (層積)	80 m ³ 層積
●作業工程 (時間)													
伐木・造材	14.5時間	集材	6時間	はい積	グラップル	7時間	グラップル	12時間	グラップル	12時間	木くず生産	2時間	80 m ³ 層積
工程別作業時間		グラップルA	11.5時間	グラップルB	4時間	フォワーダ							
●施業結果													
現場技術者													
人工数 (1)	2.5	平均日額 (円)	75,000	小計 (1)	187,500	運転日数	2.5	燃料使用量 (kg)	219	燃料単価 (円/kg)	120	燃料費 (円)	26,280
	1.0		30,000	小計 (2)	30,000	使用機械	トラクター★						
	2.0		60,000	小計 (3)	120,000	燃料使用量 (kg)	235						
	0.5		15,000	小計 (4)	7,500	燃料使用量 (kg)	23						
	1.0	30,000	30,000	小計 (5)	30,000	燃料使用量 (kg)	110						
	2.0		60,000	小計 (6)	120,000	燃料使用量 (kg)	164						
	1.0		30,000	小計 (7)	30,000	燃料使用量 (kg)	64						
林業機械													
伐木・造材	2.5	平均日額 (円)	75,000	小計 (1)	187,500	運転日数	2.5	燃料使用量 (kg)	219	燃料単価 (円/kg)	120	燃料費 (円)	26,280
	1.0		30,000	小計 (2)	30,000	使用機械	トラクター★						
	2.0		60,000	小計 (3)	120,000	燃料使用量 (kg)	235						
	0.5		15,000	小計 (4)	7,500	燃料使用量 (kg)	23						
	1.0	30,000	30,000	小計 (5)	30,000	燃料使用量 (kg)	110						
	2.0		60,000	小計 (6)	120,000	燃料使用量 (kg)	164						
	1.0		30,000	小計 (7)	30,000	燃料使用量 (kg)	64						
●生産性・コスト													
総人工数	7.0	人日	7.0	小計 (1)	7.0	現場技術者人工数計	7.0	小計 (2)	7.0	現場技術者人工数計	7.0	小計 (3)	7.0
生産性	20.03	m ³ /人日	20.03	小計 (4)	20.03	主伐現場技術者人工数計	20.03	小計 (5)	20.03	主伐現場技術者人工数計	20.03	小計 (6)	20.03
伐出コスト	3,956	円/m ³	3,956	小計 (7)	3,956	工程単価計	3,956	小計 (8)	3,956	工程単価計	3,956	小計 (9)	3,956
地帯えコスト	176,952	円/ha	176,952	小計 (10)	176,952	ha当たり地帯えコスト	176,952	小計 (11)	176,952	ha当たり地帯えコスト	176,952	小計 (12)	176,952
木くず生産コスト	972	円/m ³ 層積	972	小計 (13)	972	層積 (チップm ³) 当たり生産コスト	972	小計 (14)	972	層積 (チップm ³) 当たり生産コスト	972	小計 (15)	972
注) ★: 機械回送費 (往復) 計上機械													
現場事業費計 744,100 (注) 出材積=140.18m ³													

3.6. 現地実証のまとめとこれまでの施業との比較分析・評価

1) 伐採から地拵え、未利用材活用の一貫作業収支

昨年度の実証結果を含む各地区実証結果は、表 3.14 に示すとおり、伐採から地拵えまでの一貫作業と林地未利用材を山土場で自然乾燥させて、その場で木くず燃料生産の実証の結果、山林所有者への還元は道北地区（中頓別町）88 万円/ha、（上川町）14 万円/ha、道央地区（京極町）19 万円/ha、平成 29 年度調査では道東地区（鶴居村）40 万円/ha、道央地区（安平町）84 万円/ha、道南地区（北斗市）78 万円/ha であった。

山林所有者への還元は、施業団地の樹種構成・齢級、立木密度、採材率および作業システム、並びに施業面積（団地）の大きさの違いにより収支は変わる。特に、実証 6 地区の収支を見ると施業面積が小さい道北地区（上川町）および道央地区（京極町）の事業収益が低い。この理由は両地区とも 0.6ha と施業面積が小さく出材積も 100 m³未満と少ないのに対して、導入した機械経費と機械回送費率が高いためである。

北海道内のカラマツ 8・9 齢級の主伐時の山林所有者還元金は 50～80 万円/ha 程度であるため、道北地区（中頓別町）および平成 29 年度実証事業地は、事業収支に対して未利用材の収入も事業収益に貢献していると判断できる。

また、道北地区（上川町）および道央地区（京極町）は施業面積が小さいため、地拵え経費を含むと未利用材収入が無ければ事業収支は赤字（道北地区（上川町）121,160 円、道央地区（京極町）39,300 円）となる。

(1) 道北地区（中頓別町）

道北地区（中頓別町）は ha 当りの成立本数が 1,040 本、出材積も 351 m³/ha と多く 88 万円/ha の所有者返金で事業収益は高い。ただし、未利用材販売額は牛の敷藁用おが粉として販売したと仮定した場合であり、未利用材販売益を除くと 40 万円/ha 程度の所有者返金である。

未利用材を有効に活用したと仮定した場合の未利用材売上金は 540,500 円（235 m³層積×2,300 円/m³層積）（409,000 円/ha）と山林所有者還元金に占める割合が高い。

道北地区（中頓別町）の実証では、従来の主伐作業システムであるブルドーザー全木集材に対して、部分的にグラップルによる集材を取り入れて集材効率の向上と低コストを試みた。この結果、生産性は 14.05 m³/人日、搬出経費 3,695 円/m³の生産性を記録した。従来の人力伐木とブルドーザー全木集材を行った場合の試算と実証値を比較すると、生産性では 2 m³/人日向し、搬出経費は 336 円/m³の低コスト化となっている。全ての集材作業をブルドーザー集材とした場合には新たに集材路の開設が必要となる。また、グラップル日額損料 15,900 円/日とブルドーザー日額損料 12,000 円/日の機械経費差が 3,900 円/日と大きいわりに、ブルドーザーの作業効率と燃費が悪いため、前記よりも大きな生産性と事業収益の差が生じるものと推察される。

また地拵えでは、背丈程度のクマイザサを人力によるブラッシュカッターを使用して伐木前の全面ササ刈を行った。人力によるササ刈は 707,940 円（536,318 円/ha）

の経費が掛かり、伐木・集材後のバックホウ大型レーキによるササおよび枝条の除去に 331,470 円 (6.5 日、251,113 円/ha) の経費を要した。地域における通常の地拵えは、①ブルドーザーのレーキによるササなどを含む表層剥ぎか、②バックホウ大型レーキによる地表除去で、何れの経費も 30 万円～40 万円/ha であり、実証より安価に仕上がる。本事業のように先にササを除去すれば、伐木などの作業効率は向上するが、経費的に現状より相当割高になるため、事業収益に大きな影響を与える。このため、本事業地のように背丈程度のクマイザサやチシマザサの団地で機械によるササの除去が難しい場合、従来の伐木・集材後に地拵えする方が経済的と判断される。

(2) 道北地区 (上川町)

道央地区 (上川町) は施業面積 0.64ha 当りの成立本数 289 本と少なく、カラマツ人工林にカンバ (シラカンバ) の混交が多かった。出材積は用材 90.91 m³、パルプ材 100.9 m³ でほぼ同程度の出材であり、未利用材は 93 m³ 層積 (実数) (原料材積に対する換算係数 2.5 とした場合の出材積 37 m³) であり、総出材積に対する実質未利用材の出材積率は 16.2% であった。

山林所有者還元金は、機械経費と回送費などが影響して 140,000 円/ha と低い。山林所有者還元金のうち木質バイオマス発電所への未利用材売上金は 214,600 円 (13t (絶乾) × 16,500 円/絶乾 t = 93 m³ 層積 × 5,800 円/m³ 層積) であり、地拵えを一貫作業として実施した場合、未利用材収入が無いと 121,160 円の赤字となる。仮に、一貫作業とした地拵えを行わず未利用材を販売した場合には 474,000 円/ha の山林所有者還元金が可能と推察される。

上川町の実証は既に木くず燃料販売を行っている森林組合の協力を受けた実証で、これまでの未利用材生産経験が豊富なために、未利用材の集荷や極積みが機能的で高効率、かつ未利用材も長尺で土砂などの付着が無くきれいな状態で極積された。また、現地生産した未利用材は木質バイオマス発電所に直売できたことから、トータル的に実証が行うことができた。

地拵えにおいても、保有していた機械地表クラッシャのみで伐木前の全面ササ刈が出来たこと、また、グラップル用大型レーキで効率良く行えたため、328,094 円/ha の地拵え経費で処理された。

(3) 道央地区 (京極町)

道央地区 (京極町) は施業面積 0.63ha 当りの成立本数 251 本と少なく、カラマツ人工林に広葉樹 (ナラ、カンバ、イタヤなど) が林縁部に混合していた。出材積は用材 85.95 m³、パルプ材 54.23 m³ で用材率は約 6 割の出材であり、未利用材は 80 m³ 層積で、総出材積に対する質未利用材出材積率は 18.6% あった。

山林所有者還元金は、上川町と同様に機械経費と回送費などが影響して 190,000 円/ha と低い。山林所有者還元金のうち未利用材売上金は 162,500 円 (25t (水分 40% w. b.) × 6,500 円/t) であり、地拵えを一貫作業として実施した場合、未利用材収入が無いと 39,300 円の赤字となる。なお、未利用材販売額は地域に未利用材の販売先

が無いため、事業の収益性は昨年の道央地区のバイオマス用木くず燃料販売先の近況の木くず燃料価格を参考に試算した。

仮に、一貫作業とした地拵えを行わず未利用材を販売した場合には 300, 152 円/ha の山林所有者還元金が可能と推察される。

道央地区（京極町）の実証の協力を受けた森林組合では、これまで未利用材の活用を考えた集材経験は無い。このため集材作業などの戸惑いもあり、未利用材の集荷が上手に行えず未利用材の桝積に土砂が混合したり、堆積場が林道から少し離れた場所などで、集積した未利用材の活用が難しい状況であった。

また、実証地ではハーベスタとフォワーダを利用した CTL の作業システムで施業を実施した。フォワーダの搬出距離は 120m 程度と短距離である。CTL 作業システムによる未利用材の集積状況は前項に示したとおり、林内に大量の広葉樹の末木が残されており、効率良い未利用材の集積が実施できていない。仮に、林内に残された未利用材を集積しようとする場合には、グラップルとフォワーダによる運搬作業が発生して、昨年の道央地区同様に 90, 000 円/ha 程度の経費が掛かると推察される。

表 3.14 各地区の事業収支まとめ

			平成 30 年度			平成 29 年度			
			道北地区 (中頓別)	道北地区 (上川)	道央地区 (京極)	道東地区 (鶴居村)	道央地区 (安平町)	道南地区 (北斗市)	
現 場 件	実証面積	ha	1.32	0.64	0.63	0.93	0.81	1.89	
	用材出材積	m ³	390.05	90.91	85.95	※186.28	※221.06	※1,100.00	
	パルプ材出材積	m ³	73.72	100.9	54.23				
	未利用材 出材積	おが粉	m ³ 層積	235.00			26.00		
		燃料材	m ³ 層積		93	80.00		303.43	632.00
生 産 性 コ ス ト	生産性	m ³ /人日	14.05	11.62	20.03	24.28	20.10	12.64	
	伐出コスト	円/m ³	3,695	4,741	3,956	2,821	3,018	4,394	
	地拵えコスト	円/ha	787,431	328,094	176,952	131,096	107,074	309,047	
	木くず生産性 コスト	円/m ³ 層積	681	849	972	2,126	1,537	982	
事 業 費	現場事業費	円	2,913,940	1,198,860	744,100	759,630	1,220,870	6,040,010	
	間接 事業費	20%	円	582,700	239,700	148,800	151,900	244,100	1,208,000
	木材 運搬費	2,000 円 /m ³	円	927,500	383,600	280,400	372,600	442,100	2,200,000
	計	円	4,424,140	1,822,160	1,173,300	1,284,130	1,907,070	9,448,010	
販 売 費	用材 売上金	用材・ パルプ材	円	5,054,000	1,701,000	1,134,000	1,590,000	2,200,000	10,300,000
	未利用材売上金		円	540,500	214,600	162,500	59,800	390,000	620,000
	計		円	5,594,500	1,915,600	1,296,500	1,649,800	2,590,000	10,920,000
収 支	山林所有者還元金	円	1,170,360	93,440	123,200	365,670	682,930	1,471,990	
	山林所有者還元金 (ha 換算)	円	880,000	140,000	190,000	400,000	840,000	780,000	

※平成 29 年度の用材出材積はパルプ材出材積も含む

2) 伐木から地拵えまでの実証データの比較分析・評価

伐採から地拵えまでの一貫作業と山土場で林地未利用材を自然乾燥させて、その場で木くず燃料を生産する実証データを、昨年度の実証データや過去に他地域で実証された調査データと比較分析した。

森林施業に伴うコスト分析は、作業工程別の生産単位毎に単価を積算することが必要である。このため、本事業および過去の実証データにおいても、伐木、木寄せ集材、造材、地拵え、木くず生産までの一連作業を工程別に分類して工程単価を算出して分析した。

なお、分析の取りまとめは、伐採から造材・極積および地拵えと、未利用材の集積と木くず生産の2段階に分けた。

(1) 収益性

実証地の結果は、表 3.14 に示したとおり事業全体としては事業収支が保たれ、山林所有者還元金もある程度確保できた。しかし、平成 29 年度の実証地である道央地区（安平町）と道南地区（北斗市）は、林内に散在した未利用材をグラップルとフォワーダを使って集材したため、地拵え経費を含むと事業収益は赤字になる。また、今年度事業地の道北地区（上川町）と道央地区（京極町）は、事業面積が小さいことから、未利用材収益を含まないと事業収支は赤字となる。

道南地区（北斗市）は新規に導入したばかりのハーベスタで、オペレータが機械操作を習得中であったことから伐出コストも割高で、事業収益が低いのはやむを得ない状況と判断する。

道央地区（安平町・京極町）、道北地区（上川町）は、何れも施業面積が小さいわりに、導入機械台数が多く、機械回送費の計上など出材積に対して機械経費が割高で収支が良くない。この3地区とも施業面積を現状の2倍（1.2以上）実施したとする試算では、80万円/ha以上の山林所有者還元金が確保できる。

各地区の林地未利用材の生産結果を分析すると、表 3.15 に示すとおり今年度の3地区は、未利用材のみの事業収支はプラスとなっている。これは昨年の実証結果を受けて、木くずの生産を全て現地の自然乾燥と移動式チップパー機を導入して実施したため、木くず生産段階の機械経費が安価になったためである。なお、移動式チップパー機の生産性の詳細は次項に示す。

(2) 生産性

主伐の作業工程別施業費の公開データは非常に少ない。また、公開されているデータであっても、作業システムが不明だったり、機械経費が経験値を基にしたコストで試算しているなど比較データには適さない。このため、出典データが明らかな北海道造林事業標準単価（平成 29 年度）など、公的機関と研究機関が公開しているデータを基に比較分析した。また、公開されているデータのうち機械回送費が含まれていないものについては、機械回送費を一律 30,000 円（往復）計上した。

伐木から極積までの全てのデータ（実証データも含む）は表 3.17 に示すとおり、平均生産性は、19.35 m³/人日で、昨年の道東地区（鶴居村）の 24.28m³/人日が最も

高く、次いで道央地区（京極町）、道央地区（安平町）、道北地区（中頓別町）の生産性が高い。道東地区（鶴居村）、道央地区（安平町）、道北地区（中頓別町）は全木集材作業システムである。道央地区（京極町）は短幹集材（CTL、搬出距離 120m程度）であったが、集材距離が短いため、伐出・搬出コストの差はみられない。

伐出コストは、昨年の道東地区（鶴居村）が 2,821 円/m³、次いで道央地区（安平町）3,018 円/m³、道北地区（中頓別町）3,695 円/m³、道央地区（京極町）3,956 円/m³である。

なお、平坦地形と効率的な作業システムで実証した道北地区（上川町）の生産性が低い、これは未利用材の有効活用に配慮した搬出を心掛けたことと、広葉樹（カンバ）の混交割合が高く、伐木・全木搬出に時間を要したため、並びに町道沿いの立木をグラップルと人力（チェーンソー）による伐木を併用し作業時間の掛かり増しがあったためである。

(3) 地拵え経費

地拵え経費はグラップル用大型レーキを使用した平均値では 188,570 円/ha であり、林業用クラッシャを使用した平均値は 172,153 円/ha であった。また、伐木前のササ除去については、道北地区（中頓別町）で背丈のチシマザサ等を人力（ブラッシュカッター）で全面ササ刈を実施した結果、北海道造林単価の 2 倍の経費の 54 万円/ha を要した。伐木や集材作業は効率よく実施できたが、事業収支的にはマイナス要因と判断される。このためササ丈があり密度が高い場合には、機械伐木を先行させて、集材後にグラップルレーキなどで地拵えすることが望ましいと判断される。

今年度の実証では、昨年度の道央地区（安平町）で使用して低コスト地拵えが実証できたグラップル用大型レーキを用いて地拵えを行って、その普及と実証データの蓄積をはかった。

グラップル用大型レーキおよび林業用クラッシャを使用した地拵えは、斜面傾斜の影響を受けるが、緩斜面（10 度程度）では経費的な差は小さく、両システムとも北海道造林標準単価（約 26 万円）の 7 割程度の経費で仕上がっているため、地拵え経費の目標値に成りうると推察される。

表 3.15 林地未利用材生産結果のみの事業収益

地 区	平成 30 年度				平成 29 年度				
	道北地区 (中頓別町)	道北地区 (上川町)	道央地区 (京極町)	道東地区 (鶴居村)	道央地区 (安平町)		道南地区 (北斗市)		
作業システム	伐木・集材・ 地拵え・木く ず化	伐木・集材・ 地拵え・木く ず化	伐木・集材・ 地拵え・木く ず化	伐木・集材・ 地拵え・木く ず化	伐木・集 材・地拵 え・【未利 用材集 荷】・木く ず化	伐木・集 材・地拵 え・木くず 化	伐木造材・ 集材・地拵 え・【未利 用材集 荷】・木く ず化	伐木造材・ 集材・地拵 え・木くず 化	
	林内に散在し た未利用材を 集荷	なし	なし	なし	なし	あり	なし	あり	なし
未利用材発生 量	材積(m ³)	94.00	37.00	32.00	29.35	108.37		253.00	
	水分 35% 重量(t)	67.68	26.64	23.04	21.13	78.03		123.97	
	チップ ¹ 層積 (m ³)	235.00	93.00	80.00	82.18	303.44		632.00	
未利用材のみ 事業経費(円)	160,000	78,980	77,780	174,700	466,640	375,140	621,210	182,810	
未利用材単価	おが粉単価 2,300 円/m ³ 層積	木くず燃料 5,800 円/m ³	木くず燃料 6,500 円/t	おが粉単価 2,300 円/ m ³ 層積	木くず燃料 5,000 円/t		木くず燃料 5,000 円/t		
未利用材収入(円)	540,500	214,600	149,760	189,000	390,000		620,000		
未利用材収益(円)	380,500	135,620	71,980	14,300	-76,640	14,860	-1,210	437,190	

表 3.16 各事業地の 1ha 当り換算数量と事業費(参考)

項目	道北地区 (中頓別町)	道北地区 (上川町)	道央地区 (京極町)	道東地区 (鶴居村)	道央地区 (安平町)	道南地区 (北斗市)
実証地面積(ha)	1.32	0.64	0.63	0.93	0.81	1.89
ha 換算係数	0.758	1.563	1.587	1.075	1.235	0.529
立木本数(本/ha)	1042	452	398	405	630	708
立木蓄積(m ³ /ha)	456	449	336	306	366	1,031
出材積(m ³ /ha)	352	300	222	200	273	582
未利用材出材積(m ³ 層積/ha)	71	58	51	32	134	134
出材積に対する未利用材発生率(%)	20	19	23	16	49	23
生産人工(人/ha)	25	26	11	9	14	46
伐木～植積コスト(円/ha)	1,299,000	1,422,000	881,000	626,000	824,000	2,558,000
地拵えコスト(円/ha)	788,000	328,000	177,000	131,000	107,000	309,000
木くず原木集荷コスト(円/ha)	-	-	-	-	113,000	232,000
木くず生産コスト(円/ha)	121,000	123,400	124,000	59,000	463,000	97,000
計	2,208,000	1,873,400	1,182,000	816,000	1,507,000	3,196,000

表 3.17 伐木から地拵えまでの実証データとこれまでの施業データ

項目	内訳	単価	道北地区 (中頓別町)		道北地区 (上川町)		道央地区 (京極町)		道東地区 (鶴居村)		道央地区 (安平町)		道南地区 (北斗市)		北海道 造林標準単価		森総研一貫 システム手引き		道総研伐コスト		低コスト 手引き		
			円/m ³	m ³ /人・日		円/m ³	m ³ /人・日																
伐木	チェーンソー	工程単価 円/m ³	857																				
		工程生産性 m ³ /人・日	44.1																				
	ハーベスタ	工程単価 円/m ³		1,369															1,000				
		工程生産性 m ³ /人・日		56.0															100				
集材	フェラハン	工程単価 円/m ³		1,799					614		783												
	チャ	工程生産性 m ³ /人・日		31.9					93.1		63.1												
	人力	工程単価 円/m ³																					
		工程生産性 m ³ /人・日																					
造材	ブルドーザ	工程単価 円/m ³	634																				
		工程生産性 m ³ /人・日	35.4																				
	グラップル	工程単価 円/m ³	336	2,166					601		998												
		工程生産性 m ³ /人・日	19.1	40.0					124.1		63.1												
植積	フォロワダ	工程単価 円/m ³																					
		工程生産性 m ³ /人・日																					
	チェーンソー	工程単価 円/m ³	958																				
		工程生産性 m ³ /人・日	71.3																				
地拵え (全刈耕転無)	ハーベスタ	工程単価 円/m ³																					
		工程生産性 m ³ /人・日																					
	プロセッサ	工程単価 円/m ³		1,835					718		756												
		工程生産性 m ³ /人・日		27.4					93.1		88.4												
機械地拵え	グラップル	工程単価 円/m ³	910	421					888		481												
		工程生産性 m ³ /人・日	61.8	140.1					62		147.3												
		工程単価 円/m ³	14.05	20.03					24.28		20.1												
		工程生産性 m ³ /人・日	3.695	4.741					2.821		3.018												
地拵え (全刈耕転無)	肩掛け式	単価 円/ha																					
		生産性 ha/人・日	536.318																				
	大型レーキ	単価 円/ha																					
		生産性 ha/人・日	251.114																				
機械地拵え	クラン	単価 円/ha																					
		生産性 ha/人・日																					
	クラン	単価 円/ha																					
		生産性 ha/人・日																					
		平均		172,153		172,153		172,153		172,153		172,153		172,153		172,153		172,153		172,153		172,153	

3) 林地未利用材の集荷および木くず化

未利用材の集荷および木くず化までの検証データの比較分析・評価は、(1) 短幹集材により林内に散在する未利用材の集積・運搬、(2) 未利用材を中間土場や木くず生産工場まで運搬する 10 t ダンプへの積込・運搬、(3) 現地木くず生産、並びに (4) 木くず生産工場内における木くず生産経費および (5) 木くず燃料の発電所等までの運搬経費について、実証およびこれまでの実証データを取りまとめ分析した。

取りまとめ分析結果は、表 3.21 に示し、平成 29 年度からの 6 地区の実証で使用した木くず生産機械と機械能力は表 3.19 に示すとおりである。

(1) 短幹集材により林内に散在する未利用材の集積・運搬

国内で実証されている一貫作業システムは、CTL システムで短幹集材を基本とし、林内に D 材や末木・枝条が広域に散在するため、未利用材を集荷するために、新たにグラップルやフォワーダによる集荷作業が発生する。この短幹集材で発生する未利用材を集荷するコストを分析した。

実証では平成 29 年度の道央地区（安平町）および道南地区（北斗市）でグラップルとフォワーダを使用して未利用材の集積・運搬を行った。なお、今年度の道央地区（京極町）の短幹集材では、バーベスタの伐木を林内の数か所に木寄せしたのち造材して、短幹をフォワーダで運搬したため、実証範囲では未利用材が分散しなかったため、未利用材の集積・運搬作業発生しなかった。

実証結果およびこれまでの実証データによるグラップル用大型レーキで集積して 6 t 積フォワーダによる未利用材の集積・運搬経費の平均値は、表 3.21 に示すとおり、981 円/m³ 層積 (2,453 円/m³ (原料材積に対する換算倍数 2.5 倍)) である。

なお、グラップル用大型レーキを使用した未利用材集積と地拵えを併用して行うことで、地表の踏み固めなどによる植栽事業への影響は無いが、全木集材に比較して、地拵え経費の掛かり増しと、土砂が混じる未利用材が大量に発生する傾向にある。

(2) 未利用を中間土場や木くず生産工場まで運搬する 10 t ダンプへの積込・運搬

北海道内の未利用材活用のスタンダードとなっている土場に集荷した D 材や末木を木くず生産工場まで運搬するシステムと山土場から中間土場までの運搬、並びに生産した木くず燃料の発電所等までの運搬経費について、これまでの実証データを取りまとめた。なお、本項については、本事業では実証していない。

これまでの実証データを取りまとめ結果は表 3.18 に示すとおり、グラップルによる 10 t ダンプ（ファームダンプ（深ダンプ））への積込経費は 395 円/m³ 層積 (988 円/m³ (換算倍数 2.5))、山土場から中間土場（20km 程度）までの運搬経費は 480 円/m³ 層積 (1,200 円/m³)、荷の積み下ろしはダンプアップを基本とする。生産した木くず燃料の発電所や熱利用場所までの運搬経費は、25km 以内 1,296 円/m³ 層積、50km 以内 1,740 円/m³ 層積である。

従って、山土場で木くず生産する場合と、山土場から 20km 離れた木くず生産工場でも木くず燃料を生産する単純な価格差は、875 円/m³ 層積 (2,188 円/m³ ((換算倍数 2.5)) となる。

表 3.18 中間土場や木くず生産工場まで運搬する 10 t ダンプへの積込・運搬経費

区 分		経 費	
山土場 10t ダンプへグラップル積込経費		395 円/m ³ 層積 (988 円/m ³)	875 円/m ³ 層積 (2,188 円/m ³)
中間土場・木くず燃料生産工場 未利用材運搬 (10t ダンプ 20km 圏域)		480 円/m ³ 層積 (1,200 円/m ³)	
木くず燃料運搬 (10t ダンプ)	25km 圏域	1,296 円/m ³ 層積	
	50km 圏域	1,740 円/m ³ 層積	
	75km 圏域	2,448 円/m ³ 層積	
	100km 圏域	2,628 円/m ³ 層積	

(3) 現地木くず生産

実証に伴う木くず生産のコンセプトは、バイオマス利用の先進国で普通に行われる直接供給システムとして、山土場の自然乾燥後に移動式チップパー機を山土場に自走して移動して木くず生産とした。

実証に使用した木くず生産機械は、表 3.19 に示すとおり、平成 29 年度はクローラ式切削チップパー機（グラップル無し）、クローラ式破砕チップパー機（グラップル無し）、トラクター牽引式チップパー機（グラップル付き）の 3 機種であった。平成 29 年度の実証結果から、クローラ式システムは回送費が現場毎に必要となる。また、何れのクローラ式もグラップル装備が無い場合グラップルも現場毎に回送が必要で、両機械の回送費のみで往復 6 万円が必要となり未利用材収益が低くなる。このため、今年度の実証では、全ての地区でトラクター牽引式チップパー機を導入して、その機動性・生産性・収益性の高さの普及と実証データの充実をはかった。

木くず燃料の生産システムは、表 3.20 に示すとおり、トラクター牽引式チップパー機が 698 円/m³層積（1,745 円/m³（換算倍数 2.5））が最も低コスト生産で、次ぐグラップルとクローラ型切削チップパー機 1,814 円/m³層積（4,536 円/m³（換算倍数 2.5））の 38%経費で生産した結果となっている。

木くず生産コスト機種別のコストは、表 3.21 に示すとおり、全ての機種の前平均値（実証データ含む）は、1,921 円/m³層積である。最大値は美深町の 4,503 円/m³層積で、最小値は昨年の道南地区（北斗市）の 289 円/m³層積である。

表 3.19 実証で使用した木くず生産機械

	地区	名称・型式	出力	最大生産量	最大投入口径	燃費
平成 30 年度	道北(中頓別・上川)・道央(京極)	VALTRA T234 MUS-MAX 8XLZ トラクター牽引式チップパー機(グラップル付)	VALTRA トラクター 173kW	~100 m ³ /h	0.6m	0.76 ℓ/m ³ 層積
平成 29 年度	道東(鶴居村)	WoodHacker Mega561DL クローラ式切削チップパー機(グラップル無し)	CAT C13 354kW	~150 m ³ /h	軟質木~56cm 硬質木~42cm	0.25 ℓ/m ³ 層積
	道央(安平町)	MOROOKA MC-6000 クローラ式破碎チップパー機(グラップル無し)	CAT C18 470kW	~150 m ³ /h	2.2m	2.05 ℓ/m ³ 層積
	道南(北斗市)	VALTRA T234 MUS-MAX 8XLZ トラクター牽引式チップパー機(グラップル付)	VALTRA トラクター 173kW	~100 m ³ /h	0.6m	0.10 ℓ/m ³ 層積

※最大生産量はカタログ値、消費燃料は実証値

表 3.20 木くず生産経費 (グラップル+チップパー機)

区分	クローラ型切削	クローラ型破碎	トラクター牽引式
グラップル経費	654 円/m ³ 層積	884/m ³ 層積	-
チップパー機	1,160 円/m ³ 層積	1,925 円/m ³ 層積	698 円/m ³ 層積
計	1,814 円/層積 (4,536 円/m ³)	2,809 円/m ³ 層積 (7,023 円/m ³)	698 円/m ³ 層積 (1,745/m ³)

※ () 内の円/m³ : 原料材積に対する換算倍数 2.5 倍で試算

※後述する表 3.21 の木くず生産経費を整理した

(4) 木くず生産工場内における木くず生産経費

北海道上川総合振興局では、平成 29 年度に「木質バイオマス安定供給体制構築事業」調査として、道北地区(上川町)のウッドチップス協同組合の木くず生産工場内で、木くず生産の実証を行っている。この実証は生産工場内に持込まれた低質材(C材)を 100 本選木して、場内移動するグラップルとクローラ型切削チップパー機で木くず生産してその経費積算したものである。

調査結果は表 3.21 に示すとおり、421 円/m³層積 (1,053 円/m³ (換算倍数 2.5)) であり、グラップル経費 95 円/m³層積、クローラ型切削チップパー機経費 326 円/m³層積となっている。

(5) 木くず燃料の発電所等までの運搬経費

木くず燃料の発電所等までの運搬経費は、「北海道における木質バイオマス発電所向け未利用材の供給ポテンシャルの試算」(酒井明香他、日林誌(2017)99:233-240))により試算されており参考として掲載する。試算結果は表 3.21 に示すとおり、10t ダンプ 25km 圏内の運搬で 1,296 円/m³層積、50km 圏内 1,740 円/m³層積と試算されている。

表 3.21 未利用材の集積から木くず生産までの実証データとこれまでのデータ

項目	単価	道北地区	道北地区	道北地区	道東地区	道東地区	道東地区	道南地区	道総研森林バイオマス				北海道上川総合振興局				未利用材供給試算 (日林証)
		(中頓別町)	(上川町)	(京極町)	(鶴居村)	(安平町)	(北斗市)	現場	工場	中間土場	音威子府村	美深町	上川町	美瑛町			
未利用材集積・運搬	円/m ³ 層積					143	336							1,798	702	553	
	円/m ³ 層積					159	358								858		
	円/m ³ 層積					302	694								1,560	553	
	円/m ³ 層積					981 (2,453円/m ³)											
未利用材10tダンプ積込・運搬	円/m ³ 層積																
	円/m ³ 層積																
	円/m ³ 層積																
	円/m ³ 層積																480
現地木くず生産	円/m ³ 層積																
	円/m ³ 層積																
	円/m ³ 層積																
	円/m ³ 層積																
工場内木くず生産	円/m ³ 層積																
	円/m ³ 層積																
	円/m ³ 層積																
	円/m ³ 層積																

(6) 比較検討データ

- ①【北海道造林標準単価】：「北海道水産林務部平成 29 年度造林事業標準単価」、伐出コストについては、更新伐（モザイク状-60 m³/ha 以上）歩掛の出材積を円/m³単位に変換した。
- ②【森総研一貫システム手引き】：「緩中傾斜地を対象とした伐採造林一貫システムの手引き」（2016 年 森林総合研究所北海道支所）、伐採生産性、伐出コストは、旧システム（チェーンソー・ブルドーザ集材・チェーンソー造材・グラップル極積、グラップル地拵え）、CTL システム（ハーベスタ・フォワーダ、クラッシュ地拵え）データ。
- ③【道総研間伐コスト】：「北海道の人工林間伐コストの低減に関する一考察」（2013 年、道総研林業試験場（酒井・木幡・対馬・渡辺）、伐採生産性、伐出コストは、旧システム（チェーンソー・トラクター集材・チェーンソー造材・ログローダ極積）、高性能型（ハーベスタ・フォワーダ）、地拵えデータはない。
- ④【低コスト手引き】：「低コスト施業の手引き-施業方法を見直しませんか-」（平成 26 年 北海道水産林務部）、機械別の地拵え生産性とコストデータ。
- ⑤【道総研森林バイオマス】：「地域で活かそう森林バイオマス（実践編）」（地独 北海道立総合研究機構林業試験場・林産試験場、平成 26 年）、木くず生産の工程単価にはグラップル経費が含まれる、機械回送費は含んでいない。
- ⑥【北海道上川総合振興局】：「木質バイオマス安定供給体制構築事業結果報告書」（平成 29 年 上川総合振興局木質バイオマス推進室）、未利用材集積データは、材積（m³・t）を層積に変換して表記した。
- ⑦「北海道における木質バイオマス発電所向け未利用材の供給ポテンシャルの試算」（酒井明香他、日林誌（2017）99：233-240）

3.7. 林地未利用材の水分変化

林地未利用材および木くずの輸送では、水分が低ければ低いほど軽量となり、1回あたりの運送量は増える。また、木くず燃料の熱利用における水分は35%程度が一般的なため、未利用材の水分管理は未利用材活用の大きなポイントである。

伐出した立木は、樹種と伐木時期により水分は変化するが、表3.22に示すとおり、カラマツの伐木時には水分50%程度であり、熱利用のボイラサイロへの木くず燃料出荷には、水分35%程度まで水分を蒸散させる必要がある。

このため、本事業では未利用材の輸送効率と、熱利用への出荷に伴う品質管理の基礎データを得ることを目的に、伐木後の未利用材の水分変化を計測して分析を行った。

各実証地において、発生した未利用材は以下の要領で自然乾燥を促す処置を施した。各実証地の伐採直後からのサンプリング日程と調査方法は、表3.23に示すとおりである。

(1) 林地未利用材の堆積方法

- ① 風通しの良い場所を選んで野積みする
- ② 通気性確保のため末木や枝条の野積みにグラップルなどで押しつぶさない
- ③ 末木は葉からの蒸散を促すため枝葉は落とさずに野積みする
- ④ 乾燥後の木くず燃料生産作業の効率を考慮して野積みに伴う玉切りは行わず長尺で野積みする
- ⑤ 1箇所当たりに堆積させる高さは問わない
- ⑥ 1箇所当たりの堆積量は、木くず化作業に配慮してなるべく多くする
- ⑦ 野積み後にブルーシートは被せない

(2) 実証地区の未利用材野積み状況

道北地区（中頓別町）は、これまで2度間伐を行っているために、根部の曲りや腐れは少なく、広葉樹に混交も少なかった。また、カラマツは全木木寄せ集材中に枝条がほぼ落下するので、未利用材としての枝条発生率も非常に低かった。

未利用材の堆積場所は、造材土場の山側斜面の日当たり、風通しの良い場所としたため、乾燥の程度は早く良好であった。

しかし、現場作業者が最後にブルドーザーとバックホウで土場整地をした折に、未利用材を斜面に押し込んだために、写真3.34に示すとおり未利用材に土砂が混入し木くず化できない未利用材も多くあった。今後の未利用材の活用では、未利用材を商品とした認識を持った集積と野積みの取り扱いが必要である。



写真 3.34 道北地区（中頓別町）の林地未利用材堆積状況

道北地区（上川町）は、実証地内にシラカンバをはじめとした広葉樹が多く、広葉樹の未利用材の発生割合が高かった。カラマツの全木木寄集材に伴う枝条は道北地区（中頓別町）と同様に、集材中に落下するため量的には少ない。

未利用材の堆積場所は、作業道脇であり日当たりが良好な場所で、木くず化した燃料材を木くず化しやすい道端に堆積した。堆積方法は風通しを考慮して、押しつぶさずフワッと堆積させるとともに、これまでの未利用材活用の実績が豊富なため、木くず化作業に配慮して、木口を揃えたり、広葉樹の末木方向を揃えるなどの工夫がみられた。



写真 3.35 道北地区（上川町）の林地未利用材堆積状況

道央地区（京極町）は、道北地区（中頓別町・上川町）と同様にカラマツの全木木寄集材に伴う枝条は、集材中に落下するため量的には少ない。

未利用材の堆積場所は、日当たりの良い林道沿いに堆積させた。堆積方法は押しつぶさないように配慮したが、地拵えのササと林内に散在した枝条もまとめて堆積させたために、土砂の混入率が高く、有効な未利用材としての活用は難しかった。



写真 3.36 道南地区の林地未利用材堆積状況

(3) 水分の計測と調査結果

水分の継続的な調査結果は、図 3.7 に示すとおり、カラマツは2か月自然乾燥で水分 30%より低くなった。従って、北海道内では3か月自然乾燥させれば、未利用材の水分の 15%程度は蒸散して水分 35% (w. b.) を下まわるため、現場で木くず燃料を生産して直接ボイラサイロに直送できる品質となる。

一般に原木丸太の自然乾燥では1か月程度で水分 45%程度まで急激に減少したのち、その後変化は少ないと言う報告が多い。しかし、本実証における未利用材（追上材、末木、枝条）は、各実証地とも2か月程度で水分 30% (w. b.) 程度に減少している。これは、日射と風通しの良い環境に野積みしていることと、写真 3.37 に示すとおり計測部位が単コロや枝条で、通常の丸太に比べ材積当りの表面積率が高いため乾燥程度が早いためではないかと推察する。道北地区（上川町）および平成 29 年度の道央地区（安平町）の最終計測時の水分の上昇は、降雨と降雨後の凍結による影響と推察される。

なお、木質バイオマスエネルギーを活用したモデル地域づくり推進事業（遠野市）で調査したスギの長期的な自然乾燥データと、昨年度の実証地データ（道東地区（鶴居村）、道央地区（安平町）、道南地区（北斗市））を参考として図 3.7 に同時に示す。



写真 3.37 道北地区（上川町）の未利用材自然乾燥状況（伐採後1か月）

表 3.22 水分別の木材比重

水分 (%)	含水率 (%)	材積 1 m ³ 当たりの比重 (t/m ³)								
		スギ	エゾマツ	カラマツ	アカマツ	カツラ	シナノキ	ブナ	ミズナラ	マカンバ (カダ' 佳ノバ)
0	0	0.34	0.40	0.50	0.52	0.45	0.49	0.60	0.61	0.69
20	25	0.42	0.48	0.60	0.62	0.54	0.57	0.71	0.72	0.82
25	33	0.43	0.50	0.64	0.65	0.57	0.61	0.74	0.76	0.86
30	43	0.47	0.53	0.67	0.69	0.60	0.65	0.79	0.81	0.92
35	54	0.49	0.58	0.72	0.75	0.65	0.69	0.84	0.87	0.98
40	67	0.54	0.62	0.77	0.80	0.70	0.75	0.90	0.94	1.06
45	82	0.58	0.67	0.84	0.87	0.76	0.80	0.97	1.01	1.14
50	100	0.63	0.73	0.91	0.95	0.83	0.88	1.06	1.11	1.25
55	122	0.71	0.80	1.01	1.05	0.91	0.97	1.17	1.22	1.37

注：生材の水分を 55% (w. b.) = 含水率 122% (d. b.) と仮定。

全乾密度を基準に含水率別の材の重量を算出。

各含水率での体積は各方向の全収縮率を生材から全乾までの含水率の差で比例配分し補正。

なお、全乾密度（水分 0%の比重）、全収縮率は「木材科学ハンドブック」岡野健 祖父江信夫 (p126) を参照。

表 3.23 林地未利用材の自然乾燥データ取得および分析日程等

調査地	調査日	調査概要	調査サンプル数
道北地区 (中頓別町)	9月2日	カラマツ伐木直後	径 43・50・23・24 伐木木口 4 サンプル
	9月16日	伐木から2週間後のカラマツ・広葉樹未利用材	径 32・22・24・18 追上材幹深部 4 サンプル
	10月16日	伐木から1か月後のカラマツ・広葉樹未利用材	カラマツ・広葉樹混合、木くず化直後に採取 4 サンプル
道北地区 (上川町)	7月30日	カラマツ伐木直後	径 28・32・32 伐木木口、枝条 4 サンプル
	8月28日	伐木から1か月後のカラマツ・広葉樹未利用材	径 45・42・36・18 追上材幹深部 4 サンプル
	10月17日	伐木から3か月半後のカラマツ・広葉樹未利用材	木くず化直後に採取 4 サンプル
道央地区 (京極町)	9月13日	カラマツ伐木直後	径 37・50・43・39 伐木木口 4 サンプル
	10月19日	伐木から1か月後のカラマツ・広葉樹未利用材	木くず化直後に採取 4 サンプル
水分 調査方法	<p>●未利用材の水分調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・D材および末木の試料は、未利用材を無作為に抽出して、木口から30cm以上を玉切り、丸太中心部から採取した。 ・枝条の試料は、未利用材を無作為に抽出して、枝先や枝分かかれ部分の中心部を採取した。 ・取得サンプルは密閉式ビニール袋に保管して、2時間内に加熱乾燥式水分計(エー・アンド・デイ MF-50)で、水分(% w.b.)を計測した。 		

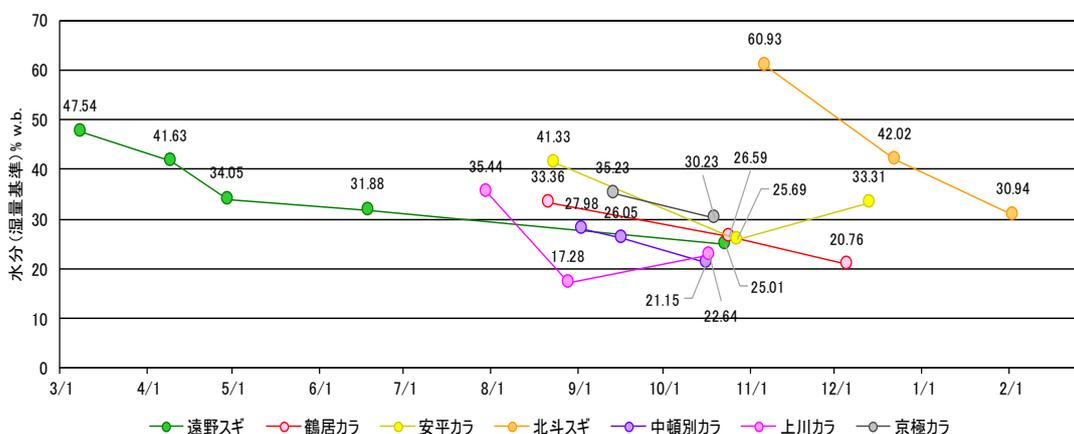


図 3.7 林地未利用材自然乾燥に伴う水分変化



写真 3.38 林地未利用材自然乾燥に伴う水分計測