

森林バイオマスの効率的供給システムの開発 (I)

— 林地残材収集・運搬コストの低減化 —

與儀 兼三・岡部 茂

與儀兼三・岡部 茂：森林バイオマスの効率的供給システムの開発；林地残材収集・運搬コストの低減化，広島県林技セ研報39：1～11，2007。①17・22・31・45年生ヒノキ人工林を対象にバイオマス資源量調査を行った。幹は56～211dry-t/haと林齢が上がるにつれて増加するが，枝葉の量は林齢にかかわらず30dry-t/ha前後であった。②29年生と43年生ヒノキ人工林を対象に収集コスト検証試験および林地残材発生量調査を行った。収集コストは集材材積が150m³を超えると7,000～9,500円/m³で，これ以下では急激にコストが高くなった。林地残材は29年生林で立木の50% (66dry-t/ha)，43年生林で40% (70dry-t/ha) 発生し，その量は林齢が上がるにつれていくらか増加するものの，割合は減少した。③スギ・ヒノキ人工林で小型移動式チップパーでの現地チップ化およびバンドリングマシンでのバンドル化による減容化試験を行った。現地チップ化では50～80%，バンドル化では70%の減容化となった。④チップとバンドルの自然乾燥による含水率の経時変化を調査した。チップの自然乾燥は進まず，バンドルは初期含水率が高くても100日程度で含水率20%の自然乾燥が進んだ。

[キーワード] 自然エネルギー，間伐木，チップ化，バンドル化，含水率，自然乾燥

Development of the efficient supply system for forest biomass ; Lowering the collection and transportation cost of logging residue.

Key words : natural energy, thinning tree, chipping, bundling, water content variation, natural drying

1 はじめに

近年，地球温暖化防止のためCO₂排出量削減が人類の環境課題として大きくクローズアップされ，化石エネルギー資源の使用量抑制のため，自然エネルギー資源の利用が求められている。森林が国土の3分の2を占めるわが国においても，森林バイオマスがカーボン・ニュートラルなエネルギー源として再び注目を集めている⁶⁾。

森林バイオマスのうち，今回対象とした林地残材は，伐採に伴い発生する素材以外の資源をいい，枝条・梢端部，木材不適木部（根曲がり等）が該当する。一般にこれらは広く薄く散在するため，その利用に当って収集・運搬が大きな課題となっている¹⁾⁸⁾。

本研究では，森林バイオマスを効率的に供給するシステムの開発を目指し，これに必要な林地残材の収集・運搬のコスト低減のため，森林バイオマス資源量および林地残材発生量の把握と収集コストの検証を行うとともに，不整形でそのままでは嵩張り運搬コストがかかる枝条・梢端部の減容化を試みた。また，森林バイオマスをエネルギー利用する場合，材料の含水率が熱効率に大きく影

響するため，チップパーで粉碎後のチップおよびバンドリングマシンで圧縮・結束後の残材（以下，バンドルと呼ぶ）の含水率の経時変化を調べた。

2 森林バイオマス資源量調査

2.1 調査地および方法

三次市布野町横谷の17年生・31年生ヒノキ人工林および庄原市比和町古頃の22年生・45年生ヒノキ人工林において，バイオマス資源量調査を実施した。

調査方法は，それぞれの調査対象林分で，標準木をそれぞれ3本選定し，層別刈取法に準じ現地で層ごとに幹，枝，葉の生重量を計測した。計測後，サンプルを持ち帰り，幹，枝は105℃，葉は80℃で24時間以上乾燥させ，絶乾重量を計測した。また，幹については，地際から0cm，20cm，それ以上は1mごとに円盤サンプルを採取し，樹幹解析を行った。これらの結果から，幹，葉，枝の部位別にha当りのバイオマス量を算定した。なお，バイオマス量は，絶乾重量（dry-tと記号表示）で示した。

2. 2 結果と考察

森林バイオマス資源量調査結果を表-1および図-1に示した。

表-1 森林バイオマス資源量調査結果

調査地	樹種	林齢	ha当たり本数	平均樹高 m	平均胸高直径 cm	幹材積 m ³ /ha	バイオマス現存量 (dry-t/ha)			
							幹	枝	葉	合計
三次市布野町横谷	ヒノキ	17	1900	9.4	14	145	56.48	14.26	14.52	85.26
庄原市比和町古頃	ヒノキ	22	1825	12.1	16.5	236	98.21	16.94	14.41	129.56
三次市布野町横谷	ヒノキ	31	2750	12.2	15.5	334	135.45	15.49	18.58	169.52
庄原市比和町古頃	ヒノキ	45	1625	17.9	20.9	567	211.01	21.79	13.66	246.46

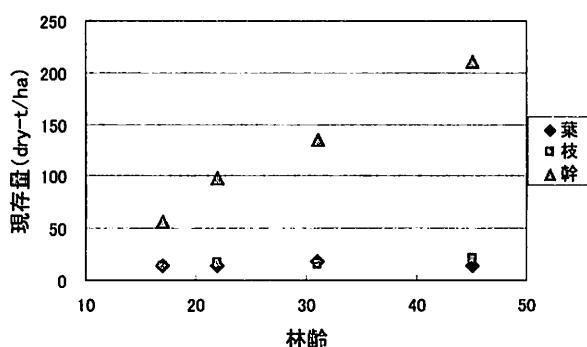


図-1 バイオマス現存量 (ヒノキの場合)

ha当りの森林バイオマス資源量の部位別内訳は、幹部が17年生56dry-t/ha、22年生98dry-t/ha、31年生135dry-t/ha、45年生211dry-t/haであった。枝部は17年生14dry-t/ha、22年生17dry-t/ha、31年生15dry-t/ha、45年生22dry-t/haであった。葉部は17年生15dry-t/ha、22年生14dry-t/ha、31年生19dry-t/ha、45年生14dry-t/haであった。

今回の調査結果から、幹部は林齢が上がるにつれて増加するものの、枝・葉部の量は林齢にかかわらずha当り30dry-t前後で一定し、大きく変動しないことが明らかになった。

3. 収集コスト検証試験

3. 1 試験地および方法

本県では、間伐対象齢級をⅢ～Ⅸ齢級(うち、Ⅷ・Ⅸ齢級は、収入間伐)としており、このほぼ両極となる林齢とするため、山県郡安芸太田町加計の29年生ヒノキ人工林と安芸高田市吉田の43年生ヒノキ人工林を選定し、森林バイオマス収集にかかるコストの検証を行った。なお、試験地の林況は、表-2のとおりである。

収集コストの検証には、図-2、-3に示すような試

験地を設定した。間伐方法は、加計試験地では2残1伐、吉田試験地では3残1伐の列状間伐とし、集材方法は、高性能林業機械を導入し、上げ荷による全木集材とした。

表-3に使用した機械、列の平均スパン長・作業に従事した人役を、写真-1に機械の配置を、写真-2に集材作業状況を示した。なお、本報告でいう収集コストとは、先山から山土場までのそれぞれの作業(伐採、集材、造材、運材、集積)に要した経費の合計である。

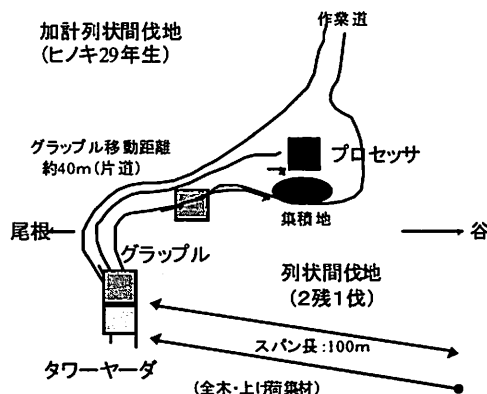


図-2 加計試験地の模式図

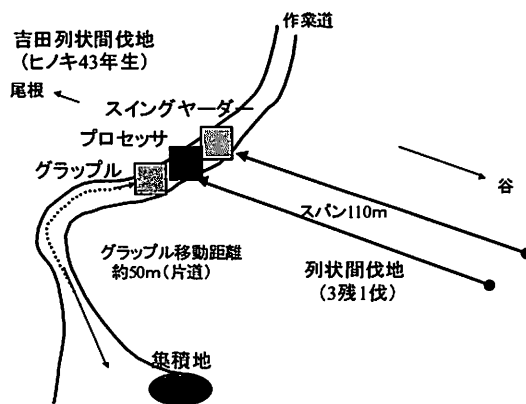


図-3 吉田試験地の模式図

表-2 収集コスト検証試験地の林況

試験地	樹種	林齢 (年生)	平均胸高 直径 (cm)	平均樹高 (m)	ha 当り本数 (本)	ha 当り材積 (m ³)
加計	ヒノキ	29	21.7	16.3	1,200	240
吉田	ヒノキ	43	26.3	19.5	888	462

表-3 使用した機械・スパン長・人役

試験地	使用機械					スパン長 (m)	人役 (人)
	作業種	伐採	集材	運材	造材		
加計 (ヒノキ29年生)	機種	チェーンソー	タワーヤーダ	グラップル	プロセッサ	100	4
	型式	—	KTY-600	LH10-2	CM-40Z		
吉田 (ヒノキ43年生)	機種	チェーンソー	スイングヤーダ	グラップル	プロセッサ	110	5
	型式	—	TW-302	MRL-120	GPi-40T		



写真-1 機械の配置状況 (吉田試験地)

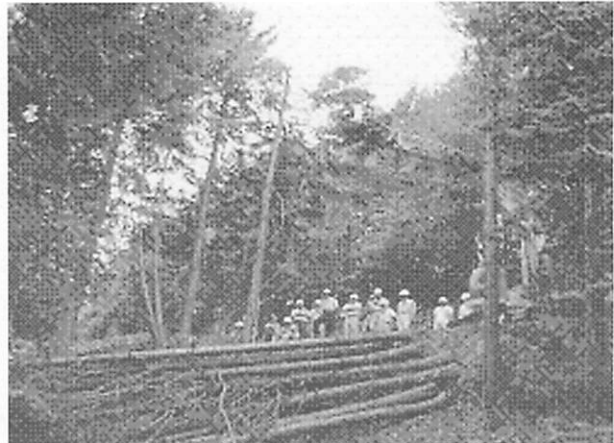


写真-2 集材状況 (吉田試験地)

検証試験は、コスト計算に必要な作業工程の生産性を算出するため、それぞれの試験地において、伐採した列のうち2列を対象に作業種ごとの所要時間を計測した。収集コスト算出に当っては、井上⁹⁾が開発したコスト分析プログラムを参考にし、算出結果を基に50m²単位の集材材積ごとに収集コストを試算した。

3.2 結果と考察

表-4に作業種ごとの所要時間を示した。

収集に要した時間の合計は、加計試験地740分、吉田

試験地794分であった。この差については、集積土場までの距離の差によるところが大きいと考えられた。

表-5にそれぞれの試験地での収集コストを示した。

収集に要した経費の合計は、加計試験地413千円、吉田試験地420千円であった。集材材積がそれぞれ15.8m³、29.6m³であったので、m³当りの収集コストは、加計試験地26,000円、吉田試験地14,000円となった。この差については、立木1本当りの材積および集材材積の差によるところが大きいと考えられた。

表-6に集材材積による収集コストを示した。図-4

表-4 作業種別所要時間

試験地	作業種別所要時間 (分)				
	伐採	集材	材移動	造材・集積	合計
加計 (ヒノキ29年生)	192	288	60	200	740
吉田 (ヒノキ43年生)	伐採	集材	造材	運材・集積	合計
	132	237	181	244	794

表-5 作業種別所要経費・集材材積・収集コスト

試験地	作業種別所要経費 (円)					集材材積 (m ³)	収集コスト (円/m ³)
	伐採	集材	材移動	造材	合計		
加計 (ヒノキ29年生)	7,627	253,694	67,307	84,164	412,792	15.8	26,126
吉田 (ヒノキ43年生)	伐採	集材	造材	運材・集積	合計	29.6	14,194
	5,543	238,162	96,045	80,396	420,146		

表-6 集材材積による収集コスト

集材材積 (m ³)	15.8	29.6	50	100	150	200	250	300	350	400
加計 (ヒノキ29年生)	26,126	14,164	11,683	9,883	9,283	8,983	8,803	8,683	8,597	8,533
吉田 (ヒノキ43年生)	17,747	14,194	9,954	8,158	7,554	7,255	7,078	6,956	6,869	6,804

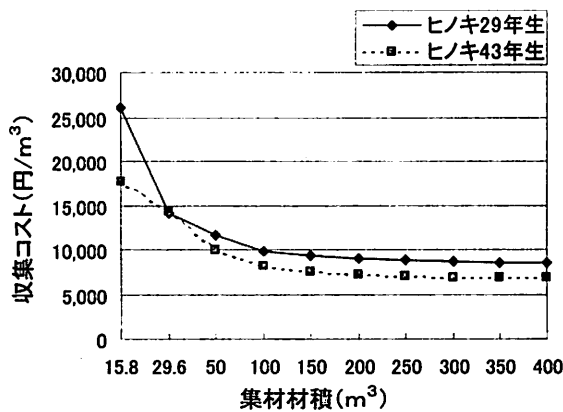


図-4 集材材積と収集コストの関係

には、集材量と収集コストの関係をグラフで示した。

算出結果を基に試算した集材材積と収集コストの関係は、作業地での集材材積が150m³を境にそれを超えると7,000~9,500円が、それ以下になると8,000~26,000円と高くなる傾向にあった。

今回の試験結果から、収集コストを低減させるためには、高性能林業機械を導入し、作業地での集材量が一定量以上(150m³を目安)になるような作業ロットを確保することが有効であることが示唆された。

また、林地残材は、集材方式を全木集材にすれば、残材は造材土場でまとまって発生するため、そこまでの収集コストは、素材生産の中に計上されるものとすれば、0(ゼロ)円と考えることができる。

4. 林地残材発生量調査

4.1 調査地および方法

収集コストを検証した試験地において、列状間伐後の伐採列をそれぞれ2列選定し、集材後、造材土場で林地

残材の発生量を調査した。

調査方法は、森林バイオマス資源量調査と同様である。

また、林地残材は素材の採材寸法によって発生量が増減することが予想されるため、加計調査地での実測を基に素材の採材末口を6cm、10cm、13cmと仮定した場合の発生量を推定した。なお、林地残材発生量は、絶乾重量(dry-tと記号表示)で示した。

4.2 結果と考察

加計調査地での2列分の集材材積は、15.8m³で、そのうち素材として出材した材積が9.2m³であったので、林地残材量は6.6m³と推定された。材積を重量に換算すると、幹部2.69dry-t、枝部0.84dry-t、葉部0.80dry-t、合計4.33dry-tとなった。

吉田調査地での2列分の集材材積は、29.6m³で、そのうち素材として出材した材積が19.0m³であったので、林地残材量は10.6m³と推定された。材積を重量に換算すると、幹部2.10dry-t、枝部1.50dry-t、葉部0.90dry-t、合計4.50dry-tとなった。

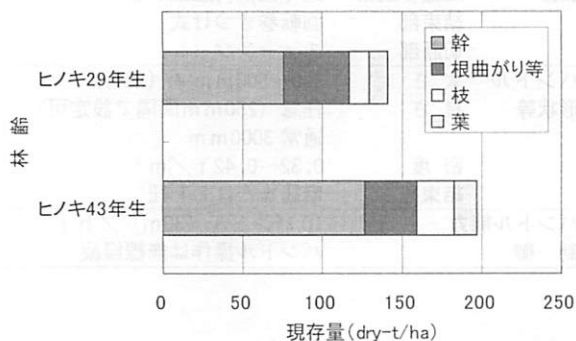
表-7、図-5、-6にha当りの現存量と部位別割合を示した。

29年生では、幹部の素材が75dry-tで立木の53%、残材が41dry-t(根曲がり部22dry-t、末木部19dry-t)で29%、枝部が13dry-tで9%、葉部が12dry-tで9%、残材は合計で66dry-tとなり、これは立木の47%に相当した。

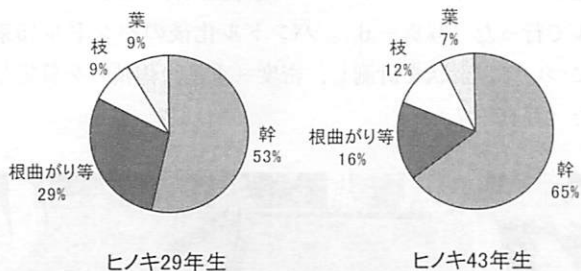
43年生では、幹部の素材が127dry-tで立木の65%、残材が32dry-t(根曲がり部20dry-t、末木部分12dry-t)で16%、枝部が24dry-tで12%、葉部が14dry-tで7%、残材は合計で70dry-tとなり、これは立木の36%に相当した。

表一七 ha 当りの森林バイオマス現存量・部位別割合・林地残材発生量

区 分		幹 (A)	根曲がり等 (B)	枝 (C)	葉 (D)	合 計 (A+B+C+D)	林地残材発生量 (B+C+D)
ヒノキ 29 年生	現存量(dry-t/ha)	75.44	40.83	12.75	12.14	141.16	65.72
	部位別割合 (%)	53	29	9	9	100	47
ヒノキ 43 年生	現存量(dry-t/ha)	126.90	32.00	23.80	14.20	196.90	70.00
	部位別割合 (%)	65	16	12	7	100	36



図一五 ha 当りの部位別現存量



図一六 部位別割合

表一八に採材寸法による林地残材の発生量を示した。加計調査地での素材の採材寸法は、末口11~13cmで、平均すると12cmであった。これを基に算定した結果、林地残材量は素材の採材寸法により大きく変化した。

今回の調査結果から、林地残材の発生量は、林齢が上がるにつれて若干増加するものの、その割合は、減少することが明らかになった。

表一八 採材寸法による林地残材発生量・発生割合

対 象	採材寸法	6cm まで採材	11cm まで採材	13cm まで採材
ヒノキ 29 年生	発生量 (dry-t)	3.21	4.03	4.74
	発生割合 (%)	38	47	56

5. 減容化試験

枝条・梢端部等嵩張る部位は、そのまま運搬すると容積密度が低く運搬効率が悪くなる。容積密度を高くする、すなわち、減容化を図るため、林地残材の発生現場において枝条・梢端部を粉碎によるチップ化と圧縮・結束によるバンドル化を試みた。

5. 1 現地チップ化による減容化試験

小型移動式チップパーでの現地チップ化による減容化試験を実施した。

5. 1. 1 試験地と方法

庄原市比和町古頃の40年生スギ・ヒノキ人工林の列状間伐施行地において、残材が集積された土場へ米国ヴァーミア社製BC-1000の小型移動式チップパーを搬入し、現地チップ化試験を行った。

残材土場から枝条・梢端部をコンテナへ投入し、残材容積を計測した。その後、チップパーへの残材投入作業を人力で行い、破碎後のチップは、排出シュートから直接コンテナへ積み込み、その容積を計測した(写真-3)。なお、チップ容積密度は、絶乾重量(dry-t/m³と記号表示)で算出した。

5. 1. 2 結果と考察

表一九に現地チップ化の試験結果を示した。

残材容積は、スギ15.6m³、ヒノキ23.4m³、残材容積密度は、スギ0.063dry-t/m³、ヒノキ0.044dry-t/m³であった。チップ化後のチップ容積密度は、スギ0.134dry-t/m³、ヒノキ0.217dry-t/m³と高くなった。この結果、スギで53%、ヒノキで80%の減容化となった(写真-4)。



写真-3 現地チップ化試験状況



写真-4 チップ化による減容化状況

運搬コストは、運搬容積や運搬距離によって左右される。本試験結果から、小型移動式チップパーによる現地チップ化は、減容化により1回当りの運搬量を増大できるため、残材の運搬コスト低減に有効であることが示唆された。

5.2 バンドル化による減容化試験

林業機械化協会と中外テクノス社の2者で共同開発されたバンドリングマシンでのバンドル化による減容化試験を実施した。開発された試作機の仕様を表-10に、機械の圧縮・結束構造を写真-5に示した。

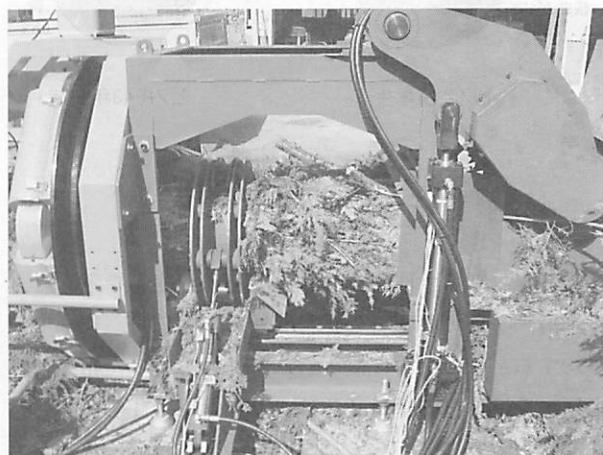
5.2.1 試験地と方法

廿日市市吉和の40年生スギ人工林において、3残1伐の列状間伐を行い、スイングヤード(イワフジCT-500

表-10 バンドリングマシンの仕様

項目	仕様	
寸法	全幅	1800mm
	全長	3600mm
	全高	1700mm
	重量	3500kg
機関	形式	水冷4サイクル直接噴霧式
	総行程容積	1496cc
	定格出力	26.2KW (35.6PS) / 3000rpm
駆動方式	全油圧式	
バンドル装置	残材投入部	押さえ機構付回転式ローラ
	圧縮移送部	送り機構付圧縮グラップル
	結束部	回転巻きつけ式
	切断部	チェーンソー
バンドル形状等	太さ	300~500mmφ (成行)
	長さ	任意 (250mm間隔で設定可) 通常 3000mm
結束紐	密度	0.32~0.42 t/m ³
	結束紐	麻紐またはPP紐
バンドル能力	10バンドル (30m) / hr	
制御	バンドル操作は無線操縦	

/TW-202L)で全木集材後、ハーベスタ(住友SH-75X/ケスラーPATU410-SH)で造材した。その造材土場へバンドリングマシンを搬入し、バンドル化試験を行った。バンドリングマシンへの残材投入作業は、グラップルで行った(写真-6)。バンドル化後のバンドル15束について、形状を計測し、密度(重量/体積)を算定した(写真-7)。



切断部 ← 結束部 ← 圧縮移送部 ← 残材投入部

写真-5 バンドリングマシンの構造

表-9 現地チップ化による減容化試験結果

樹種	残材容積 m ³	チップ容積 m ³	減容化率 %	含水率 % wb	生重量 t	絶乾重量 t	残材密度 dry-t/m ³	チップ密度 dry-t/m ³
スギ	15.6	7.3	53	46.6	1.84	0.983	0.063	0.134
ヒノキ	23.4	4.7	80	32.7	1.52	1.023	0.044	0.217



写真-6 結束化試験状況

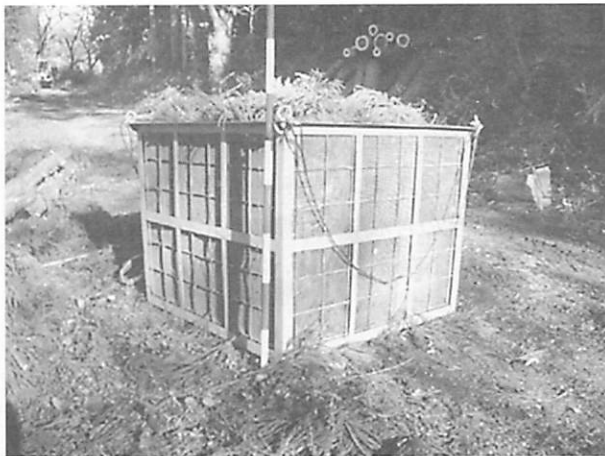


写真-8 鋼製コア升



写真-7 圧縮・結束後のバンドル

減容化率を算定するため、三次市十日市町の当センター内38年生スギ人工林から採取した枝条を写真-8に示す容積1.44m³(120×120×100cm)の鋼製コア升へ投入し、重量を計測した。計測後、升から枝条を取り出してバンドリングマシンにより圧縮・結束し、その体積を計測した。バンドル体積は、50cmごとの区分求積を行い、両端は円錐形、胴体部はスマリアン式により求めた。これを合わせて4回実施した。なお、バンドル容積密度は、絶

乾重量で算出した。

5. 2. 2 試験結果と考察

表-11に作製した15束のバンドルの平均形状と密度を示した。

バンドルは、平均長さ2.82m、3箇所の平均径41cm、生重量133kg、密度0.36生t/m³であった。

表-12に枝条のバンドル化前後の容積変化を示した。

1.44m³の鋼製コア升へ4回入れた枝条5.76m³のバンドル化後の容積は1.81m³で、1バンドル当たり0.45m³であった。容積密度は、0.034dry-t/m³から0.109dry-t/m³と高くなった。この結果、69%の減容化となった。

バンドル化によって収集・輸送コストが低減されるという報告^{4) 5)}があり、本試験結果からもバンドリングマシンでのバンドル化による減容化が認められた。バンドル化は、運搬車両の積載量を増大できるとともに不整形で嵩張る枝条を丸太状に成形処理することによって素材運搬用トラックを流用することも可能となり、運搬コスト低減に有効であることが示唆された。

今後は、素材生産工程の中で同時に残材のバンドル生産が行えるシステムの構築⁷⁾が必要であると考えられる。

表-11 バンドルの平均形状・密度

区分	長さ (m)	直径 (cm)				生重量 (kg)	密度 (生 t/m ³)
		1	2	3	平均		
平均	2.82	39	41	43	41	133	0.36

表-12 枝部バンドル化による減容化試験結果

樹種	残材容積 (m ³)	バンドル容積 (m ³)	減容化率 (%)	含水率 (wb %)	生重量 (生 t)	絶乾重量 (dry-t)	残材密度 (dry-t/m ³)	バンドル密度 (dry-t/m ³)
スギ	5.76	1.81	69	52.3	0.410	0.196	0.034	0.109

6. 含水率の経時変化調査

森林バイオマスを熱利用や発電の燃料として利用する場合、含水率が熱効率とエネルギーコストに大きな影響を与える²⁾。本調査では、燃料の需要者側から求められている20%程度の含水率を目標に、化石燃料を使用しない自然乾燥で、保管条件の違いによる含水率の経時変化を観測した。

6. 1 チップ含水率の経時変化

粉碎後のチップを自然乾燥で保管条件の違いによる含水率の経時変化を調査した。なお、チップの含水率は、湿潤基準（以下、%wbと記号表示）で算出した。

6. 1. 1 木箱保管での調査方法

写真-9に示すように、木製パネルで作製した木箱(179×89×89cm)にチップを層積厚スギ45cm、ヒノキ20cmの状態、屋内に1箱づつ設置・保管した。チップ含水率は、層積深さスギ0・10・20・35・45cm、ヒノキ0・10・20cmにあるチップを採取し、計測した。



写真-9 チップの木箱での屋内保管状況

6. 1. 2 金網籠保管での調査方法

図-7に示すように、上面を除き周囲と底面に5mmメッシュの金網を張って作製した籠(100×97×50cm)に粉碎したチップを層積厚スギ・ヒノキとも40cmの状態、屋内と屋外に1箱づつ設置・保管した。なお、屋外の金網籠には、写真-10に示すように、途中から防水シート(ターボ・フェルト)を掛けた。含水率の算定は、層積深さ0・20・35cmにあるチップを採取し、計測した。

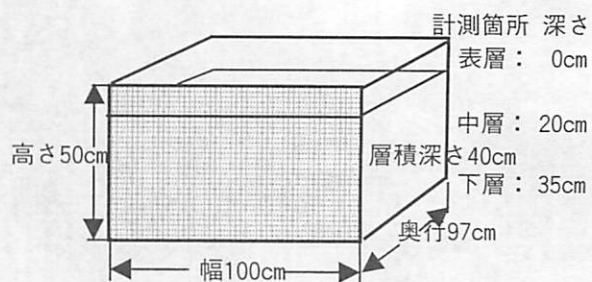


図-7 金網籠サイズと計測箇所



写真-10 チップの金網籠での屋外保管状況

6. 1. 3 木箱保管での調査結果と考察

図-8に木箱屋内保管でのチップ含水率の経時変化を示した。

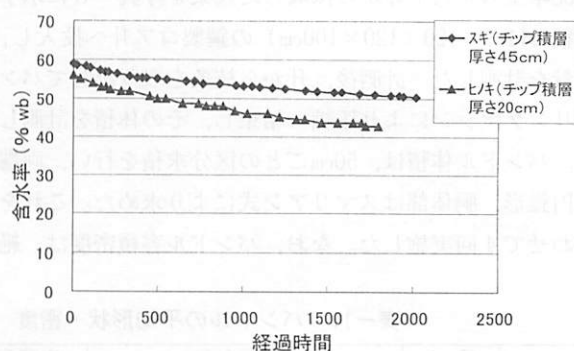


図-8 チップの木箱屋内保管での含水率変化

当初のチップの平均含水率は、スギ59%wb、ヒノキ56%wbであった。スギは84日、ヒノキは75日観測し、それぞれ平均で50%wb・43%wbといずれも目標としていた20%には至らなかった。

図-9に樹種別層積含水率構成を示した。

表面では、スギ26%wb、ヒノキ16%wbとなったが、層積の中は、当初とほとんど変わらないか、当初より高

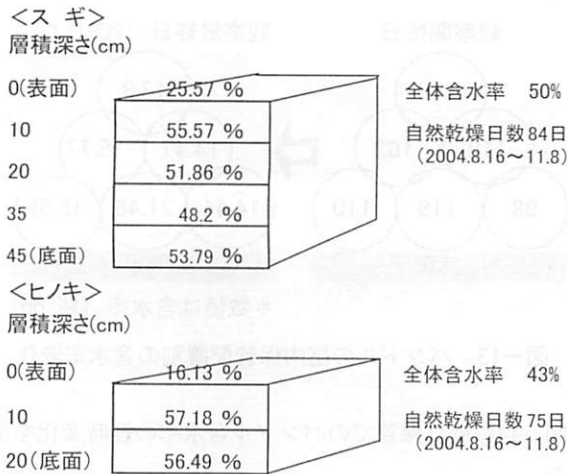


図-9 チップ木箱保管での樹種別層積含水率構成

くなる傾向があった。

このことから、木箱内でのチップ自然乾燥は、進まないことが明らかになった。

6. 1. 4 金網籠保管での調査結果と考察

図-10に金網籠保管でのチップ含水率の経時変化を示した。

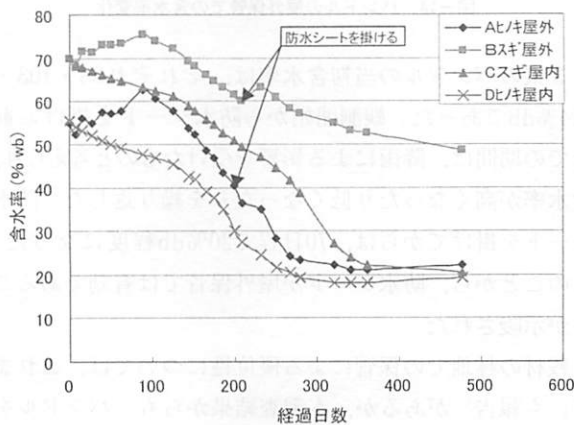


図-10 チップ金網籠保管での含水率変化

当初のチップの平均含水率は、スギ70%wb、ヒノキ55%wbであった。

屋外保管では、スギは初めの1週間は僅かに低下したが、89日までは75%wbと高くなった。144日で当初の含水率を下回ったが、調査最終日の477日でも49%wbであった。ヒノキもスギと同様の傾向であったが、250日で20%wb台になった。

屋内保管では、スギは144日で60%wbを下回り、321日で27%wb、477日で20%wbになった。ヒノキは144日で43%wb、200日で20%wb台に、280日で18%wbになった。

層積厚0・20・35cmでみると、スギが16・27・27%wb、ヒノキでは何れも18%wbであった。

今回の試験は、屋外保管では降雨の影響を受けたものと考えられるが、防水シートを掛けたのが観測途中からであったため、これを明確にすることはできなかった。屋外と屋内の保管を比較すると降雨の影響の少ない屋内保管の方が乾燥が進む傾向にあった。樹種でみると、ヒノキがスギに比べ乾燥が進む傾向にあった。屋外保管でもヒノキの場合、防水シートを掛け通気性を保てば乾燥は進むが、相当な時間を要する。現実にはこのような条件での大量保管は困難であろう。

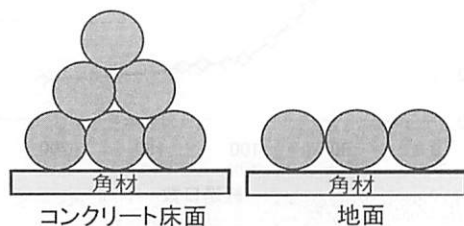
本調査結果から、現地チップ化を行う場合、含水率の高い伐採直後のチップ化を避け、ある程度乾燥が進んでからの方が適当であると考えられる。しかし、集積された残材は、放置期間が長くなると乾燥は進まず、集積内部の底面ではかえって含水率が高くなるという傾向もあり³⁾、残材の現地チップ化のタイミングが今後の課題であると考えられる。

6. 2 バンドルの含水率経時変化調査

圧縮・結束後のバンドルを自然乾燥で保管条件の違いによる含水率の経時変化を観測した。なお、バンドル含水率は、乾重基準(以下、%dbと記号表示)で算出した。

6. 2. 1 調査方法

バンドリングマシンにより作製したスギのバンドルを図-11に示すように屋内はピラミッド型に6束、屋外は平積み(平積み)に3束設置・保管し、含水率の経時変化を観測した(写真-11、-12)。なお、屋外保管では、途中でターポ・フェルトという防水シートを掛けた。



〈屋内：ピラミッド型〉 〈屋外：平積み〉

図-11 バンドルの保管配置図

6. 2. 2 調査結果と考察

図-12に屋内保管でのバンドル含水率の経時変化を示した。

当初のバンドルの平均含水率は、108%dbであった。

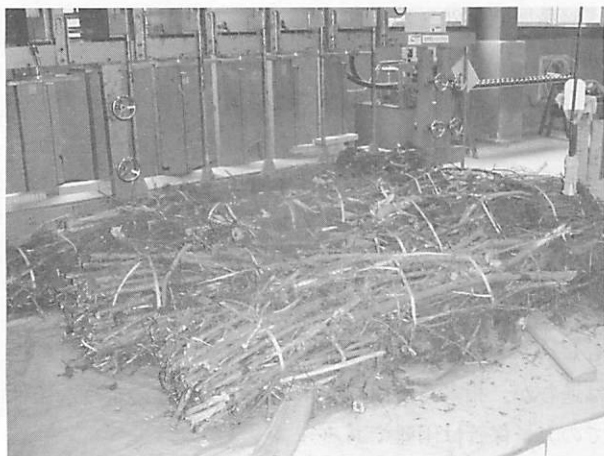


写真-11 バンドルの屋内保管状況



写真-12 バンドルの屋外保管状況

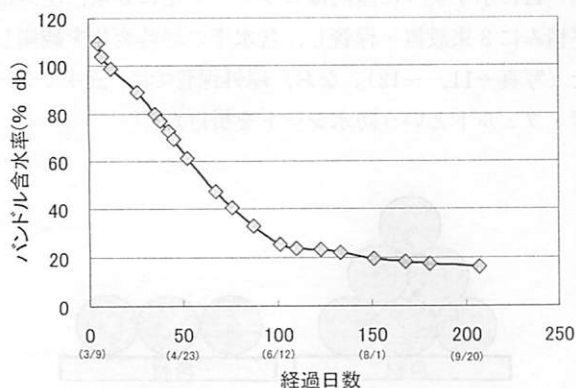


図-12 バンドルの屋内保管での含水率変化

その後、52日目61%db、76日目41%db、101日目25%dbと低下し、観測最終日の208日目では、16%dbであった。

図-13にピラミッド型に集積したバンドルの位置ごとの含水率を示した。

観測初日と最終日の208日目を比較すると、集塊内部の乾燥が若干遅れているものの、特に大きな差異は見られなかった。

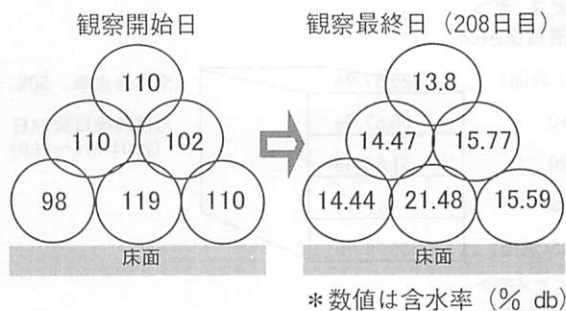


図-13 バンドルの屋内保管配置別の含水率変化

図-14に屋外保管でのバンドル含水率の経時変化を示した。

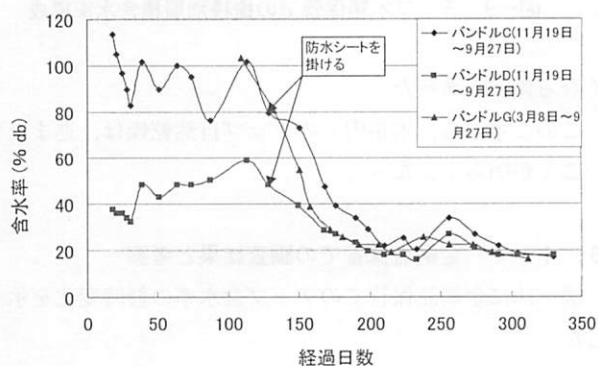


図-14 バンドルの屋外保管での含水率変化

3束のバンドルの当初含水率は、それぞれ38・103・114%dbであった。観測開始から防水シートを掛ける前までの期間は、降雨による影響を受けたものと考えられ、含水率が高くなったり低くなったりを繰り返した。防水シートを掛けてからは、70日程で20%db程度になった。このことから、防水シートが屋外保管では有効であることが示唆された。

残材の林地での保管による優位性については、これまでも報告⁵⁾があるが、本調査結果からも、バンドルを林道端や土場で保管している期間に自然乾燥により含水率を低下させ、需要に応じ出荷することも選択肢の一つになることが示唆された。

今後は、その次の工程となるチップ加工を含めたバンドル化による供給材料の生産コストを明らかにしていく必要があると考える。

7. まとめ

本研究により森林バイオマスの効率的供給システムの開発に必要な次のことが得られた。

- ① 森林バイオマス資源量を部位別に推定することが可能となった。

- ② 林地残材の発生量は、林齢とともに若干増加するものの、その割合は減少する傾向がある。
- ③ 収集コストは、集材量が一定量（150m³を目安）以上となるような作業ロットを確保すれば、コスト低減につながる。
- ④ 集材方式を全木集材とすれば、残材は、造材時にまとも発生するので、造材土場までの収集コストは、0（ゼロ）円と考えることができる。
- ⑤ そのままでは嵩張る枝条・梢端部は、小型移動式チップパーによる現地チップ化やバンドリングマシンによるバンドル化によって減容化が図れ、運搬コスト低減に有効である。
- ⑥ 初期含水率の高い残材は、チップ化後の自然乾燥が困難で、現地チップ化は、乾燥が進んだ残材で行う必要がある。
- ⑦ バンドルは、チップに比べ自然乾燥が進むことから、素材生産と同時に行うことも可能である。
- ⑧ バンドルのチップ加工が、今後の課題である。

最後に、本研究報告は、当林業技術センターの重点課題研究として、平成15～17年度の3年間取り組んだものをまとめたものである。この研究に当たりご協力いただいた太田川森林組合、高田郡森林組合、株式会社河本組、有限会社竹光産業、アサヒビール株式会社庄原林業所、もみのき森林公園、国産初のバンドリングマシンをご提供いただいた社団法人林業機械化協会並びに中外テクノス株式会社、高性能林業機械をお世話になったイワフジ工業株式会社、住友建機販売株式会社に厚くお礼申し上げます。また、当初の2年間を担当した広島県芸北地域事務所の西原幸彦専門員、広島県立林業センター時光博史森林環境部長、終始有益なご助言をいただいた兵藤博林業生産部長に深謝します。

引用文献

- 1) 久保山裕史ほか(2004) 林業・林産バイオマスのエネルギー利用の可能性について；岩手県遠野市を事例として、日林誌86. 112～120
- 2) 森口敬太・鈴木保志・後藤純一・稲月秀明・山口達也・白石祐史・小原忠(2004) 林地残材を木質バイオマス燃料として利用する場合のチップ化と運搬コスト、日林誌86(2). 121～128
- 3) 森口敬太・鈴木保志・後藤純一・稲月秀明・白石祐史・山口達也・小原忠(2004) 林道端に集積されたスギ残材の含水率の経年変化、日林誌86(2). 93～

97

- 4) 林業機械化協会(2003) 森林バイオマスの収集・輸送コストの低減について(調査報告書), 99pp
- 5) 林業機械化協会(2006) 小型バンドラーによる森林バイオマスの実証調査報告書, 17pp
- 6) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2002) バイオマスエネルギー導入ガイドブック, 264pp.
- 7) 與儀兼三・岡部茂・柘植佑一・宅和正彦(2006) 森林バイオマス収集・運搬の低コスト化に関する研究；枝条・梢端部の圧縮・結束装置の開発, 森利学誌20(4). 229～232.
- 8) 吉岡拓如・平田悟史・松村幸彦・坂西欣也(2002) 木質バイオマス資源のポテンシャルとエネルギー利用の可能性, 日エネ誌81. 241～248
- 9) 全国林業改良普及協会(2001) 機械化のマネジメント, 239pp.