

平成24年度林野庁補助事業

先進林業機械改良・新作業システム開発事業のうち

作業システム導入支援事業

報告書（案）



三美鋳業株式会社

株式会社 幸稜

平成24年度林野庁補助事業 先進林業機械改良・新作業システム開発事業のうち  
作業システム導入支援事業 報告書 目次

|                                      | ページ |
|--------------------------------------|-----|
| はじめに                                 | 1   |
| 1. 事業取り組みの目的と背景                      | 2   |
| (1) 北海道の森林・林業および木質バイオマス利用の現状         |     |
| (2) 取組の目的                            |     |
| 2. 事業の流れ                             | 3   |
| (1) 作業システムの改良ポイント                    | 3   |
| 1) バンドル試験                            |     |
| 2) チップ化試験                            |     |
| (2) 新作業システム開発に関する検討会の実施              | 5   |
| 3. 新たな作業システムの試行的実施の結果(その1)バンドラー試験    | 7   |
| (1) 施業の内容と作業システムについて                 | 7   |
| (2) 機械の信頼性・作業効率の検証                   | 8   |
| 1) バンドル効率、樹種による違い                    |     |
| ① 全体の能率                              |     |
| ② 順調稼働時能率                            |     |
| 2) バンドル生産量                           |     |
| ① 1日あたり生産性(バンドルできた数量)                |     |
| ② バンドル生産総量(長材切断後)                    |     |
| 3) バンドルの形状                           |     |
| (3) 運搬効率の検証(かさ比重の測定)                 | 10  |
| 1) 層積と重量の測定結果                        |     |
| 2) バンドル前とバンドル後のかさ比重の変化               |     |
| (4) バンドルの含水率の変化について                  | 13  |
| (5) 枝条およびバンドルの樹種毎の熱量について             | 13  |
| (6) 作業システム上の課題について                   | 14  |
| 4. 新たな作業システムの試行的実施の結果(その2)バンドルチップ化試験 | 15  |
| (1) 作業システムについて                       | 15  |
| (2) 機械の信頼性・作業効率の検証                   | 15  |
| 1) 生産性調査                             |     |
| 2) 粒度分布調査                            |     |
| 5. 総合評価                              | 18  |
| (1) 実証試験の結果より                        | 18  |
| (2) バンドル前後の運搬コストの比較                  | 18  |

## はじめに

国際森林年であった平成 23 年から 2 年が経ちましたが、森林の持続的な管理の重要性が国の内外でいっそう高まっております。

三美鉱業株式会社は、北海道美唄市に本社を置き、石炭の露天掘りと林業を主たる事業としています。毎年 130ha 前後の間伐を実施し、森林機能維持・環境保全の観点から、計画的な作業を実施してまいりました。

我が社が保有する約 4200ha の山林は、地域に密着した公益性の高い資産であり、これらを継続して適切に管理して行くことで、社会的貢献を図ることが出来るものと考えています。今回、その一環として林野庁補助事業に採択され、森林バイオマスのひとつである枝条の有効利用に向けたシステム化に取り組むこととしました。

具体的には、自然のままではかさ比重が極めて低いため、搬出利用上輸送効率の悪い枝条を、圧縮結束する機械装置（バンドラー機）を用いて減容化し、嵩比重を高めて輸送効率の向上を図ること、更にその粉碎チップ化に際して、自然のままの枝条とバンドラー品のチップ化効率を比較すること、主にこの 2 つの試験を実施しました。結果はいずれも枝条利用に際しての経済効率が高まることが確認でき、北海道空知地域の林地残材の有効活用に向け所期の成果を得ることができた、と考えております。

今回の一連の取り組みに際して、関係機関、研究所、企業を始め多くの方々から暖かいお力添え、激励を頂きましたこと、心より感謝申し上げます。

本報告書が、道内をはじめとした林業事業体の検討材料となり、木質バイオマスの有効利用が進む一助となれば幸いです。

平成 25 年 3 月

三美鉱業株式会社

## 1. 事業取り組みの目的と背景

### (1) 北海道の森林・林業および木質バイオマス利用の現状

北海道の森林面積は約 5.5 百万 ha であり、日本の森林面積の約 4 分の 1 を占める。うち人工林は約 2 割であるが、これらの人工林資源は本格的な利用期を迎え、木材利用と木質バイオマスの両面で森林資源の循環利用を推進していく必要がある。道内でも、木質バイオマスに関しては、バイオマスボイラーの急増により年々流通量が増加しており、平成 22 年には約 50 万 m<sup>3</sup> が取引されている（H23 道庁水産林務部調べ）。従来、利用の中心であった建設廃材の需要が逼迫し、少しずつ木質バイオマス（林地残材）に需要がシフトしている状況にある。

一方で、北海道はパルプ産業が発達しているため、府県に比べて造材歩留まり（幹の利用率）が高い。このことは逆に、木質バイオマスとして利用できる幹の部分が少ないことを示している。

また、北海道は日本を代表する高性能林業機械の先進地であり、ハーベスタ 195 台とプロセッサ 151 台が、すでに稼働している（H23 道庁水産林務部調べ）。ハーベスタは、プロセッサと同様、土場で玉切り・枝払いしているものが多く、その結果として山土場に大量の枝条が発生する。その枝条は、地拵えの支障となったりエゾヤチネズミの増殖の原因となったりするため、その効率的な処理方法が課題となっている。

これらを踏まえると、枝条を効率的に加工・搬出し、木質バイオマスとして利用できる機械作業システムの開発が望まれる。

### (2) 取組の目的

本事業の目的は、上記のような現状をふまえ、枝条を主に既存の地域電熱供給施設に対し効率的に供給するための機械作業システムを構築することである。現時点では“かさ比重”（体積当たりの重量）が小さく利用が進まない枝条を、バンドラーで圧縮して体積を減らして（＝減容化）運搬し、粉碎する作業工程について、実証試験を通して検討したい。

この実証試験は、二つの大きな意義があると考えられる。一点目として、山づくり（素材生産業者）の視点から見ると、枝条をはじめとする木質バイオマスは、森林の更新に際し、前述のように地拵え作業や苗木を植栽する際の支障となっている。その有効利用に活路が開けることで、作業能率が向上し、育林作業の省力化・低コスト化に資すると考えられる。二点目として、地球温暖化防止の視点から見ると、地元の木質バイオマス、特に有効利用が難しいとされてきた枝条を化石燃料に代替できれば温室効果ガス削減に寄与することが期待される。特に北海道は一世帯当たりの灯油使用量が全国一であり、社会的な貢献度は大きいと思われる。

## 2. 事業の流れ

これより、枝条を効率的に圧縮・運搬・利用するための機械作業システムの検討に移る。

### (1) 作業システムの改良ポイント

現行のシステム、すなわち枝条を主体とする木質バイオマスの輸送コストが割高となる主たる理由は、枝条のかさ比重が小さく、輸送効率が悪いことにある。ここでバンドリング（結束）することにより、輸送時のかさ比重を上げることができれば、運材車への一回当たり積載量を増やすことができ、コストダウンにつなげることもできると考えた。

そこで、社有林の枝条等を対象にバンドリングマシン（枝条結束機）の試行的実施を行った。バンドリングした枝条（バンドルと呼ぶ）は中継土場まで輸送した。そのまま貯蔵し、2ヶ月を目途に移動式木質破碎機（チップー機と呼ぶ）により一次破碎試験を行うこととした。前半をバンドル試験、後半をチップ化試験と呼ぶこととした。

#### 1) バンドル試験

供試する機械は中外テクノス（株）（本社広島県広島市）と ITC グリーン&ウォーター（株）が日本の木質バイオマス向けに共同開発した小型バンドリングマシン・バンドラーBM601 とする。現在、改良を重ね、第三世代実用機の販売を試みているが、北海道内ではこれまで稼働実績がない。

試験は上砂川社有林において実施した。伐採・全木集材後、山土場に集積された枝条を中心とした木質バイオマスを用いた。供試機を含め、道内ではこれまでバンドリングマシンの試験が行われたことがないことから、以下の点に着眼して処理能力およびバンドル完成品を検証する試験を実施した。

[バンドラーBM601 の主要仕様]

操作方法：走行、バンドル作業ともに無線操作

寸 法：全長 4,840mm、全幅 2,000mm、全高 2,635mm

機 関：総排気量 3,331cc、出力 73.6PS/2,500rpm

走行速度：低速 2.2km/h、高速 3.2km/h

- ・ 北海道における現場作業でどれほどの能力が発揮できるか
- ・ 山の作業現場で長時間の連続運転に支障がないか
- ・ 北海道の主要樹種（カラマツやトドマツ、広葉樹）でバンドルに不具合がないか
- ・ 生産されたバンドルのサイズはどうか
- ・ 枝条のままと比較し、輸送効率の変化の検証
- ・ バンドルした状態での水分量の推移の検証

#### 2) チップ化試験

バンドルを2ヶ月自然乾燥させた後、チップ化試験を行った。最大径50cmで最少長120cmのバンドルを処理することを勘案し、横からの投入型チップー機によ

るチップ化を検討した。今回はオカダアイヨン（株）扱いのモバーク社ウッドホグ 2600T を供試対象とする。試験実施場所は幸稜社が所有し木質チップの中継基地（兼加工工場）として想定している新十津川地区とした。ここでは微粉炭ボイラー向けの燃料チップを想定し、以下の点に着眼して試験を実施した。

[ウッドホグ 2600T の主要仕様]

機体質量：14,500kg

寸 法：全長 9,100mm、全幅 2,590mm、全高 3,500mm

ホッパー寸法：1,450mm×3,050mm

エンジン：250～260HP 187～194kw

- ・ バンドルをチップ化する際の生産性（1インチ(=25mm)以下サイズを想定）の検証
- ・ 生産されたチップのうち、規格に適合するチップの割合の検証

写真1 林地残材圧縮結束装置バンドラーBM-601 とバンドル



写真2 モバーク社ウッドホグ 2600T



## (2)新作業システム開発に関する検討会の実施

事業実施にあたり、学識経験者、公的機関関係者、機器メーカーなど幅広い関係者を取り込んだ検討会を開催した。検討会顧問に日本木質ペレット協会会長（筑波大学名誉教授）熊崎実先生に就任いただき、さらに地域の森林行政担当機関や学識経験者などを招き、幅広く検討して合意形成を図ることとした（表1、表2参照）。

表1 新作業システム開発に関する検討会メンバー

| 区 分                 | 所 属                           | 役 職                       | 氏 名          |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------|
| 顧問                  | 日本木質ペレット協会                    | 会長                        | 熊崎 実         |
| 事業主体                | 三美鉱業株式会社                      | 代表取締役社長                   | 大内武巳         |
|                     |                               | 取締役管理部部長                  | 杉田博昭         |
|                     |                               | 森林環境部部長                   | 鎌中 達         |
|                     | 株式会社幸稜                        | 代表取締役                     | 金野眞幸         |
| 公共事業体               | 空知総合振興局                       | 産業振興部林務課長<br>森林室普及課長      | 鈴木 正<br>橋本信行 |
| 機器開発会社<br>機器開発・販売会社 | 中外テクノス株式会社<br>ITC グリーン&ウォーター社 | 中部支社長（部長）<br>森林資源・環境部開発課長 | 宅和正彦<br>田辺 聡 |
| 研究機関                | 東京大学大学院農学生命科学研究科北海道演習林        | 准教授                       | 尾張敏章         |
|                     | （独）森林総合研究所北海道支所               | 地域研究監                     | 佐々木尚三        |
|                     | （地独）北海道総合研究機構林業試験場            | 経営グループ主査                  | 酒井明香         |
| 協力会社                | 北電興業株式会社                      | 燃料部長                      | 川部信之         |
| オブザーバー              | 空知森林管理署                       | 流域管理調整官                   | 工藤直樹         |
| 事業事務局               | 株式会社森林環境リアライズ                 | 課長代理                      | 山口信一         |



表 2 検討会の開催

| 開催回    | 開催時期      | 開催目的等                                      |
|--------|-----------|--|
| 第 1 回目 | 7 月 20 日  | 全体事業計画、バンドラー試験評価分析手法の検討                    |
| 第 2 回目 | 9 月 27 日  | バンドラー作業現地検討会（試行事業実施視察）<br>チップパー試験評価分析手法の検討 |
| 第 3 回目 | 11 月 14 日 | バンドル木質バイオマス破砕作業現地検討会（試行事業実施視察・新十津川中継土場）    |
| 第 4 回目 | 2 月 7 日   | 全体事業結果評価・分析・報告                             |

写真 3 第 2 回 現地検討会





### 3. 新たな作業システムの試行的実施の結果(その1)バンドラー試験

#### (1) 施業の内容と作業システムについて

試験は空知管内上砂川町の三美鋳業(株)社有林にて行った。カラマツ 59 年生で、最終間伐として定性間伐率 35%で実施された現場の枝条(カラマツ+広葉樹)と、同じく定性間伐率 35%のトドマツ 39 年生の枝条とをバンドリングすることとした(詳細は下記参照)。

試験に先だって、検討委員より「フィンランドなどの先進地では、枝条を数ヶ月において乾燥させてからバンドリングする」とのアドバイスをいただいたため、伐採の後、枝条を土場に堆積し約1ヶ月間は乾燥させた。

山林施業内容と搬出材積に対する残材出材量は以下のとおりである。

#### 作業システム導入支援事業に係る山林施業の概要

1. 施業期間 : 平成24年8月17日から平成24年9月15日まで

#### 2. 山林施業内容(全木集材)

| 林小班         |                    | 23-1小班 |       | 23-6小班 | 計      | 備考      |
|-------------|--------------------|--------|-------|--------|--------|---------|
| 樹種          |                    | カラマツ   | 雑木    | トドマツ   |        |         |
| 林齢          | 年生                 | 59     |       | 39     |        |         |
| 施業面積        | ha                 | 11.50  |       | 1.44   | 12.94  |         |
| 蓄積          | m <sup>3</sup> /ha | 255    |       | 127    | 382    |         |
| 間伐率         | %                  | 35     |       | 35     |        | 樹木本数による |
| 搬出材積        | m <sup>3</sup>     | 341.64 | 62.51 | 84.44  | 488.59 | 搬出伝票集計  |
| 搬出材積(ha当たり) | m <sup>3</sup> /ha | 29.71  | 5.44  | 58.64  | 37.76  |         |

#### 3. 今回使用した残材の概略数量

| 樹種        |                | カラマツ   | 雑木    | トドマツ  | 計      | 備考       |
|-----------|----------------|--------|-------|-------|--------|----------|
| 搬出材積      | m <sup>3</sup> | 341.64 | 62.51 | 84.44 | 488.59 |          |
| 残材出材量(層積) | m <sup>3</sup> | 70     | 270   | 150   | 490    | 土場概測(目安) |

\*雑木の残材出材量は、土場作設のため伐採した立木を含む。

4. 使用重機 : プロセッサ(1台)、グラブ(2台)、ブルドーザー(1台)

## (2)機械の信頼性・作業効率の検証

9月25日から28日までの連続運転において、タイムスタディを実施し、各作業（準備、投入、バンドル、整理、中断、故障等）の時間を計測した。バンドル製品についてはすべて長さ、直径等を計測し、作業効率などの評価基礎データとした。  
調査結果は以下のとおりである。

### 1) バンドル効率、樹種による違い

#### ① 全体の能率

9月25日～28日の運転期間中の日毎の全体能率、および全体の平均

|          |   |
|----------|---|
| (イ) カラマツ | 平均 5.2分/本(4.3～5.5分/本)→ <u>約 11.5本/時</u> |
| (ロ) トドマツ | 平均 5.7分/本(5.0～6.4分/本)→ <u>約 10.5本/時</u> |
| (ハ) 雑木   | 平均 7.5分/本(4.0～9.7分/本)→ <u>約 7.7本/時</u>  |
| 全樹種      | 平均 6.1分/本→ <u>約 9.8本/時</u>              |

\*練習や試行、機械調整時間を含む

#### ② 順調稼働時能率

ほぼ順調な稼働時（30分～1時間）の能率

|          |   |
|----------|---|
| (イ) カラマツ | 平均 3.9分/本(3.8～4.1分/本)→ <u>約 15.4本/時</u> |
| (ロ) トドマツ | 平均 3.6分/本(3.4～3.7分/本)→ <u>約 16.7本/時</u> |
| (ハ) 雑木   | 平均 4.4分/本(3.9～5.2分/本)→ <u>約 13.6本/時</u> |
| 全樹種      | 平均 4.0分/本→ <u>約 15本/時</u>               |

### 2) バンドル生産量

#### ① 1日あたり生産性(バンドルできた数量)

|           |                           |
|-----------|---------------------------|
| ・9月25日(火) | 26本(内、長い材2本):トドマツ、雑木      |
| ・9月26日(水) | 47本(内、長い材1本):カラマツ、トドマツ、雑木 |
| ・9月27日(木) | 43本(内、長い材なし):カラマツ、トドマツ、雑木 |
| ・9月28日(金) | 14本(内、長い材なし):トドマツ         |
| 合計        | <u>130本</u> (長い材切断前)      |

#### ② バンドル生産総量(長い材切断後)

9月25日～28日の運転期間中に製造したバンドルの数量

|          | 製品数量(本)    | 単位重量(トン/本)   | 重量概算(トン)     |
|----------|------------|--------------|--------------|
| (イ) カラマツ | 40         | 0.128        | 5.12         |
| (ロ) トドマツ | 58         | 0.127        | 7.37         |
| (ハ) 雑木   | 42         | 0.123        | 5.16         |
| 合計       | <u>140</u> | <u>0.126</u> | <u>17.65</u> |

単位重量については後述する

### 3) バンドルの形状

9月25日～28日の運転期間中に製造したバンドル形状

- (イ)カラマツ 平均 直径 0.42m×長さ 2.1m (直径 0.2～0.6m、長さ 1.7～2.6m)
- (ロ)トドマツ 平均 直径 0.43m×長さ 1.9m (直径 0.2～0.6m、長さ 1.2～2.3m)
- (ハ)雑木 平均 直径 0.41m×長さ 2.0m (直径 0.1～0.6m、長さ 1.1～2.6m)

以上により、練習や機械調整時間も含めた場合は、1時間当たり約10本(約1.2t)、順調に稼働している際には約15本(約1.8t)のバンドルが生産できた。広島県のスギでの実績(平成20年:大田川森林組合)の1時間当たり約10本と変わらない生産性が得られた。もとの枝条の平均かさ比重は $0.097\text{t}/\text{m}^3$ であり、これから逆算すると、層積約 $18.6\text{m}^3$ の枝条を1時間でバンドルに加工できたことになる。樹種については、カラマツとトドマツについてはほとんど差がなかったが、雑木はバンドリングに比較的時間を要した。その原因として、雑木は通直な枝が少ないこと、径級にばらつきが大きいことなどから、バンドルしづらく、結束時に紐がはじけやすい傾向にあったことが影響したと思われる。

写真 4-1 バンドル試験の様子(土場に集積した枝条)



写真 4-2、3 バンドル試験の様子(バンドリング開始)



写真 4-4 バンドル試験の様子(バンドルの排出)



### (3) 運搬効率の検証(かさ比重の測定)

各樹種のバンドルの容積、重量の測定を行った。計測には10トンダンプ1台、及びトラックスケールを使用した。まず風袋重量を計測したダンプトラックに、バンドル製品を樹種ごとに積み込み層積を計測した(基本的にはダンプ荷台の高さ摺り切り状態とするが、バンドル製品の形状を考慮する)。その後、バンドル製品を積載したまま、ダンプトラックごとトラックスケールにて重量を測定する。

## 1) 層積と重量の測定結果

表3 ダンプ荷台の容積

|        | 幅(m) | 長さ(m)  | 高さ(m)  | 容積(m <sup>3</sup> ) |
|--------|------|--------|--------|---------------------|
| 車番 566 | 2.18 | × 5.30 | × 0.45 | = 5.20              |

表4 ダンプ荷台のバンドル製品の層積および測定重量

| 樹種   | 回数 | 幅(m) | 長さ(m)  | 高さ(m)  | 層積(m <sup>3</sup> ) | 重量(t) | 車番  | 製品本数 | 単位重量(t/本) |
|------|----|------|--------|--------|---------------------|-------|-----|------|-----------|
| カラマツ | 1  | 2.18 | × 5.30 | × 0.45 | = 5.20              | 1.54  | 566 | 12   | 0.128     |

| 樹種  | 回数 | 幅(m) | 長さ(m)  | 高さ(m)  | 層積(m <sup>3</sup> ) | 重量(t) | 車番  | 製品本数 | 単位重量(t/本) |
|-----|----|------|--------|--------|---------------------|-------|-----|------|-----------|
| トマツ | 1  | 2.18 | × 5.30 | × 0.45 | = 5.20              | 1.27  | 566 | 10   | 0.127     |

| 樹種 | 回数 | 幅(m) | 長さ(m)  | 高さ(m)  | 層積(m <sup>3</sup> ) | 重量(t) | 車番  | 製品本数 | 単位重量(t/本) |
|----|----|------|--------|--------|---------------------|-------|-----|------|-----------|
| 雑木 | 1  | 2.18 | × 5.30 | × 0.45 | = 5.20              | 1.35  | 566 | 11   | 0.123     |

トラック容積 5.2m<sup>3</sup>に、平均で 11 本のバンドルが積載できた。なお、一般材やパルプ材と異なり、バンドルをコンテナ積載した際に、空隙がほとんどできなかったとの先行研究（平成 20 年：広島県林業技術センター）より、本試験では「みかけ層積」をそのまま材積と考えることとした。なお、バンドル 1 本当たりの重量は約 0.12～0.13 トンとなった（結束時の湿潤含水率は 32%～46%、詳細は後述）。

## 2) バンドル前とバンドル後のかさ比重の変化

1) の結果より、樹種ごとにバンドルのかさ比重を求める。

表5 バンドル前とバンドル後の比重対比

| 樹種   | バンドル前(枝条)               |           |                           | バンドル後                   |           |                           | バンドル前と<br>バンドル後の<br>比重の対比<br>(後÷前) |
|------|-------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|------------------------------------|
|      | 容量<br>(m <sup>3</sup> ) | 重量<br>(t) | 比重<br>(t/m <sup>3</sup> ) | 容量<br>(m <sup>3</sup> ) | 重量<br>(t) | 比重<br>(t/m <sup>3</sup> ) |                                    |
| カラマツ | 7.25                    | 0.81      | 0.112                     | 5.20                    | 1.54      | 0.296                     | 2.65倍                              |
| トドマツ | 6.57                    | 0.75      | 0.114                     | 5.20                    | 1.27      | 0.244                     | 2.14倍                              |
| 雑木   | 8.04                    | 0.53      | 0.066                     | 5.20                    | 1.35      | 0.260                     | 3.94倍                              |
| 平均   | 7.29                    | 0.70      | 0.097                     | 5.20                    | 1.39      | 0.267                     | 2.74倍                              |

\* 枝条の重量、容量の計測

カラマツは、ダンプ2台分の平均

トドマツ・雑木は、ダンプ各3台分の平均

\* バンドル製品の重量、容量の計測

ダンプ荷台に製品を擦り切れ積み重量計測(各樹種)

容量は、ダンプ荷台の容積

以上の結果より、バンドリングによって枝条の**かさ比重は平均で 2.74 倍になる**ことがわかった。単純に考えて、運搬効率が 2.74 倍になれば 1 回当たり運搬コストは  $1/2.74$  倍となるため、63.5%ダウンすることが予想される。なお樹種別では、雑木の圧縮率がもっとも高く、3.94 倍であった。これは、雑木の枝条の形状が針葉樹よりもかさばることに起因すると思われる。

先行事例（平成 20 年：広島県林業技術センター）と比較すると、広島県のスギ枝条でかさ比重が 3.2 倍であり、カラマツ・トドマツについてはそれよりやや小さい数値が得られた。

写真 5 バンドル完成品





#### (4) バンドルの含水率の変化について

バンドルの完成品を、各樹種 1 本ずつ保管し、湿潤含水率の推移を計測した。保管環境は、屋外で屋根なし、シートなし、コンクリートの上とした。

結束時に既に 32%~46%まで含水率が低下しており、伐採から 1 ヶ月の土場での保管で乾燥が進んだと思われる。バンドルは一月半の屋外保管で、約 30%の含水率となり、燃料としてはまずまずの乾燥度合いとなった。ただし、樹種によってはかえって上昇したのものもあった（途中、含水率が下がってから上昇したのは、測定前日の降雨の影響と思われる）。なお、大分県の先行事例では、結束時に約 50%だった含水率が 3~4 ヶ月後も 40%とあまり下がらないという試験結果もあり、保管条件や気候が影響することが大きく予想される。そのため、それらの条件と含水率の変化については、より詳細な検討が必要だと思われる。

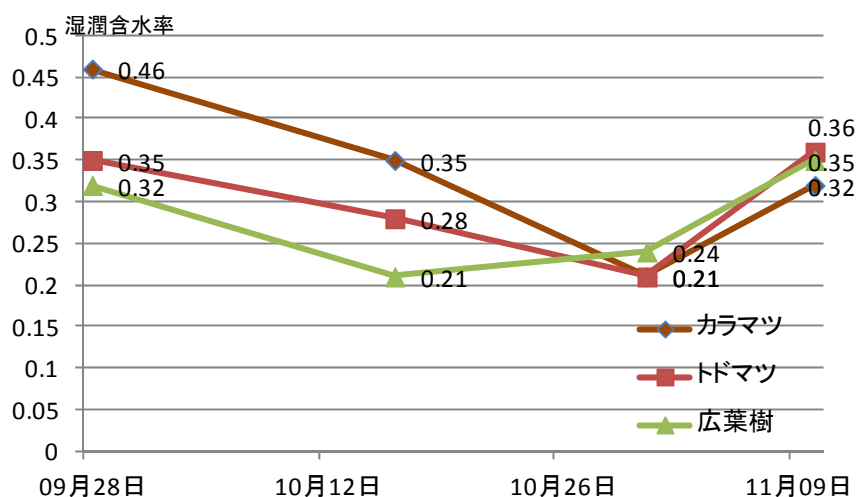


図1 バンドル含水率の変化

#### (5) 枝条およびバンドルの樹種毎の熱量について

乾燥後の枝条とバンドルの熱量について、含水率は前項のように屋外保管 1.5 ヶ月で約 30%になったことを考慮し試算した。結果は表 6 の通りとなった。

表6 乾燥後の枝条とバンドルの熱量（含水率30%時の参考値）

| 樹種   | 含水率別熱量        |                 | 枝条                       |                           | バンドル                     |                           |
|------|---------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
|      | 無水<br>kcal/kg | 含水率30%(kcal/kg) | かさ比重<br>t/m <sup>3</sup> | 熱量<br>kcal/m <sup>3</sup> | かさ比重<br>t/m <sup>3</sup> | 熱量<br>kcal/m <sup>3</sup> |
| カラマツ | 4,920         | 3,295           | 0.086                    | 284,653                   | 0.228                    | 752,298                   |
| トドマツ | 4,970         | 3,345           | 0.106                    | 354,050                   | 0.227                    | 757,791                   |
| 雑木   | 4,730         | 3,105           | 0.064                    | 199,049                   | 0.253                    | 784,133                   |
| 平均   | 4,873         | 3,248           | 0.085                    | 279,251                   | 0.236                    | 764,741                   |

注1) (各樹種の含水率別熱量) = 無水発熱量 - 54.18 × 含水率 (%)

注2) 乾燥後のかさ比重は図1の乾燥開始時点から試算し、乾燥後の含水率は30%とした

注3) 乾燥時の体積変動は微細として無視し、水分量のみの減少分から試算



註： 発熱量については、全国木材チップ工業連合会調査による「平成23年度 林野庁補助； 地域材供給事業のうち木材産業等連携支援事業 木材チップ等原料転換型事業 調査・分析事業報告書」に掲載のデータを使用した。

無水発熱量は「表 2.3 針葉樹と広葉樹の発熱量」より引用、うち雑木については広葉樹 12 種平均を使用。また含水率 30%の発熱量は「図 2.3 湿量基準含水率値に対する高発熱量と低発熱量」により含水率 30%の高発熱量値を求めた。

#### (6)作業システム上の課題について

バンドリング中に不具合があり、稼働停止した要因については以下のとおりである。これらは、オペレーターの熟練である程度避けられるものの、機械そのものにも若干の改善の必要性を感じた。

- ・圧縮装置に枝が挟まり停止
- ・圧縮装置で枝がはみ出し、油圧パイプを曲げ停止
- ・投入口での枝の引っ掛かり停止（詰めすぎで材が進まない）
- ・材が逆戻りすることがあるため、停止してから一旦、材を取り出し、長材を再投入

また、その他の課題としては以下のとおりである。

#### <バンドル紐に関する事>

- ・圧縮された枝条の反発力でバンドル紐がはじける
- ・バンドル紐が無くなっても自動停止せず、ばらけた状態で送り出す
- ・バンドル紐の交換に時間を要する

#### <バンドルの送り部分や切断刃に関するもの>

- ・材の逆戻りがあり、グラップルで押さえる、または長材を投入しておさえる必要がある
- ・バンドル品の切断が出来ない場合がある（特に雑木）
- ・バンドル製品の長さが不揃いである（長さを設定するようになっているが、「送り」がうまくいかず設定値のとおりには切断されない）

#### <その他>

- ・投入の前処理として、最初のバンドルの成形に 20 分から 30 分必要である
- ・投入する際、細い枝条のみの場合、芯になる材を入れる等の工夫が必要である

#### 4. 新たな作業システムの試行的実施の結果(その2)バンドルチップ化試験

##### (1)作業システムについて

バンドル成形から約1ヶ月半のち、バンドルのチップ化試験を新十津川町の(株)幸稜社の土場にて行った。試料は、カラマツ・トドマツ・雑木のバンドル各15本ずつと、対照実験のため結束しない素のままの枝条(バラ)とする。使用機械は、バンドル投入用のグラブローダ(0.45m<sup>3</sup>バケットサイズ)にチップパー機(モバーク社ウッドホグ2600)、モロオカ自走式ロータリースクリーンMRS-36である。



写真6 ウッドホグ2600によるバンドルのチップ化

##### (2)機械の信頼性・作業効率の検証

11月13日にタイムスタディによるチップ化生産性調査とチップ粒径分布調査を実施した。ここで、チップパーの送りスピードは70%に設定し、スクリーンのサイズは10mmとした。結果の概要は以下のとおりである。

###### 1) 生産性調査

枝条をバンドルにすることで材密度が大きくなり、枝の方向性が揃うことで、バラの枝条と比較してチップ化の効率(=チップ化生産性)がどう変化するかについて時間計測調査を行った。さらに、枝条については重量を計測し、バンドルについては、前章で検討したバンドル単位重量(t/本)を用いてチップ化量を導いた。

表7 チップ化生産性の結果(バンドルとバラ枝条)

| 樹種と形状      | チップ化所要時間 | 重量       | 計算の根拠                      | チップ化生産性 |
|------------|----------|----------|----------------------------|---------|
|            | 分        | トン       |                            | トン/時    |
| カラマツバンドル   | 13分42秒   | 1.93(計算) | 15本×0.128トン/本(単位重量)=1.93トン | 8.46    |
| トドマツバンドル   | 11分23秒   | 1.91(計算) | 15本×0.127トン/本(単位重量)=1.91トン | 10.05   |
| 雑木バンドル     | 17分13秒   | 1.85(計算) | 15本×0.123トン/本(単位重量)=1.85トン | 6.45    |
| カラマツ枝条(バラ) | 4分50秒    | 0.74(実測) |                            | 9.14    |
| トドマツ枝条(バラ) | 6分23秒    | 0.82(実測) |                            | 7.74    |
| 雑木枝条(バラ)   | 10分31秒   | 0.84(実測) |                            | 4.80    |

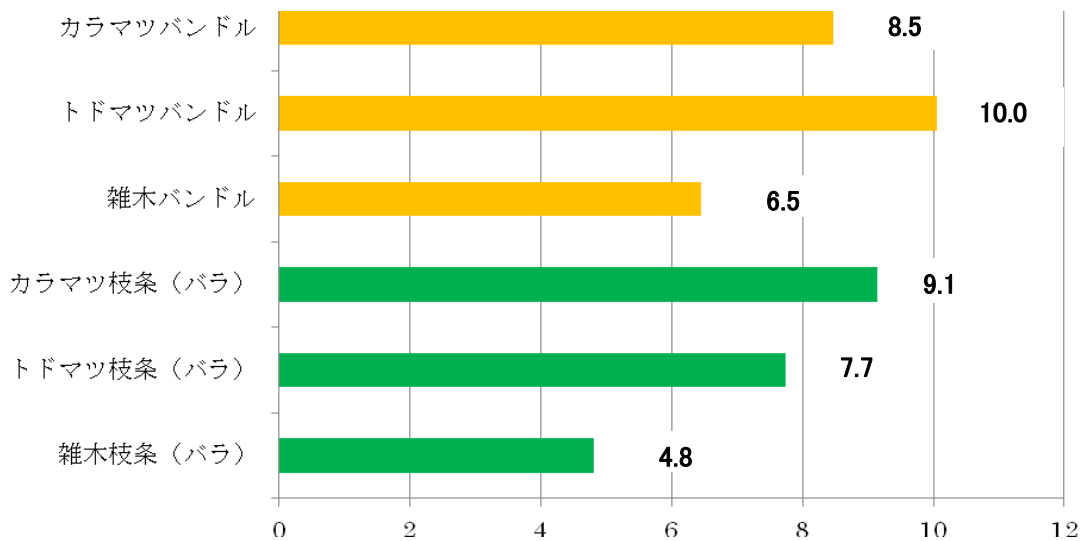


図2 各種バンドルと枝条のチップ化生産性の比較 (単位：t/時)

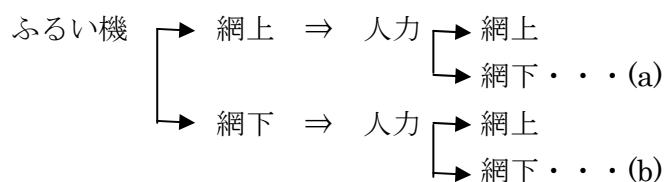
結果として、バンドルにすると、バラの枝条と比べて 90%~130%のチップ化生産性となった。なお、これについてはバンドルのサイズやチップパー機の型などで変わる可能性もあるため、さらに検討が必要と思われる。

## 2) 粒径分布調査

ここでは微粉炭ボイラーによる利用を想定し、バンドルと、バラの枝条をそれぞれチップ化後、ふるい機 (モロオカ MRS-36) を使用してチップサイズを分別した。ここで、紡錘型の破砕チップの場合、ふるい機のスクリーンを縦に通過すれば、スクリーンの目より粗いチップが混入することが懸念される。そこで、さらに人力によりもう一度ふるいにかけて、粒径分布の詳細を調査する。その各々からサンプルを抽出し、バンドル由来のチップとバラ枝条由来のチップのサイズの適合割合を比較した。

結果として、「ふるい機 (スクリーンサイズ 10mm)」「人力 (金網サイズ 12mm)」2度のふるいにかけて後のチップのサイズ適合率は、バンドル由来のチップで 85%~89%、枝条由来のチップで 74%~76%となり、バンドル由来のチップの方が 10%程度高くなった。

※適合率の定義



適合率はバンドル由来チップとバラ由来チップの(a)+(b)の合計の割合。

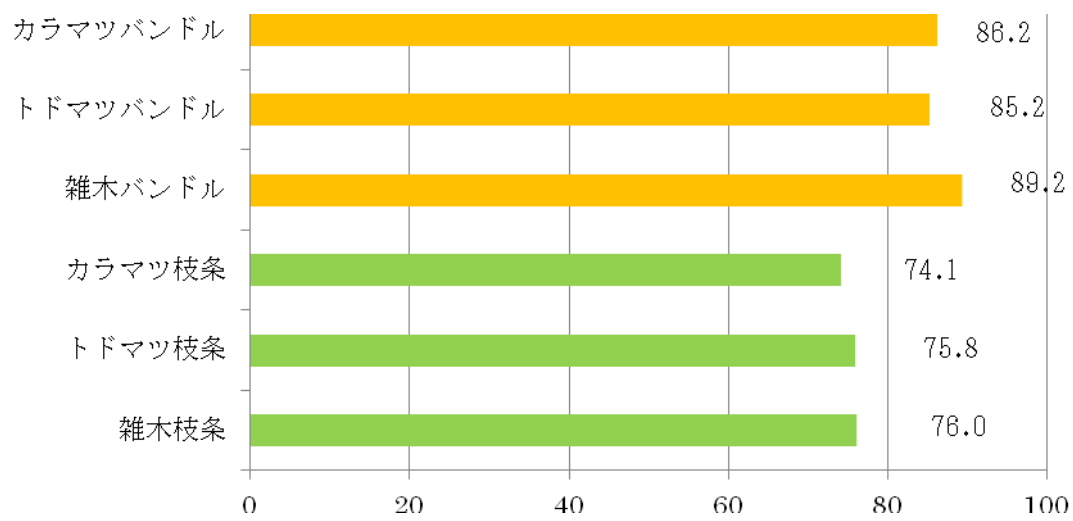


図3 バンドル由来のチップ・バラ枝条由来のチップの設定粒径適合率の比較 (%)

## 5. 総合評価

### (1) 実証試験の結果より

今回、枝条を効率的に圧縮・運搬・利用するための機械作業システムの検討を行った。実証試験の結果の概要と今後の課題は以下のとおりである。

- バンドルの生産性については、全平均で約 9.8 本/時(1.2t/時)、1 日 6 時間の稼働で約 50 本から 60 本が生産できると見込まれた。本州の先行事例とほぼ変わらない生産性が得られた。また、北海道の主要造林樹種であるカラマツやトドマツであっても支障なくバンドルが生産できた。広葉樹については、枝条の反発力が強くバンドル紐がはじけるなど、改良の余地があると思われた。
- 連続運転に関しては、今回は支障がなかった。一方で、バンドリングの途中に圧縮装置に枝が挟まる、引っかかる、枝条が固く上手く切断できないなどの不具合もみられ、若干の改善の余地があると思われた。また、枝条の供給とバンドル完成品の引き出しを一台のグラップルで行うことによる時間ロスは考慮すべきと思われる。(今回は計測を伴ったため人力で補助した。)
- バンドリングの作業条件としては、土場に枝条が集積された状態から開始することが必要である。(林内から集積するところから開始するとバンドラーの遊び時間が多くなる。)
- バンドルのはい積みのスペースを考えると、広い土場が必要と思われる。
- 非結束のままの枝条と比較し、枝条バンドルはトラックへの積載可能量が 2.74 倍になった。このことから、バンドルにすることで運搬効率は 2.74 倍になることを見込まれる。北海道庁での先行研究(平成 20 年度「林地残材の効率的な集荷システムづくりモデル事業」)で得られた、枝条チップ化によるかさ比重の向上割合は 1.68 倍から 2.50 倍であったが、それを上回る結果が得られた。
- バンドルのチップ化については、今回の試験条件では、バラの状態の枝条のチップ化に比べて効率が 90%~130%の生産性となった。チップ完成品の適合度については、バンドル由来チップと枝条由来チップではややバンドル由来のチップの方が高くなった。

### (2) バンドル前後の運搬コストの比較

今回、バンドルの連続運転は四日間に留まったこと、実走行試験を実施していないことから、年間の消耗品費や保守点検費、燃料油脂費の推定や、バンドル輸送とバラの枝条輸送の比較を行うには実データが足りない。そのため、以下のようなアプローチで枝条のバンドル前とバンドル後の運搬コストの簡易な比較を行った。

まず前提として

- 集荷範囲はチップ化基地から半径 60km 圏内とする(社有林がその圏内に多いため)山土場から基地までの平均距離を 30km とし、迂回率 1.3 と仮定し、山土場から基地まで

の集荷距離平均を片道 40km とする（往復 80km）。

- 10t ダンプの費用を 40,000 円／台・日（運転手労務費込み）とする。山道を含め、平均時速を 30km とすると往復  $80\text{km} \div 30\text{km}/\text{時} = 2.6$  時間／往復 となる。ダンプの稼働時間を 1 日 7 時間とし、バンドルや枝条の積込み・降ろし作業の時間と待機時間を合わせて約 1.5 時間／日とする。このとき 1 日に運搬できるのは（7 時間－1.5 時間）／日  $\div$  2.6 時間／往復＝約 2 往復となる。

ここで、10t ダンプ 1 台あたり積載量から、運搬コストを比較する  
比較は出来上がったバンドルを運搬するところから試算（バンドル製造時間は考慮せず）

表 8 バラの枝条とバンドルとの運搬費の比較

|                   | バラの枝条                          | バンドル                           | 備考                 |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 積載量               | 0.70 トン／台                      | 1.39 トン／台                      | 実際に計測した重量（註 1）     |
| 1 日あたり往復回数        | 2 回／日                          | 2 回／日                          | 前提より               |
| 1 日あたり運搬量         | 1.40 トン／日<br>(0.70 × 2)        | 2.78 トン／日<br>(1.39 × 2)        |                    |
| 生重 1 トンあたり<br>運搬費 | 28,571 円／トン<br>(40,000 ÷ 1.40) | 14,388 円／トン<br>(40,000 ÷ 2.78) | 差額は<br>14,182 円／トン |

（註 1）ダンプ積載量は 10t ダンプのあおりの高さ程度に積載した場合  
バンドルは 1 段積みであり、実際には多段積み（2～3 段）も可。

つまり、運搬効率だけで考えた場合、バンドル輸送はバラの枝条輸送よりもトンあたり約 14,000 円安いという結果になった。

次に、バンドラーを導入することで必要な年間生産量について考える。バンドラーの基礎価格を 3,000 万円と仮定した場合、法定耐用年数を 5 年とすると減価償却費は 600 万円／年となる。この場合、減価償却費用のみを満たすための数量は、600 万円／年  $\div$  14,182 円／トン = 423 トン／年となる。従って、固定費である減価償却費のみを補うためには、最低 423 トン／年の事業量が必要となる。

このためには、年間何日間稼働すればよいか(年間必要稼働日数)を試算する。

まず、実証試験より、1 日あたり 50 本から 60 本、平均で 55 本／日の生産性を仮定する。バンドルの 1 本あたり重量を 0.125 トン／本とすると、1 日あたり生産できるバンドル総重量は約 6.9 トン／日となる。

そのため、固定費を回収するために必要な 423 トンをバンドルにするためには  $423 \div 6.9$

で約 61 日／年の稼働が必要となる。実際には、これに加えて変動費であるバンドラー人件費、燃料油脂費、消耗品費、修繕費等がかかるため、この変動費を固定費の 50～80%と仮定すると、600 トン～800 トン前後の規模の事業量が必要と思われる。

よって、これまでの試算では、事業規模の損益分岐点は概ね 700 トン前後であるとの結論に至る。また、チップ化効率（生産性）はバンドルと枝条では、明らか前者の方が高く、これを考慮すれば、全体の収益性はさらに向上する。

以上