

## 森林バイオマスの効率的供給システムの開発(2)

|       |                     |
|-------|---------------------|
| 誌名    | 研究報告 / 広島県立林業技術センター |
| ISSN  | 1343411X            |
| 著者名   | 岡部, 茂<br>與儀, 兼三     |
| 発行元   | 広島県立林業技術センター        |
| 巻/号   | 39号                 |
| 掲載ページ | p. 13-21            |
| 発行年月  | 2007年3月             |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 森林バイオマスの効率的供給システムの開発 (Ⅱ)

### —林地残材のチップ化とコスト試算—

岡部 茂・與儀 兼三

岡部茂・與儀兼三：森林バイオマスの効率的供給システムの開発(Ⅱ)；林地残材のチップ化とコスト試算，広島県林技セ研報39：13～21，2007。森林バイオマスの利活用に当って林地残材の効率的な加工を行うため，小型移動式チップパーによる現地チップ化および大型移動式チップパーによるチップ専用土場でのチップ化を行ったところ，現地チップ化作業では，1時間当りヒノキ1.46dry-t，スギ1.40dry-t，1日当たりでは8～9dry-tとなった。専用土場でのチップ化作業では，2機種を使用し，5.24dry-tおよび2.15dry-tとなった。また，チップ化・輸送コストを試算した結果，現地チップ化作業では，14,228円/dry-t，専用土場でのチップ化作業では，13,923円/dry-t および16,924円/dry-tとなった。

[キーワード] 森林バイオマス，林地残材，チップ化，輸送，コスト

Development of the efficient supply system for forest biomass, Logging residue of chipping and cost for trial calculation.

Key words : forest biomass, logging residue, chipping, transport, cost

### 1 はじめに

林地残材をバイオマスエネルギーとして利用する場合，供給形態として木材チップに加工する必要がある。林地残材の加工・輸送コストについては，これまでにいくつかの報告<sup>1)2)</sup>があり，エネルギー利用として林地残材量による優位性などが確認されている。

本研究は，森林バイオマスの効率的供給システムの開発に関する研究の一環として，林地残材収集後のチップ化加工とチップ輸送に要するコストの低減化を目指し，チップ化試験とコスト試算を行った。

### 2. 試験地および方法

#### 2. 1 小型移動式チップパーによる現地チップ化

広島県庄原市比和町古頃の40年生スギ・ヒノキ人工林分において，3残1伐の列状間伐を行い，架線集材により全木集材し，ハーベスタで幹の末口6cmまでを用材として採材した後の残材(スギ15.5m<sup>3</sup>，ヒノキ23.3m<sup>3</sup>)が1箇所に集積された現地へ4tトラックで小型移動式チップパーを搬入し，チップ化試験を行った。(以下，現地チップ化と呼ぶ)

チップパーへの残材投入は，人力(作業員2名)で行い，粉碎後のチップは，直接チップ搬出シュートから4t脱

着ダンプのコンテナに積み込んだ(写真-1)。なお，



写真-1 現地チップ化の粉碎作業

使用したチップパーの仕様は，表-1のとおりである。

#### 2. 2 大型移動式チップパーによる専用土場チップ化

##### 2. 2. 1 専用土場チップ化A試験

広島県三次市南畑敷町井出平において，間伐した20年生ヒノキ47本(平均樹高14.8m，平均胸高直径16.9cm)を道路脇に全木で搬出後，グラップル付コンテナトラック(荷台容積30m<sup>3</sup>，最大積載量7,100kg)へ積み込み，22km先の三次市吉舎町にあるチップ専用土場に搬入し，

表-1 現地チップ化のチップパー仕様

| 小型移動式チップパー |                  |                |
|------------|------------------|----------------|
| メーカー名      | 米国ウァーミア社製 BC1000 |                |
| 型式         |                  |                |
| 質量         | (kg)             | 1,910          |
| 全長         | (mm)             | 4,270          |
| 全幅         | (mm)             | 1,600          |
| 全高         | (mm)             | 2,460          |
| エンジン       | ディーゼル            | Cummins B3.3   |
|            | 出力 (kW/rpm)      | 水冷63/2,600     |
| 油量         | 燃料タンク容量 (ℓ)      | 95             |
|            | 作動油タンク容量 (ℓ)     | 26             |
| カッタディスク    | サイズ(径×厚) (mm)    | 530×430(ドラム方式) |
|            | ナイフ数 (枚)         | 2              |
|            | 回転速度 (rpm)       | 2,000          |
| 投入テーブル     | 長さ (mm)          | 1,765          |
|            | 高さ (mm)          | 650            |
|            | 幅 (mm)           | 1,100          |
| 送りローラー     | サイズ (個・径mm)      | 1-430水平        |
|            | 送り速度 (m-分)       | 0~32           |
|            | (自動制御方式)         | 無段変速           |
| 排出シュート     | 排出高さ (mm)        | 2,450          |
|            | 回転角 (度)          | 270            |
|            | 最大投入径 (mm)       | 250            |

表-2 専用土場Aのチップパー仕様

| 大型移動式チップパー (ハンマータイプ) |                          |                               |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| メーカー名                | コマツ社製 BR200T             |                               |
| 型式                   |                          |                               |
| 質量                   | (kg)                     | 21,500                        |
| 定格出力                 | (kW[PS])                 | 228[310]                      |
| 全長/全長(輸送時)           | (mm)                     | 12,850/9,975                  |
| 全幅/全幅(輸送時)           | (mm)                     | 3,570/3,000                   |
| 全高/全高(輸送時)           | (mm)                     | 3,980/3,100                   |
| ハンマーミル               | 開口寸法 (mm)                | 1050×660                      |
|                      | 回転数 (rpm)                | 2,100~1,600(H)/1,400~1,000(L) |
|                      | ビット数                     | 18                            |
|                      | スクリーン                    | 丸穴径38/65/100                  |
|                      | 駆動方式                     | 油圧モーター                        |
| タ ブ                  | 直径 (mm)                  | 2,300(底面)                     |
|                      | 深さ(作業姿勢) (mm)            | 1280(低)/2190(高)               |
|                      | 回転数 (rpm)                | 3.5~10(可変)                    |
|                      | 駆動方式                     | 油圧モーター、チェーン                   |
| エンジン                 | 名称                       | コマツSA6D125E-2-A               |
|                      | 形式                       | 直噴+過給機+アフタークーラ                |
| 走行部                  | 走行速度(1速/2速) (km/h)       | 1.9/3.0                       |
|                      | 登坂能力 (度)                 | 25                            |
|                      | シュエ幅 (mm)                | 500                           |
|                      | 覆帯中心距離 (mm)              | 2,380                         |
|                      | 接地長 (mm)                 | 2,750                         |
| 油量                   | 燃料タンク (ℓ)                | 605                           |
|                      | 作動油タンク (ℓ)               | 370                           |
|                      | 処理能力 (m <sup>3</sup> /h) | 20~100                        |

チップ化試験を行った(以下、専用土場Aと呼ぶ)。

残材搬入後の作業工程は図-1のとおり、作業状況は写真-2のとおり、使用したチップパーの仕様は表-2

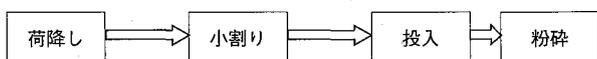


図-1 専用土場での残材チップ化作業工程

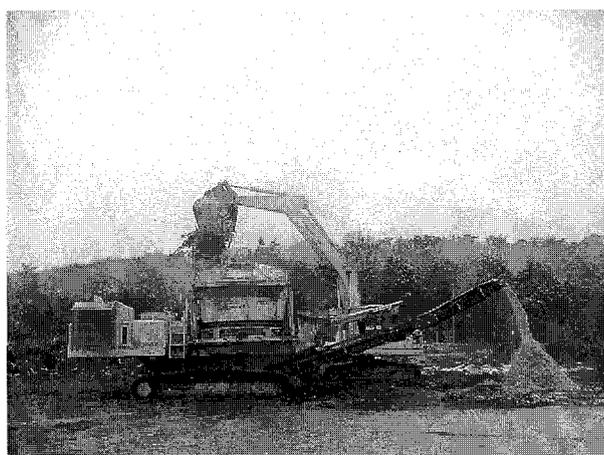


写真-2 専用土場Aの粉碎作業

のとおりである。

### 2. 2. 2 専用土場チップ化B試験

広島県庄原市比和町古頃で列状間伐・搬出後、林道沿いに放置されていた40年生ヒノキの残材(用材不適木部: 根曲がり材)をグラップル付コンテナトラックで収集・積込を行い、8km先の庄原市口和町にあるチップ専用土場に搬入し、チップ化試験を行った(以下、専用土場Bと呼ぶ)。

残材搬入後の作業は専用土場Aと同様な工程、作業状況は写真-3のとおり、使用したチップパーの仕様は表-3のとおりである。



写真-3 専用土場Bの粉碎作業

## 3. 試験結果

### 3. 1 現地チップ化

小型移動式チップパーによる現地チップ化の試験結果は、表-4のとおりである。

時間当りの粉碎量は、スギ1.40dry-t、ヒノキ1.46dry-tであった。チップパーが1日6時間稼動した場合、チップ粉碎量は8~9 dry-t/日と推定された。粉碎後のチップの形状は、表-5、写真-4のとおりである。

平均するとスギが長さ23.3mm、幅12.2mm、厚さ3.2mm、ヒノキが長さ26.3mm、幅12.7mm、厚さ3.6mmであったが、長さ50mm以上のチップも多く混在し、全体的にチップの形状は、不揃いであった。

### 3. 2 専用土場チップ化

#### 3. 2. 1 残材の積込・運搬・荷降し作業

表-3 専用土場Bのチップー仕様  
大型移動式チップー (カッタータイプ)

|        |                     |                               |
|--------|---------------------|-------------------------------|
| メーカー名  | コマツ社製               |                               |
| 型式     | BR130M              |                               |
| 質量     | (kg)                | 13,000                        |
| 定格出力   | (kW[PS])            | 162[220]                      |
| 全長     | (mm)                | 8,460                         |
| 全幅     | (mm)                | 2,500                         |
| 輸送時全高  | (mm)                | 3,200                         |
| 全高     | (mm)                | 3,200                         |
| シュレッダ部 | ロータ回転数 (rpm)        | 1,430                         |
|        | フレール数 (個)           | 24                            |
|        | スクリーン (mm)          | □40,60,80                     |
|        | 駆動方式                | ベルト駆動                         |
|        | 投入高さ (mm)           | 400                           |
|        | フロアコンベア幅 (mm)       | 1,440                         |
|        | フロアコンベア長 (mm)       | 3,350                         |
| エンジン   | 名称                  | MAN                           |
|        | 型式                  | D0836LF04                     |
| 走行部    | 走行速度 (km/h)         | 0~2.5                         |
|        | ブレーキ                | 油圧ブレーキ                        |
|        | シュー形式               | ゴムクローラ                        |
|        | シュー幅 (mm)           | 400                           |
|        | 覆帯中心距離 (mm)         | 2,070                         |
|        | 接地長 (mm)            | 3,040                         |
| 油量     | 燃料タンク (ℓ)           | 220                           |
|        | 作動油タンク (ℓ)          | 250                           |
| 設定     |                     | マグネットセパレータ(M/S)<br>リモートコントロール |
| 処理能力   | (m <sup>3</sup> /h) | 20~70                         |

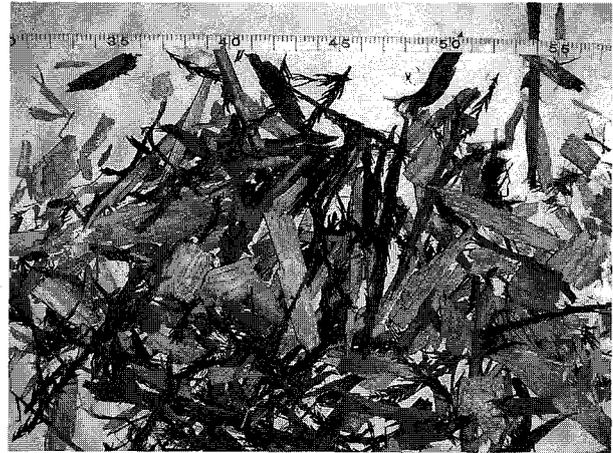


写真-4 現地チップ化の粉碎チップ

トラック運転手1人で行った残材の積込・運搬・荷降し作業の試験結果は、表-6、-7のとおり、作業状況は、写真-5、-6のとおりである。

コンテナに積み込んだ残材積載容積密度は、専用土場Aが0.084dry-t/m<sup>3</sup>、専用土場Bが0.207dry-t/m<sup>3</sup>であっ

表-4 現地チップ化試験の結果

| 樹種  | 作業従事者 (人役) | 作業時間 (秒) | 燃料消費量(軽油) (リットル) | チップ含水率 (wb%) | チップ生重量 (t) | チップ絶対重量(C) (dry-t) | 時間当たり粉碎量 (dry-t/時) | 残材容積密度(C/A) (dry-t/m <sup>3</sup> ) | チップ容積密度(C/B) (dry-t/m <sup>3</sup> ) |
|-----|------------|----------|------------------|--------------|------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| スギ  | 2          | 2520     | 7                | 46.6         | 1.84       | 0.983              | 1.40               | 0.063                               | 0.134                                |
| ヒノキ | 2          | 2520     | 6                | 32.7         | 1.52       | 1.023              | 1.46               | 0.044                               | 0.217                                |

表-5 現地チップ化試験のチップ形状

| 区分   | スギ   |      |      | ヒノキ  |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|
|      | 長さ   | 幅    | 厚さ   | 長さ   | 幅    | 厚さ   |
| 平均   | 23.3 | 12.2 | 3.2  | 26.3 | 12.7 | 3.6  |
| 最大   | 66   | 20   | 6    | 80   | 25   | 7    |
| 最小   | 11   | 5    | 2    | 11   | 7    | 1    |
| 標準偏差 | 14.2 | 4.0  | 1.0  | 13.2 | 4.0  | 1.4  |
| 変動係数 | 61.1 | 33.3 | 31.0 | 50.0 | 31.8 | 38.5 |

注) スギ・ヒノキチップ40個測定

表-6 残材積込み試験結果

| 区分    | 樹種         | 作業従事者 (人役) | 残材容積(A) (m <sup>3</sup> ) | 残材生重量 (t) | 含水率(枝) (wb%) | 含水率(幹) (wb%) | 平均含水率 (wb%) | 残材絶対重量(B) (dry-t) | 残材容積密度(B/A) (dry-t/m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------|------------|---------------------------|-----------|--------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------------------------|
| 専用土場A | ヒノキ(間伐全木)  | 1          | 56                        | 9.36      | 47           | 52           | 50          | 4.680             | 0.084                               |
| 専用土場B | ヒノキ(根曲り幹部) | 1          | 14                        | 4.756     | -            | 39           | 39          | 2.901             | 0.207                               |

表-7 残材積込・運搬の使用機械と積載・運送量および荷降作業の試験結果

| 区分    | 車両価格 (円)   | 最大積載量 (kg) | コンテナ容積 (m <sup>3</sup> ) | 残材積載量 (dry-t/回) | 1日当たり輸送量 (dry-t/日) | 時間当たり輸送量 (dry-t/時) | 荷降し時間 (秒/回) | 時間当たり荷降し量 (dry-t/時) |
|-------|------------|------------|--------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------|---------------------|
| 専用土場A | 20,000,000 | 7,100      | 30                       | 2.52            | 10.08              | 1.44               | 258         | 65                  |
| 専用土場B | 12,000,000 | 5,000      | 14                       | 2.90            | 11.60              | 1.66               | 1110        | 9                   |

注) 運送量は、トラック荷台満載で、1日4往復、稼働時間7時間で積算



写真-5 専用土場Aの積込作業



写真-6 専用土場Bの荷降作業

働時間を7時間として4往復した場合、時間当りの輸送量は、専用土場Aが1.44dry-t、専用土場Bが1.66dry-tと推定された。

### 3. 2. 2 小割作業

残材をチップターの投入口に投入できる形状に整える小割作業での使用機械および試験結果は、表-8のとおり、作業状況は、写真-7、-8のとおりである。

時間当たりの小割量は、専用土場Aでは9.52dry-t、専用土場Bでは1.50dry-tであった。使用するチップターが、専用土場Aでは投入口径(150cm以内)に、専用土場Bで



写真-7 専用土場Aの小割作業



写真-8 専用土場Bの小割作業

た。

このことから、幹部だけの残材積載容積密度は、枝条と幹を積載した容積密度の約2.5倍となり、高張る枝条の輸送コストが大きな課題であることが示唆された。

残材荷降し作業の1回当りの平均作業時間は、専用土場Aでは258秒、専用土場Bでは1,110秒であった。専用土場Bで時間を要したのは、残材の長さが40~80cmと短かく、グラブで一度にまとめて掴めなかったことが原因として考えられた。

コンテナへの1回当たり積載量は、専用土場Aでは2.52dry-t、専用土場Bでは2.90dry-tであった。1日の稼

表-8 小割作業の試験結果

| 区分    | 作業従事者<br>(人役) | 小割り機種             | ベースマシン         | 残材小割り量<br>(dry-t) | 作業時間<br>(秒) | 時間当たり小割り量<br>(dry-t/時) |
|-------|---------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------|------------------------|
| 専用土場A | 1             | ウッドシア<br>(CD70-S) | コマツ<br>(PC200) | 4.680             | 1,769       | 9.52                   |
| 専用土場B | 1             | ウッドシア<br>(固定式)    | コマツ<br>(PC120) | 2.901             | 6,982       | 1.50                   |

は投入口高(30cm以内)にそれぞれ制限があった。このため、専用土場Aでは、長さが150cm以上の幹は切断しなければならなかったが、投入口高の制限がないので薪割る必要はなく、専用土場Bでは、長さに対する制限はないが、幹を直径30cm以下に薪割る必要があった。結果的に切断と薪割り作業の違いが時間当たりの小割り量の差として表れた。このことから、機械の性能や作業内容が、作業効率に大きな影響を与えることが考えられた。

### 3. 2. 3 投入作業

小割りした残材のチップper投入口への投入作業は、バックホーで行った。機械の仕様および投入作業の試験結果は、表-9のとおり、作業状況は、写真-9、-10のとおりである。

時間当たりの投入量は、専用土場Aで5.54dry-t、専用土場Bでは2.20dry-tであった。専用土場AとBを比較し、時間当たり投入量に大きな差が出た原因は、バックホーのバケット容量の差だけではなく、チップperの粉砕能力の差によるところが大きいと考えられた。

専用土場Aで、二次粉砕を行った時にバックホーで一次粉砕後のチップをチップperに投入した結果は、表-10のとおりである。

二次粉砕も一次粉砕の時間当たりの残材投入量とほとんど差はなかった。

### 3. 2. 4 粉砕作業

専用土場Aでの粉砕は、ハンマーミルの高速回転で行なう方式で、残材の丸太直径には制限はないが、投入口径が2,300mmのため、長さ1,500mm以下に切断後の残材を径100mmのスクリーンで一次粉砕を行い、二次粉砕は径38mmのスクリーンで実施した。専用土場Bでの粉砕は、カッター刃による方式で、残材を横からベルトコンベア



写真-9 専用土場Aの投入作業



写真-10 専用土場Bの投入作業

で投入するため長尺材の投入は可能であるが、直径30cm以上の丸太は小割りして投入する必要があった。なお、スクリーンは径38mmで行った。

大型移動式チップperによる残材粉砕作業の試験結果は、表-11のとおりである。

表-9 投入作業の試験結果

| 区分    | 作業従事者<br>(人役) | バケット容量             | ベースマシン         | 残材投入量<br>(dry-t) | 作業時間<br>(秒) | 時間当たり投入量<br>(dry-t/時) |
|-------|---------------|--------------------|----------------|------------------|-------------|-----------------------|
| 専用土場A | 1             | 0.70m <sup>3</sup> | コマツ<br>(PC200) | 4.680            | 3,042       | 5.54                  |
| 専用土場B | 1             | 0.45m <sup>3</sup> | コマツ<br>(PC120) | 2.901            | 4,749       | 2.20                  |

表-10 一次粉砕チップ投入作業の試験結果

| 区分    | 作業従事者<br>(人役) | バケット容量             | ベースマシン         | 残材投入量<br>(dry-t) | 作業時間<br>(秒) | 時間当たり投入量<br>(dry-t/時) |
|-------|---------------|--------------------|----------------|------------------|-------------|-----------------------|
| 専用土場A | 1             | 0.70m <sup>3</sup> | コマツ<br>(PC200) | 4.680            | 3,050       | 5.52                  |

表一11 大型移動式チップパーによる専用土場でのチップ化試験結果

| 区分    | 樹種         | 作業従事者<br>(人役) | 作業時間<br>(秒) | 残材容積(A)<br>(m <sup>3</sup> ) | チップ容積(B)<br>(m <sup>3</sup> ) | 減容化率<br>(1-B/A)*100 | チップ含水率<br>(wb%) | チップ生重量<br>(t) | チップ乾重量(C)<br>(dry-t) | 時間当たり粉砕量<br>(dry-t/時) | 残材容積密度(O/A)<br>(dry-t/m <sup>3</sup> ) | チップ容積密度(O/B)<br>(dry-t/m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------|---------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------|---------------|----------------------|-----------------------|--|---|
| 専用土場A | ヒノキ(間伐全木)  | 1             | 3,215       | 56                           | 35.84                         | 36%                 | 50              | 9,360         | 4,680                | 5.24                  | 0.082                                  | 0.131                                   |
| 専用土場B | ヒノキ(根曲り幹部) | 1             | 4,869       | 14                           | 33.3                          | 138%                | 39              | 4,756         | 2,901                | 2.15                  | 0.208                                  | 0.087                                   |

注1) チップパーは、投入作業のバックホーオペレーターが遠隔操作  
 注2) スクリーン径：専用土場A100mm, 専用土場B38mm  
 注3) チップ生重量=残材生重量

表一12 二次粉砕の試験結果

| 区分    | 樹種        | 作業従事者<br>(人役) | 作業時間(秒) |       | 粉砕前チップ容積(A)       | 粉砕後チップ容積(B)       | 減容化率<br>(1-B/A)*100 | チップ乾重量(C)<br>(dry-t) | 時間当たり粉砕量<br>(dry-t/時) | チップ容積密度(O/B)<br>(dry-t/m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----------|---------------|---------|-------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---|
|       |           |               | スクリーン交換 | チップ化  | (m <sup>3</sup> ) | (m <sup>3</sup> ) |                     |                      |                       |   |
| 専用土場A | ヒノキ(間伐全木) | 1             | 2,460   | 3,089 | 35.84             | 32.79             | 8.5%                | 4,680                | 5.45                  | 0.143                                   |

注1) スクリーン交換作業従事者は1.5人  
 注2) スクリーン径：38mm  
 注3) 時間当たり処理量には、スクリーン交換時間は含めていない

表一13 専用土場チップ化のチップ形状

| 区分   | 専用土場A(一次粉砕) |      |      | 専用土場A(二次粉砕) |      |      | 専用土場B |      |      |
|------|-------------|------|------|-------------|------|------|-------|------|------|
|      | 長さ          | 幅    | 厚さ   | 長さ          | 幅    | 厚さ   | 長さ    | 幅    | 厚さ   |
| 平均   | 39.8        | 4.6  | 2.5  | 20.9        | 3.7  | 2.1  | 28.8  | 3.4  | 2.0  |
| 最大   | 155         | 23   | 9    | 95          | 8    | 4    | 60    | 9    | 6    |
| 最小   | 10          | 2    | 1    | 7           | 1    | 1    | 9     | 1    | 1    |
| 標準偏差 | 30.2        | 3.5  | 1.5  | 12.9        | 1.4  | 0.8  | 13.8  | 1.4  | 1.1  |
| 変動係数 | 75.7        | 76.4 | 58.7 | 61.8        | 37.9 | 40.0 | 47.8  | 43.1 | 54.3 |

注) ヒノキチップ50個測定

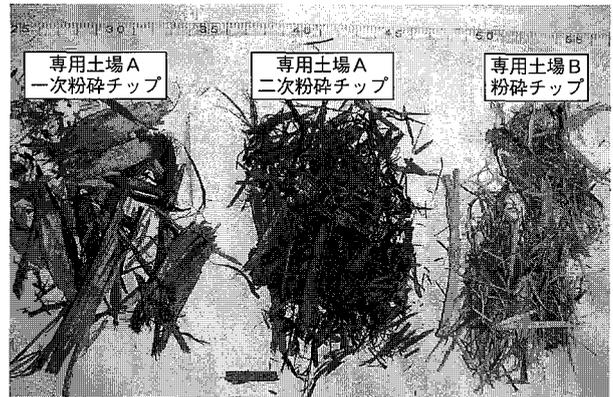
時間当たりの粉砕量は、専用土場Aでは、5.24dry-t(一次破砕)、専用土場Bでは、2.15dry-tであった。  
 また専用土場Aでの二次粉砕作業の試験結果は、表一12のとおりで、二次粉砕の時間当たり粉砕量は5.45dry-tになった。

チップの容積密度は、専用土場Aでは、一次粉砕チップが0.131dry-t/m<sup>3</sup>、二次粉砕チップが0.143dry-t/m<sup>3</sup>、専用土場Bでは、0.087dry-t/m<sup>3</sup>となった。

チップ化による残材の減容化率は、専用土場Aでは36%、専用土場Bでは138%になり、枝葉・幹の全木をチップ化した専用土場Aの場合は、減容化に繋がったが、幹だけをチップ化した専用土場Bでは、チップ化により逆に容積が増加した。

専用土場で粉砕したチップの平均形状は、表一13および写真一11のとおりである。

専用土場Aでは、一次粉砕チップが長さ39.8mm、幅4.6mm、厚さ2.5mm、二次粉砕チップが長さ20.9mm、幅3.7mm、厚さ2.1mmであった。専用土場Bでは、長さ28.8mm、幅3.4mm、厚さ2.0mmであった。チップの形状はどちらも不揃いであったが、形状の小さいチップ生産を行うためには、専用土場Aでは、二次粉砕が必要と思われる。また、専用土場Bでは、小割り作業で小さく割ったことが影響したのか細長い形状のチップが多くなった。なお、大型移動式チップパーの運転は、どちらの場合も残材を投入する機械(バックホー)のオペレーターがラジコンによる遠隔



写真一11 専用土場の粉砕チップ

操作で行うため、粉砕作業は無人稼動であった。

## 4. コスト試算

### 4.1 試算方法

現地チップ化および専用土場チップ化の試験結果に基づき、作業工程毎の時間コストと処理コストを試算した。時間コストは時間当りの機械費と人件費の合計、処理コストは時間費用÷時間処理量として求めた。なお、集材コストは全木集材のため素材生産コストの内数と考え、計上していない。

また、それぞれのチップ化作業コストを比較するため、チップと残材の輸送距離を片道30km、走行時間を往復1

時間とした。

4. 2 試算結果

4. 2. 1 現地チップ化コスト

現地チップ化での粉砕からチップ輸送までの作業毎の時間コストは、表-14のとおりである。なお年間作業日数は240日、1日当りのチップパー実働時間は6時間とし、トラックでのチップパー回送費は除いた。

表-14 作業工程別の時間費用（現地チップ化）

| 区 分          | 粉砕<br>(チップパー) | チップ輸送<br>(4t脱着式ダンプ) |
|--------------|---------------|---------------------|
| 機械価格(円)      | 11,000,000    | 7,000,000           |
| 耐用年数(年)      | 5             | 5                   |
| 年間作業日数(日)    | 240           | 240                 |
| 1日当り実働時間(時間) | 6             | 7                   |
| 年間使用時間(時間)   | 1,440         | 1,680               |
| 耐用時間(時間)     | 7,200         | 8,400               |
| 労務賃金(円/日)    | 13,300        | 15,900              |
| 燃料消費量(ℓ/時)   | 9.0           | 9.0                 |
| 燃料単価(円/ℓ)    | 90            | 90                  |
| 原価償却費(円/時)   | 1375          | 750                 |
| 保守・修理費(円/時)  | 1375          | 375                 |
| 管理費(円/時)     | 497           | 500                 |
| 燃料費(円/時)     | 837           | 810                 |
| 労務費(円/時)     | 3800          | 2271                |
| 時間費用合計(円/時)  | 7884          | 4706                |
| 作業人数(人)      | 2.0           | 1.0                 |
| 原価償却率        | 定額法           | 定額法                 |
| 保守・修理費率      | 0.90          | 0.45                |
| 年間管理費率       | 0.065         | 0.12                |

チップ輸送するダンプトラックは、チップをチップパーから直接投入するために脱着式となっており、最大積重量4t、コンテナ容積7.784m<sup>3</sup>である。また容積密度0.167dry-t/m<sup>3</sup>のチップをコンテナに満載時の8m<sup>3</sup>の積載重量は、1.34dry-tである。

チップ積込みのための待機時間は、チップパー粉砕量1.43dry-t/時で約1時間になるので、コンテナへのチップの積込み・運搬(往復)・荷降ろし作業のサイクルタイムを2.5時間とした。この場合の時間当たりのチップ輸送量は、0.54dry-t/時になった。

現地チップ化作業の処理コストの試算結果は、表-15のとおりである。

t当りのチップ化からチップ輸送までの総コストは、

表-15 現地チップ化での処理コスト試算結果

| 作業区分                              | 粉砕      | チップ輸送 |
|-----------------------------------|---------|-------|
| 時間当り処理量(dry-t/時・台)(A)             | 1.43    | 0.54  |
| 時間当た作業費用(円/時・台)(B)                | 7,884   | 4,706 |
| t当り処理コスト(円/dry-t)(B/A)            | 5,513   | 8,715 |
| t当りの全体処理コスト(円/dry-t)              | 14,228  |       |
| (チップ層積換算処理コスト(円/m <sup>3</sup> )) | (2,376) |       |

注1) チップ層積1m<sup>3</sup>は、0.167dry-tで積算

14,228円/dry-t(層積に換算すると2,376円/m<sup>3</sup>)で、そのうち輸送コストが総コストの61%を占めた。今後、輸送コストの低減化を図る工夫が必要であることが明らかになった。これについては、チップ積込みにスベアコンテナを使用することによってチップ積込みの待機時間が省略できるという報告<sup>1)</sup>もあり、それを基に試算すると、チップ輸送コストが約4割削減されるので、スベアコンテナの使用は、非常に有効であると考えられる。

小型移動式チップパーによる現地チップ化作業は、残材にチップパーの処理能力以上に大きな径の幹部の有無、機械トラブルの有無等によって作業効率が大きく左右されることが明らかになった。今後、コスト低減化のために作業場の集約化や作業ロットを拡大することによってチップパーの回送コストを下げる等の工夫が必要であると考えられる。

4. 2. 2 専用土場チップ化コスト

専用土場AおよびBの処理作業の時間コストを表-16、-17に示した。また年間作業日数を240日、機械の1日当りの稼働時間を7時間とした場合の作業処理コストの試算結果を表-18、-19に示した。なおトラックでの残材輸送は、1日4往復とした。

専用土場Aでの残材積込み～運搬～荷降ろし～二次粉砕までの総コストは、13,923円/dry-t(チップ層積に換算すると1,991円/m<sup>3</sup>)となった。チップパーの一次粉砕量が1日当り約36dry-tと大きいため、コスト低減化のためには、残材の収集・運搬の作業効率をより高めることが必要であると考えられる。またハンマー式チップパーでの粉砕は、チップ形状が不揃いになるため、二次粉砕が必要になるが、一次粉砕後のチップをベルトコンベアで二次粉砕機に自動投入する作業システムを導入すると生産性が飛躍的に向上するものと考えられる。

専用土場Bでの残材積込み～運搬～荷降ろし～粉砕までの総コストは、16,924円/dry-t(チップ層積に換算すると1,472円/m<sup>3</sup>)となった。これは小割り機による丸太の薪割り作業を行ったため、小割り処理コスト分が専用土場Aと比較して高くなっている。これを解決するためには、効率良く薪割りできる作業機械や丸太径の大きい残材でも処理可能な粉砕機などのハード面と作業システムの改善が必要である。

表-16 各作業別の時間費用(専用土場A)

| 作業区分<br>(使用機械) | 積み込み・運搬・荷降ろし<br>(グラブ付トラック) | 小割り<br>(クロコダイル) | 残材チップ投入<br>(パワーショベル) | 粉碎<br>(リフォレ)    |
|----------------|----------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| 機械価格(円)        | 20,000,000                 | 16,200,000      | 15,800,000           | 50,000,000      |
| 耐用年数(年)        | 5                          | 5               | 5                    | 5               |
| 年間作業日数(日)      | 240                        | 240             | 240                  | 240             |
| 1日当り実働時間(時間)   | 7                          | 7               | 7                    | 7               |
| 年間使用時間(時間)     | 1,680                      | 1,680           | 1,680                | 1,680           |
| 耐用時間(時間)       | 8,400                      | 8,400           | 8,400                | 8,400           |
| 労務賃金(円/日)      | 15,900                     | 16,100          | 16,100               | 16,100          |
| 燃料消費量(ℓ/時)     | 12.5                       | 20              | 20                   | 40              |
| 燃料単価(円/ℓ)      | 90                         | 90              | 90                   | 90              |
| 原価償却費(円/時)     | 2,143                      | 1,736           | 1,693                | 5,357           |
| 保守・修理費(円/時)    | 1,071                      | 579             | 564                  | 2,679           |
| 管理費(円/時)       | 1,429                      | 627             | 611                  | 1,935           |
| 燃料費(円/時)       | 1,125                      | 1,800           | 1,800                | 3,600           |
| 労務費(円/時)       | 2,271                      | 2,300           | 2,300                | 0               |
| 時間費用合計(円/時)    | 8,039                      | 7,042           | 6,968                | 13,571          |
| 作業人数(人)        | 1.0                        | 1.0             | 1.0                  | パワーショベルオペレーター兼務 |
| 原価償却率          | 定額法                        | 定額法             | 定額法                  | 定額法             |
| 保守・修理費率        | 0.45                       | 0.30            | 0.30                 | 0.45            |
| 年間管理費率         | 0.12                       | 0.065           | 0.065                | 0.065           |

表-17 各作業工程別の時間費用(専用土場B)

| 作業区分<br>(使用機械) | 積み込み・運搬・荷降ろし<br>(グラブ付トラック) | 小割り<br>(ウッドシャ) | 残材チップ投入<br>(パワーショベル) | 粉碎<br>(BR130M)  |
|----------------|----------------------------|----------------|----------------------|-----------------|
| 機械価格(円)        | 12,000,000                 | 20,200,000     | 17,590,000           | 37,500,000      |
| 耐用年数(年)        | 5                          | 5              | 5                    | 5               |
| 年間作業日数(日)      | 240                        | 240            | 240                  | 240             |
| 1日当り実働時間(時間)   | 7                          | 7              | 7                    | 7               |
| 年間使用時間(時間)     | 1,680                      | 1,680          | 1,680                | 1,680           |
| 耐用時間(時間)       | 8,400                      | 8,400          | 8,400                | 8,400           |
| 労務賃金(円/日)      | 15,900                     | 16,100         | 16,100               | 16,100          |
| 燃料消費量(ℓ/時)     | 12                         | 20             | 20                   | 30              |
| 燃料単価(円/ℓ)      | 90                         | 90             | 90                   | 90              |
| 原価償却費(円/時)     | 1,286                      | 2,164          | 1,885                | 4,018           |
| 保守・修理費(円/時)    | 643                        | 721            | 628                  | 2,009           |
| 管理費(円/時)       | 857                        | 782            | 681                  | 1,451           |
| 燃料費(円/時)       | 1,080                      | 1,800          | 1,800                | 2,700           |
| 労務費(円/時)       | 2,271                      | 2,300          | 2,300                | 0               |
| 時間費用合計(円/時)    | 6,137                      | 7,767          | 7,294                | 10,178          |
| 作業人数(人)        | 1.0                        | 1.0            | 1.0                  | パワーショベルオペレーター兼務 |
| 原価償却率          | 定額法                        | 定額法            | 定額法                  | 定額法             |
| 保守・修理費率        | 0.45                       | 0.30           | 0.30                 | 0.45            |
| 年間管理費率         | 0.12                       | 0.065          | 0.065                | 0.065           |

表-18 専用土場Aでの処理コスト試算結果

| 作業区分  | 積込・運搬・荷降          | 小割    | 残材チップパー投入 | 一次粉碎   | 一次チップチップパー投入 | 二次粉碎   |
|---|-------------------|-------|-----------|--------|--------------|--------|
| 時間当り処理量(dry-t/時・台)(A)                                     | 1.44              | 9.52  | 5.54      | 5.24   | 5.52         | 5.45   |
| 時間当り作業費用(円/時・台)(B)  | 8,039             | 7,042 | 6,968     | 13,571 | 6,968        | 13,571 |
| t当り処理コスト(円/dry-t)(B/A)                                    | 5,583             | 740   | 1,258     | 2,590  | 1,262        | 2,490  |
| t当りの全体処理コスト(円/dry-t)<br>(チップ層積換算処理コスト(円/m <sup>3</sup> )) | 13,923<br>(1,991) |       |           |        |              |        |

注) チップ層積 1 m<sup>3</sup>は、0.143dry-tで積算

表-19 専用土場Bでの処理コスト試算結果

| 作業区分  | 積込・運搬・荷降          | 小割    | 残材チップパー投入 | 粉碎     |
|---|-------------------|-------|-----------|--------|
| 時間当り処理量(dry-t/時・台)(A)                                     | 1.66              | 1.50  | 2.20      | 2.15   |
| 時間当り作業費用(円/時・台)(B)  | 6,137             | 7,767 | 7,294     | 10,178 |
| t当り処理コスト(円/dry-t)(B/A)                                    | 3,697             | 5,178 | 3,315     | 4,734  |
| t当りの全体処理コスト(円/dry-t)<br>(チップ層積換算処理コスト(円/m <sup>3</sup> )) | 16,924<br>(1,472) |       |           |        |

注) チップ層積 1 m<sup>3</sup>は、0.087dry-tで積算

## 5. まとめ

本研究により、次のとおり既存の機械・作業システムを利用したチップ化作業の技術的な課題や改善点等が明らかになった。

- ① 現地チップ化のコストの大半を占める輸送コストを下げるためには、チップの積込み待機時間のロスタイムをいかに少なくするか、チップパーが1作業場で効率的に稼動するための十分な残材量の確保が課題である。
- ② 嵩張る末木や枝条は、現地チップ化や圧縮・結束化による減容化により輸送コストの低減化が図られる<sup>2)</sup>が、根曲がり部等の幹部は、チップ化により容積が大きくなるため、現地チップ化より専用土場へ搬入後のチップ化が効率的である。
- ③ 専用土場での大型チップパーによるチップ化は、既存のチップ作業システムを見直すことにより、効率的に残材のチップ生産が可能になることがわかった。ただし大型トラックによる残材の収集・運搬作業をいかに効率的に行うか、小割り機や粉碎機の改良等が今後の重要な課題であると考ええる。
- ④ 重油の代替燃料としての森林バイオマス収穫の採算性について検討している報告<sup>3)</sup>では、重油カロリー換算バイオマス販売価格(チップ価格)を26,000円/dry-tと仮定している。本試験でのコスト試算結果は、燃焼施設へのチップ輸送やチップ乾燥のコストは含めていないが、この仮定価格と今回の試験結

果を比較した場合、バイオマス燃料としての利用の可能性は高いものと考ええる。

今後も林地残材の収集・運搬コスト低減化のために、引き続き県内企業と協力し、末木・枝条を圧縮・結束する機械の開発やバンドルのチップ化試験等を実施して行く予定である。

最後に、今回のチップ化試験においてご協力をいただいた株式会社河本組、三次地方森林組合、備北森林組合、また、試験地を提供していただいたアサヒビール株式会社庄原林業所には、厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) 佐々木誠一ほか(2006) 燃料用チップ供給コスト試算, 岩手県立林業技術センター研究報告, No14, p9-16
- 2) 與儀兼三・岡部茂(2007) 森林バイオマスの効率的供給システムの開発(I); 林地残材の収集・運搬コストと含水率の低減化, 広島県林技セ研報39: 1~11
- 3) 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),