

## 森林バイオマス資源の生産工程調査結果について（報告書）

再生可能エネルギーの利用ポテンシャルが高まりを見せる中、これまで利用が限られていた森林バイオマス資源（林地における切り捨て間伐材や造材時の追い上げ材・梢端部等の未利用資源）（以下、「森林バ 伐資源」という。）の利用が着目されている。

北海道上川流域では、平成 20 年に、旭川市に所在する日本製紙株式会社がバイオマスボイラーを導入したこともあって、道内でも森林バ 伐資源の活用が進んでおり、これらの動きに対応して、平成 22 年に、北海道木質バイオ開発事業共同組合（以下、「バ 伐組合」という。）が設立され、国有林においても森林バ 伐資源生産への取り組みが進められている。

しかしながら、

- ① 他地域で進められている森林バ 伐資源の生産においてもコストが高くその大幅な低減が模索されていること
- ② 山元の丸太生産現場での効率的な森林バ 伐資源の生産・搬出の仕組みが確立されていないこと
- ③ 需要者が限られており、森林バ 伐資源の価格形成プロセスが未熟で公共施設利用以外は買い手市場となる傾向が強いこと（要すれば買い取り価格が低い）

等、ビジネスとしての森林バ 伐資源利用の確立には多くの課題が山積していると考えられる現状にある。

このようなことから、今後の上川流域等における森林バ 伐資源利用のビジネスモデルを検討する端緒として、今般、上川流域の国有林において通常行われているプロセッサやフォワーダ等を用いた木材の低コスト高効率作業システムにおける森林バ 伐資源の生産工程及び生産単価を把握するとともに、生産仕組みの改善等を最大限行った場合の工程等をモデル的に試算したので報告する。

なお、調査に当たっては、生産事業の受託者である(株)吉岡建設の協力を得るとともに、(独)森林総合研究所北海道支所の指導を得て実施した。また、とりまとめに際して、地方独法北総研林業試験場におけるこれまでの調査結果を参考とさせていただいた。

### 1. 調査の概要

現地調査期間は平成 23 年 12 月に 3 回、24 年 2 月に 2 回に各半日程度、調査箇所は上川中部森林管理署 2147 林班ほかのトドマツ人工林間伐の生産現場である。調査の対象となった林分は、旭川地区国有林の初回間伐の平均的な対象林分であり、ヘクタール当たり蓄積は 52m<sup>3</sup> から 176m<sup>3</sup>、1 本当たり立木材積は 0.11m<sup>3</sup> から 0.30m<sup>3</sup>、間伐率は 20 %から 30 %となっている。また森林バ 伐資源搬出箇所の間伐材積は 4, 933m<sup>3</sup>、森林バ

材資源の搬出量は 660m<sup>3</sup> となった。

調査は上川中部森林管理署と旭川事務所の合同で実施し、調査の流れは以下のとおりである。

- ① 現地調査として、国有林内の丸太生産に通常使用されているブローチャ、グループローダ-、フォアダ及びチップ-それぞれに調査員が張り付き、調査様式（表 1 の 1～6）を用いて、単位工程ごとの時間及び作業量（ブローチャによる造材本数、フォアダによる運材量等）の計測を行い、森林バ材資源生産にかかる各単位工程ごとの平均的な時間、作業量とそれぞれの流れを把握した。
- ② 続いて、①の各工程ごとの時間等と、丸太及び森林バ材資源の集材量の推計及び人件費・機械損量等から、当該生産仕組みにおける森林バ材資源の単位生産量（ADT：風乾重）当たりの生産工期、単価を算定した。併せて、生産工期のケーススタディを行うために、同様に丸太の生産工期、単価を求めた。
- ③ さらに、生産工程の流れ、単位工程ごとの平均時間等をモデル化し、たとえばそれぞれ個別に使用している丸太生産と森林バ材資源生産の機械を兼用する等の見直しをした場合の「改善されるべき生産モデル」を数例提示し、各ケースにおける工期及び単価を試算した。

## 2. 作業仕組み

調査地における作業仕組みは、チェーンによる先山伐倒、ブローチャによる造材、グループローダ-による積み込み、フォアダによる集材、グループローダ-による土場での捲き立て、チップ-による土場でのバ材チップ生産が基本的流れである。

しかしながら、現場での実際の作業はやや複雑で、例えば先山作業の効率化を図るために木寄せのグループローダ-が一時的に応援されたり、土場のグループローダ-が空き時間に先山の積み込みに回ったりしており、常に定型的な作業配置となっていない。

また、積み込みのグループローダ-が作業道上のでフォアダを待っている時間に作業道沿いにある丸太やバ材資材をまとめる作業を行ったり、土場においてもグループローダ-が丁寧な捲き立てやバ材資材の積み上げを行うなど、主作業（必要不可欠な作業）であるか副作業（とりあえず時間があるので機械を動かしている）かの判断が困難な場合が多いのが実態である。

さらに、平均集材距離等の諸因子も、断片的な工期把握であることから、汎用性のあるデータとなるには、不十分な点も多いと史料される。

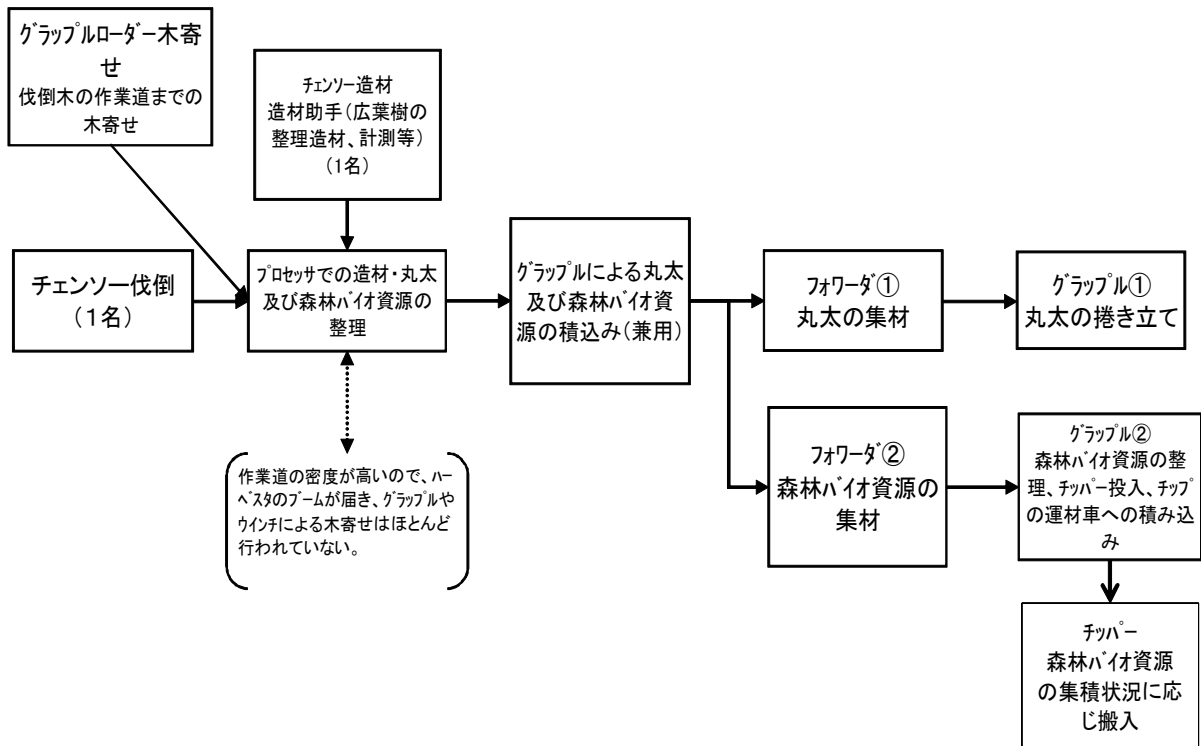
加えて、作業現場の移動が逐次行われたり、使用機械のメンテナンスや打ち合わせが作業過程で組み込まれ、複雑になっている。

以上の状況にはあるが、本工期調査においては、実際の作業仕組みを図 1 のように単純化し、モデル化した上で、現状の工期、標準的な工期、最大の効率化を図った場合の工期等を求めることとする。

- ①伐倒：先山ではチェーンソー伐倒手が一人先行伐採を行う。
- ②造材：作業道密度が高いことから、ウインチ等による木寄せは行わず、大半の伐倒木はプロセッサで掴み、造材し、丸太、森林バイオ資源に分けて作業道沿いに整理する。その際、広葉樹が多いことから、チェンソーが一人付いて、プロセッサで造材ができない広葉樹の裏部分の造材を行うとともに、計測確認等の付帯作業を行う。
- ③積み込み：作業道上の1台のグラップルローダーが、丸太及び森林バイオ資源をそれぞれのフォワーダに積み込む。
- ④集材：丸太専用のフォワーダと森林バイオ資源専用のフォワーダ2台で集材作業。
- ⑤巻き立て：丸太の巻き立て専用のグラップルローダーと森林バイオ資源の整理・チップへの投入等専用のグラップルローダーが稼働。
- ⑥チップ生産：森林バイオ資源の集積状況に応じ、チップを土場に搬入しチップを生産。

※森林バイオ資源専用のフォワーダとグラップルローダーはバイオ組合が補助制度を用いて導入したもので、契約上は国有林の生産事業の対象となっていないことからボランティアベースで持ち込んでおり、工期調査に当たって一時的に国有林が借り上げを行う形態をとっている。なお、森林バイオ資源は国有林の生産事業の副産物として販売している。

図1：標準的な生産工程の仕組み



### 3. 計測された工程ごとの作業時間と生産工程・経費等（表2、表3）

#### （1）各工程ごとの平均工期等

各調査日における、各機械の工程単位ごとの計測値を表2に示す。これらの実際の計測値を用いて、各単位工程ごとの平均時間を求めると表3のとおり。各工程ごとの状況は以下のとおりとなる。

##### ①作業道上での造材

ほとんど作業ロスはなく、コンスタントに造材をしている。森林バ伐資材の整理も一部行っているが、わずかの時間であり、基本的にバ伐材は丸太生産のみに従事。

##### 【計測結果】

◎伐倒木1本当たりの直接平均造材時間：01分58秒

◎燃料補給や休憩時間等を含む1本当たり平均造材時間：02分03秒

◎1m<sup>3</sup>当たりの全体平均造材時間：8分42秒

・1本当たりの資材材積0.34m<sup>3</sup>（別途計測）、歩留まり0.7

◎一日当たりの丸太造材量：41.9 m<sup>3</sup>/日（176 × 0.34 × 0.7=41.9）

・1日当たり造材本数176本（6:00:00 ÷ 02:03=176）

・平均資材材積を0.34m<sup>3</sup>/本、歩留まり0.7

##### ②丸太・森林バ伐資源の積み込み

グループ loader-1台で、丸太、森林バ伐資源の積み込みをしており、フォワーダが到着するまでの間の時間を利用した丸太・森林バ伐資源の整理等や、積み込みが長引いた場合のフォワーダの待ち時間のロスが生じている。

##### 【計測結果】

◎丸太積み込み平均時間（直接）：23分37秒

◎バ伐の積み込み平均時間（直接）：18分47秒

◎ADT当たりの森林バ伐資源の積込時間（全体）：11分25秒

・フォワーダ1台当たりの森林バ伐資源積込量2.5ADT（実績より）として算出。

##### ③丸太・森林バ伐資源の運搬

丸太・森林バ伐資源それぞれ専用のフォワーダを使用している。

フォワーダ1台当たりの丸太の積載量は6m<sup>3</sup>程度とした。

それぞれのフォワーダは、積み込み後すぐに土場に向かい、短時間で下した後に速やかに先山に向かっている。荷下しの時間は丸太で4分、森林バ伐資源で2分程度となっている。

それぞれのフォワーダは同じグループ loader-で積込を行うため、一時積込待機時間が生じている。また、特に森林バ伐資源専用フォワーダのワイア掛けに相当の時間を要している。

【計測結果】

◎丸太フォワーダ

ワイフ掛け平均時間 : 02 分 20 秒  
先山→土場までの平均集材時間 : 17 分 33 秒  
土場→先山までの平均集材時間 : 12 分 08 秒  
土場での丸太降し平均集材時間 : 04 分 03 秒  
1m<sup>3</sup> 当たりの丸太平均集材時間 : 11 分 13 秒

◎森林バ 伐資源フォワーダ

ワイフ掛け平均時間 : 06 分 43 秒  
先山→土場までの平均時間 : 13 分 36 秒  
土場→先山までの平均時間 : 12 分 34 秒  
土場での森林バ 伐資源降し平均時間 : 01 分 43 秒  
1ADT 当たりの森林バ 伐資源集材時間 : 21 分 18 秒

◎燃料補給平均時間 : 08 分 25 秒 (1 日 1 回程度)

④土場巻き立て、森林バ 伐資源整理作業

土場では丸太・森林バ 伐資源それぞれ専用のグラップルを使用し、森林バ 伐資源専用のグラップルローダ-はチップ-への投入、チップ運搬車への積み込みも行っている。

【計測結果】

◎丸太グラップルローダ-

1 台分丸太の平均巻き立て時間 (直接) : 40 分程度 (推計)  
1m<sup>3</sup> 当たりの平均巻き立て時間 (全体) : 11 分 18 秒

◎森林バ 伐資源グラップルローダ-

トラック 1 台分の平均積込時間 : 13 分 57 秒  
森林バ 伐資源 1ADT 当たりの処理時間 : 21 分 11 秒  
森林バ 伐資源 1ADT 当たりのチップ-投入時間 : 9 分 07 秒

◎チップ-

森林バ 伐資源 1ADT 当たりの処理時間 : 9 分 07 秒

◎平均燃料補給時間 : 14 分 30 秒 (1 日 1 回程度)

※巻き立て時間やバ 伐チップ-への投入時間が作業が継続しており正確には測定できない。

(2) 現状の作業仕組みにおける森林バ 伐資源の生産工程と単価

生産工程は、森林バ 伐資源生産にかかるそれぞれの機械の作業工程における直接的な作業時間 (表 3 の緑色部分) の合計を生産された森林バ 伐資源の量で除して求め、1ADT 当たりの生産に必要な所要工程を算出した。

生産単価は、森林バ 伐資源の生産・搬出にかかる機械のそれぞれの一日あたりの損料及びオペレーターの人件費 (社会保険料等を含む) に、それぞれの所要工程の一日稼働時間

(ここでは6時間とした)に対する割合を乗じ、その合計を算出した。機械損料は補助金導入機械の場合は減価償却費は含めず、補修経費等のみとした。フォワーダ1台の運搬量は、運搬実績をもとに、1回2.5ADT(風乾重:比重0.7程度で材積換算3.6m<sup>3</sup>)とした。

以上の結果、1ADT当たりの森林バイオ資源の生産単価は表4のとおり、7,292円と算定された。なお、間接諸経費率については、実施機関において様々であることから、ここでは直接経費のみを算定している(社会保険料は表4のとおり含まれている)。

また、表中に、使用機械に補助金が導入されていない場合の経費を参考に示したが、補助なしの場合、直接経費で11,770円となった。

**表4: 森林バイオ資源の生産工程と経費**

使用機械	工程 (時間 /ADT)	機械損料 (円/日)	油脂燃 料費	人件費 (円/日)	社会保険 料等 (200/1000)	単価 (円/ADT)	
グラップルローダー(自社)	11:25	32,500	4,800	13,000	2,600	1,678	
フォワーダ(自社)	21:18	32,700	2,800	13,000	2,600	3,023	
グラップルローダー(すべて 補助金購入)	21:11	13,100	4,800	13,000	2,600	1,971	バイオ組合
(補助金なし)		(32,500)				(3,113)	
チップパー(すべて補助金購 入)	9:07	22,100	2,400	0	0	620	バイオ組合
(補助金なし)		(75,700)				(3,956)	
<b>ADT当たり経費</b>						<b>7,292</b>	
<b>(補助金なし)</b>						<b>(11,770)</b>	

※1: 自社機械の損料、人件費等は国有林野事業の規程を準用

※2: 補助金購入機械は原価償却は見込まず、保守修理率、年間稼働日数等の前提を置き別途算定。なお、チップパーの油脂燃料費は稼働時間等から自社のグラップルの半分程度とした。

※3: ADT当たり経費は機械の稼働を一日6時間として、ADT当たり工程の6時間に対する割合に一日当たりの経費合計を乗じて算出した。

※4: 補助金なしの算定においては、グラップルローダーは国有林の損料を準用、チップパーは償却年数、年間稼働日数の前提をおいて試算した。

ハイイ組合所有の機械損料等の算定(万円)

①グラップルローダー

原価償却費		(補助金なし)	維持管理費	
購入価格	1,575		保守修理率	50
自己負担額	0		補修修理費/年	157.5
償却年数	5年			
想定運転日数	120日			
年間償却額	0			
日当り償却額	0	3,2500	日当り維持管理費	1.31

②チップパー

原価償却費			維持管理費	
購入価格	2,648		保守修理率	50
自己負担額	0		補修修理費/年	264.8
償却年数	5年			
想定運転日数	70日			
年間償却額	0	529.6000		
日当り償却額		7.5657	日当り維持管理費	2.21

また、丸太の生産における工期及び経費は、先山のチェーン伐倒及びグラップルローダーによる木寄せが造材工程と併行的に行われていることから同様の工期とすることにより、表5のように求められた。

表5: 丸太生産工期と経費

使用機械	工期 (時間/m3)	機械損料 (円/日)	油脂燃料 費	人件費 (円/日)	社会保険料 等 (200/1000)	経費 (円/m3)
チェーン伐倒	8:42	1,133	1,117	13,000	2,600	431
グラップルローダー(木寄せ)	8:42	32,500	4,800	13,000	2,600	1,278
ハーベスタ造材	8:42	32,500	4,800	13,000	2,600	1,278
チェーン(広葉樹造材)	8:42	1,133	1,117	13,000	2,600	431
グラップルローダー(積込)	8:06	32,500	4,800	13,000	2,600	1,190
フォワーダ集材	11:13	32,700	2,800	13,000	2,600	1,592
グラップルローダー(捲き立て)	11:18	32,500	4,800	13,000	2,600	1,660
m3当たり経費						7,862

※1: 機械の損料、人件費等は国有林野事業の規程を準用

※2: m3当たり経費は機械の稼働を一日6時間として、m3当たり工期の6時間に対する割合に一日当たりの経費合計を乗じて算出した。

※3: チェーン伐倒は工期を計測していないが、造材の工期と同様とした(作業日誌からみても継続的に伐倒を行っている)。また、プロセッサについているチェーン造材手の工期を含めた。

※4: バックホーによる作業道開設費、除雪費用等の直接経費及び間接経費は含んでいない。

## 4. 効率化した生産モデルの検討

### (1) 作業仕組みの効率化の検討

現在の作業仕組みにおいては、

- ①森林バイオ資源を集積・チップ化する土場から先山まで、1000m以上の距離をフォワーダで運搬するため相当の運搬時間を要するとともに、2台のフォワーダを使用することによる機械損料・人件費等が増大していること
- ②土場における森林バイオ資源の処理を専用のグラブローダで行っており、作業時間のロスとともに、同じく機械損料・人件費が増大していること
- ③森林バイオ資源の積込等に相当の時間を要しており、また末木枝条が多いことから積載量が限られているなど、フォワーダの改良等による運搬効率の改善が期待されること等の課題がみられ、その改善が生産コスト削減のために強く望まれるところである。

このことから、現在の作業仕組みの改善の検討のため、まず現行作業工程をモデル化した上で、機械配置・数の見直し、森林バイオ資源収集現場の限定等、最大限効率化を図った場合の工期等について試算する。

## (2) 現在の作業工程のモデル化 (図2)

現在行っている作業工程の効率化を検討するため、現行の作業仕組みにおける各工程の計測時間等をもとにモデル化を行った。

現在の作業仕組みをモデル化した場合の、森林バイオ資源収集及び丸太生産の工期及び経費を算定すると以下のとおりとなり、現地の計測によると比較すると、作業上のロス等が含まれないことから、若干工期及び経費の効率が上がったモデルとなっている。

**表6: 森林バイオ資源生産工期と経費(モデル化)**

使用機械	工期 (時間 /ADT)	機械損料 (円/日)	油脂燃 料費	人件費 (円/日)	社会保険 料等 (200/1000)	経費 (円/ADT)
グラブローダー(自社)	7:36	32,500	4,800	13,000	2,600	1,117
フォワーダ(自社)	23:12	32,700	2,800	13,000	2,600	3,293
グラブローダー(すべて 補助金購入)	23:12	13,100	4,800	13,000	2,600	2,159
チップー(すべて補助金購 入)	9:12	22,100	2,400	0	0	626
<b>ADT当たり経費</b>						<b>7,195</b>

※1: 自社機械の損料、人件費等は国有林野事業の規程を準用

※2: 補助金購入機械は原価償却は見込まず、保守修理率、年間稼働日数等の前提を置き別途算定。なお、チップーの油脂燃料費は稼働時間等から自社のグラブの半分程度とした。

※3: ADT当たり経費は機械の稼働を一日6時間として、ADT当たり工期の6時間に対する割合に一日当たりの経費合計を乗じて算出した。



表7: 丸太生産工程と経費(モデル化)

使用機械	工程 (時間/m3)	機械損料 (円/日)	油脂燃料費	人件費 (円/日)	社会保険料 等 (200/1000)	経費 (円/m3)
チェーン伐倒	8:42	1,133	1,117	13,000	2,600	431
グラップルローダー(木寄せ)	8:42	32,500	4,800	13,000	2,600	1,278
ハーベスタ造材	8:42	32,500	4,800	13,000	2,600	1,278
チェーン(広葉樹造材)	8:42	1,133	1,117	13,000	2,600	431
グラップルローダー(積込)	6:30	32,500	4,800	13,000	2,600	955
フォワーダ集材	9:40	32,700	2,800	13,000	2,600	1,372
グラップルローダー(捲き立て)	9:40	32,500	4,800	13,000	2,600	1,420
m3当たり経費						7,167

※1: 機械の損料、人件費等は国有林野事業の規程を準用

※2: m3当たり経費は機械の稼働を一日6時間として、m3当たり工程の6時間に対する割合に一日当たりの経費合計を乗じて算出した。

※3: チェンソー伐倒は工程を計測していないが、造材の工程と同様とした(作業日誌からみても継続的に伐倒を行っている)。また、プロセッサについているチェーン造材手の工程を含めた。

※4: バックホーによる作業道開設費、除雪費用等の直接経費及び間接経費は含んでいない。

### (3) 最大限効率化した想定生産モデル(図3～図6)

モデルを用いて、森林伐採資源の収集、処理を最大限効率化するケーススタディを行った。各ケース具体的な見直し事項は以下のとおりである。

#### ①ケースA

丸太及び森林伐採資源ごとに用いているフォワーダ及び土場のグラップルローダーをそれぞれ1台とし、兼用する。

#### ②ケースB

フォワーダを兼用したケースでは先山のグラップルローダーの工程が低下し、また全体のロスも増加することから、土場の丸太捲き立てを効率化した上で、グラップルローダーのみ兼用とする。

#### ③ケースC

②と同様に土場のグラップルローダーのみ兼用として、かつ、森林伐採資源の集材範囲を500m程度以内とすることによりフォワーダの先山～土場往復時間を20分程度とする。

#### ④ケースD

林業専用道が再生プランの目標程度に開設され、集材距離が300m程度になるとともに、伐採方法を皆伐等とするなどにより積み込み時間が短縮されること、丸太の直送等によって土場の効率が向上することを前提とした理想モデル。

現行モデル及び効率化したモデルによる作業の流れを図3～図6に示す。

各ケースごとのバイオマス資源収集及び丸太生産の工期及び経費を算定すると表8のとおりとなる。土場のグラップルのみを兼用するとともに、林業専用道の開設が進んだ再生プランモデルが最大の効率化が図られることとなり、その場合、1ADT 当たり 3,700 円程度の直接経費が必要となった。

なお、ここでも算定した数値は直接経費のみであり、間接経費は含めていない。

表8:各効率化ケースと工期・経費及び評価

ケース		現行モデル	ケースA	ケースB	ケースC	ケースD	
内容			集材フォワーダ及び土場グラップル兼用しそれぞれ1台	フォワーダ2台、土場グラップルのみ兼用	土場グラップルのみ兼用し、集材距離を500m程度に限定し集材時間を短縮	土場グラップル兼用で、集材距離を300m程度、積み込みや捲き立て時間を効率化	
ハ・イオマス資源生産	工期/AD	グラップル積込	7:36	15:36	7:36	7:36	6:00
		フォワーダ集材	23:12	15:36	23:12	18:24	12:00
		グラップル捲立	23:12	20:24	11:12	11:12	8:00
		チップ	9:12	9:12	9:12	9:12	6:00
	経費/ADT	7,261	7,031	6,078	5,397	3,738	
丸太生産	工期/m3	チェーン伐倒	8:42	8:42	8:42	8:42	8:42
		グラップル木寄	8:42	8:42	8:42	8:42	8:42
		ハーベスタ造材	8:42	8:42	8:42	8:42	8:42
		チェーン造材	8:42	8:42	8:42	8:42	8:42
		グラップル捲立	6:30	9:40	6:30	4:30	2:30
		フォワーダ集材	9:40	9:40	9:40	7:40	5:00
		グラップル捲立	9:40	17:27	5:00	3:00	1:40
	経費/m3	7,167	8,776	6,482	5,610	4,742	
評価			フォワーダを兼用することにより、土場のグラップルと捲立グラップルのロス時間が増加し、バイオマス資源は若干効率化するが、丸太は大幅に工期が悪化する。	捲立のロス時間が大幅に減少しバイオマス資源及び丸太生産ともに工期が上がる。	フォワーダ集材及び土場の捲立効率が上がると、現行モデルとしては最大の効率化。	林業専用道が再生プランの目標に近づくことが必要であるが、フォワーダ集材ではコスト削減に限界。	

#### 4. バイオマス生産仕組みの提案

フォワーダ等高性能林業機械を用いた低コスト・高効率生産システムにおいては、全木又は全幹集材のように丸太生産と一体的に森林バ伐資源が生産されないことから、生産コストが高くなることが懸念されてきた。

一方、森林・林業再生プランの達成のためには、効率的な丸太生産が求められており、また林地のかく乱を最小限とする施業であることから、国有林としてもフォワーダ等を用いた生産仕組みを全面的に導入しており、今後も当該生産仕組みは民有林にも推奨されていくことと思料される。

今回の工期等調査においては、国有林で一般的に行われているフォワーダ等を用いた間伐集材システムにおける、現状の森林バ伐資源の収集工期・経費と、それを効率化した場合のモデルの工期・経費を検討した。

今回の調査結果としては、

①現状で直接経費で 7,000 円/ADT 程度の収集コストが必要となることが算定されるとともに、

②林業専用道の開設を推進して、機械の配置を最大限効率化したモデルにおいても、すべての森林バイオマス資源をフォワーダによって集材した場合は、3,700 円/ADT 程度の直接経費が必要となること

がわかった。

今後の森林バ伐資源の収集に当たっては、林業専用道の開設を最大限進めるとともに、誘導伐等によって資源ロットを拡大すること、林業専用道に直接集積されるような伐区設定等によってフォワーダによる集材コストを低減させること等、作業仕組みのみならず、路網や伐採方法等の見直しによって最大限効率化に努めることが、生産コストの削減のためには必要不可欠と思料される。

一方、森林バ伐資源の利用者においても、資源の継続的利用を図るためには、A 重油価格と比較したコストメリットを勘案しつつ、相当のコスト負担を前提とした事業の検討が必要条件と考える。