

# インドネシアにおける早生樹の施業及び施業に係る物質・エネルギー

## —アカシアマンギウム人工林を事例として—

今富裕樹・吉田貴紘・田中良明・藤間 剛・外崎真理雄・山本幸一(森林総研)

### 1. はじめに

熱帯地域においては、過去の略奪的林業による森林の衰退という苦い経験を踏まえ、早生樹という新たな樹種を通して、持続的にも経済的にも見合う林業が展開されようとしている。早生樹による林業は、一般に短期間のローテーションによる単一樹種の木材生産であるため、持続的かつ経済的にも見合う林業を継続していくためには、生産量と地位との関係、土壌に対する負荷軽減、効率的な施業方法等を明らかにしていくことが重要である。また、施業、特に木材の収集・搬出にあたっては、化石燃料使用による二酸化炭素等の環境負荷物質の排出が少ない方法が望ましい。そこで本研究では、インドネシアにおけるアカシアマンギウム人工林を対象として、その施業体系及び施業に係る投下労働力やエネルギーを明らかにすることを目的として調査を行った。

### 2. 調査方法

2006年及び2007年に、インドネシア西ジャワ及び南スマトラにおいて、アカシアマンギウム人工林施業地の現地調査を行った。西ジャワでの人工林施業地は、Perum Perhutani (ペルム・プルフタニ：国営林業公社)により事業が実施されている。一方、南スマトラ島での人工林施業は、森林伐採権を所有した民間会社M社により事業が実施されている。調査にあたっては、両人工林施業地とも、管理事務所と人工林施業地において関係者からの聞き取り、資料入手等を通して情報の収集を行った。さらに、ボゴール農科大学において、林業工学を専門とする教官から、インドネシアにおける人工林施業、森林作業、林業機械等に関する情報を入手した。また、文献調査を行うことで情報を補強した。

### 3. 結果

#### (1) 西ジャワでの人工林施業地

西ジャワでの人工林施業地は、ジャカルタから南西へ約40kmに位置するParungpanjang近郊にある。植栽本数は1,600本/ha、下刈り回数は年間に2回、植付け時から5年間実施される。施業は10年伐期であり、その間に3回程度間伐が実施される。伐木造材はチェーンソー、伐採地点から林道端までの搬出及びトラックへの積込みは人力で行われる。トラックの1回当たりの輸送積載量は約5m<sup>3</sup>/台回であり、収穫された木材は用材や家具材の用途となる。本人工林における施業に必要な投下労働力は392人/ha、エネルギー消費量(消費燃料のみを対象)は19,759MJ/haと推計された。

#### (2) 南スマトラでの人工林施業地

南スマトラでの人工林施業地は、南スマトラ州都パレンバンから南西に約百数十キロに位置するMuara Enimu近郊にある。M社は産業植林を事業として実施しており、森林施業面積は296,400ha、植林面積は193,500haである。M社ではパルプ原材料として早生樹を造林しており、大部分がアカシアマンギウムで占められている。植栽本数は1,100本/ha、下刈りは年間に2回、植付け時から3年間実施される。施業は9年伐期、間伐は実施されない。伐木造材及び集積はチェーンソーオペレータ1名、補助者3名の合計4名/組で行われる。林内から林道端までの集材はフォワーダ、木材の積込みはグラブにより行われる。木材輸送にあたっては、積載量が異なる3種類のトラック(積載量: 35-45m<sup>3</sup>, 25-30m<sup>3</sup>, 8m<sup>3</sup>)が使用されている。本人工林における施業に必要な投下労働力は94人/ha、エネルギー消費量(消費燃料のみを対象)は42,062MJ/haと推計された。

キーワード：早生樹，アカシアマンギウム，施業，投下労働力，エネルギー

## 林業就業を支援する事業が抱える課題に関する考察

吉富亮太・吉岡拓如・井上公基（日大生物資源）

### 1. はじめに

近年、低コスト作業システム普及、間伐材利用増加などにより、低迷する林業が浮揚する気運が高まっている。しかし、仮に採算が採れる基盤ができたとしても、林業従事者の就業状況が改善されなければ経営が成り立つことは難しい。対策として、全国レベルでは主として緑の雇用担い手育成対策事業や厚労省委託の林業就業支援事業、地域レベルでは個々の林業事業体やNPO法人による林業体験がある。就業状況を好転させるためにも、今後林業就業支援に着目した継続的対応が不可欠である。そこで林業就業支援に関するアンケートをもとに、林業就業希望者とその他の参加者、各々が保有する意識の現状について整理・考察した。

### 2. 調査方法

林業就業支援に関する事業の参加者および講師の方へのアンケート・聞き取り調査を実施した。静岡県山林協会主催の平成18年度第1回および第2回林業就業支援講習、宮城県栗駒高原森林組合主催の林業見学・交流ツアー、長野県林業労働財団主催の林業体験学習会、群馬県林業労働力確保支援センター主催の職場見学会を対象とした。

### 3. 調査結果

支援事業への参加理由を問うと、「森林に興味があった」「森林の仕事を知りたい」など明確な就業目的を持たない参加者が約半数を占めた。参加しての感想を問うと、良い点として実際の林業従事者と交流が図れる点が挙げられた。特に、林業従事者のみならず、同じ志を持つ参加者と意見交換ができる点などが評価されている。一方、悪い点として作業に関する細かい不満、内容の少なさをあげている。「本格的な林業の仕事がしたい」「体験内容が実務作業とかけ離れていた」など林業家が実際におこなう行為にまで踏み込んで体験したいという希望が強い。しかし、就業目的を明確に持たない参加者が多いこと、安全性確保の観点から調整は困難と考えられる。

参加者は林業に対してどのような意識を持っているのか。林業に対するイメージを問うと、労働条件の厳しさを示唆するものが多い。収入面や安全性もさることながら、全体を通して将来的な生活の安定性を思い描くことができないと感じている場合が大半である。また、林業従事者の林業に対する考えはどうか。林業に対しての考えを問うと、参加者同様に林業従事者も林業と向き合うにあたって労働環境の厳しさや不安定さを指摘している。憧れや魅力のような考えだけで続けていくものではなく、生業として捉えた際のつらさが推察できる。

### 4. 考察

支援事業の参加者が保持する意識を鑑みて二つの提案をしたい。

一つに、体験から就業支援へのステップアップ化を図ることである。現在の支援事業は、体験と実務的講習との区別がつかず、参加者が内容に不満を感じる傾向にある。体験はあくまでも体験に徹して、興味・関心を引くきっかけをつくる場として位置づける必要があると考えられる。まず、実際に採用されて就職するまでを招待期・講習期・実働期に分けて考えると良い。招待期は体験や見学会への参加者を対象としてイベント的要素含む作業、従事者との交流を中心として実施する。講習期は就業前の講習としてイベント的要素を排除した内容とする。イメージとしては、インターンシップに近い。実働期は仮就職や本採用にあたり、実際の林業従事者に同じである。

次に、労働条件の障壁を無くすことを提案する。参加者は労働・雇用条件の厳しさ、不安定収入を訴えている。体験会や講習会で就業意欲が高まっても、労働条件等の厳しさが障壁となって最終目標である就業が妨げられている現状がある。天秤にかけて考えたとしても、厳しい雇用条件が重荷になり、就業意欲がそれを上回ることができない状態である。就業後の課題を解決するための新たな施策を講じ、就業希望者をサポートする体制づくりが必要である。

キーワード：就業支援、雇用、林業体験、労働

## 小規模私有林の団地化の可能性に関する検討 — 神奈川県小田原市森林組合を対象としたケーススタディ —

吉岡拓如（日大生物資源）・小林龍雄（林野庁北海道森林管理局）・井上公基（日大生物資源）

### 1. はじめに

わが国の森林面積の6割を占める私有林の所有構造は、小規模かつ分散的で、個々の森林所有者が小面積で単独の施業を実施するという非効率な場合が多い。さらに国産材価格の低迷による採算性の悪化などから、森林所有者の施業意欲は低下し、管理が行き届かずに森林の多面的機能の発揮が危惧されているのが現状である。こうした中、一定のまとまりをもった森林において計画的に施業を行うことができ、施業の集約化を図ることが可能な「団地化」が注目を集めている。

そこで本研究では、小規模私有林の団地化の可能性を、神奈川県小田原市をケーススタディとして探ることとした。まず、小田原市森林組合の組合員を対象にアンケートを実施し、森林の管理と団地化に関する意向を調査した。また、過去に間伐が行われた箇所を含むモデル団地において、団地化を行った場合の間伐経費を試算し、団地化せずに間伐した際の経費と比較することで、団地化の可能性を検討した。

### 2. 材料と方法

小田原市森林組合員 545 名を対象に、アンケート調査を実施した。質問内容については森林管理に関するもの、団地化に関するものそれぞれ3問用意した。なお、回答者には個人情報保護の観点から任意での記名をお願いした。集計後、記名のあった回答者の所有面積を割り出し、所有面積の規模と各質問回答間の有意差を求めた。また、各質問回答間の相関を調べるため、2変数間のクロス集計を行った。

一方、過去に間伐が実施された箇所を含む地域をモデル団地とし、そこで団地化による作業ロットの拡大を反映した（高性能林業機械の導入による）間伐作業経費の試算を行った。間伐に要する経費を ha あたりに算出し、過去の間伐実績と比較した。

### 3. 結果と考察

アンケート調査の回答者は 222 名、回答率は 40.7%であった。所有面積規模と各質問項目における2変数間のクロス集計では、森林管理に関する質問との相関は認められなかったが、団地化に関する質問では相関があった。また、各質問間におけるクロス集計でも相関が認められた。このことから、森林の団地化に期待する傾向をうかがうことができる。しかし、その実行のためには、より具体的な説明など森林所有者へ働きかけることが必要であり、いかに多くの所有者の同意と協力を得られるかがポイントとなる。

また、設定したモデル団地の面積は 5.3 ha である。ここで材積間伐率 30%の間伐を実施した場合、最も低コストな作業システムは、チェーンソー伐倒→スキッド集材→プロセッサ造材・桝積であり、高性能林業機械を導入することが可能と考えられた。このとき、間伐経費は 646 万円と試算され、ha あたり 122 万円要する計算であった。この団地に一部が含まれる箇所 (2.65 ha) では、チェーンソー伐倒・造材→ウインチつき林内作業車集材→グラップル桝積という組合せで間伐が行われた。林道に近く、良好な作業条件であった同箇所は ha あたり 92 万円要し、ha あたりの経費を比較すると、差額は 30 万円である。しかし、所有森林の所在と林道からの距離の関係を負担費用に反映させることで、これをゼロに近づけることは可能である。

キーワード：私有林、団地化、アンケート、間伐、経費計算

## MASを用いた木材流通構造変化の将来予測

中林淳・酒井徹朗（京大院情\*）

### 1. はじめに

国内の林業・木材産業が低迷していると叫ばれて久しい。この低迷の原因は、従来からの流通構造、短伐期皆伐施業、森林経営システムにあると指摘されている（1, 2, 3）。現在の国際化の流れのなかでは、わが国の林業および木材産業が非効率的で計画性が低く、国産材が価格や量などの面で外材に対抗することができなかつたと考えられる。

日本の林業・木材産業の再興のためには、低コストで、効率的な経営・流通システムを整備しなければならない。

### 2. 目的

合理的かつ効率的な木材流通構造は、これからの森林経営にとっては不可欠なシステムである。しかし、これまでに流通構造に関してはそれほど多くの研究はなされてこなかった。林業・木材産業が経済活動である以上、物流の効率化を進める必要がある。

本研究では木材の流通構造に焦点を当て、木材流通に関わる組織・関係者の、効率化・コスト削減へ向けた行動を通して、それら組織の役割や木材物流がどのように変化してくのかについて検討する。検討手法として、マルチエージェントシステム（以下、MAS）というシミュレーション法を用いて、将来モデルの予測を行い考察する。

### 3. MASについて

MASにはエージェントという行動主体が複数存在し、それらエージェントが個々でより多くの利益をあげようと、もっとも利益のあがると判断した行動をとることを前提として設計することが多い。

本研究における設計方針も同様とし、エージェントとして、現在の林業・木材産業の主要な利害関係者を取り上げる。さらに、本研究でのMASのモデル設計においては、流通に関わるそれらそれぞれのエージェントが競合しながら利益を求め、そのなか

で、利益が上がらなければ森林を放棄するような所有者や、より安価な木材を求め外材を仕入れる製材工場なども考慮できるようにする。また、時間の概念を取り入れることで、将来の不利益をこうむる可能性を避け、目先の利益だけを追わないようなエージェントが現れる可能性を残す。つまり、それはあるスパンでの持続性を考慮した振る舞いである。

### 4. 予想

モデル設計のうえで、それぞれのエージェントが抱える可能性のあるジレンマ的要素には、以下のようものが挙げられる。

#### 森林所有者

- ① 短期収入と長伐期施業（持続的経営）
- ② 所有者の金銭的負担と必要な森林整備

#### 森林組合

- ③ 経営コンサル業務・請負と森林整備における所有者の赤字の肩代わり

#### 原木市場

- ④ 流通の合理化と市場機能の強化

たとえば、森林所有者が短期の収入を考えるなら、短期皆伐と再造林放棄が、その要求を満たす行動となるだろう。将来を考えた行動をとるなら長伐期化に向けた森林整備を進めることが必要であろう。

以上、今回はプロトタイプによるシミュレーションについて報告する。

### 5. 引用文献

- (1) 梶山恵司（2004）：21世紀日本の森林・林業をどう再構築するか、研究レポート、(182), 23pp.
- (2) 梶山恵司（2005）：ドイツとの比較分析による日本林業・木材産業再生論、研究レポート（216）、22pp.
- (3) 梶山恵司（2006）：林業再生五十年目のビジネスチャンス、山林、(1465), 17-23.

キーワード：木材流通、サプライチェーン、マルチエージェントシステム

## 運材車両の自動走行のための走行経路抽出手法に関する研究

白鳥亮介・森勇佑・有賀一広・田坂聡明 (宇都宮大学農学部)

### 1. はじめに

本研究では、森林作業の無人化による省力化、コスト削減を目的に、比較的無人化の実現性が高い運搬作業をとりあげ、作業用車両の走行経路制御のための基礎的研究を行った。車両の走行経路制御には、予め設定された経路をたどらせる手法(ライントレース)と、走行中の経路の状況を逐次分析して危険を回避する手法の2つがある。本研究では車両の逐次制御を最終目的とし、ステレオカメラを用いて算出した前方の地形を基に走行経路を抽出する手法を検討した。

### 2. 手法

本研究における経路抽出手法を以下に述べる。まず撮影したステレオ画像を処理し、視差分布画像を得る。次に前処理として、視差分布画像に対しメディアンフィルタおよびラベリングを用いてノイズの除去を行う。その後ノイズを除去された視差分布画像から、測定装置からの等距離線を抽出する。そうして得られた等距離線から地形の凹凸を計算し、それを基に走行可能領域を算出する。最後に、走行可能領域を基に走行経路の抽出を行う。

### 3. 実験

宇都宮大学船生演習林内の林道でステレオ写真を撮影し、解析を行った。実験に用いたのはPanasonic製 FZ-20型デジタルカメラであり、2台のカメラを主点間距離が30cmとなるよう固定して撮影を行った。焦点距離は36mm(35mmフィルム換算)固定、画像解像度は320×240ピクセルとした。

### 4. 結果と考察

図-2に解析により得られた装置からの等距離線図を示す。今回解析を行ったのは装置から約6m~15mの範囲である。図-1に示す原画像と比較すると、解析により前方の地形が正確に再現されている事が判る。

また処理の結果、凹凸の大きさ約15cmをしきい値として林道路面を判別可能である事が明らかとなった。今後、様々な路面状況について検証を行い、この手法の確立を目指す。

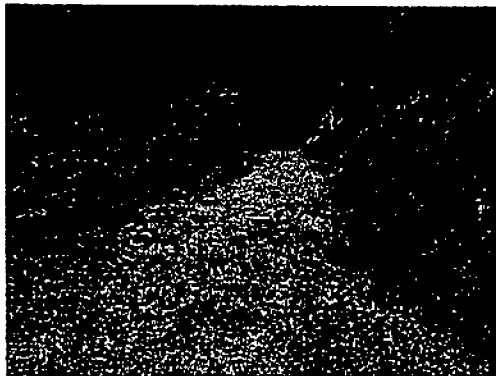


図-1 林道のステレオ写真(左側)

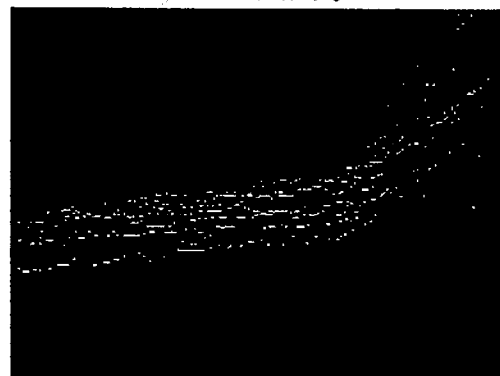


図-2 装置からの等距離線図

キーワード: フォワード、走行制御、ステレオ視、微地形、作業道

## 位置エネルギーを利用したモノレールのエネルギー効率

市原恒一・栢分宏理(鳥取大学農)・豊川勝生(東京農大地域環境科学)

## はじめに

間伐を実行して二酸化炭素の吸収量が多い健全な森林を作るため、および集材における二酸化炭素排出量を削減するために、新しいモノレールを開発した。このモノレールは材を積載し斜面を降下する際に直流モータにより発電してバッテリーに充電し、そのエネルギーを空荷で荷積み地点まで戻る際に利用するシステムを有している。このモノレールを用いて化石燃料の消費量が極めて少ない集材を実行し、間伐材を収穫し、二酸化炭素の吸収固定量が多い森林を作り、ゼロ・エミッション、すなわち廃棄物を出さない循環型の木材収穫システムの実現を目指した。

本報告では、直流モータの効率に関する実験について報告する。

## エネルギー変換効率の実験

モノレールが斜面を上る間にモータが $W1$  (W)の電気エネルギーを消費したとすると次式が成り立つ。

$$Mgh + FL = \alpha_1 W1 \quad (1)$$

斜面を下る間にモータが $W2$  (W)の電気エネルギーを発電したとすると次式が成り立つ。

$$\alpha_2 (Mgh - FL) = W2 \quad (2)$$

ただし、 $\alpha_1$ と $\alpha_2$ はエネルギー変換効率、 $M$ は車両質量、 $L$ と $h$ は走行距離とその高低差、 $g$ 重力加速度、 $F$ は走行抵抗。

最急勾配が45度の路線において、下りと上りの電流量を測定し、(1)式と(2)式から、モータの効率を求めた。その結果は、下図のとおりである

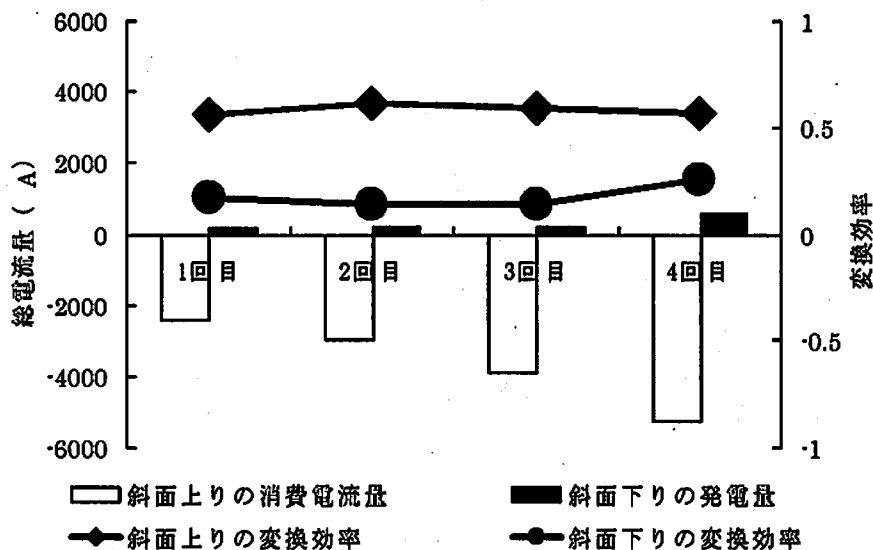


図 エネルギー変換効率と電流量

## 結果と考察

試作1号機を用いて電気エネルギーと重力エネルギーの変換効率を測定すると、上りで0.50~0.68、下りで0.18~0.33と低い値になり、ゼロ・エミッションを達成することはできなかったが、化石燃料使用量を削減することができた。効率の高い直流モータとバッテリーを用い、発電量を増加させるために上りと下りのギア比を可変にするなどの改良が必要である。

## 枝打ちロボットの枝噛み防止機構の研究

可知秀規 (岐阜大学)・川崎晴久 (岐阜大学)・石樽康彦 (㈱丸富精工)

### 1. はじめに

現在、日本の森林の大部分は人工林であり、手入れの不十分な森林が増加している。枝打ちロボットは、無節性の高い良質な木材の生産に役立つ。しかし、市販の枝打ちロボットは、重く、枝噛みする等の問題がある。そこで、我々のグループでは、軽量かつ高速な枝打ちを実現する枝打ちロボットの開発を行っている(1)。本報告では、枝噛み防止機構を提案し、試験機による性能評価実験について述べる。

### 2. 枝噛み防止機構の原理

提案する枝噛み防止機構は、切り口が切断機を挟み込むのを防ぐ枝噛み防止板と、切り進むことを可能にするスライド機構から構成される。以下にチェンソーを例として説明する。図-1のように、穴開け加工をした(a)ガイドバーと、(b)枝噛み防止板を(c)バネで連結することで、枝噛み防止板は、ガイドバーの平面内を自由にスライドすることができる。よって、枝噛みが発生しても、枝噛み防止板がスライドできるため、切断機は切断を完了することができる。

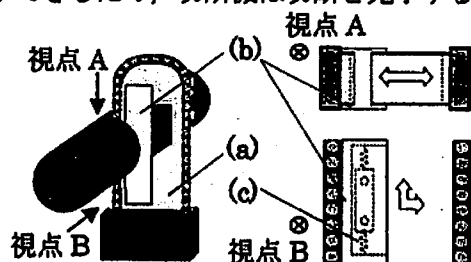


図-1 枝噛み防止機構の構成

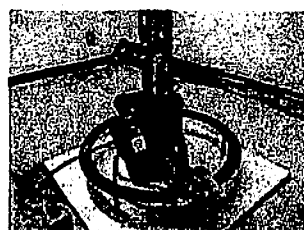


図-2 実験の様子

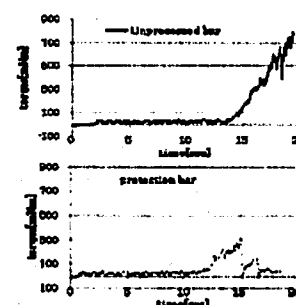


図-3 送り機構のトルク

### 3. 実験

枝噛み防止機構の性能評価を、図-2のように、チェンソー（枝噛み防止機構付き・未加工）、円状レール、モータ駆動の送り機構、枝固定治具から成る試験機を用いて実験を行った。実験は、枝径0.04[m]の枝を用いて、チェンソーを0.005[m/s]で送り、強制的に枝噛みを生じさせる。このとき、送り機構を送るのに必要なモータトルクを、それぞれ計測し比較した。

モータトルクの実測値を図-3に示す。未加工のチェンソーは、枝噛みにより切り進むことはできなかった。このことは、図-3の上図のトルク値の上昇からわかる。一方、枝噛み防止機構付きのチェンソーは、切削中トルク値が上昇しているが、切削を完了したためトルク値が減少していることがわかる。

### 4. まとめ

本報告では、枝打ちロボットの問題である枝噛みに対して、枝噛み防止機構を提案し、試験機を用いた性能評価実験を行った。その結果、枝噛み時でも切断を完了できることを確認した。

キーワード：枝打ちロボット、枝噛み防止機構

#### 引用文献

(1) Haruhisa Kawasaki・Suguru Murakami・Hideki Kachi・Satoshi Ueki (2008) Novel Climbing Method of Pruning Robot. SICE Annual Conference 2008 Final Program and Abstracts : 88

## 森林作業支援のための環境ロボットの研究(1)\*

-システムのプロ案と基本機能の実装-

榎橋 康博\*\*

### 1.はじめに

我が国の森林作業現場は急峻で地形が複雑であるため機械化や自動化が難しい。また、多様な環境で施業するため、さまざまな規模や構成の施業形態が存在する。これらの全体像を把握したり、施業者の安全や軽労化などを優先しながら生産効率を上げたりといった改善策の検討のためには高度な情報技術の導入が望ましい。現場を IT 化することで、作業員への情報提供や各種データの保存や共有、さらには、高性能林業機械や作業を支援するロボットの監視・制御や、個別のサブシステムが全体として協調して機能する環境の基盤となることが期待できる。しかしながら林業における IT 化は他の分野に比べ極めて遅れている。

本研究では、森林作業を支援する IRT 技術の確立を目指し、情報と物流の起点となる作業現場を中心としたネットワークをベースとした IRT 技術による支援システムを提案するとともに、その段階的な導入方法、ならびに、その第一段階となる無線ネットワークインフラとクライアントソフトウェアの実装を試みたので以下に報告する。

### 2.システムの提案

インフラが環境ロボットとして作業員を支援する役割を果たすこと、施業システム全体が効率的に稼働することを目指して、(1)ユビキタスネットワークを基盤として、(2)作業員を支援する情報機能、(3)作業員の安全確保を支援する機能、(4)作業状況や材の状態を記録する機能、(5)機械の遠隔操縦機能、(6)作業そのものを支援する機能を提供する。作業員だけでなく林業機械やロボットなどの稼働情報やセンサ情報、制御情報の通信とそれによる作業全体の統合を目指す。図1にネットワークのイメージを示す。環境ロボットと作業員とのインタフェースは PDA とする。エリア内にリピータ機能を持つ無線中継ユニットを複数配置して高速のネットワークを構築する。機能施業に必要なサービスに加え、将来的には安全や施業技術などの教育を支援するサービス、オフラインで施業システムの解析・評価や改善計画策定への基礎的知見を提供する。さらに、携帯電話網、衛星電話網、MRC など無線による回線を経由して対外接続が可能となれば、緊急時の救助要請を GPS 情報とともにパケットで送出したり、複数土場における材の蓄積状況に応じてトラックを効率的に運行することもサポートできる。

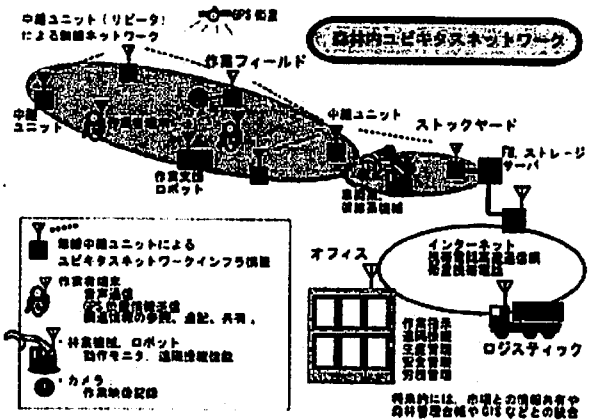


図1 ネットワークの構想

### 3.実装

実用化ならびに現場でのシステム導入を早めるには現状における周辺システムの実用化レベルや作業員への負担など整合を図る必要がある。そのため、いくつかの情報支援形態を想定し、次に示す段階で研究開発を進めるように計画している。

- (1) 同時通話機能の実装 (インフラ普及)、
- (2) 作業員位置・林業機械稼働情報の取得 (安全)、
- (3) モニタリング (施業、材の記録、履歴) と活用、
- (4) 遠隔操縦による森林作業支援、
- (5) 半自動化林業機械と人間との協調。

本研究においては、最初の段階として、IP64の防水性能とバッテリー駆動を可能とした中継ユニットを開発するとともに、現状のトランシーバ代替としての同時通話機能と GPS 情報取得機能を基本とするソフトウェアを PDA (HP 製 iPaq 5965) に実装した。音声通話は SIP サーバを経由しない peer to peer で実現するため 11.025kHz、16 ビット、モノラルの非圧縮音声データを UDP で送受信するプログラムを開発した。バッファを調整することで 0.2s 程度の遅延時間で双方向に会話できることを確認している。また、GPS から 1s ごとに現在位置を取得し、相互に位置情報を共有することで、作業中に接近した場合に作業員に通知する機能を実装した。

### 4.おわりに

無線リンクの瞬断やリピータ介在による影響の確認、使い勝手などについて、実際の作業に使っていただきながら、さらなる改良に努めたいと考えている。

キーワード: 音声通信, WiFi, ユビキタス, GPS

\*Environment robot for forest work assist, \*\*Yasuhiro Kushihashi 早稲田大学 WABOTHOUSE 研究所



## コンテナ苗自動耕耘植付機による林地植付け試験

山田健（森林総研）・佐々木尚三（森林総研北海道）・遠藤利明・近藤耕次（森林総研）

### 1. はじめに

コンテナ育苗技術の確立を背景に、ミニエクスカベータベースのコンテナ苗自動耕耘植付機を開発した。これは耕耘用オーガとコンテナ苗植栽用のプランティングチューブを同架したブームアタッチメントで、耕耘面に苗木を植付けるため、苗木周囲の雑草木回復を遅らせ、ひいては植付け後の下刈り作業を軽減する効果が期待される。機械の詳細については、森林利用学会誌 22 巻 4 号に述べた。このコンテナ苗自動耕耘植付機により、2008 年 6 月に林地における植栽試験を行い、性能について調査した。

### 2. 試験地概要

試験地は森林総合研究所北海道支所のカラマツ林風倒跡地である。2004 年の 18 号台風によりカラマツが大量に風倒したところで、最も著しかったところでは上木はほとんど残っていない。すでに倒木の処理がなされ、その際に生じた末木枝条が筋置きされている。末木枝条は後の植栽を考慮して処理されており、筋の間は機械植付けするのに適切な間隔となっている。風倒木処理後期間をおいたため雑草類が回復していたので、試験前に刈払機による刈払い作業を行った。試験地は平坦地で滞水しやすいため、土壌は含水率が高くやや重粘であった。

植付け試験に使用した苗木は、2 年生のアカエゾマツを前年の秋に育苗用コンテナに移植したものである。育苗期間が短かったため、全体的に根鉢の形成が不十分であった。

### 3. 試験方法

これまでの予備的な試験により、本機で植付け作業を行う際には、上部旋回体を側方に向けて植付けを行い、終わったらブーム操作により作業機を上げて植付け間隔分走行し、次の植付け位置でブームを下げて植付けを再開する、という方法の繰り返しが最も効率的であると推測された。ブームの複数のアクチュエータの協調動作が必要ないからである。本試験においても、車両で植え列の中央を走行しながら上部旋回体を側方に向けて植付け作業を行うことを繰り返し、植え列末端まで到達したら、旋回体を反転させて、車両を後進させながら反対側に植付ける方法をとった。これにより、2 列の植付けがなされる。比較のため、プランティングチューブ、スコップ、鍬による人力植付け作業も行った。

作業時に作業状況をビデオ撮影し、それを後で解析して時間分析、工期測定を行った。

### 4. 試験結果

自動化プログラムの欠点、センサの故障、苗木の未成熟などが原因と見られる失敗試行がたびたびあった。自動植付機の植付け作業のうち、予定通り作動した試行のみを抽出して解析したところ、苗木 1 本当たりの作業時間は約 26 秒で、人力作業と同程度であった。植付け 1 ヶ月後には、人力植付け跡地では苗木が雑草木に覆われつつあったのに対し、機械植付け跡地では耕耘面が裸地のままであった。

今後、失敗試行も解析して原因を解明のうえ対策を施すとともに、植付けた苗木の活着状況、苗木周囲の植生回復状況についてさらに追跡調査する予定である。

キーワード：コンテナ苗、造林作業、造林機械、自動植付機、地拵え

## クローラカート集材の可能性について

佐々木尚三（森林総研北海道）・木幡靖夫（道立林試道南支場）

鈴木康一（山康木材）・邊見秀明（邊見林業）・井出光四郎（井出重機鉄工）

### 1. はじめに

近年北海道内各地の木材生産現場では、土そりを使った集材方法が使われるようになっており、高い生産性を発揮している（昨年度口頭発表）。このような現場発案の技術は、現存の機械や技術資源をベースにして、作業を熟知した人たちによって考案されるため、実用性が非常に高い。反面、安全性、環境性能、機械の耐久性など生産性に直結しないことについては改善すべき点も残されており、これら現場発の技術をより確かなものに完成させていくことが必要と考える。本発表で取上げるクローラカートとは、空転するクローラ形足回りを持った台車であり、土そりと同様にグラップルを装着した油圧ショベル（調査対象は0.7 m<sup>3</sup>クラス）によってけん引されて、集材作業に使われる。単幹材をフォワーダのように積載するタイプ（写真-1）と、元口を半載荷して全幹・全木集材するタイプ（写真-2）が作られていて、積おろしは、グラップルアームによって高能率に行うことが可能である。

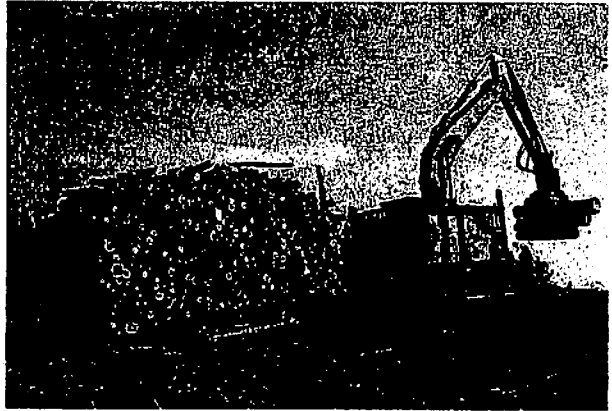


写真-1 積載タイプのクローラカート

### 2. クローラカートによる集材作業

十勝東部地方の民有林（カラマツ人工林と広葉樹二次林が混在）で行われた皆伐作業について、間取りと現地予備調査を実施した。作業はチェーンソー・グラップルローダ・ハーベスタによって造材・集積を行った単幹材を、クローラカートによって集材したものである。集材路は全体として平坦であるが、20mの下り傾斜（20°）、75mの上り傾斜（13°）を含んでおり、集材距離は320mであった。この結果、1回の集材量は平均22.6 m<sup>3</sup>であり、1サイクルは47分であった。この結果から計算される集材作業の生産性は28.9 m<sup>3</sup>/hとなり、北欧の生産性に匹敵する数値となる。この現場では、実際には伐木造材工程が追いつかないため、15人日の伐木造材工程で処理された単幹材約200 m<sup>3</sup>を、1.5日8～9サイクルで集材されている。本報告では、クローラカート集材作業の生産性と機械技術的な問題点についても検討する。

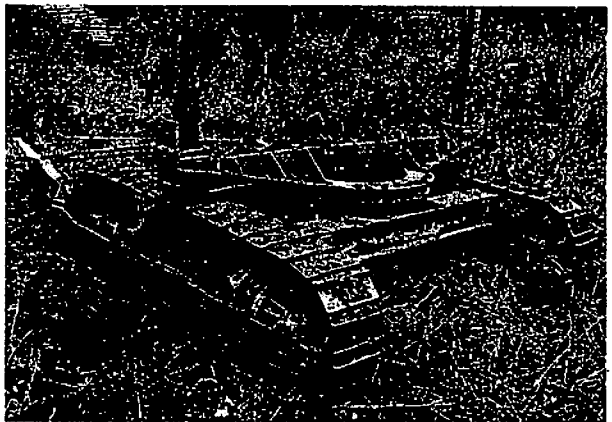


写真-2 半載架タイプのクローラカート

キーワード：クローラカート、集材作業、グラップルローダ

## 高性能林業機械におけるエンジン回転数の変動特性

・フォワーダ、スイングヤードを対象に・

宇野暁紀・山田容三・近藤稔 (名大院生命農)

## 1.背景

一般に環境にやさしい素材と認知されている木材においても、ライフサイクルを通して考えると多くの資源やエネルギーを消費しており、環境に負荷を与えている。そのため、木材製品における環境負荷を定量化することが必要とされている。製品等の環境負荷を評価する手法として、LCA (Life Cycle Assessment) がある。しかし、日本の木材工業界においてはLCAに関する研究例が少なく、データ整備が遅れている。特に、木材生産過程についてエネルギー投入量を調べた国内研究事例は少ない。また、既往の研究では主にアンケートによる調査が実施されているが、アンケートによる調査では正確な量がつかみにくいという報告もある。これに対して、流量計を用いて詳細な燃料消費量を実測した研究も少数ながら存在するが、流量計の設置制限のため、多様な機種を調べることが困難であると考えられる。

そこで、簡易測定が可能であり、林業機械の燃料消費量に一定の関係を持つと考えられるエンジン回転数から燃料消費量を推定することを目指し、その基礎的な知見を得るために、本研究では、エンジン回転数が各種要因によりどのように変化するかを明らかにすることを目的とする。

## 2.目的

- ・対象機械：フォワーダ (IWAFUJI U-4SBG)、スイングヤード (KOMATSU PC-120)
- ・調査期間：2008.5.22-9.12のうち、フォワーダ6日間、スイングヤード4日間
- ・対象地：愛知県豊田森林組合が作業を実施した現場3箇所
- ・データの取得方法

エンジン回転数をエンジン回転計 (小野測器 エンジン回転検出器 VP-1220・ハンディ FFT 回転計 FT-7100) により測定し、1秒間隔で電圧ロガー (HIOKI 3645) に記録した。また、作業をビデオで記録するとともに、エンジン回転数に影響を及ぼすと

考えられる因子 (表1) を測定した。

- ・分析作業の手順

- 1) ビデオの記録から作業分析を行う
- 2) 要素作業ごとのエンジン回転数を算出する
- 3) エンジン回転数と各因子との関係性を調べる

フォワーダ		スイングヤード	
要素作業	因子	要素作業	因子
空走行	林地傾斜	空送	林地傾斜
積み込み	濃度	荷掛け	
実走行	材積	実送	林地傾斜
	林地傾斜		材積
	速度		
	材積		
積み下ろし	材積	荷はずし	
		走行	

## 3.結果・考察

フォワーダにおいて、要素作業ごとに異なったエンジン回転数の変動が見られた。また、空走行・実走行では、各因子と有意な回帰関係が認められた。積み込み・積み下ろしでは因子にかかわらず、ほぼ一定のエンジン回転数で推移していた。スイングヤードにおいても、要素作業による差異を確認できた。

今回の分析により得られた有意な結果は、因子の分布が偏っていることにより生じたと考えられる。また、フォワーダの走行に関するデータのばらつきは、今回の調査では測定していない土壌条件などが関与している可能性がある。今後、多くの条件下でサンプルを取得する必要がある。

キーワード：高性能林業機械 エンジン回転数 燃料消費

## 枝葉のチップ化とチップボイラー廃熱による乾燥・燃焼実験

○菅野明芳 (古屋製材株式会社客員研究員)・小澤雅之 (山梨県森林総合研究所)

### 1. はじめに

山梨県甲州市の古屋製材株式会社では、自社製材工場内から発生する製材端材及び周囲の山林から収集した林地残材をチップ化し、チップボイラーでの燃焼後に発生した蒸気を隣接する飲料製造工場(ペットボトル製造工場)へ供給している。現在 NEDO との共同実証事業として「地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業」を実施しているが、2007年6月からの本格稼働以降チップボイラーは順調に稼働を続けており、2008年3月末までの実績では約500tの自社端材及び約700tの林地残材を購入・チップ化してチップボイラーにて燃焼させている。冬季にチップが凍結して燃焼が困難になるといった課題はあったものの、A 重油消費削減量が約3.1万kL/月(従来比65%減)、CO<sub>2</sub>削減量1,000t-CO<sub>2</sub>相当という効果が得られている。

このチップボイラーの特徴として、林地残材の中でも木部だけでなく枝葉まで燃焼を行っていることがあげられる。国内で木部の生チップに関してのチップ化・燃焼事例の報告は数例見られるが、枝葉のチップ化及び燃焼に関する報告は極めて少ない。

そこで、枝葉のチップ化及びチップボイラーによる燃焼実験、そして9月に導入したチップ乾燥機(ボイラーの排ガスとチップボイラーの余剰蒸気を利用可能)の稼働実験を行ったので報告する。



写真-1 枝葉の破砕機投入 写真-2 枝葉チップの排出 写真-3 乾燥機のチップ投入口(左)と出口(中央)

### 2. 移動式破砕機のチップ化能率

ボイラーに投入する木質バイオマスの燃料化(チップ化)にあたり、原材料の性状(木部・枝葉)の違いによるチップ化能率の違い、及び製造したチップの乾燥の有無による燃焼状況を比較する実験を、2008年10月1日～6日にかけて行った。今回用いた破砕機の機種は、フィンランド製のROTO300F(横投入型、スクリーン径70mm、カッターで削り取る方式、チップ形状は針状、定価4,800万円)である。結果を下表に示す。

表-1 チップ化作業に要した時間

材の種類(名称)	原料重量		破砕日	破砕時間			破砕後のチップ量	
	当初重量(kg)	エンデ台取		開始時刻	終了時刻	時間(分)	チップ重量(kg)	チップ体積(m <sup>3</sup> )
ウ:生枝葉 乾燥チップと混合	2,220	1	10/2(木)	9:48	10:17	0:29	2,190	8.0
エ:生枝葉 乾燥後燃焼	2,190	1	10/2(木)	14:17	14:44	0:27	2,160	7.5

表-2 チップ化作業前後、及び乾燥機投入後の含水率

生の状態(破砕前)の含水率			生の状態(破砕前)の含水率			破砕後の含水率		乾燥後の含水率	
種類	採取日時	含水率(トライバース%)	種類	採取日時	含水率(トライバース%)	採取日時	含水率(トライバース%)	採取日時	含水率(トライバース%)
D1 広葉樹葉①	10/2	94%	D4 針葉樹葉②	10/2	197%	10/2	76%	10/2 13:25	58%
D2 広葉樹葉②	10/2	260%	D5 枝①	10/2	65%	10/2	121%	10/2 15:42	78%
D3 針葉樹葉①	10/2	189%	D6 枝②	10/2	60%	10/2 14:42	94%	10/2 16:50	66%

表-3 チップ化作業時のエネルギー消費量

	燃料消費量(L)			
	ディーゼル油(L)	軽油(L)	ファンクワート(L)	合計(L)
ウ:生枝葉 乾燥木部チップと混合	1.1	17.0	1.7	19.8
エ:生枝葉 乾燥後燃焼	0.7	17.0	1.5	19.2

今後、チップ化作業のコスト試算、及び乾燥機投入作業のコスト試算を行い、A 重油消費時との経済性の比較検討を行う予定である。

キーワード: 木質バイオマス、チップボイラー、林地残材、枝葉、乾燥機

(問い合わせ先: 菅野明芳 (かんのあきよし) [akikan@mori-energy.jp](mailto:akikan@mori-energy.jp) 0428-28-0010)

## 森林木質バイオマスの収集システムとコストデザイン

仁多見俊夫(東大院農)・飯澤宇雄(魚谷鉄工)・阿部 智(丸順エンジニアリング)

### I. はじめに

国内エネルギー自給率の向上, 化石エネルギー資源への依存率の軽減および地球温暖化ガス排出抑制などを期して, 各種新エネルギー事業やエタノール供給革新技術に関する検討が進められている。新エネルギーの一つとしてバイオマスからのエタノール生産を, 量, 価格を掲げて示している。それぞれ, 生産単価は1tあたり100円(バイオマスニッポン), 40円(技術革新協議会)としており, 原料供給技術およびエネルギー変換技術の開発進展を期待している。木質バイオマス収集の可能性について, 機械作業システム, 基盤整備水準を想定し, 期待されるコストで供給可能となるシステムを検討した。

### II. 収集システム

国内の未利用木質バイオマス資源発生量は, 年間約1500万 $m^3$ と言われる。しかし, 推定方法によって幅があり, 森林管理や利用計画の適正化によってさらに増大することも期待される。しかし, 収穫作業技術が低いところが少なくなく, 生産作業単価を抑えることが困難である。高度機械化作業の例として, 作業道隣接地で, ロングリーチハーベスタとスーパーロングリーチグラブプルを利用する複合ロングリーチ車両機械システムによる間伐施業, および超ロングリーチハーベスタによる除伐施業を対象とする。それぞれのシステムによって発生する林地残材を, 作業道上で小型バンドラによって圧縮結束し, 林道までフォワーダ集材する。

### III. コストデザイン

複合ロングリーチ車両機械システムでは, 素材生産事業の副産物として林地残材が道路脇に得られる。その圧縮整形とフォワーダ集材作業の経費がかかり, 1040円のエタノール製造コストの1/3の13円が, 製造に必要な3kgの木質バイオマス原料に課せられる単価となる。これは, 間伐事業地においてバンドラが作業道を移動しながら処理を行い, 1日1haの林地で30tの木質バイオマスを処理することによって可能となる。この際, 機械の輸送コスト, 消耗品を含んで, 林道端までのコストとして3.4円/kgが期待される。若齢林分での小径木の除伐木を収穫利用する際には, 超ロングリーチハーベスタ作業経費4円/tが上積みされ, さらなる機構の改善と作業の迅速化が期待される。

キーワード: 木質バイオマス, 複合ロングリーチ車両機械システム, バンドラ, 超ロングリーチハーベスタ

## チェーンソー用の伐木作業補助器具の開発

○石川知明, 板谷明美 (三重大院生資) 上尾智洋, 山本拓史,  
新田昌臣, 万木豊 (三重大生資フィールドサイエンス・演習林)

## 1. はじめに

近年、森林ボランティア数は増加傾向にあり、間伐作業を行うことも増えてきている。一方、森林ボランティアが被災する事例も増加しており、その防止対策が重要となっている。このような状況の中で我々は、意図した方向に伐木するために、適正な受口、追口を作成する補助器具を開発してきた。本報告では、チェーンソー用の補助器具を開発し、その効果について検討した。

## 2. 補助器具の概要

補助器具の概要を図に示す。伐木作業の手順は次のとおりである。(1) 伐木方向にあわせて補助器具を立木に取り付ける、(2) 受口伐り台を斜め伐り時の状態に立ち上げる、(3) チェーンソーを受口伐り台の上に乗せて受口の斜め伐りを行う、(4) 受口伐り台を元に戻して水平伐り時の状態にする、(5) チェーンソーを受口伐り台の上に乗せて受口の水平伐りを行う、(6) チェーンソーを追口伐り台の上に乗せて追口伐りをする、(7) 追口伐りがある程度すすんだところで補助器具を取り外す、(8) 残りの追口伐りを行い伐木する。また、受口伐り台および追口伐り台とチェーンソーのバーが水平になるように、伐り台と接する部分を作成してチェーンソーに取り付けた。

## 3. 調査方法

調査は三重県津市美杉村にある三重大学付帯施設演習林のスギ人工林で行った。伐木経験が数本程度の20歳代の男子学生を作業者として、補助器具を使用した作業で3本、従来からの方法で2本を伐木し、作業時間、作業者の心拍数、および受口、追口の作成状況を調査した。

## 4. 結果と考察

1本あたりの伐木作業時間は、平均値で補助器具使用時202.0秒、従来の方146.5秒であった。これは、補助器具の取り付け、取り外しに

時間を要したため、受口伐りおよび追口伐りは補助器具使用時のほうが短かった。作業者の心拍数を平均値と比較すると、受口伐りおよび追口伐りの作業において補助器具使用時のほうが1割程度低くなる傾向が認められた。以上のことから、補助器具の使用は、チェーンソーを使用する作業の時間短縮ならびに作業者の生理負担の軽減に効果があると考えられた。補助器具使用の受口および追口の作成状況について、受口の開口方向は意図した伐木方向とほぼ一致していた。しかし、受口に対して追口伐りの面が低い、受口の水平伐りの面および追口伐りの面が傾くといった問題点が明らかとなった。

## 5. 今後の改良

問題点をふまえ、取り付け方法を簡単にする、追口伐り台を高くする、伐り台を水平にする機構を付加するなどの改良を行う予定である。

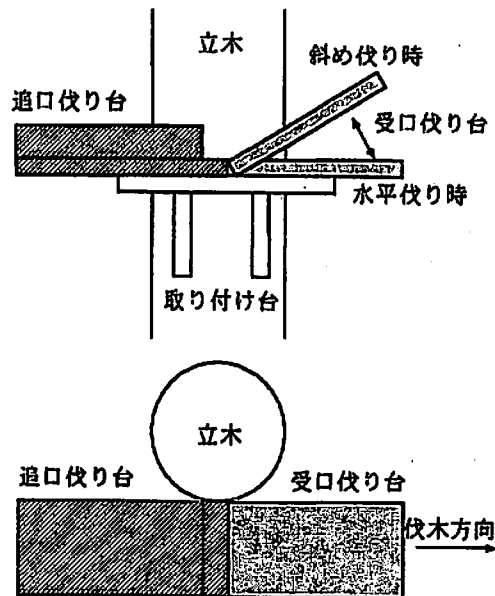


図 補助器具の概要

キーワード：伐木、チェーンソー、器具、森林ボランティア

## 下刈り作業の刈払機と刈刃の使い分け

鹿島 潤・上村 巧（森林総研）

### 1. はじめに

下刈り作業で使われる刈払機はハンドルやアクセルレバーの形態、エンジンの排気量などさまざまであり、使用される刈刃も刃の形や径がさまざまであるため、作業で使われる機械と刈刃の組み合わせは膨大なものとなる。そこで、刈払機および刈刃が地域あるいは作業の条件によってどのように使い分けられているかを明らかにすることを目的として、全国の作業員を対象に下刈り作業で使用する刈払機と刈刃の種類を調査した。

### 2. 調査方法

国有林野事業を請け負っている事業体を主な対象として、作業員個人が記入するアンケートにより調査した。アンケートでは、刈払機については、ハンドルの形状（両手ハンドル、2グリップ、背負い）、スロットルレバーのタイプ（固定式、スロットルレバー式）、排気量、刈刃については、刃のタイプ（丸鋸刃、笹刈刃、チップソー、その他）、径について設問を設けた。また、植生など、作業地の状況により刈払機、刈刃の使い分けを行っているかについても、自由記入の形で設問を設けた。その結果、201事業体・個人から623名分の回答を得た。

### 3. 結果

刈払機については、両手ハンドル式と2グリップ式の使われる割合が地域で異なり、北の地域ほど両手ハンドル式の使われる割合が高く、南に行くほど2グリップ式の使われる割合が高くなる傾向があった。背負い式は南九州で使われているが、他の地域では少なかった。

刈刃については、日本海側では、北から南に行くにしたがって丸鋸刃の使用割合が少なくなり、笹刈刃の使用割合が高くなる。太平洋側では北から南に行くにしたがってチップソーの使用割合が高くなり、北海道から東海にかけては丸鋸刃の使用割合が少なくなる傾向があった。さらに、近畿から四国にかけて丸鋸刃の割合が高くなり笹刈刃が少なくなる傾向があった。多くの作業者は年間を通して同じ種類の刈刃を使うようである。しかし、地域的な刈刃の使い分けの傾向とは別に個々の作業地の条件によっても刈刃の使い分けは行われおり、アンケートに書かれた刈刃の使い分けの例から、刈刃の選択には、植生の状況、地表の状況、作業内容、作業者の熟練度が要素としてあることがわかった。

図 日本海側で使用される刈刃の種類

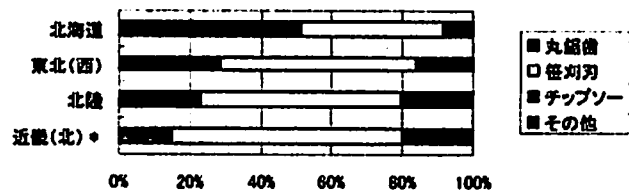
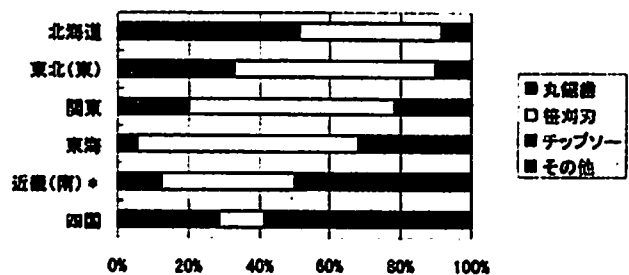


図 太平洋側で使用される刈刃の種類



### 4. おわりに

今回の調査は、主となる別の調査の背景を知ることが目的としていたため、結果として関東、近畿、特に中国地方でデータが少ない結果となった。したがって、データの少なかった地域には追加調査を行い、気候や植物分布などの条件や区分との共通性について検討する予定である。

キーワード：刈払機、刈刃、地域性

## 集材作業における繊維ロープの利用可能性

福井遼 (京大農)・杉本和也・大塚和美・長谷川尚史 (京大院農)・前田多恵子 (前田林業(株))

## 1. はじめに

素材生産の低コスト化が図られている今日、傾斜地においても高密度路網の作設とグラップル集材（プロセッサまたはハーベスタを含む）を組み合わせた作業システムが行われるようになってきた。その集材可能範囲はアーム長と樹高、地形条件などにより制限されるため、バックホウに取り付けた簡易ウインチを組み合わせることで集材可能範囲を広げ、出材量を増やす工夫がなされることが多い。しかし現在のウインチ集材は、グラップル集材に比べて生産性が著しく低いいため、ウインチ集材作業中に他の機械や作業員に待機時間が生じ、集材作業全体の生産性が低下してしまうという問題がある。この問題を避けるためには、ウインチ作業をできるだけ少なくするよう路網の配置を工夫し、また路網密度をより高くすることが有効であるが、しかし急峻で複雑な地形が多い林分では、逆に路網作設費および維持管理費が大きくなり、逆効果となるおそれがある。林地条件によっては、ウインチ集材そのものの作業効率を向上させる努力が必要であろう。

ウインチ集材の生産性向上のためには、ウインチ作業の作業要素について詳細に分析を行い、集材ロープの引き出しを容易にして作業時間を短縮させるなど、ボトルネックとなっている作業要素を改善しなければならない。またウインチ作業の労働負担はグラップル集材に比べて格段に高く、作業員の労働負担の低減を同時に図る必要がある。以上の課題の多くは、従来の鉄製ワイヤロープの代わりに、より軽量で屈曲性の良い繊維ロープを用いることで解決できると考えられる。

繊維ロープについては、まだ実用事例は少ないが、いくつかの報告がある。たとえば上村(1)は繊維ロープの性能をワイヤロープと比較し、疲労試験から繊維ロープの寿命の推定と目視検査等の損傷管理が難しいことを指摘した。またPilkertonら(2)は超高分子ポリエチレンの繊維ロープを用いて伐出作業を行った場合の労働負担、経済性、環境負荷について調査し、身体や環境への影響が軽減され生産性が向上することを確認した。本研究では、ワイヤロープ使用時と繊維ロープ使用時のウインチ集材における作業生産性、コスト、および労働負担の違いについて明らかにすることを目的として行った。

## 2. 研究方法

本研究では超高強度ポリエチレン繊維ロープ（独 Grube 社製、DYNEEMA®使用）を使用した。調査対象地は岡山県津山市にある38～39年生アカマツ人工林約6haである。集材作業において3人の作業員を被験者として設定し、ワイヤロープと繊維ロープのそれぞれについて、ウインチ集材で各々を使用した場合の作業をストップウォッチとビデオカメラにより時間計測し、工期調査を行った。作業員の胸部にGlobalsat社の心拍数モニターGH-615Mを装着し、集材時、架設・撤去時における心拍数の変化を測定した。両ロープを使用した場合の精神的負担の違いについてもアンケート調査を行った。また使用前後に両ロープの長さ、ロープ径、全乾重量、引張強度を計測した。さらに上記の結果から、両ロープを使用した場合の労働生産性および素材生産コストについて考察を行った。

以上の方法により得られた調査結果について発表する。

## 3. 引用文献

- (1) 上村巧(2001), ワイヤロープ軽量化について—スーパー繊維ロープ—. 機械化林業. 570 : 20-24
- (2) Pilkerton,S.J., Garland,J.J., Hartter,J. (2004) Application of Synthetic Rope for Improved Ergonomic, Economic and Environmental Performance in Mountainous Logging. International Mountain Logging Conference.

キーワード： 繊維ロープ, ワイヤロープ, ウインチ集材, 生産性, 労働負担



## グラップルローダを用いた荷役作業におけるオペレータの習熟特性

山口浩和・岡 勝・鹿島 潤（森林総研）

金井邦夫・加利屋義広・丸橋宗寿・濱口修次（林業機械化セ）

### 1. はじめに

林業生産現場では、作業員の高齢化により林業の担い手不足が懸念されてきたが、近年の森林に対する国民の関心の高まりや、平成 15 年よりスタートした「緑の雇用担い手対策事業」により雇用条件が整備されたことにより、林業事業体への新規就業者は増加傾向にある。一方、森林作業を安全で効率的に行うためには、知識と経験に基づいた技術が必要である。特に作業の中心となりつつある高性能林業機械を用いた作業は機械の操作と作業手順が複雑で難しく、機械の能力を十分に発揮させて効率的に作業を進めるためには高度な機械操作技術と的確な作業方法が必要である。昨今の厳しい林業の情勢下では、新規就業者にはできるだけ短期間にこれらの技術を身につけ、実践現場で活躍することが求められる。そこで効率的な技術習得を可能にするための適正なカリキュラムの作成を最終的な目標に、林業機械操作の基本である荷役作業を例に、林業現場で実践的作業を行っている作業員の技術レベルに達するまでにどのくらいの習熟期間が必要であるのか、またどのような習熟プロセスを経て技術を身につけていくのかを調査した。

### 2. 試験方法

林業機械の操作経験のない被験者を調査対象として、グラップルローダを用いた荷役作業の習熟過程を追跡調査した。対象とした作業は、グラップル搭載型フォワーダを用いた荷台への材の積み込み作業および荷おろし作業である。積荷に平均材径 18cm の 2m 材 51 本、材積 2.67m<sup>3</sup> を用いた。追跡調査全期間は 4 か月間であり、実地調査日は調査開始日、1 週間後、1 ヶ月後、4 か月後とした。実地調査日には、積み込み作業および荷おろし作業をそれぞれ 1~2 サイクル行ってもらった。実地調査日の調査項目は、ビデオを用いた作業時間分析と生産性の把握、センサ計測によるオペレータの操作内容の記録と作業機軌跡の解析である。計測センサとしてグラップルローダを駆動するアクチュエータ計 4 か所にポテンシオメータを取り付け、作業中の操作状況を 10Hz でデータロガーに記録した。実地調査日以外の調査期間については、被験者に作業記録簿をつけてもらい作業内容と機械操作時間を記録してもらった。

### 3. 試験結果

荷役作業時間は、機械操作延べ時間の累乗に反比例する傾向がみられた。その傾向はそれぞれの作業について約 15 時間までは急激に作業時間が減少したが、15 時間以降は漸減傾向を示した。また機械作業の操作技術および作業方法それぞれのレベルの指標と考えられる作業完了までの作業機の移動距離総延長、作業時の油圧使用流量およびアクチュエータを同時操作している割合について分析した結果、操作技術の向上は機械操作への慣れも含めておおむね 5~6 時間で一定のレベルに達すると見られ、その後の作業時間の減少は、作業手順の効率化や作業方法の工夫等が大きく影響していると考えられる。調査期間中、オペレータの生産性は積み込み作業、荷おろし作業それぞれ 2.9 倍、4.4 倍に増加した。しかし比較として調査した熟練者の生産性と比較すると、それぞれ 68%、41% という結果であった。

キーワード：習熟度、習熟過程、荷役作業、グラップルローダ

## 伐採率が直引集材の可能性に及ぼす影響の検討

田中良明・岡 勝・吉田智佳史・近藤耕次・中澤昌彦（森林総研）都築伸行・小谷英司（森林総研四国支所）

### 1. はじめに

強度間伐は、列状間伐と比べて間伐の効果が林分全体に及ぶ利点がある。また伐採率を高めることは、出材積が増えて固定費をうすめるなど、伐採搬出の面では有利になることが多い。しかし、あまり伐採率を上げすぎると、林分に急激な変化をあたえ気象害等に対する抵抗性を弱めることや、将来の収穫量が低下することが考えられ、伐採率の決定にあたっては慎重な検討が必要であると考えられる。筆者らは、高知県の民有林においてスイングヤードによる本数伐採率 45%の強度間伐試験を実施した。その結果、集材路から 35m の範囲において索張りをを用いず、ウインチによる直引集材が実行された。また、作業分析の結果、集材路から 30m 程度までは索張りによる集材を行うよりも直引集材を行ったほうが、能率が高いことも明らかになった。下図 1 は幅 20m の間伐前の林分を集材路方向から模式的に描いたものであり、図 2 は間伐を実施した後の林分である。背景の黒色は集材路から 20m の距離にある。強度間伐の実施により林内に空間ができて、直引集材が可能になったことがわかる。このことから、スイングヤードやウインチ付きグラブによる強度間伐を計画する場合には、予定する伐採率で、直引集材をどの程度まで実施できるのか、定量的に予測できることが必要であると考えた。

### 2. 方法

集材路に対して直角方向に、ある立木まで、別の立木による障害がなく到達できることを、立木の直接到達性と定義した。胸高直径のばらつきと、いくつかの植栽方法を仮定して、シミュレーションによって、一定の立木密度の林分を作成した。直引集材に必要なと考えられる幅をパラメータとして、この林分に対して伐採率を変えて点状の間伐を行った場合に、直接到達性がどのように変化するかを計算した。また実際の林分の配置図を使った検証を行った。

### 3. 結果と考察

この方法により、ある立木密度の林分に対して、どの程度の伐採率で間伐を実施すれば、どの程度の立木が直接到達することが可能になるか予測できる。しかし、実際の直引集材では、地形条件によっては、斜めに直引集材できる可能性もあるので、その意味で立木の直接到達性と直引集材の可能性は同義とはいえない。今後、こうした点を含めた計算方法の改良と、直引集材可能でない部分をどのように扱えば良いのかといったことについて検討を行う。

キーワード：強度間伐、伐採率、直引集材



図1 間伐実施前



図2 間伐実施後

傾斜地におけるハーベスタ・フォワーダシステムによる作業分析と改善

岡 勝・田中良明・吉田智佳史・中澤昌彦・近藤耕次・佐々木達也・伊藤崇之（森林総研）・河野雄一（鹿児島県森林技術総合セ）

1. はじめに

近年、林業生産コストの低減を推進するため、路網と高性能林業機械等の一体的な組み合わせによる作業システムや列状間伐の実施の必要性が求められ、平成 19 年度から林野庁の補助事業として低コスト作業システム構築事業が開始された (<http://www.gishikai.jp/parts/html/19txt.html>)。ここでは、高密度路網により中傾斜地での機動性の発揮が想定されるハーベスタ・フォワーダを中心とした作業システムによる調査事例を示す。労働生産性を高めるには、時間あたりの作業量を多くするとともに、出来るだけ少ない作業人員でシステムを運用する必要がある。そこで、短距離型の作業システムを想定し、作業時間の短縮とオペレータの遊休時間の縮減を図るため、2 人組作業を前提に作業効率、問題点、対策等について検討した。

2. 調査方法

鹿児島県大口市管内の市有林 5ha 内に調査プロットを 4 箇所設定した。当箇所は、過去架線集材により 1 伐 5 残の列状間伐が実施され、保残林分の植栽列に沿い 1 伐（伐採幅約 4 m）3 残の列状間伐を実施した。平成 19 年度から 20 年度にかけて時間観測調査を行い、事前に地形測量、立木計測、路線測量を行い立木位置図、路網配置図を作成した。伐倒方向は、当初、作業路方向に向けた上方・下方伐倒を想定したが、立木が谷側に傾斜しているため全て下方伐倒とした。このため、19 年度の作業はテレスコピックタイプのロングリーチハーベスタ（ベースマシン：CAT312C、ハーベスタヘッド：KETO150、KETO150 での最大リーチ長 10m）のリーチ範囲内・外、上荷・下荷により 2~4 工程となった。また、20 年度は少工程・少人員の作業システムの試みとして、ハーベスタにウインチを装着し木寄せ機能を付加した機械（ベースマシン：SH135X-3、ハーベスタヘッド：KESLA560SH）による調査を行った。

3. 結果と考察

作業条件が最も良い plot1（19 年度実施）についてみると、1 日 1 人当たり生産性はプロット全体で 10.9m<sup>3</sup>/人日、リーチ範囲内（システム 1）では 13.0m<sup>3</sup>/人日（1 日 6 時間とした場合）であった。システム 1 では、ハーベスタの作業開始から 18 分後にフォワーダ（U3-A）の集材作業が開始され、7.1m<sup>3</sup>の生産に要した実作業時間はハーベスタ 36 分（伐倒 22 本）、フォワーダ 85 分（集材 3 回）、全体で 98 分であった（出材量 26m<sup>3</sup>）。システム 1 では路上作業のため作業区域が狭く生産量が少なかったこと、ハーベスタとフォワーダの近接作業を排除したことから、フォワーダの作業待ち時間が全体の 18% を占めた。

plot1 全体でみた場合、休憩・機械遅延時間を除く作業時間に対し、オペレータ A、B 間の作業重複率は 0.81 であった（図-1）。1 人で複数作業種を実施したこと、オペレータ同士の緊密な連携による 2 人作業の短期習熟（通常は 3 人作業）、少作業人員のため次の作業の予測が双方とも円滑に行われたことが調査直後の聞き取りから確認された。

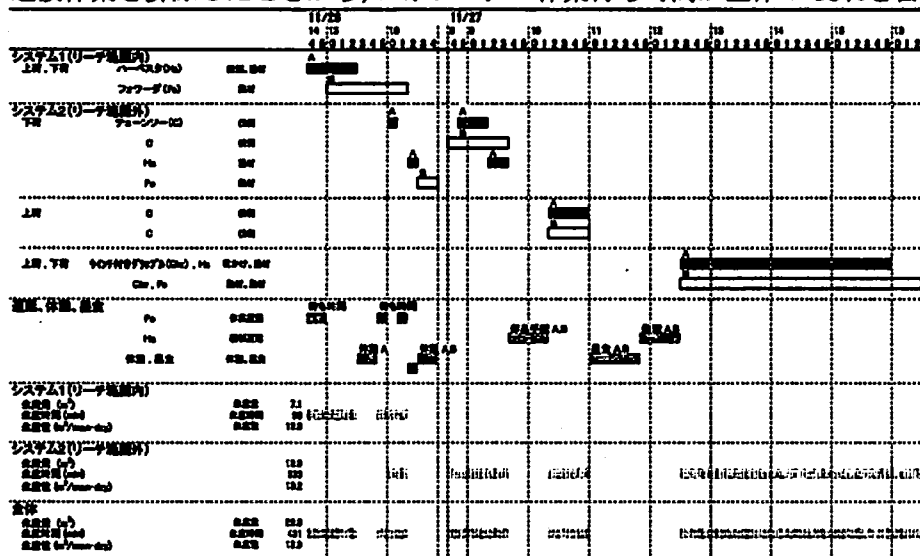


図-1 2人組みによる作業の流れ (plot1)

キーワード：ロングリーチハーベスタ、ウインチ付きハーベスタ、フォワーダ、作業効率、列状間伐

## 地形を考慮した際の短距離架線の集材距離増加の評価に適した測定間隔の検討

○黒崎浩之・岩岡正博・峰松浩彦（農工大院）

### 1. はじめに

スイングヤード、タワーヤードによる短距離架線集材は、尾根越しの集材が困難であることから、これを回避するために集材距離が増加する。この集材距離の増加を明らかにするため、その発生程度や影響を与える地形因子について分析を行っている。現在このような地形解析にはGISが用いられ、解析資料として数値地図50mメッシュ（標高）が用いられるのが一般的である。これまでの研究結果（1, 2）から、50mメッシュデータを用いて分析を行う場合に、測定間隔を50mとするより、さらに短くしたほうが地形の特徴をよく表すことが示唆された。そこで本研究では、集材距離増加の評価に最適な測定間隔を明らかにすることを目的として、最短1m間隔まで分析を行う。

### 2. 方法と対象地

集材距離の増加を評価する指標として、集材迂回係数を用いる。集材迂回係数は、道路から伐採地点までの最短の水平距離（以下「道路からの最短水平距離」と架設可能な集材架線の延長（以下「架設可能な集材距離」との比とする。道路からの最短水平距離はESRI社製ArcGIS9のバッファ機能を利用して計測し、架設可能な集材距離は「伐区を見通せる最も近い林道からの距離」としてArcGIS9の可視領域算出機能を用いて計測する。計測には数値地図50mメッシュ（標高）を用いる。各距離の測定間隔は、1m、10m、25m、50mとする。道路から最短水平距離が500m以内の地域を対象とし、集材迂回係数が1の場合の「迂回なし」、1より大の場合の「迂回あり」、集材距離が500mを越えた箇所を「集材不可能」と分類する。さらに「迂回あり」と「集材不可能」の比率の合計を集材迂回発生率として、これらが測定間隔によってどのように変化するか比較する。対象地は東京都多摩西部および山梨県富士山北麓の11市町村の森林地域である。

### 3. 結果

ここでは、東京都青梅市の森林地域を対象に分析した結果を示す。集材迂回の状態をメッシュ数の割合で比較すると（表1）、測定間隔が10m、25m、50mでは「迂回なし」が最も多いのに対して、測定間隔1mでは「迂回あり」が最も多い。集材迂回発生率は、測定間隔が1mのとき88%、10mのとき60%、25mのとき50%、50mのとき44%となり、測定間隔が短いほど増加した。したがって、測定間隔を短くするほど集材迂回の発生の検出感度が高まることがわかった。また集材迂回係数の分布（図1）は、どの測定間隔でも大きくなるに従い減少したが、測定間隔を短くすると、1.2未満の階級の頻度が高くなり、1.2以上の階級の頻度は減少した。

#### 引用文献

(1) 黒崎浩之・岩岡正博・峰松浩彦（2008）地形により発生する架線集材距離増加の評価と距離の測定間隔の影響。森林利用学会誌 22(4):233-235.

(2) 黒崎浩之・岩岡正博・峰松浩彦（2008）地形により発生する架線集材距離増加を評価するための最適な測定間隔。日林学術講 119:405. CD-ROM.

キーワード：集材迂回、地形、短距離架線集材、タワーヤード、スイングヤード

表1. 道路から最短水平距離500m以内の地域における各分類の割合（青梅市）

(単位：%)				
測定間隔	迂回なし	迂回あり	集材不可能	迂回発生
1m	12.3	65.4	22.3	87.7
10m	40.5	36.8	22.7	59.5
25m	49.7	27.3	23.0	50.3
50m	56.2	20.8	23.0	43.8

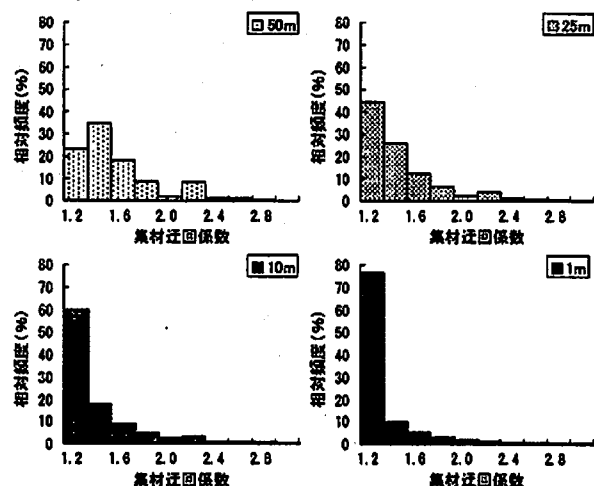


図1. 各測定間隔における集材迂回係数の分布の変化（青梅市）

## 高密度作業道の機能別配置の地形的特徴

猪俣雄太・岩岡正博・峰松浩彦（農工大院）・鈴木秀典（森林総研）

### 1. はじめに

今日の木材生産システムは、高密度に作業道を作設し、道上から作業することによって低コスト化することがトレンドとなっている。しかし、作業道の作設は経験と勘で行われており、適地、不適地の見分け方も伝えられてはいるが、あいまいな表現が多く、明確であるとはいえない。そこで、作業道が配置されている地点の地形的特徴を明らかにすることを目的として、既設の作業道が配置されている地点の地形分析を行っている。ここでは、作業道の機能を2つ、すなわち道上で集材や造材作業を行う作業型と、作業地点へ到達するための到達型とに分類できると考え、それぞれについて開設地の地形特性を明らかにする。

### 2. 方法

対象地は、大正町（3箇所）、湯沢市（2箇所）、千早赤阪村、大紀町、安中市、沼田市の9箇所であり、路網密度は70~250 m/haである。地形特性は、10 m DEMを用いて、傾斜および斜面形状をArcGIS9で算出して、指標とする。ここで斜面形状は、落水線に沿った垂直断面の内角 $\theta$ を計測し、 $\theta < 175$  度の場合を凸型斜面、 $185$  度 $< \theta$  の場合を凹型斜面、それ以外の場合を等斉斜面に分類する。作業道の位置は、GPS測位で得たデータを用いる。作業道の分析には、各作業道を分岐点で分割し、分割された区間を1つの路線として、路線単位で2つの機能に分類する。ここで、作業型は等高線に沿って配置されており、到達型は斜面方向に配置されていると考え、5m間隔の等高線をArcGIS9で発生させて作業道との交角を計測し、この交角が45度以上となる割合を持って、10%以上を到達型、10%未満を作業型とする。交角の計測にあたっては、10mメッシュを用いて等高線および作業道を分割し、分割された線分の両端を結ぶ直線の交角を、当該路線の当該メッシュにおける交角とする。作業型は「タナ地形」を選択して作設されていると考え、斜面形状を表す内角 $\theta$ の分布について $\chi^2$ 検定を用いて偏りを判定する。到達型は登坂道となることから、開設可能な斜面傾斜に限界があると考え、到達型が開設されている地点の傾斜分布について対象地の傾斜分布から算出した期待値との比を算出して評価する。この比が1の場合は期待値通り、1以上の場合には、その傾斜に偏って多く開設されていることを意味する。

### 3. 結果

作業道を作業型と到達型に分割した結果、両者の等高線に対する交角の平均値は、作業型が16度、到達型が30度であった。また両者の割合は、路網密度が高くなるにつれ、60 : 40に近づいていた。作

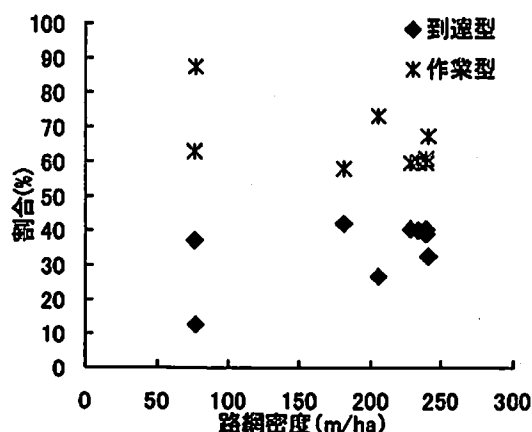


図 路網密度と各型が占める割合

業型は斜面形状を表す内角 $\theta$ の分布に有意な偏りはみられなかった。作業型が通常いわれている通り、「タナ地形」と呼ばれる凸型斜面を選択して開設されているとするならば、内角 $\theta$ の分布に特徴が表れると期待したが、それは得られなかった。「タナ地形」は10 m DEMに表れないようなより微細な地形と考えられる。到達型の傾斜分布の期待値に対する比は、傾斜20度以下では1以上、20~25度で1、25度以上で1未満となった。ここから到達型は、傾斜25度以下の地点を選択して開設されていることが分かった。

キーワード：作業道，地形，GIS

## GIS を利用した地域林道、作業道計画の費用対効果の評価

櫻井 倫・仁多見 俊夫・酒井 秀夫(東大院農)・吉岡 拓如(日大生物資源)・菅野 明芳(森のエネルギー研究所)・大野 輝尚(秩父市バイオマス研)

### 1.はじめに

林業において林道、作業道は欠くべからざる生産基盤である。新規に林道や作業道の建設計画を樹立するにあたっては、林地から道路までのアクセス距離が低減されることをもって便益とし、作業費用の低減を評価値とする手法がとられている。

近年の電算機技術の発達や森林の情報基盤整備の進展により、作業コストを小班や施業班など、きわめて細かい単位で予測して評価を行うことが可能となっているため、林道、作業道の開設効果の評価においてもこの手法をとり入れることでより具体的な新規路線の評価値を得ることが可能である。

そこで本研究では、従前に構築した森林バイオマス収穫コスト予測システムを改修し、林道、作業道の開設前後における木材生産コストを予測して比較することでこれら林内路網の評価を行うシステムを構築した。構築したシステムを使用し、実在する路線に関して評価を行った。

### 2.手法と対象

計算はすべて MicroImages 社の GIS エンジンである TNT mips 上で行った。基本的な手法は森林簿データを含む小班データ、林道・公道を含む道路データ、DEM を用意し、各小班から林道までの距離、および各小班的傾斜により作業システムを決定し、各システムに応じたコスト計算式により小班ごとの伐出コスト、トラック輸送コストを算出するものである。

道路データを評価対象の路線の有無により 2 種類用意し、それぞれを使用して各小班ごとの伐出コスト、輸送コストを算出、差額を計算することで路線の評価を行う。

埼玉県秩父市に実在する林道大峯線およびその支線を対象として、当該路線の有無による近隣小班的の作業コストを計算し、路線の評価を行った。大峯線は秩父市大滝にあり、路線延長は支線も含めると 8982m である。

### 3.結果

大峯線の有無に影響を受ける小班は 362 小班であり、その開設効果は 64,554,625 円と試算された。単純に計算結果をみると、路線の開設によりコストが逆に増大している小班が見られる。これは、本システムがトラック輸送コストを考慮せずに各小班から最も近い道路に集材するように設定されているため、路線の開設による集材距離の短縮がごくわずかであるとき、集材費用があまり減少せず、トラック輸送距離が増大する場合に生じるものである。費用便益比が 1 となる建設費単価を計算すると、1m あたり 7182 円となった。本システムにおいては輸送費用も評価対象としているため、従来把握が難しかった短絡路としての林道の機能評価も可能である。

キーワード：作業コスト、GIS、林道、作業道、評価

## 間伐作業に伴う車道開設費の考え方に関する考察

東京農業大学  
田中万里子

### 1. はじめに

いわゆる森林税の導入が各県で始まっている。適切な森林管理を行い、森林を健全に育てることが主な目的と考えられる。その中で、森林作業の実施や間伐遅れ問題を解決するためには、森林作業での林業機械活用を必要とする。機械の自走あるいは木材その他の輸送を効率的に遂行するために林道や作業道などの整備が欠かせない。

林道や作業道の開設は森林作業に先行して行われるが、これには費用が発生する。車道網は森林の生産基盤と位置づけられ、公共事業としての意義は大きい。

筆者は新しい間伐作業の評価法を考えているが、間伐作業の将来価値を評価することで、森林作業の費用や車道開設費を森林税の中から出資する意義を考察した。その内容を報告する。

### 2. 車道開設や改良の効果の考え方についての新しい試み

車道開設効果については今まで多くの研究がある。車道開設の意義、路網計画法、山地地形での車道の計画の方法など、さらにリモートセンシングデータやGISなどのITを活用した研究も多い。

今回の考察は、費用のかかる車道開設や改良の費用の多寡を対象とするのではなく、開設後に車道を利用して行われる間伐作業の効果の評価によってその価値を周知しようとする。

森林にとっては木材生産が最も大きな収入源であるが、国産材価格低迷から主伐が実施されず放置された林分が多い。そしてこの十余年は主伐を延期し長伐期化に移行しようとの各地での動きが見られたが、それには適切な間伐作業を行う必要があった。また、収入のある利用間伐を行うには対象とする立木などの条件と共に車道網の地理的条件が伐出コストに大きく影響する。

間伐時の短期（年度）の収支は素材の売買額（収入）マイナス伐出等の経費となり、これが木材価格の低迷からプラスでなくマイナス（赤字）であるとして伐り控えをもたらした。そこで車道開設・改良費を捻出するには補助金を頼みにすることになる。しかし、間伐効果が環境面での森林の価値になることが認められれば、社会基盤の社会資産として大いに車道開設改良に弾みをつけることができ、路網開設効果が現れれば森林地域の森林のゾーニングにも影響する。

### 3. 提案する間伐作業の新しい考え方

間伐遅れ問題解決のために間伐作業評価の検討を行った。間伐作業は素材生産物のみならず森林地域に多くの2次便益や3次便益をもたらす。これを明示し検討した。林分密度管理図と施業体系図を活用し、間伐後残されるべき立木の成長量と材質の変化を評価することで、間伐効果を明示できることがわかった。間伐実施と未実施の場合を比較し、各々の場合の10年後と50年後の森林の状態を予測し、10年後の森林の状態について間伐しない場合の損失（機会費用）を算出し間伐作業の価値を明示した。

森林に期待する効用は多様であり、間接的な間伐効果の評価は難しいが、10年後の森林を予測することで間伐効果の評価の可能性は大きい。

また、間伐作業の影響を評価する「間伐作業評価シート」を作成した。このシートの記入作業を通じて立木、森林、地域などへの影響を考慮できるようにした。すでに間伐が遅れた場合の現在の損失と、間伐することによる損失回避額も評価できる。

金額での試算を行った例では、木材単価を低く仮定しても、スギ林1ha当たり200万円台の間伐効果（機会費用）を算出した。これと作業道開設費を比較して投資するか否かの決定を行うことも可能である。

### 4. 林道や作業道の開設・改良に向けて

森林地域の路網整備は森林作業の効率化にとって重要な要素である。今まで伐出作業の減額による明示をしてきた。国民の森林に要望する機能の変化に応じて、森林作業も変化を余儀なくされる。そのため木材生産中心の考え方からそれ以外の森林管理へと視野を広げることも必要である。来るべき国産材時代の木材生産も行える森林整備を、森林税をはじめとする税金によって行うこともよいのではないだろうかと考えられる。

キーワード：間伐作業、車道開設費の考え方、森林の間伐効果、間伐作業評価、森林の将来予測

## 製紙スラッジ灰を原料とした造粒固化体の作業道への路盤材料としての試験施工

與儀兼三・川元満夫（広島総研林技セ）・三好正忠・松尾暁（柗予州興業）

## 1. はじめに

森林内における路網開設工事では、軟弱地盤での路盤安定処理が作設対策の重要な課題となっている。しかし安価な作設が求められる作業道など低規格な路網では、林道工事で多く使用される砕石などを路盤材料とすることは、コスト面で困難である。そこで製紙過程で発生する製紙スラッジの燃焼後の灰（以下 PS 灰）や石炭灰などの燃焼灰が土木材料（盛土材や凍上抑制材、下層路盤材）として利用できるという点（1）に着目し、残渣である燃焼灰を原料とした安価な材料を作業道の路盤材料として活用できないかと、今回柗予州興業のプラントで製造した PS 灰・石炭灰を主原料とした造粒固化体（以下試料）を使用して施工を試みた。

## 2. 試料と試験方法

試験は愛媛県四国中央市金砂町で宇摩森林組合が 2008 年 3 月に開設した幅員 2.9m、延長 2,500m の作業道で実施した。試料は柗予州興業らが取り組んできたコンクリート骨材への適用に関する研究成果（2）を基に PS 灰と石炭灰を 1:1 で混合し、セメント・生石灰・水をそれぞれ 7%、3%、40~50% の配合比で添加したもので、同年 6 月に粒度または添加物の異なる 0~40mm 造粒固化体（試料 A）、0~40mm 造粒固化体+スラグ（試料 B）、25~40mm 単粒（試料 C）の 3 種類の試料を製造し 7 日間の養生後、それぞれ 3t をダンプトラックで現地へ搬入した。施工はバックホウ（7t）により、試料 A は縦断勾配 15%・延長 7.0m・幅 2.6m・厚 10cm、試料 B は同 7%・延長 7.0m・幅 2.6m・厚 10cm、試料 C は同 15%・延長 8.0m・幅 2.8m・厚 7cm で敷設・転圧後、経過観察した。また路面の支持力をみるため、施工 4 ヶ月後に簡易支持力測定器（キャスポル）および山中式土壌硬度計を用い、1 区間 3 測点ずつワダチ・中央部を対象に 3~5 回測定した。さらに比較のため敷設区間に連続した未敷設箇所（以下 D 区間）および隣接して作設中の作業道の軟弱路盤箇所（以下 E 区間）を同様に測定した。

## 3. 結果と考察

施工翌日の降雨（19mm）後の路面は、いずれの区間も雨水による試料の流出は確認されなかった。表面の状態は A・B 区間は湿潤（踏むと水が浮き出る）・C 区間は乾燥していた。施工 6 日目から 2 日間連続の降雨（60mm）後の路面は、試料流出が A・B 区間で流出溝跡 2 本・C 区間も僅かではあるが確認された。表面は未敷設箇所では泥濘・敷設区間はいずれも乾燥状態であった。路面支持力は A~C 区間とも中央部よりワダチ部が高く、CBR 値はそれぞれ 24.3・16.9・21.7%、支持力強度は 28.1・13.3・15.0kg/cm<sup>2</sup>、試料ごとの路面支持力は A>C>B という傾向が示された。未敷設の D・E 区間は、CBR 値 24.8・3.1%、支持力強度 18.3・1.9kg/cm<sup>2</sup> で、D 区間は路面が乾いており敷設区間と著しい差は表れなかったが、E 区間は著しい差となって表れた。観察結果から試料の吸水性が確認でき、流出に対しては横断溝の設置など適正な排水処理で解消されるものと考えられる。今回 A~C 区間の敷設前の路面支持力は未計測だが、敷設前には車両での走行が困難であった区間が敷設後は可能となったことから、試料は軟弱地盤への路盤材料として有効である可能性が示された。今後は条件の異なる試験地を増設し、経年変化の観察とともに定量的な試験・評価を加え、最適な施工法を検討していきたい。

## 引用文献

- (1) 城戸優一郎・西本聡・佐藤厚子（2005）製紙工場から排出されるペーパースラッジ灰の土木材料としての特性。北海道開発土木研究所月報 631：10~16
- (2) 愛媛大学・予州興業（2007）PS 灰を活用した造粒物のコンクリート骨材への適用に関する基礎研究共同報告書。14pp.

キーワード：低規格道、低コスト、製紙スラッジ灰、リサイクル、路盤材料



# 作業道における片勾配の排水および浸食防止効果の検証

○矢部和弘・笹本碧・豊川勝生（東京農業大学地域環境科学部）

## 1. はじめに

路面上の排水を行う工夫のひとつに、路面全体を谷側に傾ける片勾配がある。片勾配をつけると雨水がその場で谷側へ排水され、表面流による路面浸食が減少する。本研究では、片勾配をつけた路面の排水効果および浸食防止効果を検証した。

## 2. 適正片勾配の算出

図-1のような片勾配路面（縦断勾配  $\alpha$ ，横断勾配  $\beta$ ）を考えたとき、DBが落水線、 $\theta$ が落水角となる。このとき、

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \right) \quad DB = \frac{AD}{\sin \theta}$$

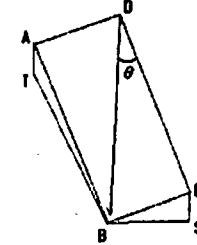


図-1 片勾配路面のモデル

となる。ここで片勾配の有効性を適正横断排水溝間隔 ( $I$ ) から検討した。DBが適正横断排水溝間隔を超えないように、 $\alpha$ 、 $\beta$ の組合せを検討したところ、 $\alpha=5\%$ で $\beta \geq 0.7\%$ 、 $\alpha=10\%$ で $\beta \geq 2\%$ 、 $\alpha=15\%$ で $\beta \geq 3\%$ 、 $\alpha=20\%$ で $\beta \geq 4\%$ が必要であることがわかった。

## 3. 模型実験

30cm×100cmの箱に土をつめて作業道の模型（現地試験の1:10モデル）を作成した。これを縦断方向と横断方向に傾けて上から散水を行い、縦方向、横方向の流出量を測定した。縦断勾配：5,10,15,20%，横断勾配：0,2,4,6,8,10%の24通りの組み合わせで、それぞれ3回ずつ実験を行い、その結果と理論値との比較を行った。

縦断勾配 10%のときの横断方向流出割合の理論値と実測値を図-2に示した。実験の結果、概ね理論値に近い値か、若干少ない値を示す傾向が見られた。現場では理論値よりも水が横方向に流れにくいと考えられたため、適正片勾配よりも少し大きな勾配が必要になると思われる。

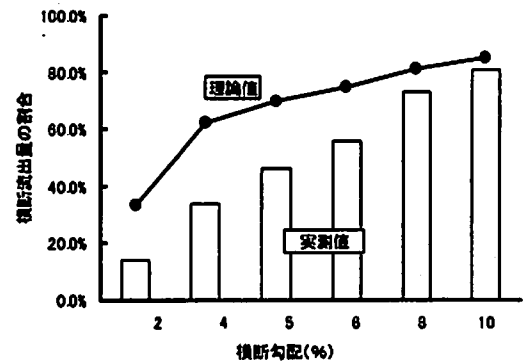


図-2 横断方向流出割合

## 4. 現地試験

東京農業大学奥多摩演習林内の作業道に、幅3m×長さ10mの試験地A（純断勾配7%）、B（10%）、C（15%）を設置した。横断勾配はいずれも5%とした。浸食深はポイントゲージを用いて、横断方向0.3mごと、縦断方向0.5mごとに定期的に測定した。各試験地における平均浸食深を求め、表-1に示した。2004年、2006年に試験地Bにおいて片勾配施工前の浸食深が測定されていたためあわせて示した。

試験地A,B,Cを比較するとBの浸食深が最も大きく現れているが、片勾配をつける以前との比較では、明らかに減少していることがわかった。これは、片勾配が排水効果および浸食防止効果を発揮したためであると考えられる。

表-1 各試験地の平均浸食深

試験地	測定期間	$\alpha$	$\beta$	$h$ <sup>※</sup>	$R_{total}$ <sup>※</sup>	$R_{max}$ <sup>※</sup>
A		7%	5%	3.1mm		
2007 B	6月19日～12月5日	10%	5%	6.77mm	1170mm	34mm/h
C		15%	5%	1.35mm		
2004 B	6月7日～10月28日	11%	-	10.47mm	1297mm	29mm/h
2006 B	6月21日～10月10日	11%	-	9.24mm	821mm	41.5mm/h

注)h:平均浸食深  $R_{total}$ :期間降雨量  $R_{max}$ :最大降雨強度

## 参考文献

(1) 峰松浩彦・南方康（1982）横断排水溝の間隔に関する研究。日林誌64(5)：193～197。

Keyword：作業道，片勾配，路面排水，路面浸食

## 作業路作設機種が作設時間に与える要因

平林慧遠・高橋健保・麻生臣太郎・澤口勇雄・立川史郎・佐々木一也・菊地智久（岩大農）

## 1. はじめに

低コスト作業システムの構築が全国各地でなされ、低規格かつ長期利用を目的に四万十方式を参考とする作業路の整備が進められている。しかし、作業路作設に関する分析資料は充分とはいえない。四万十方式の作業路には人工構造物がほとんど使用されていないため、作業路作設コストは作設時間に依存すると考えられる。作設時間に影響する要因として地形傾斜、立木密度、樹種、樹齢、幅員、土質、作業機械、オペレータがあげられる。本報告では、作業路工事で通常使用されるバケットとグラップル機能付バケット（ザウルスロボ）によるバックホーでの作業路作設時間に及ぼす影響要因を明らかにした。

## 2. 調査方法

調査地は岩手大学御明神演習林第7林班の44年生スギ人工林である。地質は新第三系中新統橋場層に属し、平均傾斜  $24.9^\circ$ 、平均立木密度  $0.20$  本/ $m^2$ 、平均胸高直径  $17.1$  cm である。チェーンソーによる先行伐倒の後、等高線沿いに、全幅員約  $3.0$  m、切土高  $1.5$  m 以下を基準に四万十方式と類似の作業路を作設した。作業機械は(1)PC-35 ( $0.11$   $m^2$ )、(2)Vi040 ( $0.14$   $m^2$ )、(3)MSE-15ZR/CAT305CCR ( $0.13$   $m^2$ ) を用いた。(1)は麻生(2008)の報告、(2)、(3)は作設距離  $5$  m を1サイクルとして、(2)は20サイクル、(3)は18サイクルを時間観測し、各サイクルの地山傾斜、立木本数、平均胸高直径を測定した。

## 3. 結果と考察

作設時間  $T_x$  (秒/m) を目的変数、地山傾斜 ( $^\circ$ )  $X_1$ 、立木密度 (本/ $m^2$ )  $X_2$ 、平均胸高直径 (cm)  $X_3$  を説明変数とする重回帰分析結果を次式に示す。

$$T_1 = 12.15 X_1 + 1374.89 X_2 + 7.86 X_3 - 108.70 \quad (r = 0.5959, p < 0.05) \quad (1)$$

$$T_2 = 12.83 X_1 + 1160.08 X_2 + 22.29 X_3 - 349.50 \quad (r = 0.8442, p < 0.05) \quad (2)$$

$$T_3 = 13.41 X_1 + 717.19 X_2 + 8.87 X_3 - 55.45 \quad (r = 0.9488, p < 0.05) \quad (3)$$

(1)~(3)式に、 $X_1$  ( $5 \sim 35^\circ$ )、 $X_2$  ( $0.20, 0.30$  本/ $m^2$ )、 $X_3$  ( $17.1$  cm) を与え、 $T_x$  を算出した。 $T_x$  から作設速度 (m/h) と地山傾斜の関係を図1に示した。いずれの場合も地山傾斜と立木密度が増すほど作設速度は遅くなった。また、作設機械が大きくなるにつれて作設速度は早くなるが、地山傾斜が急になるにつれてその差は狭まった。立木密度が高まるにつれて機種間の作設速度差が大きくなり、また、グラップル機能付バケットの有効性が示された。

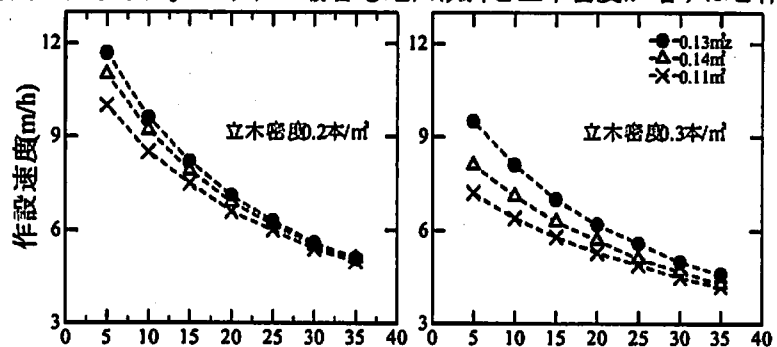


図1 作設速度と地山傾斜

## 引用文献

麻生臣太郎 (2008) 高密度作業路網による長伐期多間伐システムの構築. 岩大農修士論文 ; 63pp  
 キーワード : 作業路、路網、ザウルスロボ、低コスト

## 栃木県鹿沼市私有林における作業道路網自動配置手法の検討

—費用便益比最大となる路網配置手法を用いて—

有賀一広・伊藤要・森勇佑・斎藤仁志・田坂聡明（宇都宮大学農学部）

### 1. はじめに

林道・作業道路網などの発達に伴い、樹枝状の路網配置から、交通の利便性が高く、災害時の交通路の確保が可能な循環路網が形成される。既往の循環路網に関する研究には路網上の2点間の交通距離を指標としたもの、路網上の任意点間の交通量と交通距離の積を指標としたもの、最大集材距離の2倍で等高線に平行な路線を配置し、その間を尾根上に急勾配の路網を配置してつなぐものなどがある。本研究では小林の費用便益比最大となる路網配置手法(1)を用いた循環型作業道路網自動配置手法を検討したので発表する。

### 2. 方法と結果

対象地は、栃木県鹿沼市上粕尾(旧上都賀郡粟野町)にある、斎藤正氏及び父親の斎藤尊氏所有の山林226haの西側に位置する94haの団地である(図-1)。斎藤正氏は「有限会社高見林業」の代表として、自ら所有する山林で林業経営を行うとともに、近隣の施業受託山林150~200haの施業を行っている。

費用便益比が最大となる路網配置手法は、完全な樹枝状配置となり、また、本調査地のように林道計画と比べて小面積な団地へ適用した場合には、路網はあちこちに散らばりながら計画されることがあるため、作業道路網のような中期的または短期的に小面積な団地への配置を考える場合には適していない。そこで、本研究では、完全な樹枝状で、開設順位が飛び飛びとなることを防ぐために、費用計算において、作業道開設費 $C$ (円)に、前回、計画した場所と異なる場所に計画する場合は機械運搬費として $D$ (円)を加算することとした。

また、斎藤正氏によると循環路網は利点が多々あることから、地形的に繋げられるところは繋げるが、地形的に困難なところは無理には繋げないとのことであつたので、本研究では循環路網を形成するために、計画路線がすでに計画された路線に1グリッドまで近づいた場合には、強制的にすでに計画された路線とつなぐこととした。これらの考え方を基にプログラムを作成して実行した結果、循環型の作業道路網配置が得られた(図-2)。



図-1 現況路網と樹種の重ね合わせ  
(濃灰色：スギ，淡灰色：ヒノキ，白：広葉樹)

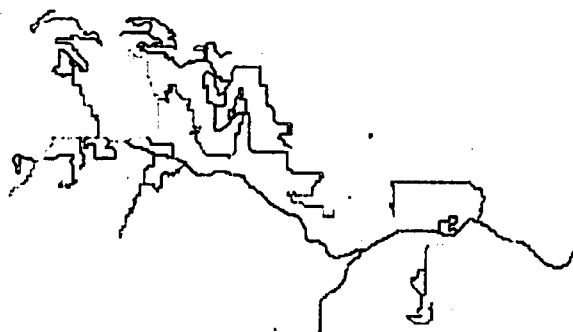


図-2 プログラムによる配置結果

(1) 小林洋司(1997) 森林基盤整備計画論—林道網計画の実際—, 205pp, 日本林道協会, 東京.

キーワード：費用便益比最大，作業道，私有林，循環型路網，自動配置手法

## 高解像度 DTM を用いた地形順応型林道設計自動化手法の検討

斎藤仁志・有賀一広・田坂聡明・松英恵吾 (宇都宮大学農学部)

## 1. はじめに

従来から林道設計を自動化し、最適な路線を決定する手法が研究されてきた。筆者らは前報 (1) で微地形の測定精度が高いとされるLiDARによって測定した高精度DTMを用いた、林道設計手法を検討した。この手法によって設計された林道は、実際に作設された林道線形と近く、土工量推定精度も実測値と誤差が2.67%と良かったが、事前に通過点を示す必要があった。そこで本研究では通過点の自動選択を可能とし、さらに3次式スプライン (2) と動的計画法により地形順応型林道設計を実現した自動化手法を開発したので発表する。

## 2. 方法と結果

宇都宮大学所属船生演習林で計測された LiDAR データにフィルタリング処理を行い、1mグリッドのDTMを作成し既設の約200mについて林道設計を行った (図-1)。路線決定方法は3次式スプライン補間が、切り盛りを均衡させ、土工量を抑えた地形順応型林道を設計する際に効果的であると同時に、パーソナルコンピュータクラスの計算機でも短時間に処理が可能であると考え、この補間方法により初期路線形を決定し、動的計画法を用いて最小土工費用となる路線を選択する林道設計手法を開発した。

路線決定手順は、始点と終点を指定した後、始点と終点の標高差  $h$  を始点の等高線上の各点それぞれについて距離に応じて比例配分し、各点より最急傾斜方向に標高差分  $\Delta h_i$  だけ加え移動した点を通過候補点とする。通過候補点を一定区間ごとに抽出し、3次式スプライン補間して初期路線形を決定する。

次に、動的計画法による路線選択を行うため、初期通過候補線上で曲率が最小となる点を抽出し、その点の法線上の両側に1m間隔で10mまで通過候補列を発生させる。この点列の組み合わせから、動的計画法により最小土工費用となる路線形を決定する (図-2)。

この手法で作成された林道では開設費用が2,642円/m、実際に開設された林道は3,134円/mとなり、高精度DTMを用いた林道設計自動化手法の有効性が確認できた。



図-1 使用するDTM



図-2 路線設計結果

(1) Saito, M., Aruga, K., Matsue, K., and Tasaka, T. (2008) "Development of the forest road design technique using LiDAR data of the Funyu experimental forest." *J. For. Plann.* 13, 147-156.

(2) 田坂聡明・越智士郎・松尾毅(1996)スプライン関数を利用した地形順応型林道の設計.宇都宮大学農学部演習林報告第32号17-26

キーワード: LiDAR, DTM, 林道設計, スプライン関数, 動的計画法