ISBN 978-4-905304-63-0

緩中傾斜地を対象とした伐採造林一貫システムの手引き

国立研究開発法人 森林総合研究所 北海道支所
Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

森林総合研究所 第3期中期計画成果35森林・林業再生-9

目次

はじめに---------- 1

本手引きで扱うシステム---------- 2

伐採から搬出まで

伐採・搬出---------- 4

CTLシステムのための路網--------- 6

地拵から植栽まで

地拵---------- 8

植栽---------- 10

カラマツコンテナ育苗---------- 12

伐採から植栽までの一貫作業

コスト---------- 14

環境への配慮---------- 16

はじめに

わが国の人工林経営は、諸外国に比べて高コストであり、伐採と造林作業の低コスト化が喫緊の課題となっています。低コスト化を実現する上で有効と考えられているのが、伐採と造林を連続して行う作業体系、すなわち「伐採造林一貫システム」であり、日本各地で様々な条件に合わせて取り組まれているところです。

伐採造林一貫システムには必ずしも厳密な定義や明確な手順があるわけではありません。伐採直後に造林を行うことで機械の稼働率や作業効率を上げるというのがわかりやすい例ですが、このシステムの本質は、伐採と造林を全く別の作業と考えるのではなく、伐採する際は造林がしやすいように、造林する際は将来効率的に伐採できるように、双方の作業を考慮することで全体の効率化をはかることにあります。

私たちは北海道の多くを占める林地傾斜20度以下の緩中傾斜地を念頭に、ハーベスタ、フォワーダなど林内走行型機械を用いた短幹集材（CTL）、クラッシャー地拵、コンテナ苗の活用、低密度植栽等を状況に応じて組み合わせた一貫システムを開発しました。伐採から造林までのコストを試算した結果、組み合わせによって、最大3割の削減が可能でした。この手引は、個々の作業について具体的な方法を、現場の方々に向けて要点をわかりやすくまとめたものです。御意見をいただければ幸いです。

本研究は、農林水産省の「平成25年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業、実用技術開発ステージ」の研究成果であり、国立研究開発法人森林総合研究所北海道支所と下川町、および一般財団法人下川町ふるさと開発振興公社の三者共同で実行されました。北海道支所は、林業の町として知られる下川町とかねてより共同研究協定を結ぶなど緊密に連携してきましたが、本研究はその成果が充分に活かされるものとなりました。

この手引に使われた野外データの多くは下川町有林で得られたものですが、類似の条件を備えた道内の人工林に広く適用できるものと考えています。 研究の成果が今後の北海道の林業に貢献することを願っております。

北海道支所長 牧野俊一

本手引きで扱うシステム

■ 適 用 条 件

①ハーベスタやフォワーダなどの車両系機械が林内走行可能な、傾斜20° 以内の緩中傾斜林分に適用します。

②トドマツ・カラマツの人工林を皆伐し、その後すみやかに再造林（地拵・植栽）を行うシステムです。

■ 目 指しているシステム

人工林を持続的に管理するためには、右図のように各作業を循環させる施業が必要です。この手引きでは、伐採・搬出と地拵・植栽作業を一体の作業として実施し、さらに下刈りも含めた作業の効率アップとコストダウンを図る「伐採・造林一貫システム」の導入例を解説します。

伐採では、すべての工程が機械化され、高効率・低コスト・安全作業が期待できるハーベスタ、フォワーダを用いた短幹集材CTLシステムを導入します。続く造林作業では、最初の地拵工程にクラッシャを導入して作業を省力化し、植栽工程では大苗やコンテナ苗の低密度植栽を行うことで、苗木コストや植付経費の削減をめざします。

一貫システムとする利点は、実施中の工程だけでなく、次の工程にも配慮して、より効率的な作業となるような工夫がされることです。例えば、伐採時の枝条散乱を控えて地拵を容易にし、搬出による地表攪乱を抑えることで植栽条件の改善が期待できます。地拵機械は、単独では稼働率が低くなりがちなため、なかなか導入されませんが、この手引きで紹介するクラッシャはレーキによる植栽補助や、マルチング効果による下刈り省略など、次の工程にも効果が期待できます。

このような一貫システムでは工程の連続性は必須ではありませんので、積雪地の冬期伐採についてもメリットは小さくないと考えられます。

■ 伐採造林一貫システム

全機械化伐採*
(高効率・低コスト・安全)

*ハーベスタ・フォワーダを利用した全工程が機械化された伐採システム。ＣＴＬシステム

伐採

搬出

一貫作業

成林

伐採生産性　18m³/人日
造林コスト　30%削減

クラッシャ地拵
(少人数作業)

地拵

間伐

マルチ効果
(枝条破砕物)

植穴掘削*
(レーキ)

*レーキによる植穴、根系切断、耕耘作業

下刈

植栽

低密度植栽
(苗木代、植付経費削減)
コンテナ苗（植付経費削減）

高品質苗
(大苗、高成長苗)

「低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集（森林総合研究所発行）」(2013)を改変

伐採・搬出

- CTLシステム
- 帯状伐採の生産性
- 伐採コスト

■ ＣＴＬシステムとは

◆ CTL(Cut-To-Length logging) システムとは、短幹集材方式でハーベスタとフォワーダによって林内作業を行うことで、伐倒から造材、集材、椪積みまでの全ての工程が機械化された伐出システムのことです。ハーベスタ・フォワーダシステムとも呼ばれています。

ベースマシンが油圧ショベルのハーベスタとハーフトラックの高速フォワーダ

■ メリット

◆ ハーベスタとフォワーダのオペレータ2人による省力・高生産性作業が期待でき、その結果低コスト伐採が可能になります。

◆ とくに主伐時の帯状伐採などに適用することで、作業に必要な空間が確保され、機械の性能を十分に発揮することができます。

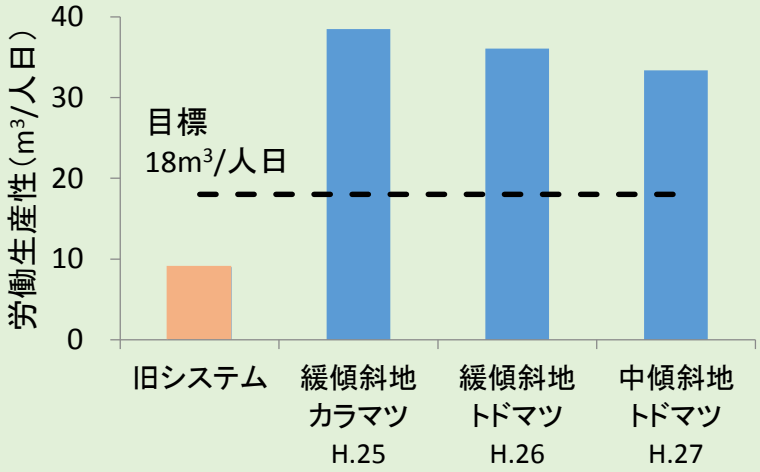
◆ キャビン（運転席）によって作業者の安全が確保できるほか、空調も可能で快適な作業を行うことができます。

■ CTLによる帯状伐採の生産性（山土場まで）

◆ 伐採生産性

- 旧システム　9m³／人日
  - 伐木枝払い（チェーンソー）24m³／人日
  - 集材（ブルドーザ）34m³／人日
  - 採材玉切り（チェーンソー）56m³／人日
  - 巻立て（グラップル）47m³／人日

- CTL　20°未満　30～40m³／人日
  - 伐木造材（ハーベスタ）約100m³／人日
  - 集材巻立て（フォワーダ）約60m³／人日

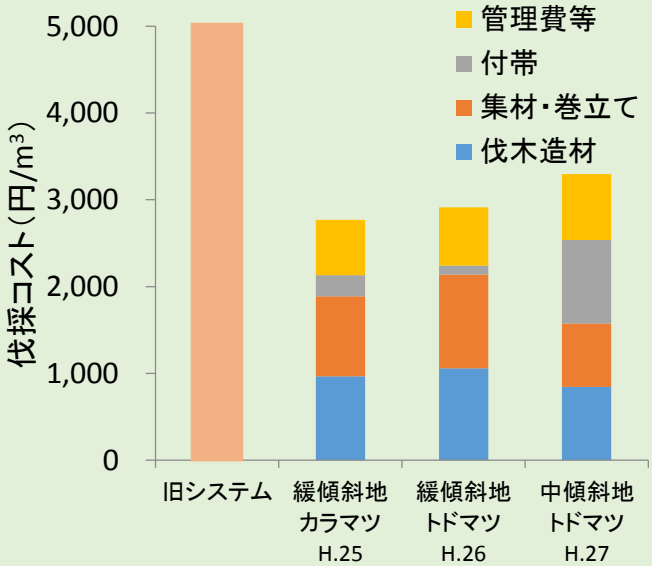


- 付帯作業を含めても旧システムの約4倍の生産性。
- 付帯作業とは、グラップルを用いて、フォワーダが安全に作業しやすくするためのストリップロードの整理や冬期の根堀りなど。
- 機械の進入が可能であれば、20°近い中傾斜地においても生産性はあまり変わらない。

◆ 伐採コスト

- 旧システム　5,000円／m³
  労務費、資材費、機械損料、管理費等を含む

- CTL　20°未満　3,000円／m³
  - 伐木造材 約1,000円／m³
  - 集材・巻立て 約1,000円／m³
  - 付帯作業 約300円／m³
  - 管理費等 約700円／m³



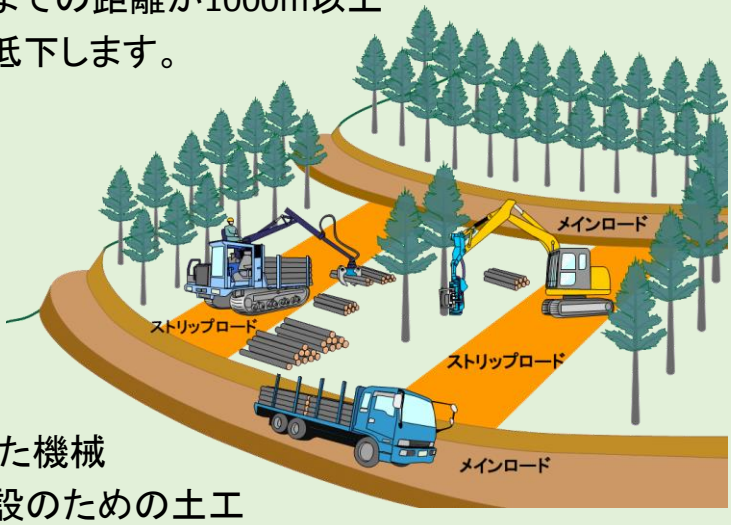
CTLシステムのための路網

- 路網配置
- 作設方法

■ 路網配置の考え方

◆ メインロード

- 土工作設される、機械またはトラックの走行する林内道路です。
- 基本、等高線方向に配置します。効率的な作業のためには、300m程度以内の間隔が望ましく、最大でも500m以下にする必要があります。
- 10tトラック等が走行できる規格で、伐区内の道沿いに集材した丸太を集積・椪積みできるような路体構造が望まれます。道ばた集積ができない場合は、メインロードも集材経路として利用されますが、土場までの距離が1000m以上になると効率は低下します。



◆ ストリップロード

- 林内に固定された機械走行路です。作設のための土工は行いません。
- 安全かつ効率的に作業が進められるように、最急勾配方向に向けて計画します。
- 望ましい間隔は、アームが全ての立木に届くように、使用する機械のアームの長さ×2倍程度です。ただし、林内走行の影響が大きいと考えられる林分では、樹高長さを加えた間隔とし、アームが届かない位置はチェーンソー伐倒を行います。

■ メインロードの作設に関して注意すべき点

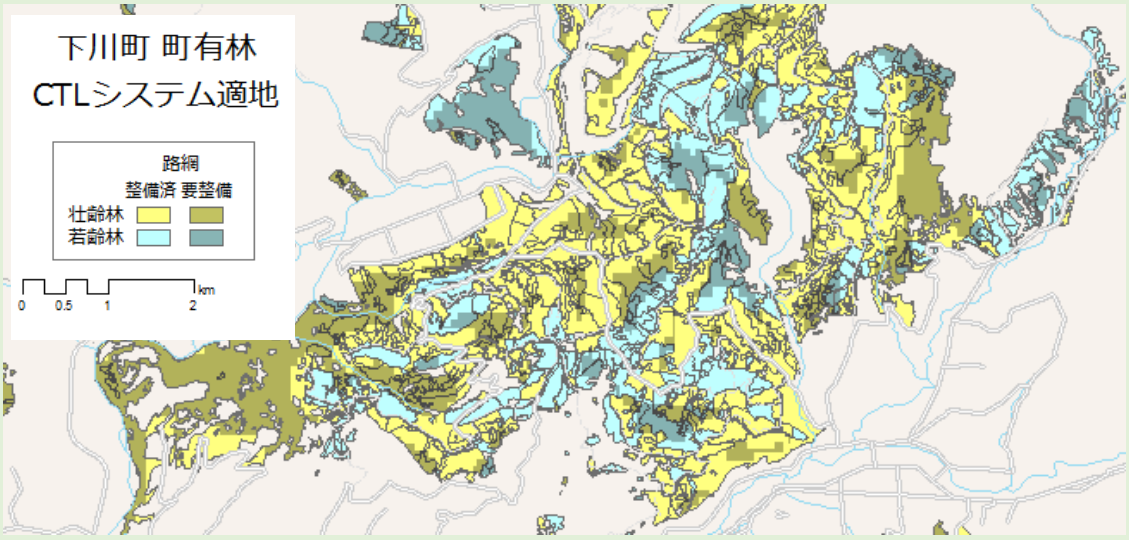
- 土質や降水量等に応じて敷砂利や排水施設等が必要となります。
- 法面はできるだけ低くします。林内（ストリップロード）に下りるためのスロープ等法面の施工が必要となる場合もあります。

路面に敷均した砂利と側溝

林内に進入するためのスロープ

＜参　考＞

地域への適用例（下川町町有林の一部）



- CTLシステムに適した下川町有林を抽出しました。面積の割合は、傾斜10～20°以下68.1%、10°以下13.1%であり、計81.1%（3751ha）が適地であることがわかりました。
- メインロードの間隔は300m以内、その場合の林内における最長集材距離は150m以内が良いと考えられます。路網から各小班までの距離の平均値150mを境に森林を区分し、これから伐期を迎え路網の整備が必要な壮齢林を明らかにしました。
- 機械化可能なトドマツとカラマツの人工林1280.47haのうち、上記区分150m未満が1143.82ha、150m以上が136.65haでした。これより、小班数で85.6%、小班単位の面積で89.3%が「路網から150m以内で作業が可能」と試算されます。路網整備の急がれる壮齢林面積は58.95haでした。

地拵（じごしらえ）

■ クラッシャの導入とその効果

■ クラッシャ地拵とは

①高速回転刃で、植栽のじゃまとなる枝条等を粉砕・整地する作業です。

②作業機にレーキを付加することで、枝条の移動や耕耘なども可能となります。

■ 効果

◆北海道の地拵経費は、下刈りまでの造林作業経費全体の40～60%と大きな割合を占めます。この作業を機械化することは、造林作業全体の省力化・低コスト化につながります。

◆動力性能に応じてクラッシャ作業効率が改善されるため、今後、ベースマシンの高出力化を図ることによって、さらなる効率化が期待できます。

クラッシャに2本爪レーキを付加し（左）、エクスカベータで作業（右）

導入機種はイタリアSeppi社 Mini BMS 125。回転刃の強度があり、石レキ地の作業も可能である。

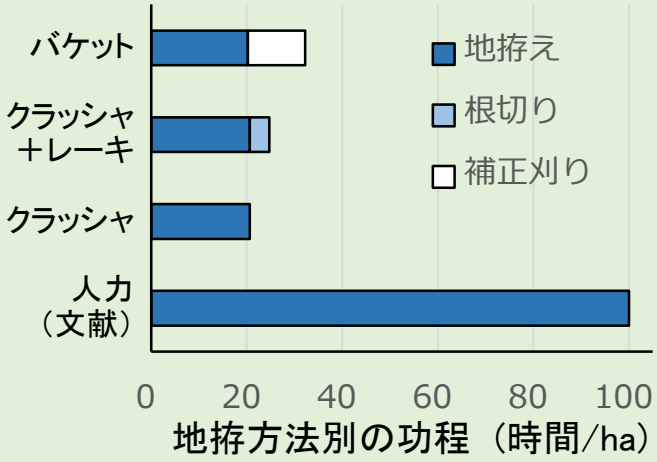
◆ クラッシャを導入してみて

〇メリット

・安全・快適・楽に地拵作業
・一人作業で担い手不足解消
・雑草木が再生しにくい
・筋置きつぶれ地が解消

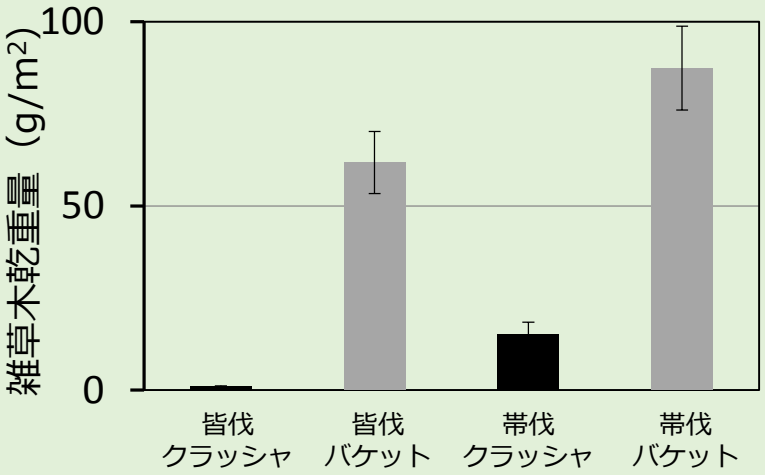
●デメリット

・導入コストがかかる
・雑草木の地下部が残る
（レーキ付加により解消）



◆ 労働生産性を人力地拵と比較すると大幅アップとなりました。一方、バケット地拵と比較するとほぼ同等でした。ただし、バケット地拵をササ地で行う場合、人力補正刈り作業が必要となることが多いため、クラッシャ地拵の方が生産性は高くなります。

◆ バケットを利用した地拵後の雑草木量に比べ、クラッシャによる地拵を行うと、雑草木再生量を大幅に抑えることができます。



クラッシャおよびバケット地拵1年後の雑草木再生量

植栽

- 苗種の選択
- 低密度植栽と下刈り
- 機械化に適した仕様

■ 方法

①苗サイズ：育種苗や70～80cm以上の大苗を用います。

②低密度植栽：1000本/ha～1500本/haにします。

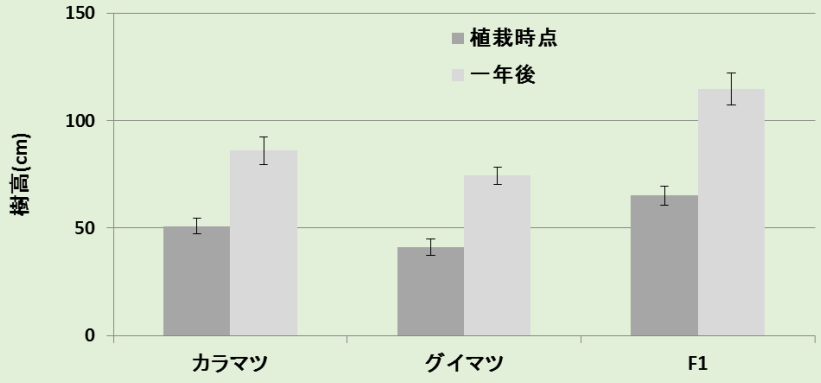
③クラッシャ等により丁寧に地拵をおこない、様子を見ながら、植栽2年目に下刈りを1～2回だけ行うことを目指します。

④斜面傾斜方向に植栽します。

■ 成果の概要

◆ 経費の高い下刈り回数を減らすためには、出来るだけ早く雑草高を上回われるように、初期成長の早い育種苗や大苗（ 70～ 80cm以上）の植栽が適しています。カラマツの育種苗（F1：クリーンラーチ）は、下図のように、植栽1年目に旺盛な樹高成長を示します。クラッシャ（前出）による徹底した地拵により雑草の侵入を遅らせ、苗木が速やかに大きくなれば、植栽本数を1000本/ha～1500本/haに減らす事が可能です。カラマツは強度の高い成熟材が15-20年（阿久津 2012）で現れるため、成長が早くても材質劣化が小さいと考えられます。

阿久津久他(2012)カラマツにおける間伐強度の違いが年輪構造や丸太のヤング係数に及ぼす影響．木材学会誌58:249-259



植栽時点および植栽後1年目の樹高

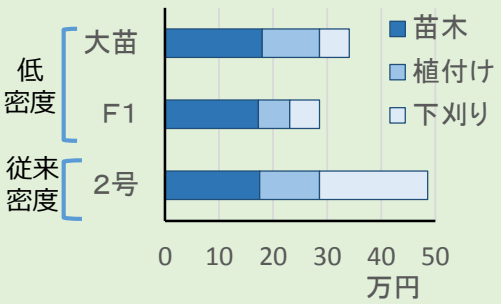
◆低密度植栽や育種苗(F1)・大苗は、優れた点ばかりではありません。植栽する場所や樹種に合わせて、適切な選択をすることが重要です。

低密度植栽、F1および大苗植栽で考えられるメリットとデメリット

	低密度植栽		F1（大苗[*1]）植栽
メリット	面積当たり苗木経費 →小 面積当たり造林経費 →小 成林後の風害リスク →小[*3]	利用間伐 →増[*2]	下刈りコスト→小 誤伐リスク →小
デメリット	歩留まり →小（ウラゴケ） 節の数 →多（低質材） 年輪幅 →大（低質材）	下刈りコスト →大 本数低下リスク →大	1本の苗木経費→大 1本の植栽経費→大(大苗) 活着不良リスク(風衝地)→大(大苗)

*1 現在大苗の入手は一般的に困難であるが、成功事例の積み重ねによる大苗生産に期待
*2 比較的若齢から個体サイズが大きくなり、材として利用可能となる
*3 形状比が小さいため

◆カラマツ2号苗（2500本/ha）に対する、F1（1000本/ha）およびカラマツ大苗（1500本/ha）の植栽コストの比較では、F1で41%、大苗で30%のコスト減になりました（下表、右図）。

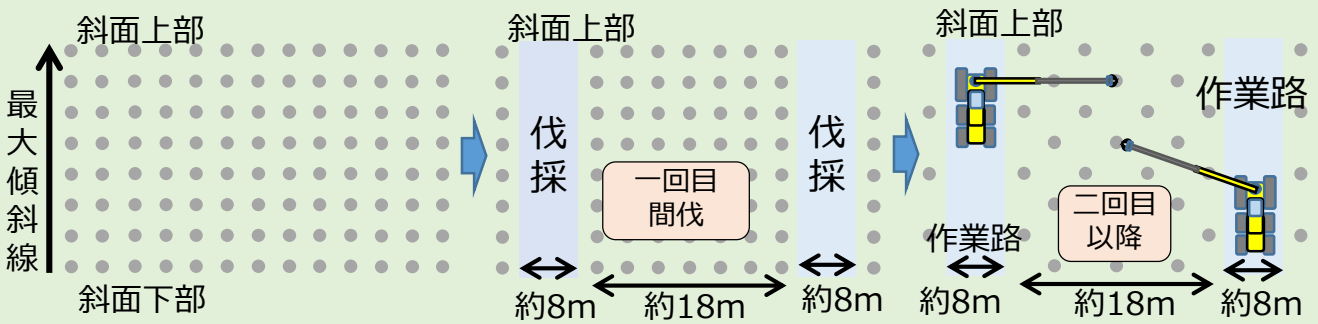


カラマツ2号苗とF1、大苗の植栽下刈り経費の比較

種類	カラマツ2号苗 (2,500本/ha[通常密度])	F1 (1,000本/ha[低密度])	カラマツ大苗 (1,500本/ha[低密度])
苗木	17.5万円/ha （¥69.8×2,500本/ha）	17.3万円/ha （¥173×1000本/ha）	18万円/ha （¥120[*1]×1,500本/ha）
植付	11.1万円/ha （普通苗 2,800本/ha以下）	5.8万円/ha （普通苗1,300本/ha以下）	10.6万円/ha （[普通苗1,800本/ha以下:8.2万円]×1.3[*2]）
下刈り	20.0万円/ha （年2回を1年間、年1回を2年間） （9.0万円[2回刈り]＋5.5万円[1回刈り]×2）	5.5万円/ha （年1回を1年間） （5.5万円[1回刈り]×1）	5.5万円/ha （年1回を1年間） （5.5万円[1回刈り]×1）
合計	48.5万円/ha	28.6万円/ha	34.1万円/ha
		41%削減	30%削減

（各単価は平成27年度北海道標準単価表より、傾斜10度以下、ササ高1m以下で抽出）　*1 本研究での単価
*2 大苗の植栽効率は普通苗の1.3倍と試算（本研究成果）

◆将来の間伐や主伐の機械伐採作業を考え、傾斜面方向へ植栽することが必要です。植栽中に苗木を取りに行く場所を考えて、あらかじめ保管場所を分散しておくことも重要です。



間伐・主伐の効率的機械伐採に対応した植栽方法の例

カラマツコンテナ育苗

- 大型のコンテナ苗
- 高速育苗

■ 方 法

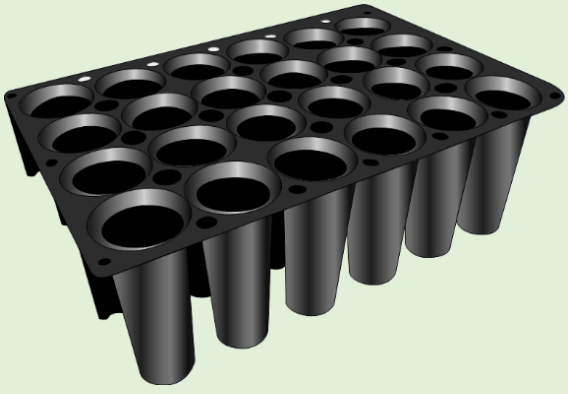
① セル容量が大きく密度が低いコンテナ（例えばマルチキャビティコンテナJFA300）を使用します。

② 加温機能のある温室で育成します。

③ ２月～３月に培養土（ヤシ殻繊維の破砕物（ココピート®）100%）に直接播種します。

■ メリット

◆ 経費の高い下刈りコスト削減には、カラマツ大苗の植栽が効果的です。しかし、苗畑での育苗では、３年以上かかってしまいます。一方、コンテナを用いた温室での育苗は、温度、灌水、施肥、雑草等の管理が容易であり、１生育期間で苗高70～ 80cm以上の大苗を育苗することが出来ます。また、コンテナによる育苗は、育苗の省力化、低コスト化につながるだけでなく、従来の裸苗の根にくらべて根鉢が小さいため植栽効率の向上につながります。

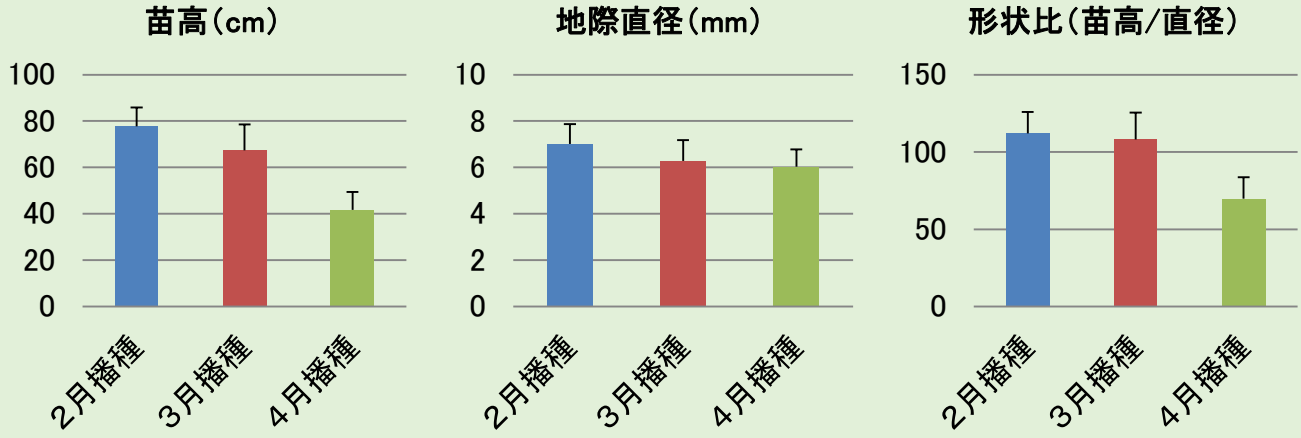


マルチキャビティコンテナ（JFA300）

1年で80cmを超えたコンテナ苗

◆ 苗高70～ 80cm以上の大苗をコンテナで育苗するには、3月に播種して1ヶ月程度の間、温室を10℃以上に保つ必要があります。一方、通常サイズのコンテナ苗を育苗するには、4月に播種すれば良く、加温の必要はありません。

下記の方法でコンテナ大苗を育苗した場合、形状比（苗高と直径の比）が高くなり、徒長気味の苗となっています。このような苗は土壌の乾燥に弱い性質があるため、植栽場所や植栽時期の選定には注意が必要です。



＜参　考＞

【具体的なコンテナ大苗育苗方法】

① マルチキャビティコンテナ（JFA300）を使用し、培養土としてヤシ殻繊維の破砕物（ココピート®）100%を用います。
② 購入時のココピートは、乾燥し撥水性が高いため、キャビティに詰める前に水に十分なじませます。
③ 肥効期間の長い緩効性肥料を用います。ここでは、（株）ハイポネックスジャパンのオスモコートエグザクトスタンダード（15:9:11）溶出期間8～9ヶ月を10g/L用いました。
④ 肥料が少ないため、培土に均一に混じるように注意します。
⑤ 潅水は、1キャビティ当たり約10cc/日行います。
⑥ 灌水には、散水システムがあるとよいでしょう。
⑦ 播種は2月～3月に行い、最低気温が10℃を下回らないように加温機能のある温室で育成します。
⑧ 播種はコンテナに直接行います。発芽率に応じて複数粒播種し、発芽後1本にしたてます。

◆ コンテナ苗植栽の意義と今後

一貫作業を行う場合、伐採～地拵時期に合わせて植栽する必要があり、裸苗よりも植栽可能時期が長いコンテナ苗が重要な役割を演じます。しかし植栽適期には裸苗を使う、道沿いの運搬コストがかからない場所には大苗を使うなど、さまざまなオプションとコンテナ苗を組み合わせることが必要でしょう。

今後、コンテナ大苗植栽試験を行い、活着、生残などの植栽成績を調べていきます。また、裸苗に比べて割高なコンテナ苗の価格を、一粒播種による育苗作業の省力化や生産規模の拡大などによって下げることも課題の一つです。

コスト

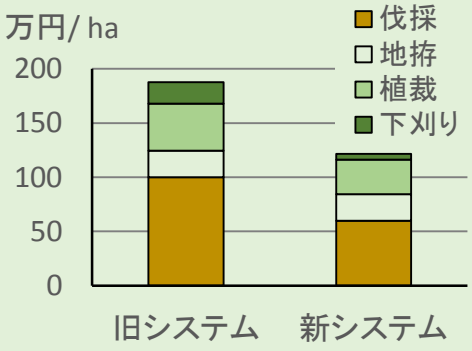
- 伐採・造林の総コスト
- CTLシステムの適用範囲

■ 条件によっては３割コストカットが可能

伐採から造林までのコスト（円 / ha）				
		旧システム	新システム	コスト比率
伐採搬出費		¥1,000,000	¥600,000	40.0%
地拵費		¥246,435	¥245,050	0.6%
造林費		¥630,962	¥371,527	41.1%
造林費内訳（直接費のみ）	苗木代	¥174,500	¥173,000	0.9%
	植付	¥111,262	¥57,856	48.0%
	下刈り	¥199,593	¥54,934	72.5%
経費合計		¥1,877,397	¥1,216,577	35.2%
haあたりの立木蓄積は200m^{3}で計算				

- 伐採搬出費、地拵費、造林費には間接費を含む。
- 旧システムの地拵費、造林費は北海道27年度造林事業標準単価より。
- 旧システムは5ページの伐採搬出システム。
- 新システムはCTL伐採、クラッシャ地拵、F1植栽の費用。

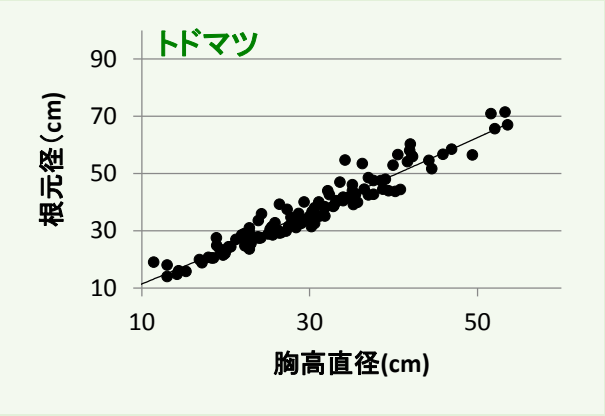
- CTLシステムによる帯状伐採で伐採搬出費が大幅にコストダウン可能となります。上の表および右図のように、旧システムに比べて約3割のも可能です。
- クラッシャによる地拵と大苗植栽により下刈りの回数を低減することで、コストを下げることが期待できます。

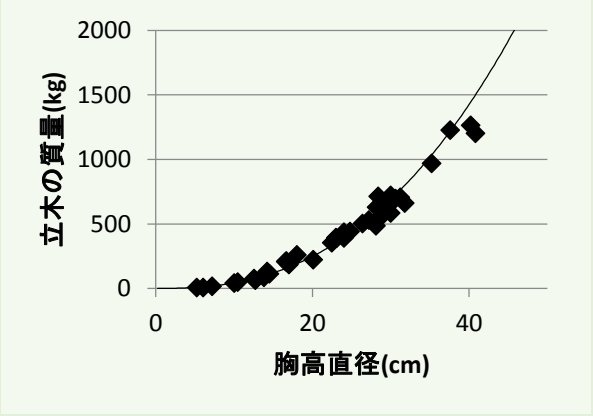


伐採から造林までのコスト比較
（上記表データのグラフ）

- 立木蓄積が大きくなると伐採コストは下がります。
- 単木材積が大きくなると伐採の生産性が上がりますが、機械の能力を超えた大きさになると別の作業システムを選択する必要があります。

■ ＣＴＬシステムの適用限界





- ハーベスタの伐倒造材径は450～600mm程度です。根元径と胸高直径の関係は調査の結果、左図のとおりで、胸高直径450mm以下であれば鋸断が可能だとわかります。
- 胸高直径と立木の重量の関係を右図に示します。伐倒する立木の重さは、胸高直径35cmの時に1t、45cmで2tと推測されます。12～13tの油圧ショベルベースマシンで持ち上げられる重さを考慮すると、胸高直径が35～45cmの立木に安全で効率的な作業の限界があると言えます。

＜参　考＞

- 林業専用機　伐木造材 180m^3／人日　集材100m^3／人日
- システム生産性 60m^3／人日（付帯作業等を含まない）

本プロジェクトの調査では、林業専用機による帯状伐採のCTL作業で極めて高い生産性を得られることがわかりました。ただし、この生産性には機械の整備や運搬等にかかる時間は考慮されていません。また、機械の償却を考えると、高い生産性が上げられる現場を長期間確保することが重要となります。

林業専用機 PONSSE 社　ハーベスタ BEAVER とフォワーダ GAZELLE による伐採作業

環境への配慮

- 残存木損傷
- 林地攪乱

■ 環境配慮の考え方

効率と安全に優れた車両機による作業システムは、伐っては植えて育てるという長い循環の中で繰り返し使われるものです。機械が林内で作業する際には森林の環境が持続的に保たれるような配慮が重要です。

1.木を傷つけない

立木が傷つきやすい間伐では

建機をベースマシンとする場合、間伐方式を工夫する（10m幅以上の帯状伐採）にすることで傷の発生を15%程度に減らせます。

主伐（伐採再造林）では

20～30m幅の帯状伐採を行うことで、残存木の傷はほとんど発生しません。

先進機（林業専用機）は狭い林内の取り回しにすぐれ、定性間伐でも立木の傷の発生を5%以下に抑えることができます。

2.土を荒らさない

重量のある機械が踏みつけることで、土が締め固められること（土壌圧密）があります。とくに土が水分を含んだ状態で機械が何度も往来した場合には、表土が泥ねい化し、さらに深いわだちが生じることになります。このような場所が乾燥すると、表土は非常に堅くなるのでもっとも注意が必要です。その後に植栽される苗木の成長への悪影響が懸念されます。

今回の実証試験では、機械の走行回数が40回を超えるような場所でも、苗木は枯れたりしませんでした。クラッシャ地拵や積荷のフォワーダが数往復走行した程度では苗木に影響を与えることはなさそうですが、効率の上でも回数が多くなり過ぎない計画が重要です。

伐木の枝条を機械の進路に敷き詰めると圧密や立木の根の傷を減らせることがわかりました。積雪も同じ効果があります。

林地に配慮した作業を行えば、踏みつけにより一時的に締め固まった土も年数がたつと元に戻ります。

この手引きは、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「先進機械を活用した伐採・造林システムによる低コスト人工林管理技術の開発」（平成25～27年度）における研究成果の一部（森林総合研究所交付金プロジェクト研究とJSPS科研費補助金25450228の一部も含む）を取りまとめたものです。手引きに関するお問い合わせは、下記までお気軽にお尋ねください。

2016年 2月24日発行

編 集
「先進機械を活用した伐採・造林システムによる低コスト人工林管理技術の開発」プロジェクトチーム
（森林総合研究所、下川町、一般財団法人下川町ふるさと開発振興公社）

発 行
国立研究開発法人　森林総合研究所　北海道支所
〒062-8516　札幌市豊平区羊ヶ丘７
TEL:011-590-5503
FAX:011-851-4167
E-mail: www-ffpri-hkd@gp.affrc.go.jp

※本誌掲載記事および写真の無断転載を禁じます。

リサイクル適正の表示：紙へのリサイクル可