

分野：林業

林業の省力化・低コスト化を可能とする技術体系

試験研究計画名：コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究

研究代表機関名：国立研究開発法人森林総合研究所

開発のわらい

攻めの農林水産業では林業の成長産業化を重点事項の一つとして取り上げ、2020年までに国産材の供給力を倍増することをめざしています。そのためには、搬出間伐を推進するとともに、伐期に達した成熟人工林の皆伐を促進することが欠かせません。現在材価の上昇が望めない中、再造林コストの高さが障害となり、民有林では皆伐自体をためらう傾向が強く、さらには皆伐後の再造林放棄地の増加が全国的に問題となっています。これまで各地の木材生産現場では、収益性を改善すべく、高密度・低コスト路網の整備や高性能林業機械の導入による伐出作業の生産性の向上及び低コスト化が図られてきました。他方、皆伐後の再造林に関連する地拵え・植栽・下刈りの一連の作業については、コスト削減技術の開発・実証は大きく立ち遅れているのが現状です。

こうした問題の解決に向けて、幾つかの地域でコンテナ苗を活用した一貫作業システムの導入や、下刈りコストの削減による低コスト再造林技術の開発が行われています。しかしこの各地域での成果は、多様な環境を持つ日本全国の林業地に一律には適用できないケースが多いため、低コスト再造林技術の全国適用に向けては、まずコンテナ苗の低価格化と品質向上を進めることが重要です。

そこで、皆伐から植栽までの生産性を調査し、コンテナ苗の植付け器具の評価を通じて低コスト更新作業システムの開発を行いました。具体的には、低コストコンテナ苗生産技術の開発、効率的・高品質苗生産のための生理解析、コンテナ苗の植栽成績に基づく適地や植栽後の雑草木競争効果の解明を通じ、コンテナ苗等の高度利用技術の開発を行い、地域ごとの立地環境や林業事情に応じた再造林システムを提言することを目的としました。



写真 1 高性能林業機械を用いた主伐（左）と、それに続く地拵え（上）

技術体系の紹介

1. 一貫作業システムとコンテナ苗とは

一貫作業システムとは、主伐作業後すぐに造林作業を行う施業法のことです（図1）。主伐に用いた機械を地拵えや苗の運搬等の造林作業に使うことや、作業の通年平準化を進めるために植栽可能期間が裸苗より長いコンテナ苗を活用するといった特徴があります。要は、「次の作業」の事をよく考えて「今の作業をする」という簡単な事です。

コンテナ苗とは、マルチキャビティコンテナ（以下、コンテナ）と呼ばれる育苗用の筒が連結した容器で育てた苗木のことです。園芸用ポットと異なり、コンテナの各筒の内部には細い翼（リブ）や孔（スリット）が縦方向にあり、根巻きを防止する仕組みが施されています（写真2）。苗木を取り出す際には、筒内で発達した根系を培土ごと抜き取れるため（“根鉢”という）、根の痛みが少ないだけでなく、運搬・仮置き時でも乾燥に強く、露地栽培される従来の苗（裸苗）よりも植栽できる時期が長くなる特徴があります。

2. 主伐の機械による生産性

伐出システムについては、先進的林業機械や高性能林業機械をうまく組み合わせることで、伐出生産性が20m³/人・日以上

と、従来型の1.2~2.5倍に向上しました。コンテナ苗の運搬については、急斜面で架線を利用すれば0.76人日/ha（人力運搬5.57人日/ha）、また緩傾斜地でフォワーダ（集材機）を利用すると、作業時間が0.5時間（人力運搬3.9時間）となり、それぞれ最大で5倍程度の運搬作業の効率化と労働軽減が見込めることがわかりました。一方、地拵え作業は、緩斜面でグラップル等の機械を使用する生産性は向上しますが、急斜面だと作業可能な面積が小さくなるため、機械による作業でも生産性は向上しませんでした。

3. コンテナ苗を用いた植栽作業の作業性と生産性

コンテナ苗の植付け作業には、スペード、ディブル、プランティングチューブという専用の植栽器具を使用します（写真3）。これらは立った状態での作業が基本になるので、裸苗で用いられる唐グワよりも腰への負担が軽減されます。また林業従事者へのアンケート調査からは、コンテナ苗の植付け作業は、「苗木の運び易さ」を除く全ての項目で裸苗より良いという評価が得られまし

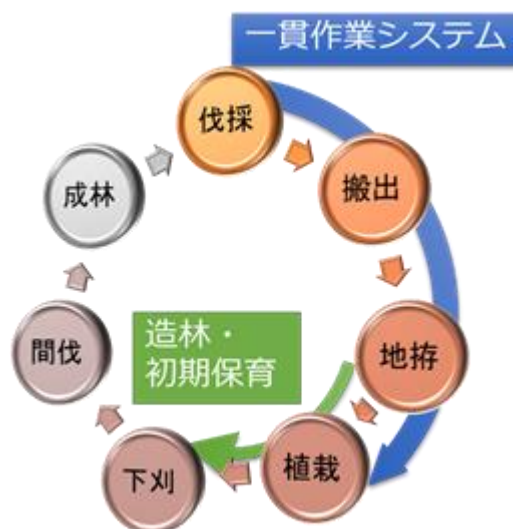


図1 一貫施業システムの概念図



写真2 スリットタイプのマルチ・キャビティコンテナ（左）と、リブタイプ・コンテナで形成された根鉢（右）

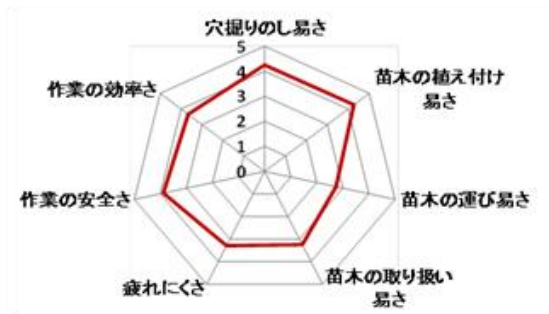


図2 (上) コンテナ苗の植栽作業に対する評価



写真3 コンテナ苗用の植栽器具

た(図2)。コンテナ苗を用いると、植付け作業が省力化でき、かつ安全になるといえます。

こうした植栽器具を用いたコンテナ苗の植栽効率を、傾斜の異なる3ヶ所の試験地で調べました。その結果、コンテナ苗は傾斜とは関係なく、裸苗を丁寧に植栽した場合に比べて、2倍ほど速く植栽できることがわかりました(図3)。また、中傾斜地では緩傾斜地よりもコンテナ苗の植栽効率が高くなる傾向がみられますが、同じ場所ではいずれの植栽器具を用いても植栽効率に大きな差がないことがわかりました。

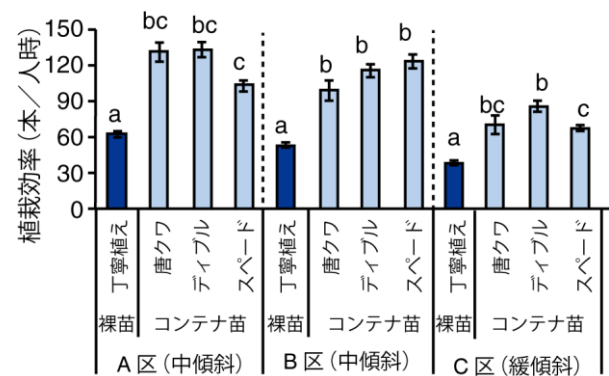


図3 斜度の異なる傾斜地における植栽器具別の植栽作業効率

4. コンテナ苗の大量生産に向けて

スギ、ヒノキ、カラマツといった日本の主要造林樹種は、発芽率が一般に30%以下と低いのが欠点とされています。コンテナ苗の生産を効率よく行うためには、種子をコンテナに直接播種し育苗するのが理想的ですが、発芽率の低さがコンテナ苗の低コスト化のネックとなっています。そこで、直接一粒播種による効率的なコンテナ苗の生産を目指すために、発芽率の高い種子(充実種子)を判別する新しい技術を開発しました(写真4)。

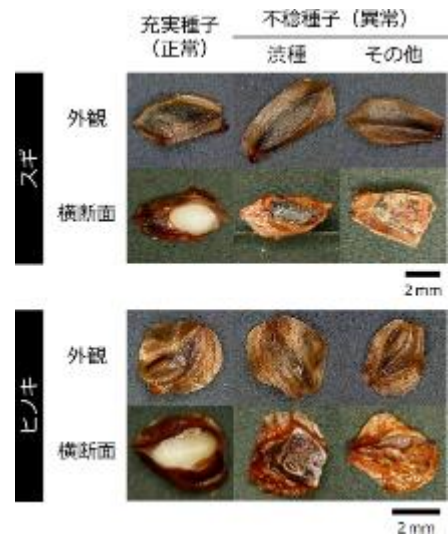


写真4 充実種子と不稔種子

充実種子と不稔種子は外観では区別することができませんが、今回開発した近赤外光の反射特性を利用する手法により、正常な胚や胚乳の構造・成分を備えた充実種子だけを選別することが可能となりました。また、実際に選別した種子は、休眠や劣化をしていなければ90%以上の発芽率を示すことがわかりました(図4)。しかし、スギやヒノキの種子は保管年数が経つと休眠が深まるなど、充実種子で

も発芽率が低下することが知られています。このため、種子の休眠を効果的に解除する手法が開発できれば、今回の種子選別技術に組み合わせることで、より高い効率でコンテナ苗の生産が可能となります。

また、コンテナへの播種や土詰め作業は、現在手作業で行われていますが、コンテナ苗を大量生産するためには、これらの作業の機械化・自動化が求められています。

そこで、園芸分野ですでに普及している作業用機械が山林種苗にも適用できるかどうか、コスト面も含めて検討しました（写真5）。その結果、技術的な問題は少なく、また年間の苗木生産本数が100万本以上であれば、自動培地充填機を使用した土詰め作業能力は240トレイ／人・日と、人力で行う場合の40トレイ／人・日に比べて6倍も効率的に生産できることがわかりました。

またコンテナの形状にはいくつかの種類がありますが、樹種によっては根鉢の側方にも根端が形成されるスリットタイプのコ



写真6 開発したスリットタイプ・コンテナ

ンテナの活着成績が良いといわれています。そこで今回、国内で初めてスリットタイプのコンテナを開発し販売を開始しました（写真6）。

5. コンテナ苗の早期出荷に向けて

カラマツのコンテナ苗は、通常苗畑で1年育てた後にコンテナに移植し、その後1~2年かけて育苗するため、生産コストが高くなります。そこでコンテナに直接播種し、育苗期間を1年と短縮した苗（1年生苗）について活着や成長を調べました（図5）。

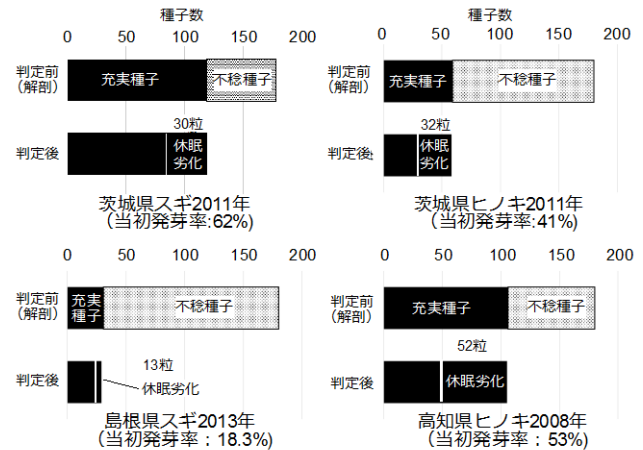


図4 開発技術の選別能力と選別後の種子の発芽率

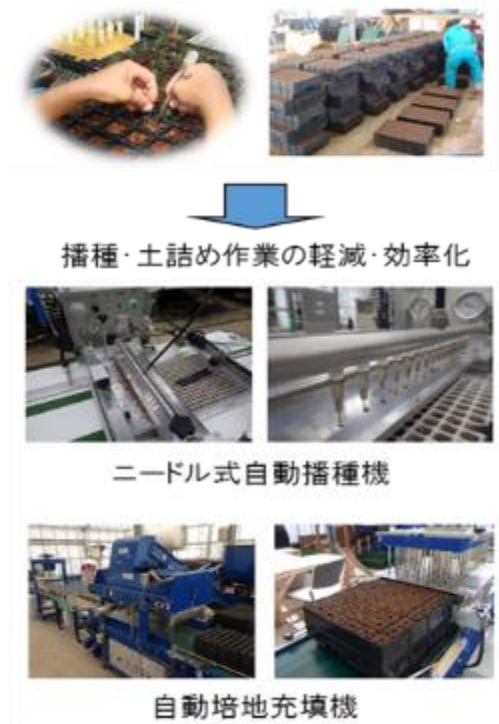


写真5 苗木コンテナ作成の自動化

2つの容積サイズ（150ccと300cc）のコンテナに直接播種して育てたカラマツの1年生苗は、2年生の裸苗と比べて根の成長が旺盛で、植栽年の秋には裸苗とほぼ同程度の根重になりました（図5）。また植栽から2ヶ月間は、形状比（苗長／根元径）が高い苗木ほど枯死しやすいことがわかりました。さらに、温室で育苗する際、その時期や期間によって、苗の形状比がどう変化するかを調べたところ、温室での育苗期間が短いほど、形状比が小さくなる傾向がみられました。これらのことから、例えば4月下旬に播種する場合は、7月上旬には温室から野外に出して外気温に順化させて育苗期間を短めにする方が、小さな形状比の苗木となり、より高い活着が期待できます。

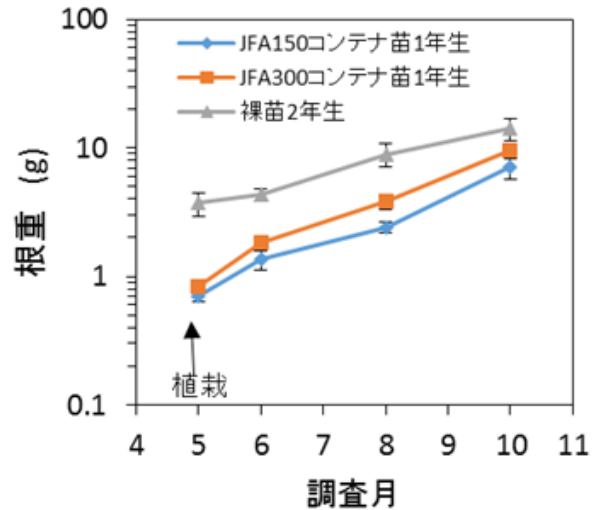


図5 異なるサイズのコンテナで栽培したカラマツの植栽後の根量変化

6. コンテナ苗の植栽成績

コンテナ苗は、通年植栽の可能性や植栽後の大きな成長量が期待されていますが、地域の気象条件や樹種の違いで、活着や成長がどれくらい左右されるのかよくわかっていません。そこで、全国各地で行われているコンテナ苗の植栽試験データを収集し、一般的な傾向や特徴について分析しました。

北海道のカラマツ・コンテナ苗は、6～7月に植栽すると活着率が下がりましたが、それ以外の季節の植栽では概ね良好な活着率が保たれました（図6左）。関東のスギ・コンテナ苗においても、やはり7月の植栽では活着率が低下しますが、それ以外では高い活着率を示しました。関西のヒノキ・コンテナ苗では春～秋植栽の活着率は80%以上となっています（図6右）。これまでの報告では、九州の挿し木スギ・コンテナ苗の活着率が年間を通じて90%以上となって

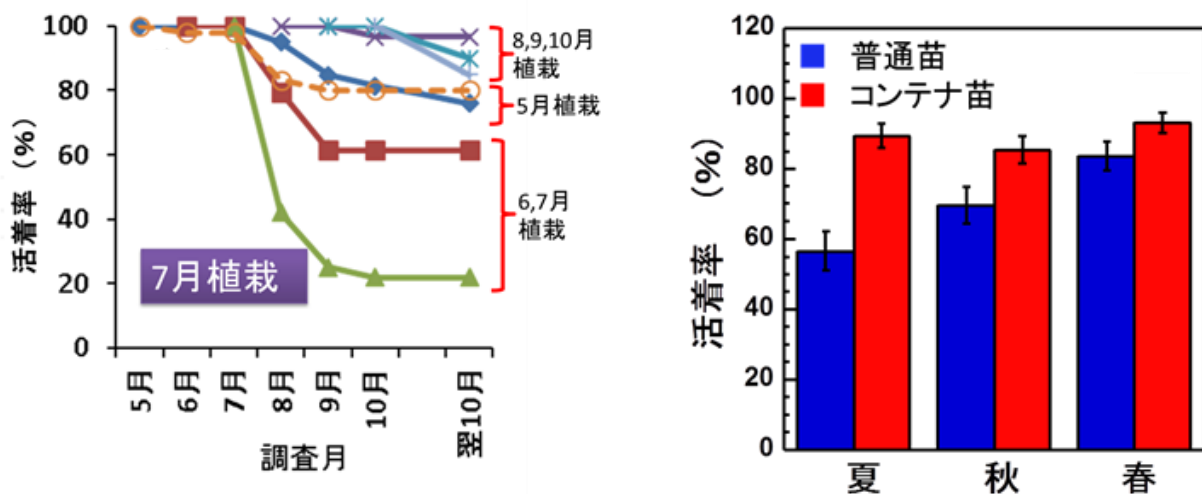


図6 異なる時期に植栽したカラマツ・コンテナ苗（左）とヒノキ（右）の活着率

おり、全般的にコンテナ苗は裸苗に比べて高い活着率を示します。一方、春～夏季の小雨による乾燥害や、秋～冬期の低温による寒風害、凍害、霜害の事例も報告されており、植栽可能時期の選定は、地域によって状況を良く見極めることが大変重要です（写真7）。

主伐後、コンテナ苗を現場に植栽したときの成績を、カラマツ、スギ、ヒノキについて、全国で比べてみました。その結果、樹高や直径の平均成長率は、コンテナ苗は裸苗と同程度でした（図7）。試験地によってはコンテナ苗が大きい場合、裸苗が大きい場合など様々な結果が得られていますが、一般に両者の差は小さく、一概にコンテナ苗の成長が裸苗に比べて良いとはいえないことがわかりました。コンテナ苗は裸苗に比べて出荷時の苗高が小さいことが多いため、初期成長がとくに優れていないことも考慮すると、現状では、コンテナ苗の利用による下刈りの軽減はあまり期待できないと言えます。

7. 下刈り省力の方法と可能性

植栽後5~6年にわたり毎年行う下刈り作業は、造林作業の中で最も労力と経費がかかるため、低コスト再造林では下刈り作業の省力化が大きな課題となっています。そこで、主に西日本を対象に、植栽木と競合する雑草木の生育特性や、下刈り回数を減らした場合の植栽木（スギ裸苗）への影響を調べました。その結果、競合雑草木はサイズが大きくなると駆除が困難になることに加え、駆除後の萌芽再生能力も高くなることがわかりました。したがって、主伐作業後、雑草木が繁茂する前に速やかに地拵えと植栽を行うことが重要になります。

また下刈りを植栽後6年間連続して行った場合に比べ、



写真7 寒風害で枯損したスギ・コンテナ苗

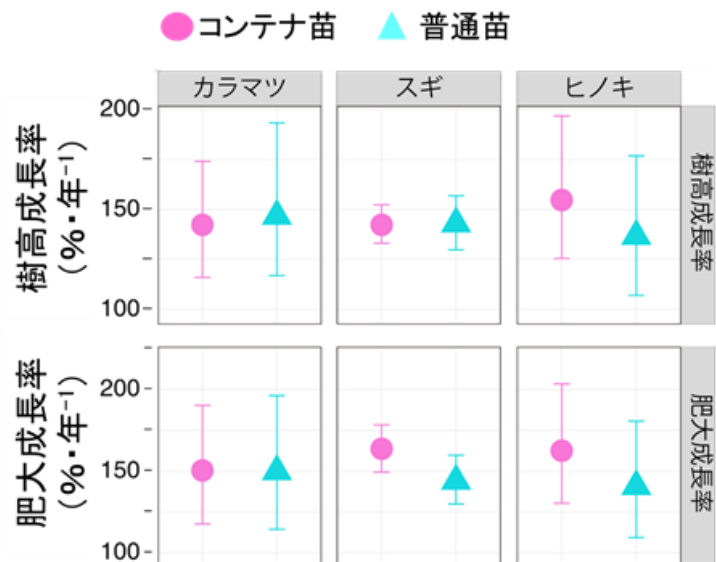


図7 全国の植栽試験から推定した樹種毎の成長率

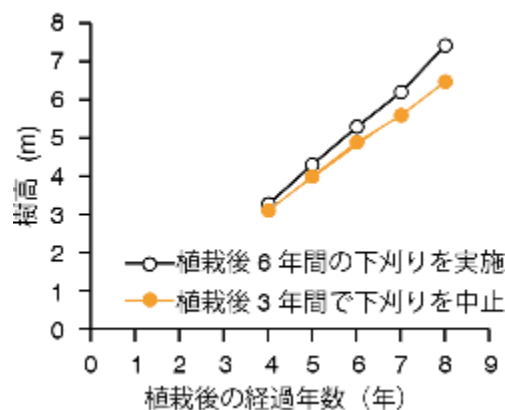


図8 異なる下刈り期間に対するスギ苗の樹高成長

3年で止めた場合、植栽木の樹高成長は1~2割の低下で済む可能性があることがわかりました(図8)。つまり、常に競合雑草木を完璧に刈り取るのではなく、植栽木の頂端が雑草木に覆われた場合にのみ下刈りをするなど、競合雑草木と苗木の成長関係を見極めながら作業することで下刈り回数を半分程度まで削減できる可能性があります。

技術体系の経済性

1960年代の拡大造林以降、人工林は積極的に主伐が行われることは無く、伐採作業は保育間伐が中心でした。現在国内の多くの人工林は10-11齢級と主伐期を迎え、これからの更新のためにも伐採-再造林が必要となります。しかし林業先進国の北欧に比べて、わが国の林業は5-10倍ものコストがかかっています。各作業工程を少しでも改善し、林業全体の省力化・低コスト化を図り、多くの森林を若返らせながら林業を地域経済の柱にしていく必要があります。

コンテナ苗を活用した低コスト再造林の技術体系では、第一に先進的機械による主伐作業の機械化が重要となります。今回の取り組みでは、主伐の生産性は概ね $20\text{m}^3\sim 24\text{m}^3/\text{人日}$ となる場合が示されました(図9)。これは、間伐時の生産性 $3\text{m}^3\sim 4\text{m}^3/\text{人日}$ をはるかに凌ぎます。ただし、この数値は作業地の傾斜などに左右されるため、高性能林業機械を導入して主伐を行う場合、この数値以上を目標にすることで林業の経営が改善されると考えられます。また主伐以降の作業は、すべて次の主伐のための先行投資と考えられます。そしてより効果の高い投資のために一貫作業システムが重要な役割を演じます。一貫作業システムの導入により、主伐から育林作業まで、全工程の時間的平準化を図ることができます。そのため高額な高性能林業機械の固定費を下げることで、また労働者の安定的な雇用に繋がると考えられます。

コンテナ苗の価格170-200円/本は現状裸苗の2倍ですが、本研究ではコンテナへの直接一粒播種実現の為に充実種子を判別する技術を開発しました。この技術を応用することでコンテナ苗の生産コストが下がることが期待されます。一貫作業システムは主伐から植栽までを一連の工程で行うために、苗木の植栽が一年を通して行われるという問題も生じます。このため、植栽作業量が増大する恐れがありますが、コンテナ苗の植栽速度は裸苗よりも最大で2倍程度速くなることが期待されるため、現場での厳しい作業を省力化することができます。またコンテナ苗の活着率は、裸苗の非植栽適期においても高いことが示され、一貫作業を通じて造林コストの低減に期待することができます。一方、コンテナ苗の樹高成長は裸苗と比べて特段に優れている場合は少なく、一般的には雑草木の競争に有利ということは無いようです。本技術は個別技術の組み合わせによる体系となるため、地域に応じて適切にカスタマイズすることで、本技術体系の経済性がより明確になります。

こんな経営、こんな地域におすすめ

本技術の導入にあたっては、ここで提案する個別要素技術を地域の条件に応じてカスタマイズして利用することが重要です。

例えば急斜面で降水量の多い地域では、架線で搬出を行った後、架線撤去前にコンテナ苗を林地に搬入し、コンテナ苗を枝条等で被覆したうえで一時保管しながら順次植栽を行う。一方緩傾斜地で降水量が少ない地域や時期では、車

両系機械を用いて主伐を行いつつ、降雨をみはからいながらフォワーダで苗木を搬入、植栽を行うといった具合です。また植栽樹種ごとに適した作業システムも異なりますので、同じ地域であっても樹種ごとのカスタマイズが必要になります。

どの地域にも言える最も重要なことは、機械を利用しながら作業効率を上げ、年間を通じて労働力を平準化することです。そのためには大きな施業地を確保したうえで、伐採から造林まで、年間の作業計画を立てる必要があります。従って優れた森林プランナーや森林総合監理士による民有林への啓蒙普及を行い、流域一丸となった森林経営ができると、より効率的・省力的に低コスト林業を進めることができるでしょう。

技術導入にあたっての留意点：

一貫作業システムの導入には、同一の業者が伐採・造林を行い、自身が行う「次の作業」の効率を考えた「今の作業」の実施が重要です。伐採・造林を異なる業者が行う場合、作業の発注時に各業者が十分に話し合うことも必要です。また規模の小さい民有地は、共同施業団地等を構築して集約化すれば、一貫作業システムの作業効率が上がります。また、コンテナ苗の生産は小面積で済みますが、ハウスの建設や温度管理等機械設置に関する初期投資が必要となります。また高発芽率の種子を用い、コンテナを無駄にしない必要があります。こうした初期投資に対する行政側からの支援も必要になるでしょう。安価なコンテナ苗の出荷には技術の進展とともに、安定した需要が求められます。そのためには計画的な主伐事業とその実行に伴う需給調整も重要な課題です。

研究担当機関名：国立研究開発法人森林総合研究所、地方独立行政法人北海道立総合

研究機構、宮城県林業技術総合センター、長野県林業総合センター、岐阜県森林研究所、新潟県森林研究所、静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター、富山県農林水産総合技術センター、石川県農林総合研究センター林業試験場、島根県中山間地域研究センター、岡山県農林水産総合センター、高知県立森林技術センター、徳島県立農林水産総合技術支援センター、福岡県農林業総合試験場資源活用研究センター、長崎県農林技術開発センター、大分県農林水産研究指導センター、宮崎県林業技術センター、国立大学法人東京大学、学校法人東京農業大学、国立大学法人信州大学、国立大学法人九州大学、国立大学法人宮崎大学、国立大学法人鹿児島大学、住友林業株式会社、株式会社東北タチバナ

お問い合わせは：国立研究開発法人森林総合研究所植物生態研究領域 物質生産研究室

電話：029-829-8221 E-mail:utsugi@ffpri.affrc.go.jp

執筆担当（国立研究開発法人森林総合研究所植物生態研究領域 宇都木玄・壁谷大介）

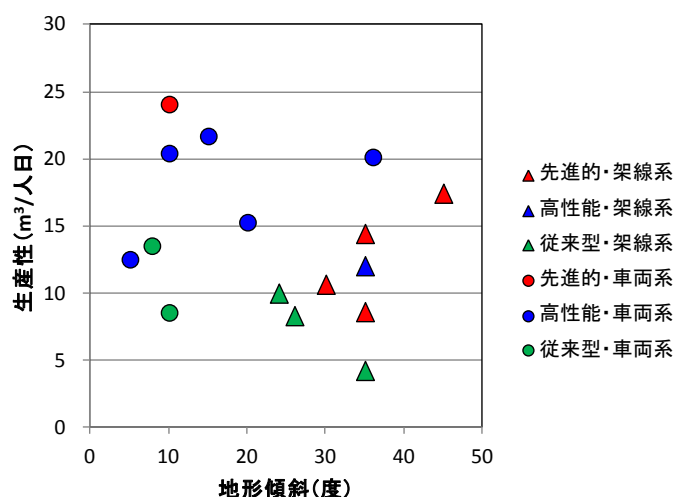


図9 伐採システムの生産性比較