

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

持続的な林業生産を得るための提案

平成 30 年 1 月

Proposal for Obtaining Sustainable Forest Production

Strategy for Technology Development

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2017-PP-08

概要

持続的な林業生産を得るためには、単位面積当たりの蓄積を増やし、効率的に伐採した後に、確実に再造林を行うことが重要である。再造林にあたっては、一貫作業システムを用いるとともに、地拵の機械化と下刈りの省略技術の高度化が必要である。下刈りを省力化するためには、成長の早い苗木の作出と苗木価格の低減も課題である。

Summary

In order to obtain sustainable forest production, it is important to increase the tree volume accumulation per unit area, to ensure that reforestation is carried out after efficient logging. In reforestation, it is necessary to use a consistent work system from logging to reforestation, and to upgrade mechanics of land preparation and skill of omission of weeding on forest floor. In order to save labor for weeding on forest floor, it is also a task to produce good quality seedlings that grow quickly after plantation and to reduce the price of that seedlings.

目次

概要

1. 背景と技術課題	1
1.1 背景 1：森林の蓄積の問題	1
1.2 背景 2：森林機能の問題	1
1.3 背景 3：再造林の問題	1
1.4 解決すべき技術課題	2
2. 個別要素作業技術の高度化による省力化	3
2.1 一貫作業システムとは	3
2.2 地拵から苗運搬の機械化による作業工程の低減	4
2.3 コンテナ苗の利用と技術開発	5
2.4 下刈りの低コスト化	6
3. システム技術と考察	7
3.1 下刈りにつながる地拵	7
3.2 造林－保育システムとしてのコスト削減	7
4. 政策立案のための提案	9
参考文献	9

1. 背景と技術課題

1.1 背景 1：森林の蓄積の問題

日本全国での森林賦存量は 50 億立方メートル、その年間成長量は約 2 億立方メートルと試算される。この莫大な森林資源を適切に利用することで、木材の生産・販売による地域活性のみならず、木材のカスケード利用¹⁾による木質バイオマスエネルギーの効率的・安定的な供給が見込まれる。森林資源を循環的・持続的に用いるためには、林業の効率化（低コスト化）により、伐採作業とそれに続く造林作業を適切に行う必要があり、この両者を同時に進める事ができなければ、持続的な林業活動は成り立たない。基本的な林業の効率化（低コスト化）は、主伐から次の主伐に至るまでのシステム全体の中で達成される必要がある。林野庁の試算では、50 年生のスギ人工林を伐採した場合、平均材積 414m³/ha に対して、歩留まり 0.75 として約 311m³/ha の出材量があり、これに全国平均の山元立木価格 2,804 円/m³ を乗じた木材収益は 87 万円/ha^[1]、造林後 50 年間にかかる費用は 114 万円/ha から 245 万円/ha であるため、山林所有者の収支はマイナスである。この赤字の解消のためには、基本的に単位面積当たりの蓄積を増やすことが重要である。現在のスギ人工林の連年平均成長量は 8m³/ha/年前後と考えられるが、もし連年平均成長量 15m³/ha/年の高い生産性の立地であれば 50 年で 750m³/ha の蓄積になる。森林所有者が収益を得るためには、林齢ではなく、立地条件と蓄積で主伐場所を選択することが重要であろう。単位面積当たりの蓄積が増えると出材量が増えるばかりでなく、機械による 1 日当たりの主伐面積を少なくでき、人力による 1 日の造林保育作業面積を減らす事ができる。また高い蓄積の森林であれば主伐効率が上がり、単位立方メートル当たりの主伐経費が下がる可能性がある。

1.2 背景 2：森林機能の問題

現在の齢級構成のピークである 50 年生とは、森林の成熟段階への入口と考えられる。森林は成熟段階から老齢段階に至る過程で木材生産機能を含め、環境保全機能、生物多様性機能等様々な生態系サービスを高度に発揮できるため、木材生産林の目標林型は森林が十分に成熟した段階に置くことが適切であるとされる^[2]。このため、森林機能の高度発揮の視点からも、まずは高蓄積林を把握して、さらに生産性の低い山は蓄積を増やすように伐期を長くし、単位面積当たりの収穫量を上げることが重要であると考えられる。実際、山岳地が多く気候的に北海道に似通ったオーストリアでは、90–120 年の高蓄積林（～700m³/ha）での主伐が主である^[3]。このことは、林野庁でも試算されており、人工林の林齢の平準化を進める中での将来像として、100 年後（2110 年）に平均伐採齢 90 年（約 720m³/ha の蓄積と考えられる）で、人工造林面積 7 万 ha/年^[4]を指向する状態としている。

1.3 背景 3：再造林の問題

スウェーデンと日本では、造林－保育経費の差が 4 倍以上と大きく^[5]、造林作業の効率化を進めることが技術的に大きな問題となっている。図 1 に明治 32 年から現在までの人工更新と天然更新（択伐施業²⁾）による造林面積を示すが、戦前までおよそ 10 万 ha/年の人工造林が行われた。終戦後の拡大造林期に最大で 40 万 ha/年となり、昭和 60 年あたりを境に現在の 2 万 ha/年まで減少傾向にある。こうした歴史の中で、現状の齢級構成の平準化を目指すためには、毎年約 10 万 ha の再造林地が必要とされる試算がある^[6]。さらに政府による木材自給率 50%（現状平成 37 年目標）達成目標や、今まさに生じている「造林未済地」の問題を早急に解決するためにも、省力的な再造林技術の開発が望まれる。

¹⁾ カスケード利用：本来の使い方が終わった後、下がった品質レベルに応じてさらに利用する事

²⁾ 択伐施業：主伐の一種（皆伐以外）であり、単木的に伐採し、その後確実な更新を図る必要がある施業

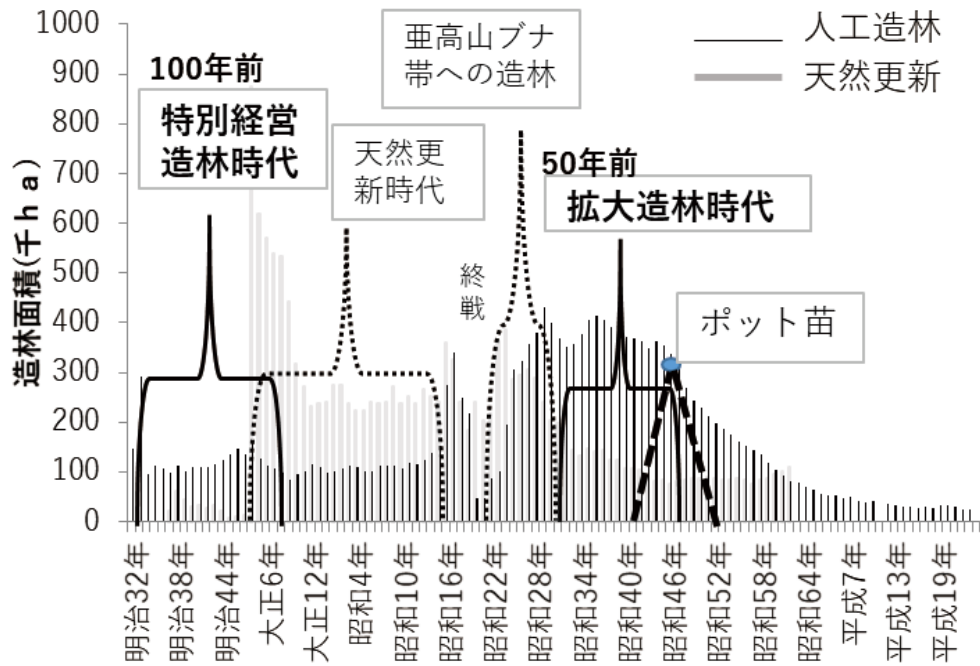


図 1 日本の造林面積の推移

1.4 解決すべき技術課題

こうした背景から本提案では、伐採と造林を連続的に進め、造林－保育経費の削減を図るための、「一貫作業システム」導入による個別要素作業技術の効率化と、個別作業システムの統合による効果を明らかにし、持続的な林業生産を得るための提案とする。

2. 個別要素作業技術の高度化による省力化

2.1 一貫作業システムとは

林業における主伐作業は、木を伐採してそれらをフォワーダと呼ばれる搬出機械で林外の所定の場所（山土場）に搬出する作業である。山土場で材は選別され、トラックで市場等に運搬される。造林作業の第一段階は、伐採された林地を、その後の植栽や下刈りが行い易いように整理する作業（地拵）と、苗木を植える作業（植栽作業）である。苗木は苗木業者が育て（育苗）、必要な本数を適切な時期に山土場まで運搬する。植栽された苗木が山に定着（活着）すると、その後は雑草が苗木を覆ってしまわないよう、雑草を数年間にわたり排除する（下刈り作業）。一貫作業システムは（図 2）、主伐を行った林業機械でそのまま地拵を行い、材の搬出を行った搬出機械で苗木を運搬し、主伐直後（または雑草の繁茂の前）に植栽まで行うシステムである。このことにより、植栽当年の下刈りを減らすことができる。さらに主伐と地拵是一年を通じて行われるため、裸苗（これまで伝統的に使われてきた普通の苗、野外の苗畑で育苗される苗）より比較的植栽可能時期が長いとされる「コンテナ苗」を利用することが重要である。

現在の全国平均の地拵一下刈りまでのコスト（造林ー保育コスト）を見ると、下刈り経費、地拵経費が高いことが判る（図 3）。「地拵を機械化」し、伐ったらすぐ植えることで「下刈り回数を削減」すれば、経費が高い二つの工程にメスを入れることができる。



図 2 造林工程と一貫作業システム

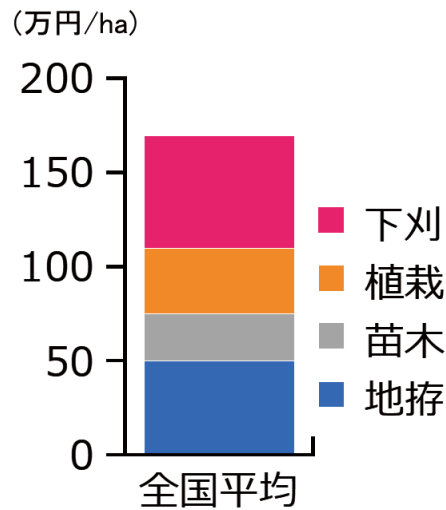


図3 全国平均でみた造林・保育コスト

2.2 地拵から苗運搬の機械化による作業工程の低減

現状では作業機械（エクスカベータ）の林内作業は、傾斜が20度未満の斜面または作業路上に限られる。長野県におけるエクスカベータにグラップル（木をつかむ構造のヘッド）を取り付けた地拵では、人力に比べて2～7倍の労働生産性が得られ、フォワーダを用いた苗木運搬能力は平均約2,000本/人時と報告されている[7]。関東における急斜面作業路上の地拵では、ロングリーチグラップルと呼ばれるアームの長いグラップルによる地拵事例があり（図4）、急斜面作業路上における通常グラップル地拵よりも8倍の面積を地拵できている。また北海道ではクラッシャと呼ばれるマルチャー型地拵機を用い（図5）、人力に比べて5倍の労働生産性を得ている（図6）。バケットは建設現場で見られる土壌採掘機であり、北海道では一般的な地拵機である。クラッシャは輸入製品で導入コストが高いため、バケットによる地拵とコストは変わらない。



図4 関東におけるロングリーチグラップルによる地拵



図5 北海道におけるクラッシャによる地拵

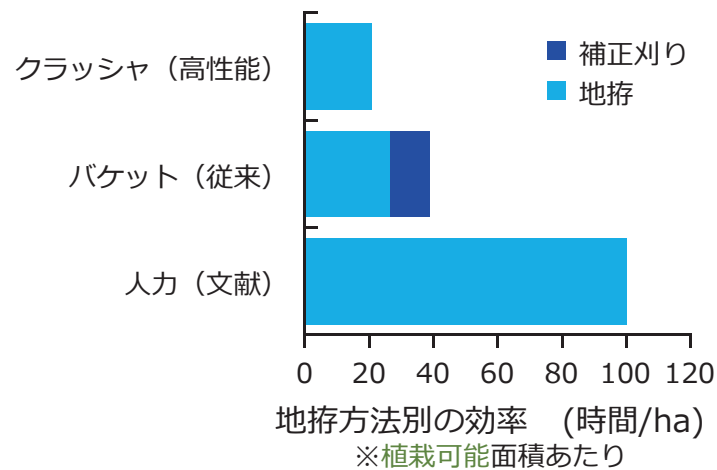


図 6 北海道における地拵効率の比較

2.3 コンテナ苗の利用と技術開発

コンテナ苗は一貫作業システムの効率化に貢献する。これは、コンテナ苗を用いた植栽作業の高効率化や長い植栽可能期間、そして高い活着率に依っている[7,8,9,10]。山での強い植栽労働強度に伴い作業員不足が大きく顕在化している現在、だれでも「簡単に植栽可能」であり、「高い活着率」を示すコンテナ苗の利用が、造林－保育工程では必須である。もう一方で、コンテナ苗は育苗効率においても裸苗に比べて優位性を示す。例えばハウスと自動灌水施設を利用して栽培すれば、天候に左右されずに一定品質の苗生産が可能となり、生産に必要な土地面積も小さくて済む。また、路地栽培（野外の苗畑での栽培）と異なり、雑草除去作業等が少なく労働負荷強度が小さくなる。しかし現状のコンテナ苗価格は裸苗の約 2 倍であり、効率的な生産工程の確立が必要である。コンテナ苗は、キャビティーと言われる栽培孔が複数結合したマルチキャビティー（図 7）で育苗される。スギ、ヒノキ、カラマツといった日本の主要造林樹種の発芽率は 50%以下であり、そのままキャビティーに一粒ずつ撒いて（一粒播種）発芽させると歩留まりが悪く、生産コストの増大に直結する。現状では発芽床に播種し、発芽した実生をキャビティーに移植することが一般的である。現在、近赤外線を用いて胚乳が充実した種子を選別し、高発芽率種子（90%以上を目標）を供給し、一粒播種で育苗するための技術開発が進展している[11]。さらに発芽勢を揃えて均質なコンテナ苗を作るために、小型のプラグトレイで発芽させ、プラグトレイ培地ごとキャビティーに移植する技術も検討されている。こうした技術革新を推進し、裸苗と同等の価格まで下げることが重要である。また苗木の育苗には 1－3 年かかるため、生産された苗木が確実に売買されるための複数年に渡る需給調整が確実に機能することも重要である。

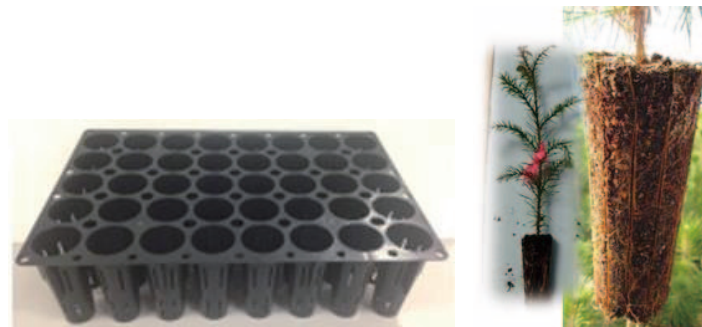


図 7 マルチキャビティーとコンテナ苗

2.4 下刈りの低コスト化

下刈り作業のコスト削減には3つの方向性がある。一つは伸長成長の優れた苗を用いた雑草との競争の低減（優良苗）、二つめが競争状況のレベル判別による除草作業回数の削減（下刈り省略基準）、三つめが除草作業の機械化である。急傾斜でかつ競合植生の多い日本では除草作業の機械化が最も困難であるが、北海道において河川敷などの草刈りのために開発された小型機械の導入試験が行われている（図8）。

北海道におけるグイマツとカラマツを交配育種³⁾して開発されたクリーンラーチは優良苗の代表格であり、苗畑に植栽した場合、非常に旺盛な成長を示す[12]。北海道下川町の山に植栽したクリーンラーチの3生長期間の樹高を見たところ、植栽直後は60cmほどであった苗高は3年目には2.5mに達し、4成長期後には競合植生であるササ高を完全に抜け出し、生存率も96%と良好であった（図9）。最終的にこの立地では、2回下刈り（初年度と2年目）で成林させることができた。また、カラマツの大苗を用いた場合でも同様な効果が認められている[13]。苗高が約1.6～1.8mを超えると雑草木の強い被陰から解放される可能性も指摘されており[14]、特定母樹等を利用した成長の速い優良苗の導入と、その活用のための立地条件の解明が重要である。



図8 北海道で下刈り機械導入試験



図9 クリーンラーチの成長試験

下刈り省略基準では、植栽直後にスギの梢端部が覆われなければ、樹高成長の極端な低下が生じないこと（図10）、また樹高成長に対して側方からの被圧の影響は小さい事[15]から、潔癖な下刈り作業を避け、雑草木の種類と、植栽後の定期的な競争状態の観察により、下刈り回数を削減できると考えられている。今後は競争状態を広域で簡便に判断できる画像システムの開発が重要である。

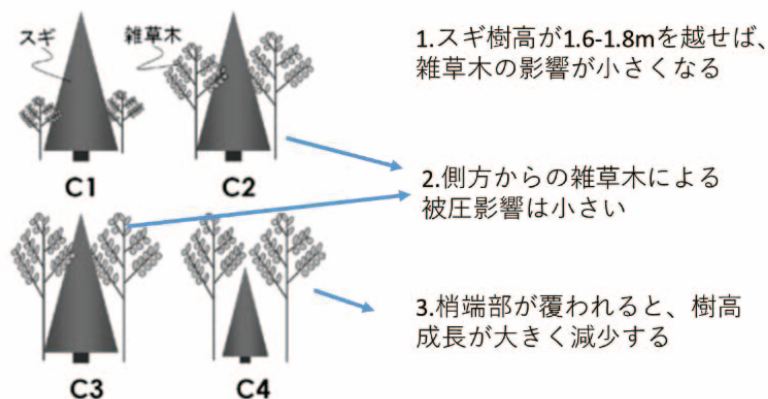


図10 下刈り省略基準とその効果

³⁾ 育種：個体をかけ合わせて、目的に合う性質をもった優良な系統を作ること。

3. システム技術と考察

3.1 下刈りにつながる地拵

地拵の機械化により、地拵行程だけでなく、競合植生の繁茂を制御できる事例が報告されている。北海道におけるクラッシャ地拵では、主伐後 1 年間の競合植生の成長が、一般的なバケット地拵の 3%~30%程度に抑えられた事例（図 11）や、長野県ではグラップルによる地拵で、植被率が通常より 50%程度抑えられた事例がある。今後は機械による地拵を用い、その後の雑草木の繁茂を適切に制御する技術開発が必要である。



図 11 クラッシャ地拵の下草抑制効果

3.2 造林－保育システムとしてのコスト削減

造林－保育工程において、現行よりも植栽本数を低減させる手法（低密度植栽）が考えられる。低密度植栽のデメリットは、病虫獣害等の枯死による本数減少リスクが大きい事、林地の閉鎖度が遅いため、雑草木が繁茂しやすい事、枝下高が下がり（節が多くなる）、未成熟材の部位が増え、樹木の基部と梢端部の太さの差が大きくなるため（うらごけ）、材の形質に問題が生じる事などが指摘される。一方で前出の優良苗で伸長成長を早め、製材技術の進展から形質の問題がクリヤーされる可能性も高い。また生態的にも「うらごけ」は台風等の自然災害に強いと考えられている。

以下に北海道のカラマツを事例として、普通苗、コンテナ苗、大苗、育種苗（クリーンラーチ）を用い、植栽密度を変えて、地拵～下刈りまでのコストの試算を行った（図 12）。地拵はバケットとクラッシャを仮定し、両者の地拵のコストは同等であるが、クラッシャは下刈り回数の削減に有効であるとした。植栽密度は普通苗と大苗で 1,500 本/ha まで、育種苗とコンテナ苗で 1,000 本/ha までとした（現状の補助金を想定）。育種苗は初期成長が速い苗木で、大苗は植栽時点で 80cm 上の大きな苗である。現状苗木の価格が高く、また植栽効率が悪くなるが、雑草木よりも成長が早く、下刈り省略に効果的である。従って育種苗と大苗については、下刈り回数的大幅な削減が可能とし、クラッシャの効果も含めて 1 回の工程とした。その結果、育種苗や大苗を用いて下刈り回数を 1 回まで減少させると、造林－保育コストを大幅に削減できる事が示された。さらに苗木の育苗生産技術が高度化して価格が低下し、機械地拵の効率化が進めば、32%以上のコストダウンが図れると考えられる。

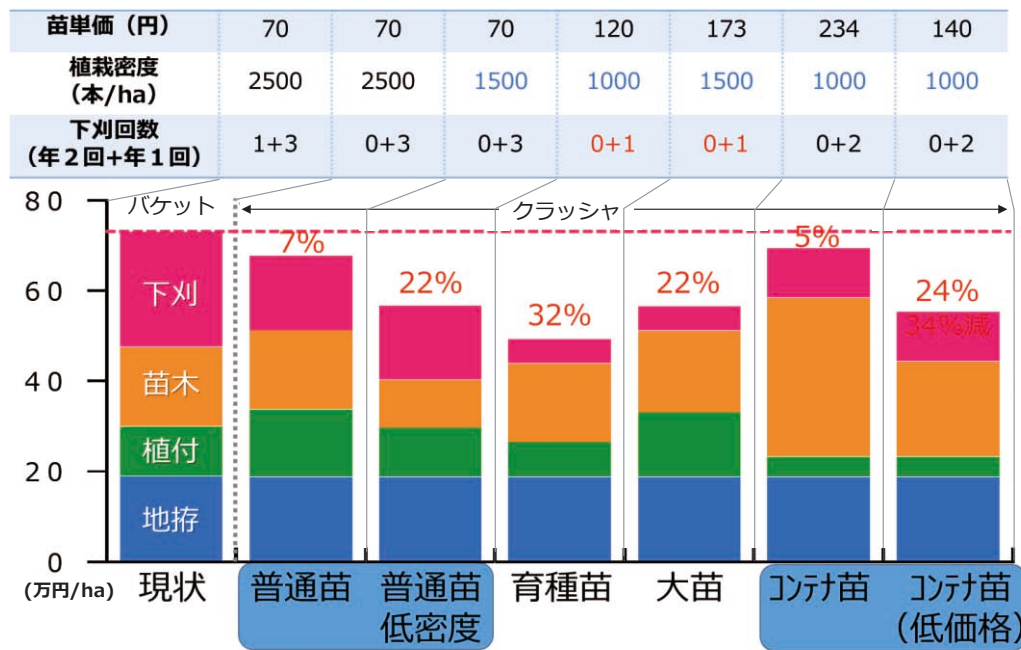


図12 北海道のカラマツに関する、様々な植栽方法によるコストの試算

次に広島県の造林単価表を用いて、スギについて試算した(図13)。通常の造林一保育経費が150万円弱と、日本の平均的なコストである。ここで一貫作業とは地拵から植栽までのコストであり、ここだけでは約40%の削減となっている。造林一保育の全工程でみると、植栽本数を2,000本/haから1,500本/haに減少させると5%(A→B)、一貫作業により18%(A→C)削減される。しかし、下刈りコストを下げない限り(回数を減らさない限り)、造林一保育システムとしては大きなコストダウンにならない。これらのことから地拵の機械化と優良の苗の開発、下刈り省略基準の策定より、システム全体として低コスト化を図ることが重要である。

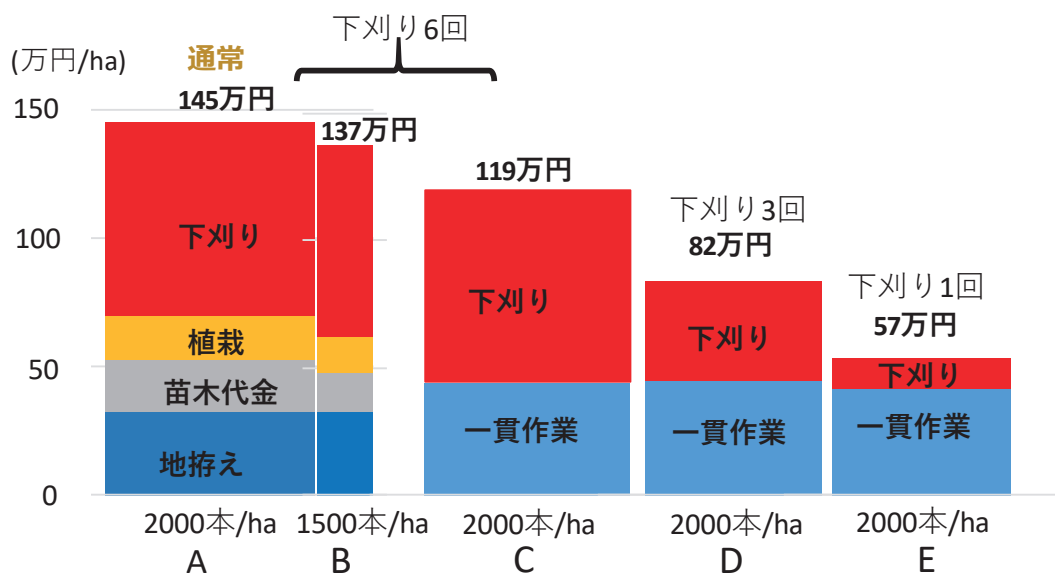


図13 広島県のスギに関する、様々な植栽方法による造林一保育コストの試算

4. 政策立案のための提案

- (1) 現状の日本の 50 年生前後の蓄積は 420m³/ha と小さく、全国平均の山元立木価格 2,804 円/m³ を基礎とした収益に対し、伐採および造林・保育コストのトータルがそれを上回る状態にある。この状態を解消するために、1ha 当たりの材の蓄積を大幅に高める必要がある。単位面積当たりの材積を高めることにより、主伐経費の低コスト化と造林・保育工程の効率化が図られる。
- (2) 単位面積当たりの材積を高めるために、森林の伐期齢の基本的な引き上げとともに、優良な材が生産可能な場所の選択技術が重要である。
- (3) 主伐で用いられた機械を地拵から植栽の工程に用い（一貫作業システム）、下刈りまでの造林・保育工程をシステムとして効率化することが必要である。
- (4) 成長速度が速い苗を植栽することは、下刈りコストの削減に大きく貢献する。従ってコンテナ苗、特定母樹等の優良苗の作出を加速化し、苗木売価単価を下げ山に提供することが必要である。さらに雑草木と苗木の競争関係を把握し、下刈り省略基準を決定できるシステムの開発が重要である。

※本報告書内容は、農林水産省「革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）」のうち「優良苗の安定供給と下刈り省力化による一貫作業システム体系の開発（H28-30）」（森林総合研究所代表機関）の支援、および国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所のこれまでの研究プロジェクトによって得られた研究成果を、LCS の定量的な技術評価の一貫として取りまとめたものである。

参考文献

- [1] 林野庁編, “平成 28 年度 森林・林業白書 第一部 第 III 章 第 1 節, p.96-97.
- [2] 国民森林会議 HP, “平成 26 年度の提言書”, www.peoples-forest.jp/H26teigen.pdf (アクセス日 2017 年 11 月 12 日).
- [3] 宇都木玄, “オーストラリアにおけるコンテナ苗生産の動向”, 海外の森林と林業, No.97, p.48-53, 2016.
- [4] 林野庁, “平成 25 年 12 月 18 日林政審議会議事録”
www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/singikai/pdf/131218gr.pdf (アクセス日 11 月 12 日).
- [5] 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書 技術開発編「木質バイオマス燃料のコスト低減ー林業素材生産コストの機械化推進による低減効果ー」 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター, 2016 年 3 月.
- [6] 白石則彦, “森林・林業再生プランの 50 年後を展望する”, 山林, No.1548, p.2-8, 2013.
- [7] 大矢信次郎ほか, “長野県の緩傾斜地における車両系伐出作業システムによる伐採・造林一貫作業の生産性”, 日本森林学会誌, vol.98, No.5, p.233-240, 2016.
- [8] 猪俣雄太ほか, “異なる植栽器具使用時のコンテナ苗の植栽能率”, 日本森林学会誌, vol.98, No.5, p.223-226, 2016.
- [9] 新保優美ほか, “スギコンテナ苗は夏季植栽で本当に有利か？ー植栽時の水ストレスから当年の活着・成長・物質配分までの比較ー”, 日本森林学会誌, vol.98, No.4, p.151-157, 2016.

- [10] 原山尚徳ほか, “異なる時期に植栽したカラマツコンテナ苗の生存率、成長及び生理生態特徴”, 日本森林学会誌, vol.98, No.5, p.158-166, 2016.
- [11] Matsuda et al, “Determination of Seed Soundness in Conifers *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* Using Narrow-Multiband Spectral Imaging in the Short-Wavelength Infrared Range, PLOS ONE, DOI:10.1371/journal.pone.0128358, 2015.
- [12] 宇都木ほか, “クリーンラーチ(グイマツ雑種 F1)の初期成長と被陰の影響”, 北方森林研究, 59 号, p.13-15, 2010.
- [13] 原山尚徳ほか, “生分解性防草シートを施工したカラマツ大苗下刈り試験地の 3 年目の状況”, 北方森林研究, 63 号, p.21-22, 2015.
- [14] 谷本丈夫, “造林地における下刈、除伐、つる切りに関する基礎的研究 (第一報) スギ幼齢造林地におけるスギと雑草木の成長”, 林試研報, No.320, p.53-121, 1982.
- [15] 山川博美ほか, “スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響”, 日本森林学会誌, vol.98, No.5, p.241-246, 2016.

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

持続的な林業生産を得るための提案

平成 30 年 1 月

Proposal for Obtaining Sustainable Forest Production
Strategy for Technology Development,
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2018.1

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 特任研究員 宇都木 玄(Hajime UTSUGI)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4 階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2018 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
