



構造用集成材の低コスト化技術

～川下から川上まで～



国立研究開発法人 森林研究・整備機構
森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute



Contents

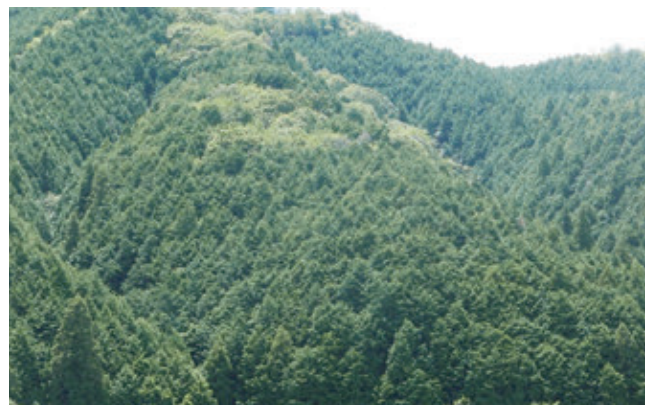
はじめに	1
1. 概要	2
2. 間柱材を用いた大断面集成材の生産コスト削減	3
2.1 間柱材を用いた大断面集成材の強度性能	4
2.2 間柱材を用いた大断面集成材の接合性能	5
3. 間柱材の安定供給とその生産コスト削減	6
3.1 間柱材の生産体制	7
3.2 間柱材の効率的乾燥技術	8
4. 原木の低コスト生産と安定供給	9
4.1 全木集材に適した林業機械の開発	10
4.2 全木集材の生産性と作業方法	11
5. まとめ	12

はじめに

構造用集成材は、原木（丸太）から製材し、乾燥した厚さ数センチのひき板を積層して接着した木質材料です。このうち大断面集成材は、近年注目されている大規模・中高層の木造建築向けの構造材として、また、国産材の使用比率が高い木質構造材として需要が高まると期待されています。しかしながら、自由貿易協定締結により2027年には関税が撤廃されることから、国産材を用いた大断面集成材の市場を拡大するにはその生産コストを削減するとともに安定した供給体制を構築する必要があります。

木造住宅の柱や梁に用いられる小断面・中断面集成材を生産する工場はシステム化され高い生産性を実現しているのに対し、大断面集成材は特注生産されることが多いこともあってその生産工程は労働集約的で生産性は高くありません。また、大断面集成材の原料であるひき板も特注生産されることが多く安定的な供給には課題があります。さらに、現在の原木丸太の供給先が製材・合板用やバイオマス資源などに向かっていることから、ひき板用原木の確保にも課題があると考えられます。

本マニュアルでは、「大断面集成材の低コスト化」と、「原木・原料の安定供給」をゴールとして、大断面集成材の製造、その原料であるひき板の製材、またその原料である原木の伐出作業と、上述した各生産現場における問題点を解決するために開発された新技術とそれらが生産コスト削減に及ぼす効果を紹介します。



1. 概要

「大断面集成材の低コスト化」に関して、

集成材の生産工程における短時間で硬化する安価な接着剤を用いた積層接着技術による接着費の削減、ひき板の生産工程における弱減圧乾燥法による乾燥費の削減、原木生産における全木集材に適した新しい林業機械であるゴムクローラ式クラムバンクスキッドとこれを用いた原木生産技術による伐出費の削減について示します。そして、全工程を通して大断面集成材の生産コストがどれくらい削減できるのか示します。

「原木・原料の安定供給」に関して、

大断面集成材の原料ひき板として、断面寸法が近く一般流通材として入手しやすい間柱に着目し、間柱生産とその原料となる原木の供給における安定供給条件について紹介します。そして、スキッドを用いた全木集材による原木供給力について、秋田県を対象に開発した原木供給シミュレーションモデルによる検証結果を示します。

なお、本マニュアルにおける大断面集成材の原料ひき板として用いる間柱のことを「間柱材」と呼びます。これは、製品として流通している「間柱」と原料ひき板として使用する「間柱サイズの材」を区別するためです。



図1. マニュアルの構成

2. 間柱材を用いた大断面集成材の生産コスト削減

これまで大断面集成材に使われてきたレゾルシノール樹脂接着剤（RF）をより安価な水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤（API）に変更すること、ひき板の厚さを一般的な30mmより厚くして接着剤使用量を削減することによる積層接着にかかる接着剤コストの削減効果を検証しました。また、APIは接着剤の硬化時間が短く加熱工程も不要であることから生産効率が向上するので、そのことによる量産化で年間生産量の増加を見込んだ場合の生産コスト削減効果も試算しました。

接着剤のコスト削減効果

次項の集成材①を試験製造し、ひき板厚さと接着剤の変更によるコスト削減効果を試算しました。ひき板厚さを一般的な30mmから38mmに、接着剤をRFからAPIに変更することで、接着剤コストを約7割削減できることがわかりました。コスト削減効果はひき板厚さを間柱の規定厚さの一つである45mmにするとさらに大きくなります。

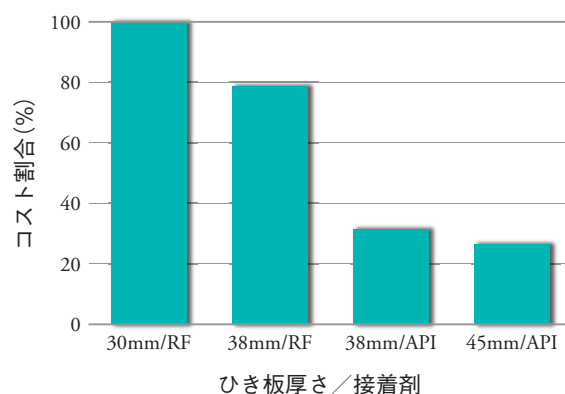


図1. 製造条件変更による接着剤コストの削減効果

量産化による生産コスト削減効果

試算に用いる大断面集成材の年間生産量は秋田県の統計に基づいて1,800m³（1工場あたり）と3,000m³（県全体の生産量）としました。また、大断面集成材を木造ビルの建設に用いることを想定し、床面積あたりの大断面集成材の推定使用量0.2m³/m²を用いて、年間生産量を12,000m³（3階建て木造ビル250棟分）、24,000m³（その2倍）としました。その結果、量産化によるコスト削減は16%と試算されました。

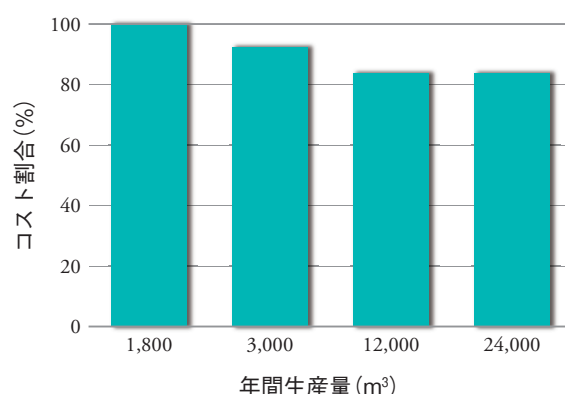


図2. 年間生産量とコスト削減効果

2.1 間柱材を用いた大断面集成材の強度性能

スギ間柱材を原料ひき板（ラミナ）に、水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤（API）を積層用接着剤に用いた大断面集成材の製造実験を行いました。現在の大断面集成材工場ではAPIを用いた製造はできないため、中断面集成材製造装置で集成材①を、また、CLT製造装置で集成材②を製造しました。集成材①は、間柱材を幅方向に接着（幅はぎ）して幅を150mmの板にし、それらを積層接着しました。集成材②は平盤プレス上で間柱材を幅はぎせずに並べ大版パネルとして積層接着したものから切り出しました。集成材①はラミナがねているのに対して、集成材②はラミナが立っています（写真1）。



写真1. 製造した大断面集成材

これらの大断面集成材に対して、曲げ、圧縮、引張、せん断の各種強度に関する試験を行いました。

その結果、すべての試験体の強度が設計に用いられる基準強度を上回り、今回製造した大断面集成材は、製造方法にかかわらず建築用構造材として強度的に安全に使用できることが確認できました（図1、図2）。

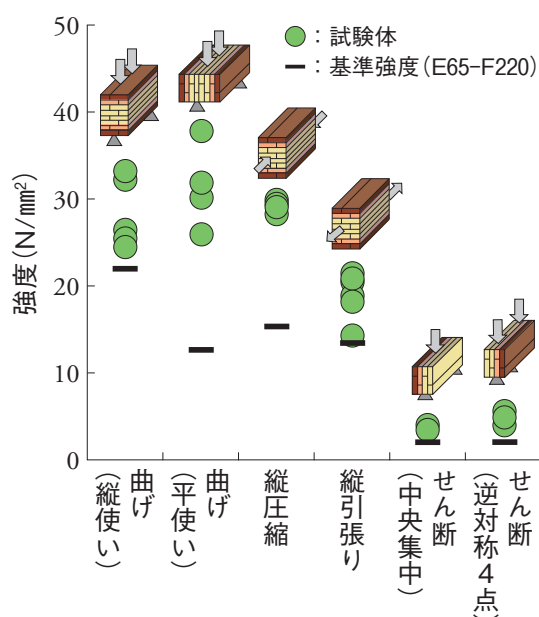


図1. 強度試験の結果（集成材①）

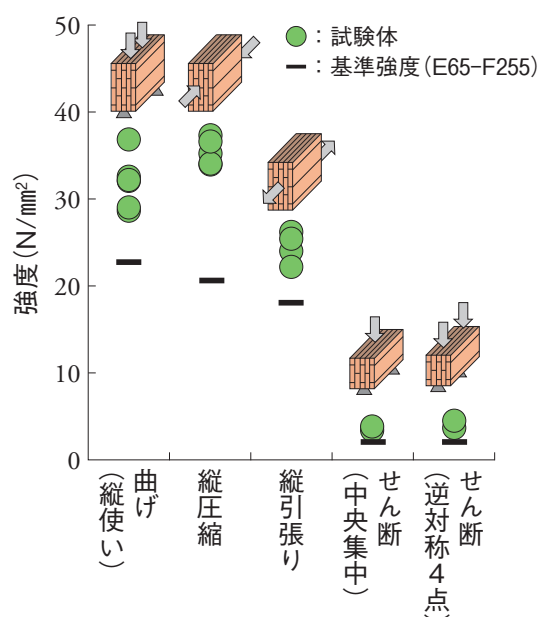


図2. 強度試験の結果（集成材②）

2.2 間柱材を用いた大断面集成材の接合性能

大断面集成材構造物に使われている「鋼板挿入ドリフトピン接合」と「引きボルト接合」を対象に、前項の集成材①、②の製造方法の違いが接合性能に及ぼす影響について実験的に検証しました。接合部試験の結果、実測値は既存の接合部設計法による設計値を上回ったことから、従来の大断面集成材と同等の利用が可能であると考えられます。

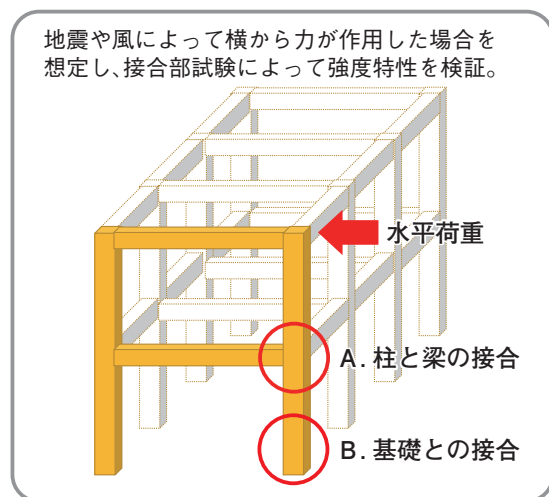


図1. 建物のイメージ

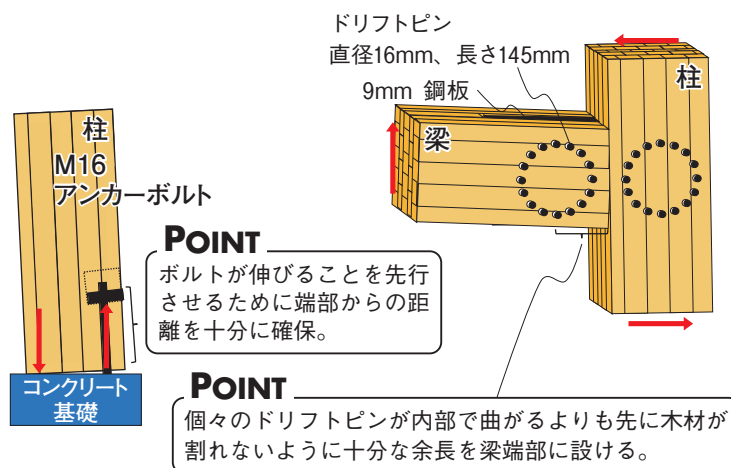


図2. 接合部設計のポイント

<鋼板挿入ドリフトピン接合>

集成材の側面と木口からの距離を十分に確保してドリフトピンを円形配置しました。柱と梁の接合部に曲げの力を作用させ、荷重と変形の関係や破壊の進み方を実験で検証した結果、集成材②は接着のない面に沿って破壊するものの、集成材①、②ともに実測値は既存の設計法による設計値を上回ることが確認できました（図3）。

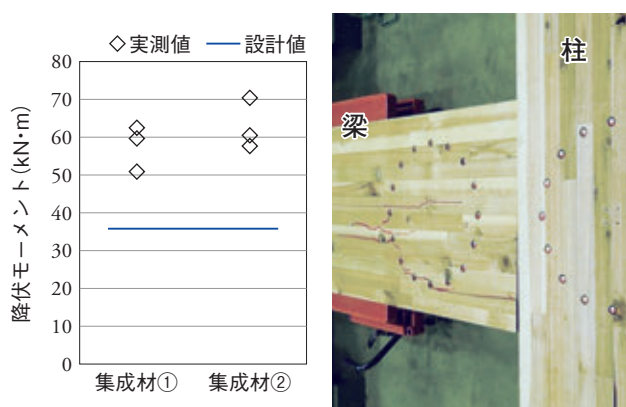
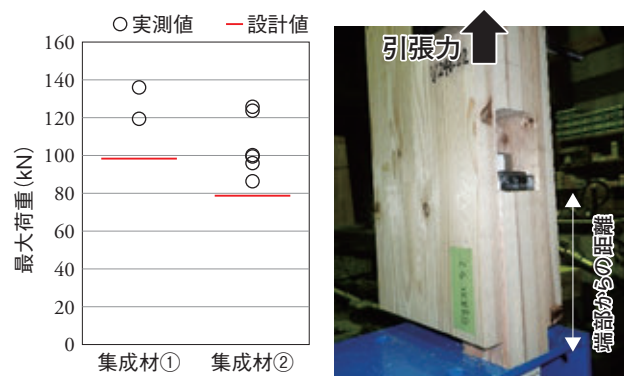


図3. 設計値との比較と破壊性状の例

<引きボルト接合>

粘り強い接合部にするためには、ボルトが伸びる荷重に達する前に木材側が壊れないようにすることが必要です。そこで木材側が実際にどれぐらいまで耐えるかを確認するために、木材側が壊れる条件で実験*を行いました。結果、集成材②は接着のない面に沿って破壊することを考慮した有効断面とすることで、実測値は既存の設計法による設計値を上回ることが確認できました（図4）。



*ボルトに高強度のものをを用い、端部から座金までの距離は240mmとした。

図4. 設計値と実験値の比較

3. 間柱材の安定供給とその生産コスト削減

集成材用原料ひき板(ラミナ)の厚さは30mm前後ですが、一般流通する間柱はその厚さがラミナに近い転用可能と考えられます。そこで、集成材の生産規模を考慮して間柱材の安定供給条件を解明し、生産コスト削減のための乾燥技術を開発しました。

間柱材の安定供給に必要な原木量

間柱材を効率的に生産するための径級別の木取りや歩止りを明らかにし、集成材の生産規模に合わせて間柱材を安定供給するために必要な原木量を算出しました(図1)。

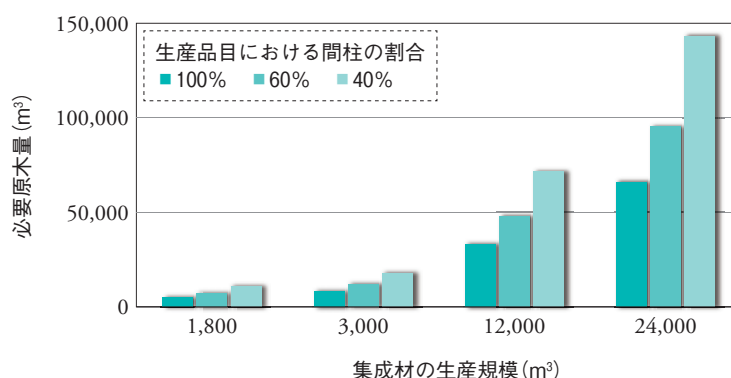


図1. 集成材の生産規模別の必要原木量

弱減圧乾燥による乾燥コストの削減効果

蒸気式乾燥に減圧を組み合わせた弱減圧乾燥(P8参照)は、スギ間柱材の乾燥時間を大幅に短縮し、ランニングコストを削減することが可能です。年間生産量を15,000m³以上とすることで、乾燥コストは従来の大気圧下における蒸気式乾燥に比べて、30~40%程度削減可能です(図2)。その乾燥コストの内訳を図3に示します。

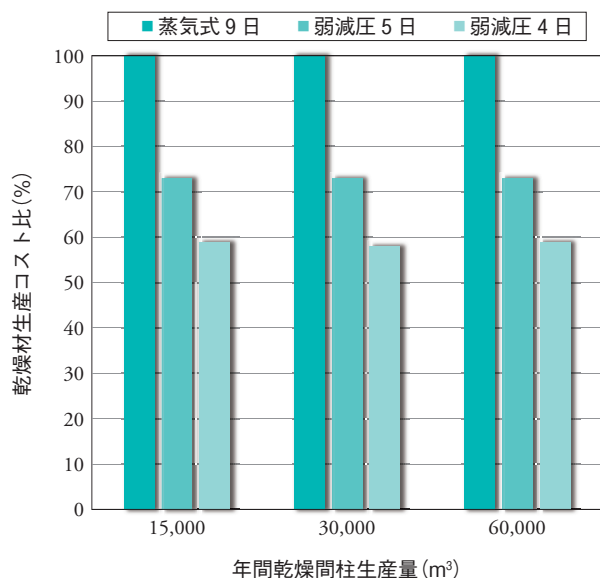


図2. 弱減圧乾燥法による乾燥材生産コストの削減効果 (厚さ50mmの間柱材を使用)

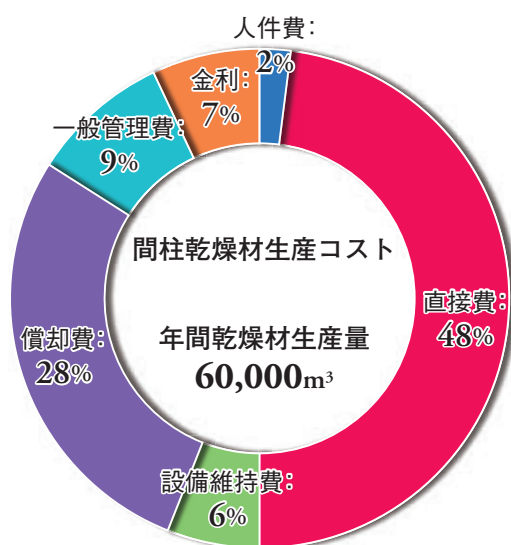


図3. 弱減圧乾燥法による乾燥コストの内訳

3.1 間柱材の生産体制

大断面集成材に使用される原料ひき板（ラミナ）は産地指定や特殊サイズであることが多く、安定的な調達には課題があります。ラミナと断面寸法が近く、一般流通材として入手しやすい間柱をラミナとして使用することを想定し、原木径級や製材ラインの違いが歩止りや製材コスト等にどのように影響するかを分析しました。

製材工場における、正角や間柱等の主製品と板や小割等の副製品を合わせた全体の粗挽歩止りは約60%、間柱のみの歩止りを計算すると、径級により40～50%程度です。今回ラミナとして使用する45×120mm（粗挽寸法51×135mm）の間柱材は、末口径26～30cmの原木から効率よく製材することができます。

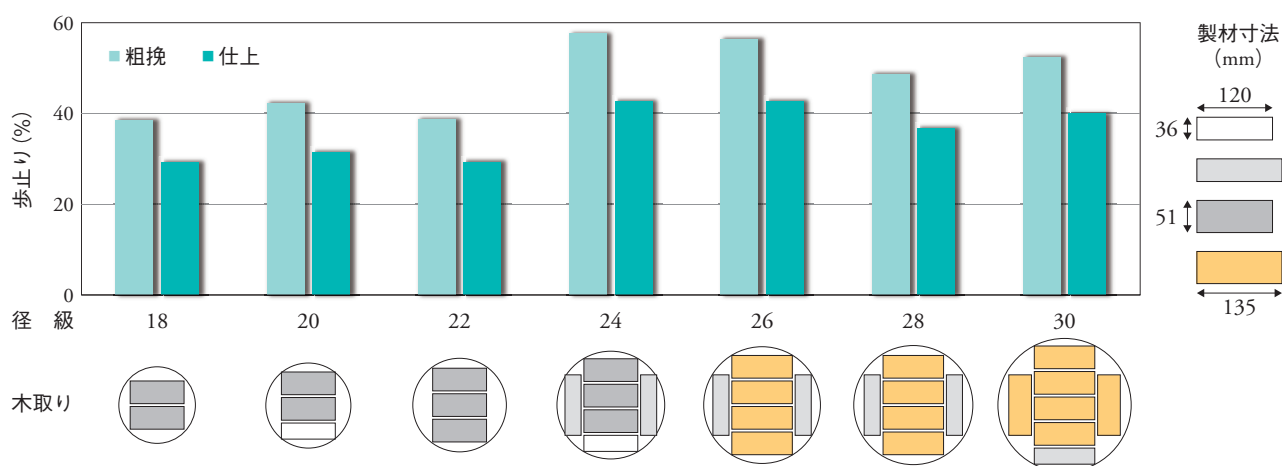


図1. 原木径級別の木取りと歩止り（45mm厚の間柱の例）

製材ラインの構成や使用原木の種類によって、製材コストの内訳は異なります。原木代の割合が大きい場合には特に、原木径級と生產品目の組み合わせにより全体の製材歩止りを向上させることが重要です。間柱木取りに適した径級の原木が安定供給されることで、間柱材の増産が可能となります。

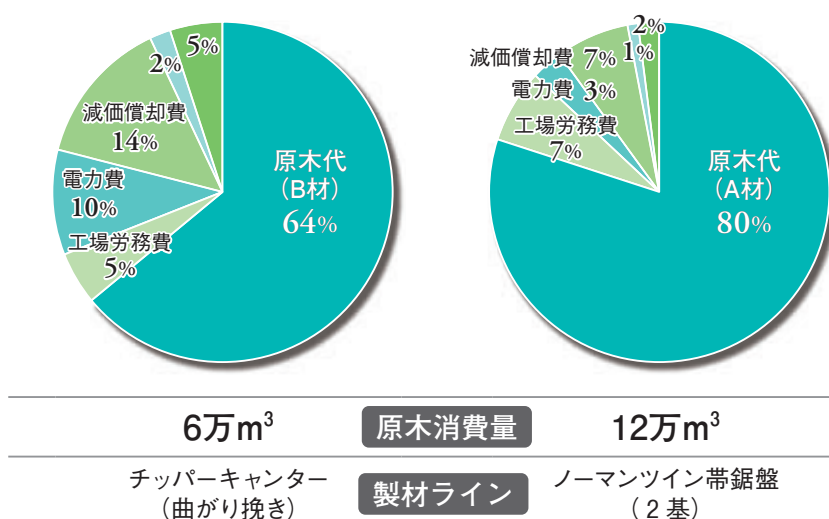


図2. 製材ラインと使用原木別のコスト内訳

3.2 間柱材の効率的乾燥技術

集成材に使用される原料ひき板（ラミナ）の乾燥処理は、大気圧下において蒸気を熱源とした人工乾燥（蒸気式乾燥）で行われます。ここでは、集成材の増産に対応したラミナの大量生産が可能で、乾燥コストを蒸気式乾燥に対して30%削減することのできるスギ間柱材の弱減圧乾燥技術を開発しました。

弱減圧乾燥の特徴

従来の蒸気式乾燥では、大気圧下で乾燥機内の温度を上げて木材を乾燥します。一方、乾燥機内を減圧することによって水の沸点を下げ、水分の蒸発を促進させるのが弱減圧乾燥です。蒸気式乾燥に比べて乾燥装置の価格は高くなりますが、乾燥時間の短縮によりエネルギー費等のランニングコストが低くなるという特徴があります（表1）。

表1. 弱減圧乾燥と蒸気式乾燥の比較

項目	弱減圧乾燥	蒸気式乾燥
熱源	蒸気	
圧力	減圧	大気圧
容量	50m ³	100m ³ 以上に対応
装置価格	高い	低い
エネルギー費	低い	高い
乾燥日数	短い	長い

乾燥時間の短縮効果

写真1は実用型の弱減圧乾燥装置です。厚さ50mmのスギ生材を、乾燥条件90℃、400hPa（沸点75℃）で処理することにより、乾燥日数は蒸気式乾燥（従来の人工乾燥）の1/2以下に短縮され、4～4.5日で含水率15%未満の乾燥ラミナが生産可能です。これにより、生産量は蒸気式乾燥に対して2倍以上、天然乾燥と組み合わせる乾燥方法に対して9倍以上に増産できると試算されます（図1）。



写真1. スギ間柱材の弱減圧乾燥

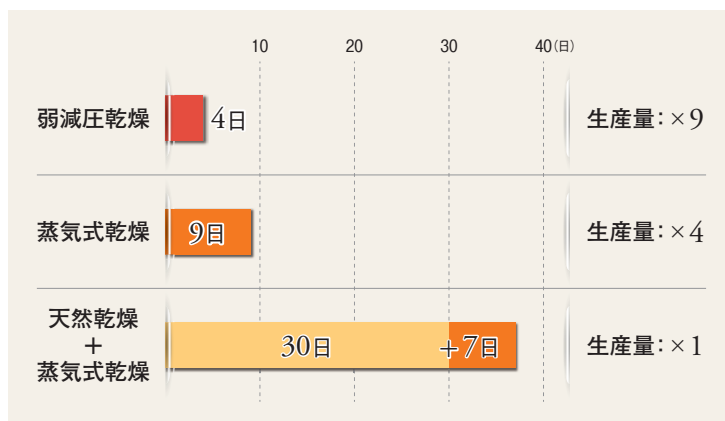


図1. 各乾燥法による乾燥日数と生産量の割合

4. 原木の低コスト生産と安定供給

原木生産の低コスト化を目指し、全木・全幹集材方式による効率的な伐出作業システムを検討しました。けん引型の車両系集材機械であるゴムクローラ式クラムバンクスキッドを新たに開発し集材試験を行った結果、フォワーダによる短幹集材方式に比べ生産コストは作業条件に応じておよそ1割低減しました。また、原木の安定供給の可否を推定するシミュレーションモデルを開発しました。全木集材方式が可能な林分は短幹集材に比べ約4割減少しますが、地域の資源量を把握し施業を計画的に進めることにより原木の安定供給が見込めると考えられます。

全木集材による低コスト生産

開発したスキッドによる全木集材とフォワーダによる短幹集材による生産コストを比較すると、図1に示す条件下では7%低減しました。さらに、全木集材により土場に集積される低質材も利用すれば、材積あたりの生産コストはおよそ17%低減できます。

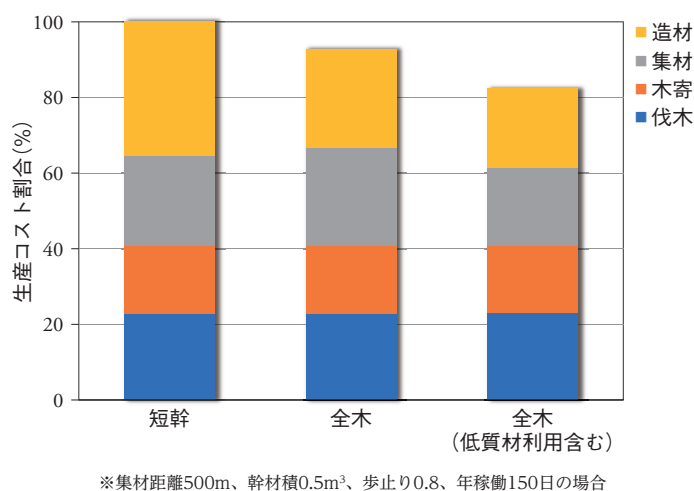


図1. 原木生産コストの比較

原木安定供給の検討

秋田県内のモデル地域を対象に間柱適寸材の供給シミュレーションを行った結果、径級別の供給量や供給期間がわかりました（図2）。例えば、30年間の供給を想定した場合、年供給量3万m³、6万m³では全木集材でも供給が可能なこと、12万m³では短幹集材との併用により供給が可能になることなどがわかりました。

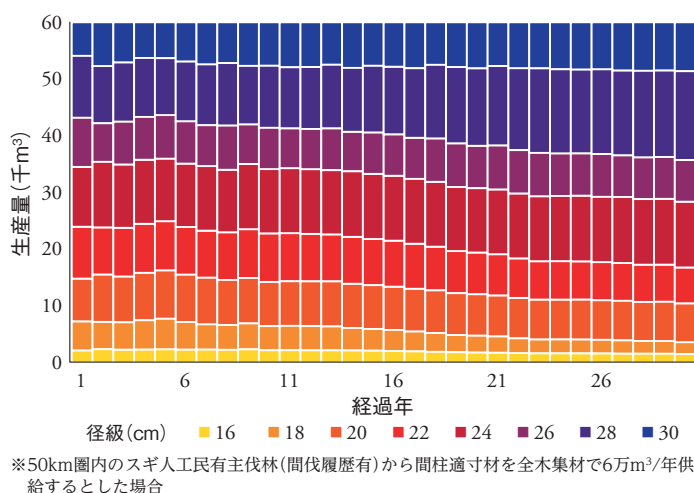
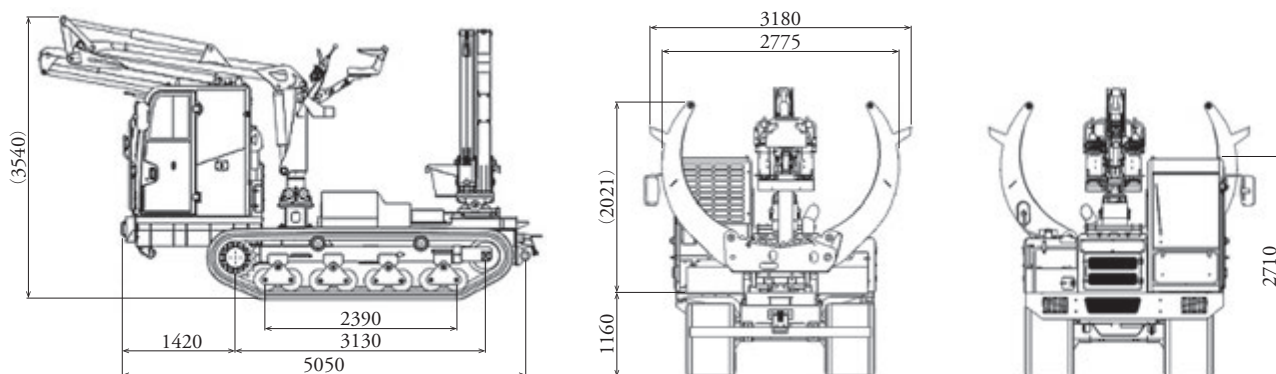


図2. 原木供給シミュレーションの出力例

4.1 全木集材に適した林業機械の開発

車両系集材機械による全木・全幹集材方式の普及に向け、わが国の作業条件に適したゴムクローラ式クラムバンクスキッドを開発しました。

クラムバンクスキッドの仕様



ベース	型式	諸岡MST-800VDL
	エンジン出力	92.6kW/2,200min ⁻¹
	走行速度	～10km/h
クラムバンク	型式	Burger 1.6KS
	開口面積	最大3.0m ²
グラップルローダ	型式	Cranab FC45
	作業半径	最大 6.2m
ウインチ	型式	南星機械 NSW-46
	巻込力	45.1kN

仕様、数値は暫定です。

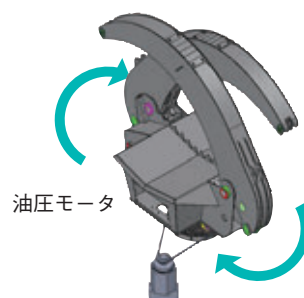
最大積載量5,000kgのゴムクローラ式フォワーダをベースに、無線によるリモート操作が可能なクラムバンク、グラップルローダ、ウインチを搭載したスキッドを新たに開発しました。

クラムバンクスキッドの特徴



図2. 全木集材の一連の様子

伐倒後の全木・全幹材を玉切りせずにそのまま土場へ運搬します。これにより林内に放置されてきた末木や枝葉、端材も土場に集積することができます。また、機体の傾きや材のバランスによって自由に回転していたクラムバンクに油圧モータを付加したことによりクラムバンクを任意の位置に向けることが可能となり、作業の効率化や安全性の向上が期待できます。



4.2 全木集材の生産性と作業方法

開発したクラムバンクスキッドを用いた全木集材は、フォワーダ集材に比べ生産性を高くできます。ただし、作業の効率化を図るためには、全木材の集積方法、土場の形状や面積、材のけん引走行が可能な路網や地形などの作業条件に注意が必要です。なお、全幹集材は集材前に行う枝払いが作業全体の効率低下に大きく影響しました。

開発スキッドによる集材作業の生産性

現地試験を行い作業条件に応じた生産性を算定しました。フォワーダによる短幹集材と比較すると、例えば集材距離が500mの場合、開発スキッドによる全木集材の方が生産性は24%高くなりました。また、全木集材は、伐採木の全ての部位が土場に集まることから低質材の利用促進にも繋がります。

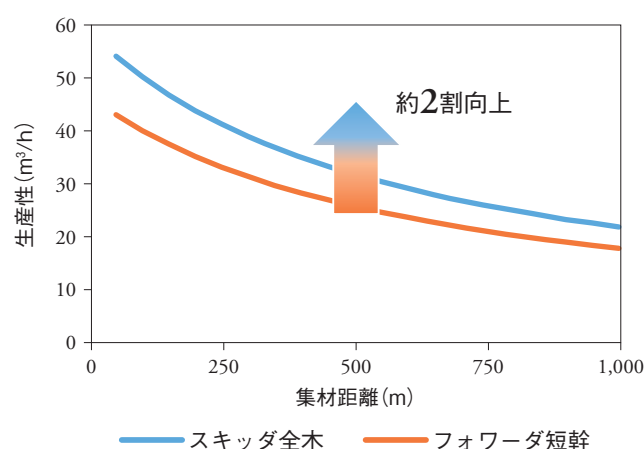


図1. 集材作業の生産性

全木集材に必要な作業上の工夫

長尺な全木材を効率的に集材するには、短幹集材とは異なる作業条件が必要です。例えば、作業道と平行に開設する場合に必要な土場の広さは、およそ短辺8m、長辺23.5m、面積200m²ほどになりました。また、荷積みや荷降ろしなど全木材の移動を伴う作業では、元口に追従して動く末口側が次の作業を阻害する場合があります。他の機械との連携や待避経路の確保、集積方法への配慮など全木集材に適した工夫が必要です。

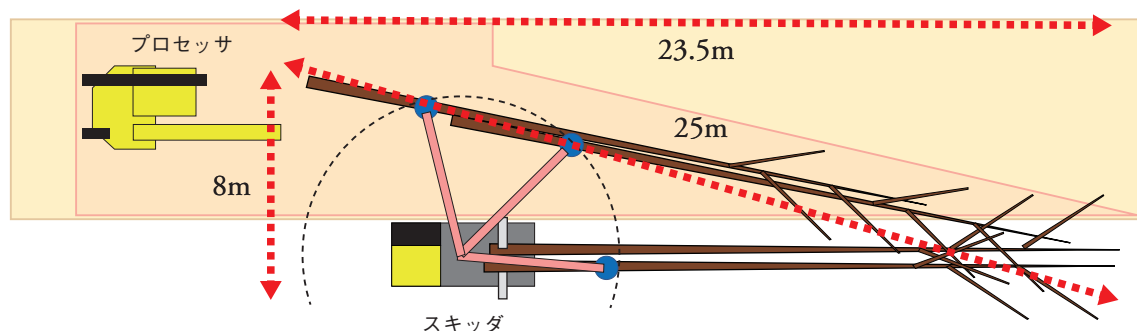


図2. スキッド適応土場の例

5. まとめ

大断面集成材の低コスト化

新技術導入が大断面集成材の生産コスト削減に及ぼす効果について、現在の大断面集成材の生産実態（ひき板：通常の特注生産、接着剤：レゾルシノール樹脂（RF）、年間生産量：1,800m³）における生産コストを100として、図1に示します。一般に流通している間柱を市中価格で購入して集成材原料として用いることは約3%の生産コスト上昇をもたらします。しかし、スキッドによる全木集材と弱減圧乾燥技術の導入で生産コストが約5%削減できます。また、積層用接着剤の水性高分子イソシアネート樹脂（API）への変更による接着剤コストの削減（図1の直接費）と量産化による効果（年間生産量3,000m³）で、トータルの生産コストは現状から約11%削減できます。

原木・原材料の安定供給

大断面集成材の原料ひき板（ラミナ）を安定的に調達する上で一般流通材として生産されている間柱は有利です。また、クランバックスキッドを用いた全木集材による間柱生産に適した原木の供給力について、秋田県を対象に開発した原木供給シミュレーションモデルで試算した結果、想定する年間供給規模が最大の12万m³であっても、約20～25年間にわたり安定供給できることがわかりました。さらに、全木集材で土場に集まる多様な品質の原木や枝葉・梢を有効利用して収益を増やすことで原木生産者の経営力の向上と安定化が図れるならば、原木の安定供給にも繋がると考えられます。

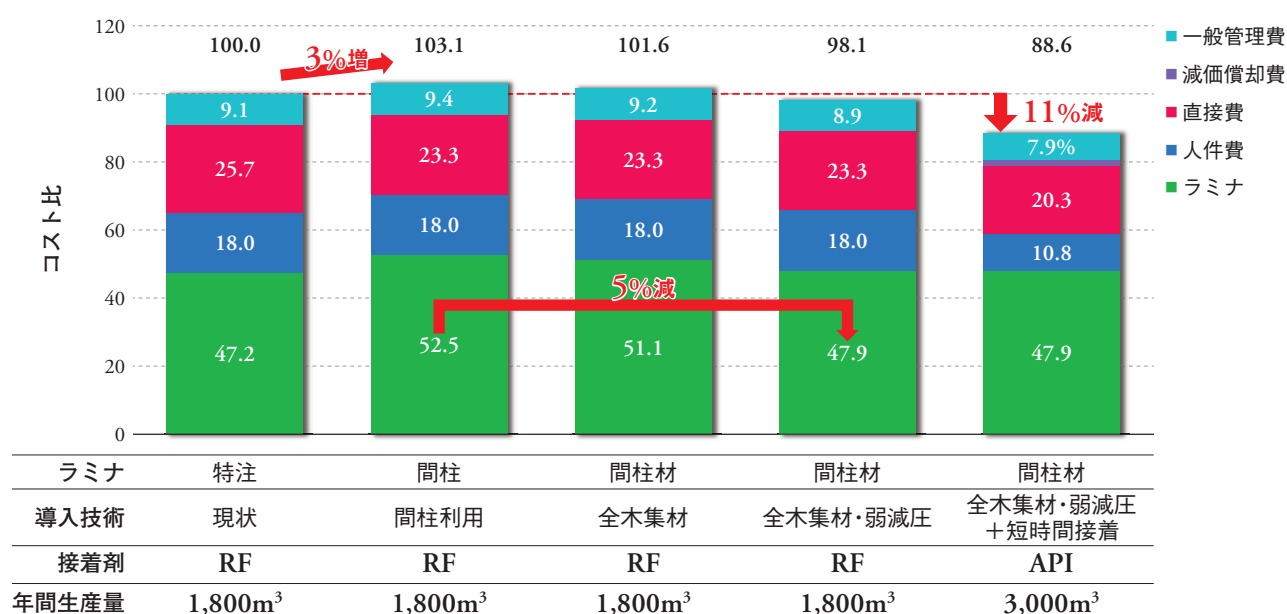


図1. 新たな技術導入による大断面集成材の生産コスト削減の効果

本研究は、生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）」の支援を受けて実施しました。

木製品普及コンソーシアム：

【構成機関】

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
株式会社諸岡
公立大学法人 秋田県立大学 木材高度加工研究所
岡山県農林水産総合センター 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
日本集成材工業協同組合
協和木材株式会社
ティンバラム株式会社

研究協力機関：

秋田県農林水産部林業木材産業課
国立大学法人 愛媛大学
木構造振興株式会社

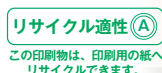
執筆者一覧（50音順）

井道 裕史	森林総合研究所 構造利用研究領域 室長	2, 2.1
齋藤 周逸	森林総合研究所 木材加工・特性研究領域 チーム長	3, 3.2
高田 克彦	秋田県立大学 木材高度加工研究所 所長	4
中島 泰生	株式会社諸岡 経営企画室 次長	4.1
野田 康信	森林総合研究所 構造利用研究領域 主任研究員	2, 2.2
牧本 卓史	岡山県農林水産総合センター 森林研究所 専門研究員	4.2
松村 ゆかり	森林総合研究所 木材加工・特性研究領域 主任研究員	3, 3.1
瀧 誠志郎	森林総合研究所 林業工学研究領域 主任研究員	4
宮武 敦	森林総合研究所 複合材料研究領域 チーム長	はじめに, 1, 5
吉田 智佳史	森林総合研究所 林業工学研究領域 主任研究員	4, 4.1, 4.2
渡辺 憲	森林総合研究所 木材加工・特性研究領域 主任研究員	1, 5

編集・発行 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

発行日 2021年（令和3年） 2月

お問い合わせ先 広報普及科編集刊行係
電話 029-829-8373
Email : kanko@ffpri.affrc.go.jp





国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute