

ISSN 1349-0605

森林総合研究所

交付金プロジェクト研究 成果集 26

原木供給と最終用途を連携させる
スギの一次加工システムの開発

独立行政法人 森林総合研究所

2010. 3

序 文

森林・林業基本計画（平成 18 年 9 月）が閣議決定され、地球温暖化防止や森林の保全に向けて、林業・木材産業の再生を推進していくことが明記されている。また、「木材産業体制整備及び国産材の利用拡大に向けた基本方針（林野庁、平成 19 年 2 月）」が策定され、従来にもまして国産材の需要拡大が求められている。これら施策を推進するために、森林総合研究所の第二期中期計画においても、スギ材等の需要拡大のための技術開発の一環として、省エネルギーで効率の良い高度な木材の乾燥・加工・流通システムの開発を行っている。

近年、景気の低迷もあって製材品の供給量は減少の一途を辿っているが、木造住宅におけるプレカット率が 80%を越える状況のなかで、建築用材の乾燥材への転換が加速している。今後、国産材の需要を拡大するには、このような状況を踏まえ住宅生産者・消費者ニーズに合わせて高品質の乾燥材の供給体制をさらに高度化・効率化する必要性がある。他方、地域における人工林蓄積量は増加しており、供給される原木も中・大径材供給が増えつつある。このため、製材工場には原木の安定的な確保と同時に、需要にあわせて生産品目の転換や多品目化が求められる状況にあり、これらに対応する合理的な製材品生産・流通システムの構築が急がれている。

本研究「原木供給と最終用途を連携させるスギの一次加工システムの開発」では、製材工場における乾燥材の生産性を向上させるため、原木の大径化に対応して生産の拡大が期待される様々な断面の製材品を市場における要求品質に合わせて製材する技術や、それら断面の異なる製材品を同時に乾燥する技術の開発を行った。また、住宅供給者の材料選択の現状や、プレカット工場における材料に対する要求品質、それらに対応する乾燥材生産におけるエネルギー消費を明らかにするとともに、原木供給から製品流通にいたる木材流通の経済性を評価するシステムを開発した。

本研究は、平成 18 年度から平成 20 年度までの 3 カ年にわたって、交付金プロジェクトとして実施したものであり、研究遂行に当たっては、奈良県森林技術センターにご協力頂いた。その成果が製材供給の拡大や地方自治体における施策立案等に活用されることを期待し、ここに本書を刊行して、広く関係者の参考に供する次第である。

最後に、木構造振興株式会社西村勝美博士には、研究遂行に当たって適切なアドバイスを頂いた。深甚な感謝の意を表したい。

平成 22 年 3 月

独立行政法人森林総合研究所
理事長 鈴木 和夫

研究課題：原木供給と最終用途を連携させるスギの一次加工システムの開発

目 次

研究の要約	1
第1章 多様な原木と最終用途に対応した製材・乾燥システムの開発	7
1 製品用途の要求品質と能率を考慮した製材システムの開発	7
2 多品目生産に対応する乾燥システムの開発と評価	12
3 高周波加熱を活用した多品目同時乾燥技術の開発	17
第2章 市場ニーズに対応した乾燥材生産・流通の効率システムの開発	22
1 住宅産業の木質建材ニーズと利用実態の解明	22
2 プレカット加工における材料の要求品質の解明	27
3 市場ニーズに対応した乾燥材供給システムの経済的評価手法の開発	32
4 市場ニーズに対応した乾燥材生産技術とその検索システムの開発	38

研 究 の 要 約

I 研究年次及び予算区分

平成 18～20 年度（3 カ年）

運営交付金（交付金プロジェクト）

II 主任研究者

主査：研究コーディネータ 神谷文夫（平成 18～19 年度）

加工技術研究領域長 黒田尚宏（平成 20 年度）

実施・取りまとめ責任者

加工技術研究領域長 黒田尚宏

III 研究場所

森林総合研究所 本所

委託：奈良県森林技術センター

IV 研究目的

木造住宅におけるプレカット率が 80%を越える状況のなかで、住宅の構造用材の集成材化が急速に進み、同時に建築用製材の乾燥材への転換が進んでいる。今後、供給が期待される国産材の需要を拡大するには、住宅生産者・消費者ニーズに合わせて様々な用途へのスギ乾燥材の供給体制をさらに効率化することが求められている。また、地域におけるスギ蓄積量の増加とともに、原木の大径材供給増が予測され、これまでの軸組用構造材から羽柄材等の様々な寸法を有する製材生産の拡大など、製材工場には生産品目の転換や多品目化が求められる状況にある。

このため、これらの住宅建築における乾燥材ニーズと製材工場における原木の大径化に対応して、市場における要求品質にあった製材品生産のシステム化、多品目生産に適合する乾燥システムの開発、消費者ニーズおよび生産から流通の乾燥材供給体制の評価等に基づいて、原木供給から製品の流通、市場ニーズを効率的に連携させる一次加工システムの開発を行う。

V 研究方法

（１）多様な原木と最終用途に対応した製材・乾燥システムの開発

製品の構造的用途における強度的要求品質と乾燥材生産の効率性を考慮した製材システムの開発のため、スギ中大丸太 166 本（末口径 24cm～40cm（平均末口径 31.6cm）、長さ 3.65m）を供試丸太とし、打撃振動法による動的ヤング係数及び重量法による推定含水率に基づき丸太を 3 グループに仕分けし、3 種類の標準木取り（挽き割木取り、平角木取り、正角木取り）により挽き材試験を行い、製材歩止り、曲がりや等級等の製品品質、動的ヤング係数を測定した。また、大丸太から同時に製材される断面の異なる製材品を同時に乾燥できる効率的なシステム構築の可能性を検討するために、高周波加熱の特徴（選択加熱）を活かして、過熱蒸気による前処理と高周波加熱減圧（RF/V）乾燥及び蒸気・高周

波複合乾燥の２種類の乾燥方法を取り上げ、断面の異なる製材品（平角、正角、平割り）を同一の乾燥装置内で乾燥する条件を検討した。この際、断面および初期含水率の違いによる乾燥時間の差を明らかにし、これを基に平角と正角を同時乾燥を行う場合の適切な初期含水率条件について検討した。併せて、蒸気・高周波複合乾燥を行うためのさん積み方法、スケジュールの検討を行い、次に、同時乾燥が可能となる断面寸法・乾燥前含水率の組み合わせ条件を検討した。

（２）市場ニーズに対応した乾燥材供給・流通の効率システムの開発

木造住宅建築やプレカット工場における材料ニーズ、特に人工乾燥材の需給に関する実態把握のため、建築業者・製材業者への聞き取り調査およびアンケート調査を実施し、木造軸組住宅における国産材利用の実態分析を行った。また、既存の資料調査および国産材を使用しているプレカット工場、プレカット機械メーカー、および乾燥材生産工場に対する調査を行い、プレカット材料の種類と製材品に要求される品質の現状を把握するとともに、使用材料の品質と加工時および加工後に発生する欠点等との関係について検討した。さらに、ニーズを基にした乾燥材供給と流通の効率システムに向けて、スギ原木の生産・流通に始まり、乾燥材生産、住宅部材プレカット、木造住宅建築に至る、川上から川下までのトータルな経済循環システムを考え、そこでのモノ（スギ原木・乾燥製材品・住宅部材）、ヒト（各工程に必要な労働者）、カネ（収益・費用）の動きを、相互に関連づけて把握できる評価モデルをシステムダイナミクスの手法を用いて検討した。同時に、住宅用部材向けの主要な材種についての最適乾燥方法に関する技術データの収集・解析、乾燥材生産におけるエネルギー消費量や乾燥経費（人件費、直接費、償却費等）の試算を行い、効率的乾燥材生産のマニュアルを検討した。

（研究計画表）

研究課題	実施年度			担当
	18年	19年	20年	場所、研究領域等
1. 多様な原木と最終用途に対応した製材・乾燥システムの開発				
(1) 製品用途の要求品質と能率を考慮した製材システムの開発	←		→	加工技術研究領域
(2) 多品目生産に対応する乾燥システムの開発と評価	←		→	加工技術研究領域
(3) 高周波加熱を活用した多品目同時乾燥技術の開発	←		→	奈良県林業技術センター
2. 市場ニーズに対応した乾燥材供給・流通の効率システムの開発				
(1) 住宅産業の木質建材ニーズと利用実態の解明	←		→	林業経営・政策研究領域
(2) プレカット工場における材料の要求品質の解明	←		→	加工技術研究領域
(3) 市場ニーズに対応した乾燥材供給システムの経済的評価手法の開発	←		→	林業経営・政策研究領域
(4) 市場ニーズに対応した乾燥材生産技術とその検索システムの開発	←		→	加工技術研究領域

VI 研究結果

（１）多様な原木と最終用途に対応した製材・乾燥システムの開発

スギ大丸太を対象にして、３種類の標準木取りによる製材試験を行った結果、挽き材直後の製品の動的ヤング係数の平均は、 $3.8 \times 11.5\text{cm}$ が 6.8GPa 、 $5.3 \times 11.5\text{cm}$ が 7.7GPa 、 $11.5 \times 11.5\text{cm}$ が 6.6GPa 、 13.0cm 厚が 7.9GPa であり、また形量歩止り、価値歩止りとも平角木取りが挽き割木取り、正角木取りと比較して高いことを明らかにした。これら原木の標準木取りを用いて多品目製材を行うと仮定し、ノーマンツイン帯鋸盤、ツインリップ、ギャングリッパ、プレーナギャングリッパ、オートテーブルからなる製材システムを構築した場合、原木（平均径 30cm ） 290 本/日（ 104m^3 ）の消費能力となった。また、これらの多品目製材の乾燥処理について、過熱蒸気処理と高周波・減圧乾燥の組み合わせ処理を用いて平角と正角を同時に乾燥仕上げる場合、棧積みする段階で平角材の含水率は 40% 以下となっている必要があり、初期含水率が 70% 以下、 $70 \sim 90\%$ 、及び $90 \sim 130\%$ の範囲の正角と同時乾燥するには、それぞれ 13 時間、 20 時間、 44 時間の過熱蒸気処理を行った後、高周波・減圧乾燥すればよいことを明らかにした。また、蒸気・高周波複合乾燥の場合、高周波条件を材種ごとに設定することによって、例えば正角、平角、平割りの含水率がそれぞれ 100% 程度、 50% 程度、 70% 程度であれば、 $3 \sim 4$ 日で同時乾燥することができるなど、同時乾燥処理が可能となる材種や初期含水率の組み合わせ条件を明らかにした。これらにより、乾燥機の少ない小規模製材工場においても、適切な乾燥前選別の導入を前提条件として、今後需要の拡大が期待される平角（横架材）を含めた多品目製材・乾燥システムの構築が可能になると考えられる。

（２）市場ニーズに対応した乾燥材供給・流通の効率システムの開発

一連の調査・検討によって、建築業者の規模に応じた部材需要の構造や部材選択の判断基準の違いが明らかになり、人工乾燥材需要の拡大のためには、部材の選択の面でより流動的で、かつ大手との差別化要素が求められている中小建築業者を対象とすることが有効と考えられ、特に横架材分野の利用促進を図ることで、人工乾燥材需要の一層の拡大が期待できると考えられる。一方で、プレカット工場においては材の曲がりや乾燥割れが問題であり、また使用材料には厳密な含水率管理と高い寸法精度が求められていることが明らかとなり、乾燥材供給拡大には、これらの品質ニーズに合った製材品の生産が必要になると考えられる。国産材製材の生産・流通のモデルを構築し、乾燥材生産・流通システムのシミュレーションによる経済的評価を行った結果では、山元からプレカット工場に至る原木・製品の直送方式により、製材工場における流通コスト低減（約 $1,100$ 円/ m^3 ）と山元立木価格の上昇（約 $2,000$ 円/ m^3 ）が可能になることが明らかになった。また、乾燥材生産のコストは、生産規模に依存するとともに、求められる材料によって乾燥温度や燃料の選択が必要になることを明確に示すことができた。これらにより、高い品質ニーズに合った乾燥材供給に必要な乾燥マニュアルの整備、技術者養成、流通の効率化施策の策定が可能になると考えられる。

（３）結果のまとめ（ニーズにあった製材供給のための製材・乾燥と流通の効率化）

この研究では、今後の大径材供給の増加を見越し、それに対応した多品目少量生産のための新たな製材・乾燥技術を開発し、同時に、住宅建築におけるニーズの変化や求められる材料品質の把握に基づいて、製材工場を中心とした原木及び製品の流通を評価している。他方、製材生産と供給の現状においては、小規模生産に対応した多品目製材・乾燥に関する個別技術開発は大規模生産による乾燥材の安定供給への期待とは相容れない。このため、（１）の「製材・乾燥システムの開発」課題と（２）の「乾燥材供給・流通の効率システムの開発」課題の成果を、改めてまと

めることとし、全体の構図を図1に示している。

今後製材工場は、川上（山元、原木供給）と川下（市場ニーズ）をむすぶ川中に位置づけられ、木材流通において、乾燥処理を通じた木材ストック機能と、山元へのニーズの伝達、住宅建築への品質供給の役割を担っている。今後、木材流通の効率性評価システムと乾燥材を安定供給するための基盤的な加工技術を付加することによって、「量と品質の両面における安定供給」を中心的に果たすことが期待されている。

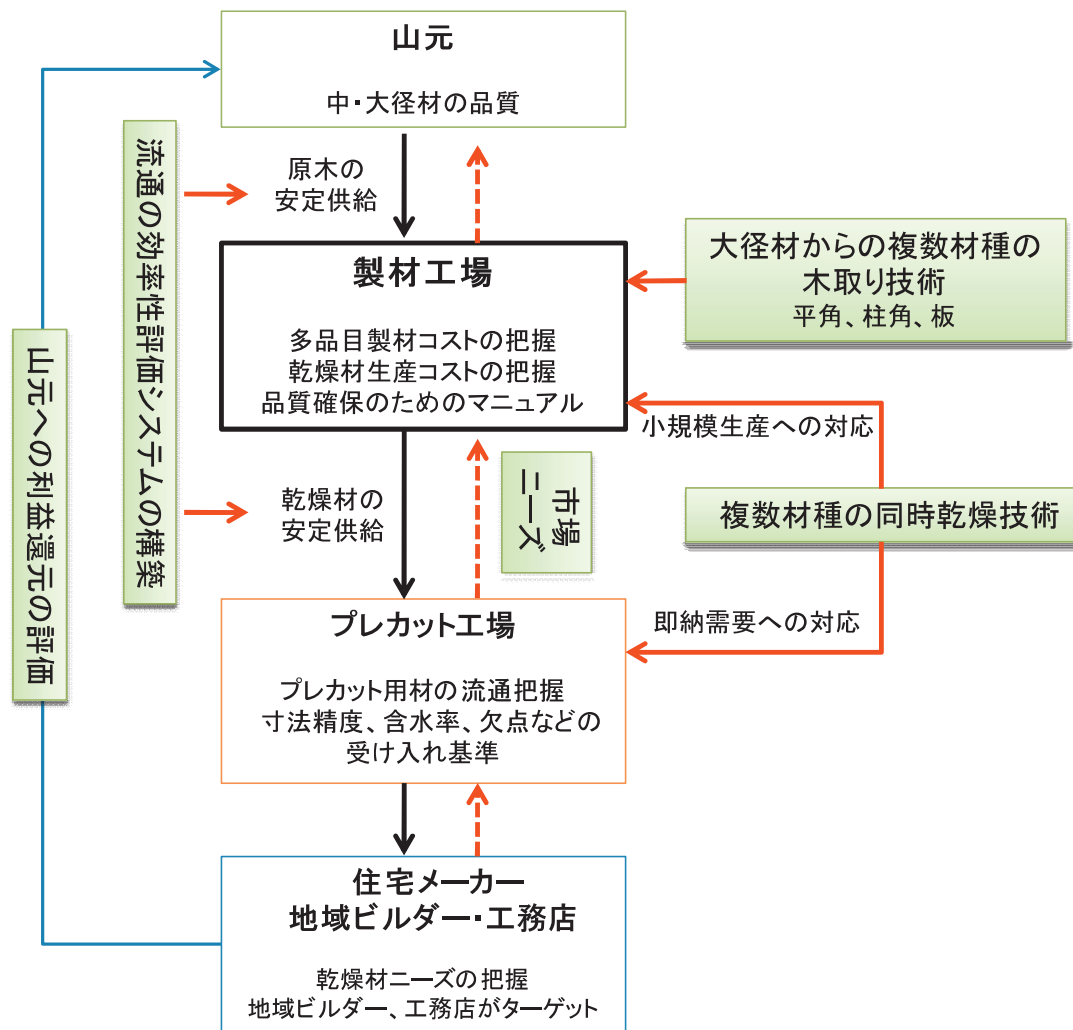


図1 研究結果の全体構図

注：□（囲み）内は成果の内容、矢印は木材、情報等の流れと研究結果の波及効果を表す。

VII 成果の利活用

大径材木取り、複数材種の同時乾燥条件、乾燥材の品質ニーズや生産コスト等の情報など普及に移し得る成果については、実務者向けの各種講習会テキストに取り入れ、また国産材需要拡大のための乾燥マニュアル等の整備に活用する。さらに、乾燥材の生産・流通・消費の評価モデルについては、国産材需要拡大のための行政施策の推進や中長期的な地域ビジョン策定などのための基礎的ツールとしての活用を図る。

VIII 今後の問題点

当プロジェクトでは、大径材からの多品目製材とその同時乾燥システムを開発し、同時に求められる乾燥材ニーズの把握に基づく効率的な流通システムを明らかにした。一方で、今後乾燥材供給の拡大に向けて、大規模製材工場における多品目製材システムを提案するには至っておらず、今後の検討課題として残されている。また、製材工場における実用化を推進するには、製材断面別の含水率選別方法・選別技術の開発と併せてシステム構築を進める必要がある。さらに、今後、乾燥技術の普及が重要であるため、乾燥材情報等の検索システムについてさらに検討する必要がある、木材関連の学協会等他機関と連携しながら、検討を進める必要がある。

IX 研究発表

- 1) 小林功、黒田尚宏、本田(石川)敦子(2006)：過熱蒸気処理と高周波加熱減圧との組み合わせによるスギ心持ち無背割り柱材の乾燥、木材工業、61(8)、350-355
- 2) 松村ゆかり、村田光司(2006)：プレカット工場の実態調査-生産能率に影響を与える要因-、第56回日本木材学会大会研究発表要旨集、56、p.39
- 3) 外崎真理雄、齋藤周逸(2006)：振動試験によるスギ高温乾燥材の内部割れ評価について、第56回日本木材学会大会研究発表要旨集、56、D09-1715
- 4) 齋藤周逸、廣田哲夫(2006)：乾燥マニュアルおよび乾燥温度スケジュール管理ソフトウェア(CD-ROM) ver1.01、株式会社ヒロタ
- 5) 小林功ほか(2006)：過熱蒸気処理によるスギ材の表面劣化の分光学的把握、日本木材加工技術協会第24回年次大会講演要旨集、pp49-50
- 6) 野田英志(2006)：森林資源の持続的活用に向けた日本林業システム創出への課題、木材工業、Vol.61, No.11、485-489
- 7) 小林功(2007)：乾燥を速める工夫、森林技術、No.778、4-9
- 8) 松村ゆかり、村田光司、伊神裕司(2007)：Effects of sorting logs on sawn lumber yields and qualities - Young's modulus and moisture content -, 森林総合研究所研究報告、6(1)
- 9) Murata, Kohji; Ikami, Yuji; Matsumura, Yukari (2007): Proceedings of 18th International Wood Machining Seminar, Vol.2, 5-12
- 10) 小林功、黒田尚宏、本田(石川)敦子(2007)：「過熱蒸気を用いた大断面の乾燥と多材種同時乾燥の試み」、第57回日本木材学会大会研究発表要旨集(CD-ROM)、E09-0900
- 11) 黒田尚宏(2007)：スギ心持ち材乾燥のための基礎研究の展開、木材学会誌、53(5)、243-253
- 12) 嶋瀬拓也(2007)：国産材製材大手における事業の現状と展望、2007年林業経済学会秋季大会要旨集、T1-1
- 13) 嶋瀬拓也(2007)：国産材製材業者の調査結果、「木造軸組住宅における国産材利用の実態調査」報告書(日本木造住宅産業協会編・発行)、65-76
- 14) 松村ゆかり、村田光司(2008)：プレカット工場における国産材乾燥材の使用実態と要求品質、日本木材学会大会研究発表要旨集(CD-ROM)、58:F19-1130
- 15) 齋藤周逸、外崎真理雄(2008)：スギ心持ち柱材乾燥材の乾燥材横断面に現れた内部

割れの特徴、日本森林学会関東森林研究 59 号、34-35

16) 村田光司、伊神裕司、松村ゆかり(2008)：スギ大丸太並材の製材歩止り、日本木材学会研究発表要旨集(CD-ROM)、58:PF008

17) 小林功、黒田尚宏、本田(石川)敦子(2008)：「過熱蒸気前処理と高周波加熱減圧乾燥の組み合わせによる大断面材と柱材の同時乾燥の試み、」、第 58 回日本木材学会大会研究発表要旨集(CD-ROM)、PE008

18) 小林功、土川寛、稲垣哲也、林和男(2008)：過熱蒸気によるスギ材の表面劣化の分光学的把握(2) 処理条件との関係、第 58 回木材学会大会研究発表要旨集(CD-ROM)、PB005

19) 小林功、本田(石川)敦子、黒田尚宏(2008)：高周波を活用して寸法や含水率の異なる木材を同時に乾かす、平成 20 年版研究成果選集、46-47

20) 小林功(2008)：乾燥における過熱水蒸気の利用、第 29 回日本熱物性シンポジウム講演論文集 CD-ROM、A111

21) 野田英志(2008)：木材の流通加工消費から考える、森林利用学会シンポジウム資料、8

22) 松村ゆかり、西村勝美、村田光司(2009)：プレカット工場における部材加工の前処理、第 59 回日本木材学会大会研究発表要旨集、59:F15-1600

23) 嶋瀬拓也(2009)：在来軸組工法における主要構造材の材料選択、第 120 回日本森林学会大会学術講演集、120、107

24) 齋藤周逸、黒田尚宏(2009)：乾燥工場規模による乾燥材生産コストの試算、日本森林学会関東森林研究 60 号、281-282

25) 外崎真理雄、齋藤周逸他(2009)：動的せん断弾性率による高温乾燥スギ正角心持ち材の内部割れの評価、木材学会誌(印刷中)

26) 齋藤周逸(2009)：乾燥材生産における省エネルギー対策、木材工業, 64, 528-532

27) 伊神裕司、村田光司、松村ゆかり(2009)：スギ中・大径原木の仕分け方法と製材歩止り、日本木材学会中部支部大会講演要旨集、19、30-31

28) 寺西康浩、海本一、黒田尚宏：日本木材加工技術協会第 27 回年次大会要旨集、13(2009)
29) Isao Kobayashi; Kazuo Hayashi(2010)：Superheated Steam Drying of Sugi(*Cryptomeria japonica* D. Don) Boxed-heart Timber, 11th IIFRO Wood Drying conference Proceedings

X 研究担当者

第 1 章

村田光司(木材機械加工研究室長)、伊神裕司、松村ゆかり(木材機械加工研究室)、小林功(木材乾燥研究室)、黒田尚宏(加工技術研究領域長)、寺西康浩、海本一(奈良県森林技術センター)

第 2 章

野田英志(林業経営・政策研究領域長)、嶋瀬拓也(林業動向解析研究室)、高野勉(木材乾燥研究室長)、松村ゆかり(木材機械加工研究室)、村田光司(木材機械加工研究室長)、齋藤周逸(加工技術研究領域チーム長)、黒田尚宏(加工技術研究領域長)

第1章 多様な原木と最終用途に対応した製材・乾燥システムの開発

1. 製品用途の要求品質と能率を考慮した製材システムの開発

ア 研究目的

材価の低迷等によりスギ等針葉樹造林木の伐期が長伐期へ移行していることから、製材用原木が小中径材から中大径材へと移行することが予想され、今後中大径材の効率的な多品種製材生産のための木取り方法の開発が強く求められてくると考えられる。

そこで、本研究では、スギの中大径材の品質及び製材木取りと歩止り・製材品質を検討し、消費者が要求する品質の製材を低コストで生産する製材システム、すなわち、スギ中大径材の製品用途の要求品質と能率を考慮した多品種製材システムを検討する。

イ 研究方法

栃木県森林組合連合会共販所から購入したスギ中大丸太 166 本（末口径 24cm～40cm（平均末口径 31.6cm）、長さ 3.65m）を供試丸太とした。表 1-1-1 に供試丸太の諸元を示す。供試丸太の動的ヤング係数を打撃振動法により測定するとともに、その重量より推定含水率を求めた。これらの結果に基づき丸太を 3 グループに仕分けし、それぞれのグループ用に設定した多品種生産のための 3 種類の標準木取りにより挽き材試験

表1-1-1 供試丸太の諸元

	最小	最大	平均	標準偏差
末口径 (cm)	24.2	40.8	31.6	3.3
元口径 (cm)	26.0	52.4	36.6	4.9
材積 (m ³)	0.2197	0.6209	0.3800	0.0803
心材半径 (cm)	6.3	15.5	10.3	1.7
平均年輪幅 (mm)	3.0	17.7	8.3	3.8
曲がり率 (%)	0.0	16.5	4.4	3.3
節数	0	75	14.0	18.5

を行った。標準木取りは、図 1-1-1 に示す挽き割木取り、平角木取り、正角木取りであり、動的ヤング係数 7.0GPa 未満の丸太には正角木取りもしくは挽き割木取り、動的ヤング係数 7.0GPa 以上の丸太には平角木取りを採用した。これらの木取りを用いて製材したときの製材歩止り、曲がりや等級等の製品品質、動的ヤング係数を測定した。

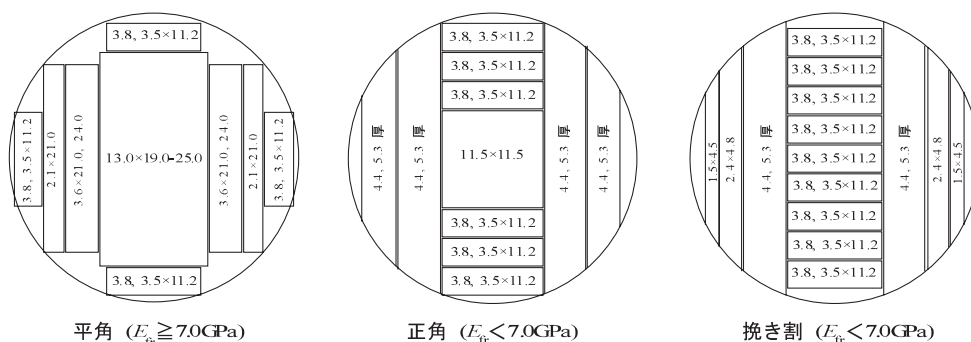


図 1-1-1 標準木取り

ウエ 結果および考察

供試丸太を素材の日本農林規格に準じて等級格付けした結果、1 等 67 本、2 等 58 本、3 等 40

本、4等1本であった。2等と格付けされた丸太のうち、節によるものが20本、曲がりによるものが33本、節および曲がりによるものが5本であった。3等と格付けされた丸太のうち、節によるものが32本、曲がりによるものが7本、節および曲がりによるものが1本であった。4等と格付けされたものは節による。

図1-1-2に供試丸太の推定含水率の分布を示す。供試丸太の推定含水率は25～130%(平均77.6%、標準偏差20.7%)であった。この結果は、既報の供試丸太¹⁾と比べて低いものであった。今後、径が30cmを超える丸太の供給が増えると予想されているが、現状において栃木県内では30cmを超える丸太の需要および供給が多くないため、中大丸太の量を揃えるために伐採直後の丸太だけでなく、土場に長期間保管されていたと思われる丸太が含まれていたことによると考えられる。

図1-1-3に動的ヤング係数の推定含水率の分布を示す。動的ヤング係数は4.7～11.6GPa、(平均7.5GPa、標準偏差1.4GPa)であり、既報の供試丸太¹⁾と比べて低いものであった。本研究の供試丸太は、既報の供試丸太¹⁾より径が大きい、径が大きいことにより動的ヤング係数が比較的小さくなったというより、たまたま動的ヤング係数の低い丸太が多く含まれていたと考えるのが妥当であろう。なお、本研究の供試丸太には元玉が多く含まれており、根張りにより測定誤差が生じ、動的ヤング係数を低く見積もった可能性を考慮する必要があるかもしれない。

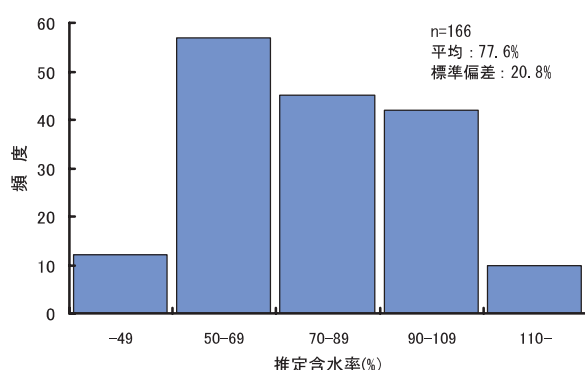


図 1-1-2 丸太の推定含水率の分布

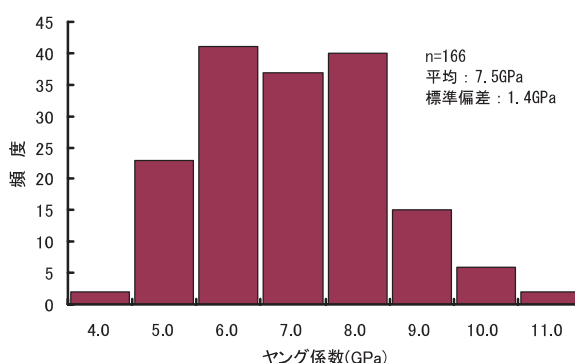


図 1-1-3 丸太ヤング係数の分布

形量歩止りの結果を表1-1-2に示す。挽き割木取り、平角木取り、正角木取りを用いて挽き材した丸太は、それぞれ63, 70, 33本であった。粗挽きは乾燥による収縮や仕上げ加工による削り代を考慮した仕上げ寸法に歩増しした粗挽き寸法での歩止りを示しており、仕上げは仕上げ寸法での歩止りを示している。したがって、粗挽き歩止りと仕上げ歩止りを比較すると仕上げ歩止りのほうが低くなる。形量歩止りは、平角木取り>正角木取り>挽き割木取りの順であった。これは鋸断回数の順と一致しており、鋸断回数の少ない平角木取りでは挽き道による歩止りの低下が少なく、正角木取りおよび挽き割木取りと比較して高くなった。

表1-1-2 形量歩止り(%)

木取り	本数	粗挽き		仕上げ	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
挽き割	63	66.5	2.4	54.0	3.0
平 角	70	68.2	3.2	59.4	3.5
正 角	33	67.8	4.9	56.2	5.1
全 体	166	67.5	3.4	56.7	4.4

表1-1-3 価値歩止り(%)

木取り	本数	粗挽き		仕上げ	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
挽き割	63	66.7	3.4	54.3	4.3
平 角	70	75.2	5.6	65.5	5.6
正 角	33	69.8	5.5	57.9	5.8
全 体	166	70.9	6.2	59.7	7.3

価値歩止りの結果を表 1-1-3 に示す。価値歩止りも形量歩止りと同様に、平角木取り>正角木取り>挽き割木取りの順であった。これは、製品の品質が同程度の場合には、価値歩止りが形量歩止りにほぼ比例することによる。

図 1-1-4 に製品の等級別割合を示す。1 級の占める割合は 13.0cm 厚の平角が最も高く、 $3.5 \times 11.5\text{cm} > 5.3 \times 11.5\text{cm} > 3.8 \times 11.5\text{cm} > 11.5 \times 11.5\text{cm}$ の順であった。丸太の比較的外周付近から採材することの多かった $3.5 \times 11.5\text{cm}$ 、 $5.3 \times 11.5\text{cm}$ および材面が比較的外周付近となる 13.0cm 厚平角において 1 級の占める割合が高かった。一方、外周部ばかりでなく樹心近くからも採材した $3.8 \times 11.5\text{cm}$ や外周部より内側に入った部分が材面とな

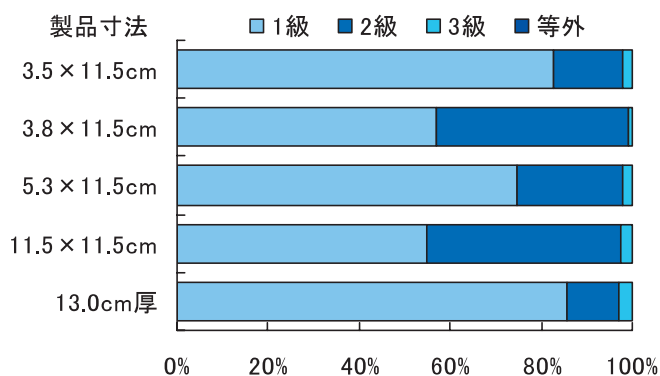


図1-1-4 製品の等級別割合

る $11.5 \times 11.5\text{cm}$ では材面上の節の多くなる傾向があり、1 級の占める割合が比較的低くなった。

挽き材直後の製品の曲がり率と平均含水率を表 1-1-4 に示す。挽き材直後の製品の曲がり率の平均は、bow が $3.5 \times 11.5\text{cm}$ で 0.24%、 $3.8 \times 11.5\text{cm}$ で 1.26%、 $5.3 \times 11.5\text{cm}$ で 0.89%、 $11.5 \times 11.5\text{cm}$ で 0.18%、 $13.0 \times 25.0\text{cm}$ で 0.12%、crook が $3.5 \times 11.5\text{cm}$ で 0.11%、 $3.8 \times 11.5\text{cm}$ で 0.44%、 $5.3 \times 11.5\text{cm}$ で 0.30%、 $13.0 \times 25.0\text{cm}$ で 0.08%であり、どの寸法においても bow より crook の方が小さかった。また、 $3.5 \times 11.5\text{cm}$ を除くと、厚さの増加に伴い bow が小さくなる傾向を示した。高周波型木材含水率計で測定した平均含水率の平均は、約 60%から 80%であった。

表1-1-4 挽き材直後の製品の曲がり率(%)と平均含水率(%)

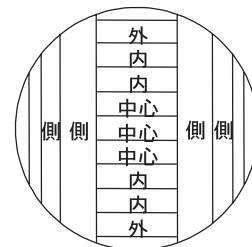
寸法	本数	bow		crook		平均含水率	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
3.5 × 11.5cm	105	0.24	0.23	0.11	0.10	77.2	18.5
3.8 × 11.5cm	519	1.26	1.74	0.44	0.65	76.2	21.2
5.3 × 11.5cm	308	0.89	1.13	0.30	0.38	59.3	27.1
11.5 × 11.5cm	40	0.18	0.13	0.03	0.03	74.3	21.0
13.0 × 25.0cm	67	0.12	0.11	0.11	0.08	80.7	23.1

注: 平均含水率は高周波型含水率計で測定。11.5 × 11.5cmでは曲がりの大きい材面をbow、小さい材面をcrookとした

表 1-1-5 に人工乾燥後の挽き割製品の曲がり率を示す。人工乾燥後の含水率は、高周波型木材含水率計による測定で、平均 12.3% (標準偏差 3.6%) であった。人工乾燥後の挽き割製品の曲がり率の平均は、bow が 0.24%、crook が 0.13%、cup が 0.67%であった。人工乾燥後の挽き割製品の cup は、フリッチでの位置が樹心に近づくにつれて大きくなる傾向を示しているが、製材品の木口面における年輪の曲率からこのような傾向を示している。表 1-1-5 より、 $3.5 \times 11.5\text{cm}$ の製品を製材する場合、cup のみを考慮した厚さの歩増し量はフリッチの外側の製品で 1.1mm、内側の製品で 1.8mm、中心の製品で 2.0mm となる。

表1-1-5 人工乾燥後の挽き割製品の曲がり率(%)

位置	本数	bow		crook		cup	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
側	51	0.25	0.11	0.12	0.07	0.49	0.16
外	52	0.24	0.12	0.11	0.08	0.60	0.18
内	50	0.29	0.13	0.14	0.08	0.86	0.32
中心	38	0.18	0.12	0.18	0.11	1.12	0.32
全体	191	0.24	0.12	0.13	0.09	0.67	0.33



注: 挽き割木取りの丸太のみ。側は5.3×11.5cmと3.8×11.5cm、それ以外は3.8×11.5cmのみ。

挽き材直後の製品の動的ヤング係数を表 1-1-6 に示す。挽き材直後の製品の動的ヤング係数の平均は、3.8×11.5cm が 6.8GPa、5.3×11.5cm が 7.7GPa、11.5×11.5cm が 6.6GPa、13.0cm 厚が 7.9GPa であった。図 1-1-5 は丸太の動的ヤング係数と製品の動的ヤング係数の関係を示している。丸太の動的ヤング係数と製品の動的ヤング係数とは高い相関関係があり、これまで指摘されているように¹⁾、丸太の動的ヤング係数とその丸太から製材される製品の動的ヤング係数を見積もる指標となる。

表1-1-6 挽き材直後の製品のヤング係数(GPa)

寸 法	本 数	平 均	標準偏差
3.8×11.5cm	522	6.8	1.9
5.3×11.5cm	309	7.7	1.8
11.5×11.5cm	39	6.6	1.6
13.0cm厚	72	7.9	1.2

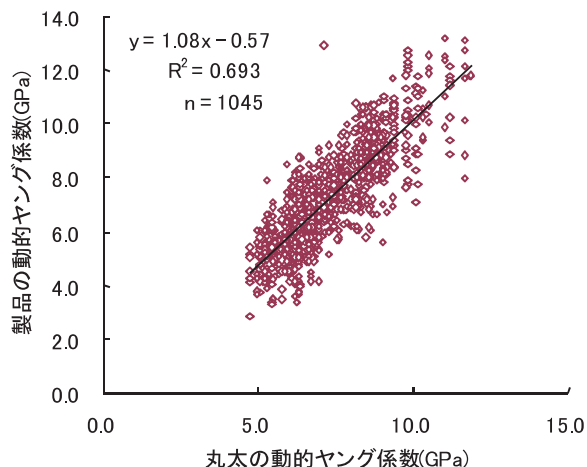


図 1-1-5 丸太の動的ヤング係数と
製品の動的ヤング係数の関係

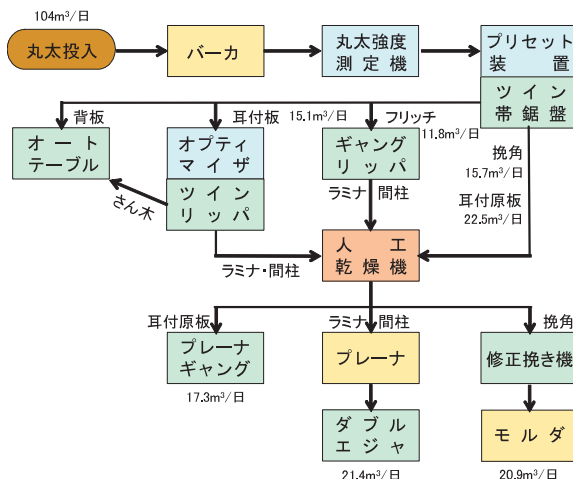


図 1-1-6 多品種大量生産の製材システム案

平角木取り、正角木取り、挽き割木取りの3種類の標準木取りを用いた多品種大量生産するノーマンツイン帯鋸盤、ツインリッパ、ギャングリッパ、プレーナギャングリッパ、オートテーブルからなる製材システムを提案すると、図 1-1-6 のようになる。この製材システムでは、ツイン帯鋸盤以外の機械の能力に余裕があるため、ツイン帯鋸盤がラインの能力を支配することになる。丸太平均径を 30cm とすると、丸太 1 本あたりの処理時間は平角木取り 87 秒、正角木取り 100 秒、

挽き割木取り 73 秒で、平均 87 秒である。1 日 7 時間の稼働により 290 本/日、104m³/日の丸太消費能力となり、年間操業日数を 250 日すると 26,000m³の丸太消費能力の製材システムである。

オ 今後の問題点

一部大径材を含めた多品種生産を目指した製材システムを検討したが、中・大径木を対象とした総括的な製材システムについては検討していない。今後ますます供給の増加が見込まれる、中・大径木を効率的に製材加工するために、中・大径木を対象とした総括的な製材システムを検討する必要がある。

カ 要約

栃木県森林組合連合会共販所より購入したスギ中大丸太166本（末口径24cm～40cm（平均径31.6 cm）、長さ3.65m）を供試丸太とした。供試丸太の推定含水率は25～130%（平均77.6%、標準偏差20.7%）、動的ヤング係数は4.7～11.6GPa、（平均7.5GPa、標準偏差1.4GPa）であった。挽き割木取り、平角木取り、正角木取りの3種類の標準木取りを設定し、動的ヤング係数7.0GPa未満の丸太に挽き割木取りもしくは正角木取り、7.0GPa以上の丸太に平角木取りを採用して挽き材試験を行った。

形量歩止り、価値歩止りとも平角木取りが挽き割木取り、正角木取りと比較して高かった。これは、鋸断回数の少ない平角木取りのほうが挽き道による歩止り低下が少ないこと、製品の品質が同程度の場合には価値歩止りが形量歩止りにほぼ比例することによる。人工乾燥後の挽き割製品の曲がり率は、bow の平均が 0.24%、crook の平均が 0.13%、cup の平均が 0.67%であった。人工乾燥後の挽き割製品の cup は、フリッチの中心に向かって大きくなる傾向を示した。この結果より、3.5×10.5cm の製品を製材する場合、cup のみを考慮するなら、歩増し量は、外側の製品で 1.1mm、内側の製品で 1.8mm、中心の製品で 2.0mm となる。挽き材直後の製品の動的ヤング係数の平均は、3.8×11.5cm が 6.8GPa、5.3×11.5cm が 7.7GPa、11.5×11.5cm が 6.6GPa、13.0cm 厚が 7.9GPa であった。ノーマンツイン帯鋸盤、ツインリッパ、ギャングリッパ、プレーナギャングリッパ、オートテーブルからなる製材システムを提案してその能力を検討すると、原木平均径を 30cm とし、3 種類の原木標準木取りを用いて製材すると仮定すると、1 日 290 本、104m³の原木消費能力となった。

キ 引用文献

- 1) 村田光司、伊神裕司、松村ゆかり：森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集，No. 8，30-35（2006）

（森林総合研究所加工技術研究領域 村田光司、伊神裕司、松村ゆかり）

2. 多品目生産に対応する乾燥システムの開発と評価

ア 研究目的

今後、原木供給が多様化するに連れ、様々な径級の原木が同時に供給されることが予想される。これに効率よく対応し、品質の良い乾燥材供給を維持するためには、より断面の大きな製材の乾燥技術や多材種同時乾燥のようなこれまでは用いられなかった新技術の開発が必要となる。このため、本課題では大径材からの木取りを意識した、柱材よりも断面の大きな製材の乾燥条件と、複数の形状の製材を同時に乾燥する場合に発生する問題点を特に小規模生産の場合について整理し、より効率の良い乾燥方法を開発する。

イ 研究方法

断面の異なる木材をひとつの乾燥装置へ投入し、同時に開始および終了できる乾燥システムの構築にあたって問題となるのは、断面および初期含水率の違いによる乾燥時間の差である。この点について検討するため、初期含水率による選別を前提として、断面の異なる製材の同時乾燥の可能性について検討を行った。まず、高さ 115mm のスギ心持ち平角材の過熱蒸気式乾燥スケジュールを作成し、柱材と同時乾燥を行う場合の適切な初期含水率条件について検討した。次に、厚さ 115mm のスギ心持ち平角材と柱材について過熱蒸気による前処理と高周波加熱減圧 (RF/V) 乾燥試験を行い、これらを同時に乾燥する場合に必要な初期含水率条件について検討を行った。

【過熱蒸気式乾燥法を用いた平角材と柱材の同時乾燥】

平角材を過熱蒸気によって乾燥するタイムスケジュールを作成するための予備試験として、既存の 115mm 柱材の過熱蒸気乾燥試験の結果から含水率スケジュールを作成し、これによる平角材の過熱蒸気乾燥試験を行った (図 1-2-1、表 1-2-1 の「予備試験」)。用いた試験材は幅 190mm、高さ 115mm、長さ 900mm のスギ心持ち平角材で、初期含水率は 71~88% であった。測定した項目は、含水率経過、割れの長さ、乾燥終了後の解放ひずみ分布である。この結果から初期含水率約 95% の平角材の過熱蒸気乾燥用タイムスケジュールを作成し、この含水率の平角材と同時に乾燥可能な柱材の初期含水率について検討した。さらに、含水率 90% 前後の柱材の乾燥時間 (約 3 日) で乾燥できる平角材の初期含水率についても検討した。

【過熱蒸気処理+RF/V 乾燥を用いた平角材と柱材の同時乾燥】

まず、高周波加熱減圧乾燥 (RF/V 乾燥) における乾燥時間を予備試験によっておおむね把握し、この結果をもとに初期含水率によって前処理時間を変えて柱材と平角材を同時に高周波加熱減圧乾燥に供し、含水率経過を調べた。この後、平角材と柱材の同時乾燥が可能な初期含水率範囲を広げるため補足試験を行った。用いた試験材は、幅 190mm、高さ 115mm、長さ 4m のスギ心持ち平角材から採取した、長さ 650mm の平角材および、断面 115×115mm、長さ 650mm の柱材で、初期含水率は 63~150% である。測定項目は含水率経過及び割れの長さである。

ウエ 結果と考察

【過熱蒸気式乾燥を用いた平角材と柱材の同時乾燥】

初期含水率 88%、高さ 115mm の平角材が約 4.5 日で乾燥でき、表面割れ、内部割れのどちらもほとんど発生しなかった (図 1-2-1、表 1-2-1 「予備試験」)。この結果から、柱材用の過熱蒸気スケジュール (タイムスケジュール、3 日) を、4.5 日で完了するよう変更して、平角材用の過熱蒸気乾燥タイムスケジュールとした。次に、このスケジュールを用いてスギ心持ち平角材の乾燥試験を行ったところ、表面割れ、内部割れともに非常に少なく、初期含水率が 80% 前後であれば約 4.5 日で含水率が 15% まで乾燥できることが分かった。また、試験終了後、表面割れの発生する危険性が十分に無くなっているかどうか確認するため、解放ひずみ分布の測定を行ったところ、

幅全体で測定した場合も中央部のみ測定した場合も平角の表面付近では圧縮応力となり、乾燥終了時には表面割れの発生する危険性がほぼ無くなっていたと考えられ、表面割れが少なかった結果を裏付けた（図 1-2-3）。また、解放ひずみの絶対値を比較すると幅全体は材面中央部より大きく、平角表面の両サイド部分が中央部より大きな圧縮応力を維持していたと考えられる。この結果から、材面の中心付近は両サイドより大きな割れ発生リスクを持つが、材面が割れない程度の大きさであったと考えられる。また、平角材と柱材の乾燥経過の比較を図 1-2-4 に示す。柱材の乾燥時間は約 36 時間長く、初期含水率が 60% 前後のものであれば、初期含水率 90% の柱材とともに乾燥装置に投入することが可能と推測された。

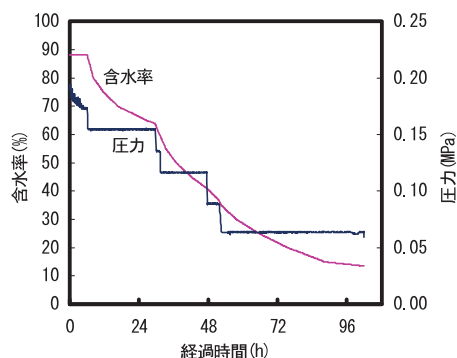


図 1-2-1 平角材の過熱蒸気乾燥スケジュール作成試験の結果

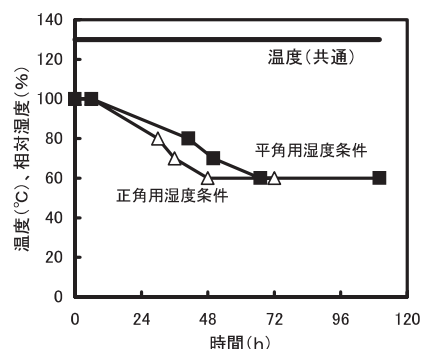


図 1-2-2 作成した平角材用の過熱蒸気乾燥タイムスケジュール

表 1-2-1 平角材の過熱蒸気乾燥試験の結果

試験	試験材	初期含水率 (%)	終了時含水率 (%)	表面割れ長さ合計 (cm/m)	内部割れ (mm ²)	乾燥日数 (日)	含水率15%までの乾燥日数
試験1 (タイムスケジュール作成)	試験材1	88	13	16	0	4.5	4
試験2 過熱蒸気乾燥 (130°C)	試験材2	84	10	16	0	5	4.5
	試験材3	76	6	0	0	5	—
	試験材4	88	8	0	0	5	—

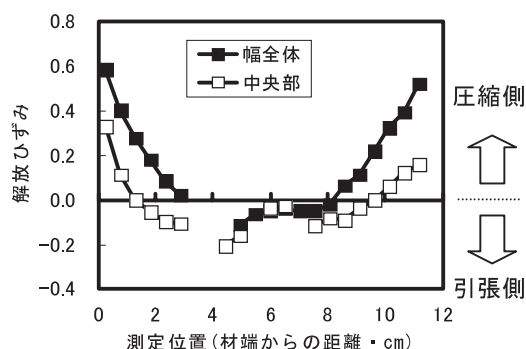


図 1-2-3 平角材の乾燥後の解放ひずみ

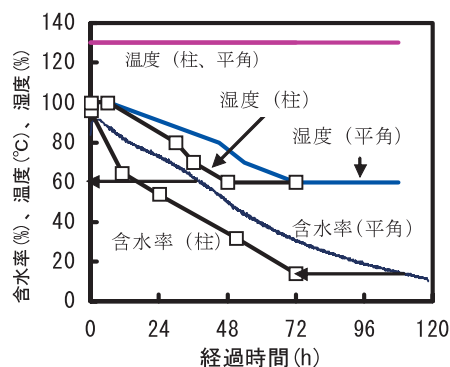


図 1-2-4 平角材と柱材の乾燥経過の比

【過熱蒸気処理+RF/V 乾燥を用いた平角材と柱材の同時乾燥】

(1) 予備試験の結果

予備試験の結果を図 1-2-5, 1-2-6 に示す。図 1-2-5 は初期含水率と、その後過熱蒸気処理を 13 時間行った時点での含水率との関係、図 1-2-6 は過熱蒸気処理終了後の含水率とその後 RF/V 乾燥を 60 時間行った時点での含水率との関係である。各点は実測値、黒い線は回帰曲線、青い薄い線は 90% 予測区間である。

図 1-2-6 によると、18% 以下に仕上がるためには、過熱蒸気処理終了時に安全側に見積もって 38% 以下となっている必要がある。そこで、図 1-2-5 にこれを当てはめると、初期含水率がおおむね 70% 前後の材が 60 時間の RF/V 乾燥を経て 18% 以下に仕上がるということが読み取れた。そこで、初期含水率 70% を境に過熱蒸気処理時間を 13 時間と、より長いものに分けることにした(表 1-2-2)。初期含水率 70% 以上の材の過熱処理時間は操作性も考慮して 20 時間として適用可能な含水率範囲を求めた。

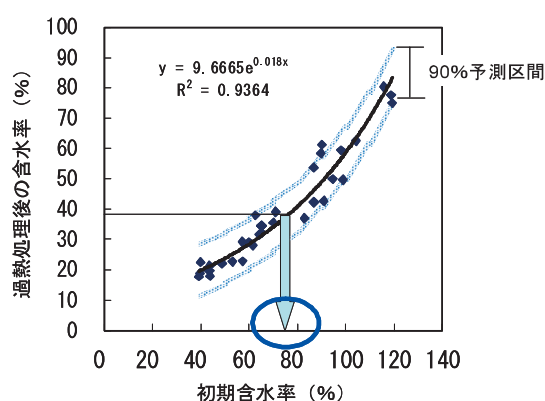


図 1-2-5 初期含水率と過熱蒸気処理後の含水率との関係(処理時間 13 h)

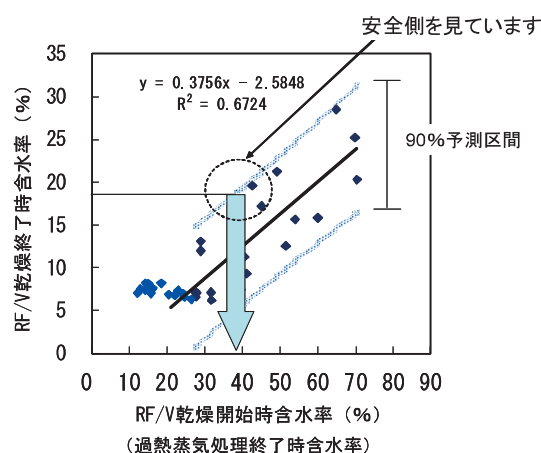


図 1-2-6 RF/V 乾燥開始時の含水率と終了時の含水率との関係(処理時間 60 h)

表 1-2-2 過熱蒸気処理と RF/V 乾燥の条件

処理工程		低含水率柱材 および平角材	高含水率正角材 70%以上
過熱処理	初期蒸煮	0.143MPa (125°C), 6h	0.143MPa (125°C), 6h
	過熱処理	125°C、0.01MPa、 13h	125°C、0.01MPa、 20h
RF/V乾燥 (2.5kW/m3)	電圧	4kV	
	電流	0.3A	
	発振	2分ON／1.8分OFF	
	圧力	150mmHg	

(2) 柱材・平角材の乾燥試験の結果

予備試験で得られた条件によって試験を行ったところ、予定通りの乾燥時間(全体で約 90 時間)で、1 本の柱材を除いて 11~18% の間に仕上がった(図 1-2-7、表 1-2-3)。さらに試験を続けたところ、含水率 10% 付近で全ての試験材の含水率がそろったが、乾燥時間が約 1 日長くなるこ

と、過乾燥となる試験材が出現したことから、前処理開始から 90 時間程度が適切な乾燥時間と考えられた。

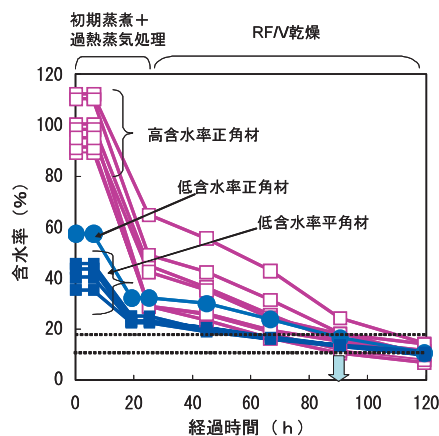


図 1-2-7 平角材と柱材の同時乾燥の経過

表 1-2-3 各試験材の含水率と割れの結果

正角	RF/V経過時間 (h)		過熱処理から の合計時間		柱材								平均
	RF/V開始	蒸煮開始	101	112	98	89	91	111	95	58	94		
含水率 (%)	40	66	26	43	16	19	20	31	25	24	25		
	64	90	15	24	11	12	15	18	18	17	16		
	93	119	10	14	7	8	12	10	14	11	11		
終了時の表面割れ長さ (cm/m)			22	0	31	23	0	0	62	12	19		

平角	RF/V経過時間 (h)		過熱処理から の合計時間		平角					平均
	RF/V開始	蒸煮開始	46	35	44	40	41			
含水率 (%)	40	66	16	16	17	17	17	14		
	64	90	13	14	13	14	14	14		
	93	119	10	11	10	10	10	10		
終了時の表面割れ長さ (cm/m)			0	11	0	0	3			

(3) 補足試験

図 1-2-8 は柱材の過熱蒸気による含水率低下の様子であり、試験結果の一例である。柱材、平角材のどちらも、過熱蒸気処理および RF/V 乾燥において処理時間が長いほど含水率は低下し、初期含水率と処理後含水率の関係は指数関数にしたがった。(2)の結果より、柱材は平角材と一緒に RF/V 乾燥機へ栈積みする段階で含水率が 40%以下である必要があり、13 時間、20 時間、44 時間の過熱蒸気処理によってこの条件を満たすことができる初期含水率の範囲は、たとえば、20 時間の処理なら含水率 70~90%の柱材に対応可能であり、また、90~130%の試験材は 44 時間の処理で対応可能であることが判った。

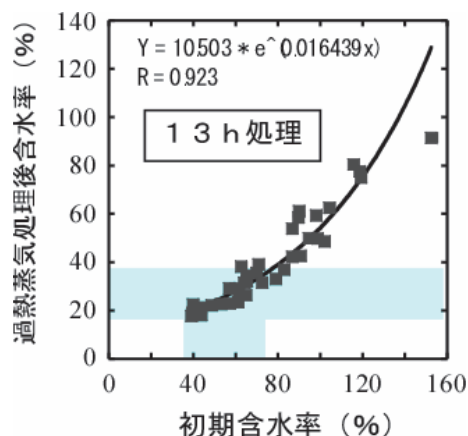


図 1-2-8 柱材の過熱蒸気処理による含水率の低下

オ 今後の問題点

初期含水率による乾燥前の選別基準を断面形状 (寸法) ごとに作るという本手法は、全ての乾燥法、全ての初期含水率、全ての断面に対応させる必要があるため、普及に手間と時間がかかることが予想される。今後、本手法を普及し、各種寸法の材を適切に乾燥する環境を製材・乾燥の現場において整えるためには補足試験で示したようなデータの蓄積が必要である。しかし、スギの品種、初期含水率、さらに各地域で用いられる断面はその数、種類ともに非常に多く、一研究機関で全ての条件について短時間でデータを整えることは不可能と考えられる。今後、本手法を現場へ普及する際には、それぞれの現場で要求されている乾燥法、断面、品種 (樹種)、初期含水率について、現場のオペレータがデータを採取し、それぞれの現場に応じたデータベースを作ることができるマニュアルとデータ整理環境 (データ解析ソフトとデータベースソフト) が整備されれば、普及に大いに役立つと考える。

カ 要約

過熱蒸気式乾燥法および RF/V 乾燥法を用いた断面の異なる製材 (断面 190×115mm 平角および断面 115×115mm 柱材) の同時乾燥が、初期含水率を適切に整えることによって可能であることを

明らかにした。品種によって乾燥時間に若干の差が生じることが予想されるため、1～2 回程度の試行によってタイムスケジュールを修正する必要があるものの、実行に際して特別な技術は必要ない。今回の結果では全てのスギの初期含水率について網羅したものではなく、また全ての断面寸法の製材に対応した初期含水率条件を示してもいないが、図 1-2-5、1-2-6 に示したような初期含水率と乾燥時間との関係の解析を該当する初期含水率、断面について行うことによって適用範囲を広げることが可能である。そのための手法を本報告によって示した。

今後、この手法によってそれぞれの現場において要求される初期含水率および断面について、乾燥時間に関するデータの解析が蓄積されることが期待される。

(森林総合研究所加工技術研究領域 小林 功、石川敦子、黒田尚宏)

3. 高周波加熱を活用した多品目同時乾燥技術の開発

ア 研究目的

スギ乾燥材の生産コストを低減するための方策として、乾燥材生産規模の拡大が挙げられる。しかし小規模製材工場において、そのような大規模乾燥施設の導入は困難であり、多くの製材工場では効率的な乾燥材生産ができない状況にある。

また原木の供給が多様化するに伴い、近い将来、大径材供給比率の高まりが予想される。小規模製材工場においても乾燥材生産を可能とするためには、断面寸法の異なる多品目の製品を効率的に生産することが必要になるとも考えられる。

このような現状を解決する方法としては、断面寸法の異なる製品を一つの乾燥室内で同時処理する技術が必要である。これを実現させるには、乾燥室内において、断面寸法毎に乾燥条件を変化させることが求められるが、高周波加熱によればそれぞれに印加条件を変化させられるので、実用化の可能性がある。

そこで本研究では高周波・蒸気複合乾燥法を用い、これまでは不可能であった、多品目のスギ製材品を一つの装置内で同時に乾燥処理する手法を検討した。

イ 研究方法

(1) 平角材および正角材に対する同時乾燥条件の解明

断面寸法が異なる製品を同時乾燥処理する場合のさん積み方法を明らかにするため、スギ正角の試験材（13cm×13cm、長さ180cm）とスギ平角の試験材（13cm×25cm、長さ180cm）を用いてさん積み方法の異なる乾燥試験を実施した。それぞれの乾燥条件は、表 1-3-1、表 1-3-2 および図 1-3-1 のとおりである。各乾燥条件について、乾燥中における材温経過および乾燥後における試験材の含水率をそれぞれ求め、互いに比較した。

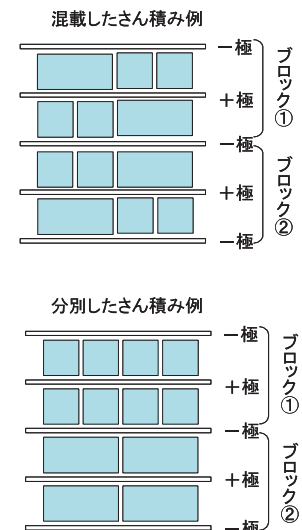


図 1-3-1 さん積み方法

表 1-3-1 乾燥条件

	さん積み 方法 * 1	高周波 出力 * 2	材温制 御	乾燥庫内 温湿度 * 3
試験1	混載	15W	正角材を 100～ 105℃	スケジュールA
試験2	分別	正角19 W平角 15W	それぞれ を100～ 105℃	スケジュールA
試験3	正角材 単独	高周波加熱なし		スケジュールA

* 1:『混載』および『分別』の様子は図1-3-1のとおり。
ブロック①とブロック②は互いに独立した高周波加熱が行える。

* 2:高周波出力とは、被乾燥材の生材重量1kgあたり投入する高周波の出力。単位はW/kg。

* 3:スケジュールAの詳細は表1-3-2のとおり。

表 1-3-2 乾燥庫内温湿度

ステップ	乾球温度	湿球温度	時間
1	90	90	8
2	120	90	24
3	90	60	以降、乾燥終了まで

(2) 平割材に対する乾燥条件の解明

平角材や正角材に比して断面寸法が大きく異なる平割材の効率的な乾燥条件を明らかにするため、スギ平割の試験材（12cm×3.5cm・長さ 180cm）を用いて、さん積み方法および高周波加熱の有無が異なる乾燥試験を実施した。それぞれの乾燥条件は表 1-3-3、図 1-3-2 のとおりである。重ね合わせる枚数が増えるほど使用するさん木の数が増え、1 回当たりの収容材積が増えて生産量の面で効率的といえる。各乾燥条件について、乾燥後における試験材の含水率および乾燥日数等をそれぞれ比較した。

表 1-3-3 乾燥条件

	材種	さん積み方法 ^{*1}	高周波出力 ^{*2}		乾燥庫内温湿度 ^{*3}
試験4	平割材	通常(1枚ずつ)	上段15W	下段 高周波なし	スケジュールA
試験5	平割材	2枚重ね合わせ	上段15W	下段 高周波なし	スケジュールA
試験6	平割材	3枚重ね合わせ	上段15W	下段 高周波なし	スケジュールA
試験7	平割材	4枚重ね合わせ	上段15W	下段 高周波なし	スケジュールA

*1:さん積みの様子は図1-3-2のとおり。

*2:高周波出力とは、被乾燥材の生材重量1kgあたり投入する高周波の出力。単位はW/kg。

*3:スケジュールAとは、表1-3-2のとおり。

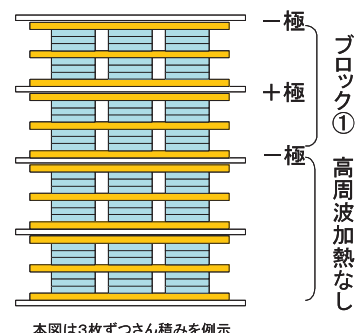


図 1-3-2 さん積み方法

(3) 平角材、正角材および平割材に対する同時乾燥条件の検討

研究方法(1)、(2)の実施により得られた結果を基に、同時乾燥が可能となる断面寸法・乾燥前含水率の組み合わせを明らかにするための検討を行った。すなわち、スギ正角の試験材（13cm×13cm、長さ 180cm）、スギ平角の試験材（13cm×25cm、長さ 180cm）およびスギ平割の試験材（12cm×3.5cm・長さ 180cm）のそれぞれを、表 1-3-4 に示すように、生材密度の違いにより 3 グループに選別した後、各グループの試験材について、表 1-3-2 に示す温湿度条件を用いて乾燥処理した。ただし、いずれのグループにおいても、半数の試験材に対しては表 1-3-2 に示すステップ 3 の期間において高周波加熱を行った。高周波出力は乾燥前重量 1kg 当り 15 w とし、試験材の内部温度が 100℃～105℃となるよう印加・停止を繰り返した。試験材の内部温度は光ファイバー温度計により計測した。

表 1-3-4 試験材の選別

グループNO	材種	生材密度*	試験材数
1	正角材	『大』	12
2		『中』	12
3		『小』	12
4	平角材	『大』	8
5		『中』	8
6		『小』	8
7	平割材	『大』	48
8		『中』	48
9		『小』	48

*:各材種の生材密度分布を概ね正規分布であるものとみなし、母集団を本数ベースで『大』:『中』:『小』=1:2:1に分類可能と考えられる基準値を別途算出し、それらを適用させた。

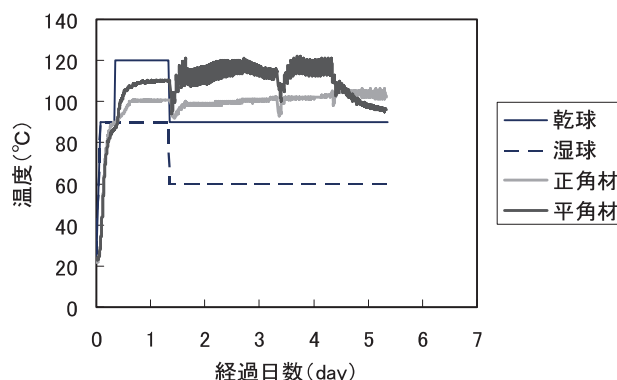


図 1-3-3 材温経過

(正角材と平角材を同じブロックに混載した場合)

ウエ 結果と考察

(1) 平角材および正角材に対する同時乾燥条件の解明

正角材と平角材を同じブロックに混載した場合（試験 1）の材温経過を図 1-3-3 に

示した。高周波加熱中における正角試験材の材温と平角試験材の材温との間には、最大で 20℃の差が生じた。正角材と平角材を同じブロックに混載した場合、平角材は単位材積あたりの放熱面積が正角材よりも小さいので、高周波加熱により投入されたエネルギーの材外部への放出が正角材よりも遅かったことが原因と推測される。

一方、正角材と平角材を別のブロックに分けてさん積みした場合（試験 2）の材温経過を図 1-3-4 に示した。正角試験材の材温と平角試験材の材温は概ね似通った値を示した。

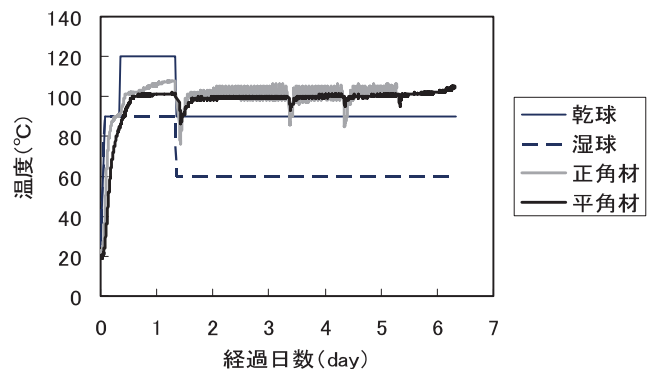


図 1-3-4 材温経過
(正角材と平角材をそれぞれのブロックに分別してさん積みした場合)

このように正角材と平角材を同じブロックに混載すると、一方の材種（今回の場合、平角材）の温度が制御困難な場合がある。高周波・蒸気複合乾燥における被乾燥材の温度は、材の内外部に生じる蒸気圧差を左右し、水分蒸発速度に大きな影響を与えるものの、過剰に材温を上昇させると材の損傷（内部割れ、こげ等）が危惧される。これらのことから、平角材と正角材を同時乾燥する場合は、それぞれを別のブロックに分けてさん積みすることが望ましいものと考えられた。

(2) 平割材に対する乾燥条件の解明

平割材における適正な乾燥後含水率を 15% と考える。高周波加熱を用いずに含水率 15% まで乾燥させるのに要した日数は、1 枚ずつさん積みしたものでは 3 日程度、2 枚ずつ重ね合わせてさん積みしたものでは一部の高含水率材を除き 4 日程度であった。また 3 枚および 4 枚ずつ重ね合わせてさん積みした場合、4～5 日後においても含水率 15% 以上のものが存在し、仕上がりの含水率にばらつきが生じた。このことに対し、高周波加熱を用いた場合、含水率 15% まで乾燥させるのに要した日数は、重ね合わせた枚数に関わらず (1～4 枚ずつさん積みした場合のすべてにおいて) 3 日程度であった。

このように、生産効率を高める目的で平割材を複数枚 (2～4 枚) 重ね合わせたさん積みした場合、高周波加熱を用いない場合は、重ね合わせる枚数が増えるほど乾燥日数が長くなる、あるいは仕上がりの含水率が不十分なものとなった。しかし一方で、高周波加熱を活用することにより一定の期間で一律に含水率 15% 以下まで調節することが可能であった。

(3) 平角材、正角材および平割材に対する同時乾燥条件の検討

結果と考察 (1)、(2) より、多品目同時乾燥を実施する際のさん積み方法が明らかとなった。ここで、多品目同時乾燥処理が可能と思われる断面寸法・乾燥前含水率の組み合わせを検討する。

高周波加熱を用いた場合のスギ平角試験材の含水率経過を図 1-3-5 に示した。乾燥後の目標含水率を 20% 程度と考えると、スギ平角材を乾燥処理するために要した日数は、生材密度が『大』グループに選別されたものでは 8 日程度、『中』グループに選別されたものでは 5 日程度、『小』グループに選別されたものでは 3 日程度であった。また、グループ内における乾燥後の含水率ムラは小さなものであった。一方、高周波加熱を用いない場合のスギ平角材に対する乾燥処理日数

を図 1-3-6 に示した。目標含水率まで乾燥処理するために要した日数は、高周波加熱を用いた場合に比べ、長い期間を要したが、グループ内における乾燥後の含水率ムラについては高周波加熱を用いた場合と同様、小さなものであった。

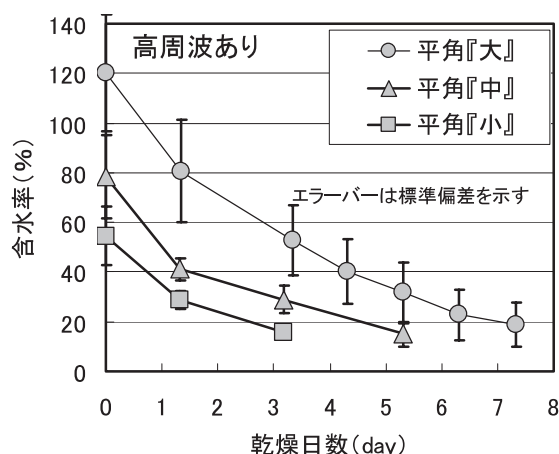


図 1-3-5 スギ平角材の含水率経過
(高周波加熱あり)

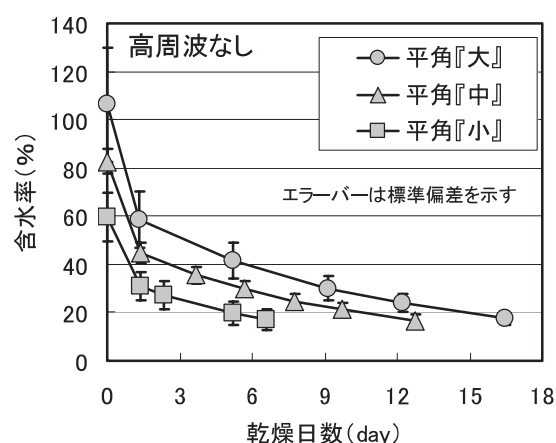


図 1-3-6 スギ平角材の含水率経過
(高周波加熱なし)

このように、一般に乾燥前含水率のばらつきが大きなスギ材に対しては、事前に選別を行うことにより含水率ムラの小さい乾燥材が得られることがわかった。ただし、乾燥処理日数は生材密度の大小や高周波加熱の有無により異なった。これらは、スギ正角材およびスギ平割材についても概ね同様の傾向が認められた。

ところで、図 1-3-7 は、近年乾燥材生産現場に導入されている標準仕様の高周波・蒸気複合乾燥装置の庫内概念図を示したものである。図 1-3-7 に示すように、乾燥庫内は 4 つのブロックに分かれており、ブロック毎に異なる高周波加熱条件が設定できる。また、任意のブロックにおいて高周波加熱を用いないことも可能である。したがって、多品目同時乾燥処理を効率的に実施するためには、ブロック内における初期含水率のばらつきを可能な限り小さくし、専用の高周波加熱条件を適用させて、乾燥後における含水率ムラを小さくするとともに、各ブロックの乾燥処理を同時に終了させることが重要となる。

さて、以上のことを勘案し、図 3-1-8 には、各グループを目標含水率である平均含水率 20% 前後（平割材は 15% 前後）に乾燥処理した際の、平均初期含水率と処理に要する日数との関係を示した。図 3-1-8 によると、目標含水率へ調整するために要する乾燥日数は、断面寸法、生材密度（≡乾燥前含水率）および高周波加熱の有無の違いにより幾らかの差異が生じた。しかし一方で、断面寸法、生材密度および高周波加熱の有無が異なっても乾燥日数が概ね同等となる組み合わせも認められ、それらを同時に乾燥庫内へ収容することにより多品目同時乾燥処理が実現可能であると考えられた。

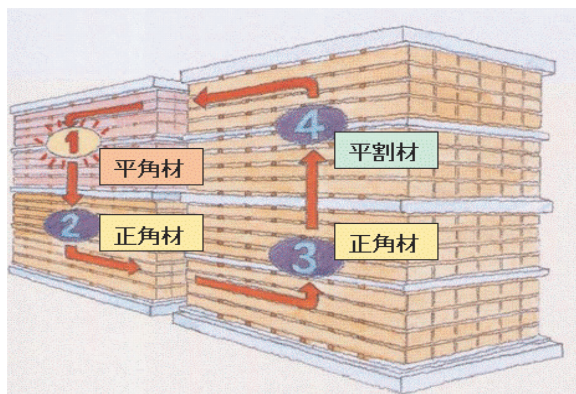


図 1-3-7 高周波・蒸気複合乾燥装置の
庫内概念図*¹
（* 1 山本ビニター技術資料を一部改編した）

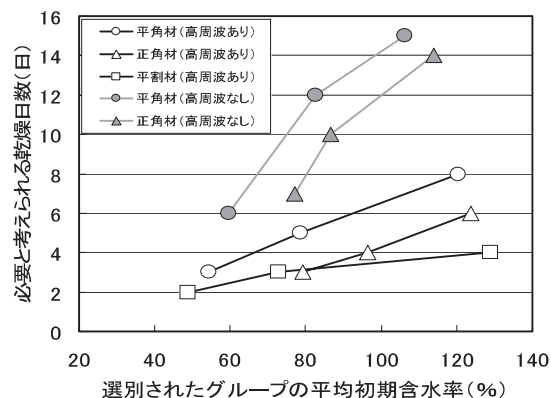


図 1-3-8 選別された各グループにおける
平均初期含水率と必要乾燥日数
との関係

オ 今後の問題点

本研究で得られた技術を有効に活用するためには、乾燥前において、被乾燥材の初期含水率（≒生材密度）の大小で選別を実施することが求められる。本成果を技術移転する際には適正な選別基準作りが求められるとともに、効率的な選別作業法を検討する必要がある。

カ 要約

高周波・蒸気複合乾燥法を用い、断面寸法の異なる多品目の製品を同時に乾燥させる手法を検討した。スギ正角の試験材、スギ平角の試験材およびスギ平割の試験材のそれぞれを、生材密度の違いにより3グループに選別し、各グループに対し高周波加熱の有無が異なる乾燥試験を実施した。結果、目標含水率（15～20%）へ調整するために要した乾燥日数は、材種、生材密度（≒乾燥前含水率）の違いや高周波加熱の有無により、幾らかの差異が生じるものの、なかには乾燥日数が概ね同等の組み合わせも認められ、それらを同時に乾燥庫内へ収容することにより多品目同時乾燥処理が実現可能であるとの結論を得た。

（奈良県森林技術センター 寺西康浩、海本一）

第2章 市場ニーズに対応した乾燥材供給・流通の効率システムの開発

1. 住宅産業の木質建材ニーズと利用実態の解明

ア 研究目的

建築構造材の分野では、集成材や合板の急激な市場浸透が進んでいる。これは、住宅産業において、建築資材の工学的品質の向上や価格・供給量の安定化が強く求められるようになった結果と考えられる。製材業界にも、このようなニーズの変化に対応すべく、大手を中心として、人工乾燥能力の一層の強化や、供給力の拡充に取り組む事例が増えつつある。しかし、人工乾燥材の利用拡大がどのような性格の建築業者に見込まれるかという点や、採用のためにどのような条件が必要かという点については、十分に明らかになっていない。そこで本研究課題では、人工乾燥材需要の拡大に資するため、住宅産業における木質建材ニーズの把握を目的として、調査・研究を行った。

イ 研究方法

人工乾燥材の需給に関する実態把握のため、建築業者・製材業者への聞き取り調査およびアンケート調査を実施した。また、本課題と同時期に社団法人日本木造住宅産業協会が企画・実施した「木造軸組住宅における国産材利用の実態調査」に委員として参加し、調査の企画・設計や結果の分析・とりまとめに関与するとともに、個票データの提供を受けて独自に分析を行った。本課題で実施した調査・分析のうち、主要なものは次の4つである。①国産材製材業者へのヒアリング（柱主力の製材業者3社）を行い、人工乾燥材を含む製品の供給能力を調査した。②日本木造住宅産業協会が実施したアンケート調査のうち「製材業者調査」（発送数27、回収数27）について個票データの提供を受け、製材品の生産・出荷状況について分析した。③同じく日本木造住宅産業協会が実施したアンケートのうち「住宅供給業者調査」（発送数244、回収数95）の個票データの提供を受けて、建築業者の部材選択や部材の入手経路などの状況を、建築業者の規模別に分析した。④「管柱の使用実態と選択基準に関するアンケート調査」を実施し（発送数290、回収数144）、特に建築業者の規模に注目しつつ分析を行った。

ウ 結果

(1) 製材業者へのヒアリング調査から

いずれも管柱を主製品とする、国内有数の規模の国産材製材業者3社（関東1社、九州2社；調査時における年間原木消費量6万5000m³～9万9000m³）に対してヒアリング調査を実施した。その結果、いずれの業者においても、大手建築会社が要求する寸法精度（マイナス側0mm・プラス側1mm）、含水率（平均15%以下）のスギ人工乾燥管柱を供給することは技術的には可能だとしていた。しかし、大手建築会社からは、少なくとも月間数万本単位での納品が要求され、これに応じることができないため受注を断念することが「時折」ないし「しばしば」とされた。いずれの業者でも、特定の1社に出荷を集中させれば、月間数万本の人工乾燥管柱の供給は不可能ではないが、下請化・専属化によって、顧客建築会社の経営状況が自社の経営に直結するように

なるうえ、価格引き下げへの圧力が強まることが懸念されるためである。

(2) アンケート「製材業者調査」(日本木造住宅産業協会) から

年間素材消費量が原則として2万 m^3 以上の国産材製材業者を会員とする「国産材製材協会」の会員製材業者(26社)を対象としたアンケート調査の結果、国産材製材大手は、利用原木と生産品目の両面において専門化が進んでいることが明らかになった。なかでも、スギまたはヒノキの管柱・間柱を生産する比率が高かった。国内需要の大きさにもかかわらず、横架材の生産比率が低位にとどまっている状況が明らかになった。その他、調査結果の概要は以下のとおりである(数値は、特に断りがないかぎり2005年(度)実績)。

- ①1社あたりの工場数は平均2.0工場、1工場あたりの製材用動力出力数は平均433.4kWであった。
- ②素材消費量は合計101.0万 m^3 で、樹種別にはスギ62%、ヒノキ27%、カラマツ8%、その他2%という構成であった。単一の樹種が素材消費量の100%を占めている企業は12社(うちスギが8社)、75%以上を占めている企業は20社(同13社)で、利用原木の樹種ごとに専門化が進んでいる。地域的には、東北・関東・九州ではスギが、東海・中国ではヒノキが中心である。
- ③素材調達については、素材(丸太)での仕入れ分が96.1万 m^3 、立木での仕入分が13.9万 m^3 の、合計110.0万 m^3 であった。素材の購入先は、市場・共販所からが69%、素材業者から直接が20%、その他からが11%で、市場・共販所が大きなウェイトを占めている。立木の購入先は、私有林85%、国・公有林15%で、私有林のウェイトが高い。
- ④製材生産量は合計54.1万 m^3 であった。このうち管柱が40%、間柱が9%と高い比率を占めた。他方、横架材の比率は5%にとどまっており、この分野が弱いことを示している。総生産量に占める人工乾燥材の比率は46%で、国内製材品出荷量全体の平均値(16%、『木材需給報告書』2005年版)よりもかなり高い。管柱に限れば、人工乾燥材比率は63%に達する。
- ⑤製品の出荷先は多様であるが、プレカット工場向けの24%がもっとも大きく、市場向けの20%を上回った。建築業者向けの直接出荷は7%にすぎない。
- ⑥将来展望についてたずねたところ、「3年後の生産量の見通し」は、有効回答24社のうち、20社が「拡大する」とし、現在の2倍以上になると見込む業者も5社あるなど、規模拡大に意欲的であった。「規模拡大の最大の障害」としては「原木調達」を挙げるものが特に多かった。

(3) アンケート「住宅供給業者調査」(日本木造住宅産業協会) から

日本木造住宅産業協会1種会員へのアンケート調査(発送数244、回収数95)の個票データを分析することにより、資材の使用状況、資材購入先、プレカット工場利用時の資材の決定主体などの点で、建築業者の規模に応じた傾向の違いがあることが明らかになった。

管柱・通し柱・土台・横架材および羽柄材(根太・間柱・筋交い・垂木・貫)のいずれの部材でも集成材の普及が進んでいるが、建築業者の規模別にみると、300戸以上層で集成材の使用比率が高く(73.3%)、50~299戸層、1~49戸層ではやや低かった(それぞれ59.1%、62.7%)。また、資材購入先は全体的にはプレカット工場が多いが、規模別にみると、300戸以上層では製材工場・集成材工場から仕入れるものがもっとも多く、50~299戸層、1~49戸層ではプレカット工場から仕入れるものがもっとも多かった。プレカット工場を利用する際の資材の決定主体にも規模に応じた違いがあり、300戸以上層では、プレカット業者に対して資材の仕様または仕入先を指定するものが大部分を占めたのに対し、50~299戸層、1~49戸層では仕様を指定するものとともにプ

レカット工場に一任するものも多く、使用部材の内容を自社で決める企業の比率が相対的に低いことが明らかになった（数値は、特に断りがないかぎり 2005 年（度）実績）。

- ①管柱について材料別使用比率をみると、ムク材の使用比率は 35.0%にとどまり、3 分の 2 を集成材が占めた。建築業者の年間供給戸数規模別にみると、300 戸以上 26.7%、50～299 戸 40.9%、1～49 戸 37.3%と、300 戸以上層で特にムク材の使用比率が低い。グリーン材の使用比率は、もっとも高かった 1～49 戸層でも 2.5%にとどまり、集成材または人工乾燥材への切り替えが小規模層にも広がっていることがうかがえた。通し柱は、管柱とほぼ同様の結果であった。土台・横架材については、ムク材の使用比率が全体に高かった（それぞれ 66.5%、49.8%）ものの、300 戸以上層において集成材の使用比率が高かった点では管柱・通し柱と共通している。羽柄材については土台とよく似た構成であった。
- ②構造材の購入先（複数回答）としては、71.1%がプレカット工場を、34.2%が製材工場・集成材工場を挙げた。他の業態（商社・問屋・小売店など）から仕入れているとしたのは、いずれも 10%未満であった。建築業者の規模別には、300 戸以上層ではプレカット工場（42.9%）よりも製材工場・集成材工場（64.3%）の方が多いが、50～299 戸、1～49 戸の両階層ではプレカット工場がもっとも多かった（それぞれ 80.6%、73.9%）。羽柄材・下地材の資材購入先は、構造材に比べてやや多様であったものの、おおむね似た傾向であった。
- ③プレカット工場を利用する際の資材の決定主体をみると、まず、構造材については、「購入先を指定」が 26.2%、「商品・仕様・品質を指定」が 54.8%、「プレカット工場に一任」が 40.5%、「賃加工で発注」が 8.3%であった（複数回答）。規模別にみると、300 戸以上層では「商品・仕様・品質を指定」が 66.7%、「購入先を指定」が 33.3%であったが、50～299 戸、1～49 戸の両階層では「商品・仕様・品質を指定」と「購入先を指定」がそれぞれ半数程度を占め、資材の選択をプレカット業者まかせにするものがかなりみられた。羽柄材・下地材では、「購入先を指定」するものが構造材よりも少ない（14.3%）ほかは、構造材と同様であった。

(4)「管柱の使用実態と選択基準に関するアンケート」調査から

調査内容を管柱に限定して、部材の使用実態と選択基準に関するアンケート調査を行った。その結果、①建築業者の規模に応じて資材の使用状況に明確な違いがみられ、大規模層ほど集成材が浸透している、②今日では、集成材への転換が、より小規模な階層で進んでいる、③集成材では「工学的品質」、ムク材では「樹種」や「産地」というように、重視される基準にずれがあることなどが明らかになった（数値は、特に断りがないかぎり 2007 年（度）実績）。

- ①柱の材料別使用比率は、集成材 56.4%、人工乾燥材（KD ムク材）38.6%、グリーン材（KD 以外のムク材）5.0%であった。規模別にみると、300 戸以上 15.1 %、100～299 戸 28.6 %、50～99 戸 34.6 %、20～49 戸 42.8 %、1～19 戸 52.8 %と（図 2-1-1）、規模が小さいほどムク材の使用比率が高かった。使用する材料別に年間供給戸数の平均値をみると、集成材 100%の業者（51 業者）は 236.1 戸、ムク材 100%の業者（42 業者）は 158.4 戸、集成材・ムク材併用の業者（40 業者）は 96.7 戸であった。
- ②2002 年から 2007 年までの集成材とムク材の構成比の変化をたずねたところ、「集成材が増えた」としたものが 26.7%、「ムク材が増えた」としたものが 13.3%、「変化なし」としたものが 59.3%であった。規模別にみると（図 2-1-2）、より小規模な階層において集成材への転換が進んだ

ことが明らかになった。

- ③集成材とムク材の構成比の変化にあたって、自社の積極的な判断が影響したと回答した業者の比率は、「集成材が増えた」とした業者では72.7%であったのに対し、「ムク材が増えた」とした業者では94.1%に達し、「ムク材が増えた」とした業者の方が、自らの意志によって使用比率を変えたという意識が強かった。また、「価格の変化」「品質の変化」「調達可能量の変化」「納期の変化」の各要因が使用比率に影響したかどうかをたずねたところ、「集成材が増えた」業者では「関係ある」としたのは61.3%、81.3%、25.0%、9.7%、「ムク材が増えた」業者では35.3%、41.2%、17.6%、0.0%と、「集成材が増えた」業者で、品質や供給条件の変化が使用比率に影響を与えたとする回答が目立った。

- ④資材の使用比率が2002年と2007年で変化なかったとした業者にその理由をたずねたところ、「管柱として使用する材料は決まっており、変更は考えられない」が60.1%を、「変更の必要がなかった」が34.4%を占めた。

- ⑤管柱の発注時に指定する内容を、集成材とムク材の別にたずねたところ（図2-1-3）、集成材では「JAS認定の有無」「強度性能」「曲げヤング係数」が多く、ムク材では「材面の品質」「乾燥処理の有無」「含水率」「仕上げ加工の有無」「原産地」「樹種」が多かった。このことから、集成材とムク材で重視される属性が異なるものと思われる。

エ 考察

まず、建築業者への調査から、次のことがいえる。①資材の選択状況と建築業者の規模との間には強い相関があり、大規模層では集成材がすでに定着しているが、小規模層ではムク材にも一定の使用比率がある。②ただし、2002年から2007年までの5年間に、小規模層

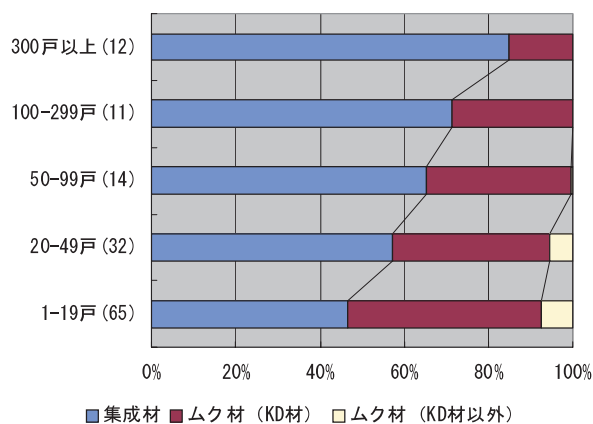


図2-1-1 住宅供給業者の規模別にみた管柱の構成 (2007年実績)

※ 規模区分の脇に示したカッコ書きの数値は当該階層のサンプル数

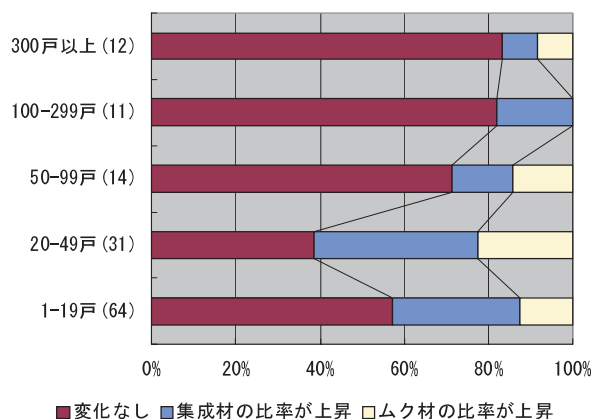


図2-1-2 住宅供給業者の規模別にみた管柱の構成変化 (2002年→2007年)

※ 規模区分の脇に示したカッコ書きの数値は当該階層のサンプル数

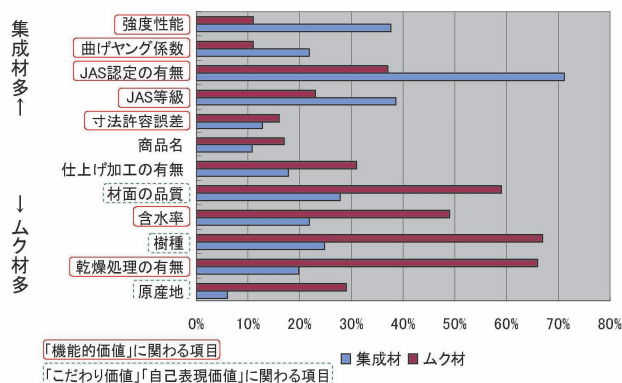


図2-1-3 発注時に指定する内容

においても集成材の転換が進んだ。③集成材では「強度性能」や「JAS 規格の有無」など機能性に関わる属性が、ムク材では「樹種」や「産地」といった感覚に関わる属性が重視される。ムク材では使用することへの「こだわり」がより強いのに対し、集成材は価格や供給安定性などの条件に左右されやすい。④大規模層では自ら資材の選択・調達に関与する傾向が強いのに対し、小規模層ではプレカット工場に一任するなど、自ら判断する比率がやや低い。

次に、国産材製材業者への調査結果から、以下の諸点が指摘できる。①大手建築業者を対象とするためには、国産材製材の供給力は不足している。②国産材製材大手においては、素材の樹種や生産品目ごとに専門化が進んでおり、特にスギ・ヒノキから管柱や間柱を生産するものが多い。③大手の間では、人工乾燥材の生産比率がかなり高まっている。④横架材は、その国内需要の大きさにもかかわらず、生産水準は低位にとどまっている。

以上から、人工乾燥材供給の方向性を考えると、以下のようなことがいえる。まず、建築業者の間では、ムク材の使用が一定の差別化につながるという認識はあるものの、大手建築業者は、工学的品質や供給量の安定性を重視せざるをえず、現在の国産材製材業界の供給力に照らせば、ムク材への急激な再転換を展望することは難しい。一方、中小規模層は、ムク材の使用比率が相対的に高い。集成材へのシフトが進みつつあるものの、材料の選択・調達を他社（プレカット工場）に一任するものが多いことから、そのルートにのせることができれば、ムク材の需要を維持・回復しうる余地はあると思われる。この意味で、人工乾燥材需要の拡大のためには、本研究プロジェクトが構想する邸別人工乾燥材供給体制の構築など、中小建築業者が人工乾燥材を使いやすい環境を整えていくことは有効と考えられる。またその際、現在は国産人工乾燥材の使用比率が低い横架材の利用促進を図ることにより、一層の需要拡大が期待できる。

オ 今後の問題点

集成材かムク材かという部材の選定は、価格と機能性の単純なトレードオフによって行われるのではなく、様々な要因（品質・供給条件・産地など）の総合的な判断によって行われるものである。今回の研究では、このような複雑な要因の相互関係について、定量的に明らかにすることはできなかった。この点は、製品戦略の策定の上で重要であり、今後、何らかの形で解明していく必要がある。今回の研究成果から、それぞれの要因の単相関的な重要度はある程度明らかになったので、これらの情報をもとに、コンジョイント分析など市場調査の手法を用いて定量的に解明することが有効と思われる。

カ 要約

人工乾燥材需要の拡大に資することを目的に、住宅産業における木質建材ニーズの解明に取り組んだ。一連の調査・検討によって、建築業者の規模に応じた部材需要の構造や部材選択の判断基準の違いが明らかになり、木材需要を考えるうえで建築業者の規模を考慮することの重要性が改めて確認された。人工乾燥材需要の拡大のためには、部材の選択の面でより流動的で、かつ大手との差別化要素が求められている中小建築業者を対象とすることが有効と考えられる。その際、横架材分野の利用促進を図ることで、人工乾燥材需要の一層の拡大が期待できる。

（森林総合研究所林業経営・政策研究領域 嶋瀬拓也）

2. プレカット加工における材料の要求品質の解明

ア 研究目的

昨今の木造住宅の高品質化を反映して、特に構造材では品質管理のしやすい集成材の使用割合が増加するとともに、製材品の乾燥材比率が高くなってきている。乾燥材の需要をさらに拡大するために、まずは市場ニーズを的確に把握しなければならない。在来軸組工法住宅のプレカット率は約 80%と推定され、建築用材の大部分がプレカット工場を経由していることから、プレカット加工において要求される品質を明らかにすることは重要である。乾燥材はその乾燥方式や温度、スケジュール等によって品質が異なり、欠点が継手・仕口を加工する際に問題となる可能性もある。したがって、プレカット工場で使用する乾燥材について、加工技術面から要求される品質を明確にする必要があると考えられる。

本課題では、プレカット工場における乾燥材ニーズを把握し、乾燥材の効率的生産システム構築のための有用な情報を提供することを目的とした。

イ 研究方法

既存の資料調査および国産材を使用しているプレカット工場等への聞き取り調査により、プレカット工場で使用されている材料の種類とその品質の現状を把握した。また、プレカット工場、プレカット機械メーカー、および乾燥材生産工場に対する調査により、使用材料の品質と加工時および加工後に発生する欠点等との関係について検討するとともに、プレカット加工において製材品に要求される品質の現状を明らかにするため、プレカット工場が入荷した製材品を部材加工する際に前処理としてどのような加工を行っているかを調べた。

ウエ 結果と考察

プレカット名鑑（2006、日刊木材新聞社）掲載のプレカット工場（334 社）について、各工場の材料の種類別の使用割合と 2005 年加工実績（坪）から、部材毎の使用材種類の割合を求めた（図 2-2-1）。管柱、通し柱では集成材が 60%以上、国産材 KD（人工乾燥）材は約 30%であった。横架材では集成材とベイマツ KD 材で約 80%を占め、国産材 KD 材は 5%であった。土台では他部材に比べて使用材の種類が多様で、使用割合もばらついていて、羽柄材で使用割合が高いものは、根太ではベイマツ KD 材の 62%、間柱ではホワイトウツの 64%、垂木ではベイマツの 52%であった。管柱において、国産材 KD 材および集成材の使用割合の高い工場の概要を表 2-2-1 に示す。全体の平均値と比べて、国産材 KD 材 80%以上の工場は加工量が少なく、集成材 80%以上の工場は多い傾向が見られた。プレカット工場の本社の業務形態についてみると、国産材 KD 材 80%以上の工場は協同組合や工務店の割合が高く問屋・小売店が低いのに対し、集成材 80%以上の工場はプレカット専業およびビルダーが全体平均より高く、協同組合が 0 であった。また、受注先割合についてみると、国産材 KD 材 80%以上の工場は工務店および小売店の割合が高く、集成材 80%以上の工場はハウスメーカー、ビルダーの割合が高かった。

加工量、本社業務、受注先割合等について分析した結果、生産規模が大きくハウスメーカーやビルダーからの受注が中心の工場では、品質・供給量ともに安定した集成材の利用割合が高くなり、生産規模が比較的小さく、小口の受注先が多い工場では国産材 KD 材が積極的に利用されてい

ることが推測された。

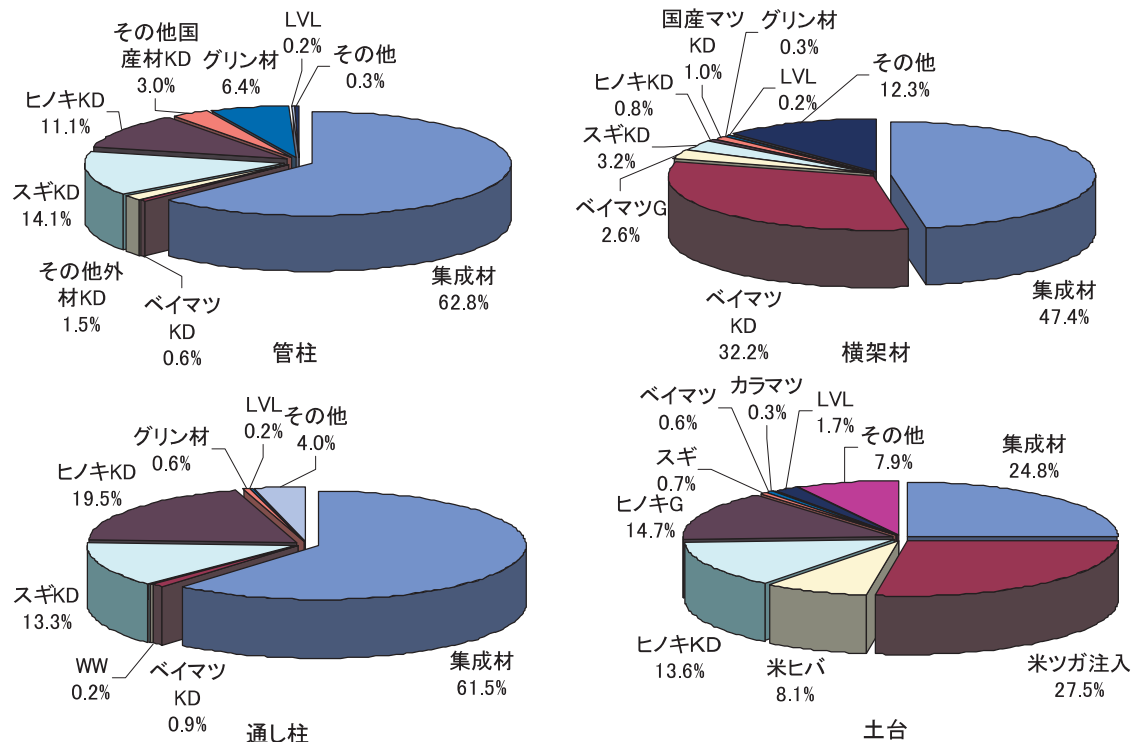


図 2-2-1 プレカット工場における部材毎の使用材割合

表 2-2-1 国産材 KD 材および集成材の使用割合の高い工場の概要

工場種類	工場数	2005加工実績 (坪/年)	加工能力 (坪/月)	本社業務								
				プレカット	製材	間屋	小売	工務店	ハウスメーカー	ビルダー	協同組合	その他
全体	333	35669	3922	11%	21%	16%	29%	4%	1%	4%	4%	10%
国産材KD80%以上	46	10808	1342	13%	21%	6%	19%	10%	0%	4%	17%	10%
集成材80%以上	91	41647	4310	17%	20%	17%	26%	3%	1%	7%	0%	9%

部材をプレカット機械で加工する際には材の曲がり問題となるが、材を押さえながら加工するため、投入方向を考慮すれば、一方向の小さな曲がりのある材は加工可能である。ただし、平角で図 2-2-2 に示すような幅方向の反り (Cup) がある場合には、中心線がずれるため加工精度に影響する。納入先からは割れない材への要求が強く、表面割れの程度によって材の使用箇所を調整する等されていた。内部割れについては、機械加工する上での問題はほとんどないが、強度的な影響について不安を感じている工場が多かった。

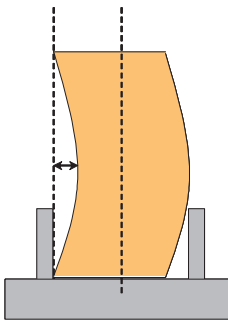


図 2-2-2 平角の幅反り

構造計算の対象となる物件に使用できるような材料が求められるケースも増えてきており、強度表示の必要性が指摘された。その一方で、ベイマツ等比べて低い数値を表示することはかえってマイナスであるという意見もあった。価格が安いことから羽柄材にスギを利用する割合も増

えており、羽柄材についても乾燥材が求められる傾向がある。

プレカット機械メーカーによると、通常の加工ラインでは機械投入時に材の寸法精度を測定し、材背不足の材や曲がりの大きい材は投入できないようになっている。ただし許容範囲（-5 mm 以内等）は個別に設定可能なため、その数値は工場によって異なると推測される。また、生産の効率化のためには材の自動投入が有効であり、曲がりや材面の品質を目視で確認する必要のない集成材が有利となる。

含水率や割れ、節等に関する品質基準を設けて生産・出荷されている乾燥材については、プレカット工場での不良材率は非常に少ないようであった。調査工場の中には、入荷後に含水率を厳密に検査しているプレカット工場はなく、加工ラインへの材投入時に、目視により曲がりや表面

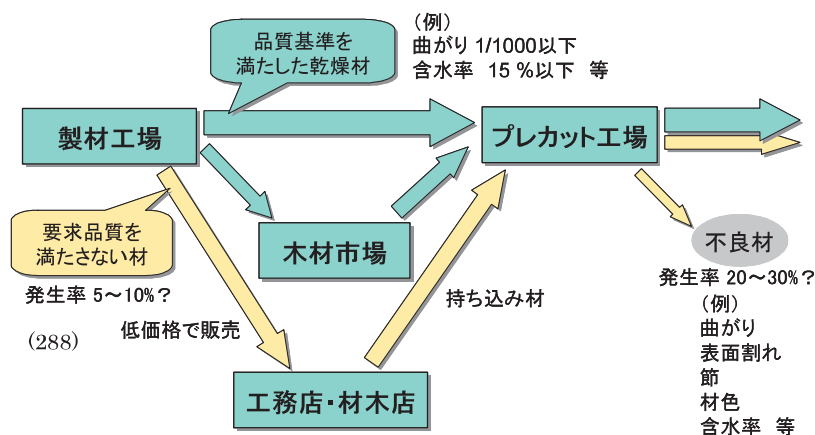


図 2-2-3 プレカット工場におけるスギ乾燥材の入荷経路の例

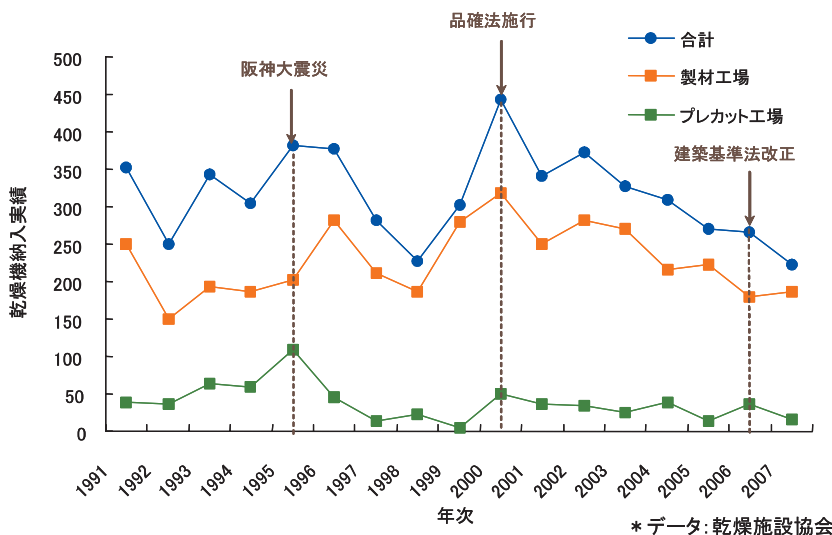


図 2-2-4 製材工場およびプレカット工場における乾燥機納入実績

見直し等に対応するため、住宅部材加工にはより高い精度が求められるようになってきており、図 2-2-4 に示すように、プレカット工場における乾燥機の導入が増えている。

国産材を使用しているプレカット工場 17 社に対して聞き取り調査を行い、各工場の標準的な物

割れの程度を確認していた。一方、スギ乾燥材を供給する製材工場および乾燥工場では、割れ、曲がりが大きい等、プレカット工場から提示される品質基準を満たさない材の利用先に苦慮している。現状は、低品質材として低価格で販売するか、小断面や短尺の製品に再加工する等している。材木店や工務店が材料費を抑える目的でそのような低品質材を製品市場等で購入してプレカット工場へ持ち込むこともあり、図 2-2-3 に示すように、乾燥材生産工場で品質基準を満たさなかった材が別の経路からプレカット工場へ入ってくる例もある。その場合、プレカット工場での不良材発生率が高くなることが明らかとなった。

2009 年 10 月から施行される住宅瑕疵担保履行法や、予定されている 4 号特例の

件について、部材毎の主な樹種、寸法、購入先、購入時の断面寸法・歩増量、乾燥の有無、自工場での前処理等について検討した。調査工場における主要構造材および羽柄材の購入製材品と前処理の概要を表 2-2-2、2-2-3 に示す。梁・桁はベイマツや集成材等の JAS 製品の使用割合が高いが、スギの未乾燥材を 5～8mm 歩増した寸法で購入し、自社で天然乾燥、モルダ加工を行っている工場もあった。管柱・通し柱については、乾燥材と未乾燥材の購入割合はおおよそ 3:2 であったが、未乾燥材を購入する多くの工場では、部材寸法より 3～10mm 歩増した寸法で購入し、自社で乾燥を行い、モルダ加工による寸法調整を行っていた。また、乾燥材として購入した製材品を自社の基準で再乾燥している工場もあった。目標含水率は 18～20% の工場が多かった。羽柄材では未乾燥材の購入割合が高いが、間柱は自社での乾燥割合が高かった。根太、母屋、垂木、筋かい等についても乾燥を行っている工場もあり、多くの工場ではモルダ加工による寸法調整が行われていた。これらのことから、プレカット工場では、購入した製材品をプレカット加工に適した品質に調整するための前処理として、自社で乾燥やモルダ加工を行っており、使用材料には厳密な含水率管理と高い寸法精度が求められていることが明らかとなった。

表 2-2-2 プレカット工場における購入製材品と前処理の概要(主要構造材)

部材区分	主な樹種	部材寸法(mm)	購入先		購入製材品			自工場処理			
			製材工場	問屋市場	断面寸法・歩増量(mm)	KD	G	モルダ	防腐	KD・AD	MSR
土台	ヒノキ、スギ、ベイツガ、ベヒバ	105角, 120角	9	9	125角, 130角, 2+, 3+	5	9	9	6	7	0
通し柱	スギ、ヒノキ、WW、集成(WW、ベイマツ、カラマツ、ハイブリッド)	120角, (105角, 150角)	10	6	120角, 125角, 130角, 133角, 2+	9	6	8	0	8	2
管柱	スギ、ヒノキ、WW集成	105角, 120角	11	5	105角, 108角, 115角, 130角, 3～5+, 12+	9	6	8	2	8	2
梁・胴差	ベイマツ、マツ、スギ、集成(ベイマツ、欧アカ)	150×300～360, 180×270～390, 210×360, 270×360	5	9	3～5+, 5～8+, 15+	7	5	4	0	2	0
桁	ベイマツ、マツ、スギ、集成(ベイマツ、欧アカ)	105角, 105×180～240, 105～210, 210～300	5	9	3～5+, 5～8+, 15+	6	5	4	0	2	0

表 2-2-3 プレカット工場における購入製材品と前処理の概要(羽柄材)

部材区分	主な樹種	部材寸法(mm)	購入先		購入製材品			自工場処理			
			製材工場	問屋市場	断面寸法・歩増量(mm)	KD	G	モルダ	防腐	KD・AD	
間柱	スギ、ヒノキ、トドマツ、欧アカ、北洋エゾ、RW集成、WW集成	27, 30, 45×105, 120	12	6	33×120, 3～5+	1	7	9	0	10	
貫	スギ、ヒノキ、トドマツ、北洋エゾ	15×105, 18×105, 18×90	10	4	3～5+	0	5	3	0	3	
筋かい	スギ、ヒノキ、トドマツ、ベイマツ、北洋エゾ、欧アカ	45×90, 45×105	12	6	33×120, 3～5+	1	11	10	1	4	
窓台・まぐさ	スギ、ヒノキ、トドマツ、ベイマツ、北洋エゾ、欧アカ	45×105, 30×105, 45×120, 60×120	8	8	2+, 3～5+, 15+	1	11	8	0	6	
垂木	スギ、ヒノキ、トドマツ、ベイマツ、北洋エゾ、欧アカ	45角, 45×60, 60角, 45×55, 45×75, 75×90	13	6	2+, 3～5+	0	11	10	0	4	

* 表中の数字は工場数

比較的小規模のプレカット工場で、地域の製材工場との連携が取れているような場合には、地

域の乾燥材の生産規模が拡大することにより国産材乾燥材の利用割合が増加する可能性はあると考えられる。ただし、製材・乾燥工程で発生する不良材の利用先を確保する必要がある。一般流通材としての乾燥材は、現状ではプレカット工場が求める品質を満たしていないものが多いと推測され、今後、より安定した含水率と寸法精度を満たした製材品が供給されるようになれば、自社基準で前処理を行うプレカット工場が増えることも予想される。

オ 今後の問題点

安定した含水率の乾燥材を生産するためには、乾燥技術の向上と、簡便・正確な含水率測定方法の確立が必要である。また、寸法調整のための仕上げ加工も必須であり、製材歩止りの向上が重要である。製材、乾燥工程で発生する不良材の利用も含めて、歩止り向上のための木取りや効率的な乾燥材生産システムについて検討する必要がある。

カ 要約

プレカット工場において材料を機械加工する上で問題となるのは材の曲がりであり、納入先からは表面割れのない材への要望が大きいことが明らかとなった。また、プレカット工場では、購入した製材品をプレカット加工に適した品質に調整するための前処理として、自社で乾燥やモルダ加工を行っており、使用材料には厳密な含水率管理と高い寸法精度が求められていることが明らかとなった。比較的小規模のプレカット工場で、地域の製材工場との連携が取れているような場合には、地域の乾燥材の生産規模が拡大することにより国産材乾燥材の利用割合が増加する可能性はあると考えられるが、製材・乾燥工程で発生する不良材の利用先を確保する必要がある。一般流通材としての乾燥材は、現状ではプレカット工場が求める品質を満たしていないものが多いと推測され、使用材料には厳密な含水率管理と高い寸法精度が求められているということを材料供給側に示すことは、ニーズに合った製材品を生産するための有用な情報となる。

(森林総合研究所加工技術研究領域 松村ゆかり、村田光司)

3. 市場ニーズに対応した乾燥材供給システムの経済的評価手法の開発

ア 研究目的

木造住宅に使用される建築部材の機械プレカット化率が80%を超え、その過程で建築用材の集成材化や無垢材の乾燥材化が急速に進んだ。このようにスギなどの建築用材の乾燥材化が市場から強く求められており、こうした市場ニーズに対応したスギの乾燥材供給システムを作ることが急務となっている。

このため、「原木供給と最終用途を連携させるスギの一次加工システムの開発」に向けて、スギ乾燥材を対象に、原木供給を含むその効率的な生産・流通・消費システムについて、経済的評価が可能なモデルの開発を行う。

イ 研究方法

スギ原木の生産・流通に始まり、乾燥材への製材・加工、住宅部材へのプレカット、木造住宅建築での部材消費に至る、川上から川下までのスギ材のトータルな経済循環システムを考え、そこでのモノ（スギ原木・乾燥製材品・住宅部材）、ヒト（各工程に必要な労働者）、カネ（収益・費用）の動きを、相互に関連づけて把握できる評価モデルを作成する。方法としては、このようなシステムの動態を定量的に把握することが容易なシステムダイナミクス（System Dynamics、以下 SD と略）の手法を用いる。システムを構成する諸要素に関する情報は、既存文献・統計資料や本プロジェクトの他の課題成果から収集するほか、得られないものについては、聞き取り調査等により収集する。

ウ 結果

1) スギ原木の生産・流通から、乾燥材への製材・加工、乾燥製品の流通、プレカット部材生産、住宅建築での部材消費までの全体構造の把握を行い、モデル作成に必要な関連諸要素の抽出と主要変数を決定し、要素間の相互関連図（図 2-3-1）を作成した。図の左側半分にスギ材（モノ）の流れを、右側半分に金（カネ）の流れを示している。

材（モノ）の流れは、図の上段（川上）のスギ人工林資源からの素材生産に始まり、中段の川中で製材・乾燥加工され、下段の川下において住宅部材として消費されるまでを、その間の様々な関連諸要素に分解して示した。一方のカネは、木材の流れとは逆に下から上に遡る。モデルでは入手可能なデータ（製品価格）の関係から製材工場の製品販売を起点とした。すなわち川下への製品販売による収入から、川中での加工・流通コスト等が差し引かれ、川上に素材販売収入がもたらされる。この素材販売収入から伐出・流通コスト等が差し引かれて、川上での立木販売収入（立木販売粗収益）が得られる。またこうした木材経済循環に係わる労働力（ヒト）については、伐出、製材、プレカットについて考慮した。

2) 図 2-3-1 の枠組みに沿って SD によるモデル作成を行った。モデルは図 2-3-2 に示したように、「スギ原木の生産・供給（Log Production）、スギ乾燥製材品の加工・供給（Sawmill）、残廃材の利用（乾燥用熱利用を含む）（Sawing Residue Use）、プレカット加工・住宅部材供給（Distribution & Housing）」のモノ（木材）に係わる各サブシステム、および、それらに必要な

「労働力 (Labor)」、原木供給および製材加工に係わる「収益性評価 (Cost, Profit)」などのサブシステムから成り、「モノ・ヒト・カネ」および「情報」を相互に関係づけた統合モデルである。全体で約 450 の構成要素からなる。

モデルでは概ね年間 3 ～ 4 千戸の木造在来工法住宅（部材の国産材使用量比率 20～30%）への乾燥材供給システムとし、2000 年 1 月から 2012 年 12 月までの計測を行った。製材工場は、年間スギ素材消費量約 4 万 m³ 規模、人工乾燥熱源には製材残廃材を利用し、製品の 90% を乾燥材とする量産工場で、主としてプレカット工場経由でハウスメーカーの乾燥材ニーズに対応するスギ製材経営を想定した。2000 年 1 月から 2007 年 7 月までは、素材・製品価格や住宅着工の月別変動値などの既存統計数値を組み込んだ計測値で、2007 年 8 月以降はモデル構造に基づいた推計値である。スギ原木については、資源成熟の進んだ山形県金山町のスギ人工林資源を想定し、収穫表作成システム LYCS を利用して、伐期を変えた供給原木の量的・質的違いを見た。ここでは中伐期 60 年と長伐期 120 年とを組み合わせた平均伐期 65 年での試算値を用いた⁽¹⁾。

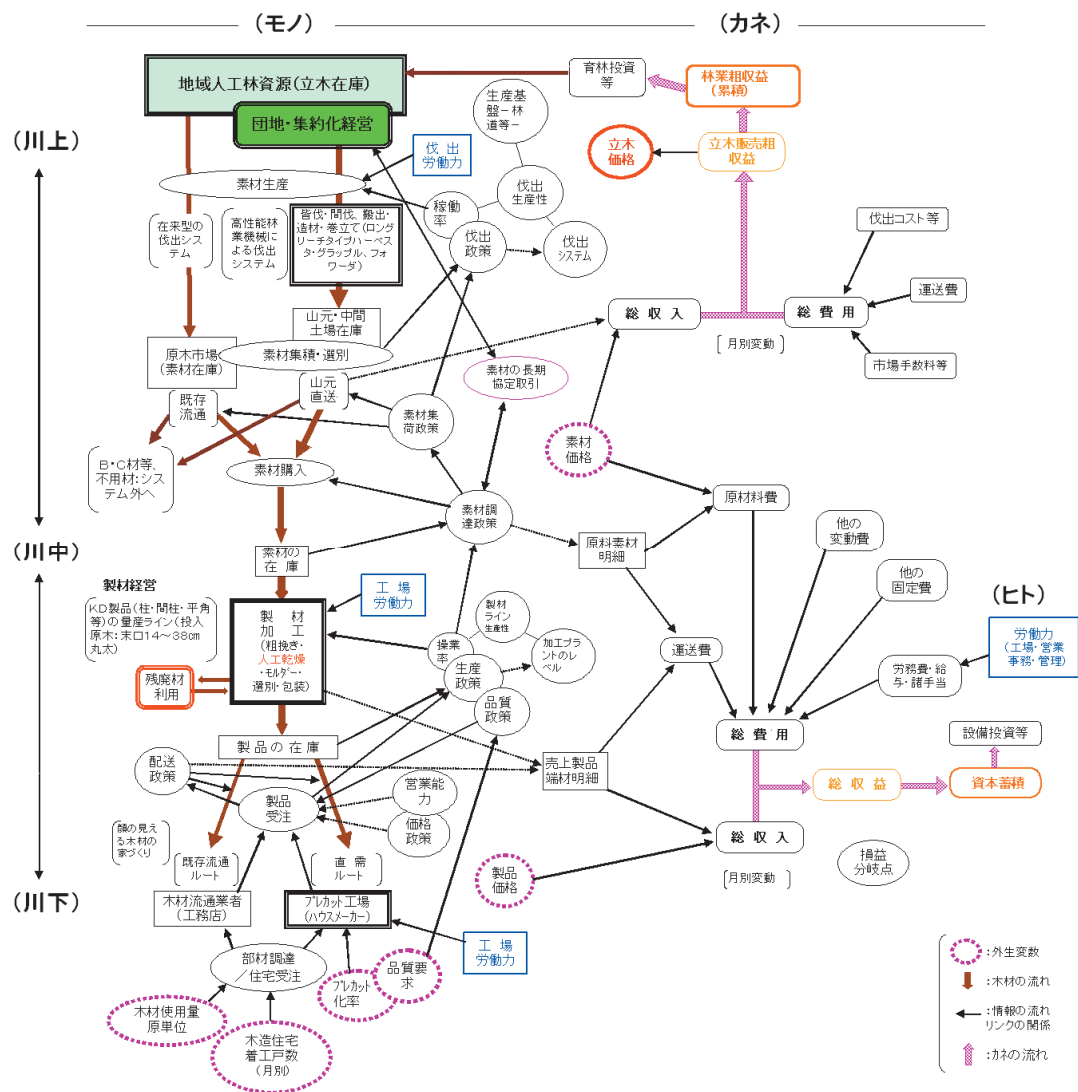


図 2-3-1 国産材の資源育成・原木供給・加工・流通・消費のシステム

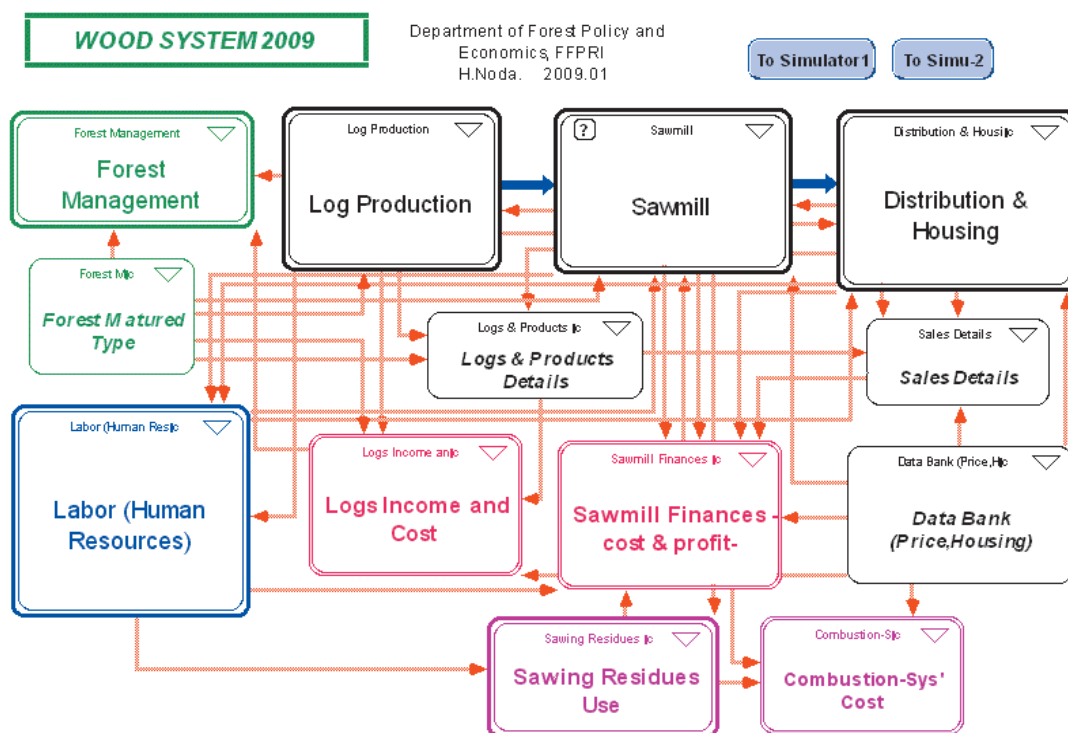


図 2-3-2 スギ乾燥材供給モデルのシステム構成

3) 計測結果を表 2-3-1・表 2-3-2 に示す。

スギ製品供給については、製材工場からプレカット工場への直送による流通（プレカットルート）と、製品市場・問屋などを経由する在来型の流通（在来ルート）の2つの方式でなされ、両ルートの製材品需給量を表 2-3-1 に示す。木造住宅部材のプレカット化率の上昇に比例して、前者の販売ルートが拡大する。なおユーザー要求の部材含水率は 18% とし（初期値 20%）、この要求水準を満たさないと徐々に販売ルートを喪失し、満たせば顧客獲得に反映する仕組みとしている。製材加工については、川上から供給される末口径 14~28、30~38 cm のスギ直材原木を利用し（この径級外の材や曲がり材は当システム外で利用）、KD 柱・平角・間柱を含む羽柄材、副製品・残廢材が生産される。製材（最終製品）歩留まりは 53~55% である。原木投入量は月間 3000~3600 m³ で、概ね住宅の月別着工の変動に対応して変化する。残廢材のうちモルダー屑は全量が木質ボイラーで燃焼され人工乾燥用の熱源供給に利用される。

製材経営収支、製品ベースのコストを表 2-3-2 に示した。経営収支は、原木価格・製品価格（ともに外生変数）の水準、製材生産性等の要因から、2000 年代前半は原木価格が相対的に高く、総損益がマイナスとなる月が多いが、2000 年代後半から、生産性の上昇に伴い、次第に改善する結果となった。スギの乾燥は残廢材（モルダー屑を中心に、一部バークを利用し＜利用率初期値 18%＞、鋸屑・チップは販売）を利用する方式とした。それによると乾燥に必要な熱源の約 7 割が残材で供給可能と試算されたが、バーク利用度を高めることにより、100%を超える熱供給が可能で

表 2-3-1 木造住宅建築需要に対応したスギ製材品・原木の生産供給等の月別変動
—スギ乾燥材供給モデルから（各年6・12月）—

年・月 要素名	木材の最終消費と製品流通				国産材製材加工									
	プレカトルート			在来ルート	国産材製材の原木調達、従業員等				完成品の種類別生産量			残廃材・副製品		
	プレカトルートでの住宅受注戸数	ユーザーが要求する部材含水率	プレカトルート工場への国産製品供給	流通業者（市場・問屋等）への国産製品供給	丸太調達政策	製材工場従業員（営業・事務を含む）	柱ラインへの丸太投入	平角ラインへの丸太投入	うち柱類	うち平角等横架材	うち羽柄材等（間柱含む）小計	うちパーク	うちモルダー屑	
	戸／月	%	m3／月	m3／月	m3／月	人	m3／月	m3／月	m3／月	m3／月	m3／月	トン／月	トン／月	
	housing order	moisture content for CS	delivering to Precut&Builders	delivering to distributors	logs policy	Sawmill Labors	start prdn3m	start prdn4m	post 3mKD	beam 4mKD	mixed board	bark	molder shavings	
2004.06	213	0.18	1,127	618	3,369	42	2,241	1,074	663	326	739	140	131	
2004.12	216	0.18	1,102	538	2,956	42	2,025	971	618	304	684	124	122	
2005.06	242	0.18	1,193	565	3,456	42	2,271	1,089	699	344	773	144	138	
2005.12	254	0.18	1,216	512	3,320	42	2,160	1,035	697	343	763	140	138	
2006.06	283	0.18	1,309	525	3,611	42	2,387	1,144	728	358	806	150	144	
2006.12	291	0.18	1,303	456	3,243	42	2,186	1,048	675	332	746	136	134	
2007.06	305	0.18	1,317	432	3,423	42	2,226	1,067	694	342	763	144	137	
2007.12	323	0.18	1,387	396	3,364	42	2,207	1,058	688	339	758	142	136	
2008.06	343	0.18	1,474	410	3,692	42	2,414	1,157	740	364	818	154	147	
2008.12	325	0.18	1,397	355	3,268	42	2,164	1,037	682	336	750	138	135	
2009.06	343	0.18	1,474	375	3,617	42	2,374	1,138	727	358	803	151	144	
2009.12	325	0.18	1,397	342	3,253	42	2,165	1,019	681	330	745	137	134	
2010.06	343	0.18	1,474	375	3,622	42	2,401	1,110	735	350	803	151	144	
2010.12	325	0.18	1,397	342	3,254	42	2,191	994	689	322	745	137	134	

表 2-3-2 製材収支・コストおよびスギ立木価格の月別変動
—スギ乾燥材供給モデルから（各年6・12月）—

Year/Month	製材品の販売収入とコスト					国産材(素材)の生産・供給					
	製材の損益構造		製品1m3当たりのコスト			直送方式による丸太生産供給(団地化・集団化を前提とした高性能機械システムによる、需要対応型の計画生産・供給)			旧来型システムによる丸太生産供給		
	製材・総損益	損益分岐点の位置	製品1m3当たり原木費	製品1m3当たり労務費	製品1m3当たり乾燥費	直送方式での丸太調達	皆伐生産性(高性能機械システム)	スギ立木価格	従来ルートでの丸太調達(国内平均)	皆伐生産性	スギ立木価格
	千円／月 total sawmill profit	(%) rate of b'e' point	円／m3 log cost per m3	円／m3 sawmill labor cost per m3	円／m3 drying cost per m3	m3／月 direct logs delibering	m3／日・人 logging productivity2	円／m3 stumpage value of sugi2	m3／月 usual logs delibering	m3／日・人 logging productivity1	円／m3 stumpage value of sugi1
2004.06	-1,696	1.07	26,545	6,266	5,803	1,976	5.97	2,341	1,378	4.49	-871
2004.12	-5,464	1.26	28,525	5,963	5,770	1,919	6.19	4,372	1,039	4.58	4,917
2005.06	4,917	0.84	23,648	6,162	6,048	1,985	6.42	1,065	1,466	4.67	-3,062
2005.12	-2,132	1.08	27,864	5,918	6,132	1,862	6.64	3,758	1,480	4.76	-592
2006.06	-3,104	1.12	27,831	6,079	6,040	2,039	6.88	3,401	1,558	4.85	-611
2006.12	-2,563	1.10	28,177	5,770	5,866	1,853	7.11	4,164	1,396	4.95	1,959
2007.06	4,249	0.87	28,781	5,865	6,017	2,026	7.34	4,110	1,406	5.04	2,228
2007.12	4,836	0.85	27,762	5,662	5,888	1,854	7.57	4,138	1,527	5.13	1,886
2008.06	4,776	0.86	28,716	5,785	5,973	2,034	7.81	4,248	1,657	5.22	1,715
2008.12	5,708	0.83	27,650	5,544	5,932	1,802	8.04	4,248	1,485	5.31	445
2009.06	4,785	0.86	28,751	5,699	5,978	2,051	8.27	4,295	1,563	5.40	1,435
2009.12	5,941	0.82	27,607	5,457	5,938	1,930	8.51	4,407	1,340	5.49	2,606
2010.06	4,944	0.85	28,768	5,590	5,977	1,975	8.74	4,401	1,644	5.58	1,491
2010.12	5,916	0.82	27,638	5,436	5,935	1,855	8.96	4,527	1,416	5.67	2,482

あることもわかった。燃料価格が上昇する 2004 年以降（灯油：2004 年 1 月 32 円／リットルから 2007

年 1 月 60 円／ m^3 ）、残廃材利用による乾燥コスト低減効果が極めて大きい。当プロジェクトの乾燥研究でも、製材工場の年間素材消費量が 2 万 m^3 を超える規模になると、灯油利用による乾燥コストは 1 万円／ m^3 を下回り、エネルギーに係わる直接費が乾燥コスト割合の 50% を超えることがわかった。したがってこの灯油を残廃材で代替することで、格段の乾燥コスト削減が可能となる。当モデルでは、木屑利用による乾燥コストを 5,880 円／ m^3 とした⁽²⁾。

スギ原木は、原木市場経由の在来型ルートと、団地化を図った山元の土場から製材工場への直送ルートの 2 つのルートで供給される（表 2-3-2）。この在来型・直送型のルートについて、市場価逆算方式により山元立木価格の相互比較を行った。両者を比較した結果、原木の直送型システムによると、スギ山元立木価格は 2007 年 6 月の 4,110 円／ m^3 から 2010 年 12 月の 4,527 円／ m^3 となり、従来型システムによる同・2,228～2,482 円／ m^3 と比較し、約 2 千円の価格上昇となり、「山元への利益還元」が拡大する可能性が示された。

エ 考察

「原木供給と最終用途を連携させるスギの川上から川下に至るトータルシステム」として、スギ一次加工が経営的に成立し、なおかつ「山元への利益還元」を高めるシステムを、モデルを使い計量的に評価した結果、次のことがわかった。

原木および製材品の流通システムについては、従来の木材市場や問屋経由の多段階型流通システムと、山元→製材工場→プレカット工場への直送型システムについて、両者を比較した結果、原木供給については、後者の直送方式による場合、山元での施業団地化を進め高性能林業機械の効率的活用による生産性上昇、製材工場への直送による流通コストダウンで、在来型原木供給システムよりもスギ立木価格を約 2 千円程度高めることが出来ることがわかった（伐出生産性、運材費、市場手数料などのパラメータにより格差は変化する）。また直送方式は製材経営に於いても、原木の調達コスト削減（工場土場着価格の低減）が可能であり（モデルでは流通コスト削減は 1,100 円／ m^3 ）、収益改善に寄与する。なお製材工場から住宅建築までのコスト比較分析は今回モデルでは行っていないが、プレカット工場までの製品供給プロセスに要する時間の比較分析では、製品市場や問屋を介した流通よりも約 0.5 ヶ月の時間短縮が図られる結果となった。こうした時間短縮は原木供給の場合も同様である。

当モデルは改善の余地が多く残されているが、川上での施業集団化と川中での製材規模拡大、および両者を直送方式により直結するシステムについて、従来の国産材供給システムと比較した経済的評価が可能となった。モデルによる評価の結果、上記の直結型システムによりスギ原木・乾燥材供給コスト削減が可能であり、山元への利益還元力および市場ニーズへの量的・質的な対応力が高まることを、計量的に示すことができ、「原木供給から製品の流通、市場ニーズを効率的に連携する」全体モデルの基礎を作成できた。

オ 今後の問題点

モデルに外挿した木材価格、住宅着工データは 2007 年 7 月までのもので、2007 年 8 月以降はモデル構造に基づいた推計値である。このため、世界同時不況下の木材価格低下や需要減少が反映されていない。最新データの外挿により問題点、改善目標（生産性など）を洗い出す必要がある。持続可能な林業経営の可能性を分析するために、育林経営のサブモデルを組み込んだモデル

拡張を行う必要がある。

カ 要約

スギ乾燥材を対象に、原木供給を含む効率的な生産・流通・消費システムについて、経済的評価が可能なモデルを開発した。モデルは改善の余地が多く残されているが、川上での施業集団化と川中での製材規模拡大、および両者を直送方式により直結するシステムについて、従来の国産材供給システムと比較した経済的評価が可能となった。モデルによる評価の結果、直結型システムによりスギ原木・乾燥材供給コスト削減が可能であり、山元への利益還元力および市場ニーズへの量的・質的な対応力が高まることを、計量的に示すことができ、「原木供給から製品の流通、市場ニーズを効率的に連携する」全体モデルの基礎を作成できた。

キ 引用・参考文献など

- (1) 東京大学大学院森林経理学研究室當山啓介氏提供のデータを使用した。
- (2) 「わかりやすい乾燥材生産の技術マニュアル・改訂新版」、(社)全国木材組合連合会、p94～97、2006 年

(森林総合研究所林業経営・政策研究領域 野田英志、加工技術研究領域 高野 勉)

4. 市場ニーズに対応した乾燥材生産技術とその検索システムの開発

ア 研究目的

現在、住宅用の構造材に必要な乾燥材の生産流通は堅調に伸びているが、その伸び率は小さく推移している。これは、製材業者等における乾燥施設数、乾燥にかかるコスト、ならびに高品質材を生産する技術者の不足が要因としてかかわると思われる。今後、市場における高品質材や、熟練技術者の高齢化と次世代の担い手不足に対応するには、乾燥材の品質確保のための的確な技術を普及するとともに、消費者ニーズに対応する生産技術情報の発信が求められている。このため、次世代の技術者に対する乾燥技術の啓蒙も含め、品質要求等の消費者ニーズに対応する乾燥材生産方法を評価・整理してマニュアル化する。

イ 研究方法

(1) 乾燥技術のデータ収集および解析

住宅用部材の、主な樹種や材種についての最適乾燥方法に関する技術データの収集、解析を行った。これらと当所で蓄積したデータを併せて、人工乾燥スケジュールをとりまとめた。

(2) 蒸気・燃料消費量調査およびエネルギー消費量の試算

工場調査等を行うことで実際の使用量を把握して、推定値と比較検討した。また、当所で蓄積したデータを元に工場規模における加熱や運転エネルギーの解析を行った。ここでは間口幅 2.5m、間口高さ 4m、奥行き 5m の実用的な木材乾燥装置を用いて含水率 100%のスギ柱材(27.4m³/回、586本/回)を含水率 20%までを 7 日で乾燥することを想定してエネルギー費を試算した。エネルギー費は燃料、電気料、水道等の直接費とし、乾燥方法は、灯油ボイラ(1t)を使用する蒸気加熱式(1基)と除湿乾燥方式とした。

(3) 乾燥コストの試算

乾燥材の生産コストは、主な経費である人件費、直接費、償却費等の負担割合が、その年間生産量等によって異なると思われる。ここでは乾燥工場の生産規模によるスギ乾燥材生産コストを試算した。乾燥コストは、文献¹⁻³⁾を参考に人件費(作業責任者、ボイラ技術者、一般作業員)、直接費(燃料、電気代、水道代等)、設備維持費、設備償却費、一般管理費等そして金利の積算値の合計として求めた。

乾燥装置は国内で最も普及率の高い蒸気加熱方式⁴⁾とし、乾燥対象材は、最終製品が 105mm 正角になる無背割りスギ心持ち正角材(粗挽き寸法:114×114×3,000mm)を乾燥処理すると想定した。また、乾燥温度は 70~80℃、7 日間で含水率を 100%から 20%に処理すると想定した。ボイラの燃焼に必要な燃料の量は燃焼効率を考慮した上で、生材時に含まれる水分の蒸発に必要な熱量と灯油の燃焼発熱量から求めた。

乾燥装置の容量は、一般的な 25m³および 45m³とし、それらを想定する生産量を組み合わせた。各装置の価格は実勢価格を参考にそれぞれ 1,500 万円、2,900 万円とした。加熱装置であるボイラの規模は、実際の工場に導入されている実態を参考にした。ボイラは灯油焚きとした。価格は規模による実勢価格を参考に設定した。

人件費は、乾燥作業責任者、ボイラ技術者および作業員の構成とし、乾燥材生産量により人員配置を想定した。これらの賃金は、乾燥作業責任者、ボイラ技術者については「中小企業の経営

指標（H14 年）」の木材木製品の平均月収 395 千円を参考に、それぞれの年俸を 500 万円、ボイラ技術者を 400 万円と設定した。また、一時雇用の作業者は東京都の最低賃金を参考に、時給 800 円と設定した。

直接費のエネルギーにかかる経費として、灯油の価格は国平均 81 円/L、（（財）日本エネルギー経済研究所石油情報センター店頭価格）、電気料金は 11.3 円/kWh（東京電力高圧電力契約 A）、水道料金は 30 円/m³の工業用水を用いると設定した（各 2007.4 現在）。

乾燥設備に係る費用としては、設備は乾燥装置とボイラとし、これらを合わせた額を、全額借り入れ、年利 3 % で元利均等返済とした。設備償却費は木材乾燥装置の法定償却年数 10 年を参考に、7 年償却（残存 15 %）と設定した。設備管理維持費は償却の 20 % とした。そのほか一般管理費を合計の 10 % とした。

乾燥材の生産規模は、年間生産量が 1,000m³ から 150,000m³ とした。これは素材生産量からみれば中規模以上の製材工場である⁵⁾。

(4) 乾燥マニュアルの作成

国産のスギやヒノキ材の大部分は住宅部材に使用される。したがって、針葉樹製材に関して普及率の高い蒸気加熱式および除湿式の生産マニュアルを作成する。

ウエ 結果と考察

(1) 乾燥技術のデータ収集および解析

住宅部材に利用される針葉樹材について、国内外から木材乾燥に係る乾燥技術文献⁷⁻²⁰⁾を収集した。アメリカ等の文献に掲載されている乾燥スケジュールは乾燥時間が短く、乾燥割れや狂いが懸念された。これは、乾燥スケジュールが作成された時代と現在では、同じ樹種でも天然林から人工林に変化した等の材質の変化があると考えられる。このため、当所で作成したスギやヒノキの乾燥スケジュールを参考にして改良し、乾燥マニュアルに反映した。

(2) 蒸気および燃料消費量調査

蒸気消費量は、当所の実大乾燥装置（カタログ容量 4m³）によると、80℃の乾燥温度域の蒸気消費量を 1 とすると、100℃では 2.2 倍、120℃では 5 倍の値を示した。また、各温度域の数値と合わせて解析した結果、乾燥温度 80℃を超えると蒸気消費量が大きくなる傾向が見られた。他方、実大の乾燥装置（カタログ容量 28m³）の灯油消費量は 70-80℃の温度域では 90L/日、120℃の温度域では 160 L/日であった。すなわち人工乾燥材の生産時に、70-80℃の温度域に対して 120℃の温度域では約 1.8 倍の消費量であった。蒸気消費量が 80℃以上では急激に上昇することから、針葉樹材の人工乾燥温度は 80~90℃を最高温度にすると燃料消費は抑えられるものと考えられる。含水率 100%のスギ柱材を含水率 20%までの人工乾燥を想定すると、含水率 70-80℃では 7 日間で乾燥可能である。燃料消費量を考慮すると 120℃では 4 日程度の乾燥日数にしたとき燃料消費という点ではコストが同レベルになると考えられる。木材乾燥の省エネを考えると、乾燥温度は低い方が有利であるが乾燥時間は長時間になる。

(3) エネルギー消費量の試算

標準的な容量 25m³の木材乾燥機を用いてスギ柱材（105mm 角）を含水率 100%から 20%まで乾燥すると想定して直接エネルギー費の試算を行った。蒸気加熱方式では、乾燥温度を 60~70℃としたときに加熱に係る熱量が 5,902kWh/回、燃料使用量 15,292 kWh/回、灯油使用量は 1,500 L/

回であった。ファンならびに計装電源に係る電力量は 530kWh であった。水道使用量は 10m³/回であった。

一方、除湿乾燥方式(冷媒 R134a 仕様)では乾燥温度を 60～70℃としたときに圧縮機が 3,163kWh/回、ファン 1,223 kWh/回であり、合計 4,386 kWh/回であった。このときのシステム COP(Coefficient Of Performance、成績係数)は 2.95 であった。灯油代 81 円/L、電気代 11.3 円/kWh、工業用水 17 円/m³を掛けると、燃料費は、蒸気加熱式では 520,000 円/月、除湿方式では 210,000 円/月(電気加熱では 860,000 円/回)と推定された。

近年の油燃料高騰以前の灯油代が 40 円の時代では、蒸気加熱式は 270,000 円/月と試算された。すなわち、従来であれば灯油焚きボイラ加熱方式は、除湿式に比べて、乾燥技術、操作方法、乾燥時間等の総合的な判断から有利であったと考えられる。しかし、灯油代が 81 円になると、ヒートポンプ方式の除湿方式を正しく扱うことができればコスト的に有利になる可能性があることが示唆された。図 2-4-2 に、各熱エネルギーの異なる容量 25m³の乾燥装置による乾燥材 1m³あたりの生産コストを示す。

なお、高温乾燥によっても、乾燥材の生産を年間 10,000m³程度以上の場合、同樹種、同材種であれば、加熱に係る燃料費は木質燃料焚を導入する等のシステム改善によって抑えることが可能と考えられる。

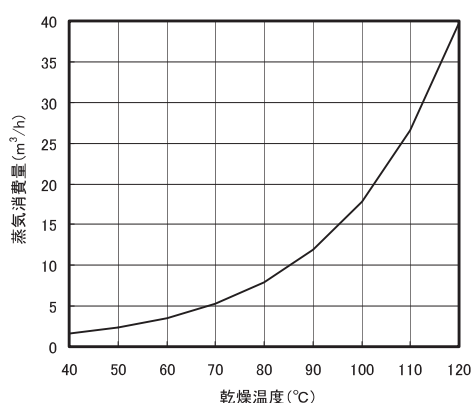


図 2-4-1 乾燥装置の運転温度による蒸気消費量

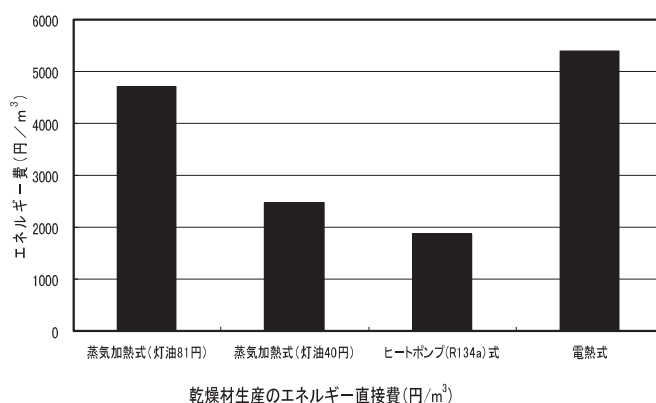


図 2-4-2 加熱方式別の直接費

(4) 乾燥経費の試算

乾燥材の生産規模は年間生産量が 1,000m³ から 150,000m³ の中規模以上の製材工場としたときの乾燥機の配置を、乾燥容量 25m³と乾燥容量 45m³の 2 種類として乾燥経費を試算した。人員の配置は、乾燥装置の数やボイラ規模で推定した。

乾燥容量 45m³の必要熱量を、25m³の乾燥機と同じ条件で計算すると、93.2×10³ MJ 必要であった。燃焼熱量から、灯油の必要量は約 2,500L と換算された。また、装置内のファンを含む消費電気は 902kWh、水道使用量は 17m³と算出された。

表 2-4-1 に各想定乾燥工場の係るコストと乾燥材 1m³あたりの乾燥コスト(粗挽き状態)を示す。想定工場Dのように年間乾燥材生産量が 4,392m³(素材生産量が約 10,000m³)では 10,000 円/m³を超えた。想定工場Eのように年間乾燥材生産量が 8,784m³(素材生産量が約 20,000m³)を超

えると乾燥コストは 10,000 円/m³を下回り、それ以上では乾燥材生産量が増加するにしたがって乾燥コストは漸減した。

図 2-4-2 は表 2-4-1 の代表的な想定工場の年間生産コストの内訳を人件費、エネルギーに係る直接費、設備維持管理費、償却費、一般管理費、金利負担の割合で示した。ここから年間の乾燥材生産が多い方が乾燥コストに係る人件費の割合は小さくなる傾向であった。エネルギーに係る直接費の割合は、年間乾燥材生産量が想定工場 E のように 8,784m³よりも多い場合、乾燥コストの 50%を超える試算結果であった。したがって、単一の樹種材種の乾燥材を生産する場合には、年間の乾燥処理量が多い方が乾燥コストは低く抑えられる試算結果であった。

表 2-4-1 想定乾燥工場の規模と各経費、乾燥コスト

想定工場	想定生産量と必要装置			必要機器の金額			必要人件費			燃料費等				乾燥コスト 円/m ³
	年間生 産量	乾燥容量 × 数	ボイラ 容量	乾燥装置	ボイラ	合計	作業責 任者	ボイラマ ン	作業者	電力量	水道料	燃料	消耗品	
	m ³	m ³ ×基 数	ton/h	百万円	百万円	百万円	千円/月	千円/月	千円/月	千円/月	千円/月	千円/月	千円/月	
A	1,320	25×1	1	15	6	21	417	0	320	33	1	486	50	16,071
B	2,640	25×2	2	30	8	38	417	0	320	66	2	972	50	11,839
C	2,196	45×1	2	29	8	37	417	0	320	48	2	810	50	13,060
D	4,392	45×2	2	58	12	70	417	0	320	96	4	1,620	50	10,533
E	8,784	45×4	4	116	24	140	417	0	320	192	8	3,240	50	9,353
F	17,568	45×8	8	232	48	280	417	333	640	384	16	6,480	80	9,273
G	35,136	45×16	16	464	96	560	834	333	640	768	32	12,960	150	8,904
H	70,272	45×32	32	928	192	1,120	834	666	1280	1,536	64	25,920	300	8,685
I	140,544	45×64	64	1,856	384	2,240	834	666	1600	3,072	128	51,840	500	8,507

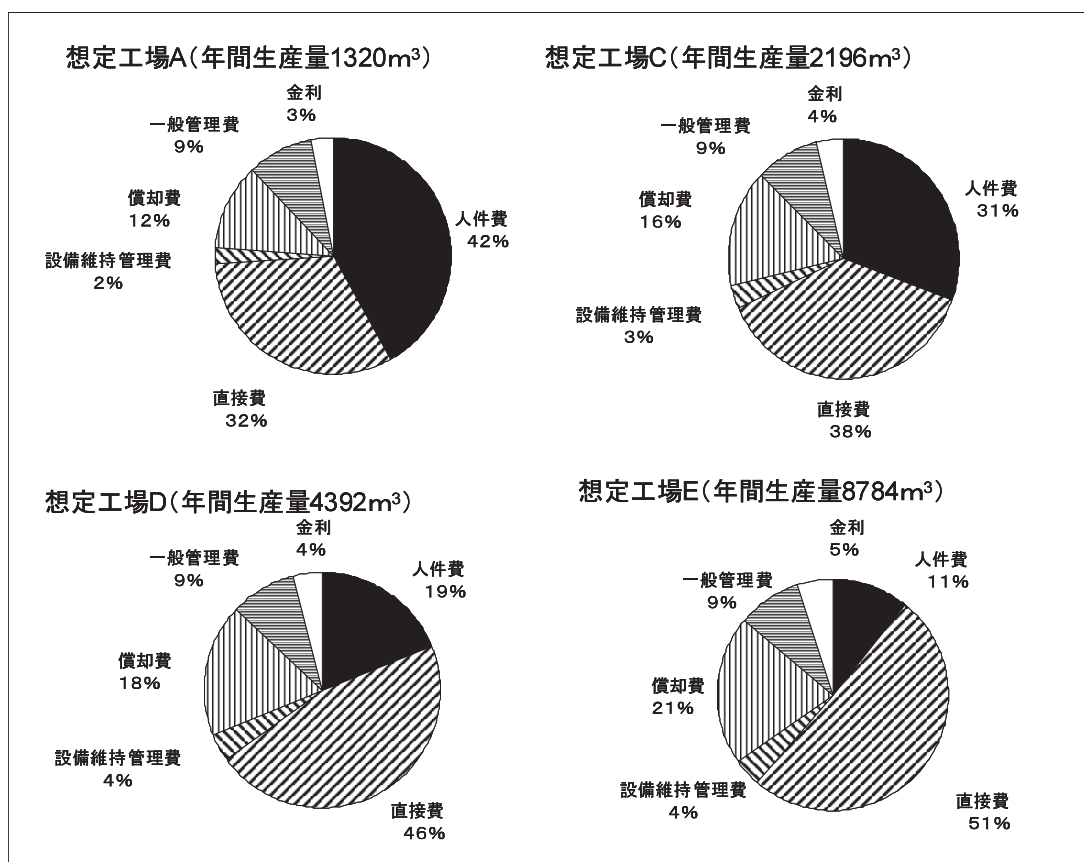


図 2-4-3 乾燥コストに占める各経費の百分率

他方、多品目の乾燥材、すなわち異なる複数の材種を生産する場合のコストについては、単一の材種を生産する場合と同様に、生産量はもちろん、用いる乾燥機や熱源の種類によって影響されるものと考えられる。第1章「製材・乾燥システムの開発」において検討された蒸気・高周波複合乾燥法による複数材種の同時乾燥法を導入した場合には、高周波発振機に要する電気代の比率が40%以上になると想定され、そのぶんコスト高になると考えられる。今後、製品の品質評価など、付加価値化を含めて、生産システムの検討が必要である。

(5) 乾燥マニュアルの作成

当所で蓄積したスギ材等地域材の乾燥スケジュールならびに乾燥工程（製材寸法、栈積み、天然乾燥、人工乾燥、調湿、含水率管理等）のノウハウを、建築用材の生産を念頭にまとめた。

木材の乾燥処理については、表 2-4-2 のような章立てを行い、マニュアルとして作製した。第1章は、木材乾燥に関する基礎知識である。第2章は、実際に木材乾燥処理を行うにあたっての技術的な知識と、実際の乾燥スケジュールによる処理方法である。第3章は、経済的な評価を行うための事例や、今回行った乾燥コストの試算方法を応用した算出方法である。

なお、一部は共同研究企業の乾燥ソフト資料として採用され、公開した。

表 2-4-2 乾燥マニュアルの項目

第1章 木材乾燥：

- 1.1 乾燥材の意義, 1.2乾燥材の必要性,1.3木材の乾燥方法,
- 1.4 乾燥装置の選択, 1.5 木材乾燥装置,1.6 蒸気加熱式乾燥装置の解説,
- 1.7 除湿式乾燥装置の解説 1.8、乾燥操作の手順、
- 1.9 予備乾燥装置(プレドライヤー),1.10 関連法規

第2章 建築用針葉樹材の乾燥方法：

- 2.1 木材乾燥の実践方法, 2.2 天然乾燥, 2.3 人工乾燥工程, 2.4 材種別乾燥方法
- 2.5 板物、割物の人工乾燥スケジュール,
- 2.6 ヒノキ、スギ柱角およびスギ平割等の構造材の乾燥スケジュール
- 2.7 製材原板の推奨寸法

第3章 乾燥コスト算出

- 3.1 乾燥コストの表し方 3.2 乾燥コストの計算方法

オ 今後の問題点

今回の課題は、消費者ニーズに即した乾燥材品質を提供する、すなわち JAS 規格等をクリアする乾燥材を生産するための乾燥材生産ガイドラインを目標にした。このガイドラインにおける人工乾燥スケジュールは、今までの乾燥試験から得られる情報であり、ほぼ確立されたと考えられるが、実際の乾燥工場においては今後実証する必要があると考えられる。また、乾燥材生産の効率化にむけて乾燥コストの評価を行ったが、今後需要の拡大が期待される多品目乾燥材生産については検討するに至らず、今後の課題として残されている。

カ 要約

住宅部材に利用される針葉樹材の乾燥スケジュールについて、国内外から木材乾燥に係る乾燥技術文献から収集し、これらを当所で作成したスギやヒノキの乾燥スケジュールを参考にして改良、乾燥マニュアルに反映した。現在、蒸気加熱方式が国内設置台数の80%以上のシェアを持っているが、燃油の高騰や二酸化炭素排出という環境面等の問題は避けられない。エネルギー直接費に係る灯油代が高騰すれば、まず木質バイオマス利用や、除湿乾燥の範疇であるCO₂冷媒ヒートポンプ方式への代替等が視野に入る。乾燥マニュアルは、一部共同研究企業の資料として作成されたが、技術的な面をさらに加えながら木材関係団体を通して普及させていくところである。

キ 引用文献

- (1) 寺澤真ら(1986)：改定版木材の人工乾燥、日本木材加工技術協会、131～134
- (2) 森林総合研究所監修(2004)：改定4版木材工業ハンドブック丸善、321～323
- (3) 黒田尚宏ら：森林総研交付金プロジェクト研究成果集8、110～114、2004
- (4) 林野庁木材産業課(2008)：平成18年の人工乾燥出荷状態、KDレポート、49：1～4
- (5) 林野庁編(2008)：20年度版森林・林業白書農林統計協会、112～114
- (6) USDA Hand book(1962)、“Lumber seasoning”、121-139
- (7) G. H. Pratt(1974)：Building Research Establishment Report、Timber drying manual、97-137
- (8) Edwin Knight(1975)：“Kiln drying western softwoods”、Moore Oregon、62-76
- (9) G. Bramhall(1976)：WFPL information report VP-X-159、Kiln drying of western Canadian lumber、87-101
- (10) USDA Hand book(1978)、No528、“Drying eastern Hardwood lumber”、84-91
- (11) J. L. Bachrich(1980)：“Dry kiln Hand book”、H. A. Simons LTD、301-349
- (12) Larry culpepper(1990)：“High temperature drying”、Miller Freeman Inc、246-266
- (13) William T. Simpson(1991)：“Dry kiln Operators Manual”、US Forest Products Society、149-177、
- (14) R. Sindy Boone(1993)：“Dry kiln schedules for commercialwoods”、US Forest Products Society、6-19
- (15) 満久宗麿(1980)：増補改訂版 木材の乾燥、280-281
- (16) 寺澤真(1986)：改訂版木材の人工乾燥、(社)日本木材加工技術協会 90-108、
- (17) 寺澤真(1994)：木材乾燥のすべて、282-300、
- (18) 森林総合研究所監修(2004)：改訂4版木材工業ハンドブック、301-315、
- (19) (社)全国木材組合連合会(2004)：わかりやすい乾燥材生産の技術マニュアル(樹種別)
- (20) (社)全国木材組合連合会(2006)：わかりやすい乾燥材生産の技術マニュアル(改訂新版)

(加工技術研究領域 齋藤周逸、黒田尚宏)

「交付金プロジェクト」は、平成１３年度に森林総合研究所が独立行政法人となるにあたり、これまで推進してきた農林水産技術会議によるプロジェクト研究（特別研究など）の一部、および森林総合研究所の経費による特別研究調査費（特定研究）を統合し、研究所の運営費交付金により運営する新たな行政ニーズへの対応、中期計画の推進、所の研究基盤高揚のためのプロジェクト研究として設立・運営するものである。

この冊子は、交付金プロジェクト研究の終了課題について、研究の成果を研究開発や、行政等の関係者に総合的且つ体系的に報告することにより、今後の研究と行政の連携協力に基づいた効率的施策推進等に資することを目的に、「森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集」として刊行するものである。

ISSN 1349-0605

森林総合研究所交付金プロジェクト研究 成果集 26

「原木供給と最終用途を連携させるスギの一次加工システムの開発」

発 行 日 平成 22 年 3 月 18 日

編 集・発 行 独立行政法人 森林総合研究所

〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1 番地

電話. 029-873-3211 (代表)

印 刷 所 (株) 大塚カラー

