

北海道における広葉樹材の乾燥 — 林産試験場の開発技術 —

奈良直哉

はじめに

優れた品質を持つ道産広葉樹材は、古くから有効利用されています。特に、戦前からインチ材として欧米に輸出品の花形として大量に出荷され、北海道産の広葉樹材は世界的にもその品質は高く評価されてきました。また近年はユーザーの認識も変化し、木材固有の本物感、暖かさ、柔らかさ、高級感を求める時代となり、ますます道産広葉樹材への期待が大となっている現状と考えます。

しかしながら、これら資源の豊富であった北海道においても資源は減少し、質量ともに大きく低下している現状にあり、またこれを補完する意味あいから、輸入広葉樹材が円高事情とも相まって急速に増加しています。このようなことから、道内の多くの企業では、この貴重な資源の付加価値の向上とともに、有効利用を図るべく、製材、乾燥、加工などきめ細かな高度技術を生かし、より高品質の製品を生産するよう努力しているところです。

道内における広葉樹材乾燥の現状

木材は空気の温度、湿度の変化により、放湿（乾燥）、吸湿し、それに伴って収縮、膨張することは常識です。したがって、木材は使用場所に応じた含水率まで乾燥して初めて寸度安定が図られる材料、すなわち「工業材料」となり得るものです。特に広葉樹材は、その主たる使用目的が家具、集成材、床板および内装、建具材などであることから、道内においても古くから十分な乾燥が行われているとともに、その乾燥技術においては

全国的にも高水準にあるといえます。また針葉樹材についても近年の高断熱、高気密化住宅への対応から、高品質の乾燥材の生産が急速に増大してきている現状にあります。

しかしながら、木材乾燥は設備投資、乾燥工程での管理、技術などの問題が容易でないため、製品の付加価値に占める乾燥コストの比率は極めて大きいものがあります。また木材も貿易自由化への対応が強く求められる現状から、乾燥材の高品質化とともにコスト低減化に向けた取り組みを急速に行っていくことが必要、かつ、重要です。

このような背景から、道内の多くの企業においても「乾燥材の高品質化」と「乾燥コスト低減化」に向けて多大な努力を払っているのが現状です。また林産試験場においてもこれらの諸問題に積極的に取り組み、その成果については道内企業への普及を図っています。

林産試験場における乾燥問題の取り組み

林産試験場が、実施してきた木材乾燥関係の多くの研究のうち、現在、企業へ普及している事例と、今後、大いに普及を図っていくことが必要と考えられる事例について、その概要を紹介します。

省資源化

(1) 割れの防止

乾燥スケジュール

乾燥工程中に発生する割れ防止と乾燥時間の短縮を主目的として道産広葉樹材の適正乾燥スケジュールの追求、改良を行いました。道産広葉樹材

9樹類（ミズナラ、ハルニレ、ヤチデモ、セン、タケカンバ、イタヤカエデ、ブナ、カツラ、シナノキ）を用いて、種々の条件下で人工乾燥を行い樹種ごとの乾燥特性、損傷を併記した一覧表を作成し、乾燥材の使用目的および乾燥室の条件にあった最適スケジュールを見いだしました。また近年輸入が飛躍的に増大しているホワイトオーク材の乾燥スケジュールについての検討を行い、ほぼ適正と考えられる条件を得ました。

しかし、ホワイトオーク材は道管中に含まれているチロースの影響から乾燥性が極端に悪いため、乾燥時間の延長は避けられません。また乾燥時間の短縮を採ろうと無理をすれば、ごくわずかな表面の水分が蒸発するだけで内部の水分はほとんど移動しないため、収縮にアンバランスを生じ板目材には微細な表面割れが多発します。したがって、今後は別の角度からの検討（例えば、予備乾燥、圧縮処理乾燥）も必要と考えます。

ポリエチレングリコール処理乾燥

一部の樹種、材種および心持ち材、木口円盤（輪切り材）あるいは貴重材などを乾燥する場合、乾燥スケジュールのみで割れを防止、抑制するのが困難なこともあります。このような場合、割れを防止、抑制しながら速やかに乾燥する方法としてポリエチレングリコール（PEG）処理による乾燥があります。PEGとは無色、透明、無臭の水溶性物質で、分子量の大きいものは常温（約20℃）で固形状であり、小さくなるにしたがって液状となる物質です。

PEG処理による乾燥方法は、PEGの濃度を50～60%程度にした常温の水溶液を作り、この中に生材を1～4週間（樹種、材種によって大きく異なる）程度浸せきします。処理後の材は、できるだけ速やかに乾燥することが必要ですが、この場合の乾燥条件は内部割れなどの少ない針葉樹材は比較的高温度（80～100度）、低湿度で、内部割れの発生しやすい広葉樹材は低温度（40～60℃）、低湿度で乾燥します（写真1）。

(2) 狂いの防止

圧縮乾燥（載荷乾燥、プレス乾燥）

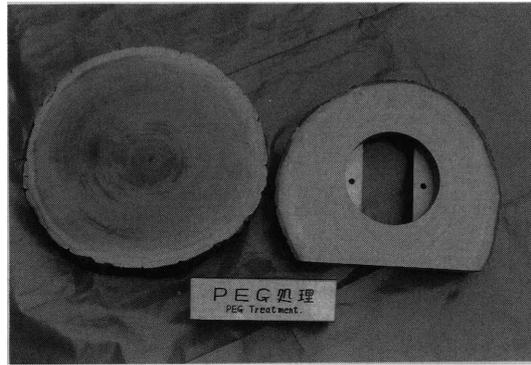


写真1 PEG処理乾燥

木材乾燥工程中に発生する狂いは

イ 材の構成要素の異方的収縮による狂い
ロ 乾燥条件による異常収縮に基づく落込み
ハ 乾燥条件による内部応力に基づくドライイングセット

ニ 機械的応力による狂い

などに大別されます。ロ～ニについては乾燥技術の習得により狂いの発生を防止、軽減することができますが、イについては限界があります。特に、近年の丸太は小径、低質化が顕著なため、イの影響による狂いの発生は極めて大きいものがあります。したがって、現状の木材乾燥で最も重要な問題は割れの防止もさることながら、いかに狂いの発生を防止、抑制することができるかです。

このようなことから、狂いを防止する方法として圧縮乾燥技術を確立しました。この方法は、棧積み材を鋼材、スプリングなどを用いて締め付け（圧縮）ながら乾燥する方法です。この方法を簡便にしたのが載荷乾燥で、重量物（1～4トン程度）を棧積み材の大きさ、材厚に応じて棧積み材上部に乗せ、乾燥する方法です。またプレス乾燥は乾燥装置に油圧式のプレス盤を付設し、乾燥装置内に収容した棧積み材の上部から棧積み材に応じた荷重をかけながら乾燥します。これらの方法により乾燥工程中に発生する狂いは従来方法に比較して15～30%程度減少します（写真2, 3, 4）。

棧木パレット

狂いのうち、ねじれやそりはできるだけ棧木の間隔を狭め、かつ、上下一直線にならぶように配

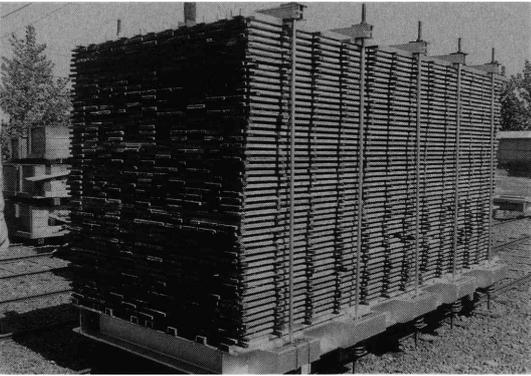


写真2 圧縮乾燥一例 (N材)



写真4 乾燥機内の圧縮プレス

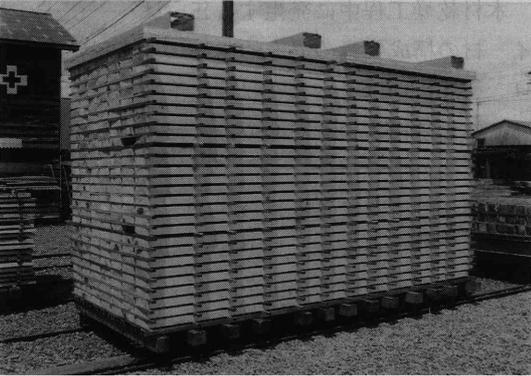


写真3 載荷乾燥一例 (N材)

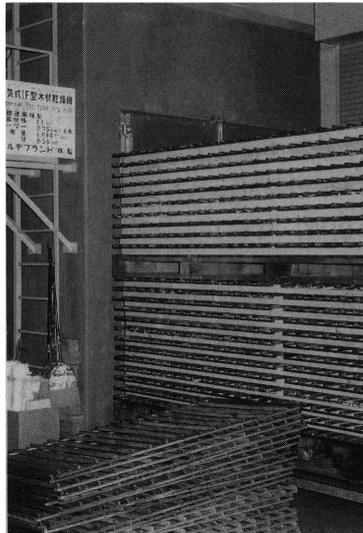


写真5 栈木パレット積み材

列することにより、大きく抑制することができます。特に、板目材の幅ぞりに対しては栈木の適当な配置が非常に効果的です。しかし、実際の栈積み作業においては、栈木間隔を狭くするためには多くの栈木が必要なことや、栈木を上下一直線にそろえることは栈木量と作業量との関係から容易ではありません。

このようなことから、栈木間隔を狭く配置し、かつ、一定寸法に一体化した栈木枠のようなもの（栈木パレットと称する）を考案しました。この栈木パレットを用いることにより狂いは大幅に減少するとともに栈積み、栈降ろしの時間は、従来方法に比較して20～30%程減少します。特に、広葉樹材のような乱尺、乱幅材が主体の栈積みには顕著な効果が期待できます（写真5）。

省力化

(1) 乾燥スケジュールの改良 タイムスケジュール

木材乾燥操作の基本は含水率スケジュールです。通常、一日数回の含水率測定、室内温湿度の設定、変更などの管理業務を必要としますが、完全に実行するのは容易ではありません。比較的乾燥性が良く、しかも乾燥経験、データが十分あるような場合や天然乾燥が十分行われている材、薄物材などには時間経過で乾燥室内の温湿度を変更

することが可能です。この方法がタイムスケジュールです。乾燥未経験の材や経験豊富な材でも初期含水率が比較的高い場合、材厚が大きくなった場合にはこの方法ではなく、含水率スケジュールを用いたほうがよいでしょう。

(2) 管理業務の簡素化

マイコンによる乾燥操作の自動化

木材乾燥工程におけるFA化の一つに乾燥操作の自動化があります。古くから木材乾燥操作の基本は含水率スケジュールで行われており、またこの方法は最も信頼性の高い方法として世界的に用いられています。反面、被乾燥材の含水率スケジュールの作成、一日1~3回の含水率の測定、乾燥室内温湿度の設定、変更、調湿処理を行うか否かの判断、その時間など、これら一連の管理業務は容易ではありません。また乾燥室の運転は乾燥開始から終了まで連続運転が原則ですので夜間、休日の管理業務はさらに容易ではありません。

このような背景から、これらの操作をマイコンを用いて自動化を図りました。この装置は従来から行われてきた操作、管理業務をマイコンにより自動化し、完全無人化を図ったものです。すなわち、乾燥室内の被乾燥材とマイコンとの接点となる含水率センサ（ロードセルによるコントロール材の重量測定から含水率を求める）からリアルタ

イムで送られてくる値を基に乾燥室内の温湿度が自動的に制御されます。したがって、乾燥開始時に若干の初期入力を行うのみで以後は終了まで完全に無人で乾燥が行われます。このことにより、乾燥材は担当者の技術、管理能力に関係なく均質な材が生産されることとなります。現在、道内外16社に採用され順調に稼働しています（写真6）。

コンピュータによる水分管理技術

近年、木製品の品質は日々に向上していますが、用いられている原材料は多種多様にわたっています。このため、乾燥材の高品質化を図ることは当然のことですが、水分管理の適正化についても極めて重要な課題となっています。木材乾燥工程における水分管理としては、大別して乾燥経過中、乾燥終了直後、乾燥材の保管中に分けられますが、このうち乾燥経過中は操作、管理業務に含まれるので、後の2者が当面の課題と考えます。

現在、木材の水分、いわゆる含水率の測定は、JAS（日本農林規格）により全乾法で求めることになっています。しかし、実用レベルでは測定方式、性能問題は別にして携帯式の電気式水分計（含水率計）により測定しているのが実状で、全乾法はむしろ水分関係の問題が発生した場合、補助的に用いられているのが実態です。

この水分計による測定の場合、問題になるのは性能、精度とともに一般的に測定材の量が多いと

いうことです。最も普及している乾燥室の収容材積は11~13m³ですから、広葉樹材の場合、一室当たりの材本数は数百~数千本になります。これを先の水分計で全数測定することは容易ではありません。このようなことから、乾燥終了材および保管材の水分を連続、自動的に測定可能な水分管理システムを確立しました。このシステムは含水率約30%以下の材の水分測定が可能で、測定速度も10~70m /

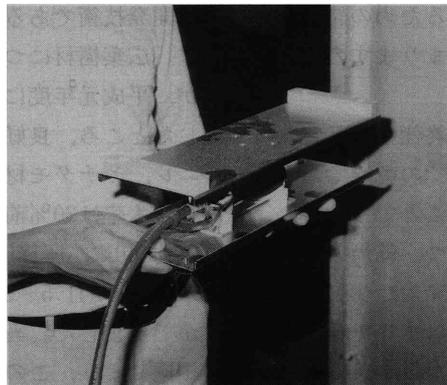
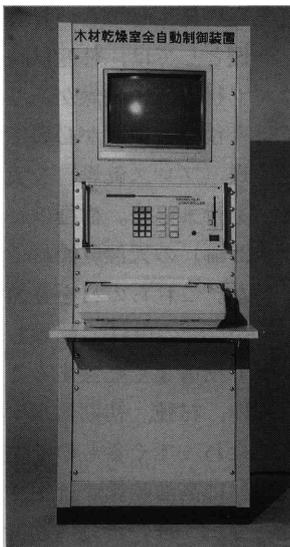


写真6 コントローラと含水率センサ

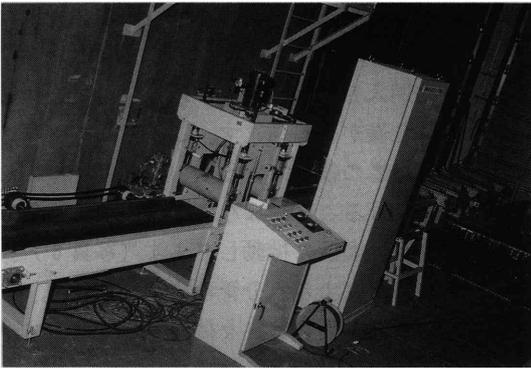


写真7 水分管理システム

分と大きな測定処理能力を持っています。また測定材に関する各種データの取り込み、解析保存も可能になっていますので、通常の水分管理には十分な対応ができます(写真7)。

省エネルギー化

(1) 天然乾燥の有効利用

道内における多くの企業では、本州企業に比較して広範な土地を所有し、その一部では古くから天然乾燥を行っています。通常、広葉樹材乾燥におけるエネルギーコストは45～55%程度ですが、どの程度まで天然乾燥を行うかの問題はありますが、自然エネルギーの有効利用を図ることは乾燥コストの大幅な低減化につながります。反面、広い土地とともに膨大な木材を長期間寝かせる金利は量が増加するほど増えていくので、この金利と天然乾燥の含水率まで人工乾燥するための諸経費とのバランスによって優位性が決まりますので十分検討することが必要です。

天然乾燥の長所は、乾燥材の最終仕上がり含水率むらが小さくなること、低温域での乾燥であるため木材細胞の落ち込みが少ないことです。したがって収縮率が比較的小さく、かつ、乾燥応力、水分傾斜も小さいなどから損傷の発生が少ないなどの特性があります。一方、乾燥エネルギーは自然のものであり、木材乾燥に不利な気象条件となった場合、人為的にこれをコントロールすることはできませんので割れやすく、狂いやすい材の場合には、損傷が大きくなる傾向もあります。また



写真8 天然乾燥場

天然乾燥後人工乾燥を行う場合、天然乾燥で発生した損傷は大きくなってもしっかりと小さくはなりません。一般論ですが乾燥の出発点は天然乾燥にあるということを十分に認識することが重要です。したがって、天然乾燥においても人工乾燥と同様に適正な管理が必要であり、例えば乾燥土場の整備(土場の舗装、排水処理)、主風と棧木方向の関係、棧積み方法、通路の位置、間隔ならびに含水率管理などについて検討することが重要です(写真8)。

(2) 乾燥時間の短縮

高温スケジュール

高温スケジュールは一般的には温度100以上の乾燥をいいます。したがって、対象樹種もおのずと制限され、主として欠点の発生しづらい針葉樹材が対象になります。一例としては、林産試験場の開発技術であるカラマツ材の脱脂乾燥があります。広葉樹材については今後とも検討が必要ですが、平成元年度に熱盤乾燥(プレス乾燥)を実施したところ、良好な結果を得ました。樹種はハルニレ、ヤチダモ材(厚さ27mm)の天然乾燥材で、初期含水率は30%前後でした。これらの材を熱盤温度約140、圧縮圧力7kgf/cm²の条件で乾燥したところ、約1.5～2.0時間で損傷なく乾燥することができました。当然、樹種、材種、初期含水率の相違により、この条件は変わってくるものですが、今回の結果から広葉樹材に高温乾燥が適用できたことは大きな前進であり、今後の研究に期待できるものと考えます。

初期蒸煮処理

人工乾燥工程に入る前に、一定時間被乾燥材を生蒸気で処理することを初期蒸煮といいます。この方法の目的は、

- ・初期含水率のバラツキを少なくする
- ・材内組織に顕微鏡的破壊を発生させ、水分の移動性を向上させる
- ・道管内に存在するチロースのような水分の移動を阻害している物質を破壊、除去し、水分の移動性向上を図る

などです。ここで、注意しなければならないのは乾燥開始時に被乾燥材の材温および乾燥室内温度を急速に上昇させるための蒸煮とは異なることです。本来の蒸煮処理の条件は乾燥温度90～100（関係湿度約100%）で行い、蒸煮時間は、樹種、材種により異なりますが、目標温度に到達してから2～6時間程度行います。また被乾燥材の材温、乾燥室内温度の急速上昇を図る蒸煮の場合は、それぞれの乾燥スケジュールの初期乾球温度より若干高い（温度5～10）条件で蒸煮を行い、目標温度に到達したら打ち切ります。

なお、この蒸煮処理により乾燥材の材色が変わることがありますので、変色を嫌う使用目的の場合は注意が必要です。また十分天然乾燥された材に蒸煮処理や材温上昇のための蒸煮を行うと、含水率の増加や天然乾燥時に発生している割れが増大する場合もあるので避けるべきです。

(3) 動力費の節減

乾燥室内の風量変換技術

乾燥温度におよぼす風速の影響は、乾燥の程度によって異なり、乾燥初期の比較的高含水率の段階では風速が大きいほど乾燥速度は増大します。一方、乾燥の中期から末期にかけては乾燥速度も徐々に低下してきますので必要風速も変わってきます。通常、乾燥装置内の材間風速は1.5～2.0m/秒程度が標準的であり、経済的であるとされ、そのようなモーター、ファンが設置されています。風量変換技術は、乾燥の中期から末期にかけて乾燥速度の低下を招かないようにして、風速を減少させる方法です。風速の減少には周波数を変換し

てモーター回転数を低下させ、風量を制御する機器（インバータ）が用いられます。一般に交流モーターの回転数Nは、

$$N = \frac{120f}{P} (\text{rpm})$$

ここで、Pは極数、fは交流の周波数を表します。

したがって、周波数fを落とせばモーターの回転数は低下し、風速も落ちることになります。

風量変換パターンについては、それぞれの装置特性、樹種、材種、乾燥スケジュール、棧積み材の形状などが大きく影響しますので、いちがいに論じることはできません。林産試験場の試験では乾燥材の含水率が40%以下になってから徐々に風速を低下させ、終末には0.9m/秒程度にしました。その結果、乾燥時間は通常の場合と同様でも電力量は40～60%程減少しました。したがって、それぞれの企業においても上記の点に留意、検討して自社の風量変換マニュアルを作成し、省エネルギー化を図ることが必要です。

(4) 蒸気量の節減

排熱の再利用

ここでの排熱とは、乾燥装置からの排気を対象にしています。排気が保有している熱を空気、水などの媒体に回収して再利用する考え方です。熱交換の効率熱交換器の形式によって異なりますが、林産試験場は、ヒートパイプ（パイプ内にはフロンガスを封入）を用いた熱交換器を試作し、これを吸、排気デクトに取り付け、蒸気消費量について検討しました。この結果、蒸気消費量は通常の場合（熱交換器なし）に比較して10～20%減少しました。いずれのタイプの熱交換器でも交換効率が100%になることはありませんが、今後とも交換効率の向上を図っていくことが重要と考えます（写真9）。

太陽熱利用乾燥室

木材乾燥では、どのような装置、方法を用いても水分を蒸発させるためのエネルギーが必要です。木材乾燥コストに占めるエネルギーコストの割合は、樹種、材種、初期含水率および燃料の種類な

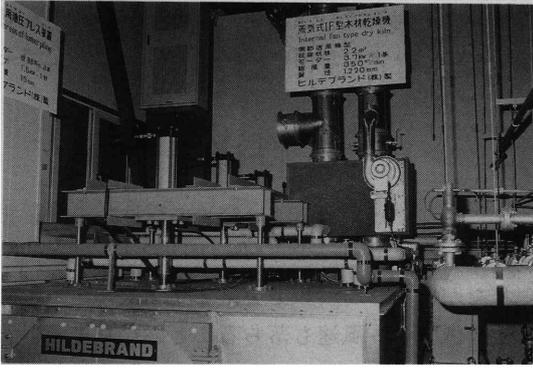


写真9 熱交換器 (右上)

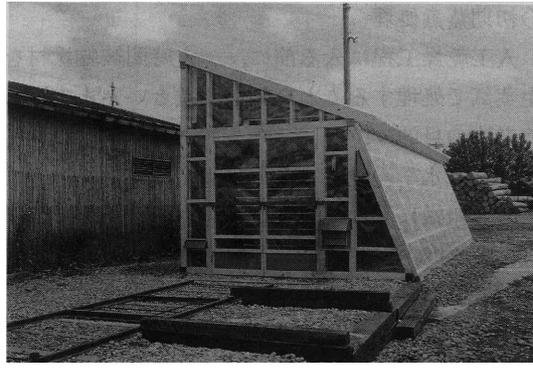


写真10 太陽熱利用乾燥装置

どによってかなり異なりますが、広葉樹材の場合、約5割程度と考えられます。この乾燥に必要なエネルギーを太陽熱から得て、木材乾燥コストの低減化を図るといのがこの装置です。

林産試験場で開発を行ったのは、約11m³入りのグリーンタイプの太陽熱利用乾燥装置です。この装置は手造りで容易にでき、しかも、建設費が安く、乾燥コストは室内送風機の電力費のみですから、通常的人工乾燥に比較して非常に安いなどの特色を持っています。しかし、希薄な太陽熱を利用する乾燥ですから使用目的には若干の制限を受けます。装置の研究開発とともに実施してきた実用試験からは、天然乾燥の促進、人工乾燥前の予備乾燥、建築用構造材の乾燥などに最適であるとの結果を得ています。また本装置に簡易な形式の補助熱源を組み入れることにより、太陽熱利用乾燥の問題点である雨、雪、曇天、夜間などの問題が大幅に改善されます。現在、道内外の製材、建具、建設業界など約20数社に設置され順調に稼働しています(写真10)。

おわりに

以上、道内における広葉樹材乾燥の現状と林産試験場での乾燥問題の取り組み、成果などを中心に概説しました。木材業界においては針、広葉樹材を問わず木材製品の付加価値向上への努力を図ることは当然のことですが、原材料の質、量低下の問題にも積極的に対処することが重要と考えます。特に、乾燥は生物である木材を工業材料とし

て使うために寸度安定化を図る重要な工程です。したがって、それぞれの企業においては高品質の乾燥材を生産するために大きな努力とともに乾燥コスト低減化に向けての対応を図らなければなりません。また国内的な問題とは別に、今後ますます増大するであろう外材への対応も容易なことではないと考えます。品質の問題もさることながら、乾燥木材の低価格化にどのように対応していくか、まさに価格の争い“銭争”といっても過言でないと思います。

このようなことから、各企業においては、木材乾燥の基本を十分理解のうえ装置の選択、生産管理を、また乾燥技術者は「乾燥材の高品質化」と、「乾燥コスト低減化」に向けての研究ならびに乾燥技術の習得、研さんに努力することが重要と考えます。

参考資料

- 1) 米田昌世ほか：林産試験場研究報告，第71号，(1982)
- 2) 川口信隆ほか：林産試験場報，4巻，3号，1頁(1990)
- 3) 奈良直哉ほか：林産試験場研究報告，第67号，129頁(1978)
- 4) 大山幸夫ほか：林産試験場研究報告，第64号，116頁(1976)
- 5) 上野英治：林産試だより，11月，7頁(1987)
- 6) 奈良直哉：林産試だより，10月，9頁

- (1987)
- 7) 奈良直哉：林産試だより，6月，7頁
(1988)
- 8) 北海道林務部：木材高度利用複合化システム
開発事業 第1部要素技術研究開発成果報告
3月，89頁(1991)
- 9) 奈良直哉：林産試だより，8月，20頁
(1984)
- 10) 北海道林産技術普及協会：加速的技術開発支
援事業成果報告書，2月，6頁(1990)
- 11) 中島厚ほか：林産試験場報，4巻，1号，4
頁(1990)
- 12) 中島厚ほか：林産試験場報，4巻，2号，22
頁(1990)
- 13) 中島厚ほか：林産試だより，8月，28頁
(1984)
- (林産試験場 経営科)