

# スギ乾燥柱材の製造過程における乾燥難易指数の検討

富田守泰、長谷川良一

## 目 次

はじめに .....	107	2 結果と考察 .....	109
I 含水率管理方法の検討 .....	107	2.1 乾燥前後含水率分布 .....	109
1 スギ正角材乾燥の含水率管理の現状 .....	107	2.2 生材密度と水分量の配分検討と生材時での含水率の捉え方 .....	109
2 想定される含水率管理方法 .....	108	2.3 柱生材密度及び心材率と柱乾燥後含水率 .....	110
3 乾燥難易で乾燥前に選別する管理方法の利点 .....	108	2.4 生材密度及び心材率と乾燥水分量 .....	110
II 乾燥難易選別試験 .....		2.5 乾燥難易指数の求め方 .....	111
1 試験方法 .....	109	2.6 乾燥難易指数K1と柱乾燥後含水率 .....	112
1.1 供試原木 .....	109	2.7 乾燥難易指数の利用 .....	112
1.2 原木測定 .....	109	2.8 原木時での選別の検討 .....	113
1.3 乾燥前製材品測定 .....	109	2.9 心材率自動測定の可能性 .....	114
1.4 乾燥 .....	109	3 まとめ .....	114
1.5 乾燥後製材品測定 .....	109		

## はじめに

スギ材の利用拡大、特に住宅用構造用材としての利用において、効率よく乾燥する方法の確立が急務である。スギ材はヒノキ材に比較して含水率が高いうえに個体によるバラツキが多く、人工乾燥時の効率的で均一的な含水率管理が困難となっている。岐阜県内において、スギ乾燥材の生産が滞っている理由もそこにある。そこで、製材直後あるいは原木時に乾燥容易材と困難な材を選別する技術を確立し、より効率的な乾燥を可能にすることを目的とする。

この試験を実施するにあたり、御協力を賜った三重県林業技術センター、野々田稔郎氏、西村木材、西村仁雄氏、㈱エーティエー、前田富士男氏、前岐阜県森林組合連合会岐阜林産物共販所、仲井正憲氏、岐阜大学教育学部、杉森正敏助手に対し、心より感謝の意を表する。なお本試験はスギ材ブランド化促進事業として実施したものである。

## I 含水率管理方法の検討

### 1 スギ正角材乾燥の含水率管理の現状

スギ正角材乾燥法について、多くの方法が検討されてきた。しかし、常に乾燥経費との兼ね合いから、実務面における新技術の実現は困難となっている。通常は蒸気乾燥機により比較的高温域での乾燥を行っており、この場合でも常に乾燥経費から、できるだけ短期間で実施しているのが現状である。

具体的には、スギ材は個体ごとの初期含水率のばらつきが多さと、乾燥水分の絶対量の多さを踏まえ、最終的にはコスト面でペイできる乾燥条件を設定しなければならない。さらに、仕上げ含水率が比較的高く板材と比べて個体数の比較的小さい建築材の乾燥では、乾燥が遅い個体を仕上げ含水率にボトムアップする方法でなくて、大略乾燥した後、仕上げ含水率に達しない個体の再乾燥の実施によ

り対応している。

## 2 想定される含水率管理方法

このような状況を踏まえ、現在ある蒸気式乾燥施設で、含水率管理をする方法として次の3つの方法が考えられる。(図-1)

第一は全てがD25をクリアーできるように乾燥し、乾燥終了後含水率測定からD15からD25までの3段階に分類し、それぞれのランクで出荷する方法である。これは乾燥のし易い材については出来高で価値を高める方法である。

第二は目的とする含水率に達した材から乾燥を終了する方法である。つまり一度乾燥したものでない材を再乾燥する方法で、通常実施されている方法である。

第三は事前に個体毎の乾燥難易を知ること、実際実施するスケジュールで、すべての材が目的の含水率まで乾燥できるように分別し、実施する方法である。

本テーマは この3番目の方法について可能性を検討した。

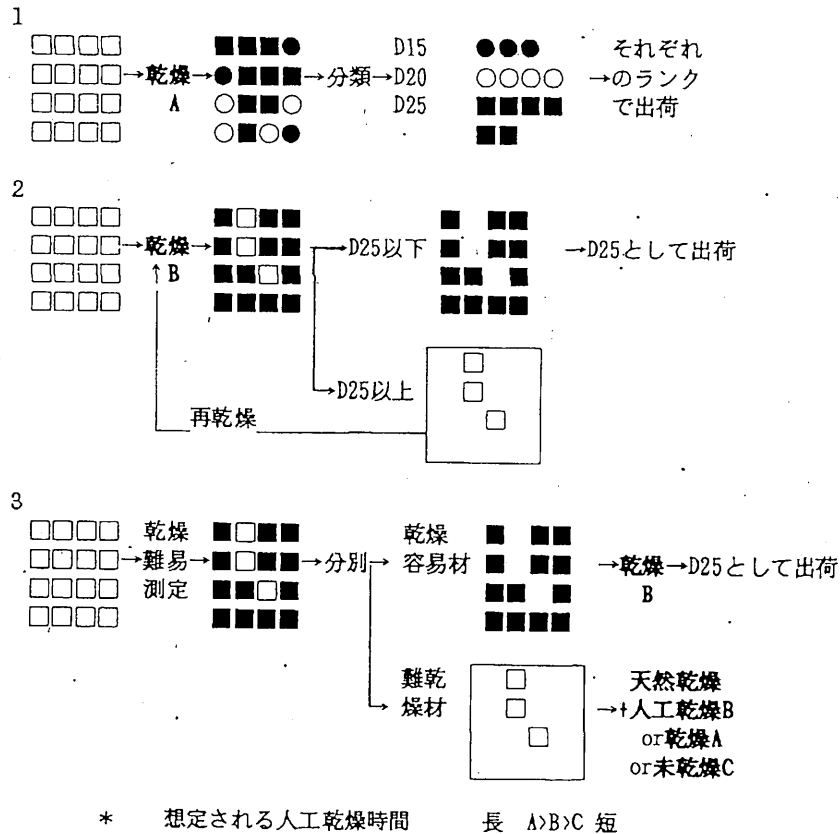


図-1 スギ正角材乾燥における含水率管理の3方法

### 3 乾燥難易で乾燥前に選別する管理方法の利点

この方法は、乾燥し易い材が、し難い材のスケジュールに合わせるために、目的含水率に達したあともエネルギーを消費することを防ぐことが目的である。そのためには、乾燥難易の同程度の個体のみを乾燥することが必要である。

また、経費面からは、材価に転嫁できる乾燥コストが事前に把握でき、経費に見合う乾燥スケジュールも決めることができれば、そのスケジュールで乾燥可能な材のみを乾燥することも可能となる。その結果、乾燥の判断材料にもなり、効率的な乾燥が期待できる。

この方法を現実化するためには自動的に乾燥の難易を把握する必要性があり、乾燥前にできる工場内での自動化を前提にした乾燥難易選別について検討した。

## II 乾燥難易選別試験

### 1 試験方法

#### 1.1 供試原木

試験に供した原木は、県森林組合岐阜共販所において、乾燥装置を備えている県外のN製材所により柱材製材用として競り落とされた原木で、県内の長良川流域で生産された末口径13cm～22cmのスギ材451本を用いた。

#### 1.2 原木測定

柱材乾燥の難易性を原木段階で推定し得る測定値で、また実際に実行し得る測定値として、元口径、末口径、末口と元口の心材径、重量を測定し、(重量測定はフォークリフトに接続したロードセルによる市販の測定器A社製CX-1000を使用)原木心材率と原木密度を求めた。

#### 1.3 乾燥前製材品測定

乾燥後挽き直しするため、製材は3.5寸角材として114mm、4寸角材として131mmに製材後、柱材乾燥の難易性を製材直後段階で推定し得る測定値として、製材材積、面積比による末口と元口の心材率、重量を測定し、両木口の平均心材率と生材密度を求めた。

#### 1.4 乾燥

乾燥は上記製材所で実施しているスケジュール(初期80℃、4℃差、終期80℃、18℃差、130時間、クーリング24時間)を使用した。乾燥装置は灯油熱源の内部送風型(IF型)で、送風方向の乾燥室幅は2.5m程度で材間風速も1m/秒以上ある。乾燥室が原因の含水率バラツキは考えられない。

#### 1.5 乾燥後製材品測定

乾燥後含水率計にて含水率を測定した。測定方法は元口、末口から50cm部分で4面、1本当り計8箇所測定し平均値を求めた。含水率計は全木連認定のDELTA-5を使用した。

重量を測定し、求めた含水率から生材時の含水率を算出した。重量測定はA社製グレーディングマシンの計量部分を読みとった。

前述のとおり製材所では乾燥後、含水率計による全量チェックを実施しており、この作業もかなりの負担となっている。しかし特にスギの乾燥JAS工場では必ず必要な項目となっている。この段階で含水率の高い材については再度次の生材の乾燥とともに乾燥している。

今回の調査でも25%を目標に乾燥した結果、全製品の18%が目標値を越えている。また実際は元口、末口の平均ではなく、高い含水率でチェックしていることと、二度挽後の含水率が上昇することも考えられ、実際には再乾燥の割合は更に高い。

## 2 結果と考察

### 2.1 乾燥前後含水率分布

乾燥前後の含水率頻度分布を図-2に示す。乾燥前の含水率は最大170%、最小35%、平均約80%と平均値の倍から平均の1/2まで4倍近い差が生じている。

乾燥後は20%を中心に15%から75%まで分布しているが、目標とする含水率25%以下の個体は全体の85%を占めている。しかし残りの15%は含水率30%から75%とかなりバラツキが生じている。

### 2.2 生材密度と水分量の配分検討と生材時での含水率の捉え方

特にスギのような高含水率材を含水率計で測定することは現在の含水率計の精度から見て問題が多

い。そこで、機械的に測定ができる重量測定からの生材密度と乾燥後の含水率との関係を求める。図-3に柱の生材密度順にその容積密度と立方当たり水分量を示す。密度により容積密度の差はなく、生材密度の差は大略的に見て水分量と見ることが出来る。これらの結果からスギ材のような高含水率材において、乾燥難易性の指標としての生材密度の検討を実施する。

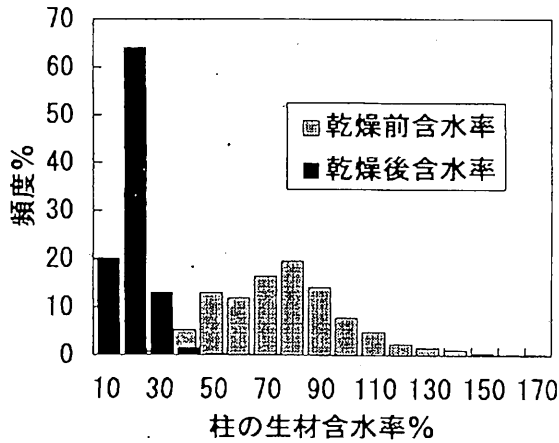


図-2 柱材乾燥前後の含水率頻度分布

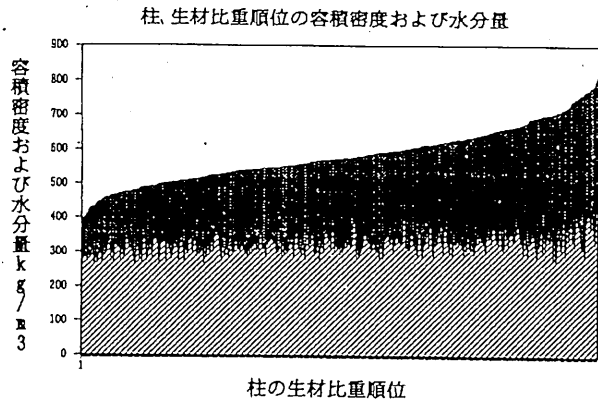


図-3 柱の生材密度順位の容積密度及び立方当たり水分量

### 2.3 柱生材密度及び心材率と柱乾燥後含水率

捉える乾燥難易性指標の因子として生材密度及び心材率を取り上げ、乾燥の難易を乾燥後の含水率とした場合を想定し、両者の関係を図-4,5に示す。両者とも相関は見られるが、密度、心材率とも高くなるにつれてばらつきが大きくなり、生材密度や心材率のみを指標として分類しても目的とする含水率の確率は低くなる。

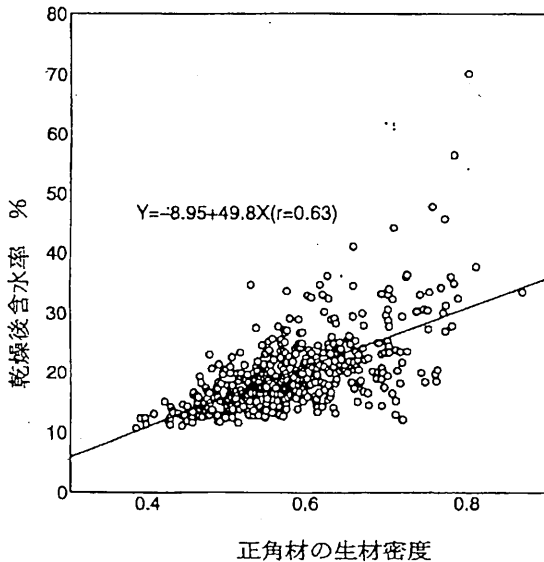


図-4 柱生材密度と柱乾燥前後含水率

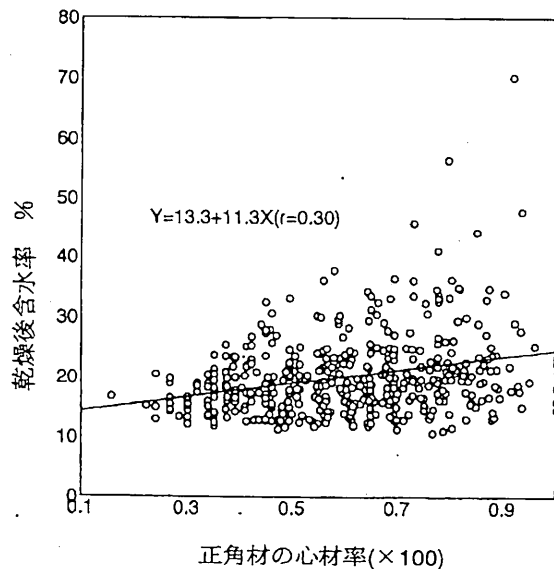


図-5 柱心材率と乾燥後含水率

### 2.4 生材密度及び心材率と乾燥水分量

生材密度及び心材率と立方当たりの乾燥水分量を図-6,7に示す。柱生材密度を心材率別に示すと、心材率の低いものほど生材密度が高くなれば乾燥水分量が多い傾向が見られるが、生材密度が0.4前後

つまり含水率が低いものは心材率による差はない。同様に心材率を生材密度別に示すと、生材密度の高いものほど心材率が低ければ乾燥水分量が低くなるが生材密度が低いもの、つまり含水率が低いものでは心材率による差はない。

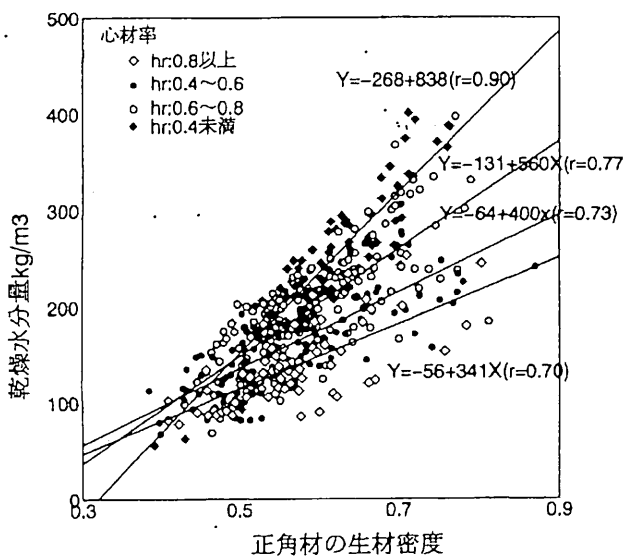


図-6 心材率別、生材密度と乾燥水分量

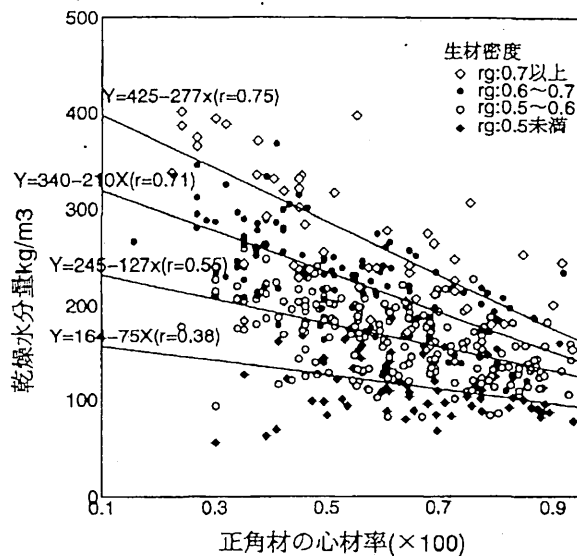


図-7 生材密度別、柱心材率と乾燥水分量

### 2.5 乾燥難易指数の求め方

図-6,7の関係を等乾燥水分分布図として図-8に示す。この傾向を図-9により概念化した。

縦線を心材部分の乾燥水分、横線を辺材部分の乾燥水分とし、生材の密度を空隙の上の枠で示すと、斜線の面との差が乾燥後の密度となる。乾燥前に求め得る乾燥の難易=乾燥後の推定含水率とし、乾燥後密度とほぼ同意とすれば、生材密度-乾燥水分量で求めることができ、図-8の空隙部分がその値となる。すなわち

$$\text{乾燥の難易} = \text{乾燥後の推定含水率} = \text{乾燥後密度} = \text{生材密度} - \text{乾燥水分量}$$

により、生材密度から心材部乾燥水分量と辺材部乾燥水分量を引くことで下式により求められる。これを乾燥難易指数K1とした。

$$K1 = rg - 0.1 \cdot hr - (rg - 0.33) \cdot (1 - hr)$$

ただし k1:乾燥難易指数 (乾燥後の推定密度)

rg:生材密度

hr:心材率

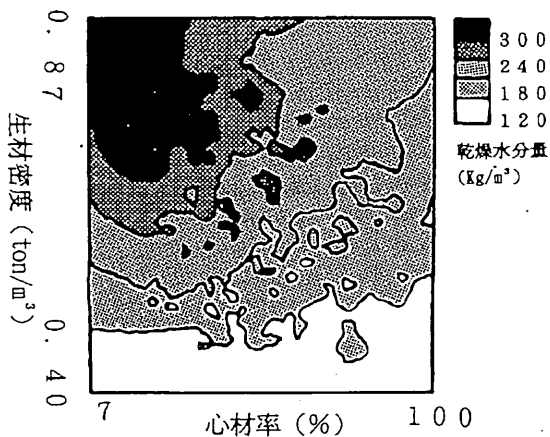


図-8 等乾燥水分分布図

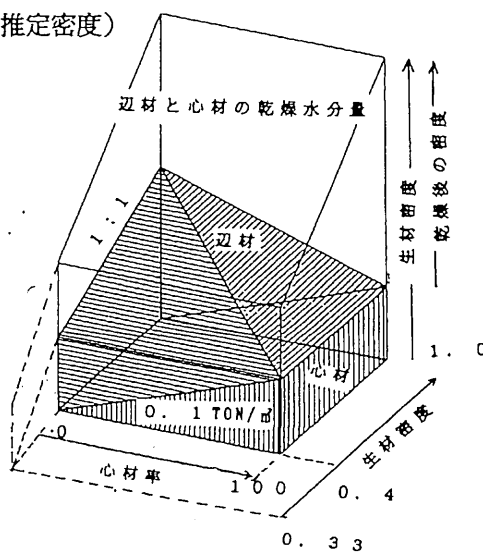


図-9 心材率生材密度と乾燥水分量の関係概念図

## 2.6 乾燥難易指数K1と柱乾燥後含水率

図-10に求めた乾燥難易指数k1と柱乾燥後含水率との関係を示す。生材密度のみを指標とした場合の相関係数は0.63で、心材率では0.30であったことからすると乾燥難易指数k1の相関0.82はかなり高くなっている。

図-11に心材率別乾燥前後含水率の関係を示す。乾燥前含水率が高い個体ほど乾燥後の含水率が高くなるが、ばらつきが多くなる。また、心材率が高い個体ほど右上がりである傾向があるが、心材率の低い個体は傾向が無い。

図-12に難易指数別乾燥前後含水率の関係を示す。難易指数の高い個体ほど乾燥前含水率に関わらず乾燥後含水率の上位にある。乾燥難易指数により乾燥後含水率が推定できればよいわけで、心材率や乾燥前含水率（⇨生材密度）よりその効果は大きい。

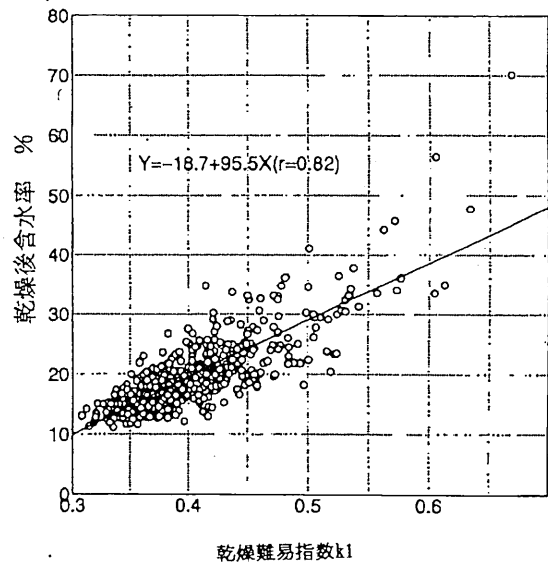


図-10 乾燥難易指数k1と柱乾燥後含水率

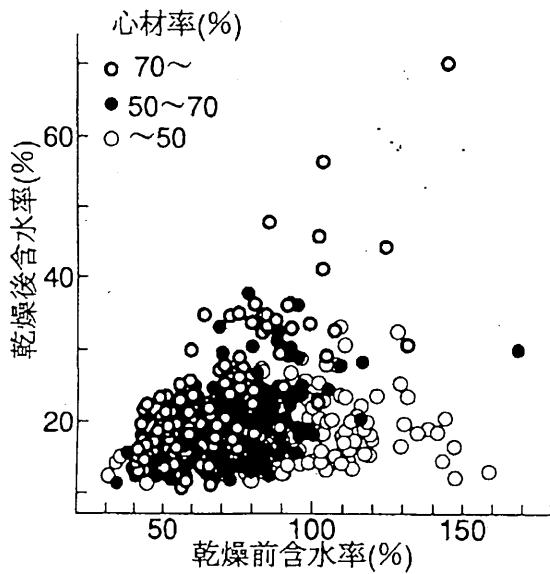


図-11 心材率別乾燥前後含水率の関係

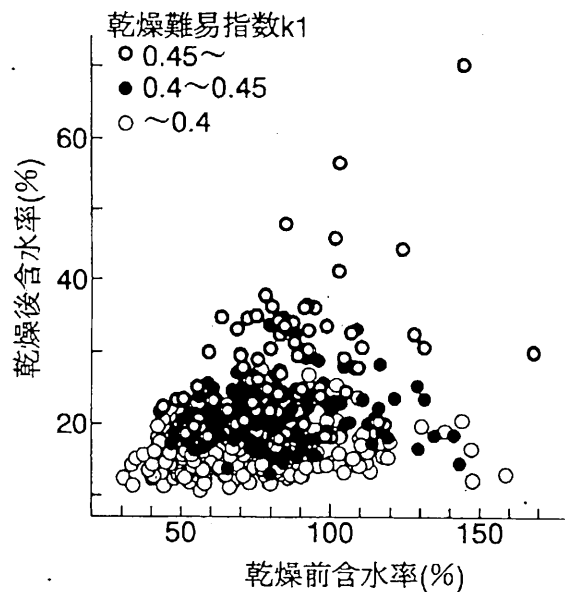


図-12 難易指数別乾燥前後含水率の関係

## 2.7 乾燥難易指数の利用

蒸気式乾燥方法で、同一タイムスケジュールで乾燥した場合、乾燥難易指数による仕上げ含水率以下の出現割合を図-13により求めることができる。本試験では25%以下の割合が85%程度であるが、この割合を95%以下としたい場合は難易指数0.45以下のものを分けて乾燥する必要がある。その時の選別割合は8割程度になる。

また、本試験の目標仕上げ含水率は25%であるが、同一タイムスケジュールの下では20%や15%であっても求めることができる。

なお、乾燥スケジュールを時間延長等で変化させた場合、乾燥難易係数と仕上げ含水率以下の出現割合の関係は変化する。スケジュール設定後は両者関係を比べて決定する必要がある。

材価に対して乾燥コストが高いスギ材乾燥の実務では、乾燥スケジュール（時間）ごとの経費と乾燥材に転嫁し得る材価を把握しておく必要がある。乾燥難易指数の利用は、材価に転嫁でき得る材のみを乾燥することができ、より合理的な経営に寄与できる。

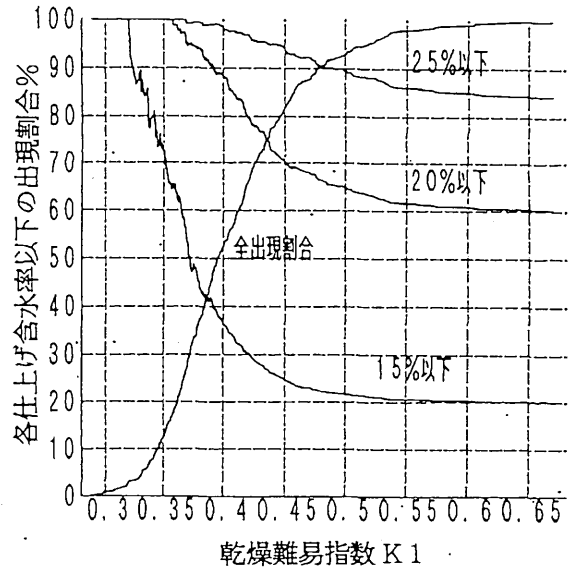


図-13 難易指数による仕上げ含水率以下の出現割合

### 2.8 原木時での選別の検討

柱製材時から更に遡って、原木時において選別することで製材後の乾燥性を高め、原木段階での付加価値を高めるための検討を行った。

末口、元口径から算出した材積による原木の生材密度と柱材として製材、乾燥後の含水率を図-14に示す。柱材生材密度の場合より相関が低い。

更にk1と同様に求めた乾燥難易指数k2との関係を図-15に示す。さらに相関は高くなっているが柱生材との関係( $r=0.63$ )とほぼ同程度まで相関を高めることができた。

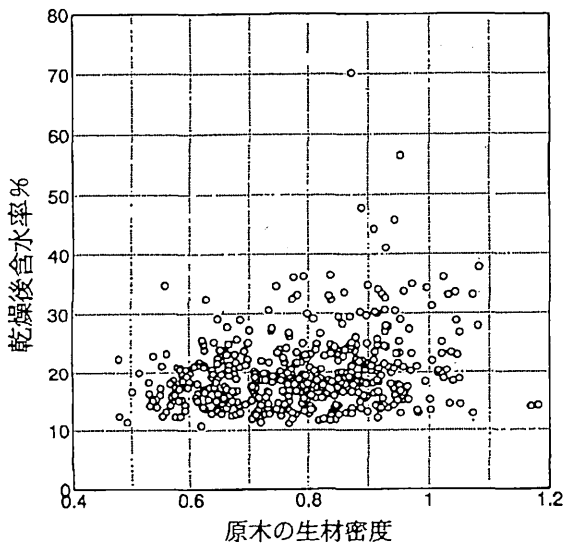


図-14 原木生材密度と柱乾燥後含水率

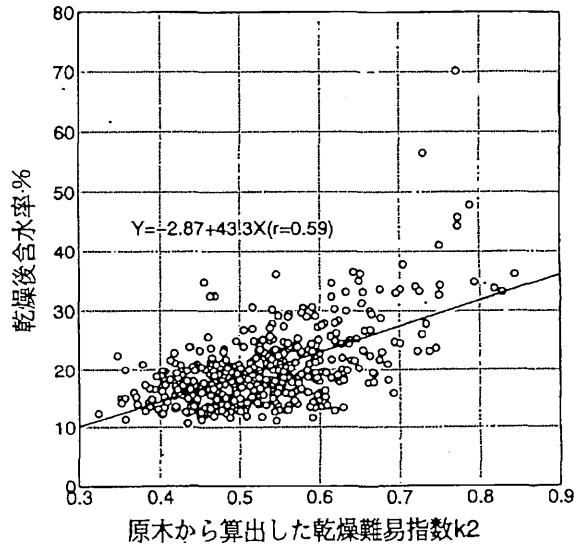


図-15 原木から算出した乾燥難易指数k2と乾燥後含水率

## 2.9 心材率自動測定の可能性

正角材の乾燥難易測定ではクロスカットした木口材面は平滑で、心材を機械的に測定することは可能である。心材の自動測定は実用面での問題点を明らかにしながら実施するべきであり、この分野は実際の機械開発とともに行うことが必要である。一事例として家庭用CCDカメラからパソコンにて処理した状況を写真に示す。

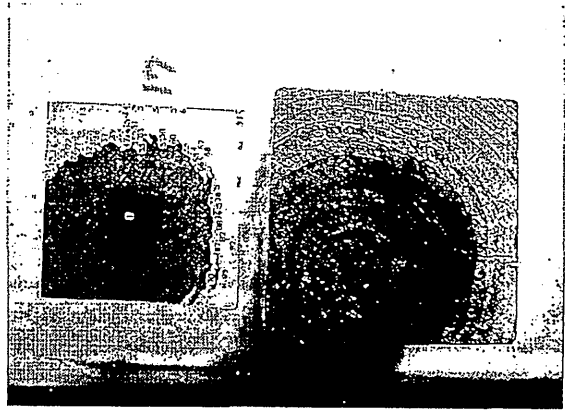


写真 CCDカメラによる心材率測定状況

## 3 ま と め

岐阜県におけるスギブランド化の方向を技術面からサポートする手段として、スギ材加工で最も問題点の多い乾燥後のばらつきについてその対策を検討した。その方法は、原木あるいは製材直後で機械により自動測定をし、乾燥の難易性を予測することで乾燥前に予め選別する方法であり、より効率的な乾燥方法へ分ける可能性についても検討を行った。その結果、以下にまとめることができる。

- 1 正角材の生材密度と乾燥後含水率との関係は相関があるが、更に心材率を測定し難易乾燥指数とすることで相関を高めることができる。
- 2 乾燥難易指数に対する仕上げ含水率以下の出現割合をグラフにすることで当選別システムにより採算性の検討の資料となり得るとともに運用時の選別基準の根拠となり得る。  
具体例として、本試験では含水率25%以下の割合が85%程度であるが、この割合を95%以下としたい場合は難易指数0.45以下のものを分けて乾燥する必要がある。その時の選別割合は8割程度になる。  
また、同一タイムスケジュールの下では仕上げ含水率が20%や15%であっても求めることができる。
- 3 原木時に元口径、末口径、心材径、重量からの生材密度から同様に乾燥難易指数 $k_2$ を求めることもできるがその相関は正角材に比べ低い。
- 4 原木の選別は現在ある原木の径級選別機に組み入れることで可能となるが、心材率の計測自動化に問題点を残す。
- 5 選別を現実化する方法として、正角材の測定では製材のライン上に計量器と両木口の心材を測定する画像装置を設置することで可能となる。この分野は実際の機械開発とともに行う必要がある。
- 6 材価に対して乾燥コストが高いスギ材乾燥の実務では、各乾燥スケジュール（時間）ごとの経費と乾燥材に転嫁できる価格を把握しておく必要がある。その上で乾燥難易指数を利用すれば、材価に転嫁でき得る材のみを乾燥することができ、木材乾燥業務の経営合理化の手段ともなり得る。
- 7 難乾燥材として選別された材は天然乾燥を併用し採算可能な乾燥方法への移行を行うか、生材での出荷を実施するなど工場毎に対応する必要がある。
- 8 材重量を乾燥難易指数の一因子としてとらえているため、葉枯し材の葉枯し効果を乾燥難易材の割合増加ということで反映し得る。