

## 乾燥材の生産性向上を目指したその他の技術

木材を乾燥すると、商品として扱えないものもわずかながら発生します。この量を減らすことができると、歩留まりや収益の向上に繋がります。

本プロジェクトでは、乾燥材の生産性向上に寄与すると思われる技術について検討しましたので、その成果を紹介します。

# (1) 木口面硬さによる丸太の密度推定法

乾燥材の仕上がり含水率を揃えるため、乾燥前の重量によって含水率の高い材とそうでない材とを分ける「重量選別」が行われています。しかし、木材の密度が異なると同じ重さの丸太でも含水率が違ってしまいますので、重量選別の精度を上げるためには乾燥前の丸太の密度を推定する方法が必要です。

ここでは、密度の推定法と得られた密度から乾燥前含水率を算出する手順を紹介します。

## 測定原理

今回開発した丸太密度の推定法は、丸太の木口に鋼球を押し当て、その反力で密度を推定するもので（図1）、木材の密度と木口面の硬さとの間に高い相関があることを利用しています（図2）。実際に反力測定装置を試作し、鋼球が受けた反力と軟X線による密度測定結果を比較すると高い相関が認められました（図3）。この方法で得られる丸太密度の推定値と重量の結果とを合わせれば、これまでの重量選別より高い精度で選別できると期待できます。

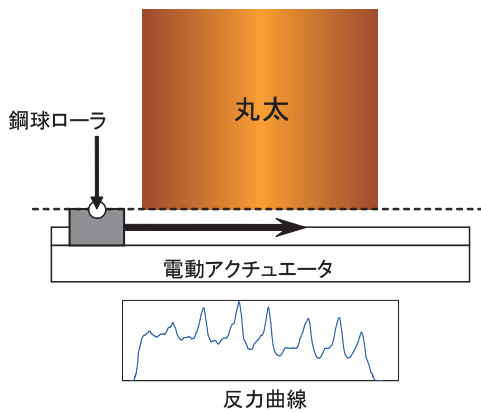


図1 連続木口面反力測定法の概略  
矢印はローラ移動方向

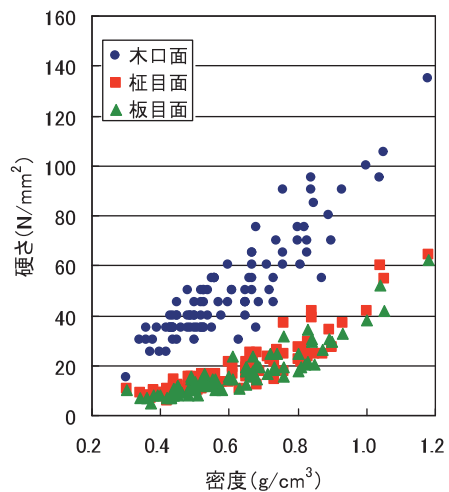


図2 密度と硬さとの関係  
(参考図書<sup>5-1)</sup> のデータより作成)

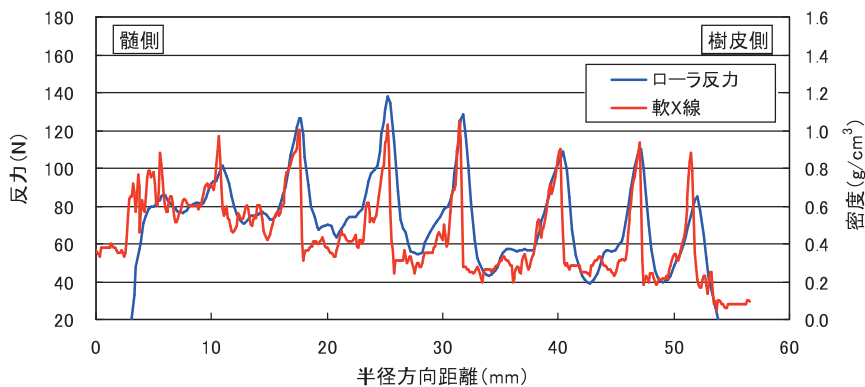


図3 反力曲線と木材の密度曲線との比較

● 丸太含水率の推定と乾燥前含水率の算出 ●

- ①直線運動する電動アクチュエータ  
 (図1)のスライダにセットした鋼球ローラ(写真)が、平滑な丸太木口面に一定深さめり込み、かつアクチュエータを動かした際にローラが髓を通るようにセットします。
- ②木口面の端から端をカバーするようにローラを移動させ連続した反力曲線を得ます。
- ③連続した反力曲線の反力の総和を測定距離で除して、平均反力を求めます。
- ④平均反力と気乾密度との高い相関関係(図5)から、丸太の気乾密度を推定します。
- ⑤丸太重量と気乾密度から算出される気乾状態の丸太重量から、丸太含水率を算出します。

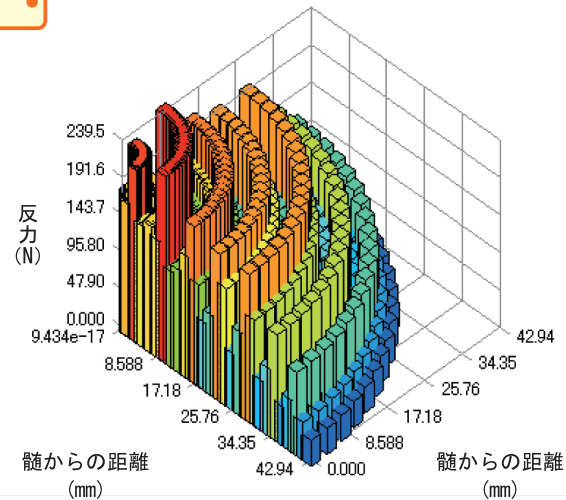


図4 木口面反力(密度)分布のイメージ

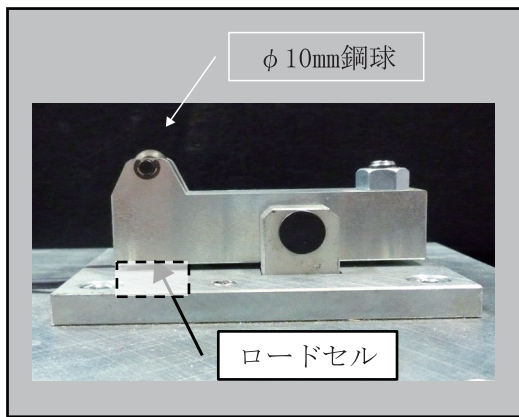


写真 考案したロードセル支持のローラ部

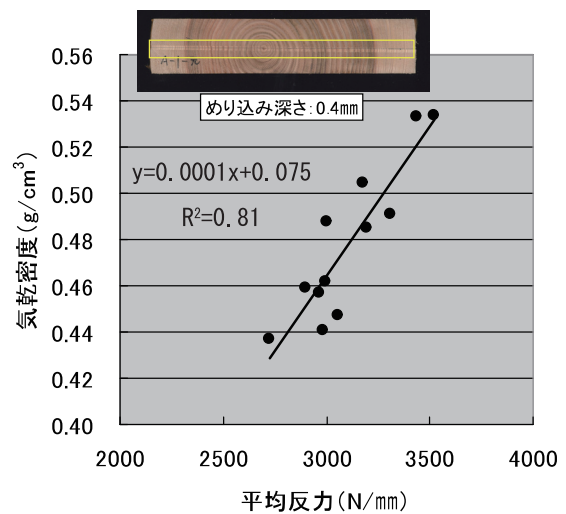


図5 考案した測定法による硬さと密度との関係  
 ・気乾密度は写真の黄色枠内の値  
 ・平均反力=測定間の反力の総和/測定距離

● ポイント解説 ●

この測定法の精度は木口面の平滑度と含水率に大きく左右されます。平滑度は、丸太の木口を“丸のこ”でカットした材面の平滑さであれば十分です。木材の硬さは、繊維飽和点以上では含水率の影響を受けがたいことが知られています。製材前の新しい丸太の木口面の含水率は繊維飽和点以上の場合が多いので、ここで示した手法は、丸太の密度および含水率の推定精度向上に有効であることがわかります。

## (2) 天然乾燥中の木材の含水率を推定する数値シミュレーション

天然乾燥中の含水率を調べるためには、重量や専用の測定器で計測する必要があります。この測定を生産現場で実施すると、手間がかかったり、作業が重労働になったりする問題があります。そこで、天然乾燥中の含水率を推定する方法として提案されている微分方程式<sup>5-2)</sup>を用いて、高温セット後に行う天然乾燥中の含水率を推定できる方法を開発しました。

### • 予測に必要な3つのパラメータ •

予測に必要なのは、①拡散係数（定数）、②天然乾燥開始時の含水率（初期条件、高温セット直後）、③天然乾燥終了時における表層部含水率（境界条件、平衡含水率）です。拡散係数は平均的な含水率経過を示す製材について、最も適合度の高い値を用います。富山県で行ったスギ心持ち135mm正角の拡散係数を実験により求めた結果、夏季は0.00027、冬季は0.00012でした。なお、ここで取り上げたパラメータの数値は、富山県で行ったデータを基に算出しており、地域特性を考慮する必要があります。

### • シミュレーションの手順 •

- ①横断面の平均含水率と含水率分布の関係を実験によりあらかじめ求めておきます（図1の式1～4）。
- ②天然乾燥開始時（高温セット処理直後）の横断面平均含水率を式に代入すると、図2のような横断面の含水率分布が得られます。
- ③仕上がり（乾燥終了）時の表層の平衡含水率を、表の天然乾燥場所の環境条件から設定します。
- ④シミュレーションにより方程式を解きます。
- ⑤天然乾燥に必要な日数が得られます。

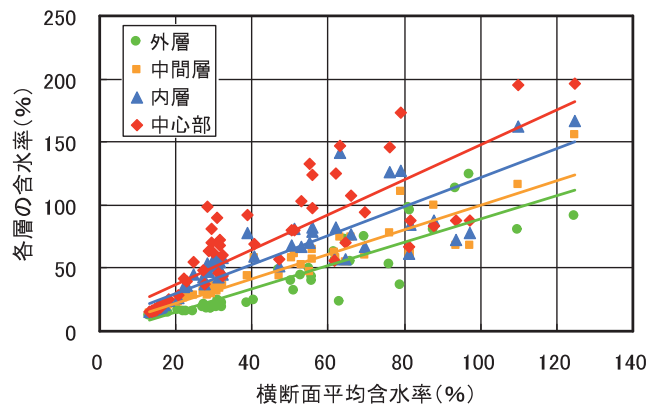


図1 平均含水率と各層の含水率との関係式  
(富山県産スギ・高温セット24時間処理の例)

外層 (第1層)  $y=0.934x-4.100$  ( $R^2=0.831$ )・・・式1  
 中間層 (第2層)  $y=0.974x+2.992$  ( $R^2=0.885$ )・・・式2  
 内層 (第3層)  $y=1.147x+7.044$  ( $R^2=0.885$ )・・・式3  
 中心部 (第4層)  $y=1.388x+8.937$  ( $R^2=0.697$ )・・・式4  
 ここで、 $x$ =平均含水率、 $y$ =各層の含水率

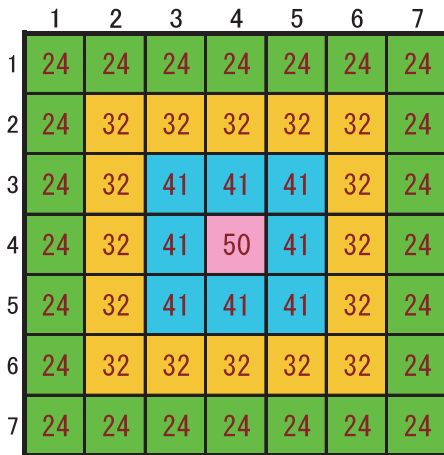


図2 モデル化した横断面含水率分布

- : 外層 (第1層)
- : 中間層 (第2層)
- : 内層 (第3層)
- : 中心部 (第4層)

● 数値シミュレーションの結果 ●

夏季の天然乾燥における重量法と数値シミュレーションの関係を図3に示します。重量法と数値シミュレーションの結果はほぼ一致していました。

初期含水率（天然乾燥開始時）および含水率分布が同一の製材について、季節別の天然乾燥中の含水率経過（数値シミュレーション）例を図4に示します。たとえば、初期含水率30%の製材（図2）が天然乾燥によって20%に達するには、夏季が約1.5ヶ月、冬季が約6ヶ月必要であると計算されました。

ここで示した数値シミュレーションを活用することにより、天然乾燥の必要日数や天然乾燥中の含水率の推移を把握することができます。

表 数値シミュレーションに用いた環境条件

	気温 (°C)	湿度 (%)	平衡含水率 (%)
夏季 (6~10月)	25.5	63.8	12.7
冬季 (12~5月)	9.4	70.4	16.7
	18.4~31.6	41.5~81.1	6.9~18.2
	1.6~23.4	44.4~87.8	8.7~25.0

・ 上段が平均値、下段が最小値~最大値

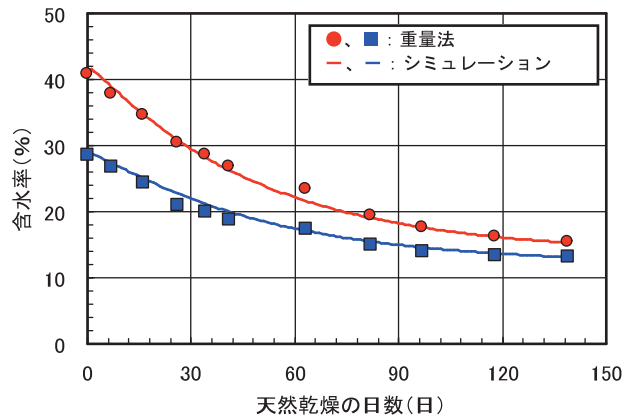


図3 数値シミュレーションの適合性（富山県）

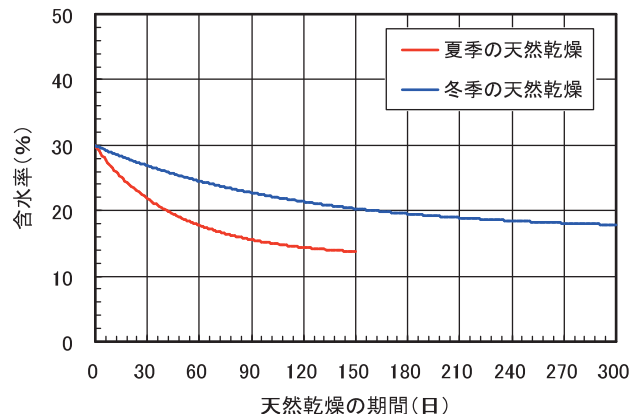


図4 季節の違いによる含水率の経過例（富山県）

5. 乾燥材の生産性向上を目指したその他の技術

**(3) 加圧過熱蒸気を用いた内部割れを低減するための熱処理法**

**● 心持ち材を加圧過熱蒸気処理によって材面および内部割れともに少なく乾かす方法 ●**

通常の蒸気式乾燥機では、温度が100℃を超えると、制御できる湿度の上限が100%から徐々に低くなるので、温度を上げれば乾燥が速くなる反面、割れやすくなります。圧力容器内で加圧蒸気によって乾燥する「過熱蒸気乾燥機」は、100℃より高くても湿度を100%まで制御できるので、高温・高湿条件で熱処理できます。ただし、高温・高湿条件であまりに長時間処理すると木材が変色し強度も低下するので、蒸気式乾燥や天然乾燥など、ほかの乾燥法の割れ防止のための前処理としての利用が有効です。

以下に、過熱蒸気のみで乾燥した場合と、過熱蒸気処理を前処理として高周波加熱減圧乾燥試験を行った結果を示します。

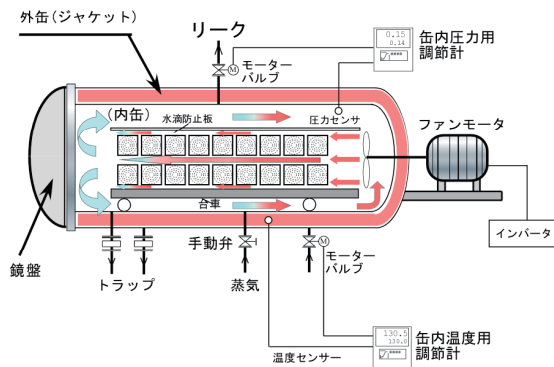


図1 装置の概略図



写真 乾燥方法による材色の違い  
- 過熱蒸気のみでは暗色化が進む -

表1 乾燥試験の結果

試験方法	前処理		乾燥方法			結果 <sup>*2)</sup>		
	蒸煮	前処理条件	乾燥方式	条件	時間	材面割れ	内部割れ	色差 $\Delta E^*_{ab}$
過熱蒸気処理 ↓ RFV <sup>*1)</sup>	100℃ 6h	・温度 115℃ ・相対湿度 100→65% ・処理時間 12h	RFV <sup>*1)</sup>	・圧力 20kPa ・投入エネルギー 5kW/m <sup>3</sup>	94h	15 cm/m	0	5.8
過熱蒸気乾燥	130℃ 6h	—	過熱蒸気	・温度 130℃ ・相対湿度 100→60%	66h	0	0	15.8

\*1) RFV 高周波加熱減圧乾燥  
\*2) 材面割れ 材1mあたりに生じた材面割れの長さ合計  
 $\Delta E^*_{ab}$  L\*a\*b\*表色系による色の違いを示す指標  
ここでは、天然乾燥材との色の違い

**● ポイント解説 ●**

- 130℃の過熱蒸気のみで乾かすとスギ心持ち正角が約3日で材面および内部割れが非常に少なく仕上がりますが、材色が暗くなり強度が低下するので用途が限られます。
- 前処理として使えば、変色、材面割れ・内部割れともに少なく乾かせます。
- 高周波乾燥のほか、蒸気式乾燥、天然乾燥の前処理としても使えます。

● 高温・高圧蒸気処理の効果 ●

たとえば、製材と乾燥前に工場内で積み上げたまま長時間待機した場合、表面含水率が下がり（図2）、乾燥によって割れやすくなります（表2）。

過熱蒸気処理は、最初に装置内空気を水蒸気で置換するため蒸煮処理を数時間行いますが、この蒸煮処理には木材の表面が乾いている場合には水分を補給する効果（図3）があり、また十分に温度が高ければ接線方向成長応力が解放されて、背割りを入れた心持ち材なら背割り幅が狭くなり（図4）、背割りのない心持ち材の場合には表面に圧縮応力が生じる効果があります。たとえば、高温セット処理をする直前に製材の表面に十分な水があり、かつ圧縮応力があれば、表面が割れにくくなると期待できます。

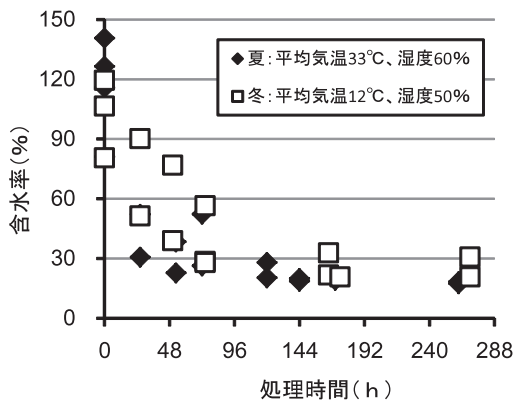


図2 屋内静置材の表面含水率の変化

表2 表面含水率の異なる製材の乾燥による割れ<sup>\*)</sup>

乾燥開始時の表面含水率の状態	初期含水率	乾燥終了時含水率	乾燥後の材面割れ cm/m
低い (屋内静置)	141	→ 18	25
	65	→ 12	62
	32	→ 9	10
高い (製材直後)	187	→ 20	5
	82	→ 17	15
	25	→ 8	0

\*) スギ正角、上下段はエンドマッチした試験材

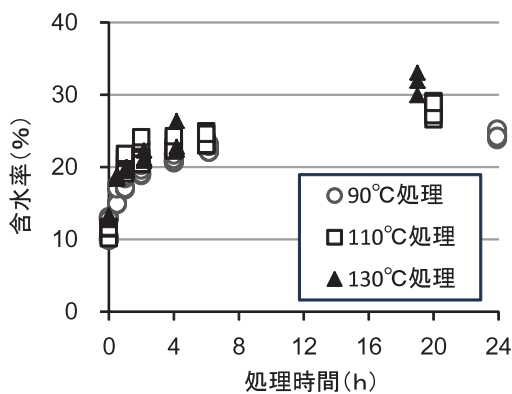


図3 蒸煮処理による含水率変化

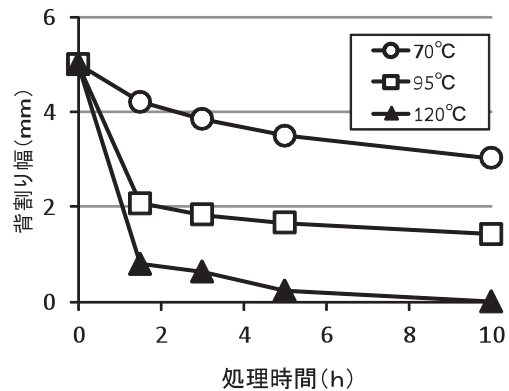


図4 蒸煮による背割り幅の変化

● ポイント解説 ●

- 表面が乾燥しすぎて、乾燥開始時に割れていると蒸煮の効果はあまりないので、乾燥前に割れないように保管することが第一です。
- 温度が高いほど短時間で効果が得られますが、温度が高すぎると変色しやすくなります。
- 蒸煮処理のためだけに過熱蒸気処理装置を導入するのではコストが高くなりますので、割れ防止の熱処理装置としての導入が有効です。

