論文

携帯式高周波水分計の設定密度と検量線換算による 構造材の含水率管理法¹

富田守泰・土肥基生

Setting density value and conversion using the calibration curve for quality control in the structural lumber moisture content measurement by the ratio-frequency type¹

Moriyasu Tomita, Motoo Dohi

携帯式高周波水分計による含水率測定値(以下、計値)は測定する材料それぞれの全乾密度(以下密度という)のばらつきには対応できず、全乾法含水率との差を生む一因になっている。富田・土肥(2018c)(以下前報)は板材を用いて、下限密度材の計値が基準値内に収まれば大半(下限密度以上)の測定材が全乾法で基準値以下になることを確認し、密度の下限値で設定して測定した計値を、さらに全乾法含水率と計値の回帰係数を利用して換算した値は、基準値を読み替えるという現行の手法によることなく、判定できる計測法として期待できるとされた。

本稿では密度の下限値で設定して測定した計値を構造材に適用すべく実施した。現行の構造用製材の人工乾燥材の含水率測定時における値の読み替え事例を密度に関する因子で分析し、その問題点と解決策を挙げた。根本的な解決策として、前報による密度設定値を10%下限値とする手法を提案した。構造材の場合、含水率傾斜が及ぼす影響が強いと想定されるが、検量線換算にて対応することで構造材にも応用でき、さらには格付け率向上に有効であることを明らかにした。

キーワード: スギ,ヒノキ, 構造材, 読み替え, 密度の下限値, 携帯式高周波水分計, 含水率管理, 格付け

I はじめに

日本農林規格(以下, JAS)において, 針葉樹製材 の含水率は品目別(造作用製材,構造用製材,下地用製 材), 仕上げ別(未仕上げD, 仕上げSD)に15, 18, 20,25%の各値が基準値に設定されている(農林水産省 2013)。これらの格付けの手法としてサンプル試験片を 用いた全乾法により合否を判定するとしている。その一 方で乾燥材品質管理のために水分計の利用を推奨して いる((社)全国木材検査・研究協会(以下,全木検) 2011)。これを受けて(公財)日本住宅・木材技術センター (以下,住木センター)は,携帯型(高周波とそれ以外) と設置型に分けて水分計の認証を実施している(住木セ ンター 2015)。 JASでは、認証された水分計であって もその値をそのまま用いるのではなく、いくつかの留意 点を示している(全木検 2011)。それを列記すると,① 密度,温度による水分計の補正を適切にする ②携帯水 分計では厚い材の誤差に注意する ③含水率傾斜に対す る補正を行う ④全乾重量法との誤差を常に補正する等 である(以下水分計測定の4留意点という)。

JAS の含水率の格付は製品の全乾法含水率が基準値以下であるとされている。日常の品質管理に水分計の使用を認めているが、設定密度を平均的な密度とした場合で

あっても, 測定材の密度が設定密度より低ければ, 計値 は全乾法含水率より低い含水率を示すため、本来は不合 格とすべき材を合格させる可能性がある。このような密 度に関する誤差やその他予期せぬ誤差があっても安全 側に導くことが必要とされる。そこで、JAS 製品の乾燥 管理では, 乾燥 JAS工場の認定時には, 任意に選択し た10個体の試験材から最大誤差を把握し、全乾法含水 率に対し計値が低い場合は、含水率基準を差の分低く読 み替えるとしている(全木検 2013)。つまり水分計の測 定方法(4留意点の①~③)には手を加えず,運用の読 み替えで4留意点の④に加え、予期せぬ誤差を一度に解 決している。しかし、認定時に限定された10個体のサ ンプルや、その後の格付け検査による5個体からの両端 10個体のサンプルによって基準値を読み替えすること で、その差が過大であれば、以後の乾燥業務で過乾燥な どの影響を及ぼすことになる。そこで、最大誤差が異常 の場合、最大誤差を除外するなどとしているが、異常時 の判断基準は明記されていない。

一方. 国内の水分計メーカーは、設定密度の問題を考慮して補正をする機能を備えているものもあるが、その方法も複数あり、適正な(説明根拠のある)補正でなければ JAS の認定は得られないとされており(全木検

¹本研究の一部は、第68回日本木材学会大会で発表した。

2011), 実際は使用されていないのが現状である。そこで, 筆者らは A, B 社製携帯式高周波水分計を用いてヒノキ, スギ板材測定時において, 密度下限値設定と補正(以後, 検量線による換算とする)による利用方法を提案した(富田 2016; 富田・土肥 2018a; 2018c)。

本研究は、JAS 工場の格付け時の読み替え手法の実態を把握し、板材で用いた下限設定密度の考えを反映させ、②の厚い材の誤差と③の含水率傾斜に対する補正、④全乾重量法との誤差の補正を考慮した検量線換算による構造材への応用を目的とした

Ⅱ 方法

1. JAS 工場における読み替え手法の実態調査

岐阜県木材協同組合連合会が実施した,第三者機関によるスギ,ヒノキ構造材のJAS認定工場(Bタイプ)5社の,格付け検査時の測定値(品質管理資料)を使用した。使用した樹種は県内産スギ及びヒノキの構造用正角の仕上げ材で,全乾法含水率と計値の関係を検査抽出材として5本を選択し,樹種別,工場別に取りまとめた(表-1)。測定は格付け検査に基づき,構造材1本につき両木口から30cm以上離れた箇所の表裏の平均値を計値とし,同箇所から全乾法の試験片を採取した。計値と全乾法含水率の比較対象は10体である。

一部の対象材(ヒノキ)については、全乾法測定用試験体の寸法を測定し、気乾時体積として次項1式により密度を算出した。

なおこれらの工場の認定時にあたっては,(社)全国 木材検査・研究協会(2013)の管理基準に基づき,抽出 材10本それぞれについて6か所の計値の平均値と3か 所の全乾法の平均値を求め,平均計値から平均全乾法含 水率を減じたマイナス側の最低値を読み替え数値として 扱っている。

2. 設定密度と検量線を考慮した測定手法の検討及び 読み替え法との比較

2.1 試験材

スギ 49 本 (120 mm× 120 mm, 材長 3m), ヒノキ 30 本 (120 mm× 120 mm, 材長 3m, ヒノキのみ 15 本 を末元に分け材長 1.5m を使用した)を対象とし,スギ は D20,SD20 を目標とし,ヒノキは D15,SD15 を目標としてドライングセット (120 $^{\circ}$ C 30 $^{\circ}$ C差)を含む中温乾燥 (90 $^{\circ}$ C 30 $^{\circ}$ C差)で実施した。各材の両端 30cm 以上内側 から全乾法試験片を採取し、含水率の平均値を中央部の試験材気乾含水率とし、中央部の試験材重量から試験材 全乾重量を算出して、各測定重量から全乾法含水率を求めた。

2.2 密度の算出

水分計メーカーが水分計に設定する推奨密度は,農林 省林業試験場木材部編(1975)に準じて樹種毎の平均気 乾密度を決定し,1式(信田ら 1990)により算出した値 (株式会社ケット科学研究所 2016;マイクロメジャー 株式会社 2015) を用いている。そこで、本報告では両端の全乾法試片の平均含水率をuとし、中央部の重量と体積から算出した気乾密度をruとして、密度(r0)を同じ1式により角材個々に算出した。

$$r0 = \frac{100 \cdot ru}{100 + u(1 - 0.84 \cdot ru)}$$
 1式

r 0:密度 (g/ cm³) u含水率 (%)

r u: 気乾密度 (g/ cm²)

2.3 高周波水分計による各種密度設定測定と換算

D材は乾燥翌日、SD材は仕上げ鉋直後に重量測定をして、4面同位置付近を水分計で測定した。用いた水分計は数値で密度を設定できるA社製およびB社製の住木センター認定機種である。測定深さは40mm、温度補正は自動として設定した。測定時の設定密度を、次の3種類として測定した。①A社製はヒノキ、スギで示された独自の設定ダイヤルにより設定して測定した。B社製はヒノキ、スギの樹種密度として同社の推奨密度である0.42、0.35 g/c㎡をそれぞれ設定して測定した。②両社製とも密度の測定結果により下限値を求め、ヒノキ、スギをそれぞれ0.40、0.33 g/c㎡に設定して測定した(表-5)。③個々の密度が2.2により既知であるため、その密度を設定ダイヤルで設定して測定した(以下各密度設定計値とする)。

換算係数の算出根拠は前報の3,4,5式に基づき2,3 式による。

$$a = \frac{1}{a'}, \qquad 2$$

$$b = \frac{-b'}{a'} \qquad 3$$

a'b' 全乾法含水率と各密度設定計値の回帰直線 y=a'x+b'による

下限密度設定計値をXとし、上式により求めた係数 ab から換算式 Y=X+b によりYに換算し、全乾法含水率 と換算値との関係を求めた。

2.4 読み替え方式による格付け率の算出

品質管理現場では品質の確保である本来の目的に対し、規格による手法でどれだけ達成されたかが求められる。その効率性を図る尺度として、本来の目的である全乾法によって基準値以下材となった個体から、JASの規格によって格付けした個体数を求め、その比率を格付け率と定義した。

そこで、試験を JAS 製品の品質管理現場に見立てて、現行の読み替え方式による読み替え値を求め、その値による格付け率を算出した。提案手法との比較のため、数値は現行の 5% 単位ではなく、計算値とした。

10本のサンプルの読み替え値について考察を加えた後、計値から全乾法含水率を減じたマイナス側の10本中最も低い値を通常規定とし、低い値から2番目を除外規定として読み替え値を決定した。

2.5 下限密度設定と換算による格付け率の算出

全乾法による基準値以下材の個体から,下限密度設定 と換算により算出された計値が基準値以下として格付さ れた個体数を求め,その比率を格付け率として求めた。

Ⅲ 結果と考察

1. JAS 工場における読み替え手法の実態調査結果

1.1 読み替え値の現状と全乾法含水率と計値の関係

表-1に読み替え値を示した。全体的にはヒノキは読み替えが少なく、スギは多い傾向を示している。別途試験材による次項の表-5によれば、ヒノキの平均密度は0.42となったが水分計の推奨値は0.37~0.42で平均0.39とすると0.03程度低く、同じく、スギの場合は0.36に対し0.34~0.35と平均0.345とすると0.015程度の低さである。設定値が実際の材料密度と同じで、ほかの因子を考慮しないならばサンプルの半分はマイナス側の値を生じ、検査の大半で読み替えを生じると考えられるが、ヒノキは設定値が実際の材料密度より低く、そのギャップが読み替えを少なくしていると推察される。

ヒノキ構造材で最も多く検査した D 工場での全乾法含水率と計値の関係を図-1 に示した。検査時期別,ロット別に決定係数の最大,最小のロットについては測定点と回帰直線を示し、それ以外は回帰直線のみで、凡例順に回帰直線と決定係数を左に示した。回帰直線の傾きは、検査時期やロットにより0.49~1.70と幅広く異なり、平均すれば0.96になった。さらに計値が全乾法含水率より低い個体はロット単位(2018/4)で存在し、読み替え数値の変動が大きい。決定係数については高いロット(2018/4 0.97)や低いロット(2018/2 0.27)が存在し、平均では0.66であった。

スギはロット数が少ないのでAとE工場まとめて,ヒノキと同様に図-2に示す。スギの回帰直線の傾きは1.06から0.1と小さく,平均して0.48になった。また,すべてのロットで計値が全乾法含水率より低くなる個体(図-2の読み替え値がY=X線よりさらに下に位置する)が存在し,読み替え数値は大きくなっている。決定係数についてはヒノキと同様,高いロット(2018/2 0.94)や低いロット(2018/4, 2018/9 0.05)が存在し,平均では0.51であった。

1.2 ロット間の差の有無

読み替え手法は、申請時にサンプル 10 体中、計値から全 乾法含水率を減じたマイナス側最低値を読み替え値とし、次回以降のロット(1 回に生産する特定数の製品の単位)で適用することであり、このことは次回以降も統計上同一母集団の想定から成り立っている。そこでロット間(検査対象 5 体中 10 試験体)の差の有無を、統計上サンプルが目的とする(同一の)母集団であるか否かとして判断することにした。各サンプル間で母集団の分散の差をF検定にて確認した後、平均値の差の有無を t 検定 (F検定で分散に差がある場合 Welch 検定)により求めた(表-2、3)。その結果 5% 以上両側有意差のある組み合わせの比率

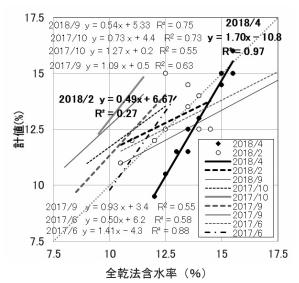


図-1 D工場のヒノキ全乾法含水率と計値

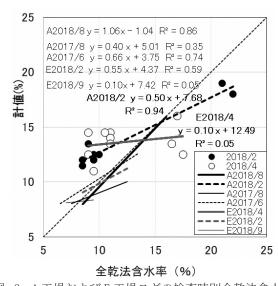


図 -2 A 工場および E 工場スギの検査時別全乾法含水率 と計値

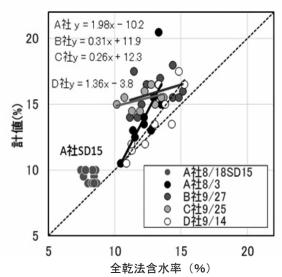


図-3 工場別ヒノキ全乾法含水率と計値

表-1 樹種別工場別品目別含水率読替値の一覧

樹種	工場	検査年月	品目	区分	* 水分計	決定読替値 (なしは0) (%)	除外規定 **適用前 (同)(%)	密度測定
		2017/6	機械等級	SD15	Α			
		2017/8	機械等級	SD15	Α			
	Α	2018/4	機械等級	SD20	Α	-1	-1	
		2018/8	機械等級	SD20	Α			
		2018/8	機械等級	SD15	Α			0
	В	2018/9	人工乾燥	SD20	В			0
	С	2018/9	人工乾燥	SD20	Α			
		2018/9	機械等級	SD20	М			0
		2017/6	機械等級	SD20	Α			
ヒノキ		2017/6	人工乾燥	SD20	Α	-1	-4	
		2017/9	機械等級	SD20	Α			
	D	2017/9	人工乾燥	SD20	Α			
		2017/10	機械等級	SD20	Α			
		2017/10	人工乾燥	SD20	Α			
		2018/2	機械等級	SD20	Α	-2	-2	
		2018/4	人工乾燥	SD20	Α	-2	-2.5	
		2018/9	機械等級	SD20	Α	-0.5	-0.5	
	Е	2017/6	人工乾燥	SD20	В	-5	-5	
		2017/8	人工乾燥	SD20	В	-1.5	-1.5	
			人工乾燥	SD20	В			
	A		機械等級	SD15	Α	-1.5	-1.5	
		2017/8	機械等級	SD15	Α	-2	-3.5	
		2018/2	機械等級	SD15	Α	-2	-4	
スギ			機械等級	SD15	Α		-2	
		2018/2	人工乾燥	SD20	В	-1.5	-1.5	
	Е	2018/4	人工乾燥	SD20	В	-3	-5	
		2018/9	人工乾燥	SD20	В	-1	-1	

^{*} A. Bは高周波式、Mはマイクロ波式

表 -2 D工場ヒノキの計値と含水率算出値検査時別 母平均の差の検定

計值-全乾法含水率 2018/4 2017/6 2018/2 2017/6 2018/9 2017/10 2017/9 2017/9 2017/10 2018/4 1.42 2.30 3.93* 3.53 6.26* 5.45 8.45 10.66 2.90** 2.80** 4.97** 1.36 2017/6 0.00 0.54 1 58 2018/2 0.00 0.86 1 18 2.72** 2.56** 5.11** 6.61** 2.33* 8.49** 2017/6 0.00 0.59 5.81** 3.64** 4.96** 1.15 2018/9 0.00 1.20 3.89** 2017/10 0.28 6.55** 0.00 2.87** 2017/9 有意差のある組み合わせ比率 0.00 4.50** 25/36=69% 0.00 2017/10 0.00

値:検定統計T値 * 5%有意差 **1%有意差 Weltch検定 その他t検定

表 -3 A,E 工場スギの計値と含水率算出値の検査時 別母平均の差の検定

計但-全乳法含水率								
	A2017/8	E2018/2	A2018/8	A2017/6	E2018/4	A2018/2		
A2017/8		0.70	0.70	2.02	1.91	2.50*		
E2018/2			0.14	1.82	1.70	2.32		
A2018/8				1.44	1.58	2.14		
A2017/6					0.83	1.24		
E2018/4	18/4 有意差のある組み合わせ比率 0.20							
A2018/2 1/15=7%								
_値:検定統計T値 <u>*</u> 5%有意差 **1%有意差								
	Weltch検定 その他t検定							

は、ヒノキは7割、スギは一組のみで1割以下であった。 読み替え数値を算出しても次のロットは同一母集団であ る可能性はヒノキでは3割に、スギは9割になった。

1.3 全乾法含水率と計値の密度との関係

密度が測定できた4工場5回分のヒノキ検査結果を図 -3~5に示した。先ず工場別に全乾法含水率と計値と の関係を図-3に示した。A工場のSD15とした左下の値 を除き、各工場を回帰直線で示すと図-1と同様に、工 場間でばらつきが大きい。そこで図-4に密度と、計値 から全乾法含水率を引いた値の関係を示した。図-4の Y 軸は図-3の Y=X を軸として軸から各ポイントまでの Y 座標の差を表す。各ロットの範囲を楕円で示すと,全体 の傾向は左下がりを呈し、密度の低下が全乾法含水率に 対してわずかに計値の低下傾向を示している。図-5に 4工場5回分の検査結果を密度別に示した。一部を除き 全体では密度の上昇とともに傾斜が大きくなっている。 このように全工場を通して密度でグループ分けすると, 工場やロットが異なるにも関わらず、次項の試験結果と 同等、密度に応じた傾斜の分布を示した。×印で次項の 試験結果を併記したが、試験材は密度の低下が回帰直線 の傾斜の低下 $(1.17 \rightarrow 1.13)$ に表れているようである。

図-4のY軸にあたる計値から全乾法含水率を引いた値及びX軸の密度の分布について、工場間の平均値をt検定した結果を表-4に示した。その結果、Y軸(計値-全乾法含水率)の値の平均は、平均の近い2工場間(AとD、BとC)ではその差は生じていないが、その他の工場とでは差が生じた(1%以下で有意差有)。X軸(密度)は、工場間に変化(AとB、CとD)があったが、有意差のある組み合わせ比率は同じく40%になった。つまり、読み替え値は、2社のロット間で差のある可能性が4割で、同一母集団である可能性は6割とされた。読み替え値に影響していると推定される密度も、2社のロット間で差のある可能性が4割で、同一母集団である可能性は6割とされた。

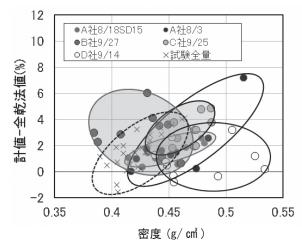


図 -4 工場別ヒノキの密度と計値 - 全乾法含水率の関係 ×は以後試験による値

^{** 10}本の内異常な数値は1本まで試験製材の数値を除外できる規定

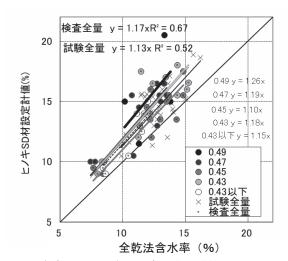


図-5 密度別ヒノキ全乾法含水率と計値 (全社込み) ×は以後試験による値

表-4 A, B, C, D 工場別ヒノキの計値と含水率算出値および 密度の検査時別平均値の差の検定

計值-全乾法含水率

	D社9/14	A社8/18	A社8/3	B社9/27	C社9/25
D社9/14		1.09	1.44	2.97**	4.36**
A社8/18			0.91	2.79*	4.40**
A社8/3				1.09	1.76
B社9/27	有意差の	0.60			
C社9/25		4/10=40%			

密度

	<u>B社9/27</u>	A社8/3	A社8/18	C社9/25	<u>D社9/14</u>
B社9/27		1.36	2.06	5.09**	3.49**
A社8/3			0.94	2.84*	2.33*
A社8/18				1.07	1.23
C社9/25	有意差の	ある組み合	わせ比率		0.54
D社9/14		4/10=40%	6		
		/ + +\ - - / +		·	40/4-7-24

値:検定統計T値 * 5%有意差 **1%有意差 Weltch検定 その他t検定

1.4 測定ロット間が同一母集団と想定し得ない各因子

全乾法含水率と高周波式水分計値の関係は密度によって異なるとされており、サンプルの密度分布に応じてその相関は決定していると想定される。各サンプルの決定係数は大きく異なったので、各サンプル間で密度のばらっきも異なっていることが想定される。

次に、同一工場内でのヒノキの全乾法含水率と計値の 関係を両者の差で表すと、同一工場であっても検査毎の サンプルの平均値はサンプルに応じて差が生じる比率が 高く、同一母集団からのサンプルとはいえない結果に なった。一方で、スギでは、表-3で示したように2工場分まとめた場合であっても、差の生じる比率が低かった。ヒノキはスギよりもロットごとのばらつきが大きいと想定される。このようなヒノキであっても読み替え方式で実施し続けるには、ロットの都度に全乾法含水率と計値の差を次回以降の読み替え値の根拠とするのではなく、ロットを一サンプルとして蓄積した複数のサンプルから母集団としての読み替え値を探る方法が必要であろう。

ロットに応じ差が生じるのは作業上の理由も考えられる。一工場内であってもロットごとに異なる因子として、次に示す測定法の未統一が想定される。①乾燥後(あるいはモルダー後)から測定までの経過日数の違い(検査では経過日数を記していない)。今回のような第三者機関による県内構造材の JAS 認定工場 (Bタイプ)の検査では常時仕上げ直後の製品があるわけではなく、本検査で生じやすい特有の問題でもある。②サンプル抽出法の違い。事業者ではなく検査者によるサンプルの徹底(割れ材は高密度の可能性がある)。③測定位置の差(中央と側面の差)や押し当て程度の差の違い。この他にも抽出法に未統一の因子があると考えられる。読み替え手法を継続するならば、上記の測定因子を注意した上で10本のサンプルが一定の母集団を把握しているか、特定の工場(原木生産地域)を継続的に調査すべきであろう。

2. 設定密度と検量線を考慮した測定手法の検討および読み替え法との比較

2.1 試験材の密度分布

ヒノキとスギの全乾密度分布結果を前報の板材の数値とともに表 -5 に示し、図 -6 に分布を示す。ヒノキ構造材の全乾密度は板材と比べて平均で 0.02 g/cd低いものの、下限値で 0.01 g/cd高かった。その理由は、試験用板材は材心を除いていたのに対し、構造材は材心部分の未成熟分を含むためと、心持ち材であるため部位によるばらつきがなく、標準偏差が小さくなったことが影響したと考えられる。スギは平均で同じく 0.01 g/cd低いものの、標準偏差は板と変わらず下限値では同じであった。

表-5 ヒノキとスギの全乾密度分布

1 J L /	9 2 7 9 0	主和伍及力和	(g/cm^3)	
		ヒノキ	スギ	
構造材	個体数	30	49	
全乾密度	平均	0.42	0.36	
(g/cm^3)	10%下限值	0.40	0.33	
設定値	A社*1	独自ヒノキ(0.37)	独自スギ(0.34)	
(g/cm^3)	B社 ^{*2}	0.42(0.38~0.45)	0.35(0.33~0.37)	
板材*3	個体数	49	49	
全乾密度	平均	0.44	0.37	
(g/cm^3)	10%下限值	0.39	0.33	
*1 ^ + *中 中 中	全昌絈レノヤ.	フギズの比字 (//+	

^{*&}lt;sup>1</sup>A社独自検量線ヒノキ、スギでの指定。()は農林省林業試 験場木材部(1975)世界の有用木材300種による

^{*2()}はB社マニュアル指定値。 左数値は範囲中央値

^{*3}富田ら(2018)

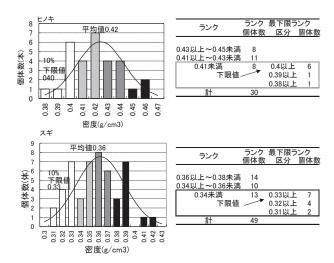


図-6 ヒノキとスギの全乾密度分布とランク分け

2.2 密度ごとの全乾法含水率と計値の関係

前報で全乾法含水率と計値との関係を密度別に区分し た時、密度が高いほど図の上側に位置することを考察し た。そこで、密度の10%下限値を最下密度ランクのほぼ 中央となるよう規定し(図-6),各図右表に示すよう全 体を4つにランク分けして、全乾法含水率と計値の関係 を考察した。A 社製水分計を使用し、ヒノキの仕上げ材 の設定密度を"ヒノキ"で設定して測定した結果を図 -7 に示した。個体数の少ない密度が 0.45 以上ランクの 回帰直線を除き各ランクと全体の回帰直線を併記した。 各測定材とも各密度が既知であることから, 各材の設定 密度(数値)による計値の結果を図-8に示した。図-8 は密度因子が除去されたことから,全体の回帰直線(太 線)は水分分布などの影響によるものとみなし、その回 帰係数から図-10で用いる換算係数を算出した。再度密 度を下限密度(数値)で設定した計値の結果を図-9に 示す。さらに換算係数で計値を換算した結果を図-10に 示す。

図 -10 には最も低密度ランクの 0.41 未満で原点 (0,0) を通る回帰直線を併記した。その結果,最下密度ランク 0.41 未満は下限密度 0.40 設定計値とほぼ同値で,回帰

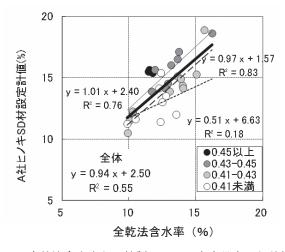


図-7 全乾法含水率と A 社製ヒノキで密度設定した計値

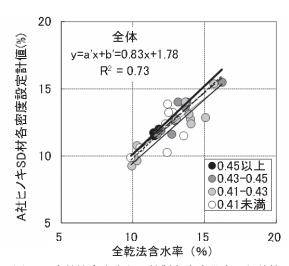


図-8 全乾法含水率と A 社製各密度設定した計値

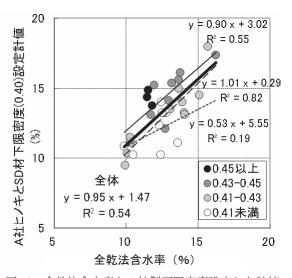


図-9 全乾法含水率と A 社製下限密度設定した計値

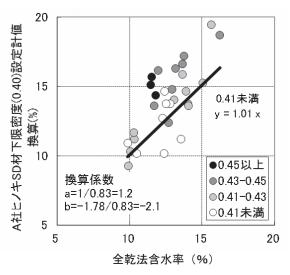


図-10 全乾法含水率と A 社製下限密度設定し換算 後の計値

直線の傾きはほぼ1になった。つまり下限密度で設定して求めて換算された計値の9割は全乾法含水率よりも高く示されていることになる。

2.3 水分計別,樹種別,仕上げ有無別の関係

2.2 と同様に水分計別、樹種別の下限密度を求め、さらに仕上げ有無(SD, D)別に換算係数を求め、表 -6 に示した。一部を除き D 材は SD 材に比べ傾斜 a は大きく、切片 b は低い傾向にある。D 材は表面の低含水率部分の値が大きく影響した結果として全乾法含水率に対し計値は低く示され、SD 材は D 材表面の低含水率部分が除去された結果として全乾法含水率と計値の関係が示され、その結果として換算係数が生じていると推測される。

この a, b を用い、2.2 以外の組み合わせを揃えて、下限密度で設定した計値の事例を図 $-11 \sim 17$ に示した。各図には最も低密度ランクで原点 (0,0) を通る回帰直線を併記した。その結果 B 社製でも低密度ランクの範囲中央値 0.40 は下限密度と同値で、回帰直線の傾きはほぼ 1 になった(図 -11)。スギは低密度ランクの範囲中央値 0.32 は下限密度 0.33 とほぼ同値で、回帰直線の傾きは $0.94 \sim 0.96$ とほぼ 1 に近似した(図 -14,15)。

B 社製でスギ未仕上げ材以外の回帰直線の傾きはほぼ1と判断してよい(図-16)。B 社製でスギ未仕上げ材(図-17)は換算係数を図-18で再考すると、密度を個々に設定して測定したにも関わらず、密度の影響が計値に存在し、他密度ランクより低く分布している。そこで換算係数を図-18の全体ではなく、この低密度ランク(0.34未満材)で求めて図-17を図-19で再表示すると、原点(0,0)を通る回帰直線は傾斜1に近く近似した。この現象はB 社製が低密度設定で全乾法含水率と計値間にギャップが生じていることを示すもので、機器の改良を待つか、このように換算係数でも対処し得ると思われる。なお表-6には対処した値を示した。

最終的には、図-10~16及び図-19により、下限密度以上の個体の全乾法含水率は、10%下限密度設定により測定した計値を換算した値以下と判断できる。10%下限密度以上の9割は、全乾法含水率よりも高く示されており、品質管理上高めの含水率で判断できる。

表-6 密度と換算係数の各設定値

樹種		Ŀ.	ノキ	スギ		
設定名称		A社	B社	A社	B社	
密度	変度 設定下限		0.4		0.33	
(g/cm^3)	現行推奨	ヒノキまたは 0.37	0.42(平均)	スギまたは 0.34	0.35(平均)	
	製品区分	SE	015	SD20		
換	傾斜a	1.2	1.4	1.3	1.6	
算	切片b	-2.1	-4.0	-4.3	-6.6	
係	参照図	図-10	図-11	図-14	図-15	
数	製品区分	D15		D20		
奴	傾斜a	2.1	1.6	2.4	2.9	
	切片b	-10.0	-2.2	-14.1	-13.9	
	参照図	図-12	図-13	図-16	図-19	

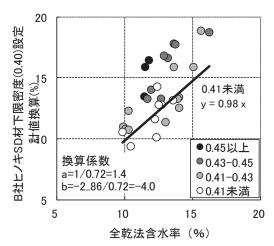


図-11 全乾法含水率とB社製で下限密度設定し換算 後の計値

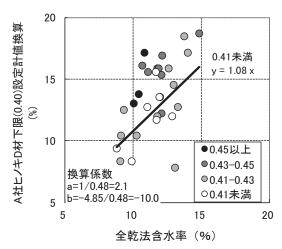


図-12 全乾法含水率とA社製で下限密度設定し換算 後の計値

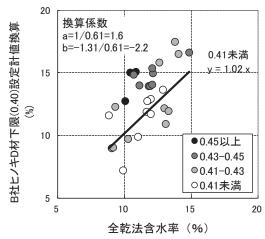


図-13 全乾法含水率とB社製で下限密度設定し換算後の計値

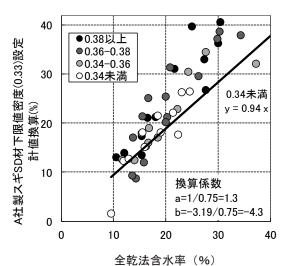


図-14 全乾法含水率と A 社製で下限密度設定し換算後 の計値

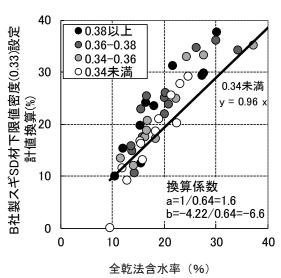


図-15 全乾法含水率とB社製で下限密度設定し換算 後の計値

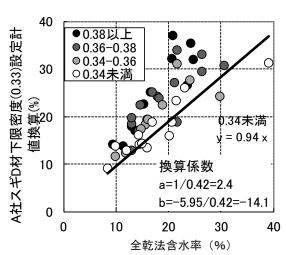


図-16 全乾法含水率と A 社製で下限密度設定し 換算後の計値

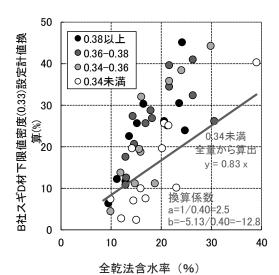


図-17 全乾法含水率とB社製で下限密度設定し換算後の計値

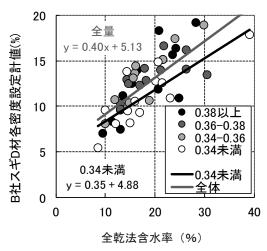


図-18 全乾体と 0.34未満の回帰直線の比較

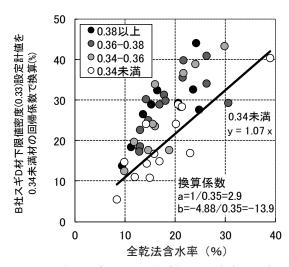


図-19 全乾法含水率とB社製で下限密度で設定し 0.34未満材の回帰係数で換算後の計値

2.4 現行の読み替えの実施と格付け

読み替え値が発生した場合,現場では格付け本数の減少に直面する。これに対する具体的対応状況については,認定工場の信用性の問題がからみ,正確に把握することは困難が予想される。そこで,試験した材料を現場での製品とみなし,試験材から10本のサンプルを採取したとして読み替えによる格付けを実施した。

スギSD20の試験材から10本のサンプル材を選択して、A 社製を使用した計値と全乾法含水率の差が最も大きい1体を選択する場合、その1体は対象材の内、計値と全乾法含水率の差の大きい順で何番目を選択することになるかを考察した(図-20)。全体49体の内、計値でSD20の基準以下材は31本が対象になる。そこから10本のサンプルを何回も採取すると順位に沿って均等に3.1本の内1本の確立で採取全乾される。計値と全乾法含水率の差が最も大きいサンプルの1本は1から3.1本の中央値とみなすと、対象材では差の大きい順から1.55 \leftrightarrows 2本目になり、通常規定に該当する。同じくサンプルの2本目は対象材では3.1から6.2の中央値4.65 \leftrightarrows 5本目で、除外規定に該当する。読み替え該当個体を特定した後、読み替え値を図21で示した。事例では通常で-5.6%、除外規定では-2.8%分SD20が読み替えされた。

全乾法含水率と計値の関係図において、その回帰直線が傾斜1であり、相応のばらつきを想定すれば、マイナス側の読み替え値はこのように必ず生じるはずである。しかし表-1の実態調査結果では、全体の2/3が読み替えなしである。その理由は回帰直線がY=X線より上に位置しているためと推定される。つまり計値が全乾法よりも高めに表示されていることに他ならない。同じくA社製を使用し、スギD20の読み替え値を図-22に示した。通常で-13.7%、除外規定では-6.8%分D20が読み替えされた。未仕上げ材(D 材)では回帰直線がY=X線以下に位置しており、計値は全乾法よりも低めに表示されやすく大きな読み替えを余儀なくされることになる。しかし未仕上げ材の認定工場の実態は調査対象になかった。

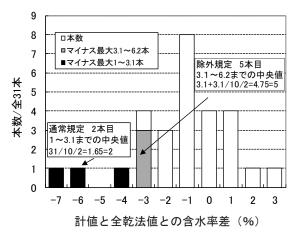


図-20 スギ SD20 材の対象 31 本から 10 本選択し、 10 本サンプル中のマイナス差の大きい順位 を 31 本中の順位として示す根拠

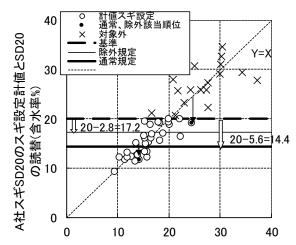


図 -21 A 社製スギ SD20 材の対象 31 本の順位 から SD20 を読替

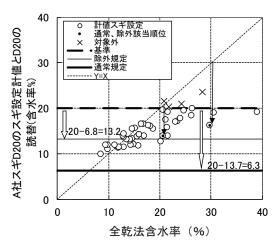


図-22 A 社製スギ D20 材の対象 45 本の順位 から D20 を読替

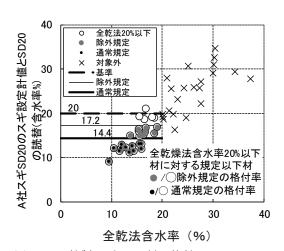


図-23 A 社製スギ SD20 材の格付

2.5 下限密度と検量線換算による格付け率と読み替 えによる格付け率比較

前述のとおり、品質管理現場では品質の確保である本来の目的に対し、規格による手法でどれだけ達成されたかが求められ、その尺度として、本来の目的である全乾法によって基準値以下材となった個体から、JASの規格によって格付けした個体数を求め、その比率を格付け率と定義した。このように定義したA社製スギSD20の読み替え手法による格付け算出事例を図-23に例示した。

すべての事例について、まず全乾法で基準値以下の個体に対して下限密度設定と換算により格付された格付け率を図-24左側に示し、次に図-23の例示による方法で同個体数に対して、読み替え手法による格付け率を図-24右側に示した。ヒノキD15の一部を除くと、通常規定との比較では、下限密度設定と換算により格付した方が格付率は高く、さらに除外規定との比較であっても同じ傾向になった。また、読み替えでは通常規定と除外規定の判断により格付け率が大きく変化する一方で、下限密度設定と換算により格付した場合は安定していた。

Ⅳ まとめ

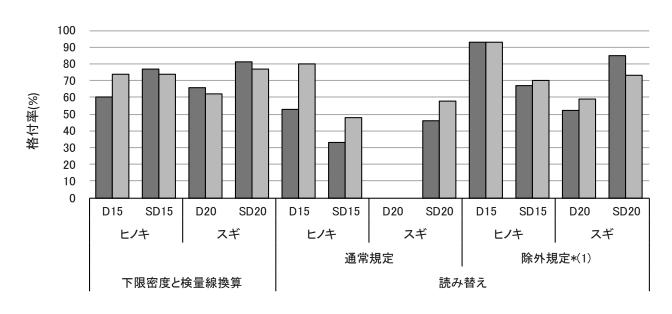
岐阜県内 JAS 工場における読み替え方式の実態を調査した。その結果、全体的には設定密度と測定材密度の差異により変化すると想定され、ヒノキは読み替え数値が生じにくく、スギでは生じることになった。個々には検査時期ごとに不規則に読み替え数値の有無と値の変化が認められた。

読み替え数値の妥当性については、10体のサンプルの 取得如何によるところが大きかった。母集団の密度が10 体のサンプルとして表されているならば、密度のばらつき に応じサンプルの全乾法含水率と計値の関係の決定係数は 一定以下の値を有して然るべきはずであるが、かなり相関のある検査時期もあった。これに関しては、サンプル材の選択法や格付け時での仕上げ後計測までの時間の違いなど、測定法の未統一が想定される。

読み替え手法はサンプルを採取するため、同時にサンプル材の全乾密度を入手することで、サンプル材の全乾密度が特定密度に偏っていないかをチェックすることができる。したがってサンプル材が現状ランダム入手になっているかまで含めてその実態を把握し、効果について再検討する必要がある。ヒノキの場合、それをした上でも検査時期ごとに実施するサンプルで密度が変化し、密度が計値と全乾法含水率との差に影響するとすれば同一母集団であるとして生み出される読み替え数値の根拠が得られないことになる。

製材工場が椪積みごとに購入するロットは、ある一地域の特定の伐採地からの原木であり、次回のロットも同じ伐採地域からの出材とは考えづらい。常に変化する伐採地域ごとに密度や読み替え値を得るのではなく、製材工場が入手する全地域内(ただし品種は分ける)の広範囲から入手すべきである。具体的にはサンプルの計値と全乾法含水率の最大差を、直前の検査結果での補正ではなく、複数回のサンプルを全量とした広範囲の母集団の読み替え値の分布を特定し、特定化された分布に応じて下限値としての読み替え値を得る方法が必要になる。ここまで読み替え値を統計的に処理できればいいが、測定機器の運用期間が長くならないと実施が困難で、制度上すべての工場で対応することは困難であろう。

図-5に示したように工場間や複数ロットのサンプルを全量とした場合であっても、計値と全乾法含水率との比が密度に関係するという普遍性は、読み替えの主原因が密度であることを示唆している。前出の水分計測定



■A社 ■B社

図-24 下限密度と検量線換算と読み替えによる格付率比較

の4留意点を高周波式含水率計にあてはめた場合, 読み替えの主原因である密度で処理することが理に適っており, 対象を読み替え値でなく密度とした場合, 下限密度設定をすることで, 簡易で直読できるという利用上の有効性が期待される。

下限密度と検量線による測定法の構造材への応用は、直に全乾法との比較をしないため、現場では乾燥機や測定器の故障などによる問題の気付きにはならないが、安定して格付けできる効果が認められた。単一の品種で密度分布に変化がない限定された地域の原木市場から入手する現地製材工場では、密度の下限値を利用することの効果は大きい。読み替えによる格付け率の低下などの危惧はなく、除外規定という不明瞭な判断はしなくてもいい。ただ入手原木の産地や品種が複数ある場合は、それぞれについて下限値の再設定をするか、密度のばらつきが大きいことで生じる密度の下限値の低下を了承したうえで利用することになる。

構造材の場合、板材以上に妥当性のある換算係数の設定が重要になる。仕上げ材の場合は乾燥した表面材が除外されるので図-21に示すとおり全乾法含水率と計値の関係図において傾斜が1に近く、換算係数を一定とした利用に問題は生じにくい。ところが未仕上げの場合は図-22に示すように傾斜が低く、乾燥後の含水率傾斜如何により異なることが想定される。各工場内の換算係数の管理が重要になる。一方で換算係数を設定して自動で換算できる機種も販売されている(図-25)。機能の普及も鑑み、明示できるようにして応用することが必要である。

今後制度面から問題を解決していく必要はあるが、現在既存制度以外の分野として、密度を下限値とした密度設定のみ岐阜県内針葉樹板材規格として応用した(ぎふ性能表示材認証センター 2016)。本試験結果を考慮して、読み替えの対応がされていない岐阜県性能表示材制度(構造材)においても、密度の下限値設定から検討していただくことを期待する。

本研究は岐阜県性能表示材制度(内装材)に向けて基本的方向性を決めるべく、ぎふ性能表示材認証センターから委託を受けて板材で実施した結果を基に構造材に応用したものである。なお JAS 工場における読み替え方式の実態については岐阜県木材協同組合連合会実施の第三者機関による県内構造材の JAS 認定工場 (B タイプ)の検査測定値を使用させていただいた。

岐阜県林政部県産材流通課およびぎふ性能表示材認証 センター、岐阜県木材協同組合連合会の関係者はじめ、 制度に関わった関係諸氏に厚くお礼申し上げる。さらに 木材水分計を寄贈していただいたマイクロメジャー株式 会社に厚くお礼申し上げる。

引 用 文 献

ぎふ性能表示材認証センター (2016) ぎふ性能表示材推 進制度実施要領 ぎふ性能表示材品質・性能表示規 格に関する規定 別紙2 ぎふ表示材認証検査基準 (製品検査・現地調査・現地検査および自主検査の



図-25 密度に加え検量線換算が組み込める機器

実施について)(平成28年)

- 岐阜県木材協同組合連合会 (2018) 含水率試験成績書内 部資料
- 株式会社ケット科学研究所 (2016) 木材水分計 HM-520 取扱説明書 Rev. 0801 比重表 Rev. 1004
- マイクロメジャー株式会社 (2015) 木材用ハンディー水 分計 HS-100 取扱説明書
- (公財) 日本住宅・木材技術センター (2017) 認定 含水率計 http://www.howtec.or.jp/publics/ index/128/(参照:2017年12月22日)
- (公財)日本住宅・木材技術センター (2013) 針葉樹製材に用いる含水率計(携帯型(高周波押し当て式))の性能基準 HW005-2013. http://www.howtec.or.jp/publics/index/128/(参照:2017年12月22日)
- 農林省林業試験場木材部編 (1975) 世界の有用木材 300 種-性質とその用途-. 日本木材加工技術協会
- 農林水産省 (2013) 製材の日本農林規格 平成 25 年 6 月 12 日農林水産省告示第 1920 号
- 信田聡・中嶌厚・奈良直哉 (1990) 製材含水率の容積中 による推定. 木材学会誌 36 (12):1019-1026
- 富田守泰 (2016) 携帯式高周波含水率計の設定密度に関する提案. 日本木材学会大会研究発表要旨集 2016 年:87
- 富田守泰・土肥基生 (2018a) 携帯式高周波含水率計の 板材測定における品質管理のための設定密度. 木材 工業 73(2):52-57
- 富田守泰・土肥基生(2018b)スギ正角材の品質管理に使用する携帯式高周波水分計の設定密度と検量線換算について、日本木材学会大会研究発表要旨集2018年
- 富田守泰・土肥基生 (2018c) 携帯式高周波含水率計の測 定時に使用する品質管理のための設定密度と検量線 換算. 岐阜県森林研研報 47:1-13
- (社)全国木材検査・研究協会 (2011) 乾燥処理,新しい製材の日本農林規格並びに改正の要点及び解説 (平成23年):178
- (社)全国木材検査・研究協会(2013)人工乾燥処理製材の認定申請に当たっての含水率管理基準の決定及び品質管理資料の作成について(平成25年)