

人工乾燥材の含水率管理

瀬戸 健一郎

1. はじめに

品質管理とは、買手の要求に合った品質の製品を経済的に作り出すためのすべての体系（JIS 8101, 1956）といわれているから、工場における生産を合理化するための統一された広範な活動を指している。すなわち、目標とする品質の製品をできるだけ安いコストで製造する工程、歩止りをよく能率を上げること、不良品をなくすること、市場調査などを含むから、このような努力がなされている工場は品質管理が行なわれているといえる。しかし、普通品質管理といわれるものは、それらの目的を達成する手段として、近代統計学（推計学ともいう）に基づく品質管理手法という場合が多い。これは戦後我が国に紹介された新しい品質管理の手法が大量生産方式の工場に導入され、工場の経営が著しく改善されたことによるものである。

さて、木材工業においては、推計学に基づく品質管理の手法が大きな効果をおさめたという例をあまり聞かない。これにはいろいろ原因があるだろうが、ある目標の製品を作るために必要な原材料（原木）を必要量だけ連続して受け入れることが困難である。原料の加工度が低いから製品の品質が原材料に支配されやすい。品質を評価する場合に節、くされ、変色などの大欠点による外観の良否が問題とされることが多い。経営者としては、多少品質にムラがあっても、消費者に迷惑はかけないし苦情もないという安心感、工場技術者は、目立、木取り、乾燥といった本来の技術の向上が先決であり、また技術の向上は品質管理にもつながっているという考えもあり、従って、品質管理を行なった効果を適確に把握できないことなどが挙げられる。

このように考えると、製材工業で、統計的手法が手取り早く効果的に適用出来るのは、寸法精度（特に挽材の厚さ）と含水率ということになる。この2つは、生産者にとっては挽材技術と歩止りの向上、消費

者にとっては好ましい品質という製造工程で管理しなければならぬ大きな問題を含んでいるからである。ここでは、人工乾燥材を供給する工場、フローリング工場などの人工乾燥工程の含水率管理の方法について述べてみたい。

2. 荷口（ロット）として何を選ぶか

一般に工程管理の方法は、作業標準をたて、それを実行し、管理図などにより工程の異常を知り、工程をなおしたり、標準を改訂したりすることが基本となっている。含水率の場合も、あるロットから試料（サンプル）を無作為（ランダム）に抽出して含水率を測定することにより、ロットの含水率を推定し、望み通りの含水率にするため、工程を修正したり、ロットの処置をきめたりする。このときはあとで行動（アクション）の取れるようにロットを区分することが大切である。このようにロットを等質なものに層別して1つのロットとすることと、無作為抽出は、統計的品質管理を行なう場合の前提条件となる。これをきめるには、乾燥技術の専門知識や過去のデータをもととしてきめるわけであるが、管理の目的によっても異なってくる。

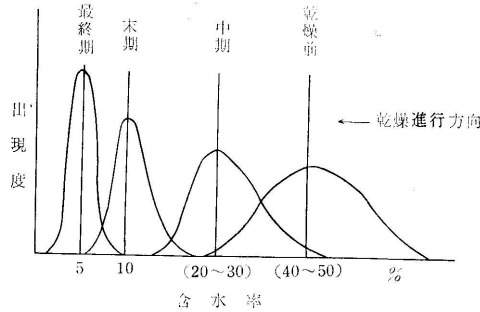
人工乾燥の目的は、乾燥による欠点（表面割れ、内部割れ、落込み、狂い）を起さぬように、木材の含水率のバラツキを小さく、仕上り含水率を使用する用途に適する値まで下げることである。含水率だけを考えると、すべての材を一定の含水率に仕上げることは経済的に困難であり、その必要のない場合もあるから、実際には、仕上り平均含水率と含水率のバラツキの管理が具体的な問題となってくる。

人工乾燥材の含水率ムラの原因としては、被乾燥材の初期含水率のバラツキ、樹種、比重、辺心材など樹幹の部位、厚さによる水分ムラと乾燥の遅速によるもの、乾燥室の能力（積みされた材に対し均一な

温度、湿度、風速を与え得る能力)と棧積み方法の2つが考えられるから、第1に被乾燥材による含水率ムラを考え、異質のものが混入しないように区分して乾燥し、これらを一つのロットとすることが望ましい。については、一般に乾燥室を設置したとき、乾燥室の能力にあった乾燥スケジュールを決定する際に試験検討が行なわれている。この時は、トロの上に棧積みされた材の上、下段、両側と中央部、奥行方向に層別して含水率を測定し、ファンの能力、風速、蒸気配管の位置、棧積み方法による乾燥ムラをしらべ、それらを修正し、全体としての乾燥ムラを少なくしておく。完全に乾燥ムラをなくすることは不可能に近いから、出来るだけ乾燥ムラを少なくして乾燥した材の含水率ムラは、その乾燥室の能力ということになる。あとは、定期的に設備の故障を調べたり、層別したロットの含水率ムラをチェックして異常乾燥を修正する。このような目的では、前述のように小さなロットに区分しなければならない。

乾燥室の能力を把握してのちの通常の含水率管理では、トロ1車に棧積みされた坂材を1ロットにすることが実際的であろう。このときは、一定の乾燥スケジュールにより乾燥された1トロ分の乾燥材の合力率の平均値とそのバラツキを管理することになる。一般に平均含水率が低くなるとバラツキは小さくなるが、乾燥室の能力によって異なってくる。ある乾燥室により乾燥された材の含水率ムラは、含水率のヒストグラムによる方法、ある期間を通じて、1回の乾燥が終了した都度、乾燥室または1トロから抜き取った試料の含水率を測定して得たデータにより、含水率の平均値(\bar{x})と、範囲($R = \text{最大値} - \text{最小値}$)を求めておき、平均含水率(\bar{x})の場合の含水率のバラツキを示す標準偏差の推定値は、 $\hat{\sigma} = R / d_2$ (R は範囲の平均値、 d_2 は試料数 n によりきまる数)により求めることができる。または、 $\bar{x} - R$ 管理図によってもよい。このようにして、ある乾燥室で乾燥した場合の乾燥工程の能力(プロセス能力ともいう)を知ることが出来る。含水率のような計量値の分布は、普通つり鐘型の正規分布をすることが認められているが、人工乾燥材の含水率は乾燥に伴って第1図のような過程をたど

り、乾燥の中期、末期では分布が含水率の高い方に尾をひくので注意を要する。これは、乾燥の末期におけるイコーライジングなどの調湿処理により修正しないと、以下に述べる理論的な推定が出来ない。やむを得ない時は分布を正規分布に変換して理論化するが、得られた推定値を補正しなければならない。

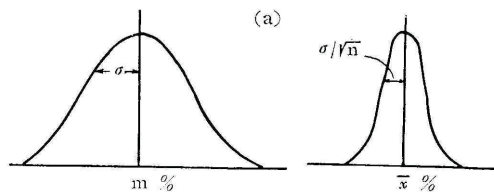


第1図 乾燥にともなう含水率の変化

以上のようにして求めた或る乾燥室の乾燥能力が、例えば、平均仕上り含水率8~10%のところでは $\sigma = 2.0\%$ であることがわかったとして、次の論を進めよう。

3. ロットの含水率の推定方法

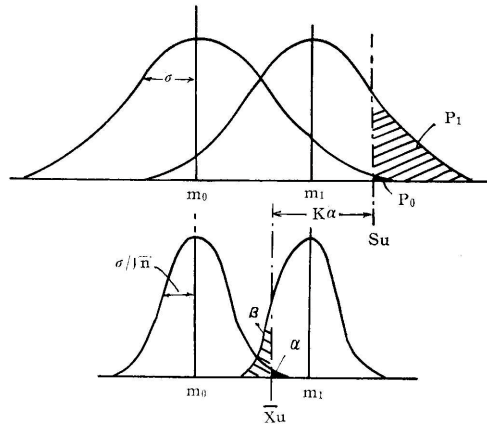
トロ1車分のロットから n 回の試料を抜き取り、試料の平均値からトロ1車の材の含水率の平均値を推定するわけだから、ある確率(信頼区間)で含水率は \pm いくらかということになる。



第2図 ロット(a)より n 回の試料を抜取ってしらべた平均値 \bar{x} の分布(b)

第2図のように平均値 $m\%$ 、標準偏差 $\sigma\%$ のロット(a)から、 n 回の試料をランダムに抽出して平均値 \bar{x} をしらべると、 \bar{x} は毎回同じ値とはならないで(b)のようにバラツキが、 \bar{x} の平均値は m に等しくなり、 \bar{x} の標準偏差は σ / \sqrt{n} になる。

のかわりに、 \bar{x} と m との差を σ/\sqrt{n} の単位で測った値 $u = \frac{(\bar{x} - m)\sqrt{n}}{\sigma}$ は、平均値0、標準偏差1の正規分布となる。このようにすることを規準化するといい、正規分布表に u の値が示されている。ある範囲 $\pm u_p$ でロットの平均値 m を推定しようとするとき、 $-u_p < \frac{(\bar{x} - m)\sqrt{n}}{\sigma} < u_p$ から $m = \bar{x} \pm u_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ となり、95%の確率では、 $u_p = 1.96$ だから $m = \bar{x} \pm 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 、この式から、試料を10ヶ抜取り、平均含水率が10%であったとすると $\pm 2.0\%$ であらかじめわかっているから、 $m = 10 \pm 1.96 \times \frac{2.0}{3.16} = 10 \pm 1.2\%$ ということが95%の確率でいえるわけである。



第3図 標準偏差 σ 既知の場合の計量抜取検査方式

これから $\bar{x} - u = Su - k = 13 - 1.406 \times 2.0 = 10\%$ となる。すなわち、ロットから12ヶの試料を抜取り、平均値が10%以下の場合は次の工程に廻したり、出荷したりする処置をとればよいことになる。逆に平均値が8.5%であったとすると、 $P_0 = 0.3\%$ 、 $P_1 = 3.2\%$ となるから、生産者からいえば13%以上の含水率のものは、そのロットにはほとんど含まれていないし、消費者は、13%以上の含水率のものが3.2%以上混入しているロットを買われるおそれはほとんどないということになる。

5. 水分検知器を用いる場合

以上述べてきた含水率の値は全乾法によって求めた値であるが、品質管理の場合は水分検知器によって含水率を測定することが行なわれる。そこで当然のことながら、水分検知器による値を、全乾法による値に換算しておくことが必要となる。一般の木材用水分検知器には、電気抵抗式、高周波誘電率型、高周波損失型の3つの型があり、それぞれ測定範囲と使用条件が明記されているので、使用条件によって補正する。しかし、補正した値でも測定上の誤差はつきまとうから、使用範囲と条件により、機械ごとに全乾法に換算する表を作成しておくことが望ましい。筆者はKETT電気抵抗式水分計により、ブナ21mm厚ストリップスの人工乾燥材を温度15℃、針の深さ4mm、針極は繊維に直角、測定範囲7.0~16.0%で40ヶの試料により、

4. 抜取りによってロットの処置をきめる方法

ロットの平均値が何%のとき、このロットを出荷してよいか、または次の工程に廻わしてよいか、再乾燥するか、の処置をきめねばならないが、これは製品に要求される含水率により変わってくる。たとえば、フローリングのJAS規格のように13%以上の含水率のものは不良とした場合、抜取りによって不良品の含まれる確率を一定量以下におさえるように、試料数 n と平均含水率の判定値 \bar{x}_u をきめる方法である。この方法については、既知の場合の計量抜取検査法として、JIS Z 9003に示されている。

抜取りだから、13%以上の不良品の含まれる割合が $P_0\%$ 以下の場合でもロットが不合格になる場合もあるし、 $P_1\%$ 以上のロットが合格となる場合もある。前者を生産者危険(α)、後者を消費者危険(β)といい、普通は $\alpha = 0.05$ 、 $\beta = 0.10$ が用いられ、試料数 n と平均含水率の判定値 \bar{x}_u は次式で示される。

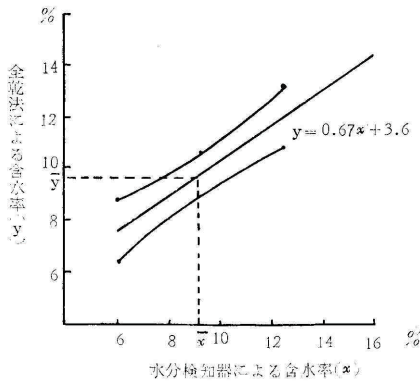
$$n = \left(\frac{K\alpha + K\beta}{Kp_0 - Kp_1} \right)^2, \quad \bar{x}_u = Su - k\sigma,$$

$$k = \frac{Kp_0K\beta + Kp_1K\alpha}{K\alpha + K\beta}$$

この関係を図示すると第3図のようになる。

例題の場合は、 $Su = 13\%$ 、 P_0, P_1, \dots に対する k と n の値はJIS Z 9003に示されているから、 $\alpha = 0.05$ 、 $\beta = 0.10$ 、 $P_0 = 3\%$ 、 $P_1 = 15\%$ とすると、 $k = 1.406$ 、 $n = 12$ となる。

水分検知器による含水率 % を全乾法 y % に換算する式を求め、 $y = 0.67x + 3.6$ の回帰直線を得た。計算の途中で、 $\bar{x} = 9.1$ 、 $\bar{y} = 9.7$ 、回帰係数 (b) = 6.1、相関係数 (r) = 0.92、回帰誤差 () = 1.0 が求まる。回帰直線の誤差は の値により異なり のところで最小となるが、安全をみて $\pm 3.2\%$ の部分で計算したものである。回帰直線について 第4図 に示す。このように回帰直線を用いて推定する場合は測定誤差が入るので、全乾法による場合と同じ精度で含水率を推定するとすると全乾法による場合よりも試料数 n を増さねばならない。



第4図 x に対する y の回帰直線

検知器を用いたときの試料数を n、測定誤差を M^2 、全乾法による含水率のパラツキを A^2 とし、 M^2 、 A^2 が独立とすると、検知器によって測定した含水率 の分散は、 $\sigma_x^2 = M^2 + A^2$ となる。検知器による試料

n' の平均値の分散は $\frac{\sigma_x^2}{n'} = \frac{\sigma_M^2 + \sigma_A^2}{n'}$ で、全乾法による試料 n の平均値の分散は $\frac{\sigma_A^2}{n}$ だから、全乾法と同じ精度でロットの平均値を推定する場合は $\frac{\sigma_A^2 + \sigma_M^2}{n'}$

$= \frac{\sigma_A^2}{n}$ とおき $n' = n \left(1 + \frac{\sigma_M^2}{\sigma_A^2} \right)$ となる。例題の場合は $\sigma_M^2 = (1.0)^2$ 、 $\sigma_A^2 = (2.0)^2$ だから、

$n' = 12 \left\{ 1 + \frac{(1.0)^2}{(2.0)^2} \right\} = 12(1 + 0.25) = 15$ となる。よ

って、この検知器を用いる場合は、試料数を 15 とすれば全乾法の 12 の試料による場合と同じ精度でロットの平均値を推定することが出来る。このことは、3. ロットの含水率の推定方法および 4. 抜き取りによってロット

処置をきめる方法のいずれの場合にも適用できる。

また、知器によって求めた標準偏差 σ_x と、全乾法によった場合の標準偏差 σ_y の間には、 $\sigma_y = \frac{b}{r} \sigma_x$ の関係があるから、回帰直線を求めたときの (b) と (r) を利用して、全乾法によった場合の標準偏差 σ_y を求めることができる。

これは、 $S_x = \sum(x_i - \bar{x})^2$ 、 $S_y = \sum(y_i - \bar{y})^2$ 、 $S_{xy} = \sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ とすると、

$$b = \frac{S_{xy}}{S_x}, \quad r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x \cdot S_y}}$$

$$\text{だから} \quad \frac{b}{r} = \frac{\sqrt{S_x \cdot S_y}}{S_x} = \frac{\sqrt{S_y}}{\sqrt{S_x}} = \frac{\sqrt{\frac{S_y}{n}}}{\sqrt{\frac{S_x}{n}}} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$$

となるからである。

6. むすび

以上は人工乾燥材の含水率管理についての考え方と、具体的に実行する場合の一つの試案を述べたにすぎない。このような統計的な考え方は、計量値のデータの取り扱い方として品質管理や実験計画法などにいたるまで広範囲に取り上げられるようになり、今では常識化されてきている。しかしながら、統計的方法も具体的実行の段階ではいろいろな困難がある。また、その効果が発揮出来るよう考慮すべき点も少なくない。その適用に当っては充分検討して誤らぬように注意しなければならない。

含水率管理の背景となる我が国における人工乾燥材に対する一般の認識は、未だ低調のようである。近い将来、人工乾燥材の品質が需要者に高く評価され、それ相当の価格で取り引きされるようになることが先決問題であろう。このためには、需要者に対する啓蒙運動と併行して、人工乾燥材の含水率がその使用される用途に対して適確に明文化されることが望ましい。ヨーロッパ、アメリカのように人工乾燥材の使用があたり前のこととして行なわれ、木材はすべて人工乾燥材である時代が来ることを期待したい。これはまた木材を取り扱う者の協同責任でもあろう。