

連続型自動水分測定装置の開発

菅谷 恵美子 信田 聡*¹
奈良 直哉*² 中 嶋 厚

Developing a Continuous - Automatic System for Measuring Moisture Content

Emiko SUGAYA Satoshi SHIDA
Naoya NARA Atsushi NAKAJIMA

A new continuous - automatic system for controlling the moisture content of structural softwood lumber was developed in the following way :

- (1) A sensor for measuring the moisture of veneer was improved to be used for measuring the moisture of lumber .
- (2) Information on the species , size and temperature of the lumber to be measured was fed into the moisture - measuring instrument before measurement was performed . Then values measured were automatically modified by taking into consideration those influential elements , and the modified values were shown on the display of system .
- (3) The difference between the values measured in the oven - drying method and those measured with the new system was within $\pm 3.1\%$

乾燥材の含水率を連続測定型の水分計で測定し、建築用構造材の水分管理を精度良く行う装置を開発した。

- (1) 単板用に開発されている水分センサの形状を製材用に改良した。
- (2) 測定開始前に水分計測機器へ測定対象の樹種・材種および材温を設定しておけば、計測値はそれらの影響を考慮した値に自動的に補正され、補正後の含水率値を本装置のディスプレイに表示される。
- (3) 本装置の測定精度（全乾法含水率値と補正後の水分計指示値の誤差）は、含水率値で $\pm 3.1\%$ （信頼度90%の両側検定による）であった。

1. はじめに

木材の含水率を測定するには、全乾重量法と電気式水分計を用いる方法がある。前者はJIS Z 2102に定められている木材の含水率を正確に知る方法であり、後

者は木材の電気的性質を利用して前者の正確な含水率値を推定する方法である。後者の方法は測定精度の問題が度々議論されるが、比較的簡単に含水率を推定することができ、機器の価格も手ごろで広く一般に普及

している。現在、電気式水分計の主流はハンディ型の高周波容量式だが、互いに性能が異なる複数の機種が普及しており、各々の機種の性能を把握しておく必要がある。このため(株)日本住宅・木材技術センター（以下、住木センターと略す）では、「含水率計の性能基準に基づいた認定事業」を実施し、測定精度・測定深度の面から、現在3機種の高周波容量式水分計を認定している¹⁾。また初めて「乾燥材」の規格が導入された「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」（平成3年7月施行、以下、「新JAS」と称す）では、「乾燥材」の含水率適合試験は全乾重量法によるとされているが、全乾重量法以外の方法でも明らかに試験の可否を判断できる場合はその方法を用いることが認められている²⁾。「新JAS」解説によると、全乾重量法以外の方法のひとつは電気式木材水分計を用いる場合とされており、その場合には住木センターの認定機種を使う旨が示されている²⁾。

このように木材1本ごとの含水率は、ある一定の測定精度を有する水分計によって、ある一定の誤差の範囲で推定することができる。しかし、1荷口中の木材1本ごとの含水率値にバラツキがあった場合、工業材料を目指す木材品質の信用性は失われる。「新JAS」

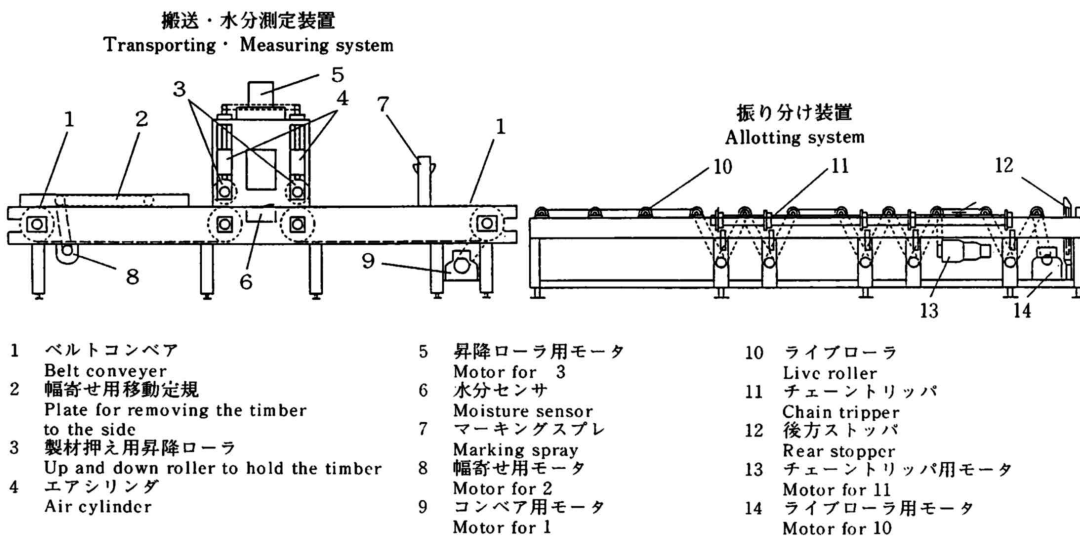
の含水率試験ですら1荷口から5枚または5本を任意に抜き取る「抽出検査」であり、たとえ高含水率材が含まれている荷口でも含水率試験で抽出されなければその荷口は「乾燥材」として合格し、流通してしまう可能性もあり得る。とはいえ、現状における最も簡便な方法であるハンディ型の水分計を用いても、木材1本ごとの含水率を人手によって全数検査するのはコストや作業性からみても困難である。

そこで、大量の乾燥材を対象とし、連続的にしかも精度良く水分管理が行える連続型自動水分測定装置の開発研究を行ったので報告する。

なお、本研究は昭和61年度～平成2年度・中小企業庁地域技術活性化事業費補助・地域システム技術開発事業の一環として行ったもの³⁾であり、平成3年度日本木材学会北海道支部研究発表大会（1991年10月、旭川市）において発表したもの⁴⁾である。

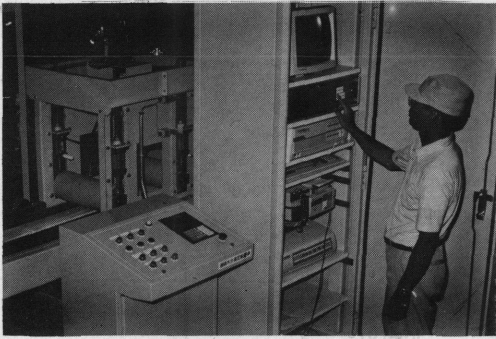
2. 装置の概要

開発した連続型自動水分測定装置の側面図を第1図に示す。装置の大きさ（単位：mm）は、搬送・水分測定装置が長さ4,250×幅550×高さ1,680、振り分け装置が長さ4,500×幅900×高さ600である。この他にも



第1図 連続型自動水分測定装置の側面図

Fig. 1. The side view of continuous automatically system for measuring moisture content (M.C.).



第2図 システム制御部
Fig. 2. System controller

第2図に示すようなシステム制御部（コンピュータなど）、装置操作デスク、エアコンプレッサなどを装備している。

本装置における動作の流れは、製材をコンベアによって連続的に搬送しながらその含水率を測定し、あらかじめ設定しておいた含水率の範囲に含まれるものを良材（適正含水率材）として不良材と選別・振り分けを行うものである。これら一連の流れを制御部のコンピュータで一括管理する。

本装置制御部のホストコンピュータは、水分計測機器からの情報を取り込み、良材・不良材を判断し、搬送・振り分け装置が適切に作動するシーケンサに指示を与えている。コンピュータへの負担を減らすため、ホストコンピュータはシーケンサへの動作指示をコマンドレベルで行うだけで、搬送・水分測定・振り分けの実制御は全てシーケンサが行っている。またコンピュータは、コンベアの各部に取り付けてある光電・近接スイッチで感知した製材の通過状況を一括管理し、水分計測機器からの情報をもとにした指示を各機能別に与える。測定中には、センサと製材が接触している間の含水率信号を平均化した製材1本ごとの含水率測定値を制御部のディスプレイ上に瞬時に表示する。同時に含水率測定値は、あらかじめ設定しておいた含水率値から適正含水率材・過乾燥材・未乾燥材の3区分に判断される。なお、測定終了後には〈総合〉の累積本数、平均含水率・標準偏差など、〈適材〉〈過乾燥材〉〈未乾燥材〉の各区分ごとの該当本数が全体

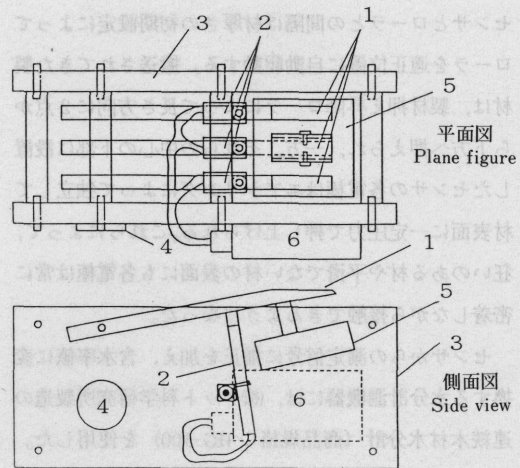
に占める割合などの集計結果、さらに全体の含水率分布を示す棒グラフを表示する。必要であればこれらの集計結果を印刷する。これらの集計結果は、乾燥材の水分管理上有用な情報としてメモリされ、品質管理に生かすことができる。

3. 水分センサについて

本装置の心臓部ともいえる水分センサには、数種類のセンサの特徴を調査・検討した結果、高周波抵抗式のセンサを採用した。採用の主な理由は、連続工程に適していること、既に単板用に計測機器が開発されており比較的短期間で製材用に改良・開発が可能であったことである。

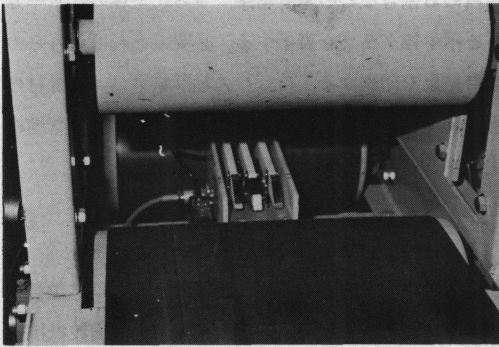
開発した水分センサを第3図に示す。主な仕様は、周波数0.7 MHz、陽極幅20mm・陰極幅9mm（陽極の両側に配置）である。センサからは常時8回/秒の測定信号を出力する。

センサと移動する木材表面との接触性の良否は測定精度に影響を及ぼす。すなわち、乾燥材を対象として



第3図 改良型水分センサ
Fig. 3. Improved moisture sensor

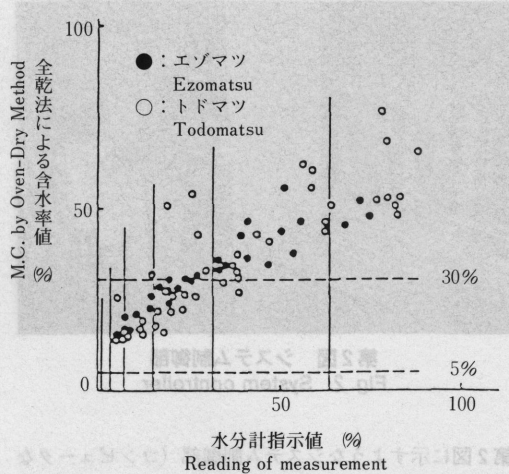
- | | |
|--|---|
| 1 電極(陽極×1,陰極×2)
Electrode
(Positive ×1, Negative ×2) | 4 接続コネクタ
Wiring connector to
the instrument |
| 2 エアシリンダ(×3)
Air cylinder (×3) | 5 アンプ
Amplifier |
| 3 センサ駆体
Sensor housing | 6 エア調整弁
Air regulating valve |



第4図 改良型水分センサ(装置への設置状態)
Fig. 4. Improved moisture sensor
(setting condition to the system)

いる本装置のセンサ形状を開発する際の課題は、連続的に搬送されてくる製材の狂いに応じ、センサの電極を材表面に密着させることである。密着性を改良したセンサ(第3図)には、各電極の下部にそれぞれ小型エアシリンダ(最大加圧力: 3 kgf/cm²)を付設してある。エアシリンダの加圧・解圧のタイミングは光電スイッチにより製材の通過状況を判断し調整する。あわせて本装置には、センサ上部に製材押え昇降ローラ(第4図)を2本(材長さ方向に50cm間隔)設置してある。センサとローラとの間隔は材厚さの初期設定によってローラを適正位置に自動駆動する。搬送されてきた製材は、製材押え昇降ローラによって長さ方向に2点から下方へ押えられ、一方、それらの中心の下部に設置したセンサの各電極はエアシリンダによって独立して材表面に一定圧力で押し上げられる。これらによって、狂いのある材や平滑でない材の表面にも各電極は常に密着しながら接触できるようになった。

センサからの測定信号に補正を加え、含水率値に変換する水分計測機器には、(株)ケット科学研究所製造の連続木材水分計(商品規格: HG-100)を使用した。前述したように、HG-100は高周波抵抗式センサと水分計測器本体の組み合わせによる単板用水分測定装置として、連続測定および外部出力に関わる技術が既に実用化されている測定機器である。そこで本研究ではこの既存技術の応用によって、製材用に改良したセンサと、外部信号を入力し遠隔操作によって水分計を制



第5図 補正前の測定データ(105mm正角材)
Fig. 5. Measured data before revision
(105mm Square timber)

御する機能を新たに開発した。

4. 水分計指示値の補正方法

4.1 樹種・材種についての補正

第5図に補正前の水分計指示値と全乾法含水率の関係を示す。これはエゾマツ・トドマツ105mm正角材を用いた場合の一例である。全乾法による含水率は、水分計指示値を計測後、長さ方向に約35cm間隔(1本につき10片)で採取した試験片(厚さ2cm)の含水率を全乾法により算出し、各材ごとに平均したものである(以上を〈方法1〉とする)。

第5図によると、水分計指示値と全乾法による含水率値との間にはある一定の傾向が認められるものの、 $y=x$ のような1:1の直線回帰を示していない。これは製作したセンサが示す特性によると考えられる。そこで本装置に用いた水分測定装置HG-100にそれぞれの樹種・材種(厚さ)ごとの補正式を測定前にセットし、指示値補正を実行させることとした。第5図に示された分布点より水分計指示値 x と全乾法による含水率値 y との関係を検討すると、特に y が50%以下においては曲線の相関が認められる。水分計測機器の機能上の制約によって6点の屈折点Pの x 座標値を便宜的に選び、屈折点を順次結んだ直線がそれら6点の x

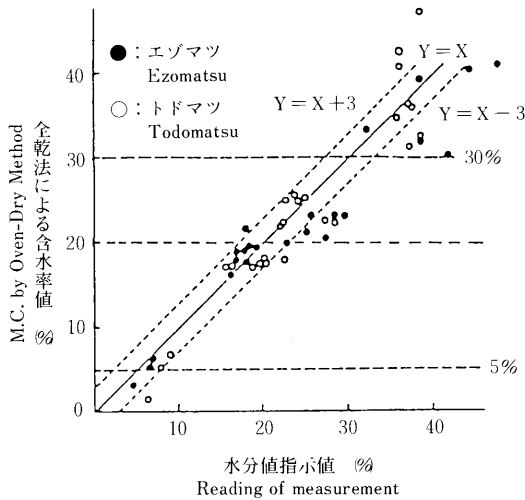
第1表 水分値補正用6点座標
Table. 1. The coordinate points for the revision of the reading of measurement value

補正座標 Coordinate of revision 樹種 材種 Species-Assort	P 1		P 2		P 3		P 4		P 5		P 6	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
E-板 Boards	1	0.5	3	13.0	7	18.0	15	21.0	31	26.0	63	42.0
E-平割 Planks	1	0.7	3	12.0	7	19.0	15	22.5	40	31.0	63	51.0
E-正角 Square timber	1	0.9	3	11.0	7	20.0	15	26.0	31	36.5	63	55.0
T-板 Boards	1	0.3	3	12.0	7	15.5	15	20.5	31	25.5	63	44.0
T-平割 Planks	1	0.5	3	11.0	7	18.5	15	20.5	40	30.0	63	55.0
T-正角 Square timber	1	0.7	3	10.0	7	14.0	15	21.0	31	30.5	63	50.0

注) 板厚き25mm, 平割厚き50mm, 正角厚き120mm。Eはエゾマツ, Tはトドマツを示す。
Note) Assortment thickness : Boards =25mm, Planks =50mm, Square timbers =120mm
Species : E = Ezomatsu, T = Todomatsu

座標値で区切られる5区間において相関性の高い回帰直線(検量線)となるようなY値を検討した(第1表)。このようなPの座標値を各樹種・材種別に作成し,水分計測機器に水分値補正用の座標値としてあらかじめセットしておくことによって水分計測機器の自動補正機能として実行させた。

この補正用座標値を用い,常温下の静止状態で水分測定精度試験を行なった結果を第6図に示す。全乾法による含水率値は〈方法1〉により算出している。第6図より,本装置が対象としている含水率5~30%において,水分計指示値は全乾法による含水率値に対してほぼ8割のデータが±3%の範囲内に収まっていると認められる。

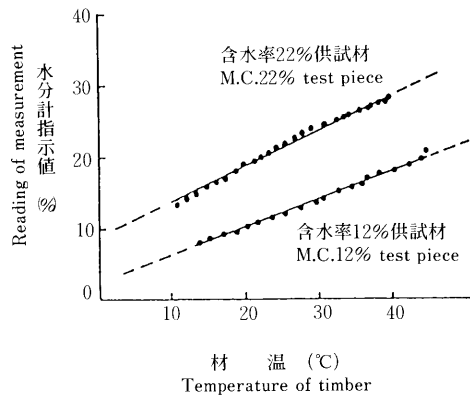


第6図 補正後の測定データ(105mm正角材)
Fig. 6. Measured data after revision (105mm Square timber)

4.2 材温についての補正

高周波抵抗式の水分センサは温度の影響を受ける。測定環境は常温(20℃)を前提としているが,本装置はあらかじめ測定環境の温度(材温)を水分計測機器に入力しておくことによって,製材の温度が高温(人工乾燥直後)や低温(冬期)の場合でも,材温の影響を補正した「真の水分値」を直接画面に表示することが可能である。

基礎試験として,材温を約70℃に調整した供試材を気温約0℃の環境にセットした本装置のセンサに載せ,自然に材温が下がっていく経過中の水分計指示値を読み取り,材温と水分計指示値との関係を調べた。試験の結果を第7図に示す。第7図はエゾマツの厚さ25mm供試材の結果である。この図より,水分計指示値は材温の影響によって直線的に変化することがわかる。



第7図 材温と水分計指示値の関係
Fig. 7. Relationships between temperature of timber and Reading of measurement on moisture sensor

基礎試験の結果を踏まえた上で実際の材混補正を考
えることにした。まず、水分計測機器からの信号を前
述(4.1項)の樹種・材種の補正によって、"仮の水分
値"として算出する。この"仮の水分値"はその時の
測定環境(材温)が常温であればそのまま"真の水分
値"であるが、常温と温度差がある場合は以下の式に
よって温度補正係数(1式)および温度補正後の
水分値(2式)を算出し、"真の水分値"とする。

$$K = 0.01212 \times M - 0.01827 \dots \dots \dots 1$$

$$U = M + (20 - T) \times K \dots \dots \dots 2$$

K: 温度補正係数

M: 樹・材種補正後の"仮の水分値" (%)

U: 温度補正後の"真の水分値" (%)

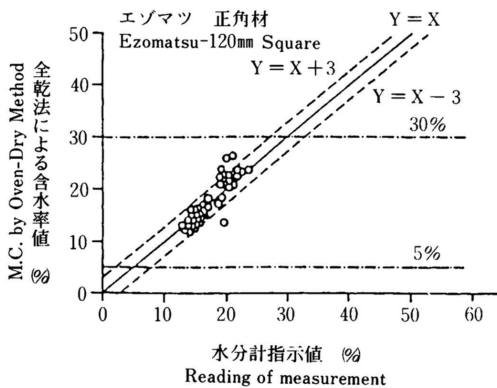
T: 材温度()

本装置ではこれらの温度補正処理をROM演算処理
とし、基盤を水分計測機器に付与することによって自
動計測を可能にした。

5. 本装置の測定精度

5.1 連続水分測定試験

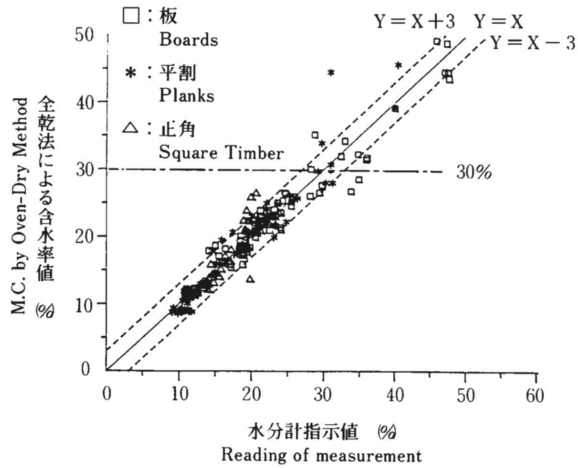
本装置の実用化ラインを想定し、連続運転における
測定精度試験を実施した。対象とした樹種は、北海道
において建築用構造材として主流であるエゾマツ、ト
ドマツで、人工乾燥材である。材種は板材(断面寸法mm
: 厚さ×幅=25×120)・平割材(同=50×150)・正



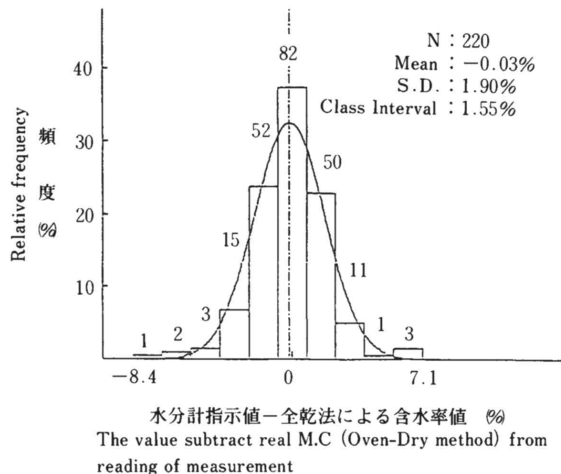
第8図 連続水分測定試験結果
Fig. 8. Relationships between reading of continuous
measurement on moisture sensor and M.C.
by Oven-Dry Method

角材(同=120×120), 材長はすべて3,700mmである。

測定精度とは、水分計指示値と全乾法による含水率
値との比較である。このためにまず、本装置で連続水
分測定を行い水分計指示値を把握する。全乾法による
含水率は、連続水分測定の終了直後、<方法1>(4.1



第9図 連続水分測定試験結果(全測定値)
Fig. 9. Relationships between reading of continu-
ous measurement on moisture sensor and
M.C. by Oven-Dry method (All datas)



第10図 連続水分測定精度ヒストグラム
Fig. 10. Histogram of the difference between real
M.C. (Oven-Dry Method) and M.C. values
obtained from the continuous measure-
ments test

注) 処理対象: エゾマツ・トドマツの板・平割・正角材, 全乾法
による含水率30%以下
Note) Managed condition: Boards, Planks, Square timbers
each of Ezomatsu and Todomatsu
30% M.C. (Oven-drying method) or less

第2表 連続水分測定試験による測定精度の区間推定結果
 Table 2. Statistically estimated ranges of preciseness of moisture content values obtained from the continuous measurements test

樹種 Species (材種) (Lumber types)	本数 Numbers	平均値(%) Average	標準偏差(%) Standard Deviation	信頼度90% Confidence interval 下限～上限(%) Lower ~ Upper
エゾマツ・トドマツ Ezomatsu・Todomatsu (板・平割・正角) (Boards・Planks・Square timbers)	220	-0.03	1.90	-3.1~3.1

注) 処理対象条件を全乾法による含水率30%以下とした。

Note) Managed condition has made 30% M.C. (Oven-Drying method) or less

項参照)と同様な方法で算出した値である。なお試験は常温状態でを行い、連続運転の送材速度は25～30m/minの範囲で行った。

試験結果の一例(樹種:エゾマツ, 材種:120mm正角材)を第8図に示す。また、樹種・材種の区別なしにまとめた結果(測定本数:220本)を第9図に、その場合の測定精度(水分計指示値-全乾法含水率値)のヒストグラムを第10図に示す。ただし、ヒストグラムの測定データは、全乾法による含水率値が30%以下のものを対象とした。このヒストグラムは統計的検定の結果、正規分布とみなせることから、測定精度の信頼区間を推定した結果を第2表に示す。信頼度90%の両側検定における測定精度の信頼限界は、含水率値で±3.1%の範囲となり、当初の開発目標をほぼ達成することができた。ただし、高含水率材や厚い材の場合、内部水分のバラツキが大きくなるために測定精度は低下することが認められた。

しかし一般建築用の乾燥材を対象とすれば、本装置は実用上十分な測定精度を有するものと判断できる。

5.2 送材速度の影響

本装置の搬送部における送材速度はインバータ制御によって5～70m/secが設定可能である。センサ上を通過している時間は、長さ3.7mの製材を低速時5m/secで搬送した場合が約43秒、高速時70m/secの場合が約3秒となり40秒の差がある。しかしセンサの測定回数は約8回/secなので、最高速70m/sec時においても1材(長さ3.7m)につき24回の測定回数を確保できる。これは長さ方向に平均約15cm間隔で計測したことになり、長さ方向における水分のバラツキが

顕著な場合でも、送材速度は測定精度に影響を与えないと考えられる。

6. おわりに

本装置の仕様について第3表に示す。本装置はこれで一心の完成となったが、今後実用機として一般に稼働させるための必要条件として以下の課題を整理する。

(1) センサの耐久性・精度の保持

水分測定中に木粉・塵などがセンサ電極上に付着した場合、あるいは何らかの原因で電極が汚れたり摩擦した場合に測定値の信頼性は低下する。本装置ではこれらの対策としてエアージェンを設置し、センサ上を製材が通過した後に木粉・塵を吹き飛ばすことにした。またセンサ電極の摩擦に対しては、電極保護被覆剤の強化、あるいは電極自体の脱着取り替えが簡単にできるように改造し対処した。しかし本装置の性能を維持し、信頼において水分管理を行うには、センサの耐久性をより向上させる必要がある。また、測定精度の保持には水分センサの保守・管理を充分に行っていくことが求められる。

(2) 作業性の改善

現状における本装置への測定材の挿入は人手によるものである。本装置で大量の製材を処理しようとするとき、人が製材を稼働中のコンベアに置く必要があり、特に長い製材を扱う場合には所定のセンサ位置へ確実に搬送できない状況が起こり得る。今後の課題としては、作業者が製材に手を触れずに測定装置へ挿入でき、測定後の振り分けした材の扱い(仕分け・搬送)などを含めたラインとして自動化させることができれば作

第3表 連続型自動水分測定装置仕様
Table 3. Specifications of continuous automatically system for measuring moisture content

項目 Item	仕様 Specifications	項目 Item	仕様 Specifications
製材厚さ Timber thickness	約10~150mm	測定精度 Preciseness of measuring M.C. value	全乾法含水率±3.1% M.C. by Oven-Dry method ±3.1%
幅 width	約80~300mm		
長さ length	約180~400cm	水分補正因子 Factor of revision from measuring value	樹種・材種・材温 Wood species・size・temp.
適応樹種 Adjust species	エゾマツ・トドマツ (その他、対応可能) Ezomatsu・Todomatsu (Possible to measure for other species)	水分センサ Moisture sensor	高周波抵抗式 High frequency resistance type 周波数 0.7MHz Frequency 0.7MHz
測定含水率範囲 Range of measure for M.C.	約5~35%対象 Target for M.C. 5~35%	測定回数 The number of measuring times	約8回/秒 8 times/sec.
送材速度 Speed of transporting the timber	約5~70m/sec.	振り分け区分 Allotting classification	適材・過・未乾燥 Match drying・over drying・insufficiency drying

業効率が向上し、作業性は改善されるであろう。

(3) 適応樹種・材種

本装置の適応樹種は第3表のとおり、道内の主要産材であるエゾマツ、トドマツである。現在、4.1項で述べたような水分計指示値の補正のための解析用常数値(検量線)が登録してあるのは、上記の2樹種(単独・混材)およびそれぞれの材厚さ25・50・120mmの9種類である。本装置の水分測定機器には検量線を100種類まで登録することができる。今後、このような検量線を種々の樹種・材種に対して作成し登録すれば、より多くの乾燥材に対して精度の高い水分管理が行える。

(4) 製作費について

本装置の製作費を概算すると約730万円になったが、一般市場で普及するためには少なくともその半分以下が目標であろう。

年々、製材品の人工乾燥に対して関心が高まっており、木材の水分管理を行うことによって木材の品質を向上させる取り組みが関係各方面で行われている⁵⁾。乾燥材の水分管理技術を効率化・自動化することは、作業効率の向上・コストダウンなど時代の要請に応える必要不可欠な技術であろう。また信頼のおける精度で水分管理を行うことは、材料としての木材品質を一層高め、貴重な木材資源の有効利用、さらには木材産業の発展につながると考える。

7. 謝 辞

本研究は昭和61年度~平成2年度・中小企業庁地域技術活性化事業費補助・地域システム技術開発事業の一環として行ったものであり、本装置開発にあたっては十勝システム技術開発研究組合のご協力をいただいたことを、この場を借りて感謝の意を表する。

文 献

- 1) 財団法人住宅・木材技術センター：調査事業報告書〈建築用木材の乾燥に関する調査〉、92-101(1988)
- 2) 財団法人北海道林産物検査会編：針葉樹の構造用製材の日本農林規格並びに解説、29-30、69-71(1991)
- 3) 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部要素技術研究成果報告、89-166(1991)
- 4) 菅谷恵美子ほか2名：日本木材学会北海道支部講演集、23、49-52(1991)
- 5) 財団法人日本木材加工技術協会関西支部：木材用水分グレーダーの開発研究会報告書(1990)

—技術部 乾燥科—

—*1 東京大学農学部—

—*2 ランバーシステムコンサル—

(原稿受理 H5.8.2)