

コンピュータによる木材乾燥 操作の自動化 (第1報)

- 自動化の考え方と試作システムの概要 -

信田 聡 千葉宗昭
奈良直哉

A Computer - Controlled System for Operating Kiln - Drying ()

- Conditions of a Practical System and an outline of a
prototype one -

Satoshi SHIDA
Naoya NARA

Muneaki CHIBA

The present studies aim to develop a microcomputer - controlled automation system for operating kiln - drying. This paper reports on conditions such a control system must meet to be of practical use. It also reports on an outline, and the performance, of a prototype one. The system was controlled, with considerably good results, by a programmable controller which incorporated a continuously - changing drying schedule. Further studies are being made on developing a usable sensor to measure the moisture content of lumber and on improving the program - mable controller so that it can be popularized. The basic conditions for the computer - controlled system are as follows:

- (1) The system can be operated in the same way as the conventional kiln - drying. In other words, temperature and humidity can be controlled according to the moisture content of sample boards.
- (2) A continuously - changing schedule, and not a stepwise - changing schedule, can be applied to the system.
- (3) The sensor measures the weight of sample boards in a load - cell manner.
- (4) The initial cost of the system should be as low as possible; less than 500,000yen per kiln.
- (5) At present, one system should control five kilns.

簡易なコンピュータを用いて、木材乾燥操作の実用的な自動化システムの開発を進めているが、この報告では、主にシステムに関する考えかたを示した。さらに実験室規模の試作システムを作成して行った制御試験の結果も一部示した。連続変化型の含水率スケジュールを組み込んだコントローラによって、おおむね良好な制御結果が得られた。今後は実際の乾燥室の自動化を目指し、実用的な含水率センサの開発、コントローラの普及型仕様への改善を行い、これらによる制御試験を行う。自動化システムに関する基本的な考えかたは、以下のとおりである。

- (1) 従来の含水率スケジュールを基本とする熱気乾燥法の操作法に準じたシステムとする。
- (2) 含水率スケジュールは、コンピュータ制御用に連続変化型スケジュールとする。
- (3) 含水率センサはロードセル方式とし、コントロール材の重量測定を行い、含水率を推定して制御する。
- (4) システムコストはできるだけ安価となるようにする(1室あたり50万円以下)。
- (5) 現時点では、乾燥室5室についての制御システムとする。

1. はじめに

木材の人工乾燥は近年様々な種類の乾燥法・乾燥装置が使用されるようになってきた。最もポピュラーであり、かつ乾燥技術、操作法の整っているのは蒸気式のインターナルファン形式の乾燥室による熱気乾燥法である。この乾燥法では木材の含水率の変化に応じて乾燥室内の温湿度を調節しながら乾燥を進める、いわゆる含水率スケジュールを採用する操作法が広く普及している。

本研究では、この熱気乾燥法のうち乾燥操作に関して、コンピュータを用いて自動化を図ることを目的としている。すなわち、現在の含水率ステップ型スケジュールについて温湿度の段階的变化部分を連続的に変化させるスケジュールを採用し、スケジュール選択を自動的に行い含水率の変化に合わせた温湿度スケジュールの刻々の条件変化を自動的に制御する方式を考える。含水率スケジュールを使用するシステムでは含水率の測定に用いるセンサの良否が問題であるが、現状では実用面、コスト面を考慮すると、木材重量の経時的変化を連続的に測定するロードセル方式を採用することが考えられる。

さらに、実際の乾燥工程では、調湿、蒸煮、冷却などの工程も場合によっては加味する必要があるのでこれらについても制御の対象とする。

このほか、完ぺきな乾燥操作の自動化を考えると、様々な方法が付加されなければならない。例えば、割れ発生を防ぐことを考えた制御をするためにAE(アコースティックエミッション)を利用するもの¹⁾²⁾、あるいは乾燥応力を測定しながら乾燥条件を制御するもの³⁾⁻⁵⁾、さらに省エネを考慮して、ファンの風量を制御すること⁶⁾、などは有望である。しかし、乾燥において目指すことは、木材を安価に仕上がりが良く

乾燥することである。仕上がりを良くするだけであれば、自動化システム自身のコストに糸目を着けずに開発することができるが、実用的に必要十分であれば良いという考え方を重視したい。安く乾燥するためには自動化システムが備えるべき必要条件とコストを十分に検討しなければならない。

以上を考慮して、本研究では、従来のスケジュール体系を生かした自動化に適するスケジュールを検討し、含水率を基本とする乾燥操作の自動化をめざした普及型システムの開発に重点をおくことにする。今回は、システムの考え方と実験室規模のシステムの試作について報告する。

2. 自動化システムの必要条件

自動化システムの基本的な必要条件について考えてみると、

- 1) 含水率が適正に測定できるセンサを備えていること
- 2) 無駄のないスケジュールが準備されていることあるいは追加できること
- 3) 既設乾燥設備に容易に付加できること
- 4) 取り扱いが簡便であること
- 5) システム価格を安価に押えられること
- 6) 制御の精度が十分であること
- 7) メンテナンスが容易であること

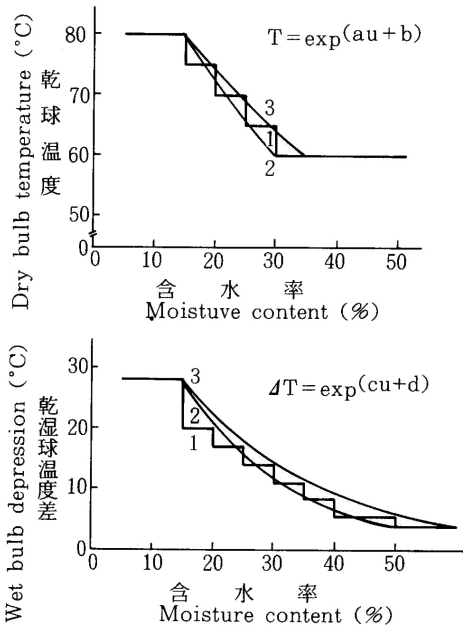
などがあげられる。

1)に関しては、乾燥研究者及び技術者が今昔を問わず関心を寄せているテーマである。現場での含水率チェックには正確な全乾法よりも電気式含水率計(直流抵抗式、高周波誘電率式)が多く用いられている。自動化のための含水率センサとして含水率計を使用することは、比較的安価であるため使用の範囲を限定し

て使えば導入できる可能性が大きく実際にシステムの中で使用している例もある⁷⁾。しかし、木材の乾燥中の含水率変化範囲(数%~百数十%)すべてにわたり正確な測定精度を満たす含水率計は現段階においては無いといっても過言ではない。とくに、測定する材の形状にもよるが高い含水率域では精度が悪い⁸⁾。

含水率を測定する方法では、全乾重量法が最も正確であるが、この方法を使用する場合にはセンサとして、材の重量を測定する機器が必要である。また乾燥前に含水率を推定して、材の全乾重量をあらかじめ求めておきコントローラにインプットしておく必要がある。具体的にはロードセルを使用することが考えられるが、従来の研究では乾燥室内の高温高湿の環境下で繰り返し使用される場合のロードセルの精度安定性が不十分であることが指摘されている⁹⁾。しかし、ロードセルの実用性は高く、精度も改善されているので使用できるものも実現しつつあると思われる。市販の通常のロードセルの使用温度最高限度はおよそ60~80¹⁰⁾であるが、これでは乾燥室内での使用には不安がある。しかし、高温用のロードセル(100~150)も発売されているので、まずはこれらを採用することが可能であろう。

2)に関しては、含水率スケジュールとしての体系が確立されているので、このスケジュールを基本にして、連続変化型のスケジュールを作成する。本研究において基本とするスケジュールは、F.P.Lのまとめたスケジュール表¹¹⁾であるため温度の上昇時期が含水率30%時点となり、安全側である。したがって、実用的にはさらに早い時点で温度を上昇するスケジュールをたてることができる。また天然乾燥材を人工乾燥する場合のスケジュールも考慮する必要がある。本システムでは連続変化部の乾球温度(T)、乾球温度差(ΔT)の変化曲線は、指数関数($T = \exp(au + b)$)
 $\Delta T = \exp(cu + d)$)を考えている。これらの式の中のa,b,c,dは連続変化部の初めと終わりの温度、温度差から求めた定数、またuは含水率である。スケジュールの1例を第1図に示した。図中の1は従来のステップ変化型スケジュール、2と3は連続変化型のスケジュー



第1図 乾燥スケジュールの例
Fig. 1 Examples of drying schedules

1. ステップ変化型含水率スケジュール (Conventional type)
2. 連続変化型含水率スケジュール (Continuously changing type)
3. 連続変化型含水率スケジュール (Continuously changing type)

T: 乾球温度() T: 乾球温度差()
u: 含水率(%) a, b, c, d: 定数
T: Dry bulb temperature()
T: Wet bulb depression()
u: Moisture content(%)
a, b, c, d: Constant.

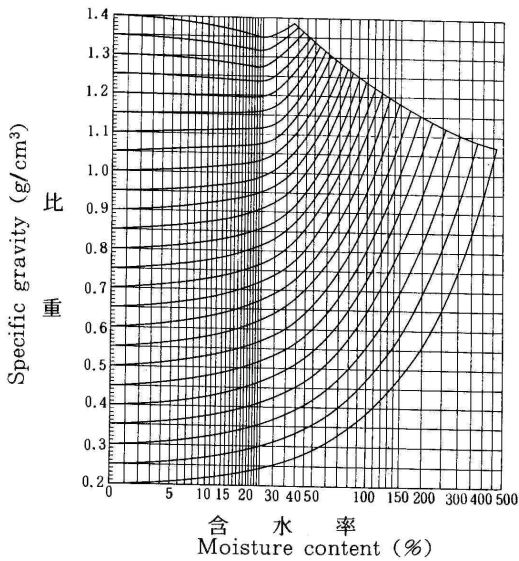
ールである。

3)に関しては、自動化システムを導入するために既設乾燥室の改造費があまり必要でないことが重要になる。また含水率測定のためのセンサは簡易なものが要求されることになる。本システムでの含水率測定は重量測定を基本にしているため、何らかの形で木材の重量測定をしなければならないが、この場合、従来のマニュアル操作と同じ方法、つまりサンプル材の重量測定を行うことを考え、これを連続的に行えるセンサを使用することが適当であると思われる。

一方、乾燥台車上の積積み材の全重量を測定する方法もあるが、この方法は、積積み材全部の平均的な乾燥経過を指標として制御が行われるため、正確に行え

ば極端な間違いは生じないが、センサとしての価格、付設するための費用がサンプル材のみの測定による方法に比べ割高となるものと思われる。またこの場合も制御に関して含水率を推定する必要があるが、サンプル材の含水率の推定と同じ方法をとるか、あるいは棧積み材の全重量と材積から比重を求めて、含水率と比重の関係を現す図⁽²⁾ (第2図)や、この関係をコンピュータ制御しやすいように、これを数式化したもの、例えば(1),(2)式⁽³⁾をコントローラにインプットしておき、比重から含水率を推定してゆく手法をとる。すなわち、あらかじめ樹種の全乾比重と乾燥室内の材積を初期設定時にインプットしておいて乾燥前の重量をロードセルによるセンサで測定し、この値と材積から逆に初期の比重を求め、その比重に対する含水率を計算し棧積み材全体の初期含水率、全乾重量を推定することになる。しかし、樹種の全乾比重を適切に選ぶ必要があり、また棧木その他、材以外の余分に測定している重量を差し引くこと等がある。したがって、従来のサンプル材の含水率をもってそのロット全体の含水率を代表させる方法と比較すると、どちらが正確になるかは疑問である。

4) に関しては、まず含水率センサ部とコントロー



第2図 木材含水率と比重の関係⁽¹⁾
Fig.2 Specific gravity-moisture content diagram⁽¹⁾

木材比重から含水率を求める簡便式⁽³⁾
Simple equations for predicting moisture content from specific gravity. ⁽³⁾
繊維飽和点以下の場合
For the under fiber saturation point .

$$u = \frac{\rho_u - \rho_o}{\rho_o (1 - \rho_u)} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

繊維飽和点以上の場合
For the upper fiber saturation point .

$$u = \frac{(100 + u_{fsp} \rho_o) \rho_u}{\rho_o} - 100 \dots\dots\dots(2)$$

- u : 含水率 (%)
- Moisture content (%) .
- o : 全乾比重
- Specific gravity in oven - dry .
- u : 含水率u%時の比重
- Specific gravity at a u % of moisture content .
- Ufsp : 繊維飽和点 (%)
- Fiber saturation point (%) .

ラ部の操作性が良いことが要求される。含水率センサは棧積み材の中にセットしてその上にサンプル材を置き重量を測定する方式を考えているが、センサのセット、出し入れの簡便性が必要であり形状としてはなるべく小型なもの、また重量も軽いものが良い。とくにセンサの厚さはなるべく薄いものが良く、そのためにはセンサ部に組み込まれるロードセル自身の厚さが薄いことが要求される。現在までのところ市販のロードセルでは、かなり薄いものがあるが、この場合は高温条件下で使用することに不安を感じる。したがって、高温条件下で使用できるタイプを考えるが、この場合は厚さが前者よりも厚くなり、センサの全体の厚さが50mm程度になる。今後薄型で高温用のセルの開発が望まれる。

コントローラの操作性の善し悪しについては、運転前の初期設定、とくにスケジュール決定に必要な項目の設定また調湿、冷却、蒸煮等の項目の設定が必要となるが、従来のマニュアルでの乾燥操作の流れに準じて簡単に設定でき、かつ、設定する項目が少ないことが良い。また乾燥中の乾燥経過、温湿度状況等必要なデータがモニターできることがベターである。

5) に関しては、どこまで乾燥の自動化のために投資できるかという問題になるが、システムのコストを安価にするためには、センサ部のコストダウン、コン

トローラのコストダウン, 1つの自動化システムで制御する乾燥室の数を多くすることなどを考える事が必要になる。現在考案しているシステムは乾燥室1室につき50万円以下をめざしている。この額が妥当であるか否かは, 議論のあるところではある。

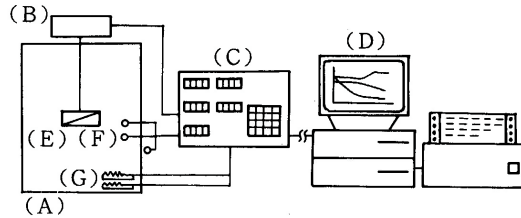
6) に関しては, システムとしては主に含水率の測定誤差の大小が問題となる。したがって, ロードセルの温度特性, クリープ特性, これらに關係した秤量精度が中心となる。乾燥室内での使用は繰り返しの温湿度の変化が長時間にわたり継続するため, 耐久性が最終的に確認されなければならない。これは今後の課題であるが, 今回考案している市販の圧縮型ロードセルの非直線性は0.5%RO〔校正曲線の無負荷出力と定格負荷出力とを結ぶ直線との最大偏差を定格出力(Rated Output: RO)に対する百分率で表したものである。〕であり測定時点の材の重量に対して0.5%の精度がある。例えば, サンプル材の重量が5kgとして, このときの含水率が100%である場合, 含水率1%は水分25gで, 精度0.5%は $500g \times 0.005 = 25g$ となり, 含水率1%の精度になる。一方, ビーム型のロードセルの非直線性は0.05%ROで圧縮型よりも10倍の精度があるが, 使用温度範囲がいま一步であるため信頼性に欠ける。しかし, 精度に最も影響するのは, サンプル材の含水率によってロット全体の含水率を推定しながら乾燥を進行することになるので, 従来の操作と同様にサンプル材の適切な選択がされるかどうかである。

7) に関しては, 制御機器の交換修理が可能であることが必要で, 具体的にはロードセルの交換, コントローラの部品あるいはソフトの変更などが必要に応じて行えることが望ましい。

3. 試作システムの概要

3.1 構成

実験室規模の試作システムの構成を第3図に示した。乾燥室にあたるものとして恒温恒湿装置(タバイエスベック社製, PL-2型, 内容積25リットル)を使用した。サンプル材の重量測定には, 恒温恒湿装置外



第3図 試作システム概略

Fig.3 Schematic diagram of the prototype automatic drying control system

- A: 恒温恒湿装置
Heating chamber
- B: 電子天秤
Electronic toploader
- C: コントローラ
Programmable controller
- D: パソコン(CRTディスプレイ, プリンター含む)
Personal computer with a CRT display, and a printer
- E: 被乾燥材
Sample lumber
- F: 熱電対
Thermocouples
- G: 温湿度制御用ヒーター
Electric heaters for control of temp. and humid. in the chamber.

部上方に上皿電子天秤(ザルトリウス社製, 1413MP8, 秤量500/5000g, 読みとり限度0.01/0.1g)をセットし, 床下秤量によりサンプル材(恒温恒湿装置内)を吊し重量測定を行う(写真1)。測定値は通信回線(RS232C)によってコントローラ(デスクシステム社製, 旭川市)に送られる。コントローラの仕様は第1表(7頁)に示すとおりである。このコントローラは, 恒温恒湿装置内の温湿度をモニターしつつ, 天秤からの重量データとあらかじめ入力しておいた全乾推定重量からサンプル材の含水率を計算し, その含水率状態における温湿度(乾球温度, 乾湿球温度差)をあらかじめ設定したスケジュールから判断し実際の恒温恒湿装置内の値と比較して, 異なっている場合は, 恒温恒湿装置内のヒーターあるいは温浴中の水中ヒーターに指令を出し温湿度を制御する。実際の乾燥室の制御の場合には, 重量測定は, ロードセルを用いたセンサを使用し, 乾燥室の温湿度の制御は, 乾球・湿球用の蒸気バルブの電動弁, 電磁弁及び吸排気筒内のダンパーの制御になる。

このコントローラの盤面には, 1)経過時間, 2)

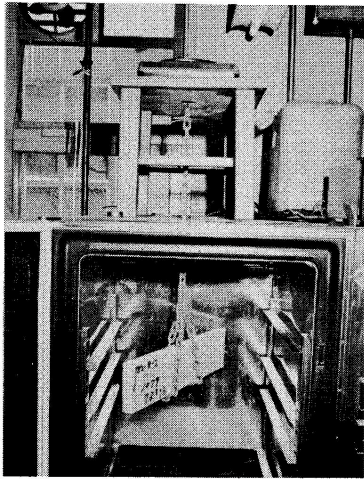


写真1 試作システムのサンプル材重量測定法

Photo.1 Method of lumber weighing in the prototype system.

上: 電子天秤

upper part: Electronic top loader

下: 恒温恒湿装置

lower part: Lumber in the heating chamber

乾球温度, 3) 湿球温度, 4) 含水率, 5) 恒温恒湿装置内の平衡含水率, 6) スケジュール別モード(現在のスケジュールタイプ)等のモニター用の7セグメントのLED表示及び, 7) スケジュール設定変更, 制御開始/停止用テンキー, 8) 電源スイッチなどが配置してある(写真2)。またコントローラはスケジュール試験用に試作してあるため普及タイプよりもスケジュールの種類が多く, 3種類のスケジュールが設定できるようにしてある。

1) タイムスケジュール

コントローラのテンキー入力あるいはパソコン〔16ビット, 富士通株, FM16 FDタイプ〕と接続して

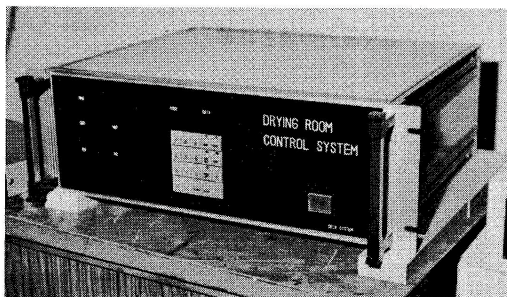


写真2 試作した制御用コントローラ

Photo.2 Programmable controller (prototype)

CRTディスプレイ上のスケジュール表の枠内に10段階までの時間, 乾球温度, 乾湿球温度差の組み合わせをキーボードから数値を入力して設定できる。

2) ステップ変化型含水率スケジュール

従来の階段型含水率スケジュールの設定を行える。設定方法は, 1)のタイムスケジュールと同じ。ただし, 時間のかわりに含水率範囲を入力する。

3) 連続変化型含水率スケジュール

2)のスケジュールの温湿度が変化する部分を連続的に指数関数で与えるスケジュールの設定を行うが, コントローラのテンキー入力では, 乾燥初期, 温湿度連続変化時期, 乾燥末期べつに含水率範囲, 温湿度, 指数部の係数を入力する。パソコンを接続した場合は, 初期設定項目として, 針葉樹/広葉樹別, 樹種名, 厚さ, 初期含水率, 仕上がり含水率, 初期重量, 蒸煮の有無及び条件, 調湿の有無及び条件, 冷却の有無をCRTディスプレイ上に会話形式で入力することによって, スケジュールは自動的に決定されるものとしてある。

制御はコントローラによって行われるが, パソコンとの接続により, 制御試験の初期設定, スケジュール自動選択, データ処理, 監視がより効果的に行える。すなわち, 乾燥経過のグラフィック表示(乾球温度, 湿球温度, 含水率, 相対湿度), 現時点のデータ表示(乾球温度, 湿球温度, 含水率, 乾湿球温度差, 相対湿度, 平衡含水率, 経過時間, 木材重量), 及び初期含水率, 仕上がり含水率, スケジュールタイプなどがCRTディスプレイに表示される。またプリンターには乾燥終了後, 経過時間, 乾球温度, 湿球温度, 乾湿球温度差, 相対湿度, 含水率, 重量, 平衡含水率が設定されたデータ取り込み時間ごと, 及び一定含水率低下ごとの全データがプリントできる。ディスプレイに描かれた, 乾燥経過曲線は, ハードコピーによりプリンターにコピーすることができる。さらにコントローラに記憶されたデータは, パソコンの記憶領域へ転送されフロッピーディスクにコピーして保存される。

3.2 乾燥操作工程の流れ

第4図には, 試作システムにおける, 制御の流れを

第1表 試作コントローラー仕様
 Table . 1 Specification of the prototype controller

C P U	C P U	8085 (8 bit CPU)	
	R O M	main program : 8 K byte, subprogram : 8 K byte	
	R A M	system memory : 4 K byte (back-up by battery)	
M E M O R Y & T I M E R	R A M	user's memory : 32 K byte (back-up by battery)	
	T I M E R	CMOS timer with calender (back-up by battery)	
	memory and timer with a monitor of line voltage		
I N T E R F A C E (R S)	R S for personal computer	baud rate	9600 BPS
		word length	8 bit
		parity	even parity
		stop bit	2 stop bit
	R S for erelectronic toploader	baud rate	1200 BPS
		word length	7 bit
parity		odd parity	
I N D I C A T O R	T I M E	7 segment LED, 5 digits indication	
	D A T E	"	, 6 "
	M O D E ^{a)}	"	, 2 "
	D B T	"	, 4 "
	W B T	"	, 4 "
	R. H. ^{b)}	"	, 4 "
	M. C. ^{c)}	"	, 4 "
K E Y B O A R D	ten keys	0~9	
	function key	8 keys	
S E N S O R S F O R T E M P.	A D	CMOS, 12 bit, A/D converter	
		input : 3 channels (sensor : Pt 100 Ω) 1 ch. : for dry bulb temperature 2 ch. : for wet bulb temperature 3 ch. : for open air temperature	
C O N T R O L O F H E A T I N G C H A M B E R	D A	8 bit (high speed), D/A converter	
		output : 2 channels (output by voltage) 1 ch. : for dry bulb temperature 2 ch. : for wet bulb temperature	

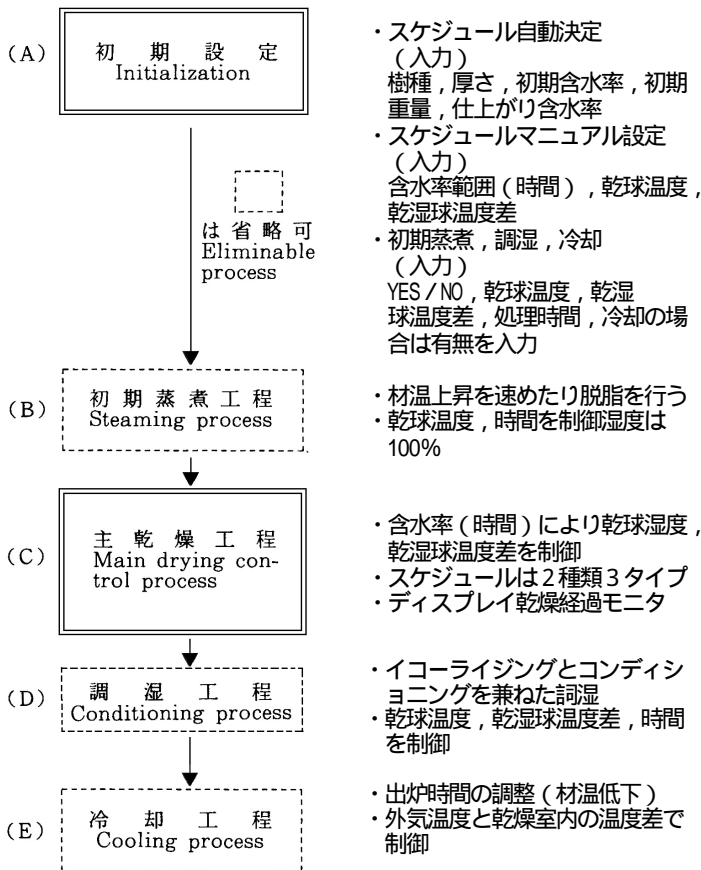
a) Schedule type. b) Relative humidity. c) Moisture content.

示した。すなわち、初期設定、初期蒸着工程、主乾燥工程、調湿工程、冷却工程の各工程から成りたっている。

実際の乾燥操作のうち、乾燥する材の種類・用途によっては上記の各工程のうちで初期蒸着工程、調湿工程、冷却工程については省略することもあるが、初期設定と主乾燥工程は必ず入るものである。

3.2.1 初期設定

従来の乾燥操作では、乾燥を始める前には、サンプル材の選択・作製(初期含水率の推定、全乾重量の推定)、スケジュール作製及び仕上がり含水率の決定、調湿の有無、脱脂(蒸着)の有無、冷却の有無などを決定し乾燥日誌の準備を行う。本方式で自動化を行う場合にも初期設定を必要とする(第4図のA)。コントローラとパソコンを接続し、乾燥スケジュールとして、連続変化型含水率スケジュールを採用することを



第4図 乾燥操作の自動化工程
Fig. 4 Process of the automatic drying control system.

前提とした場合, 初期設定において, 1) 初期含水率, 2) 初期重量, 3) 推定全乾重量, 4) 仕上がり含水率, 5) 針葉樹/広葉樹の別, 6) 材厚, 7) 樹種は最低必要とする。さらに調湿, 冷却, 蒸煮を行うか否かを選択する。1) から7) までを入力すると, これらの条件に合うスケジュールがコンピュータのメモリに記憶されているスケジュール表から自動的に呼出され決定される。調湿, 冷却, 蒸煮を行わない場合にはスタートと同時に乾燥が始まり終わりまで制御が進行する。

またコントローラにはサンプル材の重量測定, 乾燥室内の温湿度, 外気の温度のデータ取り込み時間(連続~9999分)の設定も行う。

3.2.2 初期蒸煮工程

初期設定でこれを行うと設定した場合に脱脂効果をねらって主乾燥工程の前に行う工程である(第4図B)。すなわち, 乾燥初期の材温の上昇速度を速めたり, カラマツなど樹脂分の多い材は高温高湿処理によって脱脂効果が期待できるためこの処理を行うが, 原則として初期設定時に処理温度, 処理時間を入力しておく。湿度は100%とする。したがって, 乾湿球温度差は0度差となる。

3.2.3 主乾燥工程

乾燥操作の自動化におけるメイン工程であるが(第4図C), この工程では, 初期設定時に決定されたスケジュールに従い, 重量測定値と推定全乾重量から含水率を計算し, スケジュールの含水率レベルとこれを比較して, 乾燥の進行程度を確認し, スケジュールの示す乾球温度, 湿球温度を指令し, 乾燥室内の温湿度を制御するものである。サンプル材重量読み出し時間(連続~9999秒)及びデータ取り込み時間のインターバル(連続~9999分)は初期設定時にコントローラに入力しておくが, 乾燥途中でも設定変更はできる。

3.2.4 調湿工程

主乾燥工程が終了した後に初期設定時に調湿を行うと設定した場合に行われる(第4図D)。調湿工程の考えかたはイコーライジングとコンディショニングを兼ねた形を考えた。したがって, イコーライジングとコンディショニングの2つの工程別に温湿度, 処理時間をそれぞれ設定するようにはしていない。すなわち, サンプル材の含水率平均値が仕上がり含水率よりも2%低くなるまで乾燥して, その後仕上がり含水率よりも2~3%高い平衡含水率の条件にあたる温湿

度条件を標準としている。具体的には初期設定時に、1)乾燥温度、2)乾湿球温度差、3)処理時間を入力しておき、これに従って制御される。調湿時間については厚さ2~3cmにつき6から15時間¹⁴⁾で終了することを目安としている。制御しやすい形としては、例えば材厚さ1cmあたりの処理時間を2時間と決めて制御する考えかたもある¹⁵⁾もっとも、適切な調湿時間を決めるには、乾燥応力の測定を自動的にを行い、応力が抜ける時期を適切につかみケースバイケースで調湿終了時期を決定できることが本質的には必要になる。こうした制御については、本システムでは考慮していない。

3.2.5 冷却工程

初期設定において設定した場合に乾燥終了した材を冷却し出炉するまでの時間を制御する(第4図E)。すなわち、乾燥後の材温度と外気温度の差が大きい場合、乾燥終了後即座に材を出す、急激な温度変化によって材に損傷が生じる場合がある。これを防ぐために、冷却した後乾燥室から出すことが必要になる。このために行う工程である。具体的には、乾燥終了後の冷却時間を設定し、これを基準に制御することが考えられる。本システムでは、コントローラに、乾燥室内の温度(乾球、湿球)以外に外気温も入力しており、便宜的に乾燥温度と外気温の差を調べその差が20度以下¹⁶⁾になる時点までの時間を冷却時間としている。冷却中は乾燥室の吸排気筒のダンパーを開き、ファンを運転し冷却を行い、理想的には、仕上がり含水率が平衡含水率となるような条件を保ちながら冷却してゆることが望まれる。その場合は、乾燥室内の平衡含水率を温湿度から計算し、それに合う乾湿球温度を保つように湿球温度の制御を行う必要がある。このためには、平衡含水率を求めるセンサ¹⁷⁾あるいは乾燥室内の温湿度から平衡含水率を求めるための数式、例えば(3)式¹⁸⁾等を利用する必要がある。

実際の乾燥操作の自動化については以上の工程以外にもさらに充実させるために配慮すべき点があるが、これらの工程を基本として開発してゆく事は、もっともオーソドックスな進めかたであると思われる。と

温湿度からの平衡含水率の推定式¹⁸⁾
Equation for predicting EMC from
temperature and humidity. ¹⁸⁾

$$EMC = \left(\frac{k_1 k_2 h}{1 + k_1 k_2 h} + \frac{k_2 h}{1 - k_2 h} \right) \frac{1800}{M} \dots\dots\dots(3)$$

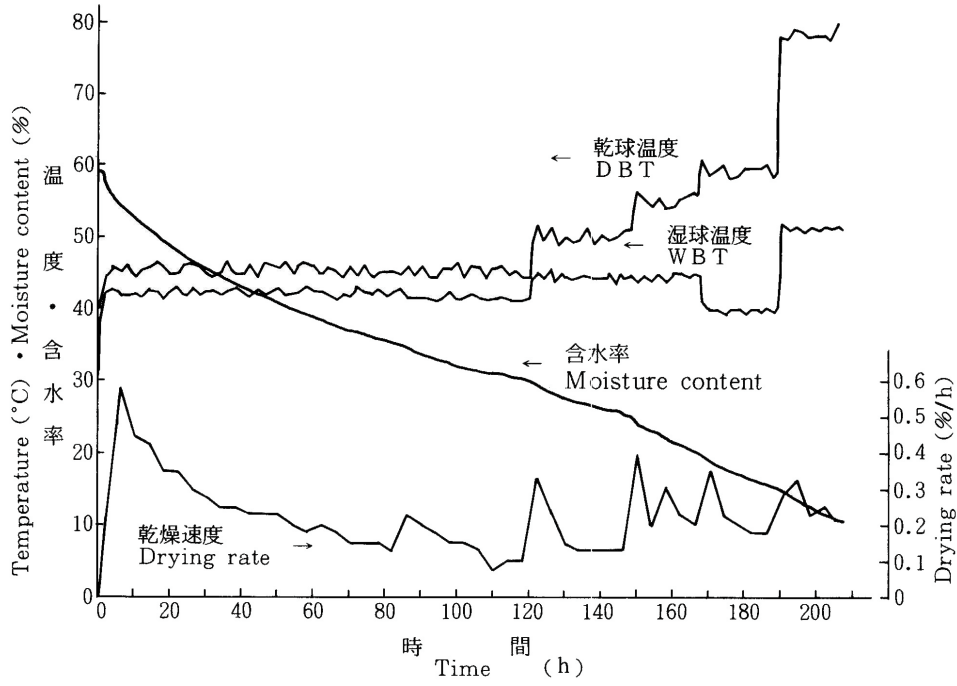
EMC: 平衡含水率(%)
Equilibrium moisture content (%)
h: 相対湿度(%) / 100
Relative humidity (%) / 100
k₁: 3.73 + 0.03642 · F - 0.0001547 · F²
k₂: 0.674 + 0.001053 · F - 0.00001714 · F²
M: 216.9 + 0.01961 · F + 0.00572 · F²
F: 華氏温度(°F)
Temperature in Fahrenheit (°F)

くに含水率スケジュールを採用してゆくことは、従来完成され、実行されている操作法に準じる形であり実用的にも異和感の少ないところである。

4. 制御例

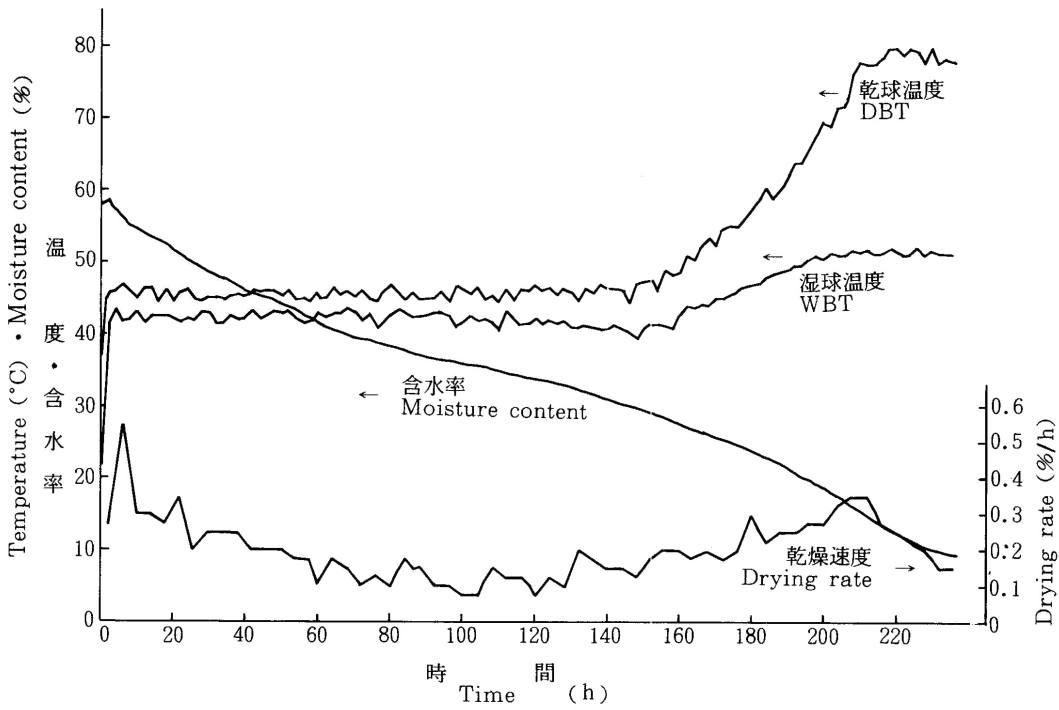
試作システムを使用して、制御した1例を紹介する。第5図、第6図には、それぞれ連続変化型含水率スケジュールを使用した場合とステップ変化型含水率スケジュールを使用した場合の乾燥経過図を示した。含水率、温湿度の測定インターバルは10分間隔としている。使用樹材種はミズナラ27mmの板材である。連続変化型を採用した場合はステップ変化型に比べて温湿度の変化が連続的であるため含水率が滑らかになる特徴がある。一方、ステップ変化型では条件変化時に一時的に乾燥速度が増すため含水率の低下も一時的に大きくなるがほどなく乾燥速度は小さくなるため含水率低下が鈍る。その結果含水率経過も折れ線状になる特徴がある。しかし、連続変化部の温湿度の与えかたをステップ型の温湿度条件に近い線と与えてあるため乾燥時間はほとんど同じになっている。乾球温度、湿球温度の制御幅が大きい、これは試作システムに用いた乾燥室(恒温恒湿装置)の制御がON/OFF制御であるため、実際の乾燥室では比例制御がとられるためかなり改善されるものと思われる。

制御に使用したコントローラ、スケジュールのソフトはほぼ良好に作動し、次のステップとして実際の乾燥室の制御に応用できることを確認した。



第5図 ミズナラ板材の乾燥経過(ステップ変化型スケジュールを使用した場合)

Fig. 5 Drying curve for white oak lumber controlled by a conventional drying schedule .



第6図 ミズナラ板材の乾燥経過(連続変化型含水率スケジュールを使用した場合)

Fig. 6 Drying curve of white oak lumber controlled by a conteneously changing schedule .

5. まとめ

本報告では、コンピュータによる木材乾燥操作の自動化を進めるに当たってのシステム開発指針と実験室規模の試作システムの概要について述べた。基本的な方針は、

- 1) 自動化を図る場合の操作方法は、従来の含水率スケジュールによる方法に準じることとする。
- 2) スケジュールはコンピュータ制御にふさわしく連続変化型とする。
- 3) 含水率センサはロードセル方式を採用し、サンプル材の含水率を連続測定し、これを材全体の含水率の代表として制御を行う。
- 4) システムコストは50万円以内とする。
- 5) 現時点では乾燥室について制御システムとする。

今後、実際の乾燥室制御のために必要なサンプル材の含水率センサを製作し、コントローラの改善を行い普及型仕様のコントローラとして、乾燥操作の自動制御試験を行う。

なお、本報告の一部については第36回日本木材学会大会(静岡, 1986年4月)において発表した。

文 献

- 1) Noguchi, M.; Kagawa, Y.; Katagiri, J.:
Detection of acoustic emissions during hardwoods drying, *Mokuzai Gakkaishi*, 26 (9), 637-638, (1980).
- 2) Honeycutt, R.M.; Skaar, C.; Simpson, W.T.:
Use of emissions to control drying rate of red oak, *Forest Prod. J.*, 35 (1), 48-50, (1985).
- 3) 井坂三郎: 乾燥応力を利用した木材乾燥スケジュールの自動制御(1), *木材工業*, 32(1), (1977)
- 4) 浜野義昭: 木材乾燥の自動化に関する研究(第1報), *鳥取県工業試験場研究報告*, No. 7, 37-40, (1985)
- 5) 久田卓興: 第36回日本木材学会大会要旨集(静岡), (1986)
- 6) Schmidt, R.D.: *Energiesparen durch veränderbare Luftgeschwindigkeit in Schnittholz Trocknern*, HOB-Kennziffer, HOB (DUE), 31 (5), 47-48, 50, 52, (1984)
- 7) ヒルデブランド㈱: フルオートマチックコントロールシステムHD4004V型の資料より
- 8) 久田卓興: 高周波式含水率計の精度調査, *木材工業*, 41 (1), 24-27, (1986)
- 9) 久田卓興: コンピューターシステムを導入した木材乾燥装置, *木工機械*, No. 93, 5-8, (1979)
- 10) 例えば共和電業㈱, 日本電気三栄㈱, 東京測器㈱の製品カタログ(1986)
- 11) Rasmussen, E.F.: *Dry Kiln Operator's Manual*, *Agriculture Handbook*, No. 188, F.P.L. Forest serv. U.S. Department of Agriculture, (1961).
- 12) Kollmann, F.F.P.; Côté, W.A. jr.: *Principles of wood Science and Technology I Solid Wood*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, (1968).
- 13) 信田 聡: 博士論文(東京大学)より抜粋(1982)
- 14) 北海道林産技術普及協会編: *テクニカルノート No.1, 木材乾燥(基礎編改訂版)*, 44, (1985)
- 15) 文献7)と同じ
- 16) 寺沢 真・筒本卓造: *木材の人工乾燥*, 128, 社団法人日本木材加工技術協会, (1981)
- 17) 文献7)と同じ
- 18) Simpson, W.T.: *Equilibrium moisture content prediction for wood*. *Forest Prod. J.*, 21 (5), 48-49, (1971).

—木材部 乾燥科—

(原稿受理 昭60. 5. 22)