

# 木材乾燥室の自動制御システム

信 田 聰

## はじめに

木材乾燥室の操作を自動化する試みは、数十年まえから考えられ、様々な方式の制御システムが作られてきました。しかし、それらのほとんどは研究段階のみで終わり、実際に現場に普及しませんでした。この理由は、制御法が実際的ではなかったため制御自体が不完全であったこと、自動化以前に解決すべき乾燥技術が山積していたこと、コンピュータが一般的ではなく現場技術者が使用するのに消極的であり容易に馴染めなかったこと、そして乾燥室の保有数が少ない経営状態では、高価であった自動制御システムを導入するメリットがなかったことなどがあったように思います。

しかしながら、コンピュータの進歩に始まりそれに伴う先端技術革新によりシステムの高度化、低コスト化は目覚ましい勢いで進みつつあります。また木材工業においても量より質の時代となり、木材製品の質の高さと同時にコストを抑えて諸外国との競争力をつけることが要求される時代となっています。したがって、木材乾燥に対する業界の

考え方も積極的となり、乾燥の必要性の認識の高まりはもとより、乾燥コストの低減、乾燥技術の高度化、乾燥材の品質向上についても要求のレベルが高くなってきています。

林産試験場では、こうした状況の中で、このたび従来乾燥操作を自動化するシステムを開発し、これを使用して乾燥業務を行っています。近い将来に直面するであろう木材加工の基礎工程のメカトロ化の波を適切に評価できるように業界の方々の認識と理解を深めるための一石としてこれを投じました。

ここでは、乾燥工程全体の自動化について考えるとともに、林産試験場における乾燥操作の自動化システムの概要を紹介したいと思います。

## 乾燥の自動化について

木材の乾燥方法は屋外に棧積みして太陽の熱で自然乾燥する天然乾燥（写真1）および何らかの装置の中で木材を乾燥する人工乾燥（写真2）に大きく分けられます。しかし、これらの本乾燥だ

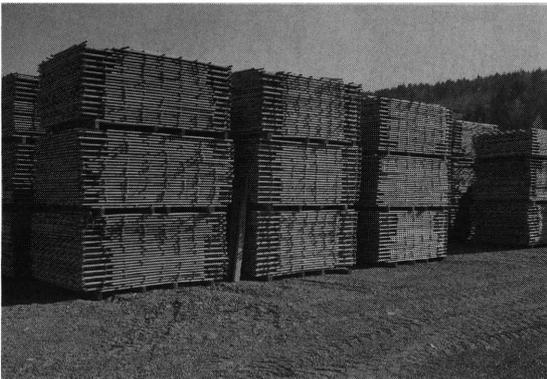


写真1 天 然 乾 燥

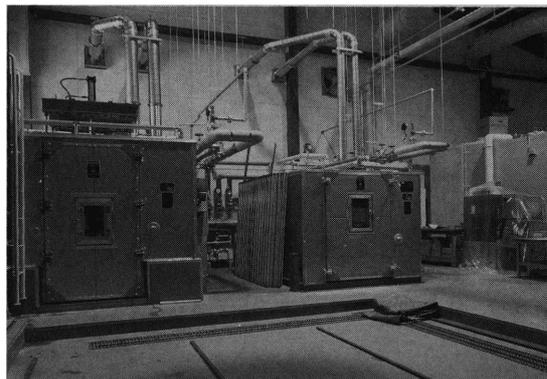
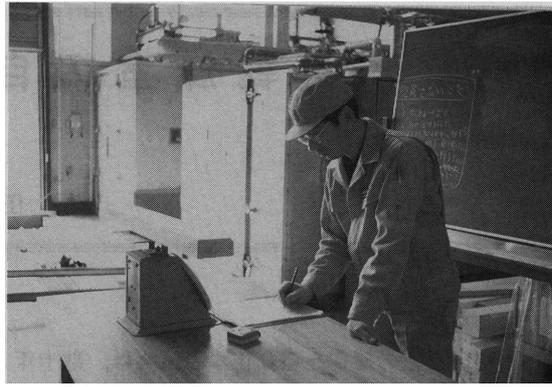


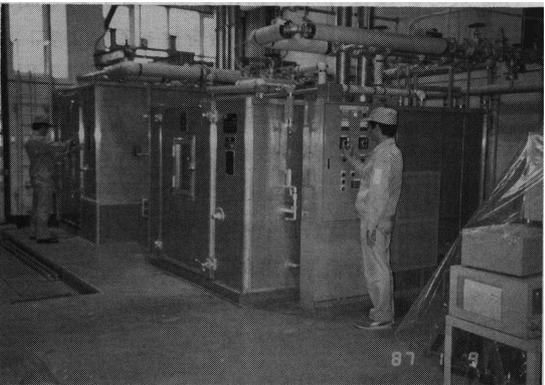
写真2 人 工 乾 燥 装 置



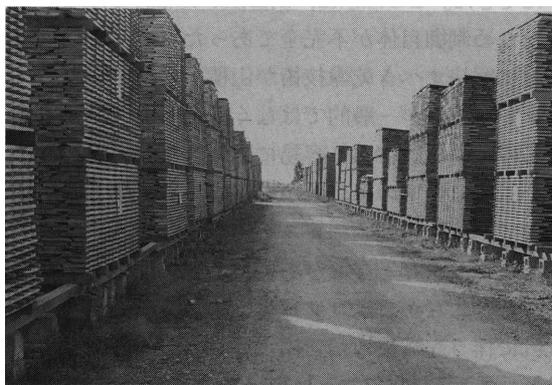
(1) 棧積み  
人工乾燥または天然乾燥を行うために、製材を棧木を用いて積み作業。これにより材と空気の接触をふやし、乾燥の均一な促進をうながす。



(2) 試験材調整  
乾燥経過を推定するためにロットの中から代表的な材を選び、含水率を推定する。乾燥中は、この試験材の乾燥経過をもって、ロット全体の乾燥程度を推定する。



(3) 1 人工乾燥



(3) 2 天然乾燥

人工乾燥室あるいは天然乾燥土場にて、棧積み材の乾燥を行う。



(4) 棧降ろし  
乾燥後、棧積みされている材を降ろす作業。



(5) 品質検査  
乾燥の仕上がり含水率の検査あるいは、損傷等の検査を行い乾燥材の品質を調べる。含水率測定は、簡易な電気式水分計が用いられることが多い。

写真3 木材乾燥の流れ

け乾燥工程ではありません。乾燥工程の流れについては共通して写真 3 に示したように、本乾燥に前後して製材の棧積み作業、乾燥前の試験材の調整および乾燥材の棧降ろし、乾燥材の水分チェックなどの諸作業が含まれます。こうした諸作業は、よい乾燥を行うためには不可欠であり、ほとんどは手作業によって行われています。

この乾燥工程のなかで、現在自動化の対象となるのは、

- A．棧積み（棧降ろし）作業
  - B．乾燥操作
  - C．水分管理作業
- などが、考えられます。

#### （A）棧積みの自動化

この中でも製材の棧積み作業には多くの人手が必要であり、実際には、パートタイマーによる請負で行う場合が多く、乾燥工程の中では、最も多くの人手が必要な分野であることから、自動化を行う必然性は非常に高いといえます。現状においても、自動棧積み機は散見されますが（写真 4）、いずれも専門工場における特殊な用途のためのもので、どのような材に対しても適用できるものではありません。しかも自動棧積み機とはいっても全くの無人化によるシステムではなく、1～2人は必要であり、自動棧積み機の操作あるいは棧積み作業の一部を分担して行うものが多い。それというのも棧積み作業は、扱う材の形状により微妙

に方法が異なるため、単純な作業ではなく、様々な材種の製材について棧積みを自動的に行うための機構・設備を考えると経費が膨大になります。したがって、現状では、なるべく寸法が一定である製材についての棧積み機が多いように思います。自動棧積み機の性能を高めるには、それなりの資本投下が必要ですが、かなり用途の広い棧積み機はまだ無いといっても良いでしょう。

#### （B）乾燥操作の自動化

つぎに、乾燥操作の自動化があります。乾燥室内の温湿度を自動制御することが、いままでの自動化の主流といえます。何を基準として、乾燥室の温湿度を変化させていくかによって様々な方法が考えられています。例えば、

- 1) 乾燥経過時間を基準として、一定時間経過ごとに乾燥室内の条件を変化させる制御方法（タイムスケジュール）
- 2) 木材の含水率の低下をなんらかのセンサで測定し、含水率を基準として乾燥室内の条件を変化させる制御方法（含水率スケジュール）
- 3) 木材の乾燥応力または変形の程度を測定して、これを基準として制御する方法（カップ法の応用）
- 4) 乾燥中に木材が微細な破壊を起こす前兆として発生する弾性波の程度を測定することにより乾燥室の制御をする方法（アコースティックエミッションの利用）

などがあります。これらは、いずれも一長一短が

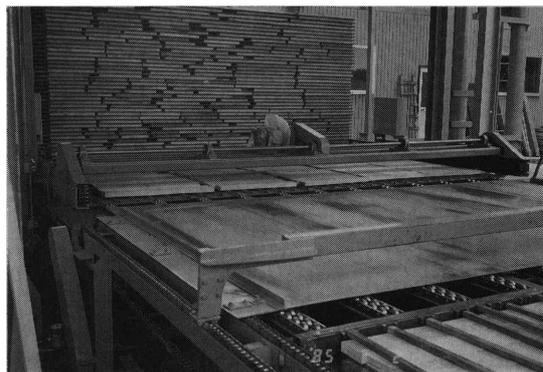
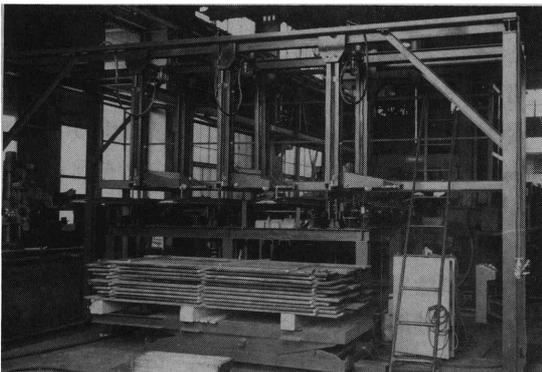


写真 4 自動棧積み機

あり、また実用的なレベルに達していない方法もあります。

現在の乾燥室の操作の一般的な制御方法は、1)と2)によるものです。すなわち、経過時間に応じて、温湿度設定を変更していくもの(タイムスケジュール)、木材の含水率の変化に応じて温湿度設定を変更していくもの(含水率スケジュール)です。現状の木材乾燥室の操作は、これらを基準として温度調節計を手動で調整して温湿度の変更を行います(写真5)。つまり、設定はあくまで手動で行うものが大半でした。したがって、設定の変更を行うためには必ず作業するための人手が必要であり、昼夜を問わず適切な時期に設定の変更を行うことが必要ですが、現実的には多少のズレが生じているのが普通です。

しかし、最近では、タイムスケジュールによる自動化はプログラムが組める調節計によりあらかじめ設定できるようになりました。この方法を用いて自動制御する場合の条件は、扱う材の特徴がなるべく一定であること、すなわち、扱う材が単一でいつも同じ程度の含水率であることです。含水率が乾燥するたびに異なったり、材種(材の厚さ)がまちまちになりますと、それだけ多くのスケジュールを用意しておく必要があります。乾燥の経験とスケジュールの蓄積がある場合には可能ですが、適切なタイムスケジュールを数多く準備することは一般的には大変なことです。

一方、含水率スケジュールによる自動制御は、

木材の含水率を連続的に測定して、これをもとに温湿度の制御を行うわけですが、含水率を適切に測定するセンサが重要になります。実用的には、電気式水分計をセンサとして含水率を測定するもの、木材重量測定から含水率を推定するものが考えられます。含水率スケジュールは従来最も研究され最も完備しているスケジュールであることから、これによる自動制御は信頼性が高いといえます。

林産試験場では、タイムスケジュールはもとより、ロードセルを使用し、木材重量測定から含水率を求めながら制御する含水率スケジュールを基本とした乾燥操作の自動化システムを開発し、目下、試験場のI.F.型蒸気式乾燥室の自動制御を行っています。

#### (C) 水分管理の自動化

乾燥工程の中で自動化が望まれる部分として、さらに考えられるのは、乾燥材あるいは乾燥前の材の水分管理の自動化です。乾燥を均一に仕上げる条件は、第1には乾燥する材の含水率がそろっていることです。製材したばかりの木材とくに針葉樹では、辺材と心材の含水率が非常に異なるため乾燥する時点からバラツキの大きいことが当たり前です。現在は、生材の含水率による選別・振り分けはあまり行われていませんが、将来的には、これらの含水率のバラツキを小さくするために、含水率による選別を行うことが重要となるでしょう。天然乾燥は、含水率のバラツキを少なくする点では有効です。これを予備乾燥として考えれば、生材時の含水率のバラツキを少なくできるため、その後の人工乾燥でより均一な仕上がりが期待できます。また乾燥材の仕上がり含水率の高低は後の加工工程に重大な影響を及ぼすので、製品1枚1枚について含水率のチェックを行えるシステムの開発が望まれます。

#### 林産試験場の乾燥操作の自動化システム

林産試験場では、今まで述べた自動化のうち、乾燥操作の自動化の研究を行い、システムを作りました。このシステムの概要について述べてみた



写真5 手動による温湿度設定風景

と思います。

本システムでは、3つの方法による乾燥操作（温湿度の設定・変更）が可能です。

1) マニュアル設定方式の制御

これは、従来の手動による温度調節計の設定変更を行うことにより制御する方法と同じで、乾燥室内の温湿度を設定・変更したい場合には、乾燥室から離れたコントローラとディスプレイ（写真6）によりキー入力方式で温湿度を設定・変更するものです。設定用の画面は図1に示すようなものです。設定された温度は変更があるまで一定で

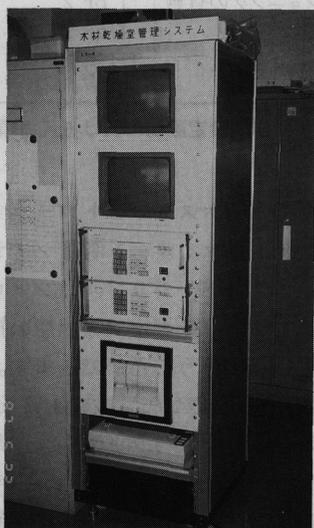


写真6 林産試験場の自動化のシステム (フルオートとセミオートシステムコントローラ)

\*\*\*\*\* マニュアルスケジュール設定 \*\*\*\*\*

乾燥室番号	乾球温度 (°C)	乾湿球温度差 (°C)	平衡含水率 (%)
1.	60.3	3.0	16.7
2.	—	—	—
3.	70.0	5.5	11.8
4.	50.0	4.0	14.2
5.	—	—	—

何番の乾燥室ですか?  1番

図1 乾燥室の条件設定画面 (マニュアル設定用)

持続されます。

2) タイムスケジュール方式の制御

ディスプレイに表示される、時間、乾球温度、湿球温度の組み合わせが10組設定できるタイムスケジュール表（図2）にそれぞれの値をコントローラ盤面のテンキーを操作して入力してスケジュールを決定します。乾燥開始後はこのスケジュールに従い、一定時間経過ごとに温湿度が自動的に制御されます。

3) 連続変化型含水率スケジュール方式の制御

従来のステップ変化型の含水率スケジュールではなく、含水率を測定しつつ温度を連続的に変化させるシステムです。含水率の測定は、乾燥室内においた、ロードセルから成る含水率センサ（写真7）によるサンプル材の重量測定から推定します。

乾燥スケジュールの決定は樹種別乾燥スケジュール磁気カード（銀行等のキャッシュカードと同様なもの）を使用します。初期設定に先立ちコントローラの磁気カードリーダーに読みこませることにより設定します。したがって、自ら、乾燥スケ

\*\*\*\*\* タイムスケジュール入力及び初期設定 \*\*\*\*\*

乾燥室番号: 2  
 樹種: 1. 針葉樹材 2. 広葉樹材  
 樹種番号: 3 (クロマツ)  
 厚さ: 100mm  
 初期含水率: 120.0%  
 仕上がり含水率: 15.0%

No	乾燥時間 (h)	乾球温度 (°C)	乾湿球温度差 (°C)
1.	20	50.0	4.0
2.	30	60.0	10.0
3.	50	70.0	28.0
4.	end		
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

乾燥日誌の選択 1. はい 2. いいえ

図2 タイムスケジュール用設定画面

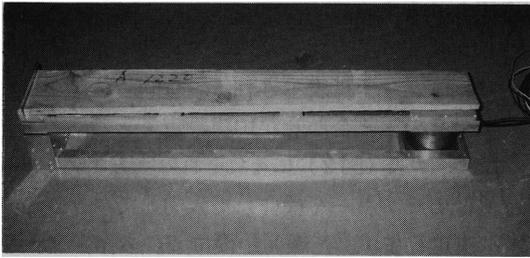


写真7 ロードセルを用いた含水率センサ

ジュールを作成する必要はありません。このスケジュールカードには、厚さ別に乾燥スケジュールの温度スケジュールと湿度スケジュールが記憶されており、入力と同時に、スケジュールの詳細は、コントローラ内のメモリから自動的に選択されます。この際、ある樹種、厚さに対してスケジュールは、緩やか、普通、厳しい、の3つが準備され初期設定の時にいずれかを選択します。

この制御システムの初期設定は、コントローラのテンキーとディスプレイにより会話方式で行います。ここでは、図3に示すディスプレイ画面に従い各項目を入力します。乾燥の本工程のほかに、調湿（イコーライジング、コンディショニング）、初期蒸煮、冷却、乾燥日誌の打ち出し（1日1回）を行うかどうかの選択を行います。「行う」と設定した場合には以後自動的に制御されます。乾燥開始後は、自動的にディスプレイの画面に乾燥経過図が刻々と描かれます。経過時間ごとの含水率、乾球温度、湿球温度、相対湿度の4つがグラフで表示されます。同じ画面には、データとして、乾燥経過時間、含水率、試験材重量、設定温度、乾燥室内の現在温度、平衡含水率、相対湿度、現在の工程、時刻等が表示されます（図4）。以後、乾燥終了まで、自動的に制御されます。また乾燥日誌を選択した場合には、例えば、図5に示すような日誌が1日1回あらかじめ指定した時刻にプリンタで打ち出されます。

**制御系統**

図6に示したのが、自動化システムの制御系統図です。乾燥室（乾燥室と乾燥室コントロールユ

入力項目	入力例	最大桁数
樹種名	このモードに入る前に既に入力されています	
乾燥室番号		
厚さ	××× (mm)	3
初期含水率	×××.×(%)	4
仕上がり含水率	×××.×(%)	4
初期重量	×××××(g)	5
幅	××× (mm)	3
材積	×× (m <sup>3</sup> )	2
依頼先	××	2
スケジュールの選択	1～3	1
初期蒸煮の有無	1 or 2	1
イコーライジングの有無	1 or 2	1
コンディショニングの有無	1 or 2	1
冷却の有無	1 or 2	1
乾燥日誌の選択	(1) 実験型—1～3 (2) 普及型—1 or 2	1

図3 初期設定画面における入力項目

ニットを含む)とホストコントローラ(フルオート制御システムとセミオート制御システムおよび光ファイバユニット、シリアルコントローラを含む)は離れており、乾燥室内の状態の把握および制御は研究室で行うことができます。その間は光ファイバケーブルでつながれており、通常のケーブルに比較して、コンパクトでかつ、電気的ノイズによる制御の乱れが少なくなる利点があります。

乾燥室内には、加熱管、増湿管が設置され、また吸排気筒にはダンパが附属しており、これらにより乾燥室内の温湿度が制御されます。つまり、乾燥室内の温湿度は乾燥室内側壁面に設置した2組の乾球温度と湿球温度測定用の白金測温抵抗体の温度センサによって検出されます。このうちの1組からの測定値がシステムに送られあらかじめ乾燥スケジュールで設定された乾球温度と湿球温度と比較されます。その結果システムから指示が出され加熱管、増湿管に附属している電動弁の開閉およびモジュトロールモータの回転によりダンパの開閉が行われることにより温湿度が制御されます。

将来的に風量スケジュール(含水率の程度に応じて風量を調節する)が確立すれば温湿度の制御

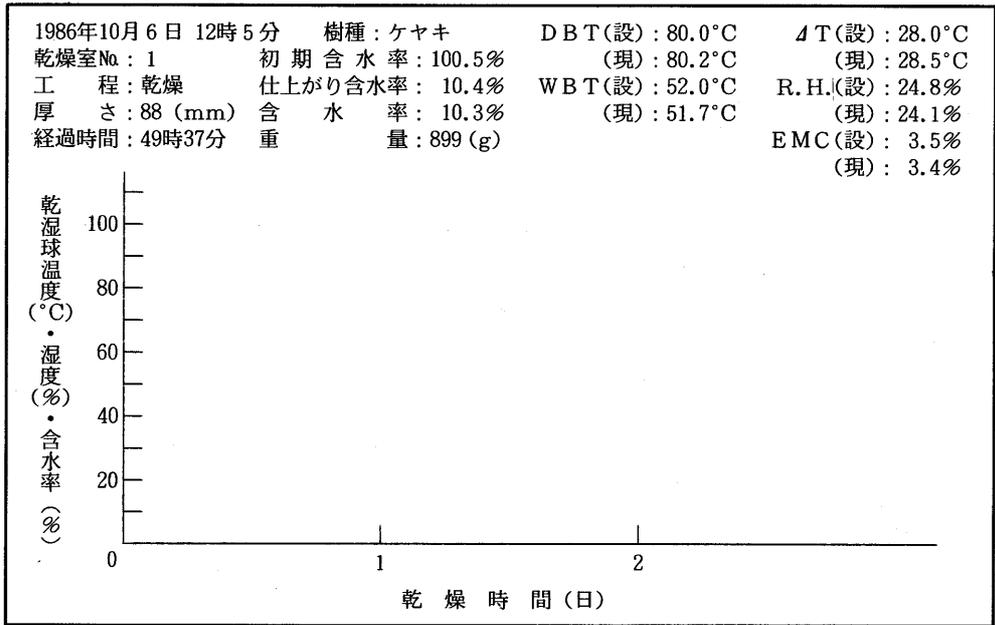


図4 含水率スケジュールによる制御のモニター画面

乾燥日誌

昭和61年09月13日  
1号室

乾燥開始日：昭和61年08月31日 依頼先：12  
 樹種：ベイマツ スケジュール：T8S-HNA1S  
 厚さ：99(mm) 初期含水率：80(%)  
 幅：150(mm) 仕上がり含水率：10(%)  
 材積：11(m³)

経過時間 (日：時：分)	時刻 (時：分)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	乾湿球温度差 (°C)	含水率 (%)
02：10：01	09：00	65.1	65.0	0.1	80.0
02：11：01	10：00	65.2	63.7	1.5	70.7
02：12：01	11：00	64.8	63.2	1.6	52.5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
03：08：01	07：00	80.1	52.0	28.1	12.4
03：09：01	08：00	80.5	51.9	28.6	12.2
03：10：01	09：00	80.0	52.0	28.0	10.0

図5 乾燥日誌の形式

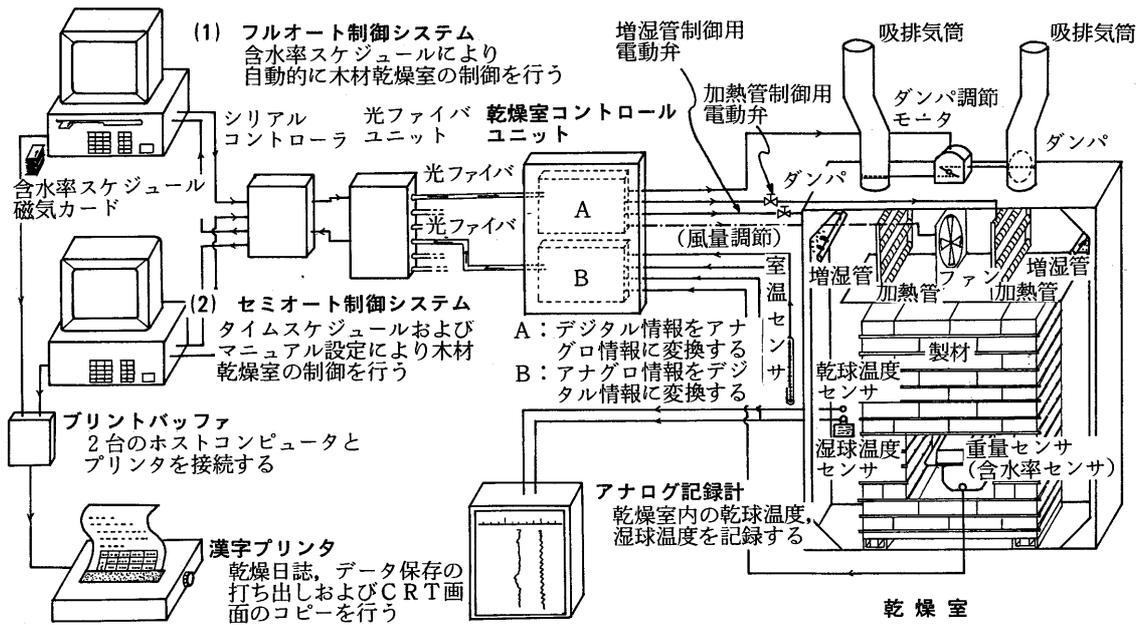


図6 乾燥室自動制御システム図

に加えて乾燥室内の風速もインバータによりファンの回転数を変化させ制御する能力を持たせてあります。

含水率を基準とした制御では、乾燥室内の棧積み内に空間を設け、そこに含水率センサを置き、その上に試験材を置き、その重量を測定しながら、フルオートシステムで含水率に変換して含水率スケジュールによる制御を行います。

温度等のアナログ出力は、乾燥室付近に設置した乾燥室コントロールユニットによりデジタル化され光ファイバケーブルおよび光ファイバユニット、シリアルコントローラを介してホストコントローラであるシステムに渡され、制御指令はホストコントローラから、この乾燥室コントローラ部でデジタルからアナログに変換され、電動弁、ダンパモータの制御信号とされこれらを制御します。

温湿度のモニタ用のアナログ記録計には、乾燥室内の2組のセンサのうちの1組が直接アナログの記録計に入力され乾燥室内の現在の温湿度が乾燥室から離れた場所でモニタされます。

プリンタは、2つのシステム（フルオートとセミオート）とプリントバッファにより接続され、設定に応じて、乾燥日誌や乾燥データの記録打ち出しを行います。

このシステムでは、現在乾燥室3室の制御を同時に行っていますが、本システム的能力は5室であり、さらに拡張すれば、20室の制御が1度に行えます。

**おわりに**

乾燥操作の自動化システムは、今後も開発の進展によって改良がはかられ、導入される機会が増えると思われれます。したがって次第にかゆいところに手が届く制御がなされていくと思われれますが、そのためには、実用化され普及された段階で性能について現場の担当者の声を反映させながら改善していくことが重要であると思われれます。

〔林産試験場 乾燥科〕  
〔現東京大学 農学部〕