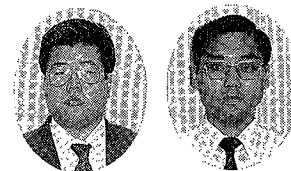


世界最大ガラスライニング焼成炉 の制御システム

The Control Systems of the Largest Electric Furnace in the World for Manufacturing Glass Lined Equipment



技術開発本部 F Aソフト技術室
石川 正明
Masaaki Ishikawa
(化)生産管理部 生産技術課
和田 博美
Hiromi Wada

The Kobe plant of Chemical Process Equipment Div. was integrated to the Harima Plant, and the facilities for manufacturing glass lined equipments were constructed newly. Then we developed the control system for the electric furnaces which are the most important facilities of the plant. We described the control system composed of the temperature control and the electric power demands control and so on.

ミエがき

この度、化工機事業部では、神戸と、播磨の2カ所に分散していた工場を、播磨製作所に移転、統合した。これまでガラスライニング機器は神戸工場で作製してきたが、統合を機会に時代のニーズにあった高品質のガラスライニング機器を製作する最新鋭の一貫生産工場を建設した。

ガラスライニング機器の品質と製造能力は焼成炉で決まる。弊社が長年培ってきた築炉技術と最新のF A技術により世界最大、最新鋭の焼成炉を自社技術で建設、稼働させている。

ガラスライニング機器の高品質、高機能化、製作期間短縮などユーザーニーズが厳しくなるなかで、作業者の高齢化などの問題をかかえている。これらの課題を解決すべく新工場は積極的にF A化に取り組んでいる。これらのなかでも重要な設備である焼成炉の制御システムを紹介する。

設備概要

ガラスライニング焼成炉は、焼成炉、電源設備、制御設

備、炉上クレーン、冷却台車で構成される。最大重量：30 ton, 最大寸法：4 200 mmφ×15 000 mmLの世界最大の焼成能力を有する。焼成炉の概略図を第1図に示す。

1. 1 焼成炉の仕様

- (1) 型式 : 箱型電気抵抗炉
- (2) 炉材 : セラミックファイバー
- (3) 構成 : 3基の箱型炉で構成されその内2基はドッキングして長大容器の焼成に対応
- (4) 加熱方式 : 電気抵抗ヒーター
- (5) 電力制御 : サイリスタ・サイクル制御 (高調波対策)
- (6) 温度制御 : PIDプログラム制御 (※1)
- (7) 炉上クレーン : 17.5 ton×4台
- (8) 冷却台車 : 自走式30 ton台車
- (9) 機械の操作 : 炉扉の開閉, 炉上クレーン, 並びに冷却台車は無線操作

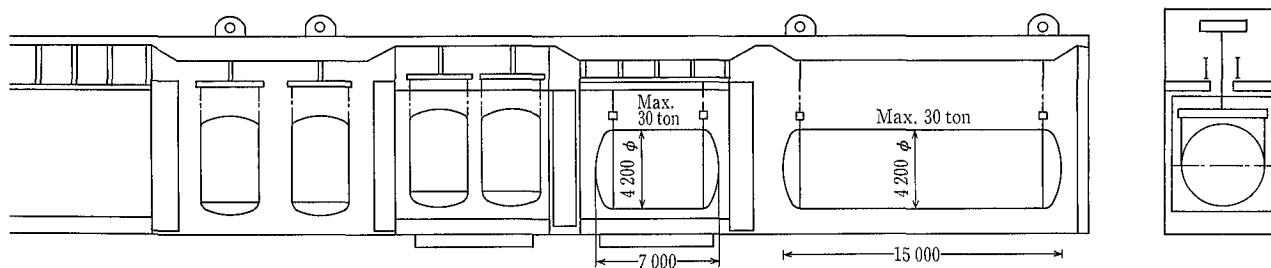


Fig. 1 焼成炉の概略図

Fig. 1 The outline of the electric furnaces

(※1) PID制御

P : 比例動作 Proportional Action

目標値 (温度制御の場合は温度設定値) と制御量 (温度制御の場合は実際の温度) との差を制御偏差といい、この制御偏差に比例して操作量 (ヒータ出力) を変化させる動作。

I : 積分動作 Integral Control Action

制御偏差入力の時間積分値に比例する大きさの出力信号を出す制御動作。

D : 微分動作 Derivative Control Action

制御偏差入力の時間微分値に比例する大きさの出力信号を出す制御動作。

1. 2 焼成能力

- ・最大焼成重量：30 ton
- ・最大焼成寸法：
単独運転時：4 200 mmφ×7 000 mmL
ドッキング時：4 200 mmφ×15 000 mmL

2 システム概要

本システムを構成するハードウェア、ソフトウェアには、将来的にネットワーク等に対応でき、CIM (Computer Integrated Manufacturing コンピュータ統合生産システム) 化、F A 化を随時押し進めることのできる必要があるため、それを前提に選んだ。

2. 1 システム構成

システムは、

- ・パーソナルコンピュータ (以下、パソコンという)
- ・CRT
- ・タッチパネルコントローラ
- ・プログラマブルコントローラ (以下、PC という)
- ・調節計
- ・電力パルス変換器

で構成している。システムの構成を第2図に示す。

前焼成炉、中焼成炉、後焼成炉の各炉には、ヒータを10カ所のゾーンに分けて配置しており、それぞれのヒータは、調節計の出力によりサイリスタ制御を行っている。

調節計には、PYH9A302TYAY (富士電機製) (以下、PYH という) を使用している。特長は、第1にPCを通してパソコンから設定された温度と出力を使用して制御できること。第2に、オートチューニング機能 (PID制御パラメータを調節計自身が自動演算、設定できる機能) 付きであること。以上の2点である。

PCには、MICREX-F120H (富士電機製)、パソコンには、FC-9801A (NEC製 20 Mbyte ハードディスク内蔵) を使用している。CRTは、PC-KD882 (NEC製) を使用し、タッチパネル (ニッシュインターシステムズ製、静電容量方式) を組み込んでいる。タッチした情報は、パソコンにRS-232C標準ポートを通して入力される。

パソコン、PC、PYHはTリンク (富士電機製ネットワーク) で結ばれており、各々のPYHの情報はPCに伝送され、パソコン上で読み出すことができる。また、逆にパソコンからPCに書き込まれたデータは、PYHに伝送され利用される。

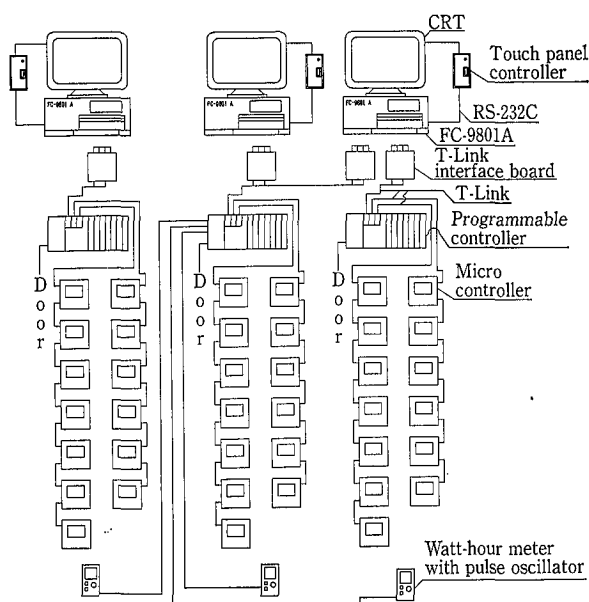
このシステムで各炉が単独運転を行っているときは、各々のPCを監視、制御する。前焼成炉と中焼成炉とがドッキングして運転している時は、前焼成炉のパソコン1台で前焼成炉と中焼成炉の監視、制御を行うので、中焼成炉のPCと前焼成炉のパソコンをTリンクで結んでいる。

また各PCには、各扉と開閉信号を、また、中焼成炉のPCには、各炉の電力出力信号を取り込んでいる。

2. 2 PC側のソフトウェア処理

(各炉共通)

- (1) 単独運転時の炉の扉と温度制御のインタロック
- (2) R-SV値 (パソコンからのリモート設定値) の一括設定
- (3) 出力切り替えスイッチの一括切り替え



第2図 システム構成

Fig. 2 Outline of system configuration

- (4) EX-MV値 (パソコンから設定する規定操作量) の一括設定
- (5) サイリスタ異常の検出
- (6) PYHの計器異常の検出 (前焼成炉、中焼成炉のみ)
- (7) 運転形態 (単独、ドッキング)
- (8) ドッキング運転時の炉の扉と温度制御のインタロック (中焼成炉のみ)
- (9) (4)における一括設定と個別設定の切り替え
- (10) 各炉の電力出力パルスのカウント

2. 3 パソコン側のソフトウェア処理

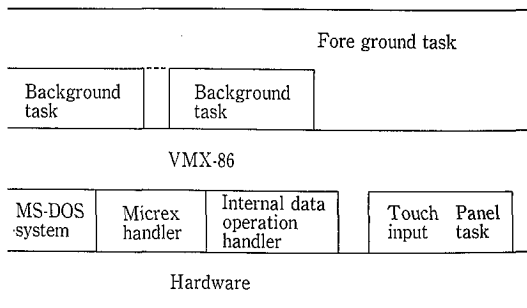
使用するソフトウェアを決める上で特に次の性能に注意した。

- (1) 操作性：タッチパネル対応などのマンマシンインターフェースがよく準備されていること。
- (2) 制御性：状況の変化に対応しやすいこと。多様な温度制御をおこなえること。
- (3) 凡用性：簡単な設定で機能を使用、変更できること。ネットワークに対応できるパッケージソフトであること。

2. 3. 1 ソフトウェア構成

単独運転時のパソコン側のソフトウェア構成を第3図に示す。ドッキング運転時のソフトウェア構成を第4図に示す。

本システムでは、上で述べた理由から弊社で開発販売している「プロセスモニタPMX-98」を使用している。このソフトウェアは、パソコンと、外部機器 (PC、調節計、レコーダ、多重伝送機器、I/Oボードなど) を接続して、システムをプログラムレスで構築することができるパッケージソフトウェアである。パソコンと接続する外部機器は、市販のものが利用できる。このソフトウェアを使用することで経済性の高いシステムが容易に短期間で構築できる。



第3図 単独運転システムのソフトウェア構成
Fig. 3 Software construction of separate operation system

外部機器との接続は、RS-232C, RS-422などの通信インターフェースを利用するタイプと、インターフェースボード、I/Oボードなどにより直接入出力するタイプがある。各タイプともハンドラ（外部機器とデータを入出力するインターフェースプログラム）をシステムに組み込んで使用することができる。このシステムでは、次のハンドラを使用している。

- 1) MICREX ハンドラ（ドッキング時は、2本使用する）
 - ・PCのデータを入出力する。
- 2) 演算ハンドラ（内部データ演算処理タスク）
 - ・パソコン内部に演算器を構成し、データ要求があると各通信ハンドラからリアルタイムデータを演算処理し、その結果を返すことができる。

また、パソコンとオペレータのマンマシンインターフェースとしてタッチパネル入力タスクがある。画面をタッチすることで、画面を切り替えたり、グラフィック画面で入力ができる。

一方OSは、MS-DOS Ver5.0を使用しており、従来のVer3.3に比べ拡張メモリを使用することができるのでメモリ空間が広がっている。（この機能は、FC-9801A等の32ビット機に限られている。）また、MS-DOSは、シングルタスクなのでVMX-86 Ver2.0を組み込んでリアルタイムマルチタスク処理を実現している。

2. 3. 2 画面構成

画面は、PMX-98のフォアグラウンドタスク（※2）である次の機能を使用して構成されている。

1) グラフィック表示機能

ツールを用いて描いたグラフィック画面に、ユーティリティソフトでタグ名（データを参照するための名前）を割り付けることにより、画面上で数値を入出力できる。

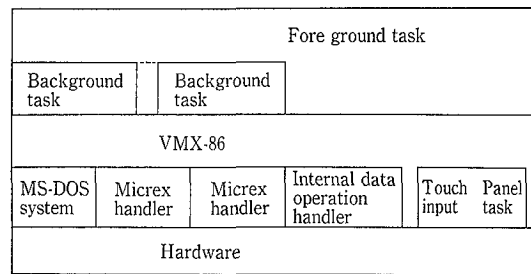
(1) 温度表示画面：

炉の各ゾーンの調節計の実測温度、温度制御の進行状況の表示、制御の開始終了、中断の入力ができる。

(2) オーダ番号、品名入力画面：

焼成を行うオーダ番号と品名を入力する。このデータは、温度表示画面にも出力される。

(3) 温度パターン入力画面：



第4図 ドッキング運転システムのソフトウェア構成
Fig. 4 Software construction of combined operation system

設定を希望するパターンを選び、そのパラメータを入力する。パターン毎に入力画面がある。

2) ヒストリカルトレンド表示機能

バックグラウンドタスク（※2）のデータ収集機能で収集されたデータをもとに、現在と過去の温度状況をトレンド表示する。

・トレンド表示画面：

炉の6ゾーンの調節計の実測温度をトレンド表示する。

3) メッセージ表示機能

バックグラウンドタスクのイベント監視機能に登録した警報などの内容をメッセージ表示する。

・アラーム表示画面：

サイリスタの異常、調節計の計器異常が発生したときにそのメッセージを表示する。

4) 設定操作機能

デジタルタグのON, OFF, アナログタグの数値をキー入力により設定できる。

・設定操作画面：

制御に必要なパラメータの設定、変更やスイッチの操作を、画面を見ながらキー入力で行える。

3. 温度制御

本システムのメインとなる温度制御は、PMX-98のハンドラの一つである演算ハンドラが処理を行っている。演算ハンドラは、ユニット単位で設定されたプログラム処理を実行し外部機器に送ることができるため、簡単な演算から複雑なフロー処理まで行える。

演算ハンドラでは、1ユニットが1タグになるのでパラメータの設定や、起動、終了などの内部データを簡単に設けることができる。設定されたタグは、他のタグと同様にグラフィック画面上や設定操作画面上で入力が行える。

3. 1 温度制御の考え方

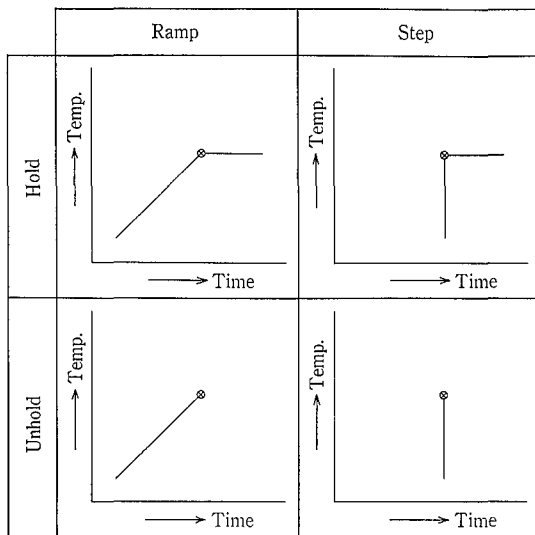
品質の向上、安定化のためには、高精度な温度制御を行う必要がある。今回、弊社に蓄えられた焼成技術をもとに制御パターンを作成し、そのパターンを着実に実行できる制御システムを開発した。

目標温度までの昇降温には、ガラスの欠陥をなくすため

(※2) フォアグラウンドタスクとバックグラウンドタスク

バックグラウンドタスクは、メモリに常駐して動作するプログラムである。バックグラウンドタスクは、パソコンの表示画面に関係なく、裏側で並行して動作しており、全体の処理性能を向上させている。

バックグラウンドタスクに対しフォアグラウンドタスクは、マンマシンプログラムと呼ばれ、非常駐プログラムで表側（コンソール側）で動作しており、キーボード入力、画面出力を行うプログラムである。



◎ The target temperature

第5図 1ステップの形態
Fig. 5 The forms of one step

第1表 第7図でのパラメータの設定
Table 1 Instituted parameters to fig. 7

| | Temp | Hold | Slope |
|--------|----------|----------|---------|
| Step 1 | Target 1 | Time 1 | |
| Step 2 | Target 2 | Holdtime | Slope 1 |
| Step 3 | Target 3 | Time 2 | Slope 2 |
| Step 4 | Target 4 | Time 3 | |

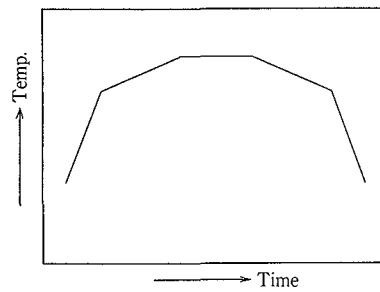
に出力をランプ状に変化させる場合がある。つまり、昇降温の制御には、設定温度にいきなり目標温度を設定するステップ状と、設定温度を少しずつ変更して一定時間に一定温度を上げ下げするランプ状がある。また、実体温度を均一化するためには、焼成温度（実際にものを焼く温度）に達してからのホールド時間を制御する必要がある。

つまり、一つの目標温度を設定した制御には、その目標温度に昇降温するのに昇降温速度があるかないかと、目標温度に達してその温度をホールドするかしないかである。これ1ステップと考えれば、この1ステップの集まりで一つの温度パターンを形成することができる。（第5図参照）

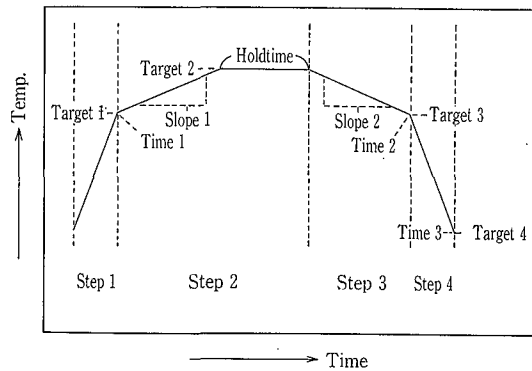
ただし、昇降温速度の設定もなくホールドの設定もない場合の制御は第5図での制御ならばホールドを一番短い時間に設定することで代用できるので、より多彩な温度制御に対応するため、目標温度を設定するだけで次のステップに進行するようにした。

よりスムーズなステップの進行を押し進めるために次の条件を設けた。

- (1) どのタイプも次にステップが設定されていない場合は、その段階で処理が終わる。
- (2) 一定速度で昇温（降温）させる場合の初期値は、前ステップの目標温度である。前ステップがない場合は、取得した実温の内いちばん小さい温度が初期値になる。



第6図 温度制御パターン例
Fig. 6 An instance of the temperature control pattern



第7図 第6図のパターンをステップに分割
Fig. 7 The pattern of fig. 6 partitioned into steps

- (3) 取得する実温が一つではなく複数ある場合は、一部の実温が調節計のPID制御の働きにより目標温度に達しないこともあるため、目標温度からある範囲の温度域（調節可能）に達すれば、目標温度に達したと認識できるようにした。

3.2 温度制御の例

3.1で示した考え方をもとに簡単な例を紹介する。

まず、第6図のような温度制御パターンを行うとする。

3.1の考え方でステップに分割すると、第7図のようになる。このように制御するためのパラメータの設定は、第1表のようになる。実測温度が目標温度を超えないと次のステップに進行しないように制御するためには、ホールド時間を設定しなければならないので、第7図のTIME 1, 2, 3にホールド時間として設定できる一番小さな値を設定する。

3.3 昇降温速度初期値

昇降温速度の初期値は、通常、前ステップの目標温度がその値になる。この初期値を自由に変更したい場合は、例えば上の例から第8図の様に制御を行うとするならば、パラメータの設定は、第2表のようになる。

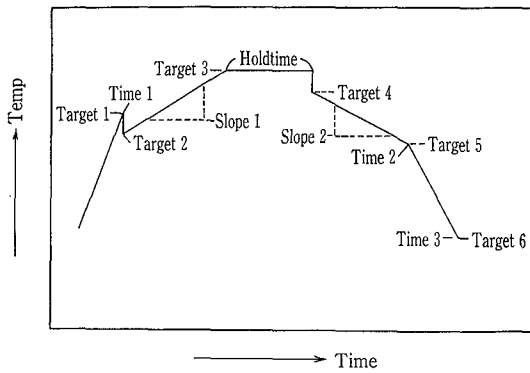
3.4 ピークカット制御

焼成炉は数千キロワットの電力消費するため、省エネルギー運転を行っている。各炉が単独運転を行ったときの合計最大出力値は、X kWである。この合計最大出力値を $(X-\alpha)$ kWとすることで省電力を行っている。

3.4.1 ピークカットの概要

各炉の単独運転時の最大出力は、

- (1) 前焼成炉 A kW



第8図 昇降温速度初期値設定例
Fig. 8 An institution instance of the first value for sloped temperature

- (2) 中焼成炉 B kW
- (3) 後焼成炉 C kW

とする。各炉の出力状況は、パルス信号で中焼成炉のPCに入力され、カウンタでそれぞれカウントされる。そのカウント値をパソコン側で周期的に読み電力消費量を計算する。電力消費量の合計が $(X-\alpha)$ kW を超えたときに、その超えた分だけ中焼成炉の出力調整を行う。つまり、出力のいちばん大きい中焼成炉の出力を調整することで、ピークカットを行っている。

3. 4. 2 PMX-98 における制御方法

パソコンでのピークカット制御は、PMX-98 の演算ハンドラで行われている。ピークカットは、その演算ハンドラの1ユニットで行われている。ユニットには、演算周期が設定できる。例えば30秒と設定すると30秒毎にユニットに設定してある演算が行われるのである。

1) 演算周期毎に行われる処理の内容

- (1) 各炉の電力出力パルスのカウント値とマシンタイムを取得し、前回取得分との差を求める。
- (2) 各カウンタ値の差の合計をマシンタイムの差で割り1秒平均のパルスカウント値を求める。
- (3) 電力消費量を求める

$$[\text{電力消費量}] = \left[\frac{1 \text{ 秒平均の}}{\text{パルスカウ}} \times [\text{パルスレート}] \right] \times 3600$$

- (4) ピークカットの必要性を判断する。

$$\cdot [\text{電力消費量}] > X - \alpha$$

ピークカット処理を行う。

第2表 第8図でのパラメータの設定
Table 2 Instituted parameter to fig. 8

| | Temp | Hold | Slope |
|--------|----------|----------|---------|
| Step 1 | Target 1 | Time 1 | |
| Step 2 | Target 2 | | |
| Step 3 | Target 3 | Holdtime | Slope 1 |
| Step 4 | Target 4 | | |
| Step 5 | Target 5 | Time 2 | Slope 2 |
| Step 6 | Target 6 | Time 3 | |

$$\cdot [\text{電力消費量}] \leq X - \alpha$$

調節計のPID演算によるMV値（操作量）出力にコントロールフラグを切り替える。

2) ピークカット処理

- (1) 調節計各々のMV値（現在の操作量）を取得する。
- (2) 調節計それぞれに対し EX_MV 値（規定操作量）を演算し出力する。

$$EX_MV = MV - \frac{([\text{デマンド値}] - (X - \alpha))}{B} \times 10000$$

- (3) 出力が調節計のPID演算によるMV値からパソコンから設定した EX_MV 値になるようにコントロールフラグを切り替える。

ピークカットの制御フローは以上である。

む す び

ガラスライニング焼成炉は、温度制御が生命である。これまで複雑な操作で高精度な温度制御をこなしてきたが、このたび新しく導入した温度制御システムにより、簡単な操作で高精度な温度制御ができるようになった。タッチパネルとカラーディスプレイの組み合わせによる人にやさしいインターフェースは、工場のヒューマニティを指向するものである。

温度制御は職人芸で培ってきたノウハウをプログラムするにとどまっているが、将来は、ファジーやAIなども取り組む計画である。工場内には、生産管理用のLANが、すでに稼働している。生産管理システムとリンクして、各焼成炉を含めたネットワーク化を進め、CIM化をはかっていく計画である。

〔参考文献〕

- 1) 橋岡ほか：神鋼パンテック技報 Vol. 35 No.3 (1991) p. 15