

# 自律分散制御方式による 全自動熱処理設備

オリエンタルエンジニアリング(株)  
小林 邦夫

## はじめに

一つの装置がそれぞれ自律的に分散制御され、全体として調和をもって統合化された制御方式を、特に、「自律分散制御方式」と呼ぶ。

PLC(プログラマブル・ロジック・コントローラ、またはシーケンサ。本稿では以後シーケンサと呼ぶ)が開発された当初、大変高価であったため、経済的に利用する目的から、1台のシーケンサでなるべく多くの対象を集中的に制御する方法が取られてきた。

この方法だと、システムの一部に障害が発生してもシステム全体を停止させてメンテナンスを行わなければならないことや、制御対象が増えるにつれ、I/O点数、プログラムステップ数がともに増大し、設計ミスを引き起こしやすいことから、その限界が指摘されていた。

こうしたなかで、近年LSI技術の発達によりシーケンサの高機能化・低価格化が進み、ネットワーク技術と相まって「自律分散制御システム」が出現し、今日に至っている。

本稿では、複数のバッチ式熱処理装置を例に、炉の増設や更新が自由に行え、更に、異なるメーカー間の炉をも同一生産ライン上に配備可能にした自律分散制御システム「FAMAS SYSTEM」の考え方と、その構築例を紹介する。

ワークが種々の装置間を搬送され、それぞれに加工や処理がなされる間に完成品となる。世の中には、こういったシステムが数多く見られるが、

それらのシステムにも適応できるものと考えられる。

## バッチ式熱処理炉の概要

鉄鋼の熱処理について一般的に馴染みが薄いと思われるので、浸炭処理を例に、その概略を説明する。

鋼表面の硬化を目的に、特別に変成されたガス雰囲気中に鉄鋼を所定の温度で加熱し、急冷する方法をガス浸炭焼入れというが、この処理により、鋼の表面からは炭素が拡散されるので、表面のみ硬く、内部は粘りけのある理想的な性質が得られる。こういった部品は現在、自動車のエンジン部品として大量生産されている。

バッチ式熱処理装置群は、この浸炭焼入れの他に、焼鈍炉、焼戻炉、洗浄機、およびこれらの装置間でワークの搬送を行う搬送車等から構成される。その代表例を図1に示す。

図1で工程の流れに着目してみると、ワークは前洗浄→浸炭炉→後洗浄→焼戻炉と運ばれ、完成品となって自動立体倉庫に帰ってくる。この間、各装置にワークが搬入されるごとに各種の処理がなされるが、これらの処理条件はワークによってそれぞれ異なるので、現在ではあらかじめ、温度、時間等のプロセス量をパターン化してプログラム調節計に格納し、番号付けしておく。そして、ワークに合わせてその番号を呼び出すと、それに対応した処理プログラムが開始される方法が取られている。

## システムの特長

### 1) 高信頼性である

FAシステムにおけるトラブルの多くは、その複雑さと一品料理的なところに起因する。そのうえ、ソフト開発の現状は、労働集約型家内工業的なところが多く、プログラムミスは避けられない。

この問題を解決するのに、「自律分散制御方式」が有効である。この方式だと、炉ごとにシーケンスプログラムが専用化・標準化できるので、その都度プログラミングする必要がない。信頼性が十分に評価されたものをコピーして使用するので、工数も削減できる。

ところでFAシステムにおいては、たとえプログラミング上のミスが皆無であったとしても障害を完全になくすことはできないが、自律分散制御方式を採用することで、障害の影響を極力小さな範囲にとどめることができる。それは、この方式では一つの設備がそれ自体で自己完結してほかから独立しているため、一部に障害が発生しても、他の設備に影響を与えることがない構造になっているからである。

### 2) 炉の増設・更新が自由に行える

ネットワーク化された自律分散制御方式は、また、既設炉の操業を休止せずに設備の増設・更新を可能にする。従来の方法では炉増設時、一定期間、設備全体を停止させ、試運転・調整を行わなければならないが、熱処理専門メーカーにとって、この間の売り上げが減少してしまう。

ネットワーク化された自律分散制御方式では、各設備ごとにシーケンサを1台ずつ配し、システム全体をネットワークで結ぶので、既設のネットに接続されている設備で操業を続けながら新規設備の増設工事を行い、試運転調整後に増設炉のシーケンサをネットワークに加入すると直ちに全体の自動運転が可能になるからである。

### 3) コンピュータがダウンしてもライン上のワークがなくなるまで、そのまま自動運転が継続される

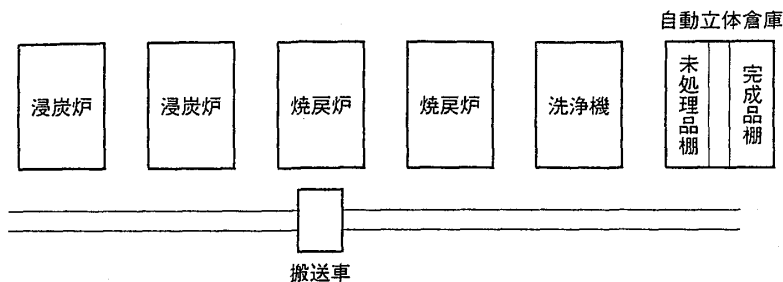


図1 バッチ式熱処理設備

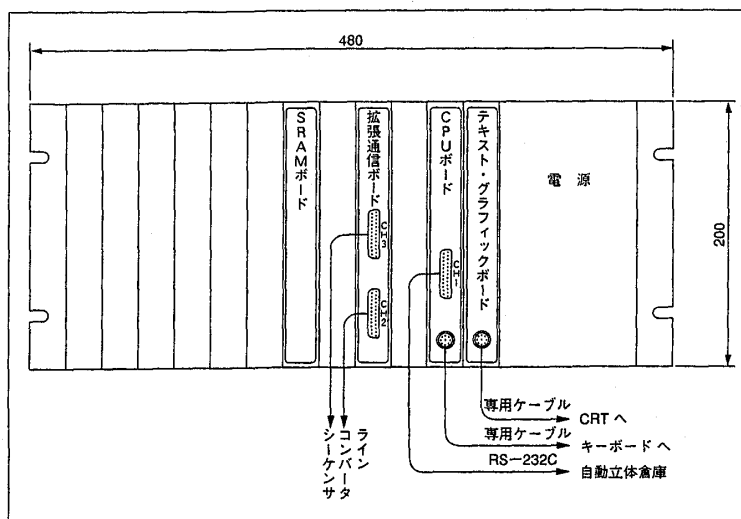


図2 FAコンピュータ

ネットワーク化された自律分散制御方式は、また、炉ごとに設けられたシーケンサ同士が対話形式で連携制御を行うことで、処理中のワークが完成品棚に帰って来るまで自動運転を続けてくれる。

### 4) 炉の増設に合わせて画面構成およびシーケンス回路網が自動生成される（特開平5-214451）

ネットワーク化された自律分散制御方式は、また、ネットワークの加入状況を検知することで、増設炉を認識し、それに合わせてコンピュータの画面構成や処理品搬送ルート of シーケンス回路網を再構築することが可能である。

その他、自律分散制御方式とは直接関係ないが、「FAMAS SYSTEM」では特に重要と思われる以下の特長がある。

### 5) 耐久性が抜群である

本システムではパソコンを使用せず、組込み専用コンピュータを採用し、OSおよびアプリケーションプログラムもROM化を図っており、更に、データはバッテリーバックアップのSRAMを使用しているため、可動部が一切なく、ハードウェアの耐久性は抜群である（図2参照）。

熱処理設備の寿命は10年から20年間使用されるのが普通であるのに対し、その制御にパソコンを採用した場合、パソコンが工場内での環境に耐えられず、システムダウンを引き起こしてしまうということをしばしば耳にする。パソコンメーカーとしても、このような環境下での使用を補償するものではない。特にハードディスクで立ち上げているシステムでは、周囲温度、粉塵、振動と、どれ一つとってもパソコンの使用には過酷すぎ、寿命が2年位しか持たない。したがって、熱処理工場において耐久性および信頼性を上げるためにも、特別の場合を除いてパソコンの使用は避けるべきであると考え、やむを得ずパソコンを24時間連続運転するような場合は、十分な環境対策をする必要がある。

#### 6) 自動立体倉庫およびリモート監視システムにより、完全無人化の実現が可能である

立体倉庫から搬送車を経由して未処理品を各炉に供給し、処理完成品を再び立体倉庫へ戻すことで、長時間の自動運転が無人で可能になるため、例えば、週末の退社時に土曜・日曜分のワークを立体倉庫に入庫しておき、コンピュータでスケジュールを登録しておく、週明けの出勤時には完成品となって再び立体倉庫に戻ってくる。この間、工場内に何か異常が発生した場合、NTTの公衆回線を介してポケットベルで警報の内容を知らせたり、自宅の画面で監視したりすることも可能である。

### 集中制御方式の限界

シーケンサが開発された当初、大変高価であったため、経済的に利用する目的から、1台のシーケンサでなるべく多くの対象を集中的に制御することが望まれた。

この方式の長所は、当時のリレー回路と比べて、

- ① 拡張性に富む
- ② 現場でのシーケンス変更が容易である
- ③ 制御の対象が増えても、それに比例して制御系のハード価格が上がるようなことはなく、経済的である
- ④ 制御システムが1カ所に集中でき、保守・管理が容易である

など、大きなメリットがあったため、現在ではすっかりリレーシーケンスにとって替わってしまっ

た。このように優れていた方式ではあったが、その後の顧客ニーズが多様化・高度化するなかで、いろいろと問題点が指摘されてきた。

- ① 大規模なシステムの一部に障害が発生しても、システム全体を停止させてメンテナンスを行わなければならない。
- ② 増設や設備更新時、システム全体を停止させてプログラム変更および試運転調整を行わなければならない、この間、操業を止める必要がある。
- ③ 制御対象が増えるにつれ、I/O点数、プログラムステップ数が共に増大し、設計ミスを引き起こす環境になりやすい。

こうした問題点を解決するために、複数のシーケンサをネットワークで結んだ分散制御方式が出現した。

### 自律分散制御方式

#### 1) システム構成

自律分散制御方式をバッチ式熱処理装置群に適応した例を図3に示す。

図3において、最下層は現場サイドの熱処理装置群で構成されており、その上の階層には、各装置ごとに設けられた個別シーケンサが配備され、最下層の各装置とハードワイヤで接続されている。この階層のシーケンサは実際に各装置の動きを制御するもので、装置ごとに制御内容が異なっており、互いに他から独立して装置と一体となった構造をしている。つまり、それ自身で自律的に運転されている。これらの個別シーケンサは、互いにネットワークで結ばれており、さらに上の階層のシーケンサへと展開している。

この上位のシーケンサは「マスターシーケンサ」と呼ばれ、システム全体を統括する働きを持っており、頭脳に相当する部分である。

ここで、個別に設けられたシーケンサをそれぞれ独立したモジュールとみなせば、システム全体はモジュール化された階層構造を形成している。更に、一つひとつの装置が個別に設けられたシーケンサと一体となって、それぞれ自律的に分散制御され、全体として調和をもって統合化された「自律分散制御システム」が構築されている。

#### 2) ワークの流れとデータの流れ

図4に、立体倉庫の未処理品棚から完成品棚ま

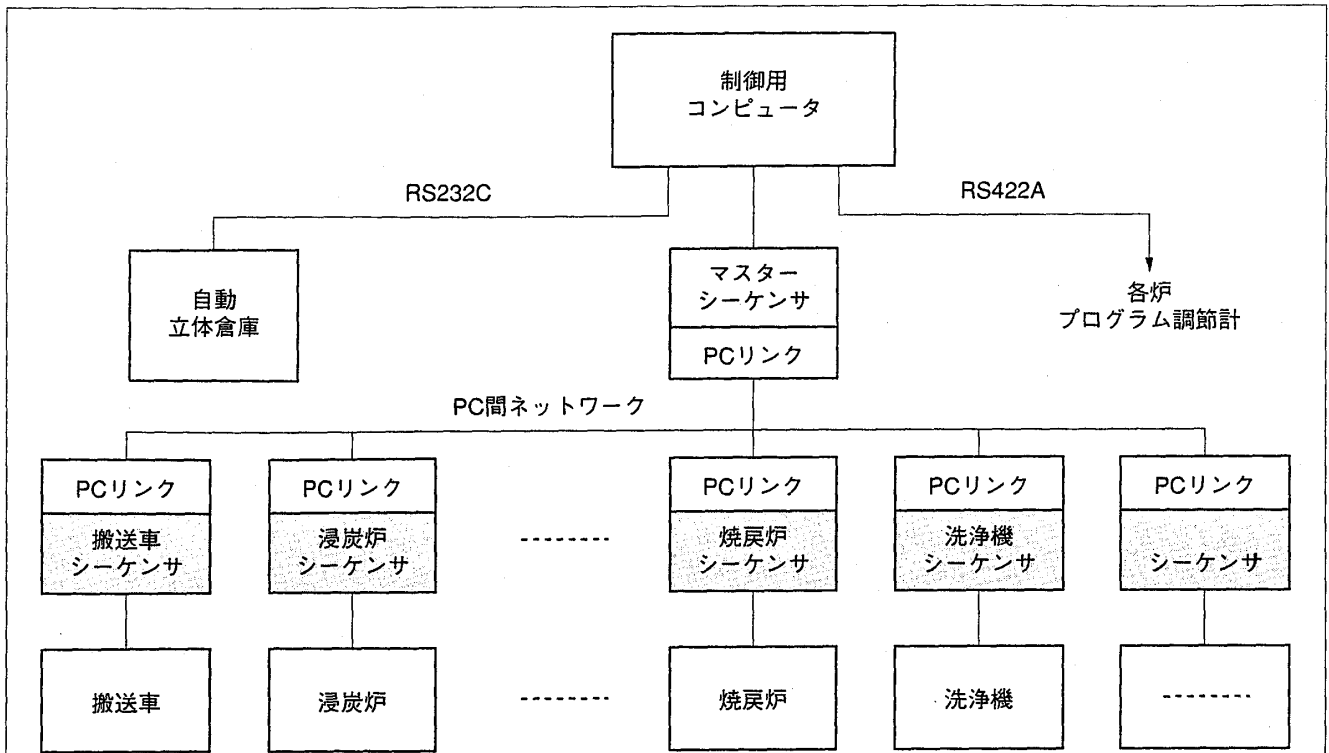


図3 システム構成

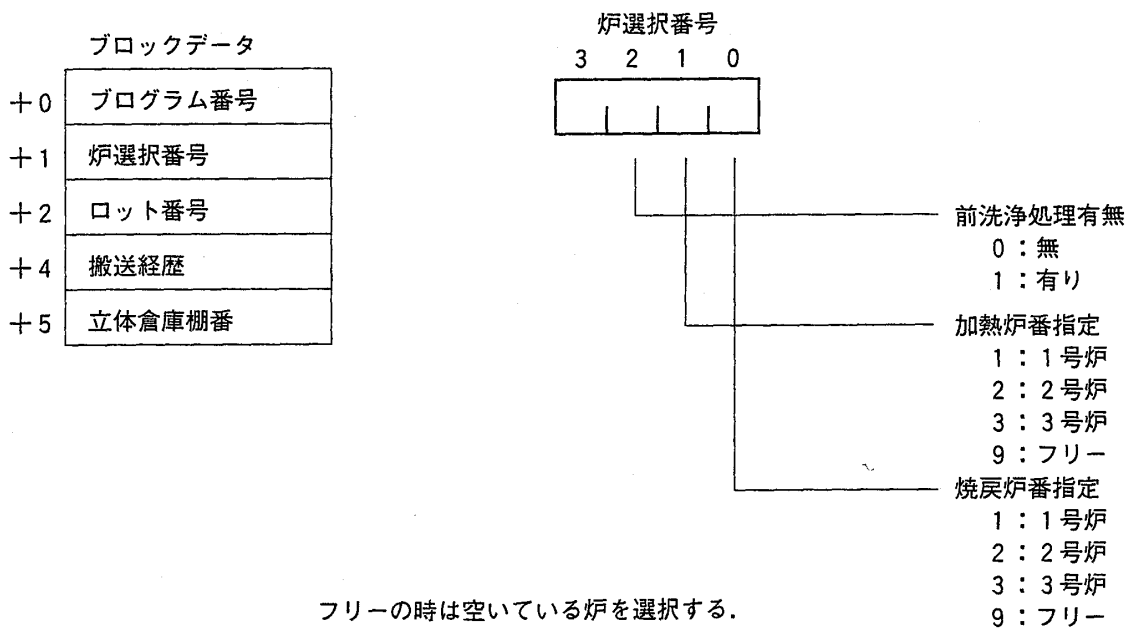
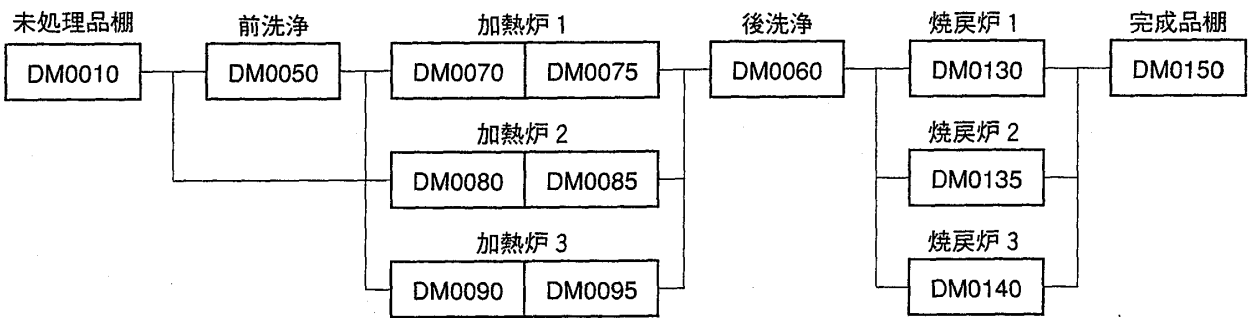


図4 全自動搬送フロー

でのワークの流れと、マスターシーケンサ内でのデータの流れを示す。

図中、プログラム番号は、先に述べた番号付けされた熱処理プログラムを呼び出すための番号で、ワークが各炉に搬入されるとマスターシーケンサからネットワークを通して各炉のシーケンサにこの番号が送られ、プログラム調節計の処理が開始される。また、各炉の処理終了で、終了信号がマスターシーケンサに返される(特開平5-214451)。

炉選択番号は搬送ルートを決める番号で、処理終了信号を受けたマスターシーケンサは、この番号に基づき、次に搬入すべき炉の番号を選択し、各シーケンサに通知する(特開平5-214451)。

これらのデータ群は図4のように5ワード/1ブロックで構成され、ワークが各装置間を搬送されるのに合わせてマスターシーケンサ内のデータメモリ間を“FROM TO”形式で移動するようにプログラムされている。

すなわち、自動立体倉庫に未処理品を入庫した後、制御用コンピュータでスケジュールを登録すると、マスターシーケンサは炉選択番号に基づいてワークの搬送を開始し、完了するとデータも搬送元から搬送先へと移動し、搬送先の炉にプログラム番号を送る。

このプログラム番号を受信した個別シーケンサは自分のプログラム調節計をランさせ、処理を開始する。そして、処理終了でマスターシーケンサに処理終了を返す。

マスターシーケンサは、常に下位のシーケンサを監視し、各装置の処理終了を受け、炉選択番号に基づき、次に搬入すべき炉番を決定する。この決定は搬送車に送られ、ワークの搬送が開始される。以上の動作は登録データがなくなるまで繰り返し続けられ、全自動運転が継続される。

最上位にある制御用コンピュータには通信用ポートが3つ用意されており、そのうち、ポート1でマスターシーケンサからプログラム番号を読み込み、ポート2では各装置のプログラム調節計に処理温度、時間やガス組成といったプロセス設定値をパターン化して送る。また、ポート3は必要に応じて自動倉庫と交信を行い、入出庫処理を行う。

この方式では、上位コンピュータがダウンしても、下位にあるそれぞれのシーケンサは各自に接続されている装置を他から独立して動かすことが

できるようになっているので、しばらくの間(マスターシーケンサの登録データがなくなるまで)、自律的に動作する。この点、人間の自律神経系に似た所がある。すなわち、自律神経系によって支配されている器官(例えば心臓等)は、各自の意志によって制御することができない代わりに、中枢の脳が死んでもしばらく働き続けるという性質である。

### 3) システムの特長と検証

以上述べてきたことから、ネットワーク化された自律分散制御システムは、以下の効果が期待できる。

- ① 拡張性に富み、しかも、再利用可能なシステムを設計できるので、開発効率の向上が図れる。
- ② 再利用可能なシステムであることから、十分評価されたハードおよびソフトが利用できる。信頼性の高いものができる。
- ③ 大規模システムでも分割設計ができるので、短期間で、かつ、信頼性の高いものができる。
- ④ 保守が容易になり、メンテナンス・コストが低減される。
- ⑤ 炉増設時や更新時に設備全体を休止することなく、短期間で工事が行える。

次に、これらの点について具体的に検証してみる。

まず、①は、同種の浸炭炉を増設する場合、炉自身の動きも同じはずであるから、既設浸炭炉シーケンサのプログラムを増設用浸炭炉シーケンサにコピーするだけでよく、最初から設計する必要がないため短期間で済む。コピーされたプログラムは今まで問題なく動いていたことから、②でいうように信頼性も高いはずである。

ここで再び図3のシステム構成図に着目してみると、一つのシーケンサを表すのに白い四角の部分と網かけ部分で表示されている。これには以下のような意味があり、大変重要な概念がある。

すなわち、白い四角の部分は他のシーケンサから“見ることができる”という意味で、ホワイトボックスで示してある。具体的にはPCリンクとかデータリンクとか呼ばれ、ネットワークに接続されているところで、他のシーケンサ(例えばマスターシーケンサと個別のシーケンサ)との交信

は、ここを経由してのみ行うことができる。

もう一方の網かけ部分は他のシーケンサからは“見るができない(見る必要がない)”ということで、ブラックボックスで示してある。ここには装置ごとに標準化されたプログラムが入っており、他から見る必要がない部分である。他のシーケンサと情報を交換する場合は、先に述べたホワイトボックスを通して行えばよいから、見る必要がないのである。

この、他から“見えない”(情報の遮蔽)ということは大変重要な概念であり、この炉に障害が発生しても、それをシーケンサ自身の内部に閉じ込めてしまい、他の装置に重大な影響を与えることがないということである。また一方、シーケンサのプログラム設計者に対しては、他の装置のプログラムに注意を払う必要もなく、自分自身の装置のプログラムにだけ神経を集中すればよく、それだけ信頼性の高いものができるということである。他の装置の状態を知る必要がある場合は、ホワイトボックスを覗けばよい。

一人の設計者が把握できる情報量には自ずと限界があり、大規模なシステムをすべて一人で設計するのは困難である。③のように何人かの設計者が共同で分割設計するのが望ましく、こういったシステムの構築には自律分散制御方式が最適と考えられる。

以上述べたことは、C/C++言語やPASCALのプログラマにはおなじみの考え方であろう。個別に設けられたシーケンサをC言語における関数(FUNCTION. 数学でいう関数というよりは、むしろ機能といった方がピッタリする)とみなせば、ある機能を一つの関数としてモジュール化し、これらのモジュールを一つの独立した部品として積み上げていく方法はC言語によるソフト開発そのものである。いろいろな機能を持ったモジュールをいくつか用意しておき、これらを組み合わせて一つの大きなシステムを作り上げていくという手法のシーケンサへの応用である。

また、新しいシステムを開発する場合においても、一から始めるのではなく、以前に作った実績のあるモジュールを再利用することによって信頼性を高め、かつ、生産性の向上を図っていくという考え方である。これは、あたかも規格化された部品やユニットを組み合わせ、一つの機械や

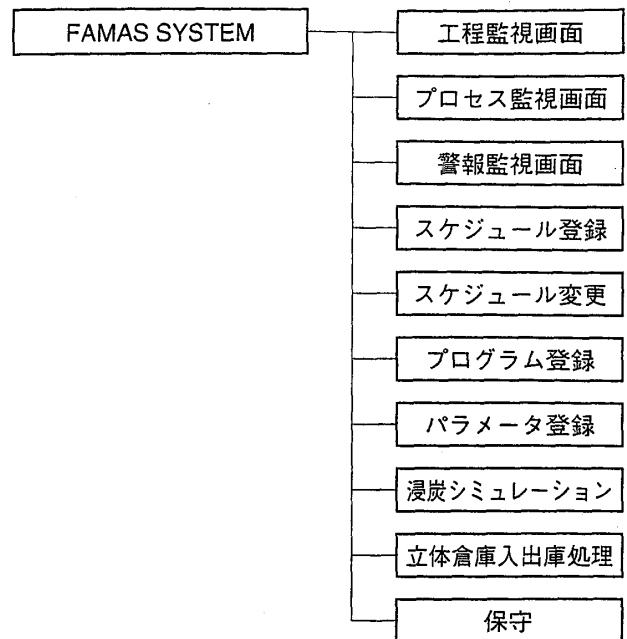


図5 FAMAS-I SYSTEMソフトウェア構成

装置を作り上げていくのによく似ており、見込生産方式で一品料理品を作るのに適している。

④の保守性に関して、各装置ごとに用意されたプログラムは標準化・専用化しやすく、また、設備全体を停止させずに対象となる炉だけを保守できるので、操業を続けながらの保守も可能である。

同様に、⑤の浸炭炉増設時や更新する場合でも、既設浸炭炉シーケンサのプログラムを増設用浸炭炉のシーケンサにコピーした後、増設用浸炭炉単体での動作確認後、ネットワークに加入すれば直ちに自動運転が可能になるので、操業を続けながら増設工事ができる。この間、設備全体を停止させる必要はない。

この場合、マスターシーケンサは下位に新たなシーケンサが加入されたことをキャッチし、それに合わせて回路網を自動生成するような工夫がある。

自律分散制御システムの構築に当たっては、どのような単位で分割化を図るかということと、どのようにネットワークの標準化を進めるかが重要なポイントとなり、この設計いかんで拡張性・柔軟性が決ってしまう。

ホワイトボックスの情報量(リンクリレー等)/ブラックボックス(内部リレー等)の情報量比が小さければ、それだけ相対的に信頼性が増すことが知られており、リンクリレー同士のハンドシェイク方法は十分検討する必要がある。

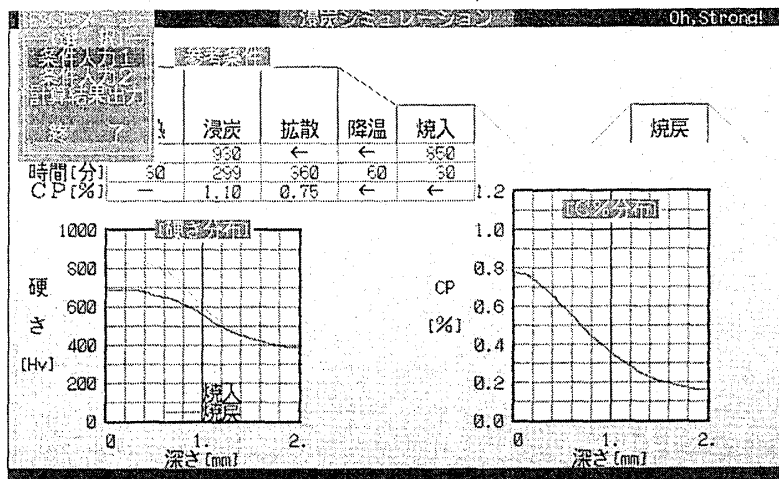


図6 浸炭シミュレーション画面

## ソフトウェア構成

参考のために、本システムのソフトウェア構成を図5に示し、各機能について簡単に説明する。特に、①、④、⑤の機能は最小限必要な機能で、これなしでは本システムの運転は不可能である。

### ① 工程監視

未処理品棚から完成品棚までのワークの流れを表示する画面

### ② プロセス監視

浸炭炉や焼戻炉の進捗状況と各プロセス量の表示

### ③ 警報監視

現在発生している警報状況の表示

### ④ スケジュール登録

未処理品棚にワークが入庫された後、そのワークの洗浄、浸炭、焼戻条件を決めるプログラム番号や搬送ルートを決めるための炉選択番号をマスターシーケンサの待行列に登録する機能

### ⑤ スケジュール変更

何らかの原因により、途中からワークの流れや処理条件を変更してやる機能

### ⑥ プログラム登録

浸炭炉や焼戻炉調節計にあらかじめ熱処理プログラムを登録しておく機能

### ⑦ パラメータ登録

浸炭炉や焼戻炉調節計にPIDパラメータを設定する機能

### ⑧ 浸炭シミュレーション処理(図6参照)

ガス浸炭処理のエキスパートシステム。ワークの材質、形状、寸法等の諸項目を対話形式で

入力すると、炭素濃度分布、硬さ分布がグラフで表示され、加えて、浸炭プログラムが自動生成されるので、これを⑥のプログラム登録機能で調節計に送ることが可能である。

### ⑨ 立体倉庫入庫処理

未処理品棚にワークを入庫したり、完成品棚からワークを出庫したりする機能

### ⑩ 保守

## おわりに

バッチ式熱処理炉の計装を目的に開発された自律分散制御システム「FAMAS SYSTEM」は、その基本設計を変えることなく今日に至っている。ネットワーク化された自律分散制御システムがいかに拡張性に富み、柔軟性に富んでいるかがこれで十分立証できたものと考え、このことは今後とも変わらないものと確信する。

これからもユーザー各位のご支援・ご指導のもと、さらに発展させてゆく所存である。

### <参考文献>

- 1) 公開特許広報：特開平5-214451
- 2) OMRON：『SYSMAC Cシリーズ PCリンク ユーザーズマニュアル』
- 3) MITSUBISHI：『計算機リンクユニットユーザーズマニュアル』
- 4) 小林邦夫：工業加熱，Vol. 29, No. 5(1992)
- 5) 小林邦夫：工業加熱，Vol. 32, No. 3(1995)
- 6) 小林邦夫：計装，Vol. 38, No. 7(1995)
- 7) 伊吹公夫：『情報処理理論』，森北出版
- 8) カーニハン，ブローガ(木村泉訳)：『ソフトウェア作法』，共立出版
- 9) R. S. ウィナー/L. J. ピンソン(前川守訳)：『C++：オブジェクト指向プログラミング』

注) FAMAS(フェーマスと読む)は当社商品名である。

こばやし くにお：技術部  
〒116-0013 東京都荒川区西日暮里2-52-1  
☎03(3802)4311 ㊟03(3803)4614