

# システムキッチン塗装工程計画エキスパートシステム

— 東陶機器株式会社 —

Process Planning Expert System for Painting System Kitchens  
— Toto Ltd. —

東陶機器株式会社では、コンピュータ利用技術の一つとして、AIを取り上げ、ES(Expert System)の研究開発に取り組んできた。1989年末には、AKES(給湯機故障診断エキスパートシステム)を完成させ、現在では給湯機アフターメンテナンス体制の強化に活躍している。次に新たな目標として、社内ニーズが高い「計画形ES」の開発に取り組むことになった。社内調査の結果、システムキッチン塗装工程は、部材の流れと作業工程が複雑で、システム化による効果が大であると判断した。そこで計画形ESの開発に着手し、1990年5月にプロトタイプ作成を終え、現場で運用テスト中である。今後、さらに改善を加え、来年度稼働の東陶機器株式会社 茂原新工場に展開する予定である。

福澤英司\* Eiji Fukuzawa  
森脇英博\* Hidehiro Moriwaki  
仲田正信\* Masanobu Nakata  
長沼正成\*\* Masashige Naganuma  
品川 基\*\* Motoi Shinagawa

## 1 緒 言

東陶機器株式会社は、西ドイツのシステムキッチンメーカーであるプルトハウプ社との技術提携により、合理性と機能性に裏付けされたドイツ流の優れた設計思想を取り入れて、さらに日本の暮らしに合わせて国産化した「ザ・キッチン・プルトハウプシリーズ」の製造販売を行っている。

システムキッチンは、扉の色やデザインが変わると全体のイメージまで違ってくる。厳選された天然木から、木肌を生かした透明着色塗装、木肌を見せない不透明着色塗装など、「ザ・キッチン」ではあらゆるキッチンライフにこたえるために、扉デザインだけでも実に82種類のワイドバリエーションを用意して、どんな住まいのインテリアにも、美しくマッチできるようにしている。

一方、工場内の塗装工程では、各色ごとに作業手順、作業シヨップ、作業時間が異なるので、厳密な工程管理は非常に困難であった。そこで、工程管理業務の負荷低減と人と設備の効率的運用を図るため、現場スタッフの工程計画ノウハウを取り込んだ「システムキッチン塗装工程計画ES(Expert System)」を開発した(図1)。

## 2 システムキッチン塗装工程

はじめに塗装工程計画とは何か、なぜ必要なのかを理解してもらうために、まずシステムキッチンの製造工程について

述べる。

システムキッチンの製造工程は、大別すると以下の3工程から成り立っている。

- (1) 機械工程……邸ごとに必要な部材を切り出す。
- (2) 塗装工程……邸ごとに指示された塗装を施す。
- (3) 組立工程……邸ごとに組み立てて、検査を行う。

ここで「邸」とは、システムキッチンの製造工程での最小ロットの単位で、施主別に独立している。

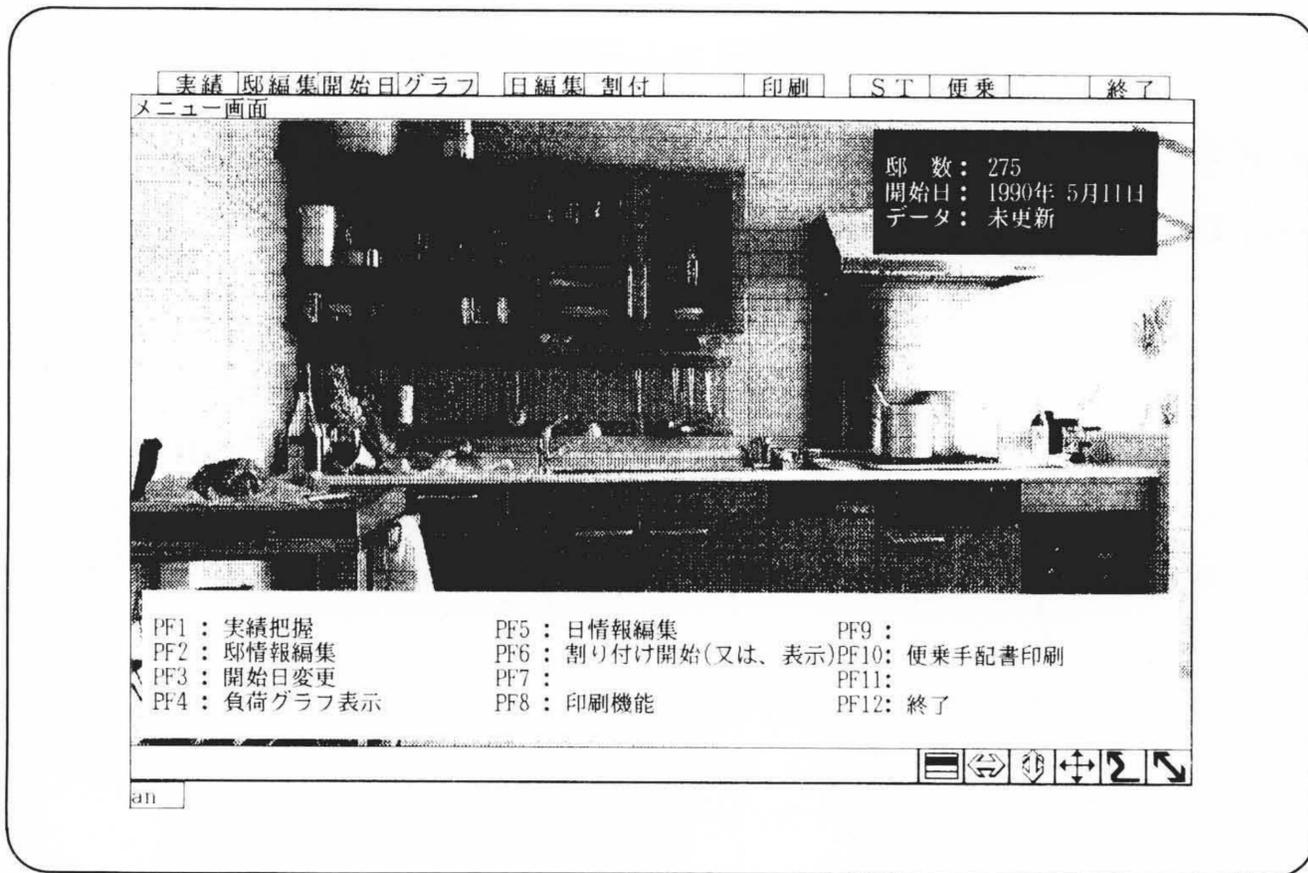
さらに塗装工程は、以下の3種類のシヨップから構成される。

- (1) 研磨シヨップ……部材を磨く。
- (2) 塗装シヨップ……部材に塗装を施す。
- (3) 乾燥シヨップ……部材を乾燥させる。

システムキッチンは、受注生産方式で生産されている。その塗装工程では、各邸(施主)別に部材が運搬用台車数台に搭載されて、各シヨップを流れていく。

研磨シヨップには、研磨設備と作業員が、塗装シヨップには、塗装ブースと作業員が配置されている。また、乾燥シヨップは、自然乾燥と強制乾燥のラインに分かれている。作業員は、台車置場にたまっている台車を取り出して、台車にはられた手配指示書(邸番号や指定色などが記入されている)に従って各作業を実施する。そして台車は、次工程の台車置き

\* 東陶機器株式会社 技術開発部 \*\* 日立製作所 情報システム工場



注：略語説明 PF (プログラムファンクションキー)

図1 システムキッチン塗装工程計画ES(Expert System)のメニュー画面 本システムの初期画面であり、ここから各種機能呼び出す。下部には各PFキーに設定された機能の説明を表示している。

場に送られる。

部材は、扉と板物から構成され、複数回の重ね塗りを施されることで、重厚な輝きを得ている。

このため、台車は「研磨・塗装・乾燥」の各ジョブを繰り返しながら通過し、その作業工程数は最大20工程にも達する。

さらに、色、部材(扉・板物)ごとに、通過しなければならない作業工程も決まっており、同じ邸の扉と板物の台車が、途中で同期をとらなければならない作業工程も数箇所存在する。また、「特急品」と呼ばれる作業最優先の台車も投入されることもある。

以上、塗装工程で台車ごとに作業工程を管理することは至難の業であり、これまで塗装工程の現場スタッフは、長年の経験と勘から「各台車置場の台車停滞量・納期日・最終工程から出てくる台車番号のチェック」などで、塗装工程の管理を行っていた。

しかし、より効率的に人と設備を動かしたい、具体的には

- (1) 各台車ごとの動きの把握
- (2) 段取り替え(塗装ブースの色替え作業)の回数減少
- (3) 効率的な作業員の投入
- (4) 部材倉庫への出庫指示

などの要望が現場から出され、「システムキッチン塗装工程計画ES」の開発がスタートした。

### 3 システムキッチン塗装工程計画ESの機能と特徴

このシステムは、日立製作所のクリエイティブワークステーション2050/32上で稼動するES構築支援ツールES/KERNEL/W(ES/KERNEL/Workstation)を使用し、システムキッチン塗装工程の各設備の作業スケジュールを、ある開始日から数日間分立案するものである。

機能は以下の項目に大別される(図2参照)。

#### (1) 各種データ編集機能

部材情報や、各設備の設備数・人数の情報(図3)、色ごとに異なる各工程での標準作業時間情報などの、変更・追加・削除を行う。また、仕掛品の作業実績情報を部材情報に反映する。これらは、おのおの専用のエディタを用意しており、簡単に編集ができるようになっている。

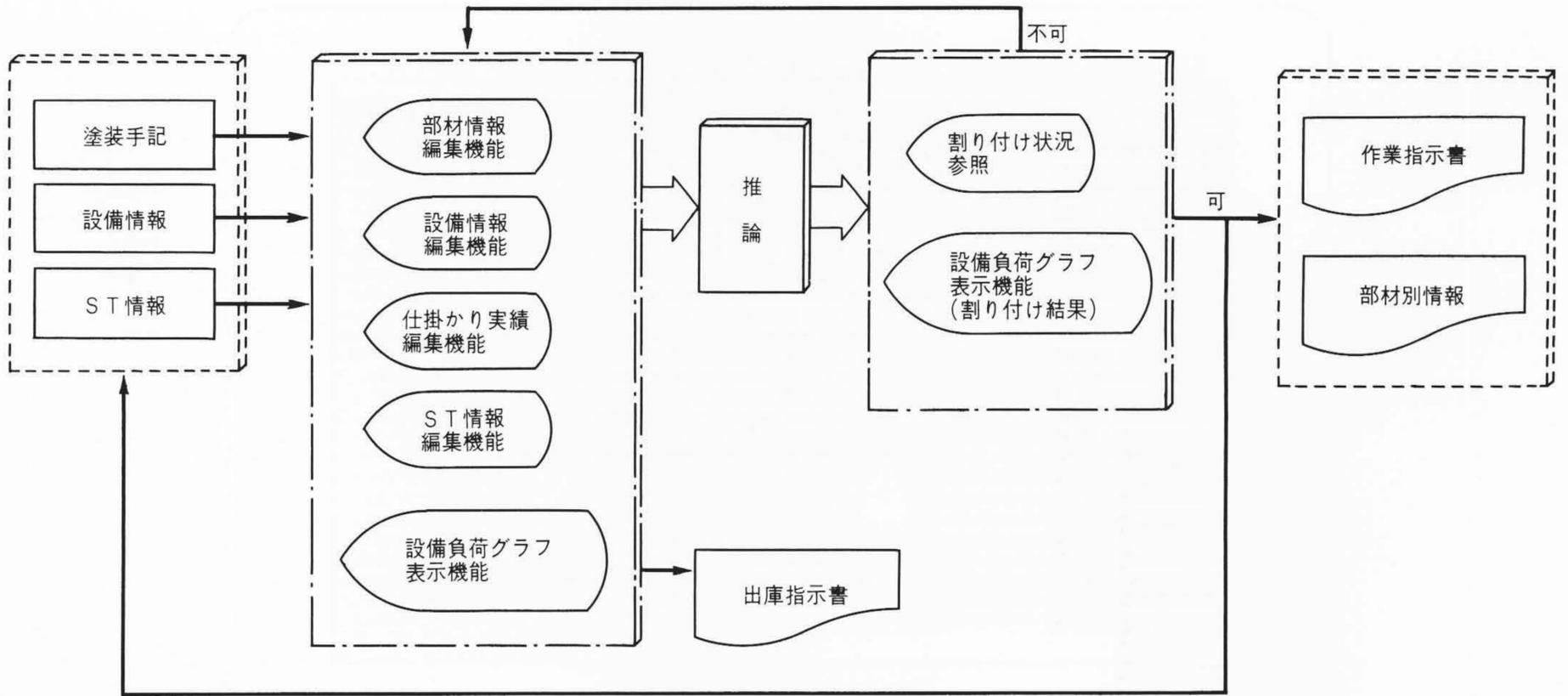
#### (2) 出庫指示書作成機能

部材は出庫係によって邸別に台車に載せられ、塗装工程に出庫され各工程を流れていく。邸によっては部材数が少ない場合もあり、それらは同色のものに限り一つの台車に積み合わせる便乗を行っている。その出庫管理のため、出庫指示書を作成し出庫係に渡す。

#### (3) 割り付け機能

入力されたデータをもとに、スケジュールリングを行う。割り付けの条件には以下の項目などがある。

- (a) 特急品は最優先する。
- (b) 色ごとに優先順位を持つ。



注：略語説明 ST (標準作業時間)

図2 システムキッチン塗装工程計画ES機能概略図 各種データとその編集機能を持つマンマシンインタフェースがある。データを基に出庫指示書を作成し推論を行い、その結果をグラフなどでチェックし合否の判定を行う。

(c) 段取り替えを最少にする(同色の台車を続けて処理する)。

(d) 同一邸品が複数台車に分かれている場合、着色・塗装・検査の工程では、色合わせのために台車が集まるまで待つ。

推論中は割り付けの状態を画面に表示しており(図4参照)、各設備の作業の疎密の状態が一目でわかるようになっている。

(4) 負荷グラフ表示機能

部材情報から計算される各設備の日ごとの作業負荷量のグラフと、スケジューリング結果から予想される各設備の日ごとの作業負荷量のグラフを表示する(図5参照)。

(5) 印刷機能

スケジューリング結果から、以下の帳票を印刷する。

- (a) 各設備の作業員への作業指示書
- (b) 各台車ごとの各工程の作業予定時間(開始～終了)

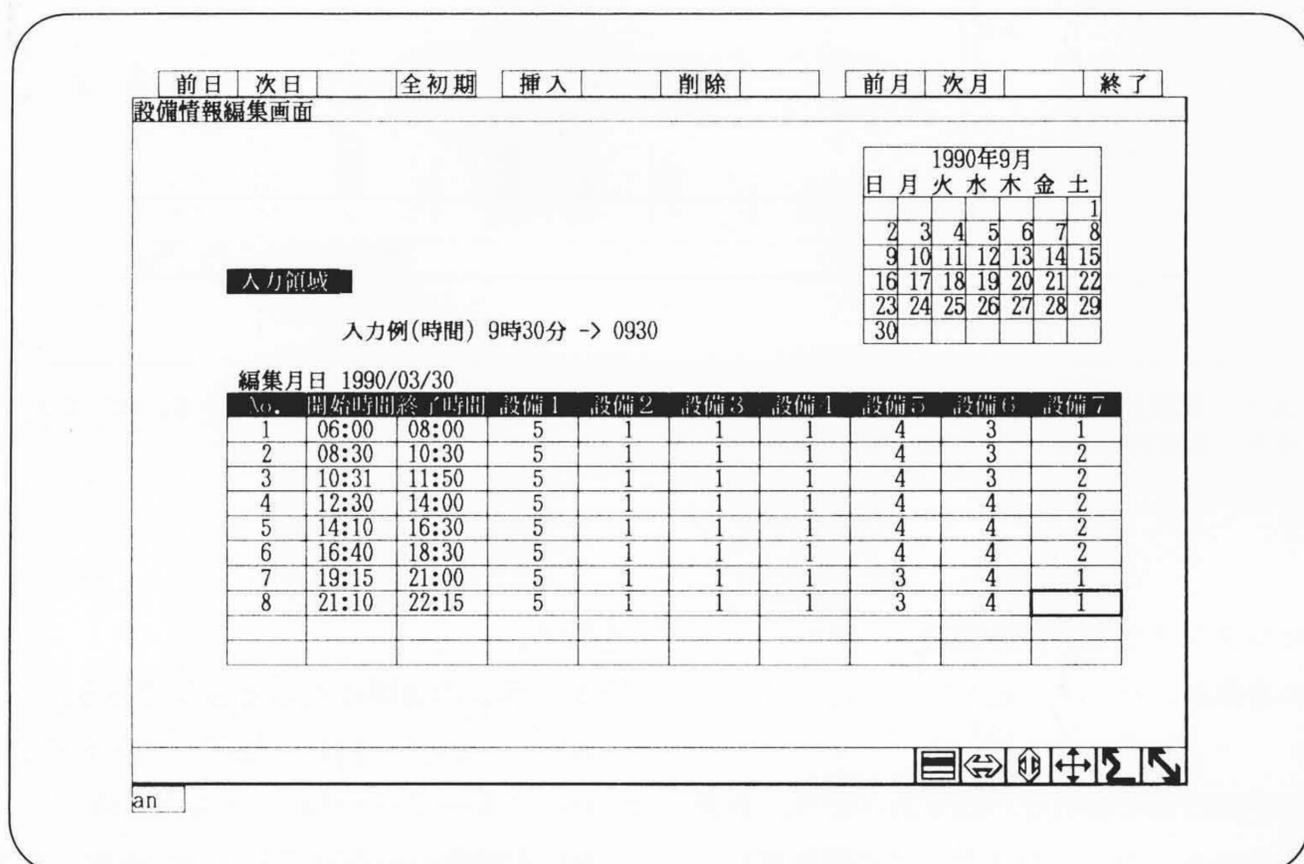


図3 設備情報編集画面 各設備の作業時間割りと、作業人数を設定する。

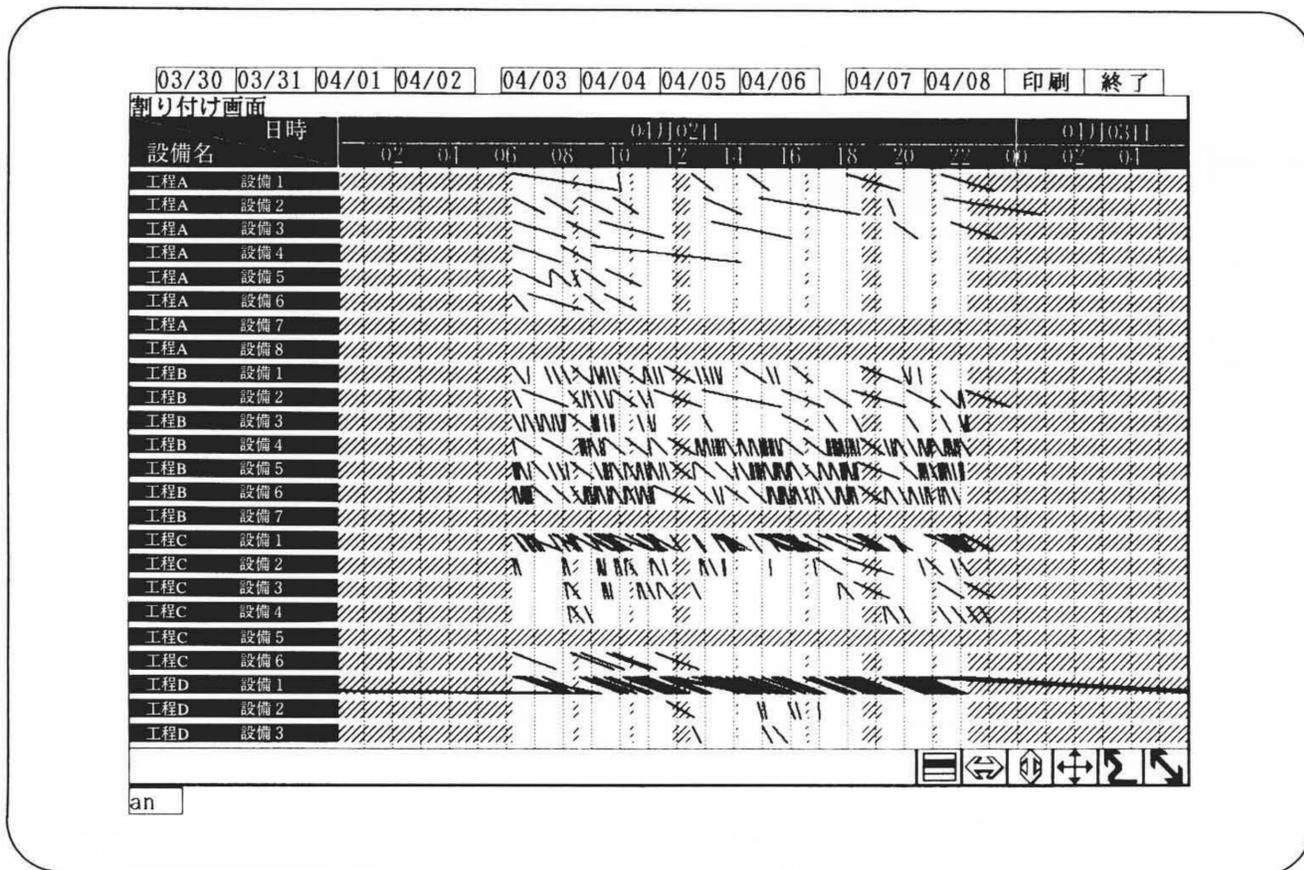


図4 割り付け画面 各設備に作業を割り付けている状況を表示している。左斜線部は不稼動時間を表しており、右斜線部はある作業が設備を占有している状態を表している。

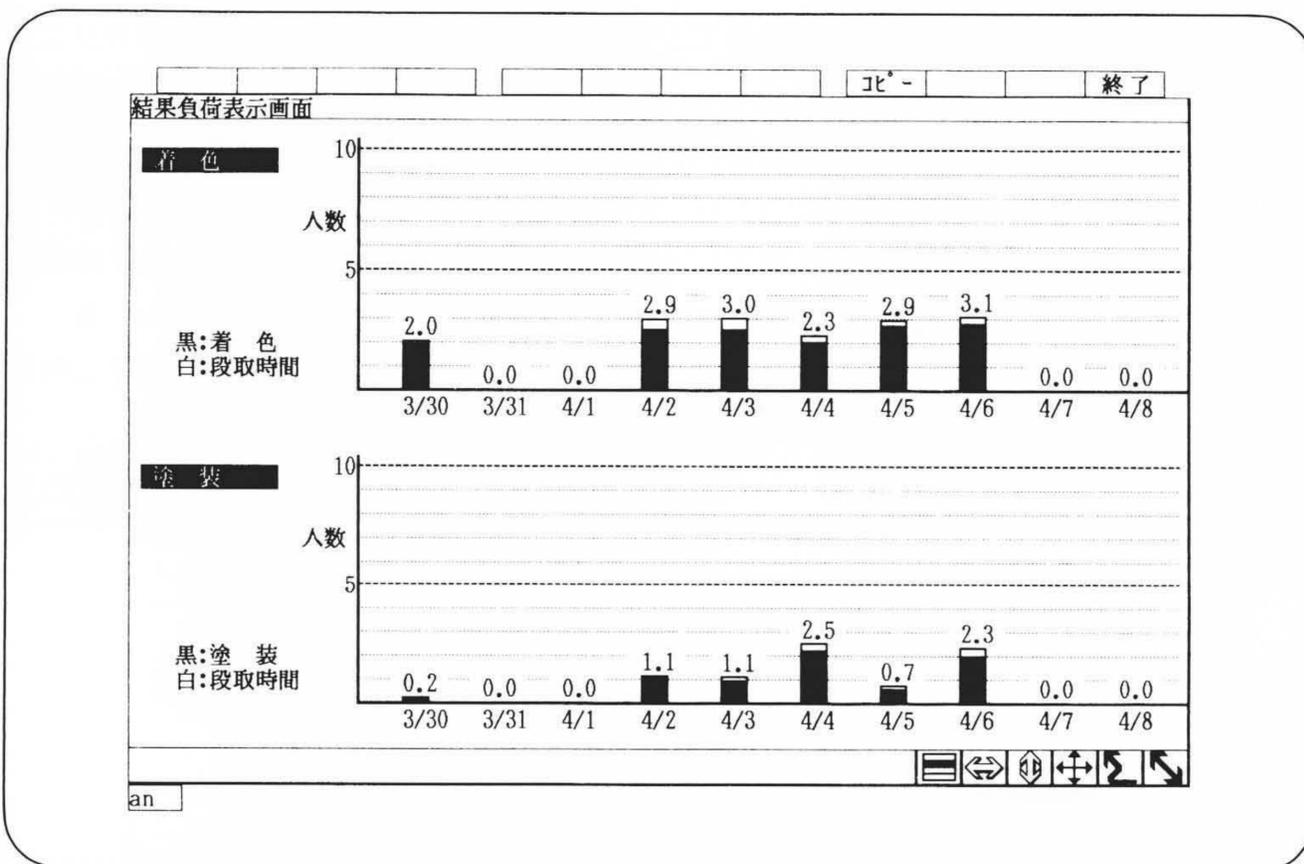


図5 負荷グラフ表示画面 割り付け結果から設備の負荷を計算し、グラフを表示する。本図では、着色と塗装工程に対する10日間の負荷を表している。

- (c) スケジューリングシステムの操作履歴
- (d) グラフなどの各画面のハードコピー
- (6) その他

割り付け結果から納期に間に合わない邸があったり、負荷グラフで過負荷な設備があったりした場合、邸の優先度や、各設備の稼動時間、投入人数を変更し、再スケジューリング

を行う。

システムの規模は次のとおりである。

- (a) ルール……117 (初期プロトタイプ)→21(高速化後)
- (b) フレーム……14 (推論開始時)
- (c) C言語……約14.5 k Step(画面 約8 k Step)

#### 4 割り付けアルゴリズムと高速化

システムキッチンは「邸」という単位で呼ばれている。1邸中の塗装対象部材は、そのタイプ別に2台車に分けて搭載される。台車の工程手順は塗装色および搭載部材のタイプによって決まる。二つの台車は基本的には非同期に進行してよいが、品質上同期をとらなければならない工程もある。台車の工程別作業時間は搭載している部材の塗装色、タイプおよび量によって決まる。塗装工程スケジューリングは、台車の工程別作業を設備と時間の二次元の平面に割り付けることが基本である。

##### 4.1 仕様概略

- (1) 工程数……10~20工程/台車
- (2) 設備数……24台
- (3) 利用形態……1回/日のバッチ処理
- (4) スケジュール期間……最大10日間分
- (5) 割り付け時間……最大15分
- (6) 時間の単位……1分単位
- (7) 割り付け方法……時間的に早く空く設備に対して、局所的に最適な台車を割り付ける(図6)。(バックトラックなし)
- (8) 割り付けルール…特急品, 段取り替え(図7), 色別優先順位など
- (9) 解の評価……スケジューリング結果に不満足な場合は、条件を変更して何度かシミュレーションし、最終的には人間が判断する。
- (10) 実績収集……1回/日, 台車の実績を収集し次回のスケジューリングに反映させる。

##### 4.2 高速化

スケジューリングの頻度が多い利用形態では、割り付けの処理時間はシステムの性能を決定する重要な項目である。そこで、以下のような方法を使って割り付けの高速化を行った<sup>4)</sup>。

###### (1) フレームの階層化

ルール条件節でフレームのクラスを限定することにより、フレーム更新時のルール条件に対応するインスタネーションの作り直しの負荷が軽減される。ただし、一つのルールで二つ以上のクラス限定をOR記述した場合、クラス限定しない場合と比べて処理速度が速くならなかった。そこでOR記述をやめ、それぞれのクラス限定を持つルールに分割することにより、処理速度を向上させた(図8)。

###### (2) ルールのCメソッド化

手続き的な処理を行っているルールは、なるべくCメソッド化した。ただし、開発の初期段階ではプログラムの手直しが多いので、無理をしてまでメソッド化する必要はない。この段階ではまず正確に動作することが最も重要である。作成しやすいほうを選べばよい。

###### (3) フレームの動的生成と消滅

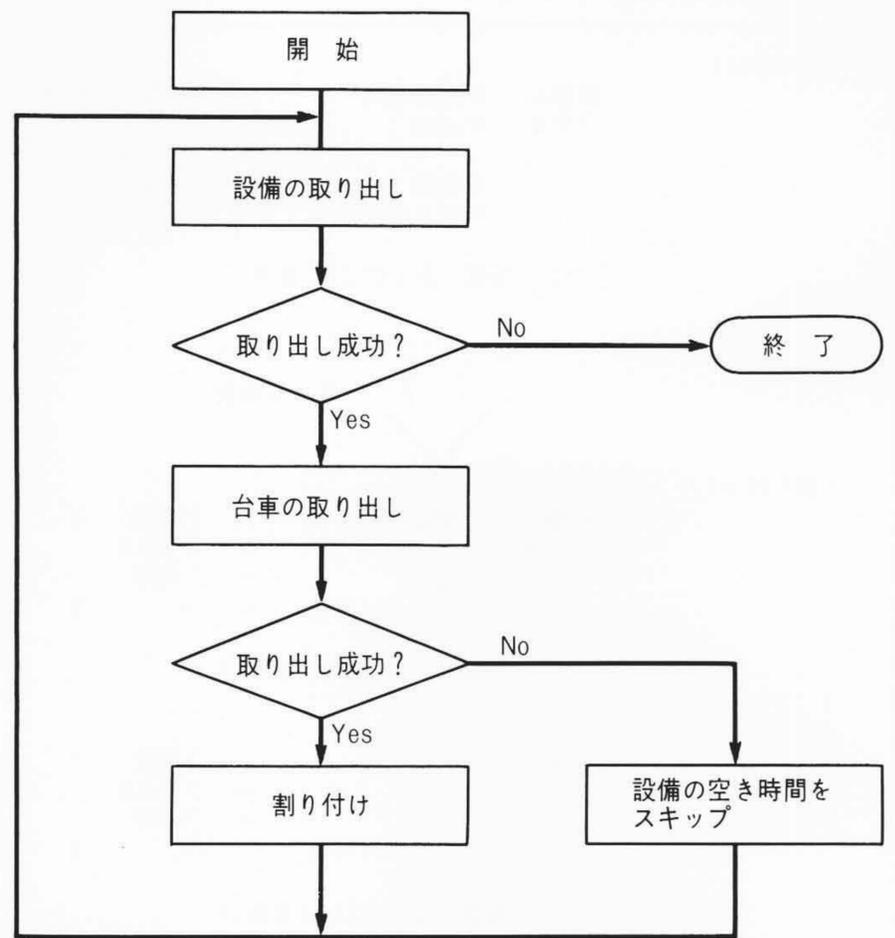


図6 割り付けアルゴリズムの基本フロー 設備の取り出し, 台車の取り出しおよび割り付けの基本サイクルを繰り返す。

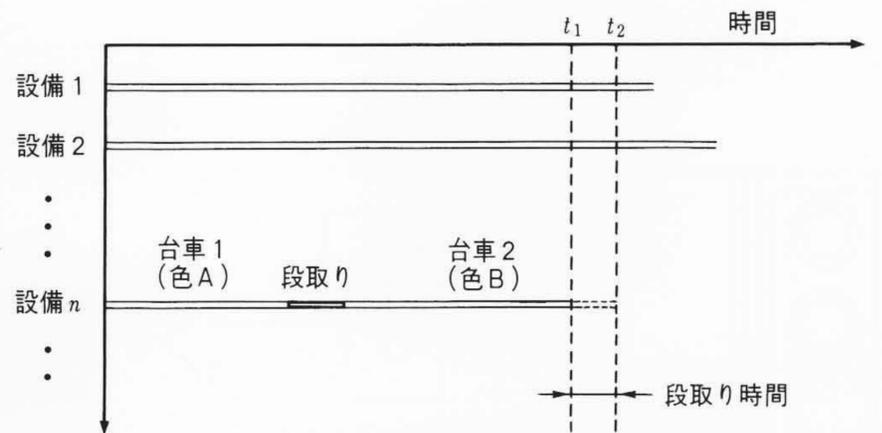


図7 段取り替えの考え方 設備nの空き時間 $t_1$ 時に着手可能な台車の中に同色(色B)がなくても、段取り時間分進めた $t_2$ までに同色の台車が現れるのかわかっているならばそれを待つ。 $t_2$ までに同色の台車が現れなければ段取り替えを行う。

一般的にフレーム数が増えると、検索空間が広がるので処理速度は遅くなる。検索空間が狭いほうが処理速度は速い。一方、スケジューリング期間に対してフレームの有効期間が短い場合は、すべてのフレームを常時存在させる必要はない。割り付け時に必要なフレームだけが存在していればよい。そこで、スケジューリングの進行に合わせて、必要時に必要なフレームだけを生成し、割り付けが完了したフレームは消滅することによって、検索空間を狭めることができる。ただし、スケジューリング期間に対してフレームの有効期間が長い場合は、フレームの動的生成と消滅を行っても検索空間はほとんど狭まらない。それどころか、フレームの生成と消滅の処理に時間がかかり、かえって割り付け速度が劣化することも

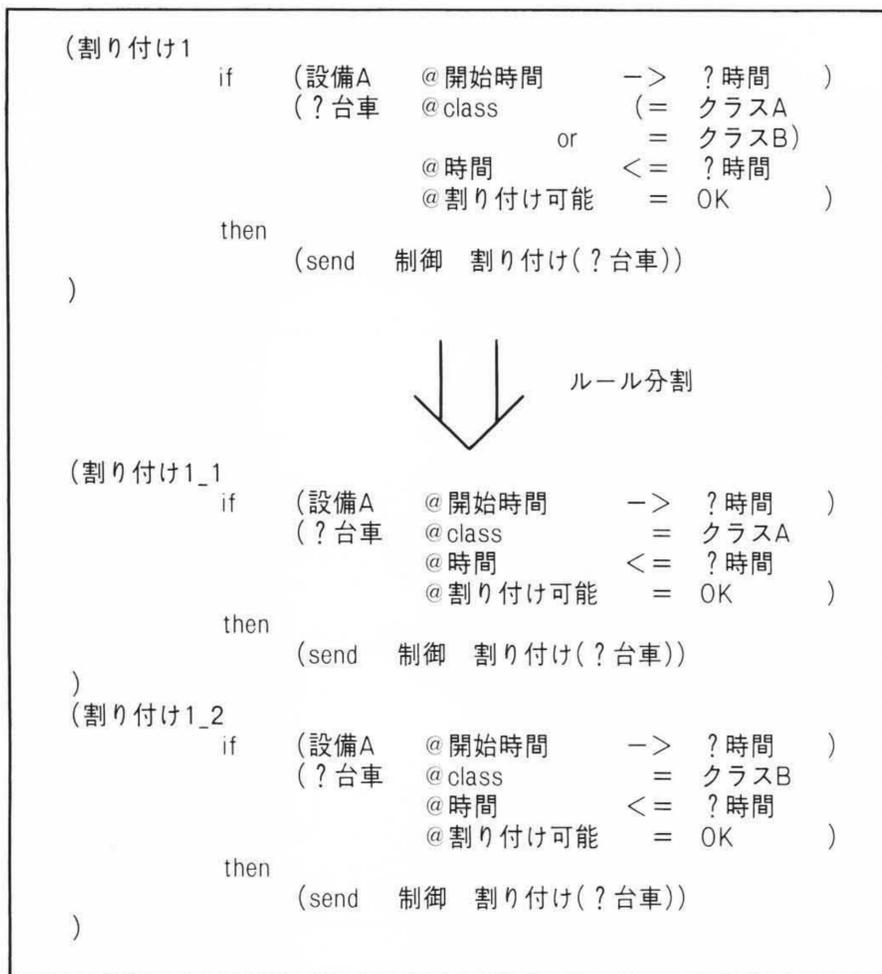


図8 割り付けルール記述例 上のルールではクラスのOR記述を用いて割り付け処理を行っているが、下のルールではOR記述をやめて、それぞれのクラス限定条件を持った二つのルールに分割した。

考えられる。本ESの作成にあたっては、フレームの有効期間に応じてフレームの動的生成・消滅の方法を選択した。

## 5 運用

本スケジューリングシステムの運用体制を図9に示す。本システムでは、サブホストからフロッピーディスクで塗装手配のデータを得られ、これをもとにスケジューリングを行う。スケジューリング結果は印字され各作業場に渡され、それに従って作業が行われる。また、塗装手配から出庫係に出庫指示書も出力する。標準作業時間データや人員の割り当てなどのデータのスケジューリングシステムへの入力、システム管理者が行う。

### 5.1 塗装手配

塗装手配は、サブホストからフロッピーディスクで毎日渡される。塗装手配は、その部材が塗装開始される数日前に出されるため、塗装が開始するまで数日はスケジューリングの対象とならない。ただその場合でも、データは存在している。サブホストからすでにスケジューリングシステムへデータが送られた部材に、塗装開始日までに発注数などの変更や生産中止が起こった場合は、スケジューリングシステムのデータ編集機能を用いて、その部材のデータを変更・削除する。

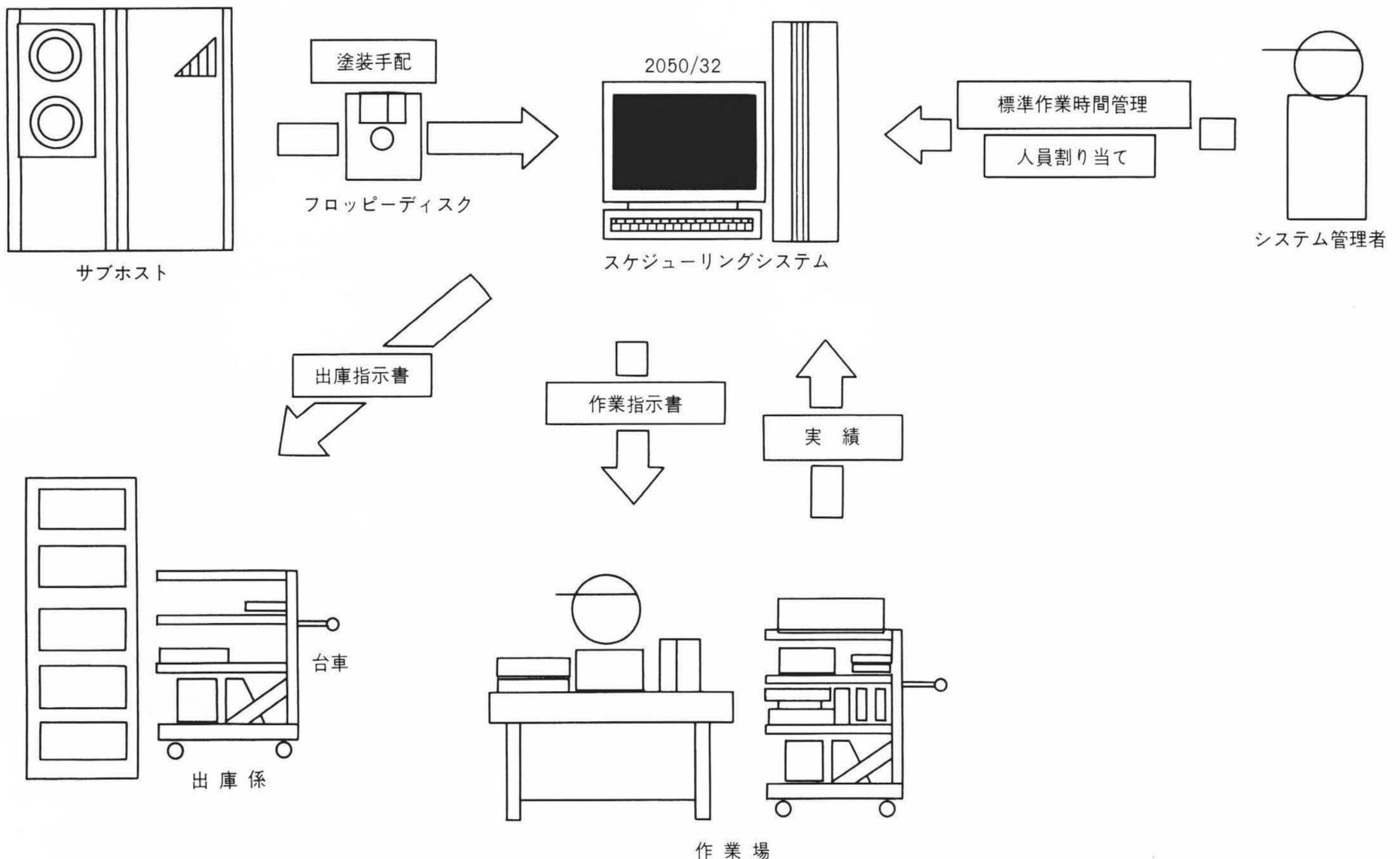


図9 システムキッチン塗装工程計画ES運用図 サブホストからの塗装手配、システム管理者が設定する標準作業時間および人員割り当てからスケジューリングを行い、出庫指示書、作業指示書を作成する。

## 5.2 出庫指示書

塗装工程では塗装する部材は台車に載せられて移動する。塗装が行われる部材は、出庫係によって塗装が開始される寸前に部品倉庫から出庫され、台車に載せられる。ただ台車の数と台車置き場の広さの制限があるため、塗装開始日以前にすべての部材を台車に載せて用意することはできず、作業を行う順番で部材を出庫する必要がある。そのために、どの順番で作業を行うかを考慮して、システムが出庫係に出庫指示書を出力する。出庫指示書には、その日に出庫する台車が出庫する順番で書かれており、出庫係はそれを見て作業を行う。

## 5.3 作業指示書

スケジュールリングされた結果は印字され、作業指示書として各作業場に手渡される。各作業場の作業員は、これをもとにそれぞれの作業を行う。

## 5.4 実績〔進捗(ちよく)〕

各作業場の作業員は、その日に処理した台車を記録しておき、作業終了後に実績データとしてスケジュールリングシステムに入力する。これによって、台車の仕掛かりの状況を把握することができ、次のスケジュールリングでは仕掛品の作業を含めてスケジュールリングを行うこととなる。

## 5.5 システム管理者

システム管理者は、スケジュールリングシステムを運用するためにいろいろのデータを入力し、スケジュールリングを行う。システム管理者が入力するデータには標準作業時間データ、人員割り当てなどがある。システム管理者は、これらのデータを入力、設定しスケジュールリングを行い、その結果を各作業場に配布する。

# 6 システム開発と今後の課題

## 6.1 システム開発の実際

現在のスケジュールリングシステムのルールはまだ完全ではない。これは実際には、専門家が意識せずに用いている深い部分での知識が、スケジュールリングシステムに十分に反映されていないためである。現場ではスケジュールリングのルールがきちんと文書化されておらず、ほとんど各個人の知識として持たれていた。知識の抽出はすべて専門家へのインタビューで行われたものの、各ルール間の優先度や意識の深い部分でのルールが十分に抽出されないままにシステムの製作が行われ、試用する運びとなってしまった。今後は、運用テストを通じて専門家にシステムを操作してもらい、抽出されなかったルールをうまく引き出していくようにしたい。

またスケジュールリング処理時間に関して、プロトタイプ開発当初は手続き的な処理をルールで行っていたために、1回のスケジュールリングに相当な時間がかかっていた。システムの完成度が向上するに従って、高速化処理などによって現在は10日分のスケジュールリングを約10~15分で行っている。こ

れはあまりスケジュールリング時間が長いと、どんなに優れたシステムでも使うのに抵抗があると考えたからである。今でもスケジュールリング作業を毎日行うことを考えると、スケジュールリング時間は10分以内が望ましい。塗装工程の現場では日々の作業が終わる22時30分ごろから実績収集、翌日のスケジュールリング作業を行うため、スケジュールリング時間が長いと使われなくなるおそれも出てくる。ただ前章で述べたように、スケジュールリング時間を短くするためのソフトウェア的な方策はほぼすべて出尽くした感があり、これからはハードウェアの性能、特にCPUの処理速度に関して期待している。

## 6.2 運用テストと問題点

スケジュールリングシステムを、システムキッチン塗装工程事務所に設置し、運用テストを行ったところ以下のような問題が生じた。

### (1) 塗装手配の修正

サブホストからフロッピーディスクで送られる塗装手配の内容が、スケジュールリングシステムに送られた後に変更されることがある。システム開発初期は、塗装手配の修正はまったく考えていなかったため、手配データを修正できずに問題となったが、現在ではかなりの修正機能を持たせ、塗装手配データのほとんどの項目をワークステーション2050の画面から行えるようになった。

### (2) スケジュールリング精度

残念ながら現在のスケジュールリングシステムでは、100%スケジュールどおりに作業を行うことはできない。実際には、スケジュールしたスケジュールを、さらに手書きで再調整して使っている。これは、スケジュールの対象となる部材数と設備数が多いため、スケジュール修正用のマンマシンインタフェースの作成が困難なためである。さらに一つの部材が同じ設備を何回も利用するため、専門家でも、修正した結果、どこが影響を受けるか予測できないという問題もある。

### (3) 実績収集

日々のスケジュールリングを行うためには、それまでの実績(進捗)の収集は欠かせない。これをスケジュールリングに反映させないと、まったく役に立たないスケジュールを立ててしまうことになる。当システムの実績収集で問題となったことは、一つは各作業場での進捗管理で、もう一つは実績(進捗)データのワークステーション2050への入力であった。前者では作業員の訓練が思ったようには進まず、かなり苦勞した。システム作成者にとっては、システムの改良は比較的すぐできるのであるが、現場での運用に関しては現場スタッフの管轄であり、なかなかこちらの思ったようには進まなかった。また後者では、マンマシンインタフェースの改良でかなり入力がスムーズになったものの、まだまだ改良の余地を残している。

### 6.3 今後の進め方

スケジューリングシステムの今後の進め方としては、前述の問題点を解決するために次のような対策を進めていく予定である。

#### (1) 手配修正機能の改良

塗装手配の修正をより早く行えるように、マンマシンインタフェースの改善を進める。また、現在フロッピーディスクで渡される手配データを、サブホストからオンラインで引き渡されるように改良すると、より使いやすくなると思われる。

#### (2) スケジューリング精度の改良

スケジューリングの精度を高めるために、ルールの整備、追加を行う。特にスケジューリング処理時間との兼ね合いから、ルールを追加しても処理時間が極度に増加しないように注意する必要がある。

#### (3) 実績収集の改良

現在、実績(進捗)の収集が最大の問題となっているので、これについては早急に取り組む必要がある。ただし、当分は現場の運用方法の改善によって対策することになっており、現場スタッフの双肩にかかっている。将来的には進捗管理用のターミナルを各作業場に配置し、オンラインで実績の収集を行えるようにしたいと考えている。

## 7 結 言

最近、各工場やオフィスなどで、作業や生産の省力化およ

び自動化が追求されてきた。しかし、実際には仕事の処理順序や投入人員の選択、製品の生産量などは、多くの場合、現場の人々がマニュアルで行っているのが現状である。

一般にスケジューリング問題とは、仕様の説明は理解しやすいが、実際に「どうやってよいか」については難しい問題が多い。本システム開発の初期段階でも、計画の立案方法についてグループ内で度重なる議論を戦わせ、しだいに方法論が固まっていったことが想起される。

現在、システムは東陶機器株式会社 行橋工場に設置され、日々の運用テストが試行されている。いわゆる「本格的実用化」へ向けての最後のハードルをクリアしている段階である。

今後は今回開発した技術をベースに、来年度着工予定の東陶機器株式会社 茂原新工場のシステムキッチン塗装工程計画に展開し、さらに他の計画業務への適用拡大を図っていく考えである。

### 参考文献

- 1) 小林：知識工学，昭晃堂(昭61)
- 2) 関根：PERT・CPM，財団法人日本科学技術連盟(1985)
- 3) 知的情報処理システムに関する調査研究報告書：日本情報処理開発協会(平1)
- 4) 浜崎，外：計画・スケジューリング形エキスパートシステムへのアプローチ，日立評論，72，11，1131～1136(平2-11)