

予測適応形生産管理システムの開発

Development of Predictive Adaptive Production Control Systems

例外処理が多発する設計、試作、検査などの管理業務には、工程時間の推定値や作業能力などの基礎データに不確定な変動要素が多い。このような制約のもとでは、判断業務の自動化よりは、むしろ高度な判断ができるための分析情報を提供するマンマシン管理システムが望まれよう。

本稿では、工程異常の予測と原因・対策の分析をインタラクティブに行なえる予測適応形生産管理システム(PASS及びADPT)について述べる。

PASSとADPTは、共にCRTカラーディスプレイとオンライン・シミュレータの組合せによるマンマシン機能をもつ。また、各ユーザーの生産管理システムに容易に組み込めるようにパッケージ化されている。PASSは、家庭電気品量産工場での新製品開発の期限管理に適用されており、ADPTは、ソフトウェア設計工程の管理に用いられている。

田畑 邦晃* *Tabata Kuniaki*
 森 欣司** *Mori Kinji*
 高井 兵庫*** *Takai Hyōgo*
 長谷川邦夫*** *Hasegawa Kunio*
 中村 晃治**** *Nakamura Kōji*

1 緒 言

オンライン計算機を導入した生産管理システムは、データ収集や指示伝達を目的とした段階から、時々刻々の判断業務の自動化へと重点が移りつつある。この傾向は、特に、プロセス産業や装置産業に顕著にみられ、工程の状況変化に応じて作業指示を自動作成し、制御する「ダイナミック・スケジューリング・システム」が開発されている^{1),2)}。しかし、一般の生産工場では、工程時間の推定値や作業能力などの基礎データに不確定な変動要素が多く、機械的な計算では処理しきれない場合が多い。特に、新製品の開発に伴う設計、試作、検査などの作業は、非定型な例外管理が主である。

このような制約のもとでは、判断業務の自動化よりは、むしろ人間の意思決定を支援し、より高度な判断ができるための分析情報を提供するシステムが望まれよう。この観点から、日立製作所は、マンマシンによる予測適応形生産管理システムを開発した。このシステムは、Predictive Adaptive Simulation System(以下、PASSと略す)及びAdaptive Design Process Trace and Control(以下、ADPTと略す)と呼ばれるサブシステムで構成される。PASSとADPTは、共に各種の工場に適用できるようにパッケージ化されている。

本稿では、マンマシン機能に主眼を置き、PASSとADPTについて紹介する。

2 マンマシンによる工程予測評価システム(PASS)

PASSは作業遅延、仕掛増加などの未来の工程異常を予測するとともに、計算機との対話によって、異常原因の分析と対策の評価が行なえるマンマシン・システムである。PASSの基本機能とソフトウェア構成、機器構成(制御用計算機HIDIC 80, Cathode Ray Tube(以下、CRTと略す)カラー・ディスプレイ)などの詳細は、既に報告^{3),4)}しているため、本稿では、マンマシン処理を中心に説明する。

2.1 PASSの概要

工程異常の発生を事前に防止し、異常を先取りした先手管理を実現するために、PASSには次の機能をもたせている。

(1) 工程異常の予測機能

工程管理上、注目すべき現象は、計画期限からの遅延や作業量のピーク、無作業による稼働率の低下、仕掛量の増加などであろう。PASSは、製造現場の作業進捗状況を随時監視し、工程の未来の挙動を模擬することによって、これらの異常値の発生を事前に予知し警報を出力する。

(2) 異常対策の評価機能

工程異常への対策として、一般の生産工場では、計画期限や作業の優先順位、生産能力、作業担当部署などを変更する場合が多い。このうちの任意の代替案を人間が設定すれば、PASSは、その対策が工程に及ぼす影響を定量的に推定する。このシミュレーションの条件は、CRTのキーボードから修正できる。

シミュレーション・モデルは、Program Evaluation and Review Technique(以下、PERTと略す)で表現している。PASSのシミュレーションには、作業計画と工程の現況に関するデータが必要であるが、これらは、PERTネットワークの各ノードとアークに対応した計画期限、作業時間、担当部署、作業の先行・後続関係などである。また、これ以外に、各作業間の優先順位や各部署の生産能力のデータをもPASSに入力する。

2.2 マンマシン処理

図1は、PASSによるマンマシン処理の一例を示したものである。この処理の流れは、(1)異常予測と原因分析、(2)異常対策の立案、(3)対策評価の三つのフェーズに分かれる。

(1) 異常予測と原因分析

工程の現在の進捗状況を、作業計画のデータに基づいてシミュレーションする。シミュレーション結果は、まず、各物件の計画期限と現在の作業実績、予測進捗などを要約してマクロに表示する。特に、物件D 885は5週間の大幅な遅延が予測されるので、警告のメッセージが出力される。この物件の詳細な情報を得るためには、予測進捗表示の画面をCRTに呼び出せばよい。この画面は、物件D 885の全作業を工程別に展開して示したものであり、各工程の計画期限と予測進捗、

* 日立製作所システム開発研究所 ** 日立製作所システム開発研究所 工学博士 *** 日立製作所大みか工場 **** 日立製作所栃木工場

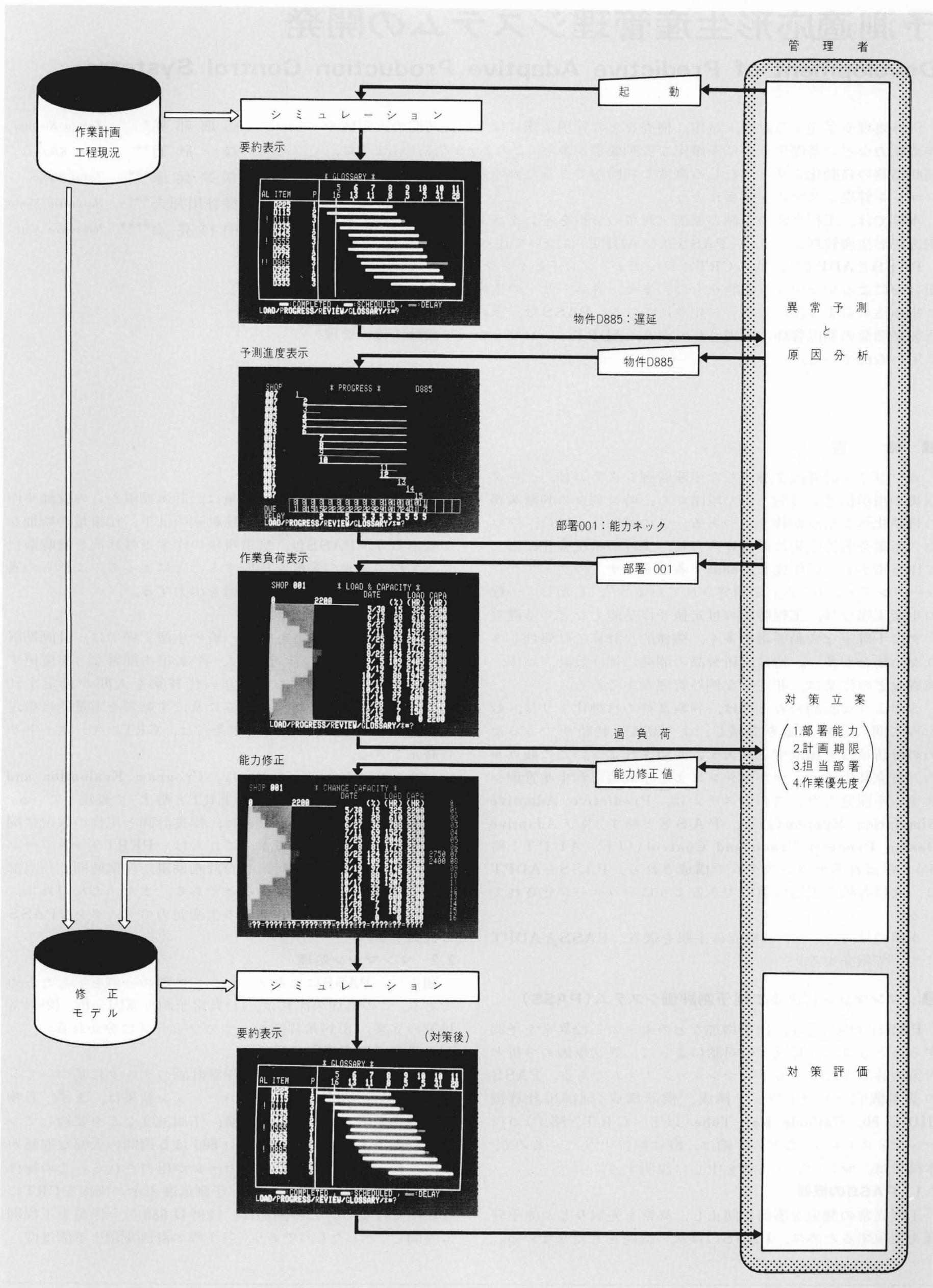


図1 PASSのマンマシン処理フロー 計算機との対話によって、工程異常の予測と原因分析及び対策評価が行なえる。

クリティカルパスなどが表示される。このうち、作業12が全体のネックになっており、その担当部署001が過負荷であるために、物件D885の遅延が生じていることが分かる。

(2) 異常対策の立案

遅延発生を防止するためには部署能力、計画期限、担当部署、作業優先度などを変更する必要がある。これには、幾つかの代替案が考えられるが、図1の例では、他部署からの人員応援や残業などによって、部署001の能力増強を試みている。このために、部署能力のデータをCRT上で修正し、シミュレーションモデルを変更する。

(3) 対策評価

修正後のモデルを用いて再度シミュレーションする。前回のシミュレーションでは、物件D885の遅延は5週間であったが、部署001の能力増強によって、遅延を1週間に低減できることが分かる。同様にして、計画期限の変更、担当部署の変更、あるいはこれらの任意の組合せなどの各種の代替案についてもシミュレーションし、その効果を定量的に評価する。このようにして、最適な対策を決定する。

以上のような処理によって、工程異常の予測と原因分析、対策評価が行なわれる。このシミュレーションは、ユーザーのデータベース内に準備された最新のデータ(作業計画、工程現況)を取り込む構成になっているので、日々の生産管理業務の中で用いられる。

PASSは、家庭電気品量産工場での新製品開発の期限管理に適用されている⁴⁾。新製品開発は、設計、試作、検査、設計変更といった作業が繰り返されるが、新規性の高い製品を扱うために、試行錯誤的な要素が強い。特に、設計改善による原価低減の努力は、変動する市場の動向に合わせて、厳しい期限制約のもとで繰り返し行なわなければならない。このとき、人員あるいは設備的な開発能力の制約、市場動向の予測、原価低減の目標値などの各種の要因を考慮した高度な判断が要求される。このような条件のもとでの期限管理業務に、PASSのマンマシン機能が活かされている。

3 適応形設計工程管理システム(ADPT)

最近の情報システムでは、ハードウェアに比べソフトウェア生産コストの比率が高まってきている。ソフトウェア生産性向上のためには、標準ソフトウェアや新プログラミング言語、ストラクチャードプログラミング、トップダウン技法などのソフトウェア製作のための道具としての技法の開発と、チーフプログラマー制などのソフトウェア生産のための組織としての管理技法の導入とが検討されており、これらの効果もしだいに明らかにされてきている。更に、多数の設計者を必要とするシステム製品や短納期製品に対しては、特にソフトウェアの工程管理のための技法導入がますます重要視され、検討されるようになった^{5)~7)}。

ところが、ソフトウェア製作のような設計作業は、製造作業と異なり、頭脳作業としての面が強い。そのため、従来、製造作業の工程管理に対し開発されたPERT, Critical Path Method(CPM), Graphical Evaluation and Review Techniques(GERT)^{8),9)}などの技法を設計工程管理に適用しても十分な効果は得られない。それは、設計作業が製造作業と異なり次に述べるような特徴をもつためである。

- (1) 設計内容が細分に至るまで前もって決められず、作業進行に応じてしだいに明らかにされていくことがある。
- (2) 設計法は個々の対象によっても、また設計者によっても異なることが多い。

このような設計に対しては、前もって緻密な作業計画を立てておくのではなく、作業の進行と設計内容に応じ、与えられた資源を用いて要求納期を守るために、順次細かな作業指示の行なえる適応管理が必要となる。この主旨で開発されたのが適応形設計工程管理システムADPTであり、オフラインシステム及びオンラインシステムとして広くユーザーに利用できるようなパッケージ化されている。

3.1 設計工程管理の特長

ADPTは、設計工程管理上の問題点を解決するため、次のような観点から設計工程をとらえる。

(1) マクロレベルの管理を行なう。

設計工程は、一般にシステム要求分析、機能設計、処理仕様設計、コーディング及びテストというようにマクロなレベルに分割される。これらの工程を更に細分化することは計画時点では難しく、たとえ細分化されても作業進行が不確定なため管理上の効果は少ない。ADPTは、このマクロな管理レベルで設計作業計画、状況把握と今後の作業予測を行ない、かつ作業指示もできる。

(2) 設計者の多能性を評価する。

設計者によって異なる製品分野別、工程別の能力係数を設定できる。

(3) 工程間でのオーバーラップ処理を導入する。

上記(1)のマクロレベルでの各工程の設計作業計画に対し、(2)で述べたように複数工程を処理できる設計者は、作業状況に応じて工程間でのオーバーラップ処理を行なう。例えば、機能仕様設計が、機能未定により続行できなくなると可能な範囲で処理仕様設計を前倒し処理をしたり、処理仕様設計中に発見された機能仕様中のエラーを修正することもある。この工程間のオーバーラップ処理を作業手順の中に取り入れることにより、作業進捗の実状を把握することができる。

(4) 状況に応じた多様な作業法を予測し、評価する。

上記(3)で述べたように作業法は、作業状況や設計者によって異なり不確定である。そこで、状況に応じて処理可能な作業手順、及び各工程の終了期限と作業の山積み量を予測する。

3.2 機能

ADPTは次の基本的機能をもつ。

(1) 設計作業計画と修正

製品の見積り容量や難易度から、ADPTは工程別作業量(人・時:Man・Hr)を予測する。また、前工程の計画と実績の作業量が食い違うときADPTは警告を出し、自動的に計画作業量を修正する。

(2) 設計状況の把握

各設計者の作業実績と能力係数をもとに、実績標準作業量を計算する。また、これより各工程の残作業量と今後の作業法も予測する。作業実績と今後の作業法の予測は、図2、3に示すように出力される。

図2では、上段には、各工程V₁~V₄に対し計算された計画作業量と工程間でのシリアルな作業法、及び各工程の期間が表示されている。また、下段には、作業実績と作業予測の計算結果が表示されている。同図から明らかのように、作業実績は計画と異なり工程間でのオーバーラップ処理がなされている。このようなオーバーラップ処理が今後も続き、かつ最終設計納期を満たすと仮定した場合の作業法を最長期間作業法と呼び、同図中に表示される。この作業法は、各工程の期間を最も長く、かつ工程間でオーバーラップ処理できる作業量をできるだけ大きくしたものである。この作業法に対し、今後の作業を計画どおりシリアルに処理し、かつ設計納期ま

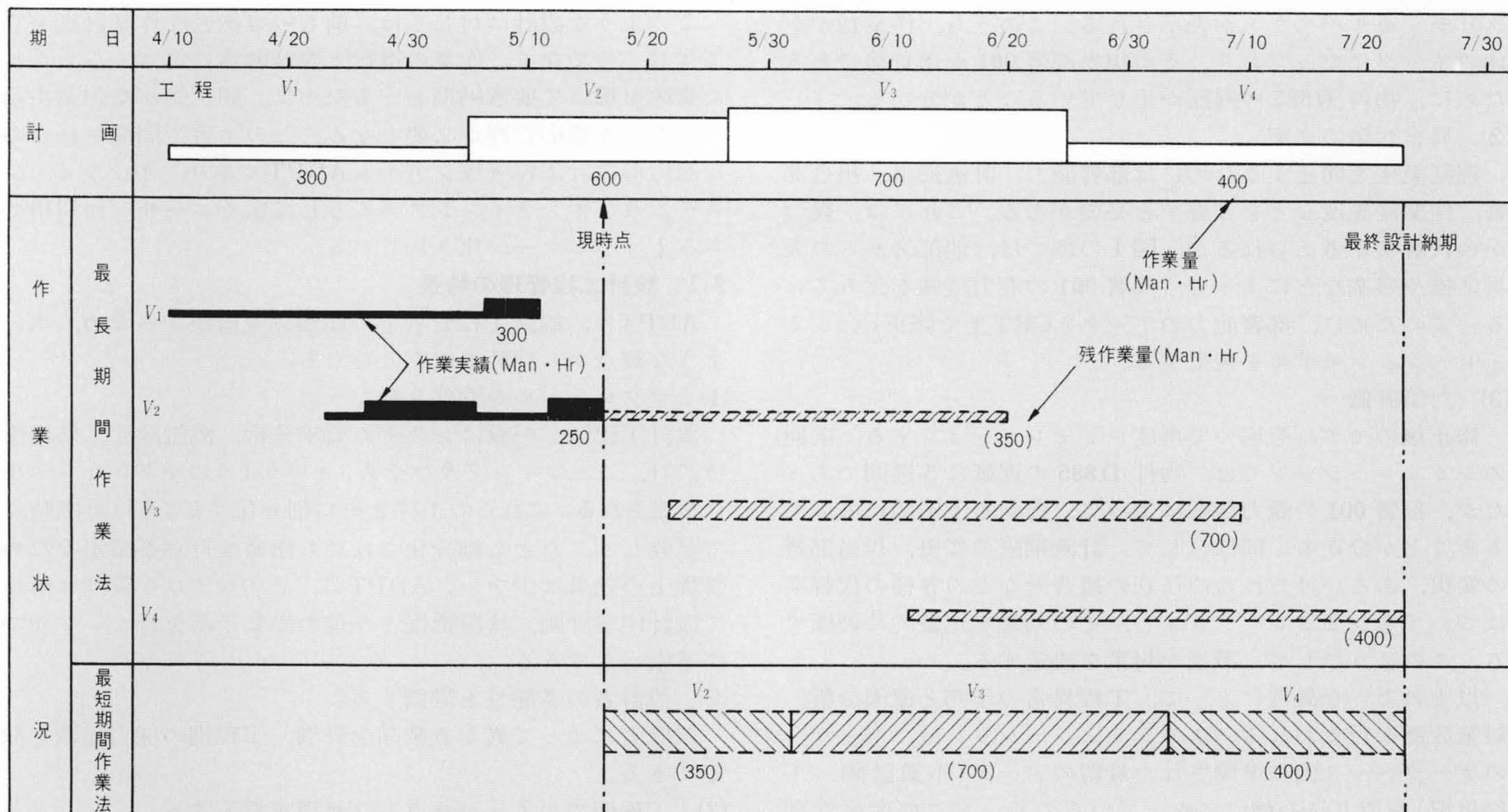


図2 作業の時間推移図 計画、実績及び今後の作業法と作業量の時間推移を計算し、表示する。

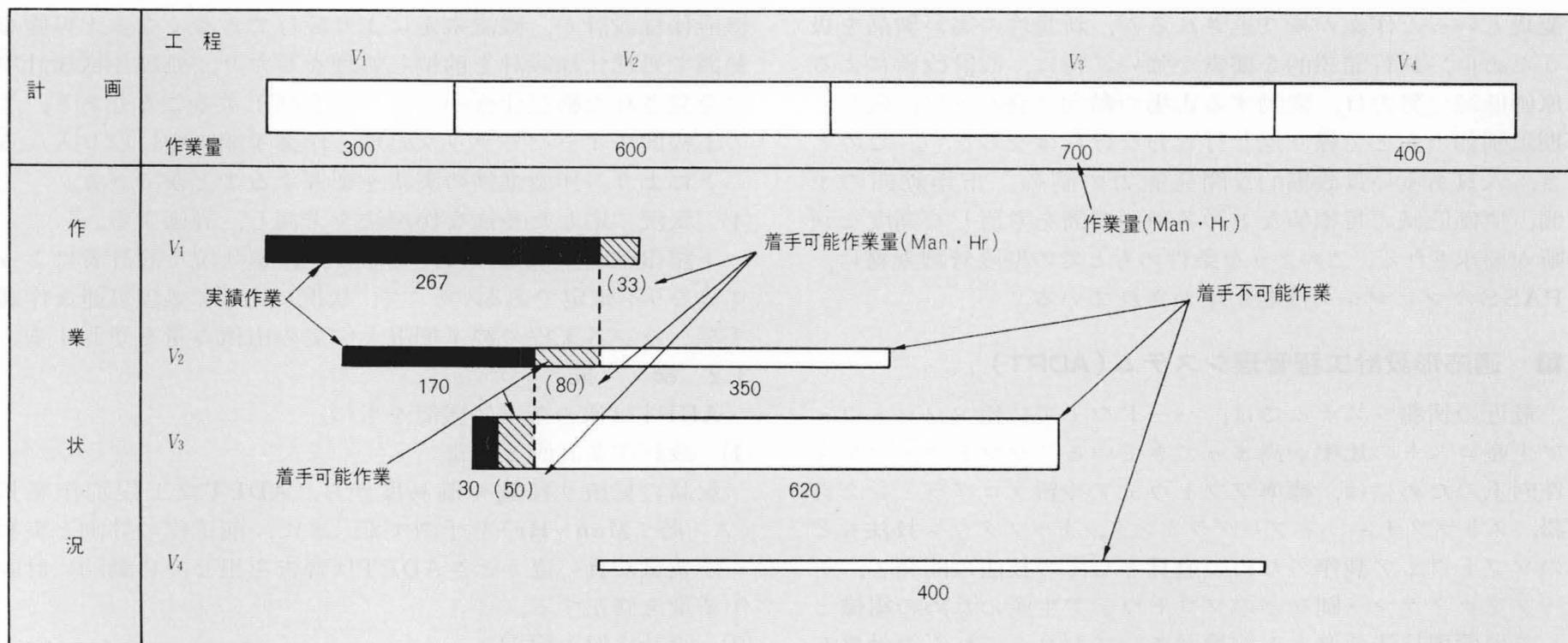


図3 工程間での作業量関連図 計画と実績の作業量、及び今後の他工程の作業進捗にかかわらず処理できる各工程の作業量(着手可能作業量)の工程間比較を示す。

で一定数の設計者を投入し続けると仮定したものを最短期間作業法と呼び、同図最下段に表示されている。

一方、図3は、前工程の作業進捗に応じて、後工程でオーバーラップ処理できるようになる作業量の工程間比較を表わしている。この着手可能作業量がある工程では、たとえ前工程の進捗が停滞しても、その作業量分だけ処理を続行することができる。

設計工程は、製造工程と異なり作業状況が担当者だけにしか分からないことが多い。そのため、設計工程管理の第一の目的は設計状況の把握である。図2、3から設計状況が把握でき、更に、図2からは今後の設計者の配置について対策を立てることができる。また、最長・最短期間作業法以外で処

理するとき、図3の着手可能作業量の工程間での関連を考えたしながら各工程の作業山積みを、計算機とインタラクティブにシミュレートすることができる。

(3) 設計状況の評価

作業実績を単に計画とのずれで評価するだけでなく、今後、停滞なく作業を進行させることのできる可能性をも評価する。例えば、図4は計画どおり設計が進行した場合と実際とを比べて、他工程が今後停滞したとしても現状で処理できる着手可能作業量を工程ごとに表示してある。各工程の着手可能作業量が多いほど、前工程の進行停滞にかかわらず処理を続行できる可能性は大きい。また着手可能作業量のある工程数が多いほど、設計者は複数工程を処理できる能力をより有効

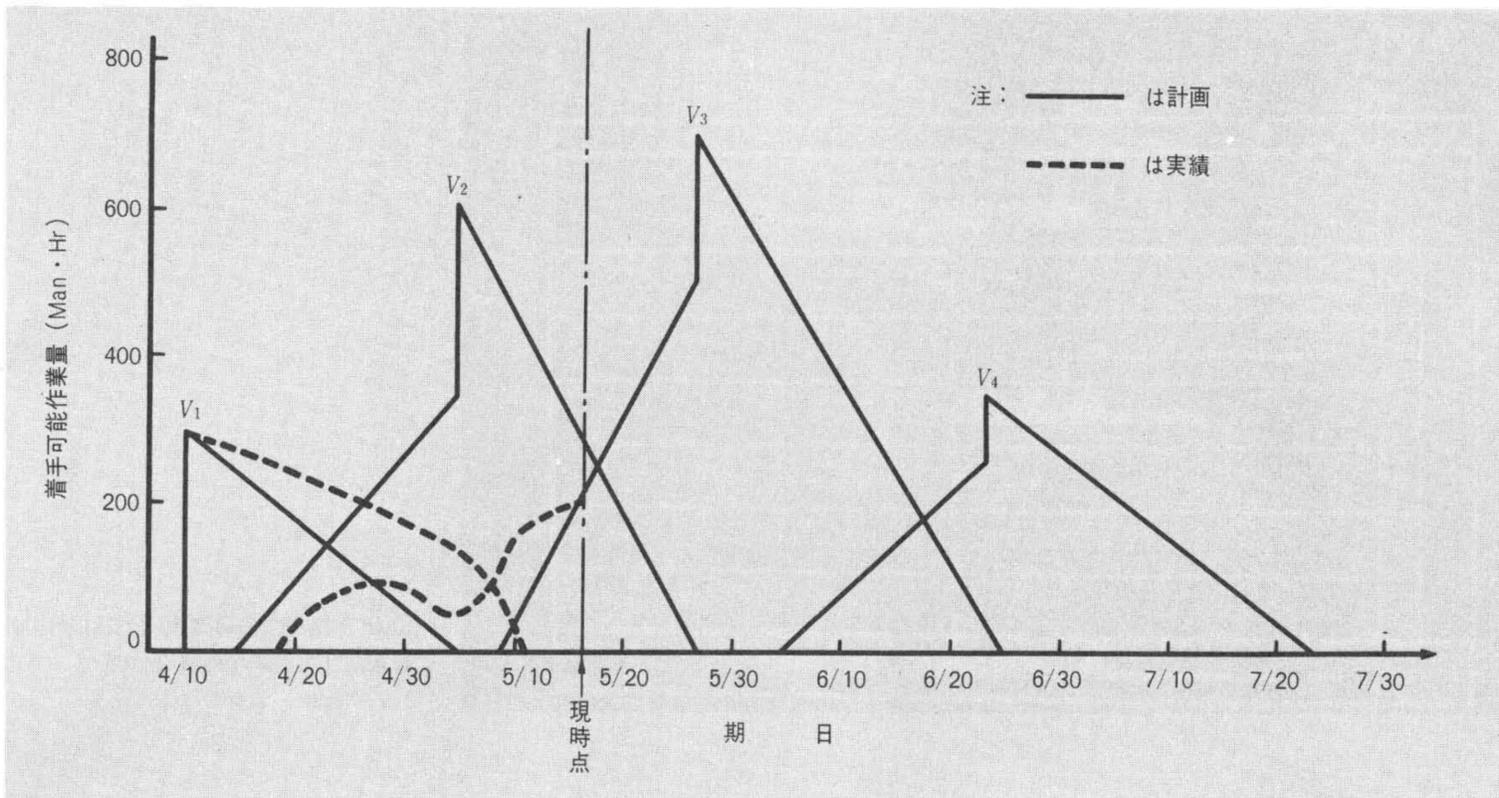


図4 着手可能作業量の時間推移図
計画及び実績の着手可能作業量の時間推移を表わす。

に発揮することができる。

以上、設計管理者は、ADPTより次のサポートを受ける。

- (1) 設計状況を効率的に逐次把握でき、進捗異常作番の警告を受ける。

- (2) 作業状況に応じて出力される幾つかの作業法をもとに、設計者は計算機とインタラクティブに能力山積みシミュレートすることができる。

3.3 計算機システム構成

ADPTには、オフライン・システムとオンライン・システムがあり、図5にその構成を示す。

オフライン・システムでは、作業実績データがカードリーダーから入力され、出力はプロッタにより図形表示される。一方、オンライン・システムでは、CRTとそれに付属するキーボードから入出力され、マンマシン性の向上が図られている。図6に、作業時間推移図のCRT出力表示例を示す。

ADPTは、HITAC 8300以上の機種で適用可能であり、シミュレータ部はCOBOL 7 kステップ、コアメモリ所要量80 kバイトである。なお、オンラインシステムでは、CRT入出力制御のために下位計算機としてHIDIC 80が用いられている。この入出力制御プログラムは、Process Control Language (PCL)で7 kステップである。なお、シミュレーション処理時間は2.5分/1作番、プロッタ出力時間は18分/1作番、CRT出力時間は2.5~3.5秒/1画面である。

ADPTは標準パッケージ化されており、適用に当たっては設計対象ごとにデータテーブルだけを設定すればよい。

4 結 言

日立製作所では、マンマシンによる予測適応形生産管理システム(PASS及びADPT)を開発した。このシステムの特長は、(1)マンマシンによる工程異常の予測・評価機能をもっており、異常を先取りした先手管理が実現できること、(2)各工場のデータベース内に準備された最新のデータ(作業計画、工程現況など)を取り込む構成となっているので、日々の生産管理業務に使用できること、(3)ソフトウェア・パッケージとして標準化されているので、各工場の既設の生産管理システムに容易に組み込めること、などである。

PASSは、家庭電気品量産工場での新製品開発の期限管理に適用されており、ADPTはソフトウェア設計工程の管理に用いられている。これらの適用実績に示されるように、設計、試作、検査など、非定型な例外処理の多い部門では、特に、マンマシンによる予測適応形生産管理システムが有効である。

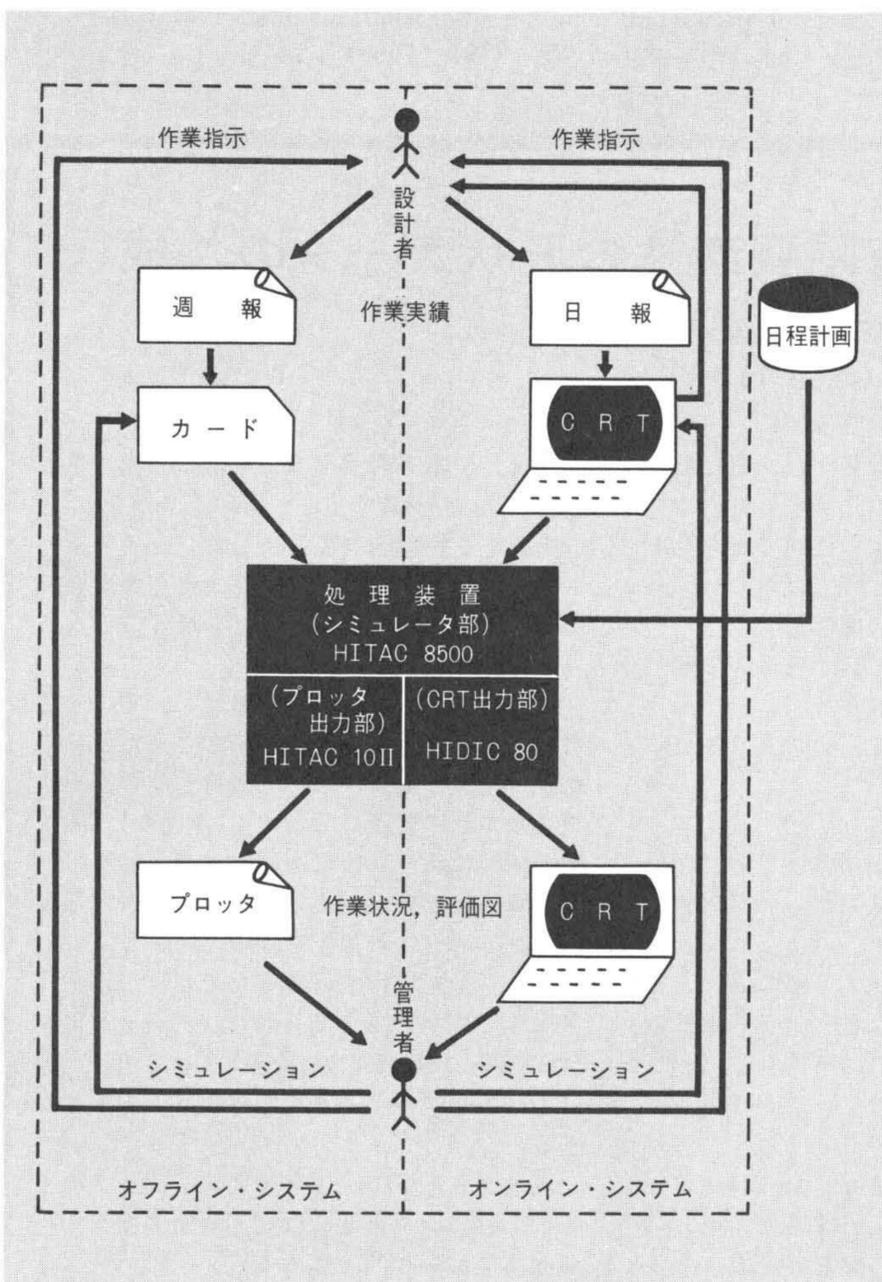


図5 ADPTシステム構成図 ADPTには、汎用的なオフラインとオンラインのシステムがある。

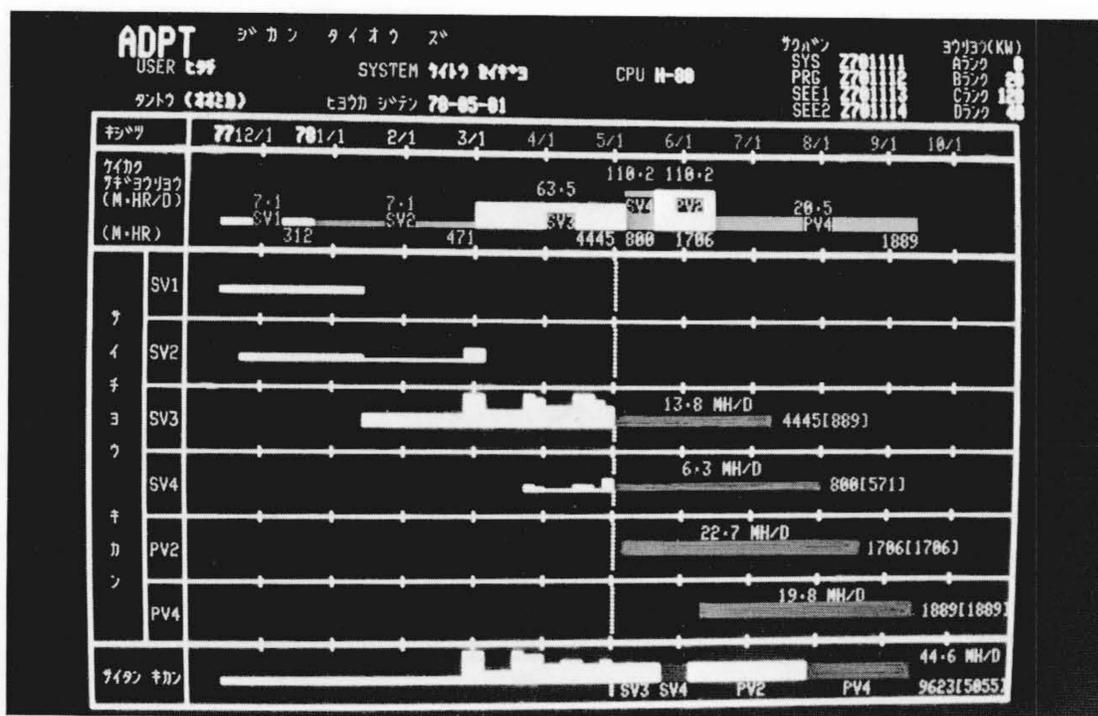


図6 作業時間推移図のCRT表示例 作業の時間推移図が、CRTによりカラー表示される。

参考文献

- 1) 穂坂, ほか4名: 生産情報計算制御トータルシステム, 日立評論, 52, 698~702 (昭45-8)
- 2) 武井, ほか3名: 自動車工業における生産管理システム, 日立評論, 55, 188~194 (昭48-2)
- 3) K. Tabata, et al.: "PASS"-An Interactive Online Simulator for Predictive Production Control, IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Technology, 271~277 (October 1977)
- 4) 田畑, ほか4名: PASS-予測生産管理のための対話型オンライン・シミュレータ, 日立評論, 60, 445~450 (昭53-6)
- 5) B. W. Boehm: Software Engineering, IEEE Trans. on Computers, C-25, 12, 1226~1241 (1976)
- 6) 松本, J. B. Bracket and C. L. McGowan: ソフトウェア開発管理の現状と将来, II. アメリカにおける現状と将来, 電気学会誌, 98, 1, 2~12 (1978)
- 7) 藤中, 高井: ソフトウェア開発管理の現状と将来, III. 日本における現状と将来, 電気学会誌, 98, 1, 18~20 (1978)
- 8) A. A. B. Pritsker and W. W. Happ: GERT: Graphical Evaluation and Review Technique, Part I Fundamentals, The J. Ind. Eng., 17, May, 267~274 (1966)
- 9) A. A. B. Pritsker and W. W. Happ: GERT; Graphical Evaluation and Review Technique, Part II Probabilistic and Industrial Engineering Applications, The J. Ind. Eng., 17, June, 293~301 (1966)



対話方式による有限要素法の形状データの作成

日立製作所 米長治男・大西忠博・他1名
情報処理 18-1, 50~57 (昭52-1)

有限要素法による解析プログラムの入力データは、解析対象構造物を多数の三角形要素に分割している。この分割された要素には一連の番号(要素番号)を付け、すべての要素の頂点(節点)の座標、及び節点に付けた一連の番号(節点番号)を用いて構造物の幾何学的データとしている。これら入力データの作成は、一般に多大の労力を要する。近年有限要素法の発展に伴い、これら多量のデータ準備による煩雑さを軽減する自動データ作成プログラムが各方面で開発されている。しかし、これらのプログラムの多くはいったん得られたデータを部分的に修正したい場合、あるいは設計者の思いどおりの形状に細分化する必要のある場合に、データの準備に時間がかかる。この修正に要する時間を短縮するには、図形処理システムのもとで対話方式により修正する方法が有力である。ここに紹介する論文は、HITAC 10とディスプレイ装置キーボード、ジョイスティック及び磁気ドラムから成る図形処理システムを用い、2次

元形状の有限要素法の形状データを対話方式で修正するプログラムに関するものである。図形作成の過程は次に述べるとおりである。

- (1) インプットデータの準備
- (2) データ構造の作成、表示寸法の決定
- (3) 三角形要素の重心表示
- (4) 着目した要素の修正、追加及び消去
- (5) キーボード操作
- (6) データの出力

上記のうち(1)は、有限要素法として一般的に用いられている形式に従ったデータを与える。

(2)は、(1)のデータを入力することにより自動的にデータの修正に便利なデータ構造を作成し、磁気ドラム中に格納する。また、データ中の最大値を検出し、CRT表示面との比を算出する。この比が1以上であれば入力されたデータが表示面いっぱいに拡大表示されることを示し、1以下であれば逆に表示面に収まるように縮小されて表示される。

(3)は、要素を表示すると同時に要素の重心を算出し、要素の重心に●印を表示する。この重心を外部入力装置であるジョイスティックで指示することにより、その要素を修正したいことを計算機に知らせることができる。

(4)は、一つ一つの要素に着目し、その着目した要素に対する修正を基本とした。したがって、基本操作として着目した要素を更に幾つかの要素に分割する(7通り)、要素の外部に新しい要素を作成する(3通り)及び着目した要素あるいは節点を消去する(2通り)の三つの操作を採用した。

(5)は、上記操作を行なうためのキーボード操作であり、操作後図形及びデータが更新される。(3)~(5)の操作を繰り返すことにより所望のデータを作成することができる。

以上から、本方法は有限要素法データの修正を容易かつ迅速に行なえる簡便で有用な道具に足るものと考えられる。