

装置産業における計算機制御システム

Computer Control Systems for Plant and Process Industry

近年の装置産業では、製品の多様化、ライフサイクルの短期化、市場競争の激化などを背景に、プロセス制御システムに対するニーズはより高度なものとなっている。すなわち、多品種少量生産を実現し、製品の変化に柔軟に対応でき、高効率な生産体制を確立できるシステムが求められている。

本稿で紹介するソフトウェアパッケージHIDACSは、このようなニーズにこたえ、更にシステム構築のためのユーザー負担を減らすことを目的に開発されたものである。HIDACSには、工場統括管理用のHIDACS-Sと、バッチプロセス制御用のHIDACS-Bの2種が用意されている。HIDACSの活用によって、プロセス制御システムの構築が極めて容易となる。

川口幸一* *Kōichi Kawaguchi*
 解良和郎* *Kazuo Kera*
 佐藤哲夫* *Tetsuo Satō*
 日比野和雄** *Kazuo Hibino*
 加治進*** *Susumu Kaji*

1 緒言

石油化学、都市ガス、食品、薬品などの装置産業分野では、計算機を用いた自動制御の歴史は比較的長い^{1),2)}。そして、マイクロコンピュータを応用した分散形デジタル計装システム(DCS: Distributed Control System)の出現によって、DDC(Direct Digital Control)化にいわゆる拍車がかげられた。しかし、近年の製品寿命の短期化、製品の多様化、市場競争の激化といった環境は、制御システムに対して製品品種、生産量の変化に柔軟に対応でき、より高効率な生産が実現できることを求めるものとなっている。また、システム構築に際して投入可能なマンパワーも限られるため、効率よくシステム構築ができることも大きな要求になっている。

一方、最近の計算機システム技術の発達には目覚ましいものがある。最近、最も注目を集めている知識処理応用技術³⁾は、プロセス診断、操業計画支援、最適運転制御などへの応用が求められている。また、ネットワーク技術を応用したトータルシステム化、プロセス解析モデルによるシミュレーションをサポートする機能などの技術が開発されている。更に、拡張ペトリネットを用いたFA(Factory Automation)用順序制御ソフトウェアSCR(Station Controller)⁴⁾を応用した多品種少量生産サポートソフトウェアの実現も可能となっている。

本論文では、このような装置産業分野のニーズにこたえながら、知識処理、ネットワーク技術などの最新の計算機システム技術を取り入れたプロセス制御用ソフトウェアパッケージHIDACS(Hitachi Standard Process Data Acquisition and Control System)について報告する。

2 プロセス制御用ソフトウェアパッケージHIDACS

プロセス制御用ソフトウェアパッケージは、工場統括管理用であるHIDACS-S(HIDACS for Supervisory Computer

Control)と、バッチプロセス制御用であるHIDACS-B(HIDACS for Batch Process Control)の2種が用意されている。本章では、このHIDACS開発の歴史的経過を述べた後、その特長及び機能の概要について説明する。

2.1 HIDACSの歴史

現在のHIDACSが開発された経緯を図1に示す。プロセス制御用ソフトウェアパッケージは、H-350、H-80シリーズ向けに開発されたPCS(Process Control System)^{5),6)}が最初である。HIDIC80シリーズ計算機システムで動作するもので、その用途によりPCS/SCC(PCS for Supervisory Computer Control)、PCS/DDC(PCS for Direct Digital Control)及びPCS/BATCH(PCS for Batch Process Control)がある。このPCSシリーズは、好評を得て150余セットの実績を持っている。

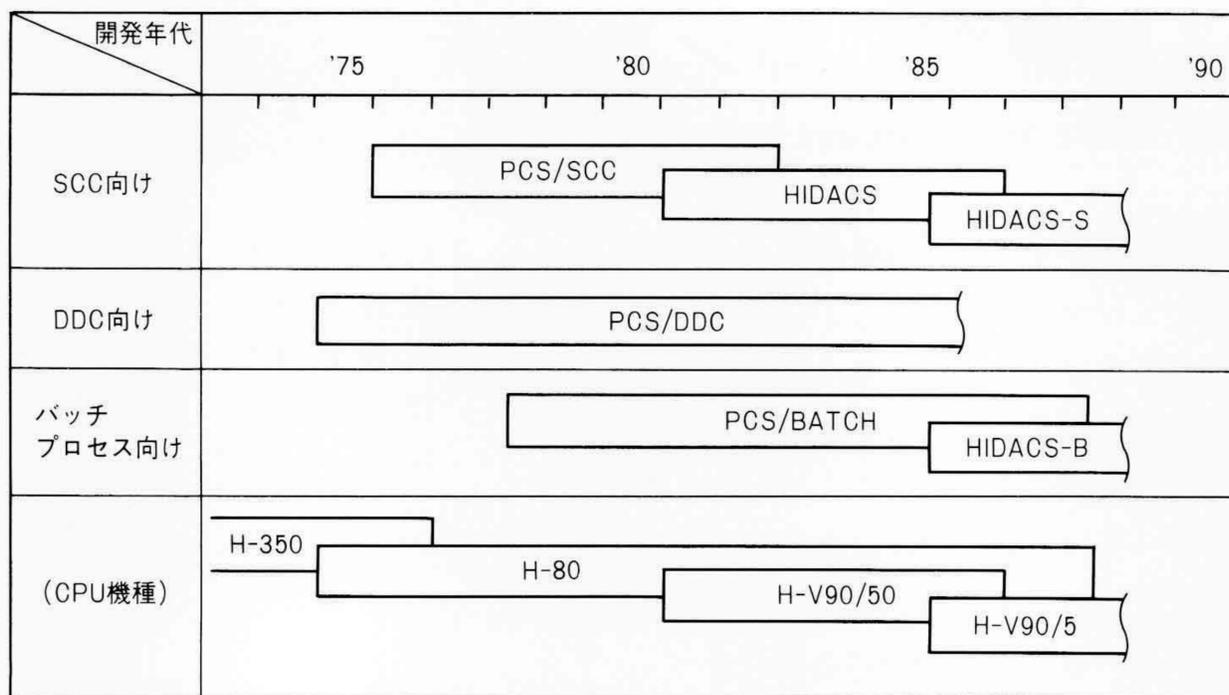
計算機の32ビット化に伴い、ソフトウェアパッケージもHIDACSに改め、HIDIC V90/50で動作するバージョンを開発した。その後、HIDIC V90/5シリーズへの移行に伴い、HIDACS-S、HIDACS-Bの開発を行った。

2.2 HIDACSの特長

HIDACS-Sは、工場管理及び連続プロセスの製造統括に適用される。ここでは、工場全体のSCC(Supervisory Computer Control)をはじめ、プロセス解析・シミュレーション機能、知識処理を応用した操業支援などを行う。HIDACS-Bは、バッチプロセス制御で製造統括、及び設備制御を行う。HIDACS-Bを用いることによって多品種少量生産を容易に実現し、生産計画から製造実績管理に至る機能がサポートされる(トータルシステムの構成は、本号「EA、OA及びFAを統合化するCIMシステム」の図5を参照)。

このようなトータルシステムを構成するHIDACSは、次の

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所機電事業本部 *** 日立製作所システム事業部



注：略語説明
 CPU(Central Processing Unit)
 PCS/SCC(Process Control System for Supervisory Computer Control)
 PCS/DDC(Process Control System for Direct Digital Control)
 PCS/BATCH(Process Control System for Batch Process Control)
 HIDACS(Hitachi Standard Process Data Acquisition and Control System)
 HIDACS-S(HIDACS for Supervisory Computer Control)
 HIDACS-B(HIDACS for Batch Process Control)

図1 HIDACS開発の経緯 HIDACSの開発経緯をHIDICのCPU機種と対応させた形で示す。PCSはH-80シリーズ用、HIDACSはH-V90シリーズ用ソフトの名称である。

ような特長を持っている。

(1) 大規模プラントデータベースの構築

SPC(Set Point Control), 最適制御, プロセス解析などを行うべく大規模なプラントデータベースを構築する。扱うデータは, アナログ入力値, デジタル入力値をベースとした瞬時値, 間接演算値及びそれらのヒストリカルデータである。なお, データベース構築に際しては, 保守時に有効な会話形ゼネレータのほか, 初期生成に有効なバッチ形ゼネレータも完備しているため構築が容易である。

(2) 多品種少量生産の自動化

多品種少量生産形の操業をサポートする。ソフトウェアの作成に際しては, 設備に関する情報と品種に関する情報を分離して管理している。更に, 品種情報は会話形で定義修正ができるため, 多品種対応が容易に実現できる。

(3) マンマシンインタフェース

高精細プロセスグラフィックディスプレイを採用し, 大画面スクロール, タッチパネルを駆使したマンマシンインタフェースを実現する。タッチパネルによるグラフィックオペレーションでは, プロセスフロー画面上でのポインティングにより, タグ情報, トレンド, シーケンス制御情報の表示及び手動操作への展開が即座にできる。

(4) 知識処理サポート

リアルタイム向け知識処理システム構築支援ツールであるEUREKA-II⁷⁾と連携した形でシステムを構築できる。タグNo.を用いたルール記述によってプロセス診断, 操業計画支援及び最適運転制御の実現が容易にできる。

(5) プロセス解析モデルの完備

プロセス解析用シミュレーションツールとして, EASY5^{*1)}を搭載できる。このEASY5により非線形微分方程式又は差分

方程式によって表される系に対する動的応答シミュレーション, 及び制御系解析を行うことができる。

(6) デジタル計装リンケージサポート

HIDACS-Sでは, 下位のデジタル計装との通信を行う機能を完備している。ネットワーク直結又はBSC手順によって容易に接続できる。

(7) リアルタイムUNIX^{*2)}

基本OS(Operating System)に, 国際標準となりつつあるUNIXをベースにリアルタイム機能を強化したリアルタイムUNIXを採用している。ソフト開発環境を充実させつつ, 流通ソフトの活用などを実現しながらオンラインリアルタイム処理を実施する。

2.3 HIDACS-Sの概要

HIDACS-Sの全体構成を図2に示す。

(1) プラントデータベース構築

会話形データベースゼネレータの画面例を図3(a)に示す。プラントデータベースとしては, 瞬時値, 計算値から成るプロセスデータと, 積算値・積算回数・平均値・最大値・最小値などを保存するヒストリカルデータがある。ヒストリカルデータは, 時・日・月・年の各区分ごとのデータを必要なだけ保存する機能を持っている。

(2) グラフィックオペレーション

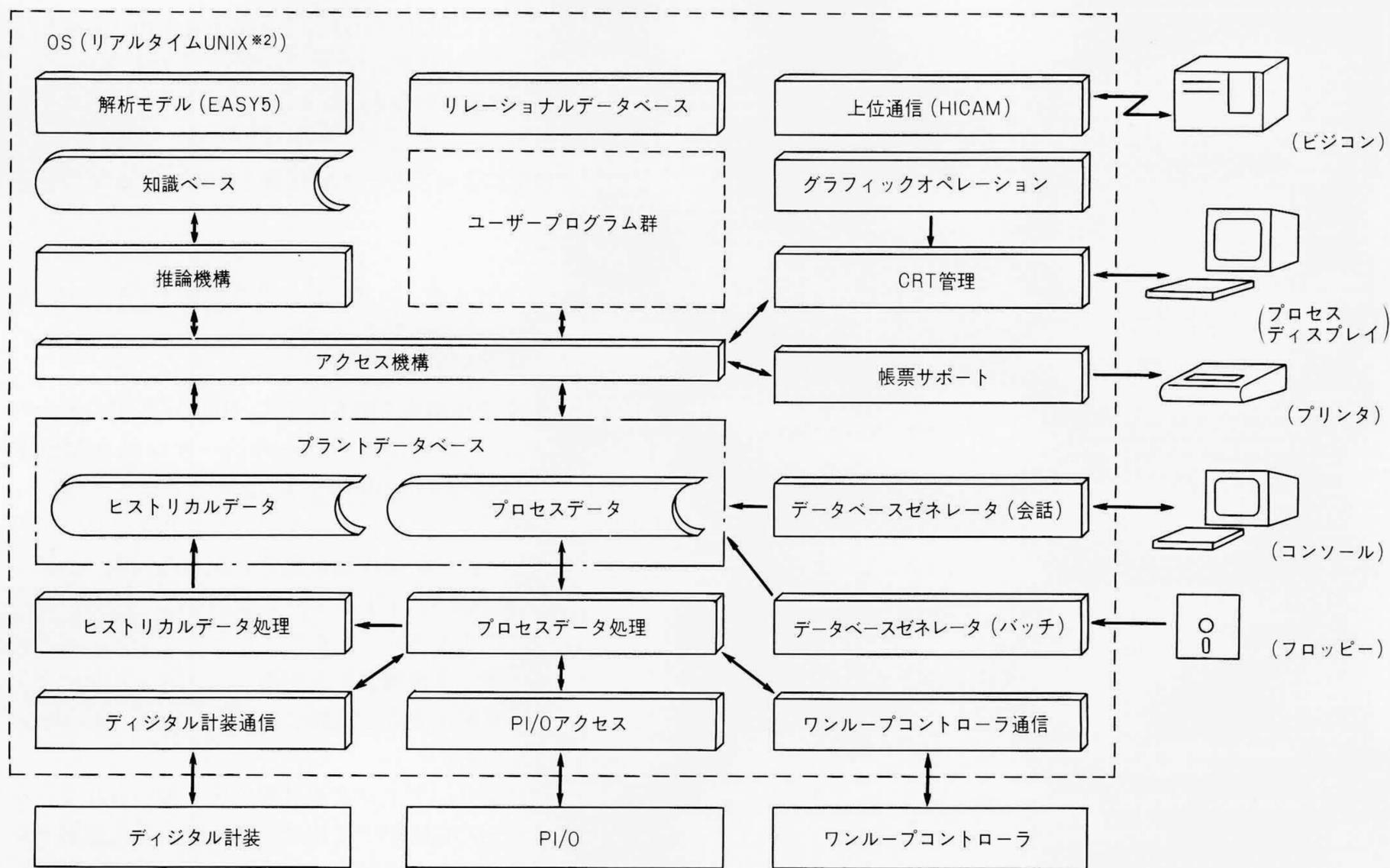
マンマシン機能としては, タッチパネル, 大画面スクロール機能を持ったグラフィックオペレーションを実現させている。画面例を図3(b)に示すが, これはプロセスフロー画面上でポインティングされたタグの詳細情報をウィンドウ上に呼び出したものである。

(3) 知識処理機能

タグNo.の記述ができるようにした知識ベースの構築を可能

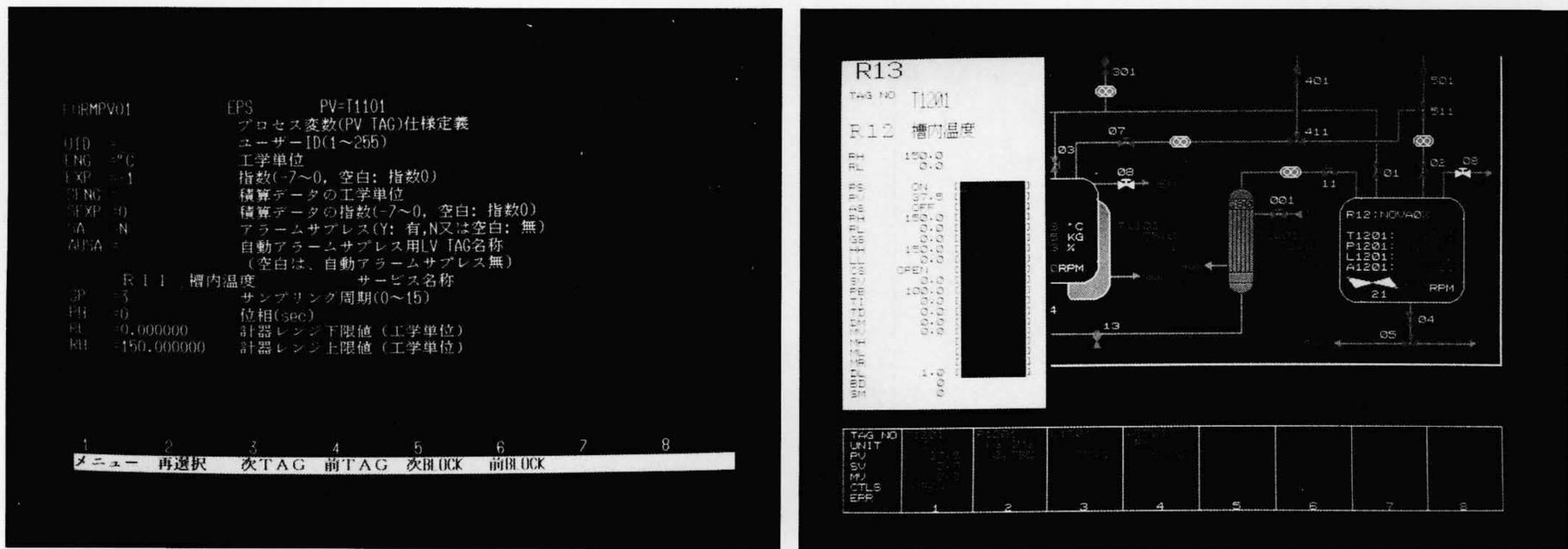
*1) EASY5(Engineering Analysis System5)は, 米国Boeing Computer Service社が開発したツールである。

*2) UNIXは, 米国ATT社ベル研究所で開発されたOS(Operating System)の名称である。



注：略語説明 OS(Operating System) CRT(Cathode Ray Tube)
 HICAM(Hitachi Communication Access Method) PI/O(Process Input/Output Device)

図2 HIDACS-S全体構成 HIDACS-Sでは、プラントデータベースの構築をはじめ解析モデル、知識処理に加え、マンマシン、帳票サポートまでカバーしている。



(a) 会話形データベースゼネレータ

(b) グラフィックオペレーション画面例

図3 HIDACS画面例 (a)は会話形データベースゼネレータの画面例を、(b)はグラフィックオペレーションによってプロセスフロー画面からタグ情報をウィンドウに呼び出した画面例を示す。

としている。知識ベースの記述例を図4に示す。知識処理を効率よく実行させることを目的に、EUREKA-IIをベースにHIDACSとして以下の機能を付加させている。

(a) ルール記述でのプラントデータベースをアクセスできるようにしているため、タグNo.を記述するだけでプラント

データベースを参照したり、設定値を変えたりできる。
 (b) 知識ベースの一部を、プラントデータベース情報から自動的に生成する機能を持っている。これによって、知識ベース構築が容易となる。
 (c) プロセスの状態変化に対応して、推論機構を起動させ

```

(データ解釈)
(データ解釈1ルール
  IF ( T_1020 の @PV値 が 120.0 以上である)
  THEN
    ( 3号冷凍機 assign ( 溶液温度 , 高い ))
  )
(データ解釈)
(データ解釈2ルール
  IF ( P_1020A の @PV値 を ?入口圧力 とする)
    ( P_1020B の @PV値 を ?出口圧力 とする)
  THEN
    ( 3号冷凍機 assign ( 差圧 , ?出口圧力 - ?入口圧力 ))
  )
(原因究明)
(原因究明1ルール
  IF ( T_1025 の @PV値 を ?凝縮温度 とする) /* 3号冷凍機の凝縮温度 */
    ( T_1035 の @PV値 を ?冷却水入口温度 とする) /* 3号冷凍機の冷却水入口温度 */
  THEN
    ( 3号冷凍機 assign ( 計算値 , ?凝縮温度 - ?冷却水入口温度 ))
  )
(原因究明)
(原因究明2ルール
  IF ( PN_003 の @入力ステータスが RUN である) /* 3号冷凍機の冷却ポンプが運転中 */
    ( 3号冷凍機の @差圧 が 0.8 以上であり
      @溶液温度 は 高い である)
  THEN
    ( system print ( " 3号冷凍機は、冷却水量不足により
      溶液温度が高くなっています Yn
      冷却水系点検及び正規流量の確保を実施してください Yn ))
  )
(原因究明)
(原因究明3ルール
  IF ( T_1035 の @PV値 が 32.0 以上である) /* 3号冷凍機の冷却水入口温度 */
    ( 3号冷凍機の @溶液温度 は 高い である)
  THEN
    ( system print ( " 3号冷凍機は、冷却水温度が高い為
      溶液温度が高くなっています Yn
      クーリングタワー点検を実施してください Yn ))
  )
(原因究明)
(原因究明4ルール
  IF ( 3号冷凍機の @計算値 が @規定値 以下であり
    @溶液温度 は 高い である)
  THEN
    ( system print ( " 3号冷凍機は、凝縮器チューブの汚れにより
      溶液温度が高くなっています Yn
      チューブ清掃を実施してください Yn ))
  )
)
    
```

図4 知識ベース記述例 冷凍機の動作状態及び温度・圧力値によってプロセス診断を行い、保守ガイドを出力するルール記述例を示す。

る。これによってCPU(Central Processing Unit)負荷を増大させることなく、効率よく推論させることができる。

(d) プロセス状態の判定を行うライブラリを用意している。ヒストリカルデータにより、安定・不安定、オフセットなどの判定機能によってルール記述量を大幅に減らすことができる。

(4) 解析モデル

EASY5によるビルディングブロックのプロセスモデル、及び動特性応答の出力例を図5に示す。

2.4 HIDACS-Bの概要

HIDACS-Bの全体構成を図6に示す。HIDACS-Bの最大の特長はシーケンス制御にあり、そのシーケンスをMSCR (Master Sequence Controller)で実現している点である。MSCRは図7に示すように、バッチシーケンスをブロックの組合せで、トップダウンで仕様定義できる点にある。更に、このブロックは図8に示すように、会話形で定義したり、実行状態監視にそのまま使うことができるという特長を持っている。また、設備に直接関係する制御は、ユニットシーケンスによってマクロ記述方式で定義し、品種情報と設備情報を明確に区別している。

このMSCRにより、デジタル計装で広く用いられているディジションテーブル方式^{8),9)}に比べ、多品種少量生産形バッチプロセス制御の高度な自動化を実現させている。

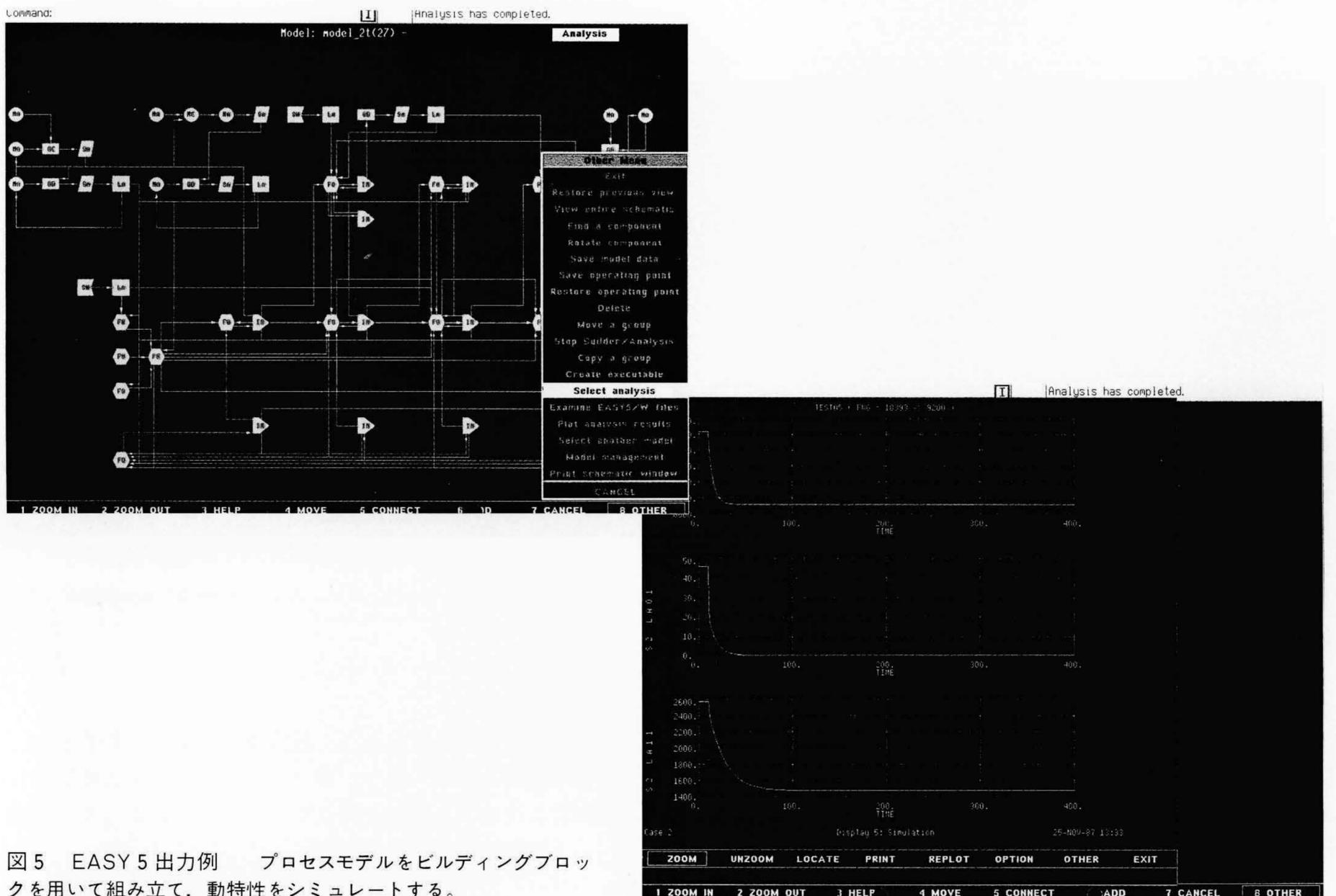
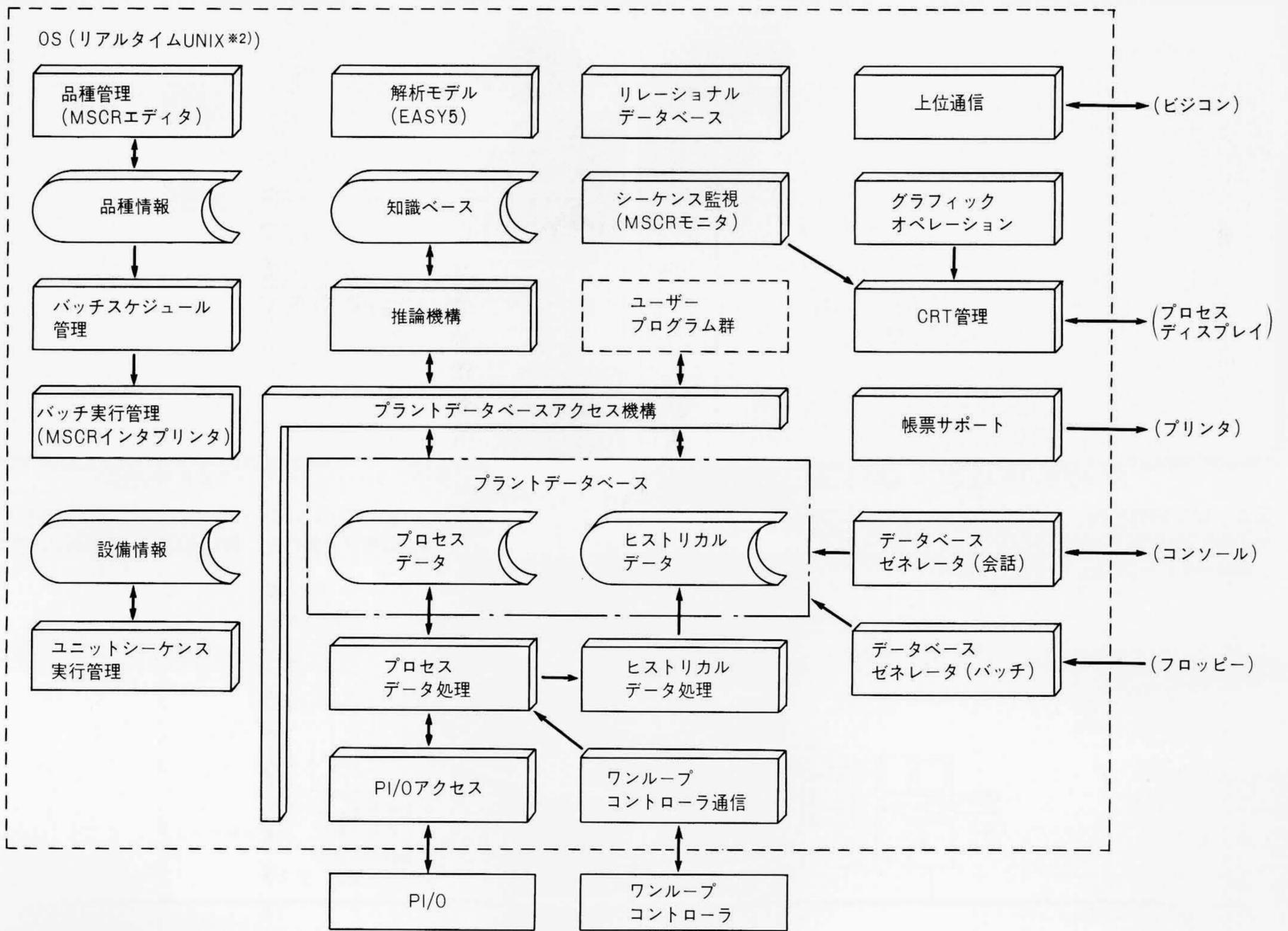


図5 EASY 5 出力例 プロセスモデルをビルディングブロックを用いて組み立て、動特性をシミュレートする。



注：略語説明 MSCR(Master Sequence Controller)

図6 HIDACS-B全体構成図 HIDACS-Bは、HIDACS-Sにシーケンス制御、品種管理を追加した構成となっている。特にMSCRに大きな特長を持つ。

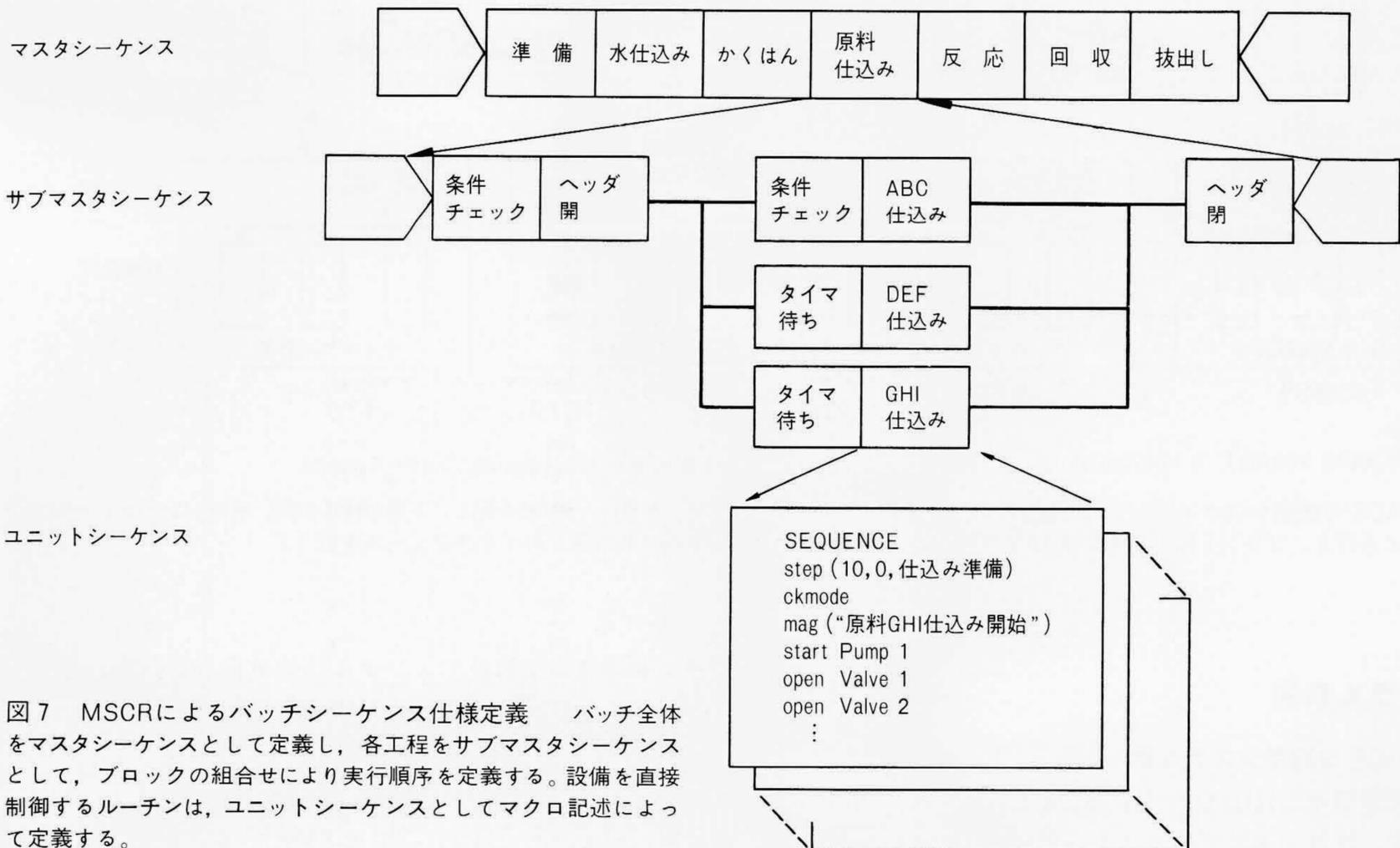
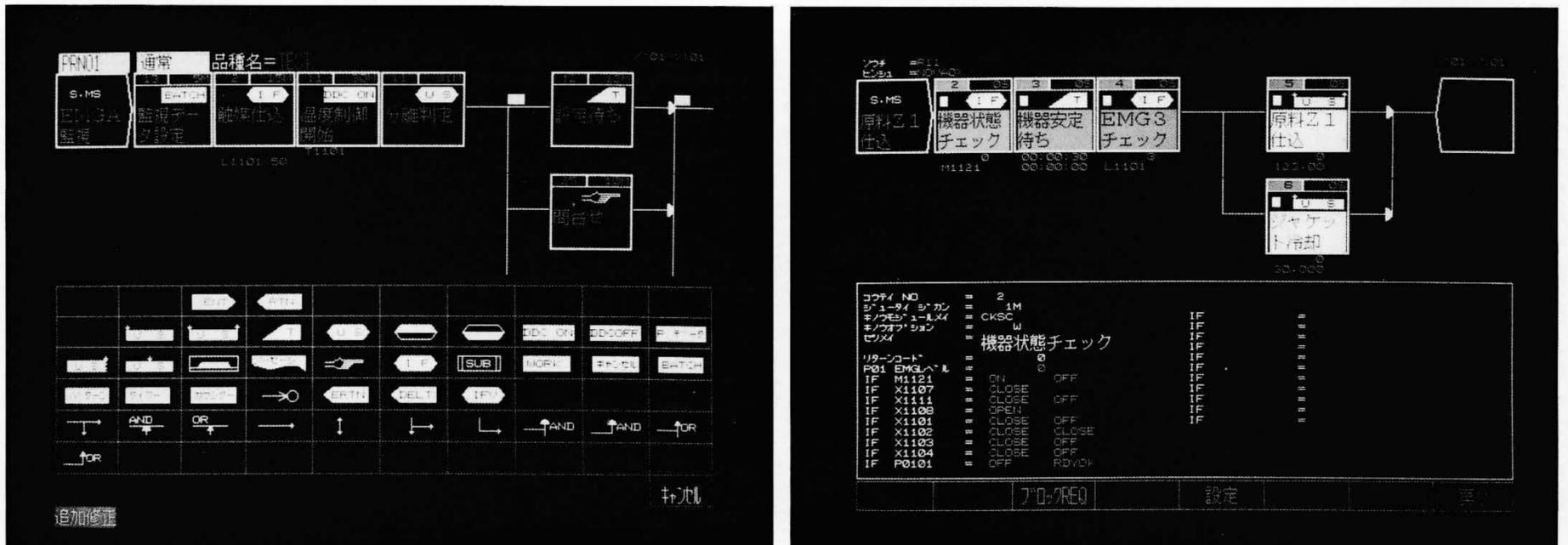


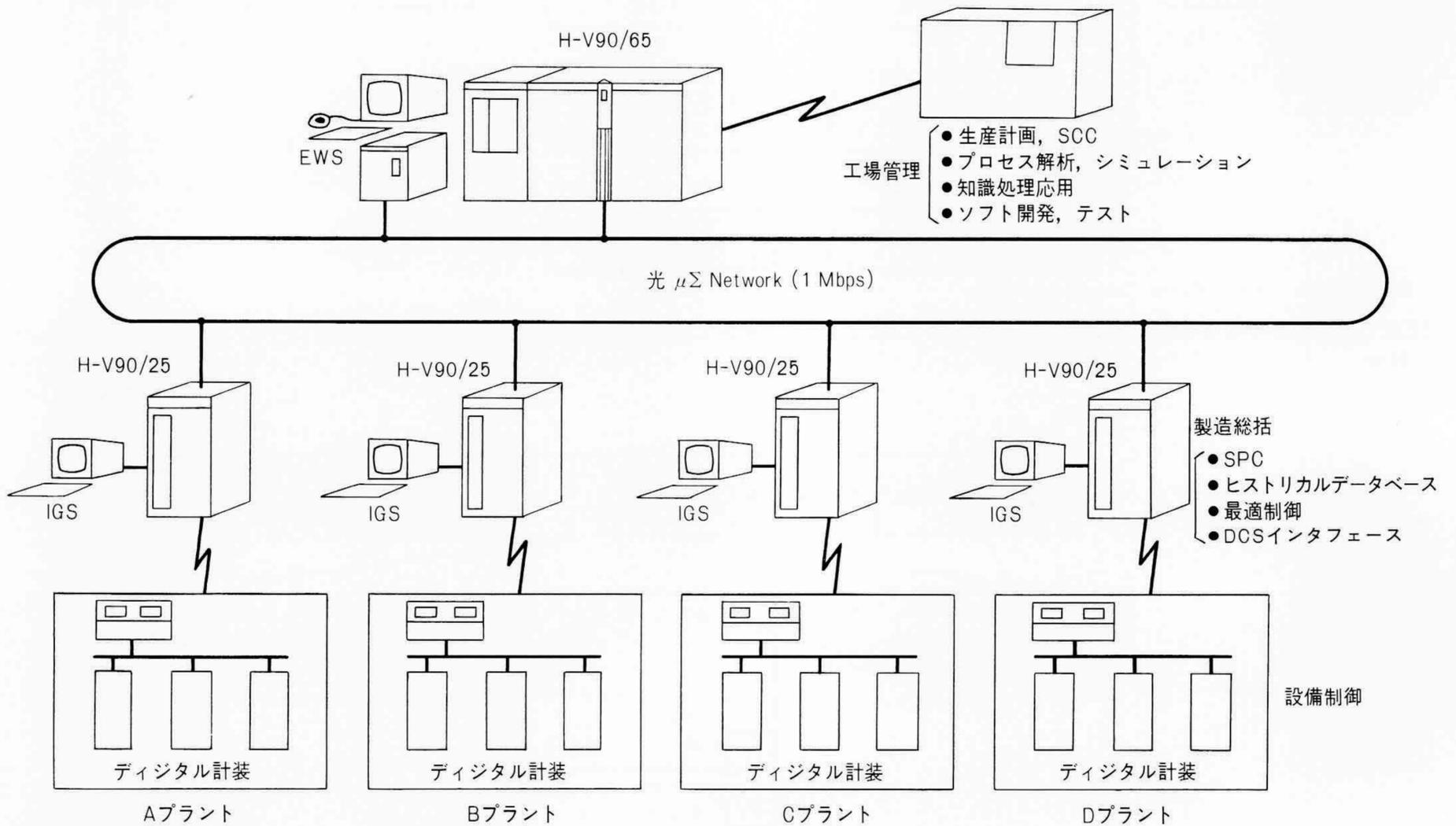
図7 MSCRによるバッチシーケンス仕様定義 バッチ全体をマスタシーケンスとして定義し、各工程をサブマスタシーケンスとして、ブロックの組合せにより実行順序を定義する。設備を直接制御するルーチンは、ユニットシーケンスとしてマクロ記述によって定義する。



(a) MSCRエディタによる品種情報定義

(b) MSCRモニタによるシーケンス実行状態監視

図8 MSCR画面例 (a)はMSCRエディタでマスターシーケンスの作成例を示す。タッチパネルによるポインティングでブロック構成を定義する。(b)はMSCRモニタでシーケンスの実行状態を監視する画面の例を示す。各ブロックの表示色により実行終了, 実行中, 異常発生などを区別し, ブロックのパラメータ確認, 修正機能もある。



注: 略語説明

H-V90/65(HIDIC V90/65), H-V90/25(HIDIC V90/25), EWS(Engineering Work Station), IGS(Industrial Graphic System)

図9 HIDACS-S適用システム例 工場統括SCCとしてスーパーミニコンピュータH-V90/65を配し, 工場全体の制御, 解析, シミュレーション知識処理などを行う。プラントSCCはH-V90/25でプラント最適制御を行い, デジタル計装とのインタフェースを行う。

3 システム事例

3.1 HIDACS-S適用システム例

工場統括管理用のHIDACS-Sを適用したシステムの事例を図9に示す。複数の連続プロセスから構成される工場で, 各

プラントの設備制御はデジタル計装で行っている。これに対し, HIDACS-Sを搭載したHIDIC V90/25を配し, プラントごとの製造統括を行う。更に, 工場全体の管理を行うスーパーミニコンピュータHIDIC V90/65を配して, 工場全体の生産計画, SCCを行うほか, プロセス解析, シミュレーション,

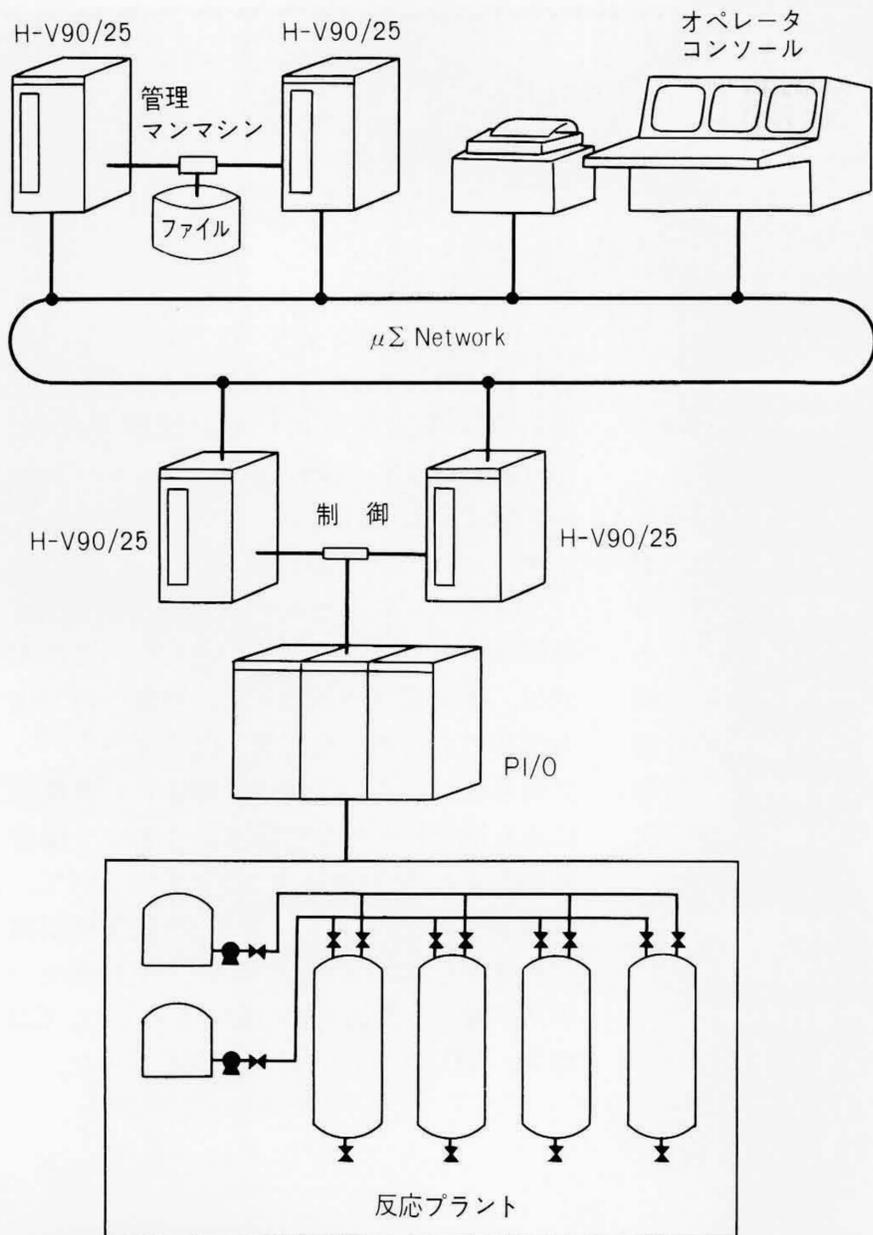


図10 HIDACS-B適用システム事例 制御及び管理・マンマシンを各々二重化したH-V90/25で行い、システム信頼性の向上を図っている。

知識処理、ソフト開発などを行うものである。本システムによって、省エネルギー、品質・効率向上、省力化などの大きな成果を生んでいる。

3.2 HIDACS-B適用システム例

バッチ反応プラント制御用に、HIDACS-Bを適用したシステムの事例を図10に示す。制御を行うCPUと、管理・マンマ

シンを行うCPUに負荷分散させ、各々CPUを二重化して信頼性を向上させている。管理・マンマシンを行うCPUでは、監視機能だけでなく品種管理機能、バッチスケジュール管理機能及びバッチ実績管理機能を具備し、自動化、省力化を実現させている。

4 結 言

本稿では、プロセス制御用ソフトウェアパッケージの紹介を中心に、装置産業での計算機制御システムの紹介を行った。プロセス制御システムの構築では、ソフトウェアパッケージの活用によって効率よく、短時間で構築させることが大きなポイントである。この点で、HIDACS-S、HIDACS-Bは、短期間のシステム構築を実現し、更に高効率操業、省力化、生産環境の変化への柔軟な対応を可能にするという大きな成果を生んでいる。

参考文献

- 1) 小宮山, 外: 最近の化学プラントにおける計測制御技術, 日立評論, 57, 3, 217~222(昭50-3)
- 2) 長谷川, 外: 計測制御における電子計算機の役割, 日立評論, 58, 3, 185~189(昭51-3)
- 3) 船橋, 外: FA分野における知識処理システム構築用ソフトウェア“EUREKA”, 日立評論, 68, 11, 921~926(昭61-11)
- 4) 薦田, 外: ファクトリーオートメーション向き事象駆動形プロセスの制御基本ソフトウェア, 日立評論, 68, 11, 927~930(昭61-11)
- 5) 長谷川, 外: 化学プラントにおける計算機制御システム, 日立評論, 58, 6, 451~456(昭51-6)
- 6) 温井, 外: 東京瓦斯株式会社納め都市ガス工場計算機制御システム, 日立評論, 60, 7, 493~498(昭53-7)
- 7) 中野, 外: オンラインリアルタイム用知識処理システム構築支援ツール—EUREKA-II, 計装, 1987, Vol.30, No.3
- 8) 宮本, 外: プラント総合デジタル計装制御システム“HIACS-P”の開発, 日立評論, 69, 2, 177~182(昭62-2)
- 9) 小宮山, 外: 分散形デジタル計装システム「ユニトロールEX-1000シリーズ」の開発, 日立評論, 69, 2, 183~192(昭62-2)

自動車エンジンの空燃比制御方式の提案

日立製作所 瀬古沢照治・塩谷 真・他2名
電気学会論文誌C 107-4, 389~396 (昭62-4)

自動車のエンジンは、電子式燃料噴射装置によって、精密に制御する傾向が急速に進展している。これは大気汚染対策のための排ガス規制だけでなく、ユーザーの高出力、低燃費化要求に負うところが大きい。

電子式燃料噴射装置は、各気筒に噴射器を取り付けるMPI(マルチポイントインジェクション)システムがこれまでの主流であった。その普及につれ、低コスト化をねらって、一つの噴射器で全気筒に燃料供給を行うSPI(シングルポイントインジェクション)システムの開発が進められている。一方、排ガス規制も更に強化される方向にあり、システムの高性能化が要求されている。

SPIの技術的問題点は、噴射器から燃焼室までの距離が、MPIに比べて長いことである。このため燃料供給に遅れが生じ、燃料供給量の制御が困難となっている。

本論文は、このような問題に対し、燃料供給過程を制御的見地から分析し、制御方式を構築し、実証している。

エンジン燃焼室に供給される空燃比の乱れには二つの要因があることを示した。第一は、噴射燃料の一部が吸気管に付着することによる燃料の燃焼室への送達遅れである。第二は、空燃比の計測が排ガス中の残存酸素を検知することによる制御量の計測遅れである。これらの課題を整理し、対象とする燃料供給系を、むだ時間を含む二次遅れ系としてとらえた。

分析結果に基づき、新たな状態推定制御方式を提案した。本方式は、入出力信号と、吸気管内送達遅れ及び計測遅れの両モデルにより、系の内部状態を推定・予測する。この結果に基づいて、フィードフォワード的に操作量を決定する。従来、むだ時間を

含む系に対しては、Smith法による設計法が優れているとされていた。提案方式の、Smith法に対する優位性をシミュレーション実験で示した。

更に、ハードウェアの制約を考慮し8ビットマイクロコンピュータ上で実行可能な液膜状態推定制御方式を構成した。この方式は、吸気管内の液膜量を、対象への入出力信号である燃料噴射量、 O_2 フィードバック信号などによって推定・修正し、燃焼室に入る混合比が目標空燃比になるよう補償制御するものである。この方式について、シミュレーションと実車実験で空燃比制御性を検証した。カルフォルニア州評価モード及び繰返し急加減速の両運転に対し、COガス、 NO_x ガスの低減が可能となった。

デジタル画像上の高精度測長カーソル

日立製作所 加藤 誠・横山哲夫
電子情報通信学会論文誌D J70-D, 727~735 (昭62-4)

半導体などの微細加工物の線幅は目視によって測定されている。それに用いる高精度な測長方式を開発した。

目視による線幅測定では、CRT上に測定対象の線状パターンを表示する。オペレータは、CRT上の画像に重畳して表示された二つのカーソルを、線パターンの両端に一致するようにそれぞれ移動させ、両カーソルの間隔を測定していた。

目視線幅測定ではデジタル画像が用いられる。デジタル画像とは、2次元の配列(例えば 512×512 や 256×256)のそれぞれの点に濃淡(例えば256階調)を割り当てて表現したものである。濃淡の点を画素と呼ぶ。デジタル画像上の長さの基本単位は、画素と画素とのピッチとなる。

半導体などの加工パターンの微細化はますます進み、工程管理上の線幅測定への要求精度は急激に高くなっている。線幅測定に用いられてきたカーソルもデジタル画

像上に表示されている。このため、画素のピッチ単位の測定能力しかなく、精度不足になる場合も生じてきた。

目視線幅測定での限界(画素ピッチ)は、コペルニクスの展開によって突破できた。従来、測定の際には無意識にパターンを画面上で鉛直に配置するのが良いとしてきた。ところが、わざとパターンを斜めに配置すると、画素ピッチよりも小さい単位で距離が測れるのである。

最近のコンピュータグラフィックスの研究で、直線を画面に対して斜めに配置すると、表示誤差が減ることが発見された。我々は、このアイデアを線幅測定へ適用し、サブピクセルカーソルと名づけた高精度測長ツールを考案した。本ツールは、デジタル画像上に表示された傾きと位置が自由に変えられる、互いに平行な線分によって構成される。

理論的検討によれば、長さが数十画素ピ

ッチ程度の線分は、画面に対する傾きを適切にとれば、画素ピッチの $\frac{1}{10}$ より小さい位置精度で表現できる。すなわち、わざと、ある傾きを持たせて入力した線パターンなどを、サブピクセルカーソルで測定すると、画素のピッチより小さい単位で距離が測定できる。

サブピクセルカーソルの機能を実証するために、数人の被験者に、テストパターンを測定してもらった。真の値に対し、初心者で標準偏差で0.4画素ピッチ、経験者で標準偏差0.2画素ピッチの結果を得た。従来の画面に垂直なカーソルでの標準偏差の期待値が0.577画素ピッチであったのに比較し、優れた測定結果を得ている。

人間の目は、通常のCRTディスプレイの画素ピッチより細かい0.1mm以下の間隔を識別できる。考案したサブピクセルカーソルは、目の能力を十分に生かせる高精度測長ツールである。