

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

Basic Software Family for Event Driven Process Control in FA

FAシステムでは、生産対象製品の多様化、ライフサイクルの短期化の傾向が強くなってきている。このため、FAシステムのソフトウェアを簡単に開発でき、かつ柔軟に変更できるようにする必要がある。これにこたえるため、事象駆動形システムのモデル化技術を応用した新しいFAシステム制御用基本ソフトウェアを開発した。このソフトウェアには、(1)ルール記述の条件組合せ形制御用のSCD、(2)動作フロー記述の順序組合せ形制御用のSCR、(3)グラフ記述による工程監視形制御用のSCTがある。これらは16ビットマイクロコンピュータ上に搭載され、物流FAシステム、鉄鋼FAシステムなどに適用され、高いソフト生産性と柔軟なソフト構造を実現し、エンドユーザーによる容易なシステム構築を可能とした。

薦田憲久* *Norihisa Komoda*

解良和郎** *Kazuo Kera*

村田智洋*** *Tomohiro Murata*

1 緒言

最近のFA (Factory Automation) システムでは、製品寿命の短期化、製品の多様化、設備・運用の改良などの傾向が強くなっており、柔軟性、拡張性、保守性、操作性、ソフト生産性の高い制御システムが必要となってきている。一方で、FAシステム化の範囲が拡大されてきており、従来は人間の経験・ノウハウに依存していた高度な機能の自動化も重要課題となってきている。このようなニーズに対し、従来のFORTRANなどの汎用言語を用いる制御システムの開発方式では対応が難しく、制御仕様を決定する生産技術者などのエンドユーザー自身が、直接、容易に制御システムの構築、変更、保守を行なえるソフト開発方式が必要と考えられる。

制御対象であるFAシステムの多くは、さまざまな事象が同時平行的に進行する事象駆動形システム¹⁾としてみなせ、FAシステムの制御仕様は、事象駆動形システムの表現法を利用して分かりやすく表現できる。事象駆動形システムの代表的な表現法としては、システムの動作規則を断片的に自然語に近い形で記述する知識工学的手法や、非同期・並列システム内の情報や制御の流れを有向グラフモデルとして記述するペトリネット²⁾に基づく方法などがある。事象駆動形システムの研究は国内外で急速に発展しており、FAへの適用も現われつつある^{3)~6)}。

本論文では、このような事象駆動形システムの技術を応用し、上記のニーズにこたえるべく開発したFA向きのソフトウェアSCD (Station Coordinator)^{7)~10)}、SCR (Station Controller)^{9)~12)}、SCT (Supervisory Control and Tracking Software)¹³⁾について報告する。これらは、16ビットマイクロコンピュータに搭載され、実システムの制御に適用しており、所期の効果を挙げている。

2 FA基本ソフトの概要

2.1 基本的考え方

生産現場の熟練運転員がもつ経験的知識や運転論理を、生産技術者がそのままの形で記述でき、そのように記述されたものを計算機が直接システム制御に利用できることを目指し

知識工学技術をFA分野に応用した。知識を活用するため、対象の特徴に適した一定の表現形式のもとで表現された知識と呼ばれる情報群を蓄える知識ベースと、それを実際の問題解決に利用するための処理装置、すなわち推論機構を基本要素として含む構成をもつ。このように知識をプログラムフローの中から取り出し、データとして取り扱うことにより、システムの柔軟性、拡張性、保守性を飛躍的に向上できる。

FAシステムの制御の形態は、(1)システムの状況と各種の規則の組合せで制御指令が決まる「条件組合せ形制御」と、(2)あらかじめ動作順序が決められたもとで同期、排他を考慮しながら起動管理を行なう「順序組合せ形制御」と、(3)システム内の物(ワーク)の流れや存在場所などの情報の管理を行なう「工程監視形制御」の3とおりが代表的と考えられる。第1の制御規則は、「IF(条件) THEN(結論)」のルールで表現できる。また、後者の二つについてはフロー的知識であり、Petri-net^{*)}をFA用に拡張した記述法で表現できる。それぞれの表現形式の拡張、リアルタイム制御へ適用するための処理の高速化、信頼性、保守性、操作性の向上を図り、実用化したFA用基本ソフトウェアがSCD・SCR・SCTである。以下、これらについて概説する。

2.2 SCD

SCDは制御規則を「IF(条件) THEN(中間結論あるいは最終

*) ペトリネットは非同期、並列システム内の情報や制御の流れを記述する有向グラフモデルとして、Petriによって提案され、通信プロトコルやオペレーティングシステムの動作の解析など広く利用されてきている。ペトリネットは、プレースと呼ぶ状態の集合と、トランジションと呼ぶ遷移の集合と、トランジションとプレースを結ぶアークの集合から構成される。モデルの状態は、プレースにトークンと呼ばれるマークを置くことにより表現され、状態遷移はトークンの移動により表現できる。なお、SCRで用いる拡張ペトリネットであるC-netは、プレースやトランジションに制御指令や完了判定などの制御対象プロセスとの連絡機能をもたせたものであり、プレースをボックス、トランジションをゲートと呼んでいる。

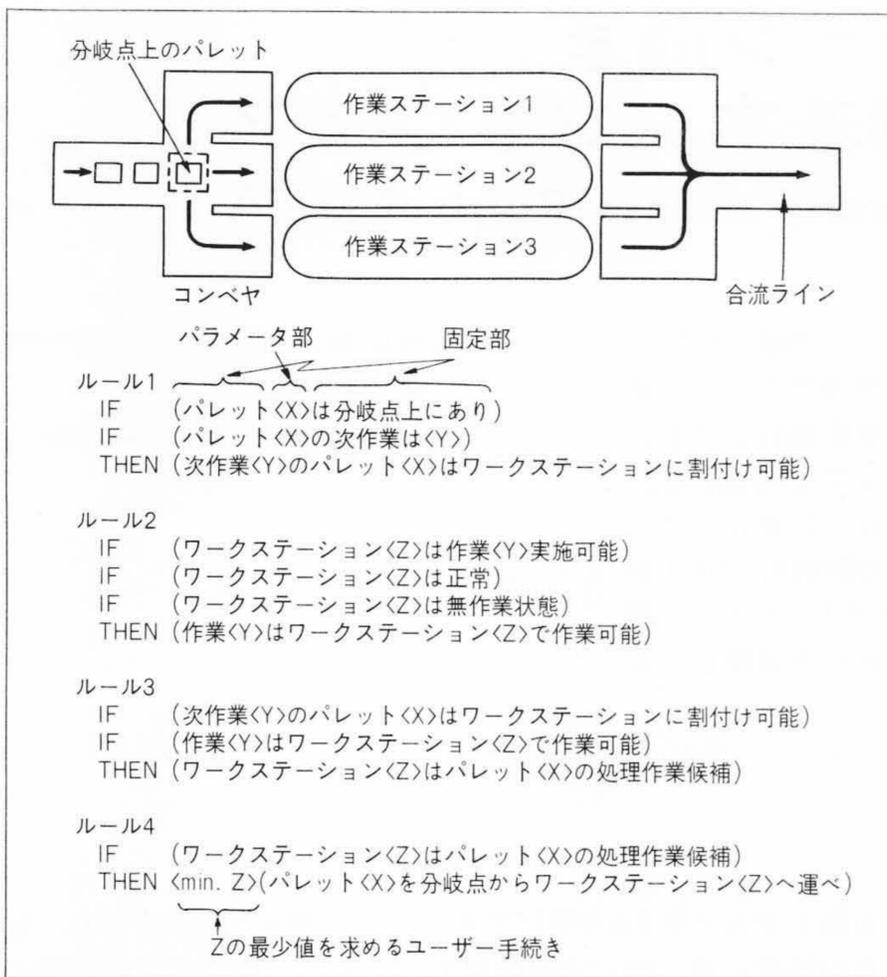


図1 SCDによる制御ルールの記述例 分岐点に到着したパレットをコンベヤで作業ステーションへ搬送し、作業完了後、払い出しラインへ搬送する。各ステーションは複数種の作業を実施でき、その能力は設備番号の若いほど大とする。

結論)」のルールで断片的に与えておけば、自動的にシステムのそのときの状況と合致するルールを順次適用し、制御指令を自動的に決定する。SCDのルール表現により、作業ステーションでのパレット搬送制御論理を記述した例を図1に示す。

SCDの特徴は、次のとおりである。(1)制御論理を日本語を用いIF-THEN形のルールで入力でき、めんどろなプログラ

ムを組まなくてもよく、プログラムの非専門家(業務の専門家)でもソフトの開発・保守が可能となる。また、開発の効率化も図れる。(2)制御論理の変更に対し、ルールの記述変更だけで容易に対応できる。(3)ルール適用状況モニタなどにより制御論理の効率的チェックを可能とする。

2.3 SCR

SCRでの動作フロー記述は、動作を表わすボックス、ボックスの動作の状態を表わすトークン、ボックス間のトークンの移動を制御するゲート、及びボックスとゲートの接続関係を示すアークの四つの基本構成要素から構成されるC-netと呼ぶ拡張ペトリネットモデルにより行なわれる。組立ロボット、ねじ締めロボット及び部品供給装置から構成される作業ステーションの動作を、C-netを用いて記述した例を図2に示す。このように動作の順序に従い動作フローを記述すると、C-netでのトークンの動作規則に従ってトークンが移動させられ、自動的に同期・排他条件を満たしながら制御が実行される。

SCRの主な特徴は、次の二つである。(1)動作フローをC-netで記述するだけで、めんどろなプログラミングを行なわなくても、システムの同期・排他制御が可能であり、プログラム開発・保守の非プログラマ化が可能となる。(2)動作状況をトークンの動きとしてモニタでき、制御システムの立上げ、異常時操作などを効率化できる。

2.4 SCT

SCTは、システム内の物の流れや工程の流れをグラフ形式で記述することにより、システム内で発生するイベントに基づき、物のトラッキング、工程の進捗状況監視、必要な制御の起動などの工程監視処理を行なうシステムを実現するためのものである。SCTにより工程監視仕様を記述した例を図3に示す。このように対象システムのレイアウトにほぼ近い形でトラッキングフローを記述し、SCTが提供するマクロコマンドを用いて上述の工程監視処理を容易に定義できる。

SCTの主な特徴は次の三つである。(1)トラッキングフローを記述するだけでトラッキングに必要なテーブルが自動的に

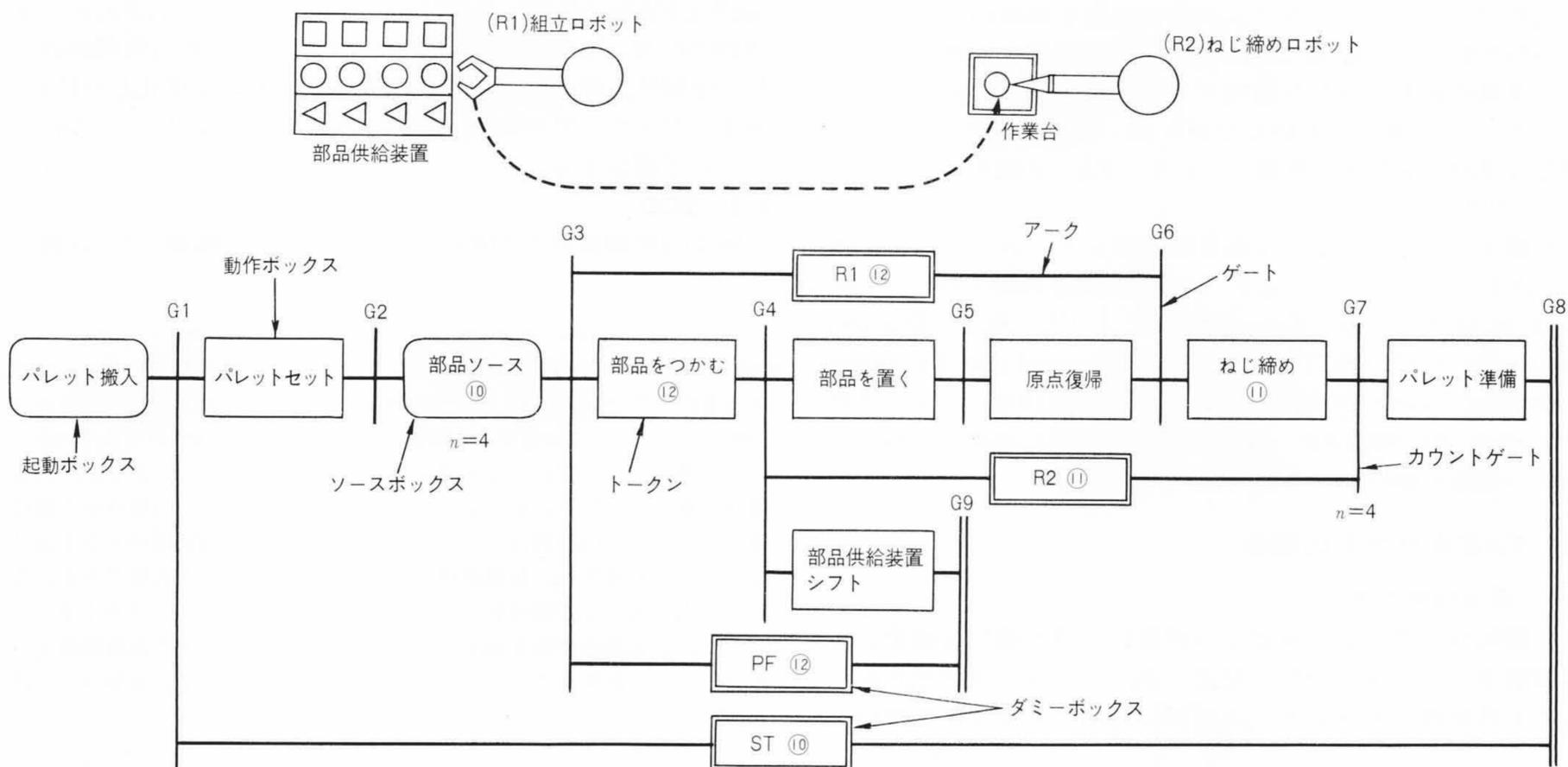


図2 SCRによるC-net記述例 パレットが作業台にセットされると、組立ロボットは部品を取り出しパレット上に置き原点復帰する。次に、ねじ締めロボットがねじ締めを行なう。この例では、一つのパレット上に四つの部品を次々に置く。

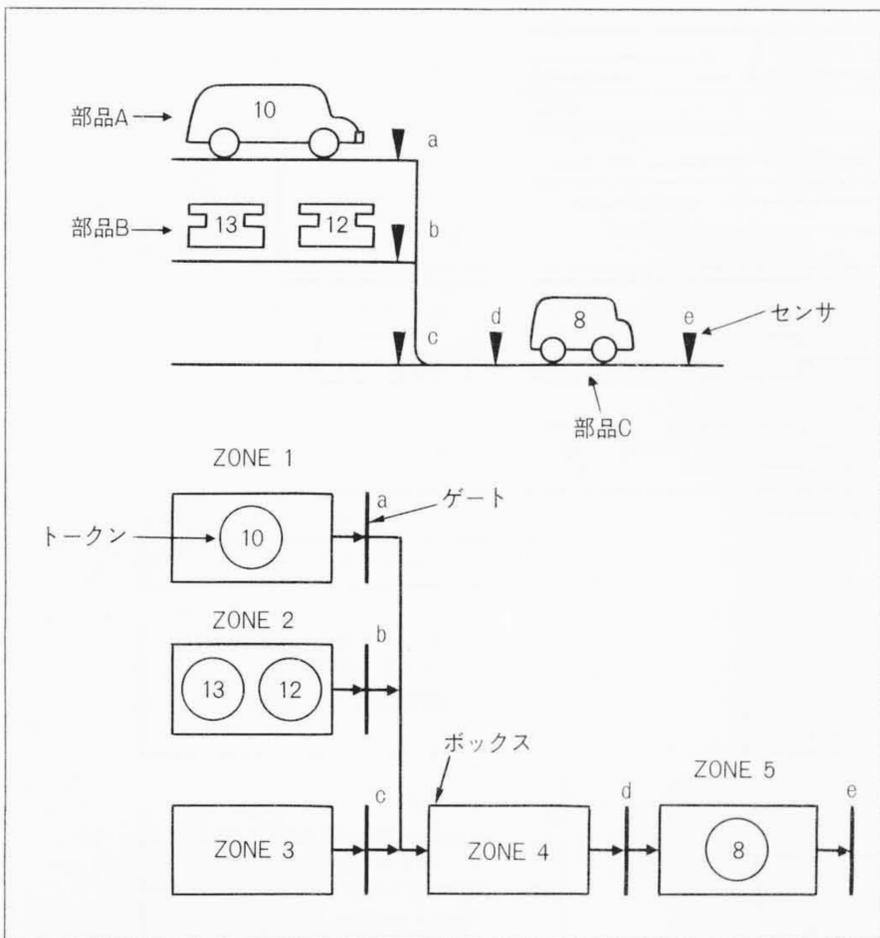


図3 SCDによる工程監視処理記述例 ゲートaに定義されているセンサaからのイベント入力により、“ZONE 1”のトークン⑩(部品Aを示す。)を“ZONE 4”に移す。

生成されるため、めんどろなテーブル設計が不要である。(2) SCDのマイクロコマンドにより、ロットの混載や分割を含む複雑なトラッキング処理が簡潔に記述できる。(3) 物の流れがトラッキングフロー上のトークンの動きとしてモニタでき、対話形でトラッキング修正が可能である。

SCDで監視した結果は、既に述べたSCDやSCRから参照す

ることができ、その結果に応じた制御処理を行なうことができる。

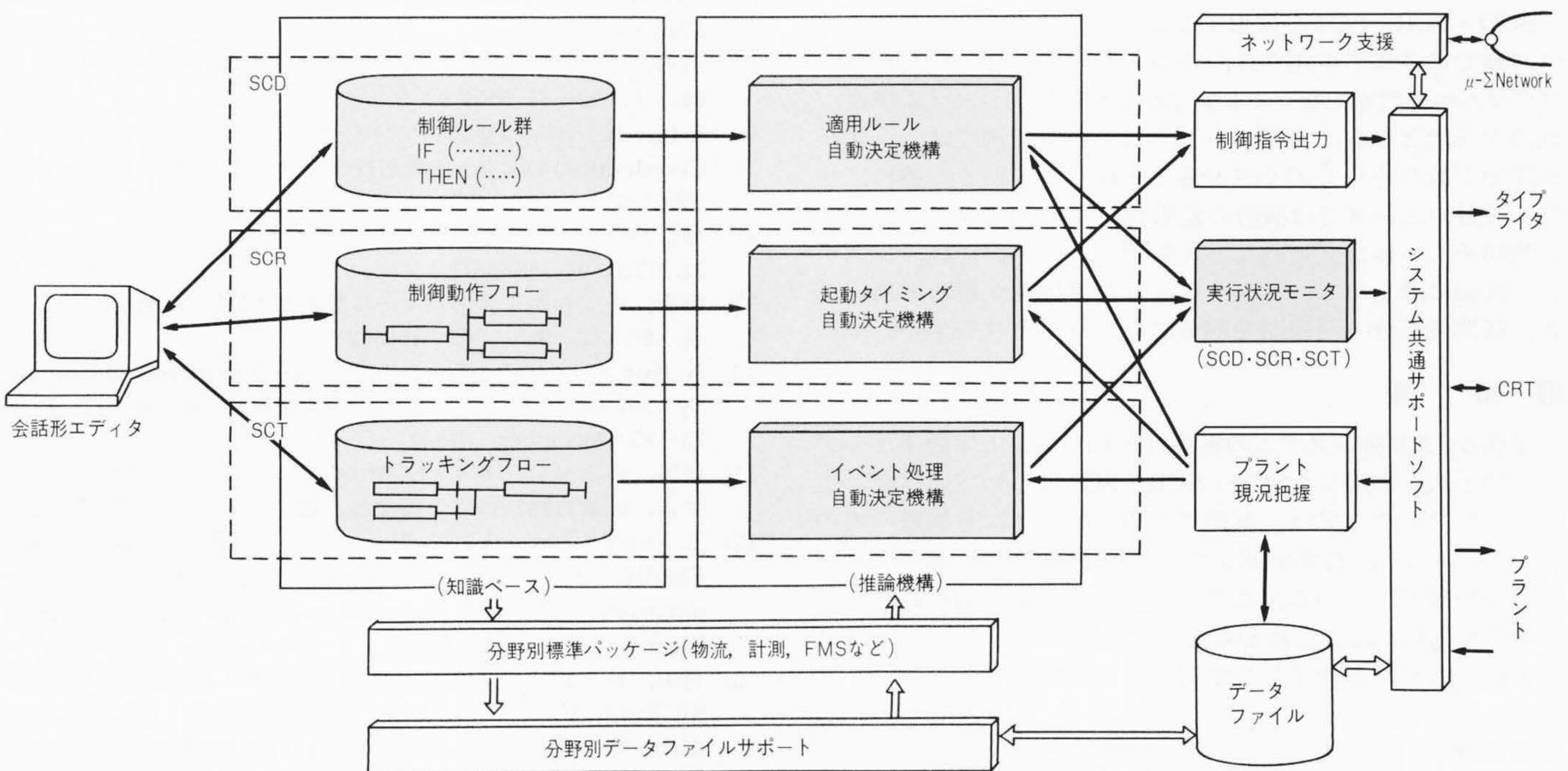
2.5 ソフトウェアアーキテクチャ

SCD・SCR・SCTを核とするFAシステムのソフトウェアアーキテクチャを図4に示す。会話形エディタ、実行状態モニタなどの専用の支援機能のほか、データ収集、割込み解析、制御出力、データファイルインタフェースなどの周辺ソフトがある。この周辺部分はアプリケーションにより異なる部分が多く、各分野共通部と分野別標準パッケージとに分離し、いずれもライブラリに登録することにより簡単にSCDほかから呼び出し接続できる。なお、これらのソフトウェアはHIDIC V90/5シリーズの制御用コンピュータ上に搭載され、リアルタイムシステム用オペレーティングシステムであるPMS (Process Monitor System)の管理下で動作する。

3 物流FAシステムへの適用事例

SCD・SCR・SCTの代表的な適用例として、自動倉庫、無人搬送車、コンベヤなどから構成される工場内物流システムの例が挙げられる。

SCD・SCR・SCTを用いた物流FAシステムの制御仕様記述は、図5に示すようになる。まず、SCTでトラッキングフローを作成する。トラッキングすべき物の属性はトークンとして定義し、トラッキングゾーンの容量や時間監視条件をボックスとして定義する。そして、ボックス間を結ぶゲートにより物の移動経路と物の移動に伴って起動する制御処理を定義する。次に、SCRで、物の移動に対応して行なうべき制御処理の内容を動作フローの形で作成する。動作フロー中の処理ボックス内の制御指令コマンドは、標準のサブルーチンとしてあらかじめライブラリ登録しておいたものから選ぶことができる。一連の動作フローの中での最適移動先決定論理などの条件判定アルゴリズムを必要とする部分(例えば、搬送台



注：略語説明 SCD[Station Coordinator(ルール形制御ソフト)], SCR[Station Controller(動作フロー形制御ソフト)], SCT[Supervisory Control and Tracking Software(工程監視形制御ソフト)], FMS(Flexible Manufacturing System), CRT(Cathode Ray Tube)

図4 SCD・SCR・SCTを核とするFAシステム ソフトウェアアーキテクチャ 知識ベースの内容は会話形エディタを通じ入力、修正される。制御出力処理、データファイルアクセスなどは分野別標準パッケージによりサポートする。

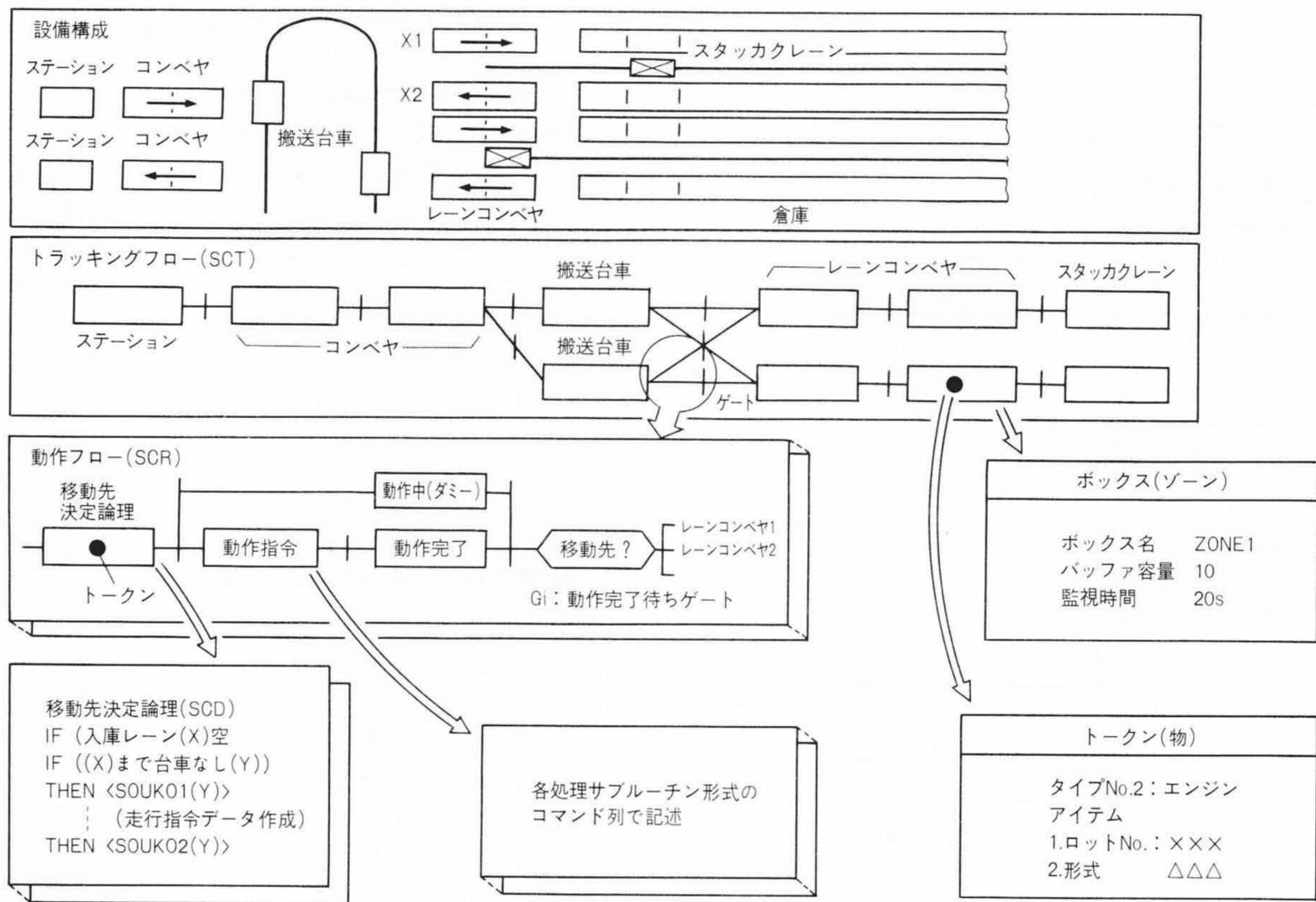


図5 物流FAシステムへのSCD・SCR・SCT適用例 まずSCTを用いてトラッキングフローを明確化し、個々の制御はSCR、SCDで記述する。

車からどのコンベヤに物を移動すべきか?)については、その規則をSCDのIF~THENルールの形で記述する。運用の変更に対しても、動作フローやルールを会話形で変更するだけで柔軟に対応できる。なお、SCD・SCR・SCTで記述できないマンマシン、帳票などの情報処理部分はパッケージ化により対応している。

SCD・SCR・SCTを使用すると、制御論理がルールやグラフの形でビジュアル化され、かつその記述も容易なため、プログラムの専門家でなくても簡単かつ短時間でシステム構築、改善が可能となる。実際のシステムでの適用例では、システム開発工数を $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{2}{3}$ 減少させることができている。特に、ソフト設計フェーズでは設計の定形化、現地調整フェーズでは段階的チューニング可能などの効果が大きい。更に、システムの拡張に際しても、ソフトウェアの可視性が極めて高いため、既開発部分と新規開発部分の整合性がとりやすい。

4 結 言

柔軟なFA制御システムの実現のため、知識工学的手法やグラフ的手法を応用したSCD・SCR・SCTについて述べた。これらのソフトウェアは、本稿で説明した以外にも製鉄所内の物流システム¹⁴⁾、自動倉庫システム⁷⁾をはじめ広く適用され、効果を挙げてきている。ここで紹介した事象駆動形システムのモデル化技術は、これから急速に発展すると考えられ、FAでも新しいソフト体系として適用拡大が期待される。

参考文献

1) 市川, 外: 事象駆動型システムの表現と制御, 計測と制御, **21**, 10, 929~938(昭57-10)
 2) J.L.Peterson: Petri Net Theory and the Modeling of Systems, Prentice-Hall(1981)

市川, 外 訳: ペトリネット入門, 共立出版(昭59)
 3) 松本, 外: 知識工学基本技術のFAへの応用, 日立評論, **67**, 9, 691~696(昭60-9)
 4) M.L.Wright, et al.: An Expert System for Real-Time Control, IEEE Software, **3**, 1, 16~24(1986)
 5) R.Herrod, et al.: Artificial Intelligence Moves into Industrial and Process Control, The Industrial and Process Control Magazine, 45~53(March, 1985)
 6) 薦田, 外: ペトリネットのFA制御への応用, システムと制御, **30**, 1, 42~51(昭61-1)
 7) 田代, 外: ルール型制御ソフトウェアシステムSCD(Station Coordinator)の開発, 情報処理学会論文誌, **27**, 5, 552~561(昭61-5)
 8) 増位, 外: 知識処理のための推論ソフトウェア, 日立評論, **67**, 12, 939~944(昭60-12)
 9) 解良, 外: 知識工学応用ルール型制御のFAへの適用, 日立評論, **67**, 12, 955~962(昭60-12)
 10) N.Komoda, et al.: An Autonomous Decentralized Control System for Factory Automation, IEEE Computer, **17**, 12, 73~83(December, 1984)
 11) 村田, 外: ペトリネットに基づく高フレキシブルFA制御システム, 計測自動制御学会論文集, **20**, 9, 844~851(昭59-9)
 12) T.Murata, et al.: A Petri net-based Controller for Flexible and Maintainable Sequence Control and its Applications in Factory Automation, IEEE trans. Industrial Electronics, **IE-33**, 1, 1~8(1986)
 13) 村田, 外: FAにおける工程監視プログラム記述方式, 第24回SICE学術講演会, 1213(昭60-7)
 14) 都島, 外: 流れ作業ライン制御へのルール型制御方式の適用, 計測自動制御学会論文集, **21**, 10, 1113~1120(昭60-10)