

# 汎用物流制御システムΦNET

川合 成治(かわい しげはる)

田中 裕平(たなか ゆうへい)

木下 政利(きのした まさとし)

## ① まえがき

近年 FA の進展に伴い、FMS 自動化ライン、生産スケジューリングなどの物流システムの分野にも、高度な機能を持つ制御システムの要求が高まっている。一方では AI 技術が注目され、設備診断、プロセス制御、OA の分野で成果をあげており、FA 分野でも導入が試みられている。

物流システムの特徴として、①プロセス固有のヒューリスティックなアルゴリズム②段階的なシステムの製作③設備、運用の変更による頻繁な仕様変更、があげられ、ソフトウェアの製作上困難な問題が多くあった。これらを解決するために AI 技術を導入することが考えられるが、物流システムの運用規則は、ダイナミックに変わる多量のデータベースから成り立っており、単純に AI 技術を導入すると膨大な知識ベースを必要とし、システムの信頼性、処理時間の点で問題となる。

このような物流システムの問題解決には、①システムマッチングな設計手法②システムの事前評価が行えるシミュレーション機能③柔軟性、拡張性の高いソフトウェア構造、を備えたシステムが必要であると考え、ΦNET (Factory Automation Intelligent Network Control System) を開発した。

ΦNET は、①、②を実現するために、ペトリネットと呼ばれるネットワークモデルで物流プロセスをモデル化し、③を実現するために運用方法を AI 技術であるプロダクションルールを結合した構成になっている。ここでは本システムの概要、システム構成、実システムでの適用例について紹介する。

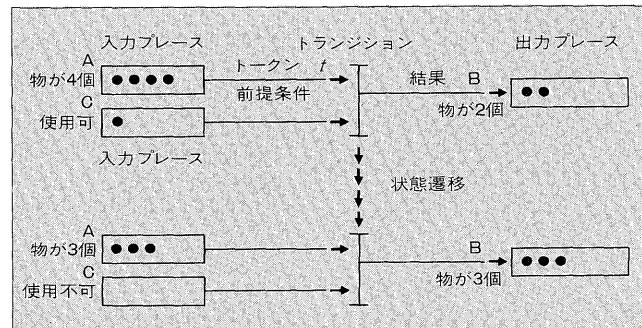
## ② ΦNET の概要

### 2.1 ΦNET の考え方

物流プロセスの最も基本的な動作は、「A にあるものを B へ C を使って移動する」である。この簡単な内容をソフトウェアとして実現するためには、

- (a) A に物があり、

図1 ペトリネットによる物流システムのモデリング



- (b) B に物を搬入する余裕があり、
- (c) C が使用可能である時、
- (d) A の物を B へ運ぶことができ、
- その結果、
- (e) A の物が減り、
- (f) B の物が増え、
- (g) C が使用不能となる。

という、並列、非同期、分岐の機能を持つプログラムとなる。このような問題に対しペトリネットを用いると図1に示すように、設備と物の移動との対応が簡潔に表現できる。

まず設備 A, B, C をプレースと呼ばれる箱で表し、各設備内にある物の数、若しくは条件の成立をトーカンと呼ばれる●で表現する。A から B へ C を使って物を運ぶ動作はトランジションと呼ばれる縦棒で表現し、その前提となるプレース A, C からアークが入力され、動作の実行により影響を及ぼすプレース B にアークを出力する。図1を関数表現すると次のように簡単に表現できる。

$$t : I(A, C), O(B)$$

ここで  $I$ : 入力関数、 $O$ : 出力関数と呼ぶ。

制御動作の実行とそれに伴う状態変化は、次の状態遷移規則に従う。

- (a) すべての入力プレースに一つ以上トーカンがあるトランジションは動作可能であり、
- (b) 動作したトランジションの入力プレースのトーカンの数が 1 個減り、出力プレースのトーカンの数が 1 個



川合 成治

昭和47年入社。プロセス制御におけるアドバンスト制御及び物流システムの開発に従事。現在、富士ファコム制御(株)第一システム開発部課長。



田中 裕平

昭和48年入社。産業用コンピュータシステムの基本ソフトウェア、パッケージソフトウェアの開発に従事。現在、富士ファコム制御(株)第一ソフトウェア技術部課長補佐。



木下 政利

昭和43年入社。工業用コンピュータシステムの基本ソフトウェアの開発に従事。現在、富士ファコム制御(株)第一ソフトウェア技術部部長代理。

増える。

このようにペトリネットを使うと、プレース、トランジション、トークン、状態遷移の四つの概念で物流システムの基本的な動作を、プロセス制御で使用されるブロック線図と同様のイメージでモデル化できる。

ペトリネットを物流システムに適用するためには、次の機能を持たせる必要がある。

- (a) 物を識別する機能。
- (b) 移動に要する時間を表現する機能。
- (c) 人間の判断を要するような複雑なルールを表現する機能。
- (d) 組立、分解のような複雑な移動方法を表現する機能。

ΦNETでは、ペトリネットのネットワーク機能を拡張し、物を識別するためのカラートークン、移動時間を表現するタイマの概念を導入して、(a), (b)の問題の解決を図った。更に(c), (d)の問題に対しては、複雑な運用方法、移動方法を記述できるようにAI技術を導入し、次の3種類のプロダクションルールをネットワークに結合させた。

#### (1) 動作制限ルール

発火条件を満足している制御動作の実行を制限するルールである。

#### (2) 動作優先ルール

競合する制御動作の間の優先順位をつけるためのルールである。

#### (3) トークン移動ルール

制御動作を実行する際、カラートークンをどのように移動させるかを指定するルールである。

このような考え方で開発されたΦNETの構成要素と物流システムを対応させたものを図2に示す。

## 2.2 ΦNETによる物流システムの構築手順

実システムにおけるΦNETの導入手順を図3に従って説明する。

図2 ΦNETの構成要素と物流システムとの対応

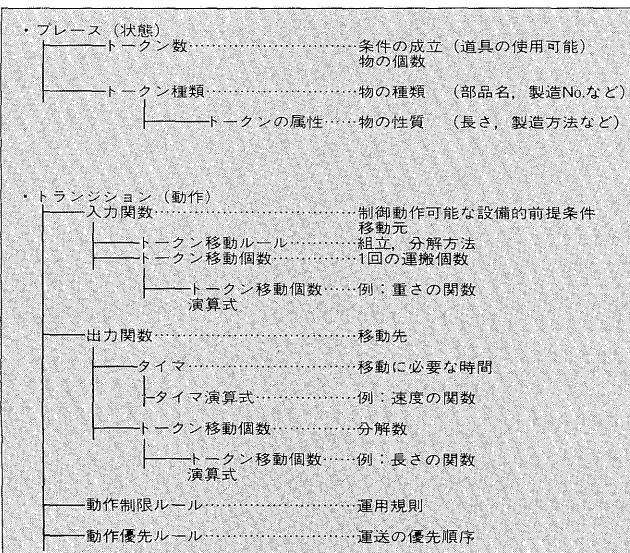
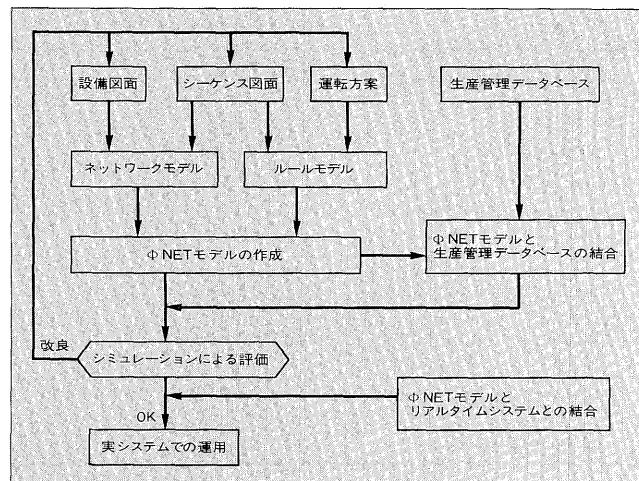


図3 ΦNETによる物流システム構築手順



#### (1) ΦNETモデルの作成

設備画面、シーケンス画面をもとに、各構成要素をプレース、トランジションに割り当て、設備条件と物の流れをネットワークで表現する。このネットワークのトランジションに物の流れを制御する運転方案のルールを結合させて、ΦNETモデルを作成する。

#### (2) ΦNETと生産管理データベースとの結合

ΦNETと生産管理におけるユーザーデータベースとの対応は、物(生産物、部品など)にトークンを割り当てるにより行う。すなわち物の投入タイミングに合わせて、トークンを発生させ、物の属性の情報が格納されている生産管理データベースのアドレスと対応させてトークン番号を割り付ける。

#### (3) シミュレーションによる評価

設備仕様、シーケンス制御、運転方案の妥当性をΦNETモデルとユーザーデータベースを用いてシミュレーションを行い、ケーススタディを繰り返して、最適なシステムを決定する。このようにして決定されたΦNETモデルは、そのまま実システムのモデルとして使用される。

#### (4) リアルタイムシステムとの結合

シミュレーションにより決定されたΦNETモデルに対し、システムから入ってくる入力(PIO信号、伝送データ、オペレータ入力など)のトークンの発生プログラムの作成と、トランジションに対応した制御動作を実現するためのプログラムを作成する。

## 2.3 ΦNETの特長と適用効果

ΦNETは、ペトリネットの特長である設備との対応の良さ、データ管理機能、高速の処理スピード、シミュレーション機能と、プロダクションルールの特長である運用との対応の良さ、柔軟性・拡張性の良さ、モデル化能力の高さの両方の長所を併せもっている。表1にΦNETの特長を、従来方法による問題点とこれに対するΦNETの対応方法と具体的な適用効果を対比させて示す。

表1 ΦNETの特長(従来方式との比較)

ΦNETの特長	ΦNETによる具体的な対応方式	従来方式による対応の問題点	ΦNETの具体的な適用効果
(1) 見通しの良いモデル構造	・設備条件にはネットワーク、運用条件にはルールを対応させている。	・設備条件と運用条件がプログラム内で混在し、全体像が見にくい。 ・仕様決定に時間がかかる。	・仕様決定までの時間短縮。 ・再利用の促進。
(2) 適用範囲の広いモデル化機能	・ペトリネットにルールモデルを導入。	・問題ごとに個別対応。	・人間の判断を伴う複雑な制御動作のモデル化が可能。
(3) 柔軟性・拡張性の高いシステム構造	・ネットワークとルールの結合関係によるシステム製作。	・部分的変更がプログラム全体に影響を及ぼす。	・仕様変更に容易に対応できる。 ・段階的設計が可能。
(4) 効率の良いデータ管理	・トークン移動によりデータを空間的・時間的に制御動作と同時に管理。	・データ管理と制御動作は別処理。	・トラッキングが容易。 ・操作モニタに使用可能。
(5) 高速の処理スピード	・前回状態遷移を生じたトランジションの影響のある部分のみを処理する。	・高速化には、個々の工夫が必要。	・高速のリアルタイム制御が可能。
(6) 制御システムとシミュレーションシステムが同一構造	・制御とデータ管理をトークン移動により、同時にしている。	・シミュレーションモデルは別に作成して、一番良いものを制御システムにする。	・設備計画時のシミュレーションが容易。 ・製作途中での評価が可能。 ・実制御でのテスト時間短縮。

図4 ΦNETシステム構成

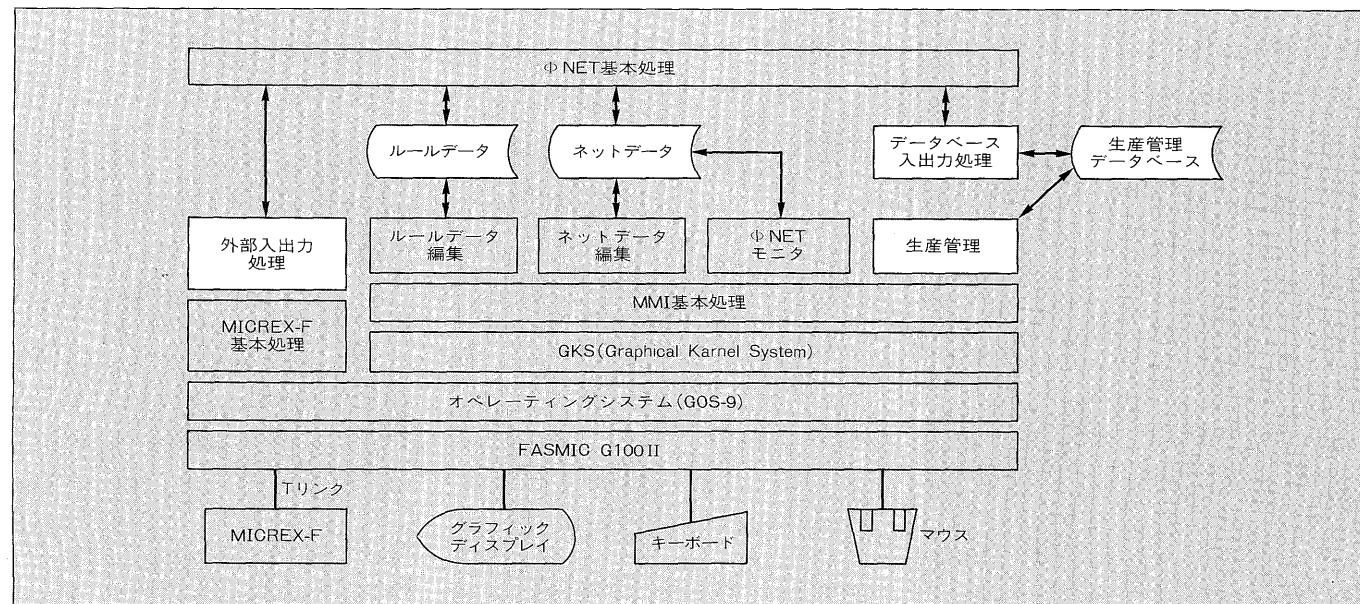
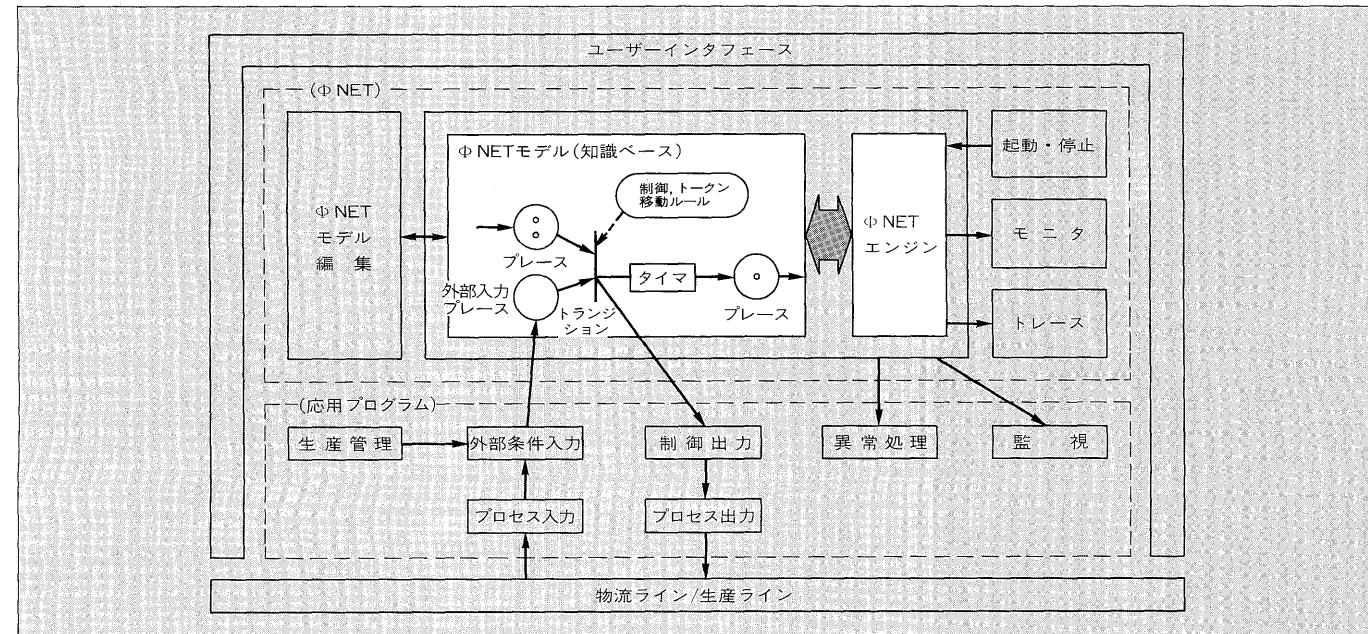


図5 ΦNETソフトウェア構成



### ③ システム構成

富士電機のスーパーマイクロコンピュータ FASIC G100II と分散形プロセス入出力装置 MICREX-F を使用したΦNET のシステム構成を図 4 に示す。

ΦNET のソフトウェア構成を図 5 に示す。

ΦNET はΦNET モデルとΦNET エンジンを核とし、各種ユーティリティを備えている。

#### (1) ΦNET モデル (知識ベース)

②章のΦNET の概要で述べたプレース、トランジション、タイマ及び各種ルールに関する知識ベースであり、ΦNET モデル編集機能を使って構築する。

#### (2) ΦNET エンジン

ΦNET モデルをもとにシステムの状態遷移を制御するプログラムであり、応用プログラムとは状態遷移のきっかけの一つとしての外部入力、状態遷移による制御出力、その他異常処理、監視処理などのためのインターフェースを持つ。

外部入力、制御出力を応用プログラムにて擬似化することにより、シミュレーションとしても使用できる。

#### (3) 各種ユーティリティ

次のユーティリティを標準に装備している。

##### (a) ΦNET モデル編集：ソースプログラム形式で定義

したΦNET モデル定義体を一括コンパイルしてΦNET モデルを作成する。又は、対話形式にて作成、変更する。

##### (b) 起動・停止：ΦNET エンジンを起動、停止する。

##### (c) モニタ：ΦNET モデルを参照し、プレース中のトークン数やトランジションの動作回数などを表示する。

##### (d) トレース：プレース中のトークン数の増減履歴、及びトークンのプレース移動履歴などを表示する。

### ④ 実システムにおける適用例

富士電機の発信器製造ラインにおいて、その生産スケジュールの決定を支援するシミュレーションシステムとしてΦNET を適用した例を図 6 に従って説明する。

#### 4.1 発信器製造ラインの概要

典型的な多品種製造プロセスであり、毎日約10種類の製品約200台をつくり始め、品種によって多様な製造工程を経て約十数日後に完成する。

1品流れを基本とするが、バッチ工程も少なからずあり、同時にバッチ処理できる品種の組合せが多様である。

後からつくり始めた製品が先に完成することも多く、互いに干渉しあい特定の設備に負荷が集中することもあり、設備の稼動率、全体の生産性を向上する上でより的確な生産スケジュールが要求される。

#### 4.2 ΦNET による発信器製造ラインシミュレータの実現方法

##### (1) 製造工程をネットワークで表現する

各製造工程を「トランジション」、各製造工程で要する時間を「タイマ」、各製造工程待ちの状態を「プレース」で表現してネットワークモデルを作成した。

また、各製品を「カラートークン」で表現し、品種により通過すべき製造工程パターン、バッチ処理での同一処理パターンをその属性としてもたせた。

##### (2) 運用方法をルールで表現する

設備の稼動時間、稼動回数の制限、及び次に進むべき製造工程の選択を「動作制限ルール」で表現した。

選択可能な設備の優先順位を「動作優先ルール」で表現した。

図 6 発信器製造ラインシミュレーションシステムにおけるΦNET の適用例

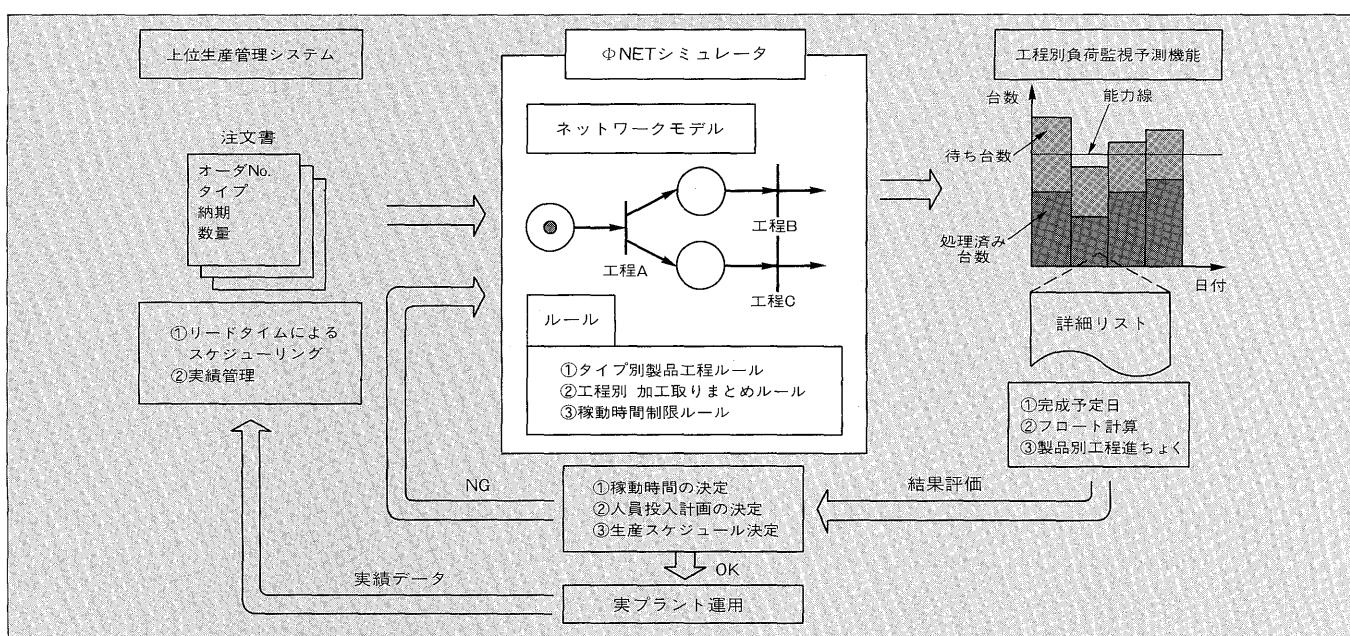


表2 ΦNETの導入メリット実例

ΦNETの導入メリット	無人搬送車による仕分け・搬送制御システム	クレーン・台車制御システム	発信器生産計画シミュレーションシステム
(1) シミュレーションによる最適な設備計画	(1) 必要台数の節約 (2) 搬送ライン数の決定	(1) ヤード面積縮小 (2) テーブルバッファの適正配置	(1) パッチ設備の節約 (2) ライン構成の決定
(2) システム開発工数の短縮とユーザーによるシステム改進	(1) 運用規則は、常識的なものから段階的に設計 (2) シミュレーションによる最適な経路選択アルゴリズムの決定 (3) 経路選択ルールの変更、店舗数の増加のシステム改進に対処	(1) 運用規則は、ブラックボックスにして設計開始 (2) シミュレーションによる最適なクレーン運用規則の決定 (3) クレーン運転方法の変更設備増強のシステム改進	(1) 4段階の仕様変更で最終ステップに到達 (2) シミュレーションによるネック工程の発見 (3) 実制御でのテスト時間の短縮 (4) 品種の増加、工程の増加減少のシステム改進に対処
(3) 生産計画・操業条件に連動したフレキシブルな制御システムの実現	(1) 使用台車数の減少 (2) 配送時間の短縮 (3) 台車異常時のバックアップ (4) 出荷トラックの計画的配車の実現	(1) 圧延ラインの効率的運用 (省エネルギー効果) (2) 作業時間の短縮 (3) 複数のクレーンの干渉防止 (4) 最適な移動順序の決定	(1) 残業時間の減少 適正な人員計画 (2) リードタイムの短縮 (3) 繁忙期におけるパートタイマー数の決定 (4) 完成予定日予測による納期遅れ製品の発見
(4) 効率の良いシステムの管理	(1) 搬送実績の管理 (2) 渋滞箇所の発見 (3) 台車稼働率の向上	(1) 材料別工程進ちょく (2) テーブルの負荷状況の監視 (3) 台車、クレーンの移動率の向上	(1) 製品別工程進ちょくの監視 (2) 工程別負荷監視によるネック解消 (3) 処理台数と待ち台数比率による設備余力の評価

バッチ処理における製品のグルーピングを「トークン移動ルール」で表現した。

### (3) シミュレーション結果の出力

- (a) ΦNET自身が持つトラッキング及びトレース機能に、このシステム特有なトレース機能を付加して下記情報を表示、印刷する。
- (b) 各製造工程（設備）別に日々の処理台数、待ち台数を棒グラフにて表示する。
- (c) 各製品別に各製造工程通過時刻及び完成時刻を印刷する。

ΦNETを用いることにより、短期に製造ラインのシミュレーションシステムを構築でき、精度が高く詳細な予測データが得られ、きめの細かい生産スケジュールをたてることが可能となった。

このほかに、無人搬送車による仕分け・搬送制御システム、クレーン・台車の制御システムでのΦNETの適用を進めており、それらのΦNET導入メリット実例を表2に示す。

## 5 あとがき

ネットワーク技術とAI技術を融合させた汎用物流制御システムΦNETの紹介を行った。

今後、MRPSなどの周辺技術との整合を図り、実システムへの適用実績を重ねてノウハウを蓄積し、実用性の高いシステムにしていく。更に次のような課題に取り組み、ΦNETをより高度な問題解決能力を持ったツールに発展させていく所存である。

### (1) ルール記述力の向上

オペレータとの親和性を高めるため日本語化を進めるとともに、物流システムにおける汎用的な関数の整備を行い、ルール記述力を向上させる。

### (2) 最適化手法の導入

ネットワーク最適化技法を取り込み、自動的な生産スケジューリング、操業コストの最適化を可能にする。

### (3) 自律分散形システムへの展開

ΦNETの最大の特長であるネットワークとルールの一體化の利点をよりよくいかすため、自律分散の思想を取り入れた階層化、分割化を図り、大規模なFAシステムに適用しやすくする。



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。