

**解説****CIMの現状**

## 4. 製造システムにおけるシミュレーションと その応用†

藤 井 進†

### 1. はじめに

近年の計算機や通信における急速な技術の発展とともに、製造業における生産活動は大きく変化しており、工場をはじめとする自動化、情報化の進展は著しい。この動きは、個別の設備機器に始まり、さらにシステム化へと進み、最近ではそれらを情報ネットワークにより統合しようとする CIM (Computer Integrated Manufacturing) 化の時代となっている。このようなシステム化、統合化の動きとともに、設備投資額は巨額となり、その導入目標の達成度に対する評価は設備機器単体の場合と比べてはるかに厳しいものとなっている。

このような新たな生産システムの導入・運用環境の変化により、その目標達成度の導入後における事後評価ばかりでなく、計画段階における事前評価によって所期の能力を満足するシステムを構築することが重要となっている。特に、定量的な評価が可能となるシミュレーション技術の有用性は、工場の自動化に対して活発に導入されてきた FMS (Flexible Manufacturing System) の設計において立証され、生産システムの自動化、システム化の発展にとって重要な役割を果たすものとして位置づけられるに至っている<sup>1)~7)</sup>。

一方、計算機関連の技術進歩により、シミュレーション技術そのものも多大な影響を受け、その適用範囲を拡大するとともに、内容も大きく変化している。たとえば、計算機の高性能化、高速化、大容量化により、取り扱うことのできるモデルの最大規模は大きくなり、目的に応じて対象システムのモデルの詳細さを比較的自由に選ぶ

ことができるようになっている。また、低価格化、小型化にともなって、ユーザが手元にある計算機により手軽にシミュレーションを実行することのできるパーソナル化が進んでいる。

このようなシミュレーションに対するニーズの増加とシーズの進展は近年急速に進み、シミュレーションに対する期待もますます高まってきた<sup>8), 9)</sup>。本稿ではまず、製造業のさまざまな局面で行われているシミュレーションについて概観した後、離散型シミュレーションを中心とする生産システムに対する適用を今後の課題と併せて述べることとする。

### 2. 製造業におけるシミュレーションの適用

近年注目されている CIM は、製造業における製造、販売、研究開発という 3 本の柱を図-1 に示すように計算機ネットワークにより結合しようとするものである。これによって、部門間の情報の流通を円滑化するとともに、経営的視点より全体の調和の取れた発展を図り、企業活動の全体的な効率向上を実現することが期待されている。シミュレーション技術は、このような環境下において総合的な効率向上に寄与する技術として大きな役割を果たすものと考えられている。しかし、これらの各部門においては、従来から図-1 に示すようにさまざまなシミュレーションが個別に行われてきており、多大な効果をあげてきている。以下では、まずこれらの適用状況について概観する。

#### 2.1 製造部門におけるシミュレーション

従来から広くシミュレーションが行われているのが製造部門を対象とするものである。生産現場の管理、運用法についての基礎的な検討、新規設備の導入計画、実システムの運用などに幅広く実用されている。特に、対象とする生産システムの

† Simulation in Manufacturing Systems and Its Application by Susumu FUJII (Dept. of Systems Engineering, Faculty of Engineering, Kobe University).

†† 神戸大学工学部システム工学科

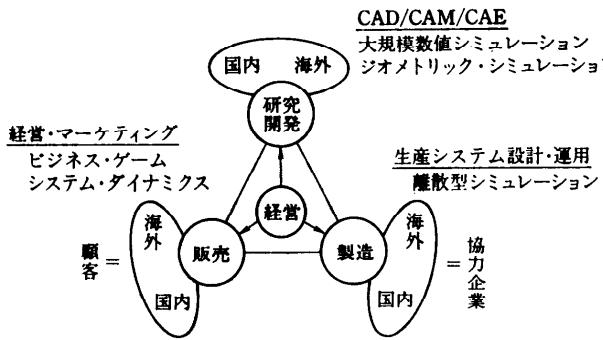


図-1 CIMの概念とシミュレーションの適用

自動化、システム化のレベルが高く、投資額が高額となるにつれてその重要性も増し、シミュレーション技術の活用が導入計画の成否を分けるといつてもよい。

多数報告されている適用事例のいくつかをあげておこう。後述するような加工、組立におけるFMSに始まり、自動搬送系を含む工場内物流システムの評価<sup>5), 10)</sup>、半導体生産ラインへの適用<sup>11), 12)</sup>、生産ラインの能力評価などの工場における設備などの計画・管理・運用への適用<sup>13)~15)</sup>、建設業におけるトラックの運行計画などの施行計画・管理への適用<sup>16)</sup>などがある。これらのシミュレーションは、離散的な時点における対象システムの状態変化を捉える離散型シミュレーションによるものが中心である。次章以降では、この型のシミュレーションについて考える。

## 2.2 販売部門におけるシミュレーション

販売部門においても、離散型シミュレーションを用いて最適在庫政策に関する理論的、実務的な検討が行われている。また、今後の経済情勢の見通しや販売予測が重要な役割を果たすことから、マクロ、ミクロさまざまな数理モデルが開発され、利用されてきている。在庫管理の顧客ニーズへの対応や製造部門への影響などを明らかにするためには、離散型シミュレーションばかりではなく、動的現象を差分方程式で表現し、解析や予測をするためのシミュレーション言語であるDYNAMOを用いたシステム・ダイナミクス技法<sup>17)</sup>の適用も有効である。また、ビジネスゲームは、経営面も含んだ企業活動のシミュレーション・システムであり、教育、研修のツールとしてだけでなく、現実の経営に密着した意思決定支援ツールとして利用されるようになってきている<sup>18)</sup>。

## 2.3 研究開発部門における

### シミュレーション

新製品の開発は、設計、試作、実験、設計変更・修正を繰り返しながら進められる。従来から、土木・建設の分野において、港湾、空港施設の計画やビル建設におけるエレベータホールの設計など、待行列の発生するシステムの計画段階においては、離散型シミュレーションが有力なツールとして効果を発揮している<sup>16)</sup>。前述した製造部門における工場内設備のシミュレーションは、設備メーカーの立場からみればこの部門のシミュレーションである。

一方、研究開発部門へのCAD/CAM/CAEシステムの導入により、離散型シミュレーション以外にも大規模数値シミュレーションやジオメトリック・シミュレーションが盛んとなり、開発・設計のプロセスは大きく変化しつつある<sup>19), 20)</sup>。CADシステムの導入により、対象製品の幾何学的形状を3面図、3次元モデルとしてディスプレイ画面上に静的、あるいは動的に表示するジオメトリックなシミュレーションが可能となった。これによって、設計の初期段階において製品の形態的、空間的整合性を評価できるようになり、設計効率は大幅に向上した。

CAMシステムは、設計部門と製造部門の橋渡しとして、CADデータに基づくNCデータ<sup>21), 22)</sup>や工程設計<sup>23)</sup>、ロボット動作のオフライン教示データ<sup>23)</sup>などの生産情報作成に活用されており、加工シミュレーション、動作シミュレーションなどにジオメトリック・シミュレーション技術が活用されて、技術部門と製造部門間の情報流通の効率化に貢献している。

大量の数値計算を超高速で行うスーパーコンピュータの出現と大量の画像情報の視覚化を実現するコンピュータグラフィックス技術の発達により、有限要素法などを用いた材料力学的、流体力学的解析を支援するCAEシステムの実用化が進み、製品開発のかなりの部分はソフトウェアモデルによるコンピュータ・シミュレーションへと変化している<sup>19), 20), 24)</sup>。これによって、古くからのスケールモデル、プロトタイプなどのハードウェアモデルを用いて行われた物理的シミュレーションの必要な場は限定されてきている。その顕著な例

は自動車産業であり、試作車の外形のデザインばかりでなく、走行時における空力学的解析を初め衝突時の変形解析までがコンピュータ上でソフトウェアモデルによりシミュレーションできるようになり、試作に要する費用、時間の大幅な削減が達成され、全体としての開発期間の大幅な短縮が実現されている<sup>25)</sup>。

CG技術の進歩により、製品の外形、色彩を自然なイメージで表現できるようになり、大規模な開発に関連する景観シミュレーションや、建築物の内外のデザインに関するシミュレーションなどにより、顧客のフィーリングなどを直接設計に反映することも可能となってきている<sup>16)</sup>。さらに最近では、現実の世界にいるような感覚で、仮想の物体を仮想空間の中で動かす体験をシミュレーションすることにより、製品を設計したり、体験できる人工現実感の応用が注目されている<sup>26), 27)</sup>。このようなCG技術によるシミュレーションを介した販売部門と設計あるいは製造部門との結合は、CIM環境下におけるシミュレーション技術の新たな展開として期待される。

以上のような技術進歩は、製品開発から製造に至るさまざまな活動を同時並行的に実行し、総合的な効率化、リードタイム短縮などを図るコンカレント・エンジニアリングあるいはサイマルテニアス・エンジニアリングを実現する基本的技術を構成するものと注目されており、さまざまなシミュレーション技術の活用も含めて積極的な研究が進められている<sup>28)</sup>。

### 3. 生産システムのシミュレーション

製造部門における離散型シミュレーションの利用状況については2.1で簡単に触れた。ここでは工場内における生産システムの設計と運用に関するシミュレーションについて述べる。

#### 3.1 システムの評価とシミュレーション

設備機器の導入やレイアウトの変更、作業方法の改善変更などのシステムの設計や計画、あるいはスケジューリングなどのシステムの運用に際して、生産性、経済性、作業性などをあらかじめ評価し、総合的に適切な施策を選択することが重要である。しかし、近年のFA化、CIM化の進展とともに、対象システムも次第に大規模化し、評価そのものはもちろん、評価項目の具体的な設定

#### 処 理

も難しくなってきている。

シミュレーション技法は生産システムの性能の定量的評価の有効な方法として、広く認められている。このため、汎用のシミュレーション言語から適用対象を絞った専用性の高いシミュレーションシステムまで、多数が開発されている<sup>29)~36)</sup>。特に、専用シミュレータとしては、システムの状態変化の様子をダイナミックに表示し、ユーザの理解を助けるアニメーション機能を付加して、ヒューマンインターフェースの充実を図ることが一般化しつつある。

#### 3.2 FMSの設計と運用

ここでは、FMSを例として、その設計、運用のためのシミュレータについて概観する。FMSは、基本的には素材の投入と完成品の搬出以外の処理を自動的に実行する設備であり、多品種少量生産の効率化に有効なシステムとして広く導入されてきている。その導入効果を高めるために、その設計段階と運用段階の両面でシミュレーション技術が活用されている<sup>1), 23), 37), 38)</sup>。

FMSの構成要素とそのシステム構成は類似性が高く、シミュレーションモデルの類型化が比較的容易である。FMSのモデル化には、次のような構成要素の表現機能が必要とされる。

##### ハードウェア関連

加工処理機能：マシニングセンタ、組立ステーション、ロード、アンロード、洗浄、検査など

移載機能：パレットチェンジャー、移載ロボットなど

搬送機能：AGVシステムなど

保管機能：自動倉庫やパレットプールなど

##### ソフトウェア関連

FMSの制御、管理アルゴリズム：ワーク投入スケジューリングシステム、加工処理設備の選択規則、台車の運行経路決定規則、台車選択

異常対策関連規則：故障時対策、不良品対策など

設計と運用ではシミュレーションの目的や使用環境が異なる。したがって、シミュレータに要求される機能や特性も表-1に示すように異なる部分も多い<sup>37), 38)</sup>。FMSの開発過程では多数の設計案が提案され、所期の目標の達成度をシミュレーションにより評価することによって、最も望ましい案を選択したり、改良の指針を得たりすること

表-1 FMS シミュレータの特性比較

比較事項		設計用シミュレータ	運用シミュレータ
使 用 環 境	使用時間	概略設計時	システム運用時
	使用目的	設計案評価	運用案評価 ワーク投入計画・作業指示作成 故障対策・モニタリング
	使用者	システム設計者	システム運用者
	対象システム	多様な仮想システム	実システム
	処理対象ワーク	仮想的・多様・粗い記述	所与・限定・詳細な記述
	評価項目	多様	固定
シ ミ ュ ニ カ タ 特 性	ハードウェアの機能表現	多様・粗	固定(故障時一時可変)・詳細
	ソフトウェアの構成表現		
	内部制御ソフト	多様	固定(故障時一時可変)
	外部制御ソフト	比較的単純	多様(マニュアル入力・リスケジューリング含む)
	初期状態設定	使用者指定	実システム対応
	処理ワーク設定	仮想ワークファイルより 指定/ランダム選択	実ワークファイルより 日程計画に従い選択
	工具管理	粗	詳細
	故障時対策	粗	詳細
	出力データ	多様	固定
	処理時間	短いほうが望ましい	短いこと
	使用利便性・操作性	システム表現の柔軟性とのバランス	優れていること

が重要である<sup>1), 5)</sup>。このためには、FMS の性能に影響の大きい設計要因をさまざまに変化させた設計案を個別的にシミュレーションできることが必要であり、この目的にあった専用のシミュレータが開発されている<sup>1), 4), 11), 15), 39)</sup>。

一方、FMS のシミュレーションは、運用段階においても、FMS の管理者がシステムを効率的に稼働させるためのさまざまな意思決定を効果的に行う支援システムとして活用されている<sup>37)</sup>。このような目的を達成するためには、設計用のような多様なシステムの表現機能の代わりに、実システムができるかぎり厳密に表現できる機能が必要である。

### 3.3 スケジューリング・シミュレーション

スケジューリング・シミュレーションは、スケジュール作成時に、なんらかの方法で与えられた仕事の投入順序を実システムに即して構成されたシミュレーションモデルに当てはめて、システムの稼働状況を予測するとともに、その順序の生産効率を評価するものである<sup>38), 41)</sup>。FMS の運用に際しては、最適スケジュールの作成やリスクジ

ューリングに用いられている。最近の生産の現場における POP システムなど情報ネットワークの普及とともに、現場の状況を常時モニタリングしながら、リアルタイムなスケジューリングを行うことも考えられている<sup>42)</sup>。また、スケジューリング・シミュレーション・システムとしては、作成されるスケジュールの特性の評価とともに、ガントチャートなどの図式表現や、作業指示書の発行の機能を有するものなども開発されている<sup>15), 37), 38)</sup>。

スケジューリングの手順としては、理論的、経験的な方法が考えられている。実用的な観点からは処理の高速性が必要であり、複雑な最適化アルゴリズムを用いることは難しく、単純なディスパッチングルールを適用するなどの実用的方法が採用されている。近年の人工知能技術の進歩とともに、スケジューリングの専門家の知識に基づいて構築したエキスパートシステムを用いるスケジューリング・システムも数多く開発されている<sup>43)~48)</sup>。

このようなインテリジェントシステムにおいて

は、推論部分と数値処理中心のシミュレーション部分の結合にさまざまな工夫がなされている。全体を LISP や PROLOG などの知識処理向き言語を用いて記述したもの<sup>44)</sup>、シミュレーションにより予測されたシステムの状態を参照しながら推論を行うもの<sup>45)</sup>、推論により選ばれたいくつかのルールを用いて作成したスケジュールに基づいてシミュレーションを実行し、最善のものを選択するもの<sup>46)</sup>などがある。さらに、インテリジェント・スケジューリング・システムに図-2 に示すようにシミュレーション機能を組み込み、学習を通じて知識ベースを充実していくという試みもなされており、今後の展開が期待される<sup>47), 48)</sup>。

#### 4. CIM 環境下におけるシミュレーションと今後の課題

CIM の進展とともに、製造、販売、研究開発といった部門内を対象としたシミュレーションから、さらに広い範囲をカバーする必要性が増してきていることはすでに述べた。部門内、部門間を問わず、CIM 化の進む環境下においては、シミュレーションの使用環境も変化し、それに対応したシミュレーション技術の新たな展開も必要となる<sup>49), 50)</sup>。以下ではこのような動きに対処する上で今後解決しなければならないいくつかの課題について述べる。

##### 4.1 システムの大規模性

CIM 環境下における FA システムは多数の設備機器が階層的に構造化された大規模なシステムとなる。FMS や自動倉庫はそれ自体がシミュレーションの対象となるが、上位の FA システムに対しては下位システムとなる。従来のシミュレーションにおいては、このような下位システムは簡略化し、たとえば近似的に 1 台の機械としてモデル化することなどが一般的であった。しかし、そのためには、下位システムの処理時間などの特性を、対応する機械の処理時間などとして与えるなどの操作が必要である。さらに、下位システムの変更を考える場合には、その処理特性を再度求め

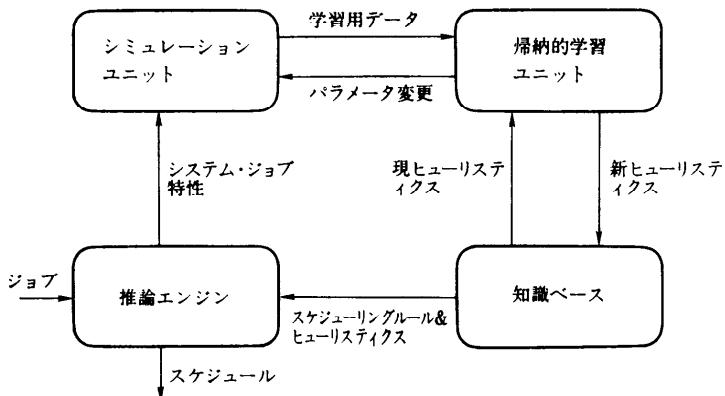


図-2 インテリジェント・スケジューリング・システムにおける学習機能  
(文献 47 を修正)

直さねばならない。

また、ワークは特定の製造部門内ばかりでなく、工場内外のさまざまな場所にある製造部門の間でも搬送される。このような工場内、工場間の物流は、部門内、部門間搬送として階層構造をもち、複雑にかつ広域的に生起しており、その簡略化したモデル化も考えられる。

下位システムや物流システムの簡略化は、シミュレーションモデルの構築の簡便化に有効であるが、表現の厳密性の欠如や近似のための手間をともない、またシミュレーション結果と実システムの特性との対応性に問題を残す。このため、対象とするシステムを忠実にモデル化する方法についても検討することが重要である。

##### 4.2 意思決定支援

意思決定者は、自分の管理下にある部門の効率化を図るために、部門内の状況を見ながらさまざまな決定を行ってきた。CIM 環境の整備にともなって、決定に際して考慮すべき範囲や決定結果の影響範囲が部門内に限らず、部門外にまで拡大する傾向にある。シミュレーションはこのような大局的見地からの意思決定を支援するツールとして有用であると考えられるが、人間の状況認識とそれに基づく判断能力を最大限に發揮しうる対話性を備えたシミュレーション・システムの構築が重要である。このためには、以下の視覚化機能などヒューマン・インターフェースの整備が必要である<sup>50), 51)</sup>。

- ① 状況認識が容易なこと（たとえばアニメーション表示などの視覚化、マルチ画面など）

- ② モデル構造の変更可能性（故障設備の取扱、設備構成の変更など）
- ③ 入力の容易性（スケジューリングデータ、運用規則の変更など）

#### 4.3 システム構築の逐次性と分散

##### シミュレーション

工場設備の自動化、統合化や情報網の導入などは逐次的に整備され、FA 化、CIM 化は次第に高度化する。したがって、シミュレーション・システムもまた実システムの変容に合わせて拡充されていかねばならない。また、FMS などの導入に際しては、そのシミュレーション・システムが同時に利用可能となる場合もあり、その有効な利用法を考えおくことも重要である。

上記のようなさまざまな問題に対処する一つの方法として、図-3 に示すようなネットワーク結合された複数のプロセッサを用いた分散シミュレーション技法の適用が考えられている<sup>49), 52)~54)</sup>。たとえば、FMS やショップのモデルをそれぞれ個別のプロセッサに割り当て、それらが協調してシミュレーションを遂行できるようになることが考えられる。これによって、プロセッサに対する機能と負荷の分散が可能となり、シミュレーションのモデル化の効率化と拡張性とともに、実行時における処理効率の向上を図ることが期待できる。筆者らのグループにおいても分散シミュレーションの適用の可能性と適用方法について検討を進めており、その有効性について基本的見通しをえている<sup>52), 53)</sup>。しかし、このような研究はまだ緒についたばかりであり、解決されるべき課題も多く、今後の発展に期待したい。

#### 5. おわりに

製造業において行われているシミュレーションについてさまざまな観点からみてきた。設計ツール、運用ツールとしてばかりでなく、FA 化、CIM 化に対応した総合的な意思決定支援ツールとしてのシミュレーション技術の開発が今後の大いな課題であると考えられる。また、ここでは特に触れなかったが、離散型シミュレーションのためのプログラミング技法、そのモデル構築技法などについても、CIM 環境下の利用に対応する新しい展開が期待される。

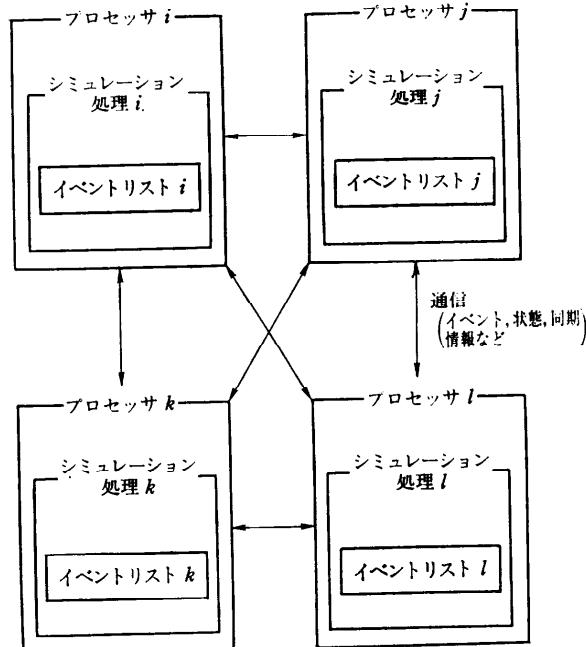


図-3 分散シミュレーションの概念

なお、生産システムのシミュレーションに関する文献は多数あり、ここにはその一部のみをあげた。文献 36) に、米国において市販されている 56 個のシミュレーション・ソフトウェアについてサーベイされていることを付記しておく。

#### 参考文献

- 1) 藤井 進：FMS 設計とシステム・シミュレータ、日本機械学会誌, Vol. 86, No. 779, pp. 1205-1210 (1983).
- 2) 伊東 誠、岩田一明：フレキシブル生産システム、p. 292, 日刊工業新聞社, 東京 (1984).
- 3) 安田一彦：生産におけるコンピュータ・シミュレーション、中京大学商学論叢, Vol. 135, No. 1・2, pp. 151-172 (1988).
- 4) 身深正昭、芳賀洋一、大内俊弘：工場生産支援シミュレータの適用、IE レビュー, No. 160, pp. 43-48 (1989).
- 5) 後藤勇一郎：生産・物流システム構築時のシミュレーション・ツールの役割、マニピスト, Vol. 34, No. 4, pp. 79-83 (1990).
- 6) 福田好朗：CIM 構築のモデル、オペレーションズ・リサーチ, Vol. 36, No. 3, pp. 122-128 (1991).
- 7) 精密工学会編：生産ソフトウェアシステム、p. 202, オーム社, 東京 (1991).
- 8) 森戸 晋：離散系シミュレーションの今後の研究動向、計測と制御, Vol. 30, No. 2, pp. 101-109 (1991).
- 9) 梅田茂樹：離散系シミュレーション言語とその周辺、計測と制御, Vol. 30, No. 2, pp. 110-115 (1991).

- 10) 貝原俊也, 武内景治, 今井弘志: 生産システムシミュレータ自動生成環境 MIFORM, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 35, No. 2, pp. 93-95 (1990).
- 11) 林 昌孝, 篠田義典: FA ライン評価用シミュレータの開発と適用事例, IE レビュー, No. 160, pp. 34-41 (1989).
- 12) Miller, D. J.: Simulation of a Semiconductor Manufacturing Line, Comm. ACM, Vol. 33, No. 10, pp. 98-108 (1990).
- 13) 梅田茂樹: 生産システムの設計・運営とシミュレーション, IE レビュー, No. 160, pp. 26-33 (1989).
- 14) 上野信行: シミュレーション技術の生産システムへの適用, 計測と制御, Vol. 30, No. 2, pp. 134-137 (1991).
- 15) 梅田茂樹: 生産指示機能を持つ生産システム・シミュレータ, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 36, No. 3, pp. 129-134 (1991).
- 16) 庄子幹雄, 小森一宇, 笠原信一: 建設業におけるシミュレーション技法の利用, IE レビュー, No. 160, pp. 14-23 (1989).
- 17) Forrester, J. W.: Industrial Dynamics, p. 464 MIT Press, Cambridge (1961).
- 18) 柴田典男, 許斐義信: 経営活動のシミュレーション, IE レビュー, No. 160, pp. 4-12 (1989).
- 19) CAD/CAM/CAE, 日経メカニカル別冊, p. 393, 日経マグロウヒル, 東京 (1985).
- 20) 大衆化する CAD/CAM/CAE, 日経メカニカル, No. 353, pp. 46-72 (1991).
- 21) エレイン・アップルトン: 設計と製造の間を橋渡しする NC シミュレーション, 日経 CG, No. 51, pp. 121-126 (1990).
- 22) 岩田一明, 福田好朗: 多種極少量生産のための動的工程設計の提案, 精密工学会誌, Vol. 54, No. 12, pp. 126-131 (1988).
- 23) 藤井 進: 組立 FMS 設計とシステム・シミュレーション, ファクトリ・オートメーション, pp. 28-33 (1986).
- 24) ステファン・ポーター: 有限要素法解析, 設計者のツールとして広く普及へ, 日経 CG, No. 46, pp. 121-128 (1990).
- 25) 岡田吉豊: 自動車工業における CIM, 日本機械学会誌, Vol. 94, No. 868, pp. 225-231 (1991).
- 26) 野村淳二: 人工現実感を応用した住環境シミュレーションシステムと CIM への応用, Computer Simulation, 1991-Vol. 2-4, pp. 38-41 (1991).
- 27) 岩田洋夫: 人工現実感による CAD/CAE, システム制御情報学会インテリジェント FA 研究分科会, 第 38 回研究例会資料 No. 91-5, pp. 1-10 (1991).
- 28) 福田収一: CONCURRENT ENGINEERING の動向, システム制御情報学会インテリジェント FA 研究分科会, 第 37 回研究例会資料 No. 91-4, pp. 1-9 (1991).
- 29) Pegden, C. D.: Introduction to SIMAN, p. 296, System Modelling Corp., State College (1984).
- 30) 小林淑子: モデル構造が即時変更可能なシミュレーションシステム, マシニスト, Vol. 34, No. 4, pp. 84-87 (1990).
- 31) 中野一夫: 生産システムシミュレーション, マシニスト, Vol. 34, No. 4, pp. 88-91 (1990).
- 32) 竹本長靖: アニメ型シミュレーションソフトの活用, マシニスト, Vol. 34, No. 4, pp. 92-95 (1990).
- 33) 野中博行: システムの検証ツールとしてのシミュレーションシステム, マシニスト, Vol. 34, No. 4, pp. 96-100 (1990).
- 34) 千代田化工建設: FA シミュレータ Auto Model II, 計測と制御, Vol. 30, No. 2, pp. 177-178 (1991).
- 35) 日本電気: 生産計画立案/評価ツールズシステム PROPS, 計測と制御, Vol. 30, No. 2, pp. 179-180 (1991).
- 36) 1991 Simulation Software Survey, OR/MS Today, pp. 81-102 (1991-10).
- 37) 藤井 進: 生産システムにおけるモデリング, システムと制御チュートリアル講座 '87 「制御工学へのガイドライン」, 日本制御協会, pp. 121-140 (1987).
- 38) 藤井 進: FMS 設計に活ける OR, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 34, No. 7, pp. 344-346 (1989).
- 39) Valavanis, K. P.: On the Hierarchical Modeling Analysis and Simulation of Flexible Manufacturing Systems with Extended Petri Nets, IEEE Trans. Sys. Man and Cyb., Vol. 20, No. 1, pp. 94-110 (1990).
- 40) 橋本文雄, 東本曉美: コンピュータによる自動生産システム, II ソフトウェア編, p. 135, 共立出版, 東京 (1987).
- 41) 篠山 誠: ペトリネットの活用, 計測と制御, Vol. 30, No. 2, pp. 142-145 (1991).
- 42) 生産情報管理研究会編: 目で見てわかる POP, p. 192, 日刊工業新聞社, 東京 (1988). (「工場管理」9月別冊, Vol. 34, No. 11).
- 43) Jain, S., Barber, K. and Osterfeld, D.: Expert Simulation for On-Line Scheduling, Comm. ACM, Vol. 33, No. 10, pp. 54-60 (1990).
- 44) Manivannan, S. and Pegden, C. D.: A Rule-based Simulator for Modeling Just-in-Time Manufacturing Systems (JITSAI), Simulation, Vol. 55, No. 4, pp. 109-117 (1990).
- 45) 高木徳生, 中尾寿朗, 林 太志: シミュレーションと知識処理を用いた生産管理システム, OMURON TECHNICS, Vol. 29, No. 4, pp. 328-334 (1989).
- 46) 大村佳也子, 高橋哲也, 小西正躬, 大塚喜久, 牛尾敬二, 井塚 哲: シミュレーションによる定量評価を内包した物流制御エキスパートシステム, 第 2 回インテリジェント FA シンポジウム講演論文集, pp. 133-136 (1989).
- 47) Park, S. C., Raman, N. and Shaw, M. J.: Heuristic Learning for Pattern Directed Scheduling in a Flexible Manufacturing System, Proc. 3rd ORSA/TIMS Conf. Flexible Manufacturing Systems: Operations Research Models and Applications (K. E. Stecke, R. Suri, Eds.), pp. 369-376 (1989).

- 48) 中須賀真一, 吉田武稔: 概念学習による知識獲得を利用した製造ラインのダイナミック・スケジューリング, 第15回システムシンポジウム講演論文集, pp. 367-372 (1989).
- 49) 藤井 進: CIM のためのシミュレーション, Proc. CIMJapan '90, No. 3, pp. 135-140 (1990).
- 50) Bell, P. C., Taseen, A. A. and Kirkpatrick, P. F.: Visual Interactive Simulation Modeling in a Decision Support Role, Computers Operations Research, Vol. 17, No. 5, pp. 447-456 (1990).
- 51) Pruet, J. M. and Vasudev, V. K.: MOSES: Manufacturing Organization Simulation and Evaluation System, Simulation, Vol. 54, No. 1, pp. 37-45 (1990).
- 52) Fujii, S., Sandoh, H., Matsuda, H. and Tasaka, M.: A Study on Distributed Simulation for Flexible Manufacturing Systems, Information Control Problems in Manufacturing Technology (E. A. Puente, L. Nemes, Eds.), IFAC, pp. 27-32 (1989).
- 53) 藤井 進, 綿谷泰典, 中島孝夫: FA システムの評価と仮想生産システムに関する一考察, 日本機械学会第1回デザイン・エンジニアリング・プラザ講演論文集, No. 910-37, pp. 301-304 (1991).
- 54) Fujimoto, R. M.: Parallel Discrete Event Simulation, Comm. ACM, Vol. 33, No. 10, pp. 30-53 (1990).

(平成4年1月15日受付)



藤井 進 (正会員)

1942年生。1967年京都大学大学院工学研究科修士課程精密工学専攻修了。1970年米国ウィスコンシン大学大学院博士課程修了。同年神戸大学工学部助手となり、現在教授(システム工学科)。Ph. D. システム工学、生産システム等の研究およびOR技法、シミュレーション技法の応用研究に従事。著書「システム工学」(森北出版、共著)「生産ソフトウェアシステム」(オーム社、分担執筆)など。日本機械学会、精密工学会、日本OR学会、システム制御情報学会など各会員。

