

3. 物流・生産シミュレータ「QUEST」

The Discrete Event Simulator "QUEST" by Shigeru OBA (ARIES Inc.).

大場 茂¹

¹ (株)アリエス

1. はじめに

多くの製造業が、顧客ニーズの多様化、不透明な市場環境を反映して多種少量、または一品生産体制の確立を強いられている。大量生産を前提としたオートメーション設備が見直され、人間の関与する人間機械系への回帰がみられ、生産設備、ラインはますます複雑さを増している。結果として従来の静的な統計的解析手法や経験値に基づく設計では、追従できなくなっているのが設備計画・運用の実体であろう。

離散的に配置される生産設備・物流設備と、物の流れや人間の行動を先進の3Dグラフィクスで表現し、設備のレイアウトの提案と評価から、タイム・スタディ、コスト・アナリシスを通して、設備計画と運用に全面的な解決方法を提案する離散系シミュレータが実用段階に入っている¹⁾。

ここでは「QUEST」を例にとり、離散系シミュレータの目的と効果、運用手順と実例などを解説する(図-1)。

2. 物流・生産シミュレータの目的

シミュレーションとは「物理的・生態的・社会的などのシステムの挙動を、これとほぼ同じ法則に支配されるほかのシステムまたはコンピュータの挙動によって、模擬すること」と定義されている²⁾。離散的に配置された生産・物流設備の設備計画、日常運転をする上で、設備全体の稼働率、ボトルネックの発見、ラインバランスや生産原価の把握などを、コンピュータのバーチャルな空間の中で行うシステムが離散系生産シミュレータである。以下に設計・運用・保守の各段階におけるシミュレーションの目的とその効果を説明す

る³⁾。

2.1 設計段階

設計者が実際の設備導入前に、検証しておきたいことが目的となる。たとえば、

- (1) 生産量などシステムの性能保証値の見極め
- (2) ボトルネックの発見と評価
- (3) 機器の稼働率の推定と適正化
- (4) ラインバランスからの機器の仕様設定
- (5) 異状時、生産量変動時の状態事前把握
- (6) 原材料投入から生産完了までのリードタイムと生産原価の推定
- (7) 以上を踏まえた最適システムの検討などである。

2.2 運用段階

シミュレータは設備が運用段階に入った後も、運転中の設備の改良・改善をバーチャルな世界で実施するために有効である。たとえば、

- (1) 期待した生産量が達成できるかの検証
- (2) 期待した生産コストが達成できるかの検証
- (3) 多種製品の混流生産に対する事前検証
- (4) 製造形態(ジョブショップ型、フローショップ型)変更の検討
- (5) リソース(必要資源量)の検討
機器の台数、ジグ・工具の数量、作業員数
- (6) 機器やラインの運転ロジックの検討
- (7) 製品・中間・工程内の必要在庫量の決定
- (8) 機器の推定故障に基づく稼働率の推定
- (9) 運転員の配置、作業とラインバランス検討
- (10) レイアウト変更が及ぼす影響の検討などである。

2.3 保守・管理段階

さらに設備が運転に入ってから、リアルタイムで仮想生産を実施し、現実のモニタリング・データと比較することにより、予定と実際のズレを

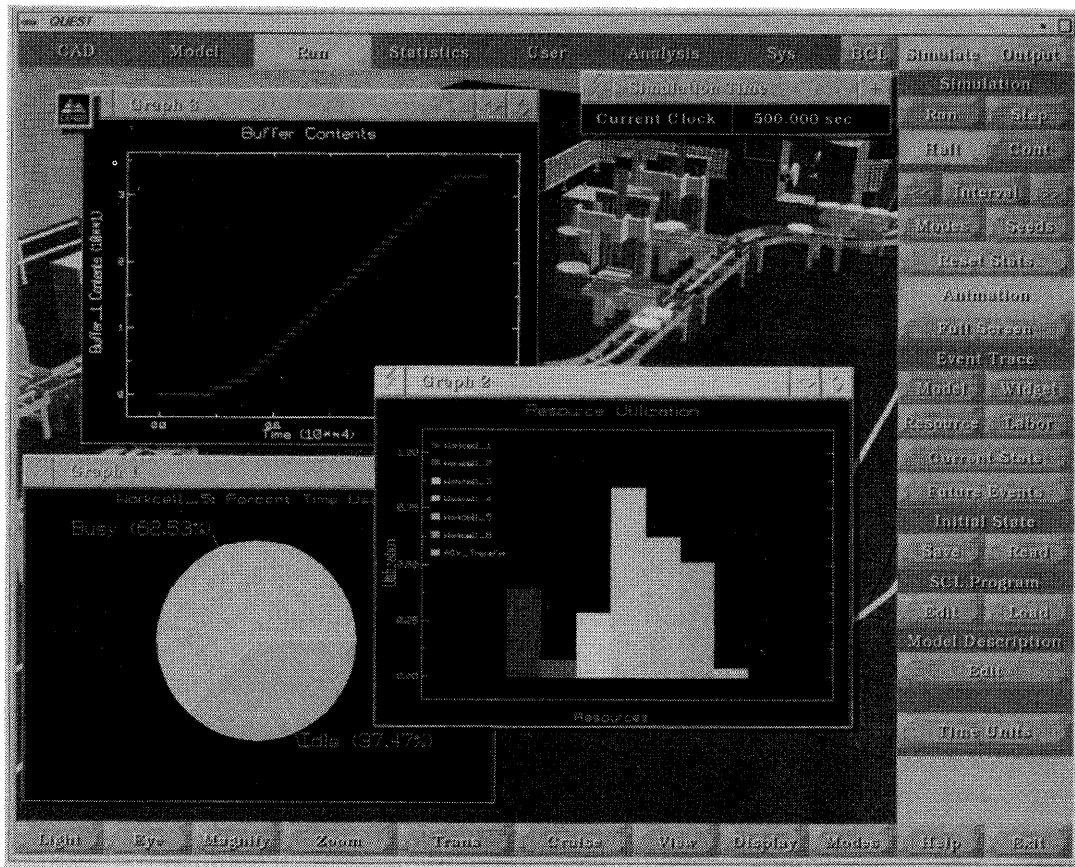


図-1 QUEST の表示画面例

把握し、問題解決のツールとすることができる。たとえば、

- (1) 生産管理システム（スケジューラ）が出力した運転計画の検討・検証
- (2) 製品・中間・仕上がり在庫計画，在庫変動の検討
- (3) トラブル発生に対してのアクションの決定
- (4) 必要資源，人員計画の見直し検討
- (5) 納期と生産リードタイムの比較検討
- (6) 納期と製造コストの相互効果の検討などである。

従来の離散系シミュレータでも上記の目的を達成することは大方可能であったが，プログラミング技術習得の困難さや，プログラムを作成し，コンパイルし，実行結果を統計処理する時間の長さなどで，一部の専門家でない和使用できないのが現実であった。しかしこれらの制約がQUESTの出現によって大きく変わり，だれにでもゲーム感覚で使えるツールとなったのである。

3. QUESTの概要

QUEST (QUeuing Event Simulation Tool) とはその名が示すように，イベント（加工プロセスや段取りの開始など）発生タイミングで待行列をコントロールし，離散的に配置されたプロセス全体の進行状況をシミュレーションするもので，米国デネプロボティクス社が開発したものである。

QUESTがこの分野のシミュレータとして優れている点は，フル3次元グラフィックスの会話型システムでしかもモデルは実寸法のため，視覚的に人間の感性にリアルタイムで直結する。離散系システムの諸問題は，レイアウト問題と深くかかわっている。また，人間の得る情報はその80%が視覚情報だともいわれている。QUESTはリアルタイム・シミュレータのため，図-2のように実際の現場機器の状態信号をPLC (Program-able Logic Controller) などを經由して吸い上げ，イ

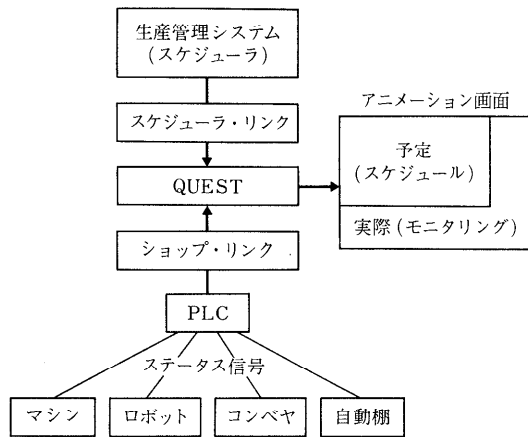


図-2 シミュレーションとモニタリングのシステム

イベントをコントロールすると、シミュレーションとモニタリングをハイブリッドにした監視装置となる。

そのほか QUEST の特長として、1)よく使用する機器はライブラリ化されており、ユーザが3次元モデルを作る必要がない、2)主なロジック、たとえば製品の順位、ルート、キューイング、リクエストなどがシステムに設定されており、プログラミングを行わずとも、ボタン操作のみで実行が可能である、3)人間も重要なリソースとして人間の作業動線、機械との干渉、チャージなどのパラメータをもち、人間機械系のモデリングを強く意識している、などがあげられる。

4. QUEST の運用と事例

図-3 に QUEST を用いる場合の運用手順を示す。シミュレーションに入る前の作業として問題定義がある。ここでは問題領域を正しく捉え、明確な目標と分析の手順および評価尺度を策定する。次にモデルの境界、詳細度、ロジックを定義し、必要なデータを収集する。以上の準備をもとに QUEST の作業にとりかかる。

4.1 QUEST の運用手順

(1) モデルの作成

モデルの作成とは、リソース（基本的な構成要素）の形状作成、そのリソースがもつ各種属性と動きの定義、そしてリソース相互の関連定義の実施を意味している。QUEST のもつモデリング思想は、以下のように独自のものがある。

1) オブジェクト指向の3Dダイレクト操作

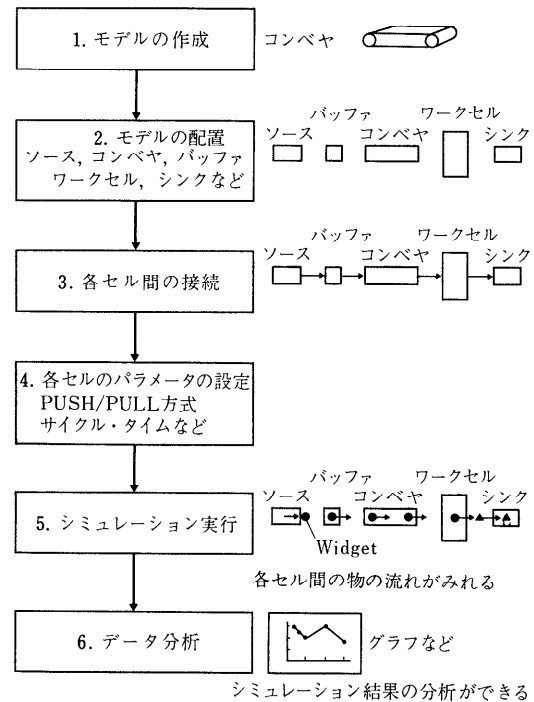


図-3 QUEST の操作手順

- 2) リソースがロジックの決定権をもつリソース指向
- 3) 確率分布論の使用
- 4) キネマティクスによる機械の動作表示
- 5) 原価計算 プッシュ/プル（上流工程からの押し込み生産/下流工程からのリクエストによる生産）のサポート

QUEST では標準的なリソースはライブラリから呼び出して使えばよい。プログラミングは不要である。QUEST が用意しているリソースと、そのロジックには表-1 のようなものがある。

(2) モデルの配置

モデルの配置は、仮定の工場空間にシミュレーションしたい状態に各セルを配置することであり、現実の工場レイアウトと同じにすることである。配置作業もマウス操作だけで簡単に実施できる。

(3) 各モデル間の接続

ソースから供給される材料をどのラインにどのように流し、どのワークセル（加工機を中心とした作業単位）で加工し、どのシンクに保管するかといった、ワークまたは製品の流れを定義する。具体的な作業方法は、レイアウトされた機器のグ

表-1 QUEST が用意しているリソースとロジック

リソースの種類		
AGV	Control Point	Sink
AS/RS	Decision Point	Source
Buffer	Labor	Transport
Conveyor	Power & Free	Workcell
ロジックの種類		
Workcell	プロセス, プロダクト, ルート, リクエスト	
Source	アウトプット, ルート	
Sink	インプット, ルート	
Buffer	キューイング, リムーバル, ルート, リクエスト	
AGV	セレクション, サービス	
Control Point	デパーチャ, ルート, リクエスト	
AS/RS	ストレージ, リトリバル	
Decision Point	デシジョン	

ラフィック・モデルの流れに沿ってマウスでクリックするだけの簡単なものである。

(4) 各モデルのパラメータの設定

各モデルは、属性と待行列論理を決めるための多くのパラメータをもっている。たとえばコンベヤでいえば全長、スピードなどの機械自身の性能のほか、アキュムレート型（コンベヤ上に一時的堆積機能をもつ）かどうか、上流からの押し込みで起動するプッシュか、下流からのリクエストで起動するプルかといったことなど、メニューに従ってさまざまなパラメータを入力する。

(5) シミュレーションの実行

シミュレーション実行時間を設定し、スタートボタンを押す。コンパイルも何もいらない。各パラメータの設定が正しければ、ワークヤ人、搬送車の動きを3次元アニメーションでみることができる。パラメータの設定にミスがあれば、エラーメッセージが表示される。

シミュレーション実行時に、生産量とか中間在庫量などの変化を連続的に測定したければ、実時間ストリップチャートが表示できる。

(6) データ分析

現在の離散系シミュレータは自動的に最適解を出すようにはなっていない。何回かのケーススタディを実施して最適値を探すことになる。もちろん現在のコンピュータの性能ではリアルタイムに膨大な組合せを演算して最適解を出すには不十分であるが、それ以上に最適とは何か、が常に状況の判断によって異なるからである。

表-2 QUEST グラフ用パラメータ一覧

〈ワークセルの場合〉	
• Busy Time	稼働時間
• Idle time	非稼働時間
• Average Time/Part	部品ごとの平均滞留時間
• Average Utilization	平均稼働率
• Number Processed	加工処理量
• Final Content	未処理の滞留量
• Total Repaire Time	総修理時間
• Number of Repairs	修理回数
• Average Repair Time	平均修理時間
• Total Capacity	総処理能力
• Run Number	シミュレーション実行回数
• User Defined Attribute	ユーザ定義の属性
〈バッファの場合〉	
• Maximum Waiting Time	最大待ち時間
• Minimum Waiting Time	最小待ち時間
• Average Waiting Time	平均待ち時間
• Maximum Buffer Length	最大滞留長
• Number of Zero Entries	ゼロ入力の回数
• Final Content	未処理の滞留量
• Run Number	シミュレーション実行回数
• User Defined Attribute	ユーザ定義の属性

いずれかのパラメータを変えて、何度かのシミュレーションを実施する。結果は統計的分析となる。そのため、QUEST では棒グラフ、折れ線グラフ、パイチャートといったいくつかの統計的グラフ出力を用意している。グラフの縦軸、横軸には表-2のようなパラメータが自由に選べ、分析の目的に合わせた出力が得られる。

実行結果はグラフ出力ばかりでなく、通常のテキスト・ファイルに書き出されるので、ほかの計算に用いたり、エクセルのようなソフトに渡して、ユーザ独自の表やグラフにすることが可能である。

4.2 QUEST のプログラミング

以上のように QUEST は基本的にプログラミング不要な離散系シミュレータである。しかし、基本機能では不足な場合、またさらに複雑なモデルを構築する必要がある場合のために、独自のプログラミング言語が用意されている。

(1) MDL

Model Definition Language (MDL) は、言語処理にて3次元モデルを定義するためのものである。定義されるモデルは QUEST の CAD 機能で会話的に作成されたものと同じで、自動倉庫、AGV など表-1 に掲げたリソース類を含んでいる。

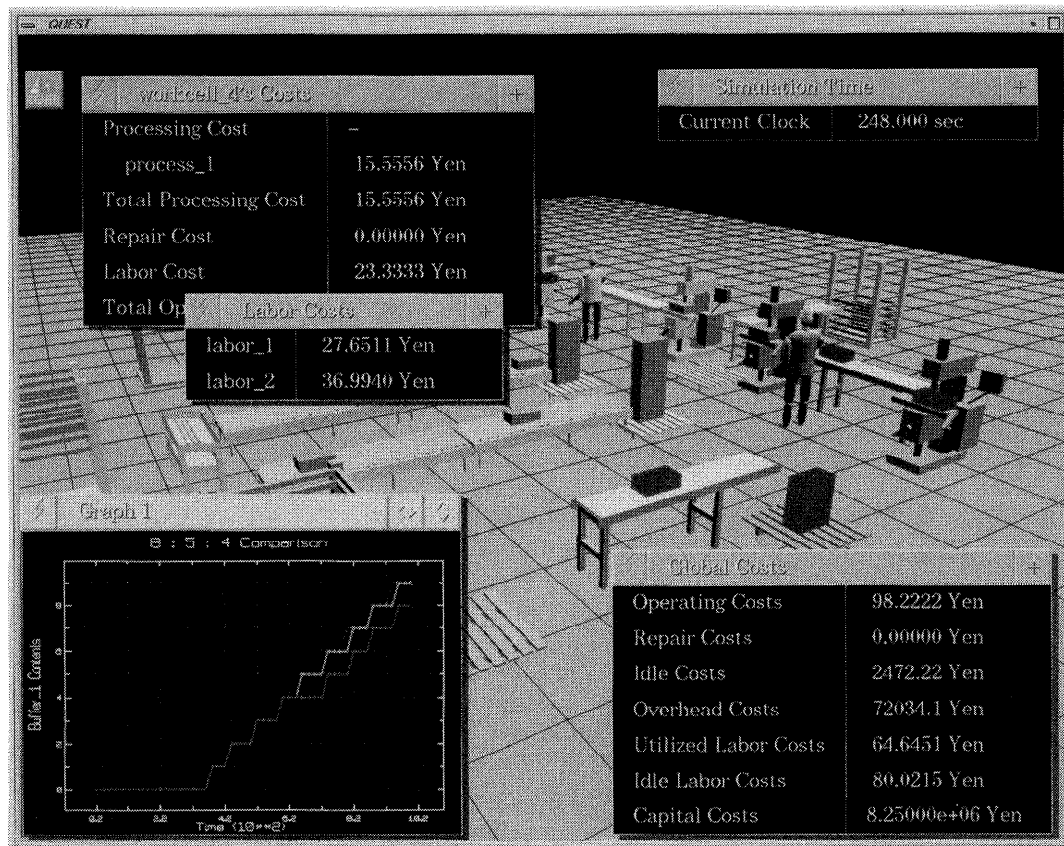


図-4 多台もち人手作業の自動化検討

(2) SCL

Simulation Control Language (SCL) は、モデルロジック、確率分布あるいはスケジュールをカスタマイズするための言語である。この言語は、ユーザが一層複雑なシミュレーションを実行するために用意されたもので、QUEST のコマンドとデータへのインタフェースを提供している。SCL は、複数のデータ・タイプ、プロシージャとルーティン、完全な数字と文字列の操作、そして UNIX ファイルの I/O インタフェースを備えた手続き型言語である。

(3) BCL

Batch Control Language (BCL) は、外部から QUEST のシミュレーションを制御するコマンド言語であり、その真価は、1) BCL マクロの使用、2) BCL ファイル・ベースのプログラムを通じた QUEST の外部制御、3) UNIX ソケット・インタフェースの 3 点に集約される。シミュレーション実行の際、一般にはモデルに含まれる

数種類のパラメータを変更しながら、最適化を図ることになる。BCL はこのような作業を連続的に実施できるよう、とくに設計されている。

4.3 QUEST の適用事例

QUEST の適用は大規模な物流基地の設計から単一ワークセルの改良・改善まで非常に広範囲に及ぶが、以下に 2 つの事例を簡単に紹介する。

(1) 多台もち人手作業の自動化検討 (図-4)

機械加工を主体とした製造業では、1 人の作業者が複数台の機械を受け持つケースが多い。この事例では 2 人の作業者が 2 台ずつの機械加工を担当しているが、ボトルネックが作業側のため、作業者の前のバッファに中間在庫がどんどん溜まってしまふ。そこで効率向上のために、作業者を増やすか、機械を自動化するか、その時の製造原価に対する影響を検討したものである。条件を変えることによって、中間溜まりが目に見えて減少する様子や、対策前後の生産量変化、コスト変化をリアルタイムにみることで

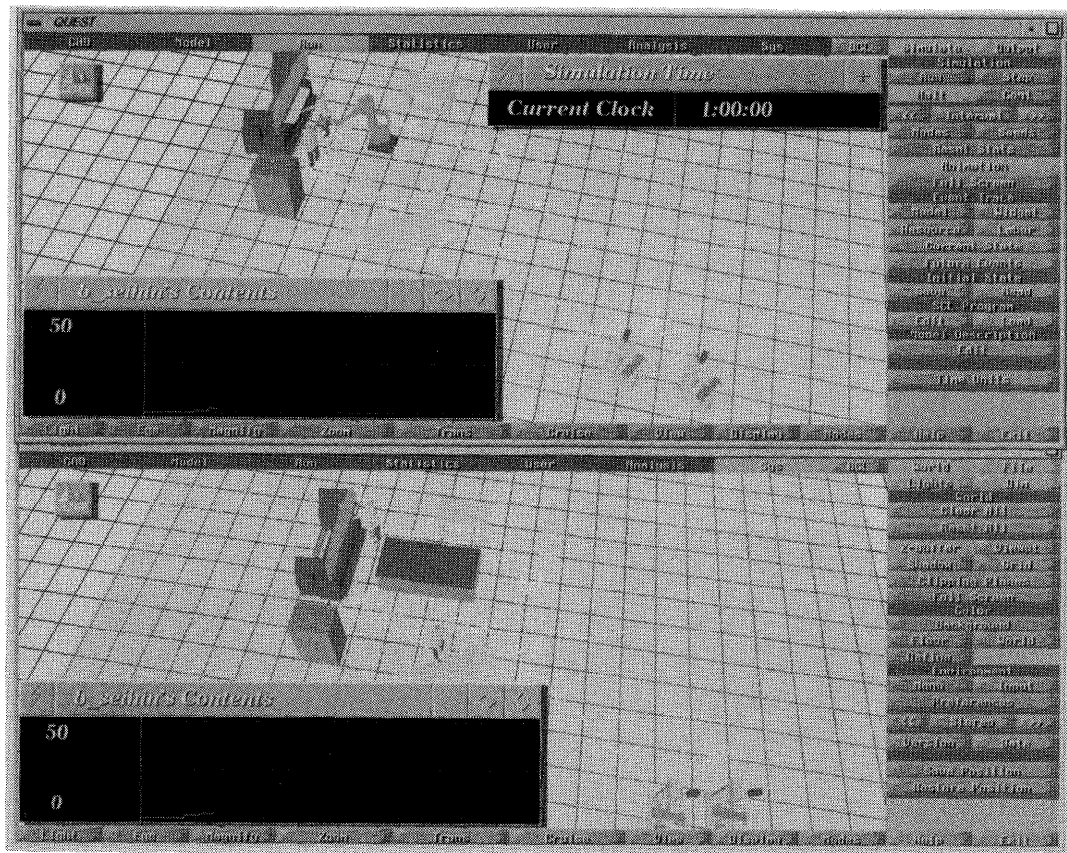


図-5 2人作業のロボット化検討

きる。

(2) 2人作業のロボット化検討 (図-5)

被加工物が大きいか重量がある場合、製造現場では2人作業をしているケースをよくみかける。この事例では、2人作業を分析し、1台のロボットに置換した場合との比較モデルを作り、同一時間に対する生産量変化、長時間運転のときのロボット化のメリット、2人の作業者が開放されてほかの作業に従事することによる増加付加価値などを算出したものである。図の下段は現状の作業分析の結果をモデル化したもので、あるロットのワークがくると2人の作業者が動線上を移動してきて機械にはりつき、空き時間があれば元のスポット溶接作業に戻ることを表している。図の上段は2人作業をロボットに置き換え、段取りだけ終わったら作業者はスポット溶接に専任することを表している。両モデルから算出される生産量と作業者の専任時間、設備費用、チャージ、実測したサイクルタイムからロボット導入効果が算出された。

ハードコピーは一瞬の状況しか表示できない。詳しくは参考文献を参照されたい⁴⁾。

5. おわりに

シミュレータがたたき出す結果は、あくまでもいくつかの仮定の上になり立っている。シミュレーションのよいところは、この仮定をパラメータとして、いくらでも、何度でも変えてみられることである。しかもQUESTは、非常に親しみやすくできており、シミュレーションが特定の技術者だけのツールであった時代から、誰でも簡単に利用できるものへと変化させた。

ただ、3次元グラフィックスを多用するため、現在のコンピュータのグラフィックス能力では数十ワークセル・レベルのシミュレーションがリアルタイムでみていられる限界であろう。対策としては、絵としてのモデルを可能なかぎり簡素化する、アニメーションを止めて演算だけを実施するなど方法はあるが、人間の視覚に直結するシミュ

レータの長所が生きるためには、さらに高速なグラフィックス処理能力のあるコンピュータが安価に提供される必要がある。

閉塞感の漂う日本経済の新たな発展のための道具として、物流・生産シミュレータが役立つことを期待したい。

参 考 文 献

- 1) 大場 茂：離散系生産シミュレーション「QUEST」、ファクトリ・オートメーション, Vol. 12, No. 7, p. 50 (July 1994).
- 2) 松原 洋：生産設備・ラインの最適設計, 工場管理, Vol. 42, No. 12, p. 74 (1996).
- 3) 仲町英治編著：ヴァーチャルファクトリー, 工業調査会, p. 79 (1994).
- 4) 大場 茂：シミュレーション活用によるロボット導入効果, ロボット工業会誌, No. 101, p. 114 (1994).

(平成9年1月8日受付)



大場 茂

1946年生. 1969年東京工業大学電子工学科卒業, 東芝入社. 主に数値制御装置, NC自動プログラミング装置の開発に従事. 1981年武藤工業(株)に移籍. 3次元CADシステム「INTERGRAPH」の日本導入と日本版開発に従事. 1986年(株)アマダメトロックスに移籍. 世界初のペンディング・ロボット制御用ソフト開発, 3次元グラフィック・シミュレーション・システムの開発に従事. 1991年アマダとDeneb Robotics社の合弁会社(株)デネブジャパン設立と同時に代表取締役社長. 1995年(株)アリエスを設立, 同年6月, 代表取締役に就任. 同年10月, 米Cimetrix社の日本および韓国総代理店としてヴァーチャルファクトリーの本格的普及に乗り出す. 著書「小物曲げロボットによる曲げ加工」, 共著「ヴァーチャルファクトリー」など.