



入門講座

システム技術編- 1

マルチメディア時代の生産システムシミュレーション

藤本英雄

名古屋工業大学 機械工学科 教授

Hideo Fujimoto

Manufacturing System Simulation in the Multimedia Era



1 システムモデリングとシミュレーション

1.1 モデリングとシミュレーション

生産システムのような複雑なシステムを十分評価することは、解析的なアプローチのみでは不可能である。そこで近年では、コンピュータを利用するシミュレーション(simulation)技術がよく用いられる。製品設計の分野では、CAE(computer aided engineering)とも呼ばれ、システムの動的性能評価をビジュアルなグラフィック表示を利用して行うことが少し依然から積極的に行われている。NCパーツプログラミングにおける工具の動きをグラフィック上に表示するビジュアルシミュレーション、視覚対話型シミュレーションが最近の傾向であろう。

ロボットやフレキシブル生産システム(FMS)のシミュレーションも注目される分野である。ロボットシミュレーションにおいては、3次元空間上で障害物やコンポーネント間の衝突チェックを効率良く行うことが重要な課題である。加工の際の工具の動きやロボットの衝突チェックなど実システムでは、試行が困難なやり直しのきかない場合にシミュレーションは効果を発揮する。このような場合コンピュータシミュレーションでは、パラメータ値を変更し、何度でもやり直しをすることができる。

FMSシミュレータの利用も今後増大すると思われる。FMSのような複雑なシステムの運用評価を解析的に行うことは困難であり、FMSシミュレータはコンピュータを利用することによってシステムの性能を効果的に評価できる可能性を持っている。今後、多種中少量生産を実現する手段としてFMSの社会的ニーズの増大とともに、各種機能を備えたFMSシミュレーションの設計や運用への適用の重要度は高まると思われる。シミュレーションにおいてはモデルの構築技術(モデリング、modeling)が重要である。

シミュレーションでは実物の模擬表現をつくらなければならない。この模擬表現をモデルという。シミュレーションは、モデルからなんらかの解を導き出すのに用いられる方法である。解析的、数値的な解法により解が求められない場合にその有効性が高い。ここでは数学的モデルを用いたコンピュータによるデジタルシミュレーションを対象とし、この場合、モデルはデジタルモデルと呼ばれる。

モデルは偽物であり、本物ではない。特にデジタルモデルでは、実物を正確に詳細に表現することは、不可能であり、対象システムの調べようとする本質に注目し、それに関連する部分だけを取り出してモデル化する。このようにモデルの抽象化と対象を絞りこんだ限定的模擬がデジタルシミュレーションの大きな特徴であるとされている。

デジタルモデルには、連続系モデルと離散系モデルがある。連続系モデルは、対象システムが時間の経過とともに連続的に変化するという考え方に基づいており、システムの変化を差分方程式で表現する。連続系モデルは事実により忠実なモデル構成法であるとされている。一方、離散系モデルは、対象システムが不等時間間隔で生起する事象により不連続的に変化すると考える。このように、連続系モデルではシミュレーション時刻は等時間間隔で進行するのに対して、離散系モデルでは事象に依存して不等時間間隔で進行する。

1.2 生産シミュレータ

1.2.1 シミュレータ

複雑な競合関係を有する同時並列現象の処理は難しく、汎用のプログラミング言語を用いてシミュレーションプログラムを書くことは一般に容易でない。このため、シミュレーション専用のプログラミング言語あるいはシステムが開発され、通常、シミュレータと呼ばれている。このような汎用シミュレータは、あらゆるシステムに適用できるこ

とを目的にして作られており、プログラミング言語としての性質が強い。

一方、専用シミュレータは、目的を限定したシミュレーションのために用いられる言語というよりむしろアプリケーションパッケージという傾向が強い。そしてこの場合、モデルは所定の形式のデータ群より構成されることが多い。さて、シミュレーションプログラムには、ほかの一般的なプログラムと異なる共通した特性がいくつか存在する。そしてこれら共通した特性に注目し、その処理を簡略化する機能をもたせるプログラミング言語がシミュレータであるといえる。

1.2.2 時間の進め方

コンピュータ上のモデルでシミュレーションを行う場合には、タイミングが重要である。それは、実システムの構成要素は、同時に作動するのに対して、シミュレーションの構成要素は、逐次的に作動するからである。実システムでは、いくつもの事象がシステムのいろいろな箇所で同時に起こることがよくあり、またシステムの各箇所間には、依存関係がある。それゆえ、シミュレーションモデルの時間進行機構をシステム構成要素の動作が同期するように作ることが大切である。シミュレーションモデルでの時間の進め方には二つの基本型がある。まず、固定時間増分法(単位時間方式)である。この方法では、コンピュータモデルが等しい時間間隔で進行するように作られる。

可変時間増分法(事象方式)は、ある事象の起きた時点から、つぎの事象の起きる時間まで時間を一挙に進める方式である。この場合、一般に時間間隔は等しくない。一般的に固定時間増分法よりもシミュレーションの実行時間は速くなるが、プログラムは繁雑となる傾向がある。

1.2.3 モデル構成概念

事象(event)は、システムの状態になんらかの変化を生じることができるとあり、事象が生じたときだけ、状態は変化する。活動(activity)は時間の進行とともに実行されるものであり、その開始および完了の時点において事象が生起する。素材の加工待ちや加工中が活動の例であり、加工の開始・終了が事象の例である。また、トランザクション(transaction)とは、時間の経過とともにシステムの中を動きまわるもので、工作物、工具、搬送車、作業者がこれにあたる。これら三つがモデル構成概念の基本である。

まず、事象中心モデル構成法では、事象が生じた時だけシステムの状態は変化する。そして、いつどのような事象がどこで生起するか注目してモデルを構成することを基本としている。つぎに、活動中心またはプロセス中心モ

デル構成法では、モデルは対象システムで行われるすべての活動間の時間的連鎖に着目して記述される。そしてトランザクション中心モデル構成法では、システムの変化はすべてトランザクションの動きによって引き起こされるという考え方に基づいている。

2 FMSスケジューリングとシミュレーション

規模の大きな問題に対しては、計算時間などの点からスケジューリングルールを用いたコンピュータシミュレーションによって解を求めることが行われている。この場合、どのスケジューリングルールをどういう場面に用いればよいかということがわかっているならば、解を求めることができる。

この方法は、あらかじめ与えられたルールによってスケジュールされるので、最適解を求めることは望めないが、いろいろな評価基準やシステムについて検討できる利点がある。

ルールを利用して解を求めるには、評価基準とルールとの関係が必要である。この方向に沿ってスケジューリングルールと評価基準の間の関係を検討した研究事例を以下で説明する。

シミュレーションにより検討を行うためシミュレータを準備する必要がある。用いるシミュレータは、事象駆動型で可変時間増分法を採用しており、主に次の点に着目して作成されている。

新しい設備や機械の導入、また機械類の廃棄に対応したモデルの変更が容易なこと。このためモデル構成要素のユニット化をしている。入力情報などのデータの更新、変更が容易に行えること。このため情報のデータベース化を進めている。プログラムの修正・拡張が容易なこと。このためプログラムのモジュール化を用いているなどを特徴としている。

より現実のFMSモデルに類似して、以下の四つの意志決定場面のモデルを考慮する。

- (a) 倉庫からジョブへ投入するジョブの選択
倉庫内に存在するジョブのうち、どのジョブを優先してショップへ投入するか決定を行う場面
- (b) 各機械でのディスパッチング
各機械の入り口バッファに列んでいるジョブのうち、どのジョブを優先して加工するか決定を行う場面
- (c) 次行程の代替機械選択
一つの行程が終わったとき、ジョブが次の行程のために訪れる機械の決定を行う場面

(d) 入り口バッファでのジョブの引き取り

入り口バッファに空きができたときに、どの機械の出口バッファのどのジョブを優先してその入り口バッファに持ってくるかの決定を行う場面

さて、現在までに考え出されているスケジューリングルールは膨大にあるが、ここでは様々な文献を参考にして広く使われている物を取り上げる。各意志決定場面で適用するスケジューリングルールとして、以下のような物を考える。

FIFO (入荷した順に出荷するルール)、FDD (納期の早いジョブを優先するルール)、LPT (加工時間の長いジョブを優先するルール) など23種類である。

評価基準は総生産時間、平均滞留時間、最大滞留時間、納期遅れジョブ数、平均納期遅れである。

対象とするFMSハードウェア構成を図1に示す。

ジョブは、中央倉庫、1台のローディングステーションとアンローディングステーション、入り口と出口にバッファを持つ6台のマシニングセンター(MS)、無人搬送車(AGV)から構成されている。

種々の実験条件の下で、すべてのジョブのそれぞれの行程段階における代替可能機械の点から、次の2通りの条件を考えることにした。

- (1) 柔軟性のある場合：MC全6台のうち次の行程を処理することのできるMCの台数を2～4台の乱数で与える。
- (2) 柔軟性のない場合：代替加工できる機械が一つもない場合。

以上のように四つの意志決定場面を考えて、それぞれの

意志決定場面で用いるスケジューリングルールの組み合わせと評価基準について、よい結果のでたルールの組み合わせ、悪い結果のでた組み合わせを求め、それぞれの評価基準に対して検討を加えて、いくつかの結論を得ている。遺伝アルゴリズムを用いた最適ルールセットの作成法も検討されている。

シミュレータを用いたシミュレーション結果より得られた結論を例えば、スケジューリングエキスパートシステムの知識ベースとして蓄え、利用する方法が可能である。

3 マルチメディア時代の生産システム

3.1 モノづくりをめぐる最近の話題

人間が道具を獲得して以来、ファクトリーオートメーションは機械化、自動化、システム化、情報化の時代を経て進展し、物づくりの現場でのコンピュータ利用の高度な知能化はますます進展しているし、今後も続くであろう。一方では人間や自然に目を向けた環境と生産とのかかわり合いの重要性が指摘されている。これらを調和させた物づくりの新しいパラダイムの構築が望まれる。

「物質」を中心とする近代科学、そして19世紀末から生産を支配する「機能」、「効率」重視に対して、最近、人類の文明や科学技術は、「共生と循環」の原理に基づくべきであることや、物作りにおいて「人間科学」の視点に立つことが重要であることなどが科学論や哲学の分野の多くの学者により提唱されている。工学においてさえも、「人間」や、「心」とか「感性」とかを対象に明確に含めるという方向性である。これらを工学的に扱う体系は、まだ漠然としており、本質的な解決には今後の展開を待たねばならない。

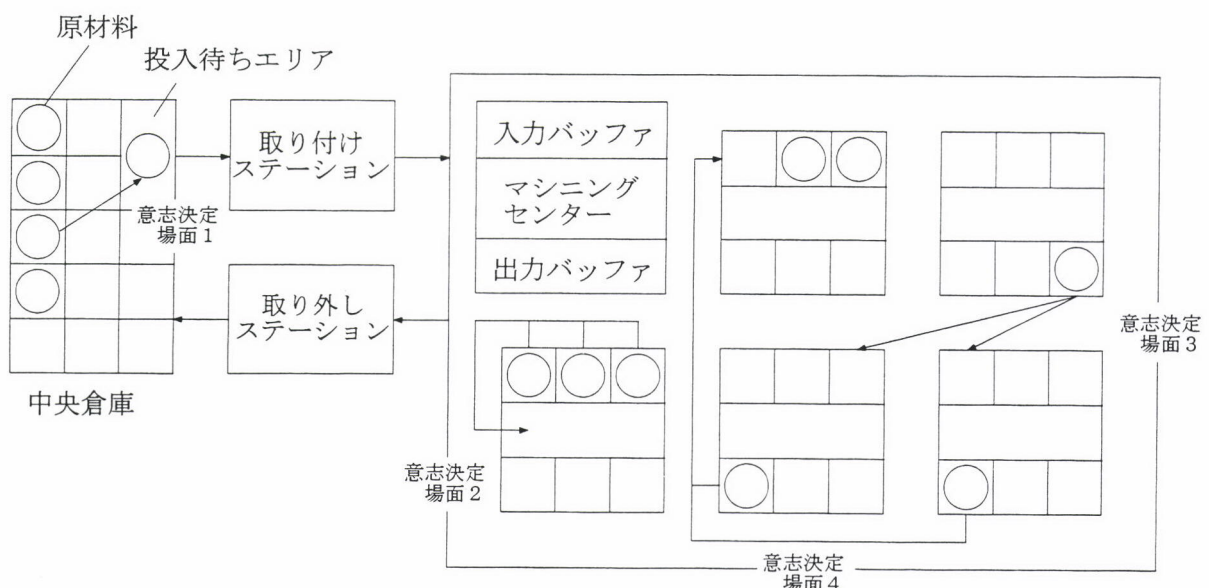


図1 FMSハードウェア構成

物づくりにおいて機能と効率に対する価値観を変えることが必要であろう。人間科学に基礎をおいて、何を作るのか、どの様に作るのかという物づくり哲学が要求される。

何を作るのかに関しては身の回りの商品がどの様に我々の生活に役立つのか。たとえば、機能的に便利であれば良いというのではなく、人間に不足している能力技能を最低限補助するだけの道具であることなども一つの考え方であろう。電動自転車バスの設計思想は注目に値する。

どの様に作るのかに関しては、開発設計生産期間の短縮、製品コストの低減、品質の向上を目的とするコンカレントエンジニアリング、バーチャルファクトリーでは、より高度なコンピュータ化の下で、生産活動全般（トータルプロダクトライフサイクル）を対象とすること、モデルに人間を含む方向をとるであろう。同時に環境問題に対する対策や高度コンピュータ化の時代での人間性の回復や安全性に関して、人間にとってわかりやすく理解しやすいコンピュータ環境が望まれる。そこでは臨場感に配慮したインタフェースやソフトウェアの透明性の向上が不可欠であろう。

3.2 コンカレントエンジニアリング

コンカレントエンジニアリングとは、設計の早い時期に、生産性を考慮して、全体としてよりよい設計を行おうとするものである。コンカレントエンジニアリングにおいては、生産の一連のプロセスに対して、それに関連するいくつかの専門技術グループが協調して、作業を効率的に行うための共通の計算機支援環境を必要とする。

早期の製品化や品質の向上、製品価格の低減などの目的のためにコンカレントエンジニアリングにおける「協調」作業を必要とする。アジャイルマニュファクチャリング、リーン生産方式なども同様である。

従来は、設計から生産までのプロセスは、シーケンシャルな一連の流れにより処理されているが、コンピュータシミュレーション技術やCAEなどの進歩により、コンカレントエンジニアリングにおける計算機環境の下で、同一のコンピュータ内プロダクトモデルにもとづき、並列に一連の処理を行うことが考えられる。並列に処理することによって開発生産期間が大幅に短縮できる可能性が高まる。

以上より、コンピュータをインテリジェントに利用して、製品の開発生産期間を短縮することと各部門の技術者が協調して生産活動を行うための技術を広い意味でコンカレントエンジニアリングという。

重要なことは距離や空間と時間の拘束を緩和した物づくりの技術であるといえる。

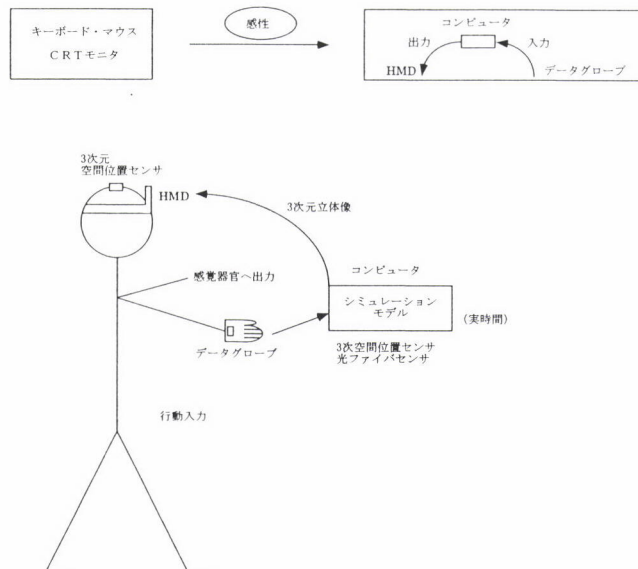


図2 バーチャルリアリティシステム

4 バーチャルリアリティと ヒューマンインタフェース

バーチャルリアリティ (VR) を人間とコンピュータのコミュニケーションの道具として用いることにより臨場感を増すことができる。

今後の物づくりにおいて人間の果たす役割は増大するであろう。これに対応してモデルに人間を含ませる人間機械生産システムのモデル化が重要になるであろう。同時に解法に人間を参加させる人間機械意志決定システムが考えられる。

この場合、高度にコンピュータ化した時代における人間性の回復や安全性に関して人間にとってわかりやすく理解しやすいコンピュータ環境は不可欠であろう。臨場感に配慮したインタフェースとともにソフトウェアの透明性の向上が望まれる。臨場感や透明性という助けの下で複雑な人間の意志決定に対して、単純化することなく総合的な判断を下すことができる。

バーチャルリアリティは3次元的な入力と五感への直接出力が特徴である(図2参照)。入出力デバイスがハードウェアで、インタフェースと仮想世界はソフトウェアである。インタフェースの中で、人間の側に関係する技術は認知工学、心理学、生理学などである。システム側に関係する基礎技術は管理と制御のソフトウェア関連としてAI技術、感性情報の処理、モデリング技術、シミュレーション技術などがある。仮想世界表現に関する技術は仮想モデルと仮想環境である。

新しい芸術表現の方法である、コンピュータシミュレーションのより発展した一形態である、人とComputerとの間の新しいコミュニケーションのためのInterfaceである、Tele Roboticsの新展開であるなどVRの定義付けは色々である。いずれにせよ、VRで扱う対象のタイプとしては、コンピュータ内に構築された仮想のモデルを将来製品として実現する前に扱う、人間の感覚機能では通常、感知されない顕微鏡下のマイクロな対象や分子、原子の世界など、実在するがスケールの大きいまたは小さいモデルを我々の常識のスケールの世界へ表現し扱う、人間が問題解決を行う際のプロセスや種々の概念の世界を視覚などの感覚の世界へ表現して扱う、これには実在しない人工生命なども重要な興味の対象であろう、などが考えられる。

5 バーチャルファクトリー

5.1 仮想生産

コンカレントエンジニアリングでは、バーチャルファクトリー／バーチャルマニュファクチャリングのような概念が提唱されている。これは、実際に生産する前にコンピュータの中で製品を生産し、製品開発期間を短縮したり、製品の品質を確保しようというものである。ヒューマンインタフェースとしてバーチャルリアリティが利用される。

仮想設計、仮想開発、仮想解析、仮想試作、仮想生産と呼ばれ、仮想のモデルを用いて仮想の時間によりVirtual Worldで、コンピュータシミュレーションが実行される。もともと仮想の世界で実施されている内容と従来よりシミュレーションによる効果が期待できる衆知の分野である。

いくつかの工場を仮想的に一工場のように管理するために、データのやりとりは双方向であるコンピュータネットワークを用いた生産管理(Management)システム、Virtual Enterpriseも実用化の模索が始まっている。遠隔による技術支援が後者の特長である。

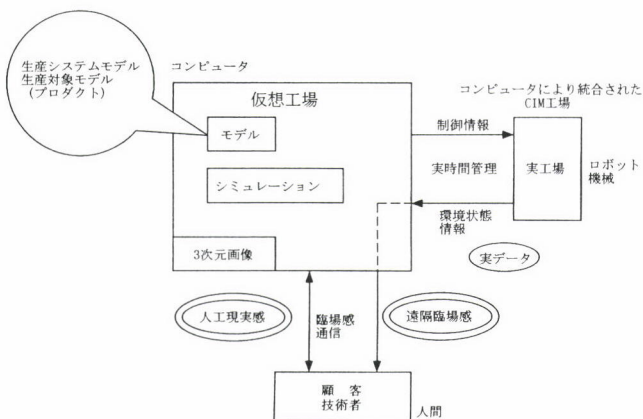


図3 実仮想統合型生産

5.2 遠隔臨場生産

Tele 又は Computer Network Robotics (Operation, Manufacturing) と呼ばれ、Real Worldを作業対象とする。

データのやりとりが双方向であることと、遠隔操作と操作感の双方向が、特徴であるが、距離や空間に関して、今いる世界と異なるという意味のVirtual Worldを対象とする。Real Timeな情報通信技術と臨場感を出すための五感に関するハプティックスインタフェースの重要性が高い。複数の工場の生産設備の制御系コントロールをComputer Networkを利用する遠隔で行うシステムも含まれる。

コンピュータ内に仮想的に構築された生産工場又は、実工場をオフィスから仮想体験する遠隔臨場感・制御システムとともに仮想工場と呼ぶことが多い。カメラによる現場の映像やセンサにより取得された各種情報、およびコンピュータ内に構築されたモデルを活用し、仮想環境のシミュレーションと、実工場の遠隔臨場感・制御を併用して実現するシステムである。人とコンピュータ、実工場とのコミュニケーションに人工現実感の技術が必要なことはいうまでもないが、その他にも多くの課題が存在する。コンピュータ内の仮想生産環境に対する並列シミュレーションや、実工場と仮想工場の生産システム間で情報のやりとりをおこなわせることによる、Real Timeな並列処理の実現のために遅れ対策などの時間管理の工夫が必要である（図3参照）。

5.3 バーチャルファクトリーの課題

Computerによる情報通信ネットワークと各分野固有の物づくり技術が前提となる。情報伝達の遅れは臨場感にとって致命的であること、特にインフラストラクチャ（基盤技術）としてのネットワークに関しては、回線容量やデータの種類などのより一層の向上が望まれる。

力覚仮想現実感が重要な役割をするため、力覚や触覚に関する効果的なフォースディスプレイ、ハプティックインタフェースの開発が今後の重要課題の一つである。

人間の心と感性を扱うHuman Worldを対象とする人間との調和型生産も重要である。

ヒューマンインタフェースに代表される仮想現実感技術は、人間とコンピュータとの調和を実現するための強力な道具（ハードウェア）であり、真のヒューマンオリエンティドシステムには不可欠な技術である。VR技術を利用して、直接操作による形状フィーチャモデリング及び設計、工程設計への支援を行うことができる。

人間工学や従来のマンマシンインタフェースにおいて、人間と機械との調和はハードウェアレベルに重点が置かれている。これに対して人間とコンピュータのソフトウェア

の調和やソフトウェアの透明性に関する検討はこれからの課題である。

リサイクルとバーチャルファクトリーとの関連について述べる。資源と環境に留意する必要性が増大している。この点からも生産のパラダイム変化が求められている。製品の設計や生産プロセスにリサイクル性を考慮するためには、従来の生産系技術に対する還元系技術をも含めて体系化が必要である。たとえば、製品生産における組立問題と同様に解体問題を考え、組立性評価法に対して、解体性評価法を確立することが望まれる。解体性評価はそれを行うには計算機内のモデルを用いる必要があることなどのためバーチャルファクトリ、仮想生産の重要な課題であるという指摘もある。

生産活動全般を対象とするCALSにおいては、従来のコンカレントエンジニアリングの技術をより広く生産系と還元系を一体として考える必要がある。究極のコンカレントエンジニアリングとしてのバーチャルファクトリが構築される。

参考文献

第1章：

- 1) 藤本英雄：コンピュータ統合生産システム，コロナ社，(1994)。
- 2) 藤本英雄：日本機械学会テクノライフ選著 変わる生産のしくみ，オーム社，(1994)。
- 3) 藤本英雄：日本機械学会論文集，55 (1989)510，476。

- 4) 藤本英雄：日本機械学会論文集，55 (1989)510，484。

- 5) 藤本英雄：機械と工具，工業調査会，33 (1988)。

第2章：

- 6) 藤本英雄：計測と制御，計測自動制御学会，33 (1994) 7，533。
- 7) 藤本英雄：生産スケジューリングの新展開，M&E，工業調査会，(1995)。
- 8) H. Fujimoto and K. Yasuda：Proc. of New Directions in Simulation for Manufacturing and Communications，(1994)。

第3章：

- 9) 藤本英雄，菅野重樹：日本ロボット学会誌，日本ロボット学会，10 (1992) 3，310。

- 10) 藤本英雄：機械の研究，養賢堂，48 (1996) 2，227。

第4章：

- 11) 藤本英雄編著：人工現実感の展開，コロナ社，(1994)。

第5章：

- 12) 藤本英雄，仲町英治：ヴァーチャルファクトリー，工業調査会，(1994)。
- 13) 藤本英雄：マルチメディア時代のバーチャルファクトリー，モノづくり未来論コンファレンス，日本機械学会，(1996)。
- 14) H. Fujimoto：Virtual Factory in the Multimedia Era，Keynote Speech of Int. Conf. on Computer Simulation，IEE & LAAS，(1997)。

(1997年9月29日受付)