

平成19年度
産業システム工学実験 テーマD

生産物流システムの調査と解析

付 録（第4版）

1. 記録映像からのデータの収集
2. 待ち行列理論の基礎
3. シミュレーションとモデリング

参照 Web サイト <http://www.hi-higuchi.com>

平成19年10月18日

国立大学法人福島大学
理工学群共生システム理工学類
准教授 樋口 良之

1. 記録映像からのデータの収集

1. 1 データの収集方法

本実験では、ストップウォッチ法とワークサンプリング法を用いて、記録映像からデータを収集する。

(1) ストップウォッチ法

観測対象となる作業員、機械設備、運搬車両などの挙動を分類し、それらの1サイクル挙動の中で生じた一つの動作や停止などの時刻を記録する。観測中に生じた全事象を漏れなく記録するため、正確なデータを収集できる。一方、複数の観測対象が離れた場所にある場合、観測者の数が増えるといった課題もあり、多くのデータを取得するために、コストが大きくなる。

(2) ワークサンプリング法

観測者がランダムに定めた時刻に観測（サンプリング）を行い、作業員、機械設備、運搬車両の有無、状況を記述する。例えば、単純に考えれば、観測回数100回のうち、チェッカーが12回稼働していれば、稼働率12パーセントとなる。連続観測法と比較して簡易にデータ収集が行えるように思われるが、観測間隔のとり方、サンプリングの回数によっては、偏ったデータが導出される可能性もある。

1. 2 収集データ項目の例

(1) 運搬車両の到着間隔、到着率

ストップウォッチ法で収集したデータにより、運搬車両の到着時刻を記録し、車両と車両の到着間隔（時間）を算定する。算定する時間帯を区分すると、到着間隔に大きな変動がある場合もある。

到着率は、単位時間あたりに何台の車両が到着するかを表したものである。

(2) チェッカーのサービス時間

ストップウォッチ法で収集したデータにより、運搬車両のサービス開始時刻とサービス終了時刻から、サービスに要した時間を得ることができる。

(3) 待ち時間

ストップウォッチ法により、到着したもののチェッカー（窓口）が他車に占有されており、サービスを受けられない状態で待っている時間を、待ち時間と定義する。待ちの開始時刻と終了時刻から、一台の運搬車両の待ち時間を算定することができる。

(4) 滞在時間

ストップウォッチ法により、一台の運搬車両が到着した時刻と、サービスを受けてシステムから退出した時刻から、滞在時間を算定できる。

(5) 平均待ち行列長さ

ワークサンプリング法により，サービス待ちをしている運搬車両の平均数を求める．これを平均待ち行列長さという．

(6) 平均滞在数

ワークサンプリング法により，サービス待ちやサービスを受けているシステム内に滞在している運搬車両の平均数を求める．これを平均滞在数という．

(7) チェッカーの稼働率

ワークサンプリング法により，チェッカーにおいてサービスが提供されている割合を求める．これを稼働率という．

2. 待ち行列理論の基礎

2. 1 待ち行列の概要

銀行，病院，行政などにおいてサービスの提供を待っている客の列を待ち行列という．客の到着状態と客へのサービス状態のより，長さや待ち時間などの待ち行列特性の影響を解析できる理論が，待ち行列理論 (queuing theory) である．待ち行列理論の適用において，到着状況，サービス状況，窓口の数を明らかにすることは，研究の第一歩である．

図 2.1 は待ち行列理論の対象とするシステムの基本の形態である．

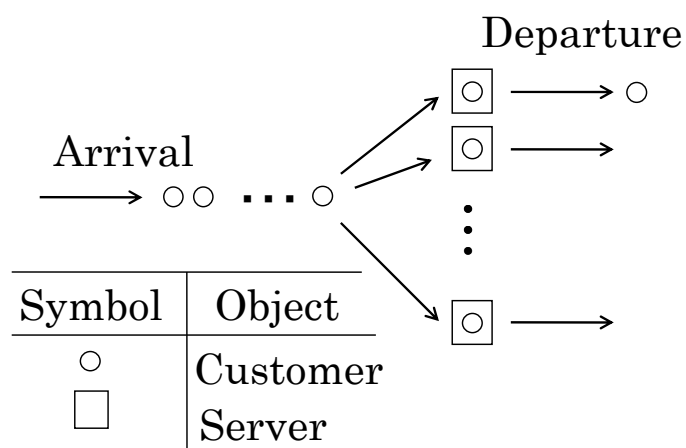


図 2.1 待ち行列系の基本形態

2. 2 待ち行列システムの基本

(1) 供給源となる母集団と客

外部から待ち行列をなすシステムへ到着するようなもの、システムの内部で加工などの処理、サービスを受けるもの、すなわち、客が供給される源を考える。この供給源は、入力源 (input source) と呼ばれ、システムで取扱いを受ける客などの母集団 (input population) となる。

何隻かの定期船のみが入港する港湾では、スケジュールに従い船舶が入港し、システムで取扱われる船舶は、特定される。このような到着状況を生じる供給源は、有限母集団 (finite input population) と定義される。一方、商売繁盛の飲食店や主要国道のガソリンスタンドを利用する客は、不特定多数と考え、供給源は無限母集団 (infinite input population) と定義される。

母集団に属する客などは、その母集団の特性によって考慮すべき内容が異なる。有限母集団に属する客は、個々の客の特性を把握することが大切である。例えば、定期船舶であれば、出航したばかりの船舶が、次の瞬間に入港することはない。個々の船舶の入港スケジュールと遅延などの運航状況を把握することが重要である。一方、無限母集団に属する客は、平均到着率や到着間隔を把握することが大切である。例えば、不特定大多数が利用する飲食店では、個々の客の来店時刻を把握することより、1時間に何人来店するかを把握することが重要である。

待ち行列理論やシステムシミュレーションで扱われる客は、時々刻々と変化するシステムの内外にあって、母集団内に存在する状態 (idle state)、待ち状態 (waiting state)、サービス状態 (service state) と大きく区分された状態で存在する。

(2) 平均到着間隔と到着率

到着間隔とは、対象となるシステムでサービスなどの取扱いを受ける客や製品などの到着時刻間の長さである。システムの検討を要するような対象では、この到着の時間間隔には、乱れがある場合が多い。この到着間隔は、その一つひとつが独立したもので、同一の確率分布であるものとして取扱われる。すなわち、任意の客が到着するとき、その客の到着は、過去の客の到着とは無関係であり、無限母集団からの客を想定すれば容易に理解することができる。

システムで取扱いを受ける客数を把握するため、平均到着間隔 (average inter-arrival time) あるいはその逆数である次式の到着率 (arrival rate) λ を用いる。

$$\lambda = \frac{Na}{Tp} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

ここで、 Na は、任意の時間 Tp の間に到着した客の数である。

(3) 到着の形態

平均到着間隔 (average inter-arrival time) や到着率といった定量的な到着状態の把

ビスの形態についても把握が必要である。

サービス窓口の提供するサービス時間に着目して考察すると、変動するサービス時間の分布に基づき、指数サービス、一定サービス、アーランサービス、可変サービスに区分できる。

また、一人ずつ客にサービスを提供するのではなく、客がある程度集まり、その集団に対して行う集団サービス (mass service) も存在し、それらは次のように分類できる。

- ・客が集まり一定の数に達した場合にサービスを提供するもの
- ・何らかの条件が整った時点でサービスを提供するものの、サービスを提供する客数に定員があり、定員を超えた客は、次のサービスまで待つもの
- ・サービスを提供する客数に制限がないもの

また、独立したサービスが複数あり、客に対して、それらのサービスを同時に提供し、それらのサービスがすべて完了してから、サービス窓口からシステムの外部へ出るものもあり、これを同時サービス (simultaneous service) という。

さらに、複数のサービス窓口があり、それをサービスマンが巡回移動するようなものも想定され、これを移動サービス (mobile service) という。

(6) サービス窓口の数

待ち行列をなすシステムには、少なくとも一つのサービスを提供する窓口が必要である。例えば、金融機関の店舗には、一つ以上の窓口あるいは ATM が設置され、サービスを提供し、そこに、待ち行列が生じている訳である。客が比較的少なく処理数が少ない場合、一つの窓口で十分であるが、客である利用者が増えた場合、複数の窓口を開設して対応する必要がある。このように、サービス窓口の数の増減は、客の待ち時間に連動する顧客満足度にも大きな影響を与え、一方で、設備コストの増減にも影響し、重視されている。

2. 3 確率の分布

例えば、ポアソン分布 (Poisson distribution) に従いランダムに客が到着すると考えた場合、到着率 λ に応じて、単位時間あたりに到着する客の数が x である確率 $P(x)$ は、次式で与えられる。

$$P(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda} \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

また、スケジュールに従い客が到着するものの、遅延する場合を考慮すると、 λ を遅延の割合と考えて、任意の客の遅延時間も、式 (2.1) に示した確率で得ることができる。

2. 4 待ち行列の表記

対象とする待ち行列がどのようなシステムであるかを表記するために、待ち行列の3要素を次のように並べたものがある。

到着分布／サービス分布／窓口数

例：M/M/2 . . . ポアソン到着，指数分布サービス，窓口2個，
別な表現をすると，客の到着がランダムで，サービス
時間もランダム，窓口数が2つという意味である。

ここで使われる記号は，ケンドールの記号と言われ，次のとおりである。

M (Markov Process)：ポアソン分布（ポアソン到着），指数分布（指数サービス）に従う。

D (Deterministic)：一定分布（一定到着，一定サービス）に従う。

E (Erlang Distribution)：やや規則性のある分布（アーラン分布）に従う。

2. 5 待ち行列理論で導出される評価値

待ち行列理論で導出され対象システムの評価の値は，客の平均到着率 λ ，窓口の平均サービス率 μ ，窓口数の3つのデータを入力値として，次のものがある。

- ・平均待ち数 L_q ：サービスの提供を待っている平均客数
- ・平均待ち時間 W_q ：客の到着からサービスを受けるまでの平均待ち時間
- ・平均滞在数 L ：システム内に存在する平均客数
- ・平均滞在時間 W ：客の到着，待ち，客へのサービス，システムからの退出といった一連のサイクルの平均時間

平均待ち数 L_q と L の間などには，次式の関係が成立する。

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

$$L_q = \lambda W_q \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

$$L = \lambda W \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

(1) M/M/1 のモデル

ポアソン到着，指数サービス，窓口が一つであるM/M/1のモデルの評価値を次式に示す。

- ・平均待ち数

$$L_q = \frac{\rho^2}{1-\rho} \quad \dots \dots \dots (2.8)$$

- ・平均待ち時間

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} \quad \dots \dots \dots (2.9)$$

- 平均滞在数

$$L = \frac{\rho}{1-\rho} \quad \dots \dots \dots (2.10)$$

- 平均滞在時間

$$W = \frac{1}{\mu(1-\rho)} \quad \dots \dots \dots (2.11)$$

ここで、 ρ は利用率と言い次式で表され、利用頻度、混雑度合いを意味する。

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (\rho < 1) \quad \dots \dots \dots (2.12)$$

(2) M/D/1 のモデル

ポアソン到着、一定サービス、窓口が一つであるM/D/1のモデルの評価値を次式に示す。

- 平均待ち数

$$L_q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} \quad \dots \dots \dots (2.13)$$

- 平均待ち時間

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad \dots \dots \dots (2.14)$$

- 平均滞在数

$$L = \frac{L_q}{\lambda} + \frac{\lambda}{\mu} \quad \dots \dots \dots (2.15)$$

- 平均滞在時間

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad \dots \dots \dots (2.16)$$

(3) M/M/s のモデル

ポアソン到着、指数サービス、窓口の数が s であるM/M/sのモデルの評価値を次式に示す。

- 平均待ち数

$$L_q = \frac{\lambda \mu \rho^s}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} P_0 \quad \dots \dots \dots (2.17)$$

$$P_0^{-1} = \sum_{i=0}^{s-1} \frac{a^i}{i!} + \frac{a^s}{(s-1)!(s-a)} \quad \dots \dots \dots (2.18)$$

3. 離散系システムシミュレーション

3. 1 シミュレーションの目的

シミュレーションの目的には、対象システムのメカニズムの理解、それにかかわる人間同士の相互理解を深めるためのコミュニケーション、システムの挙動予測、システムパラメータの最適化といった観点がある。

シミュレーションを行うためには、まず、シミュレーションモデルが必要である。複雑に見える現象や事物を観察し、KISS (Keep It Simple and Stupid) ルールなどにに基づき、シミュレーションで明らかにしたい事項を明確にし、それに影響する要因を絞込み、システムの挙動を再現できるモデルをつくらなければならない。影響の少ない要因は無視できるものとして省き、整理整頓された単純化されたモデルを作成する。このモデルを作成すること、すなわち、モデリング自体に意味があり、モデルを作成することで事象のメカニズムを明らかにしたり、理解を深めたりすることになり、それが課題解決への糸口となり、シミュレーションを行う目的となりえる場合も多い。また、対象となるシステムに対して、それに携わる人間同士が、モデルと解析結果を同期した場において、コミュニケーションを深めるためにシミュレーションを使う場合も多い。

シミュレーションでは、モデルを様々な環境、条件で挙動させ、その振舞いを観察する。とりわけ、非定常状態や限界状態など通常では入手できない状況において対象がどのように挙動するのか検討し、将来起こりえるかもしれない状況を予測することを目的とすることが多い。

また、図 3.1 のように、シミュレーションでは、考慮する条件において、目的関数を最大化あるいは最小化できるモデルの最適化を目的とすることも多い。図 3.1 では、目的関数をコストと考え、このコストの値を最小化する荷役機械の処理能力を求める事例の検討結果である。簡易な待ち行列モデルでモデリングできる場合には、待ち行列理論など、理論的計算によって最適処理能力を算定できる場合もある。多重の待ち行列系や特別な運用規則があるようなシステムで、シミュレーションによる解析を必要とする場合も多い。処理能力の高い荷役機械は、生産性が高いものの、設備投資やメンテナンスにおいて比較的高いコストを見積もる必要がある。一方で、コストが抑制されている低処理能力機械は、生産性が低く、利益も高くない。このような荷役機械のトレードオフ問題において、最適な処理能力を導出するために、シミュレーションを行う場合も多い。

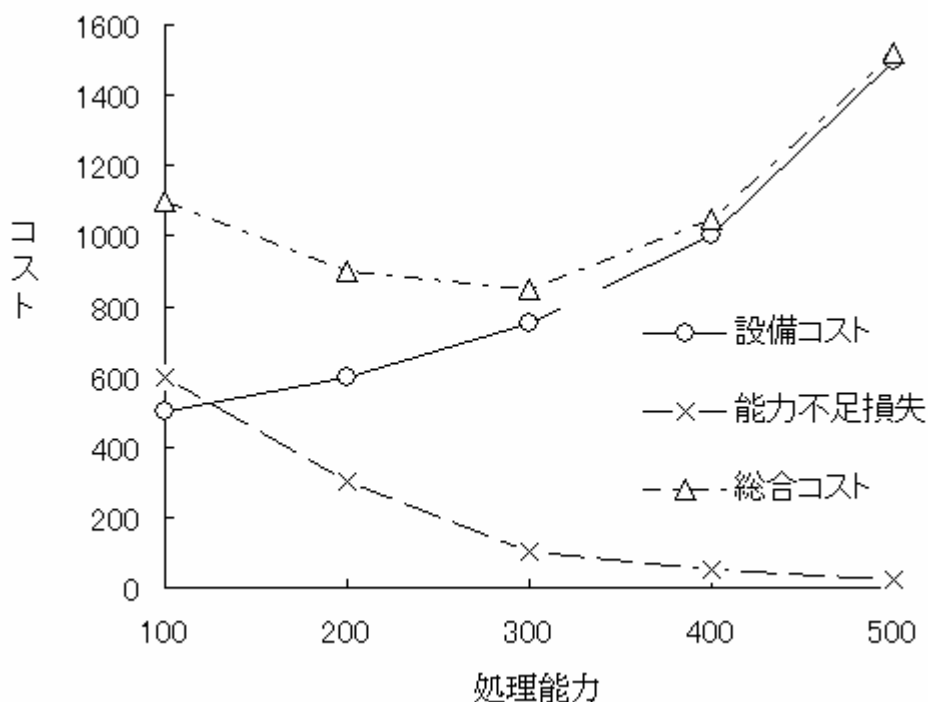


図 3.1 コストと処理能力の関係

3. 2 シミュレーションを使った解析の手順

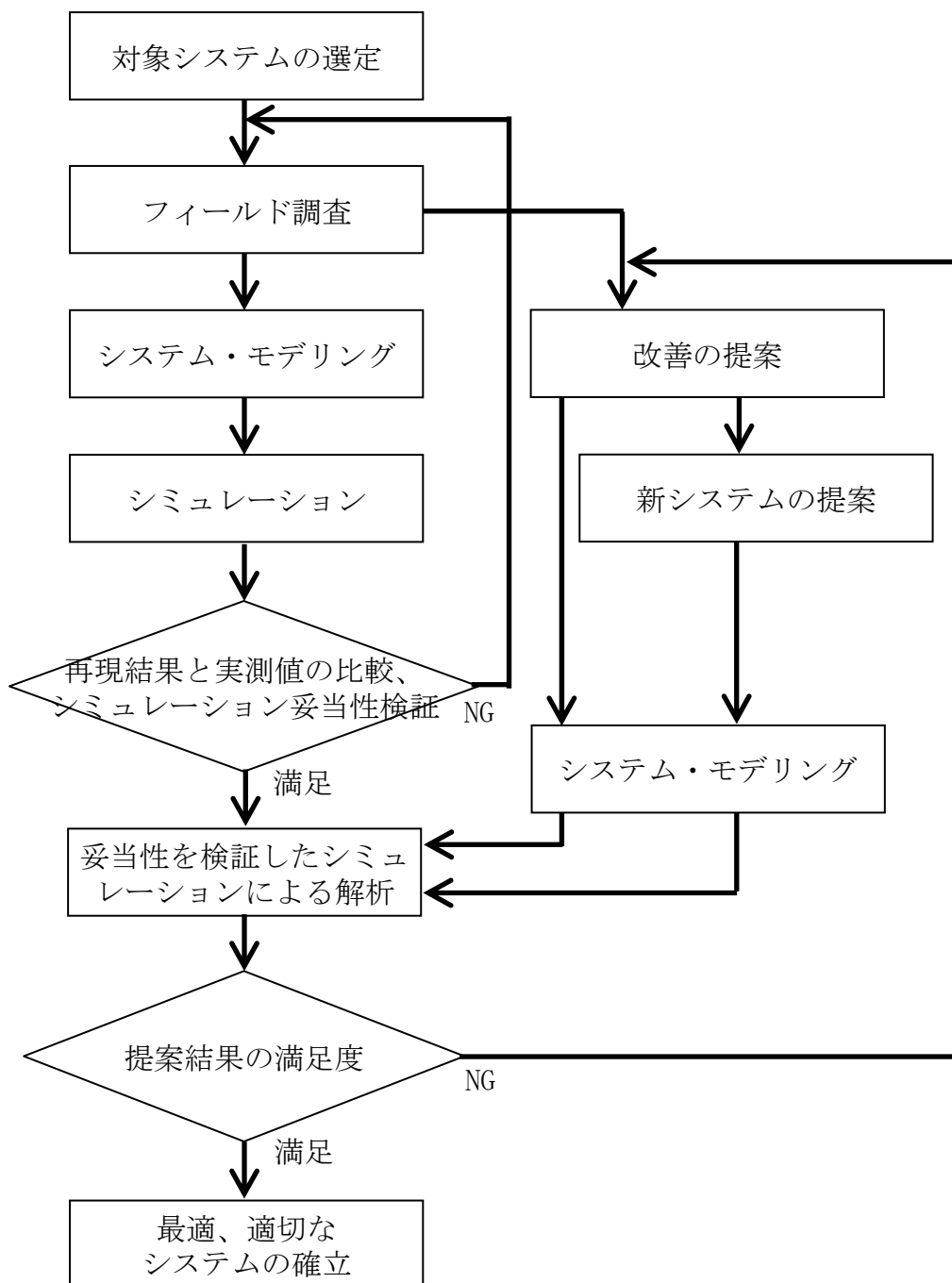
これらの目的を達成するために、図 3.2 に示す手順でシミュレーションを活用する。まず、対象となるシステムが選定される。システムの選定は、研究者自身が興味と課題を持って選択する場合、ユーザーやお客様などが興味や不満などに基づき選択する場合がある。対象となるシステムは、シミュレーションで挙動を明らかにする対象部分とそれを取巻く外部の部分（外部環境）との境界を明確に区分しなければならない。

次に、対象システムの十分な調査を行う。シミュレーションで挙動を明らかにする対象部分と外部環境、それらの境界部分について、聴き取り調査、ワークサンプリング調査、場合によってはアンケート調査なども行う。時系列にシステムの挙動をフローチャートで記述したり、システム内で能動的、受動的に機能する要素とそれらの挙動をUML (Unified Modeling Language) で記述したりするなどして、調査結果をまとめていく。システム内のそれぞれのプロセスにおいて、不確定なものについて考察し、ワークサンプリングなどに基づきデータを採取しておく。

この調査では、同時に、対象システムがどのような位置付けになっているかを考察し、シミュレーション解析を活用して、どのような提案を展開するかの想定を始める。

対象システムのしくみが、そもそも不明瞭な状況で、調査、モデリング、シミュレーション解析を依頼される場合もある。対象システムのしくみが不明瞭なものについては、大枠

でシステムをとらえることから始めなければならない。また、しくみが確立されているシ



ステムでは、非効率なものであるか、あるいは、十分に高い効率で運用されているかを見極

図 3.2 シミュレーションを活用して適切なシステムを確立する手順

めることが大切である。非効率なシステムであれば、部分的な構造変更や運転方法の改善などを検討する。十分に効率の良いシステムであり、改善すべきことが無い場合には、時には、それまでの発想に縛られず、生産性の高い新しいしくみの提案を行うことも必要である。

システムモデリングでは、シミュレーションで用いるシステムのモデルを構築する。シミュレーションモデルを作成する者が、直接、対象システムを調査した者である場合と調査していない者である場合が想定される。どちらにも特長があり、対象システムを調査した者がモデリングをする場合、誤った情報の伝達がなく、直感的な作業を行うことができる。一方、シミュレーションモデルを作成する者が、調査報告書を見聞したり、調査員から知見を教示してもらったりしてモデリングする場合、実地調査に熟練した者の優れた鑑識に注目した優れたモデリングを可能にすることも多い。特に、モデルの作成者が、対象システムの調査において、混乱したり、小さな要因を課題に評価してしまったりするなど、実地調査に不慣れである場合、モデルの作成者とシステムの調査者を分けることは有効である。

システムのモデルには、確定的に挙動するシーケンスモデルと不確定に挙動するモデルがあり、これらのモデルを組合わせて、対象となるシステムの総合モデルを構築することが一般的である。不確定なモデルは、確率分布に応じた挙動をするものや推論を応用したものなどがある。

シミュレーションとは、構築したモデルを動かすことである。離散系シミュレーションでは、時間の経過に伴う事象（イベント）の変化を追っていく。確率分布にしたがって挙動する確率モデルは、乱数を用いるモンテカルロ法によって挙動が決定される。モンテカルロ法を用いた場合には、1回のシミュレーションでは、偏った現象が再現されてしまう可能性もあるため、複数回のシミュレーション結果の平均値と標準偏差などのばらつき具合を併記したものを解析結果とする必要がある。

シミュレーションによる解析結果と実地調査結果を比較し、その差異が小さい場合、有効なモデルとシミュレーションによる解析が確立されたと理解する。差異の大きさと解析の有効性については、明確ではなく、産業分野や研究の進捗などの状況によって暗黙知とされている。シミュレーション解析結果と実地調査結果の差異が大きく満足できない場合には、モデルを見直し、場合によっては実地調査が正しく行われたのかをチェックする。

シミュレーション解析結果と実地調査結果の差異を小さいと認識し、有効なモデルとシミュレーションによる解析が確立したと判断した場合、システムの勘所となるモデルのパラメータ、外部環境、入力条件などを変更し、対象となるシステムがどのように挙動するか検討したり、その結果を用いて最適設計の資料を作成したりする。また、モデルの一部を変更し、改善の提案や新しいシステムの有効性を評価する。これらの作業を通して、最適、適切なシステムの検討、提案が可能となる。

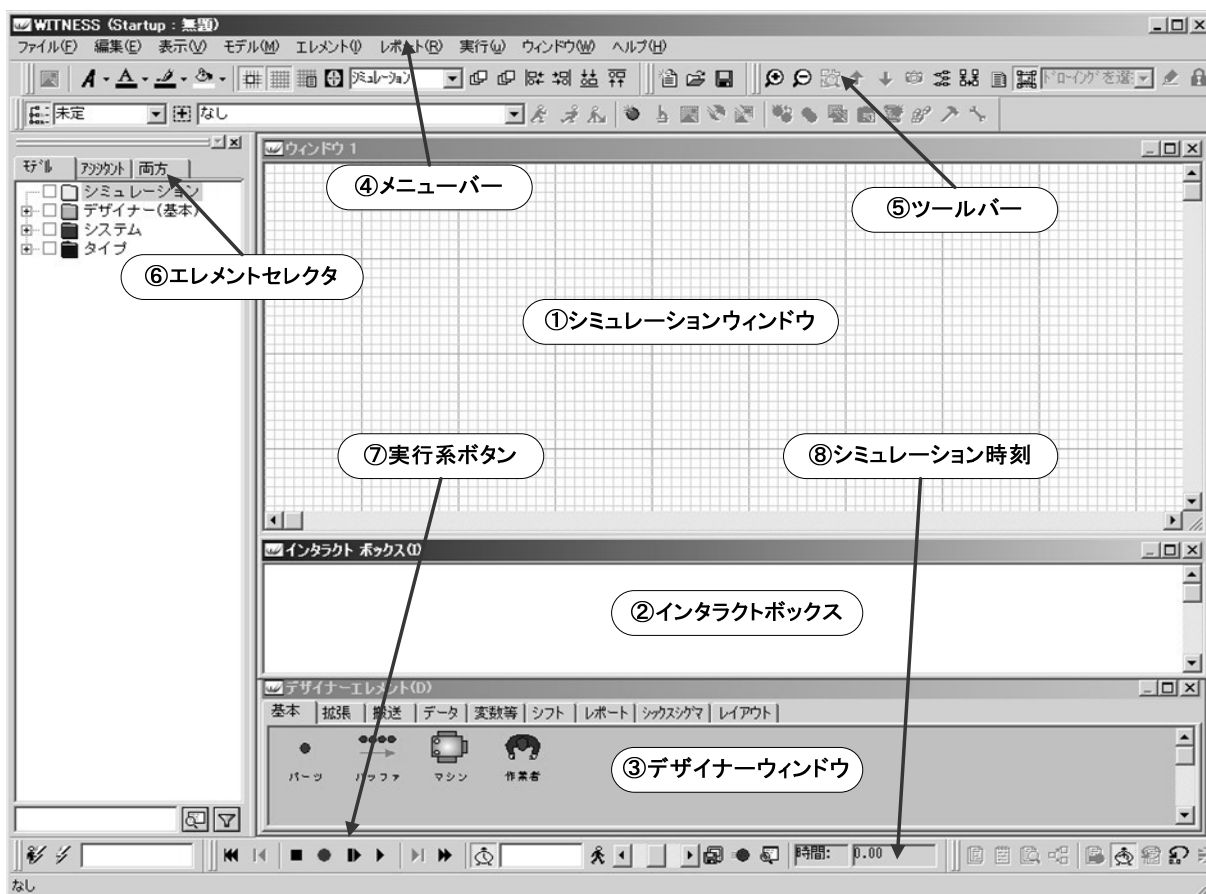
3. 3 離散系システムシミュレータWITNESSの活用

ここでは、世界市場で多くに使われている離散系の汎用システムシミュレータ WITNESS の利用に必要な知識を説明する。WITNESS とは、生産ラインや物流システムなど、モノの動きが伴う複雑な待ち行列のシミュレーションをコンピュータ上で解析するために、英国の Lanner 社 (<http://www.lanner.com>) が開発したソフトウェアである。

(1) WITNESS の起動

WITNESS はウィンドウズ系の OS 上で動作する。起動画面と主な構成を図 3.3 に示す。基本的な操作は他のウィンドウズアプリケーションと同様で、マウスによるメニュー選択やドラッグ&ドロップなどによって行う。

注意：WITNESS で作成されたシミュレーションモデルの電子ファイルの拡張子は mod である。本実験で使用する WITNESS のバージョンでは、このシミュレーションモデルの電子ファイルを、OS 上でダブルクリックしても、WITNESS が起動し、自動的にシミュレーションモデルが、WITNESS 上に表示されない。このため、WITNESS でシミュレーションモデルを開き実行するためには、必ず、WITNESS を起動し、WITNESS のメニューバーなどから、必要なモデルの電子ファイルを開かなければならない。また、契約ライセンス数の都合上、1台のパソコンで、複数の WITNESS 画面を起動しておくことは、望ましくない。

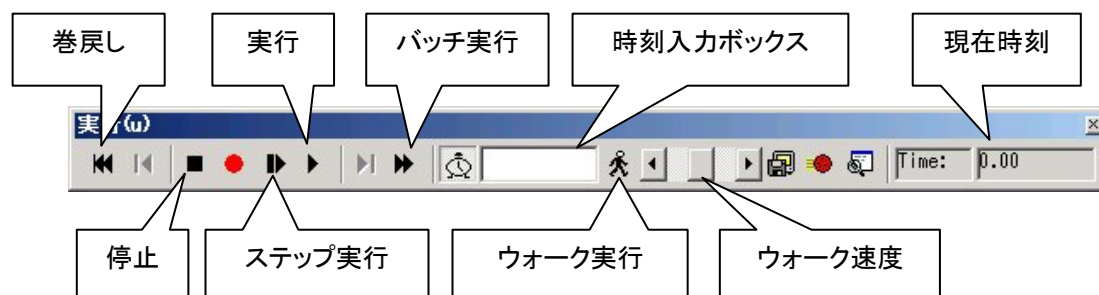


No.	名称	説明
①	シミュレーションボックス	エレメントを配置してモデルを構築するウィンドウ
②	インタラクトボックス	デバック時のPrint文や実行時のログを表示するウィンドウ
③	デザイナーウィンドウ	エレメントやモデルのテンプレートを登録するウィンドウ
④	メニューバー	WITNESSの各種コマンドを実行することができる
⑤	ツールバー	メニューの主なコマンドに対応するボタンが表示されている
⑥	エレメントセクタ	エレメントやシステム変数がツリー状に表示されるセクタ
⑦	実行系ボタン	モデルの実行、停止などを行うボタン
⑧	シミュレーション時刻	シミュレーション実行時の時刻を表示する

図 3.3 WITNESS の起動画面と構成

(2) シミュレーションの実行

シミュレーションの実行は、メニューの[実行]から各コマンドを選択するか、実行ツールバーを使用する。図 3.4 に実行ツールバーの主な機能を示す。



項目	内容
実行	アニメーションを表示しながらシミュレーションを実行する
バッチ実行	アニメーションを表示せず高速に実行する
ステップ実行	マウスの左クリックもしくはENTERキーを押す毎にイベントが1つずつ実行される また、実行イベント情報がインタラクトボックスに出力される
ウォーク実行	パーツやレイバーの移動の軌跡を残しながら実行する
ウォーク速度	ウォーク実行の速度を調整する
巻戻し	シミュレーション時刻を0に戻す
停止	シミュレーション実行を停止する
現在時刻	現在のシミュレーション時刻
時刻入力ボックス	時刻入力ボックスに時刻を入力し、タイマーボタンを押した状態で各種の実行を行うと入力した時刻で実行が停止する

図 3.4 実行ツールバーの主な機能

(3) シミュレーション結果の確認

シミュレーション実行後に、エレメントセクタ上で任意のモデルを選択し、右クリックのショートカットメニューから[統計量]を選択すると、モデルにかかわる統計量が表示される。また、シミュレーションウインドウのモデルを右クリックすることでも、モデルにかかわる統計量が表示される。表示される統計量のサンプル画面とモデルの種類ごとの統計量表示項目の内容を次に示す。

The image shows two screenshots from the WITNESS software. The left screenshot shows the simulation window with a context menu open over a part, highlighting the '統計量' (Statistics) option. The right screenshot shows the 'WITNESS' statistics window for 'パーツ001' (Part 001).

名前	パーツ001
入荷数	1000
出荷数	1000
スクラップ数	0
アセンブリ数	0
リジェクト数	0
現在W.I.P	0
平均W.I.P	5.46
平均時間	54.73
シガマレート	6.00

パーツの統計量

項目	内容
入荷数	モデル内に発生したパーツ数の合計
出荷数	モデル外へSHIPしたパーツ数の合計
スクラップ数	スクラップされたパーツ数の合計
アセンブリ数	組立マシンで組立てられたパーツ数の合計
リジェクト数	モデル内に発生できずリジェクトされたパーツ数の合計
現在W.I.P	現時点でモデル内に存在するパーツ数, 仕掛数
平均W.I.P	現時点までモデル内に存在したパーツの平均個数
平均時間	パーツがモデル内に存在した平均時間
シグマレート値	パーツのシックスシグマレート値

バッファの統計量

項目	内容
累計入数	バッファに入ったパーツの総数
累計出数	バッファから出たパーツの総数
現在数	現在バッファ内にあるパーツ数
最大	一度にバッファ内に滞在したパーツの最大数
最小	一度にバッファ内に滞在したパーツの最小数
平均個数	バッファ内の平均パーツ滞在数
平均時間	バッファ内の平均パーツ滞在時間
遅延後の平均個数	バッファの遅延時間を設定した場合の, 遅延時間の経過後もバッファに滞在した平均パーツ数
遅延後の平均時間	バッファの遅延時間を設定した場合の, 遅延時間の経過後もバッファに滞在した平均パーツ滞在時間
オフシフト	バッファの遅延時間を設定した場合の, バッファがオフシフトで過ごした時間の割合

マシンの統計量

項目	内容
%アイドル	マシンがパーツを待っていた時間の割合
%稼働	マシンが稼働していた時間の割合
%注入	マシンが流体をパーツに注入していた時間の割合
%抽出	マシンがパーツから流体を抽出していた時間の割合
%停止 ブロック	マシンがブロックされていた時間の割合
%待ち 処理	マシンが処理用のレイバーを待っていた時間の割合
%停止 段取り替え	マシンが段取り替えに費やした時間の割合
%待ち 段取り替え	マシンが段取り替え用レイバーを待っていた時間の割合
%停止 故障	マシンが故障していた時間の割合
%待ち 修理	マシンが修理用のレイバーを待っていた時間の割合
処理回数	マシンが完了した処理の回数
オフシフト	マシンがオフシフトであった時間の割合

レイバーの統計量

項目	内容
%稼働	レイバーが使用されていた時間の割合
%アイドル	レイバーがジョブ待ち状態であった時間の割合
開始ジョブ数	レイバーが作業を開始したジョブ数
終了ジョブ数	レイバーが作業を完了したジョブ数
現在ジョブ数	レイバーが現在作業中のジョブ数
割込ジョブ数	オフシフトや割込み取得によって中断されたジョブ数
平均ジョブタイム	1ジョブ当たりの平均時間
オフシフト	レイバーがオフシフトであった時間の割合