

大規模かつ複雑なシステムのシミュレーションのモデル構築と分析

高 桑 宗右エ門

I. はじめに

本稿では、システムシミュレーション (system simulation) ないしはシミュレーション技法とよばれるシミュレーションについて、系譜と最近の動向を概観し、これまで研究室で取り組んできた研究の一部について紹介する。

シミュレーションは、通常適切なソフトウェアを用いて、コンピュータ上で、実際のシステムの挙動をまねるための手法や応用を含む広範囲にわたる集合をいう。実際、このアプローチは多くの分野・産業・応用にわたって適用されており、シミュレーションは極めて一般的な用語となっている。今日、コンピュータやソフトウェアは以前と比べて機能などが格段に向上しており、シミュレーションはより広範囲に普及しかつ強力になってきている。さらに、コンピュータ関連技術、インターネットの普及、情報ネットワーク技術やCGの技術的進展など、シミュレーションを取り巻く環境が発展してきたことにより、新たな発展段階を迎えている。

II. システムシミュレーションの系譜と今後の動向¹⁾

システムシミュレーションの歴史は半世紀ほど前にさかのぼる。この間に、シミュレーション言語やパッケージの能力や洗練化が劇的に進展してきたように、シミュレーションをどのように、そしていつ活用すればよいかという考え方も変わってきた。

1. 初期 (1950年代後期—1960年代)

この時期において、シミュレーションを実施するには、巨額の投資を要したので、一般に大企業によってのみ用いられ、極めて高価でかつ特定化されたツールであった。典型的なシミュレーションユーザは、鉄鋼及び航空関連企業にみられた。少人数のチームで、FORTRANなどの利用可能な言語を用いて、大規模で複雑なシミュレーションモデルを開発したようである。これらのモデルは、時間当たり600ドルから1000ドルも費用がかかる大規模なメインフレーム上で実行された。

1) Kelton, W. D., R. P. Sadowski and D. T. Sturrock, *Simulation with Arena*, Third Edition, McGraw-Hill, 2004. / 高桑宗右エ門監訳、『シミュレーション — Arena を活用した総合的アプローチ』(第3版), コロナ社, 2005

2. 形成期（1970年代—1980年代初期）

今日、われわれが知っているシミュレーションの用法は、この時期に始まった。コンピュータはより高速化かつ低廉化し、ほとんどの企業は大企業であったが、シミュレーションの真価に関して、種々の産業においても認識されるようになった。この頃までに、シミュレーションも管理工学・経営工学やオペレーションズ・リサーチ（OR）のカリキュラムの標準的な科目として位置づけられるようになった。特に米国においては、産業界における利用の増加が、大学においてより広く教えられることに拍車をかけることになったとされる。同時に、経営管理学（ビジネススクール）の計数的な科目にも登場し、学生や研究者にも門戸が開かれることとなった。

3. 発展期Ⅰ（1980年代後半）

1980年代後半に、シミュレーションは、企業において実際に定着し始めた。このことは、PCやアニメーションの導入によるところが大きい。1980年代末までに、シミュレーションの真価は多くの大規模な企業で認識され、その中には、主要な設備投資の承認を得る前に、シミュレーションが実際に要求されるようになった。しかし、シミュレーションは、依然として広く用いられたとはいえ、比較的小規模な企業ではあまり用いられなかった。

4. 発展期Ⅱ（1990年代以降）

シミュレーションは、1990年代に本当の意味で成熟し始めた。多くの小規模の企業がこのツールを採用し、プロジェクトのごく早い段階（最大のインパクトが期待できる）で利用を始めた。より洗練されたアニメーション、使いやすく処理の早いコンピュータ、他のパッケージとの統合のしやすさ、さらにはシミュレータの登場、これらのすべてが、多くの企業においてシミュレーションが標準的なツールとなることに寄与した。シミュレーションは、これまで適用されてこなかったサービス産業においても利用されるようになった。

5. 現在と今後

シミュレーションにおける変化の度合は、近年加速してきており、急速な進展を続け、広く受け入れられるようになってきた。シミュレーションをより多くの人々にとって使いやすいものとするために、ごく狭いマーケットに的を絞った製品を検討することになると考えられている。このことによって、産業や企業環境に直接関連する用語を使い、そしてそれらのために設計されたモデリング構成要素を用いることによって、アナリストがシミュレーションを容易に構築できるようになるだろう。例として、通信・半導体・コールセンタ・ビジネスプロセスリエンジニアリングなどの応用分野が挙げられる。そして、シミュレーションモデルは絶えず“今”を追い続けねばならず、システムや製品が時間に対して変化するとき、新しいシステムコントロールを容易にテストすることが必要である。そして、一度だけ使われることはなくなり、進行中のシステムのオペレーションに関する重要な部分となると考えられている。

現時点において、シミュレーションに関して今後の予測をすることは難しいことであるが、自

動的な統計解析やアプリケーションソフトウェアとの統合、インターネット援用のシミュレーション、現実とモデルの統合したシミュレーション、3Dアニメーションなど、新たな展開・発展の予想をすることは可能である。3Dアニメーションの例を本号の表紙に掲載し、リアルタイムシミュレーションの例を図1に示す。図中、このシミュレーションは、実際の生産システム内の機械とPCを接続し、機械の加工開始及び終了の信号を受け取り、仮想的なシミュレーションを行っており、その意味で「現実」と「モデル」を統合したシミュレーションモデルであり、新しいシミュレーションのあり方を方向付けるアプローチとして、世界的に関心を集めている。

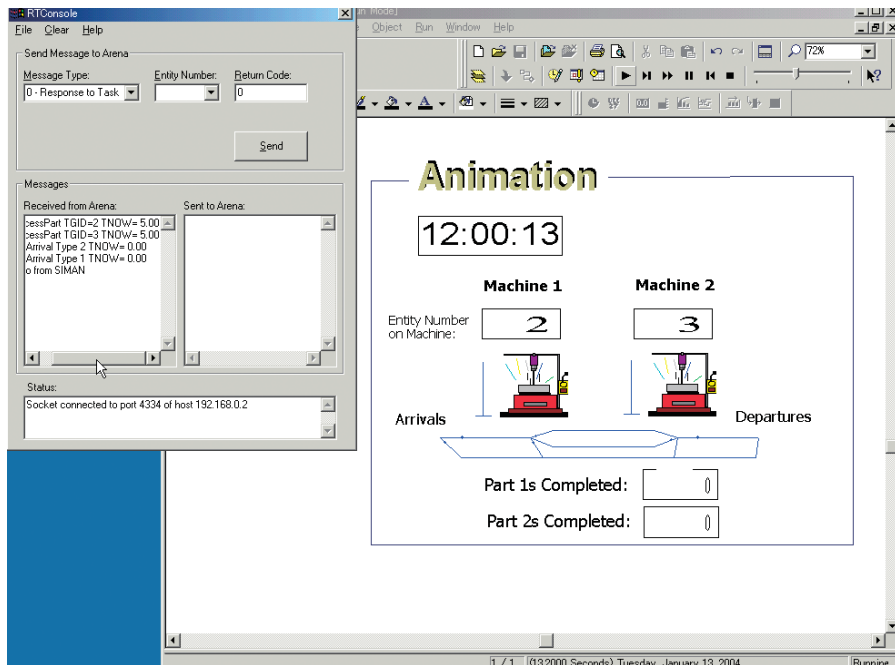


図1 リアルタイムシミュレーション

Ⅲ. シミュレーションの応用事例

本項では、これまで研究室で取り組んできた最近の事例のうちの一部を紹介することにより、多様な応用可能性があることを示すことにする。なお、以下に紹介するそれぞれの事例の詳細については、インターネットなどで当該論文を参照することができるので、ここでは簡単な紹介にとどめることにする。

1. 大規模な流通センター²⁾

総床面積 7,656 平方メートルで、取扱量（各入出庫別）約 340,000 ケース／月、フォークリフ

2) Takakuwa, S., H. Takizawa, K. Ito, and S. Hiraoka.. 2000. Simulation and analysis of non-automated distribution warehouse. In *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 1177-1184. Available online via <<http://www.informs-sim.org/wsc00papers/159.pdf>>

ト18台(屋内15台, 屋外3台), を擁する日用品製造企業の流通センターを対象として, シミュレーション分析を実施した。日々の取扱量は本社から情報ネットワークを介して届けられ, それを基に作業終了時刻を予測する。また, 稼動すべき適正なフォークリフトの台数を決定したり, 当該流通倉庫の取扱い能力・パフォーマンスを検討した。

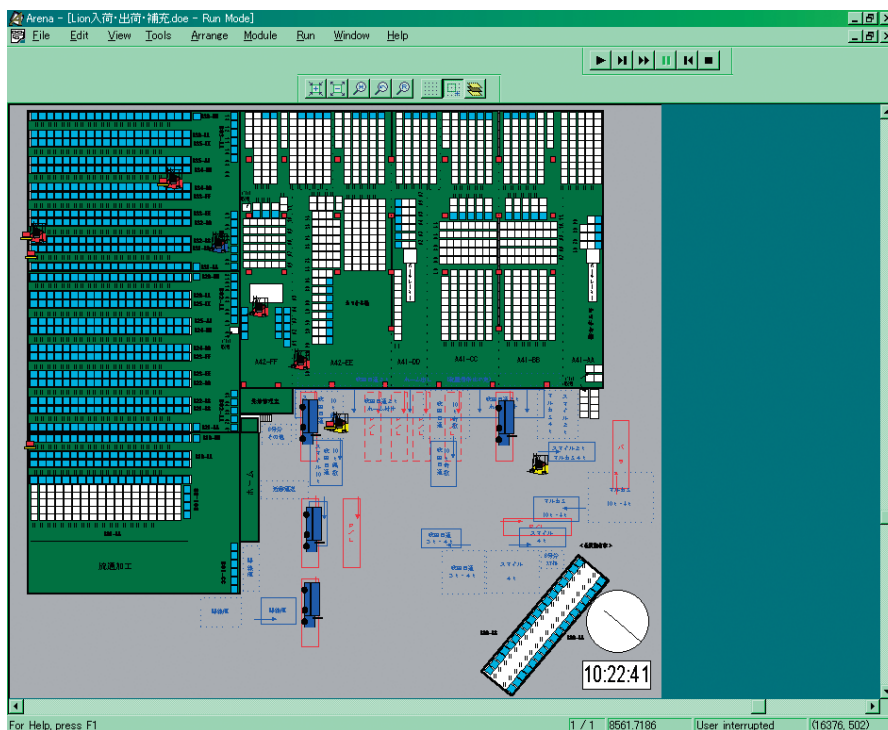


図2 大規模な流通センター

2. 国際線出発空港ターミナルビル³⁾

関西空港・国際線旅客ターミナルビルは, 出国カウンター:48, チェックインカウンター:135, 出国審査カウンター:26を擁し, 1日当りおよそ30,000人が海外に出国する。旅客は, ターミナルビル到着後, 必要に応じて, 旅行代理店カウンターに立ち寄り, 受託手荷物のチェックを受けて, 航空会社のチェックインカウンターへ進む。そしてセキュリティチェックを受けて, 出国審査へと進む。その後, AGTに乗りして搭乗ゲートへ移動する。このシミュレーション分析では, 国際線出国のためのチェックインカウンターでの待ち時間, 手続き時間, 所要時間や, 旅客の待ち行列長さなどについて検討した。特に, 盆や年末年始などの混雑時の旅客対応体制について検討を行い, 提言を行った。

3) Takakuwa, S. and T. Oyama. 2003. Simulation analysis of international flows in an airport terminal. In *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 1627-1633. Available online via <<http://www.informs-sim.org/wsc03papers/207.pdf>>

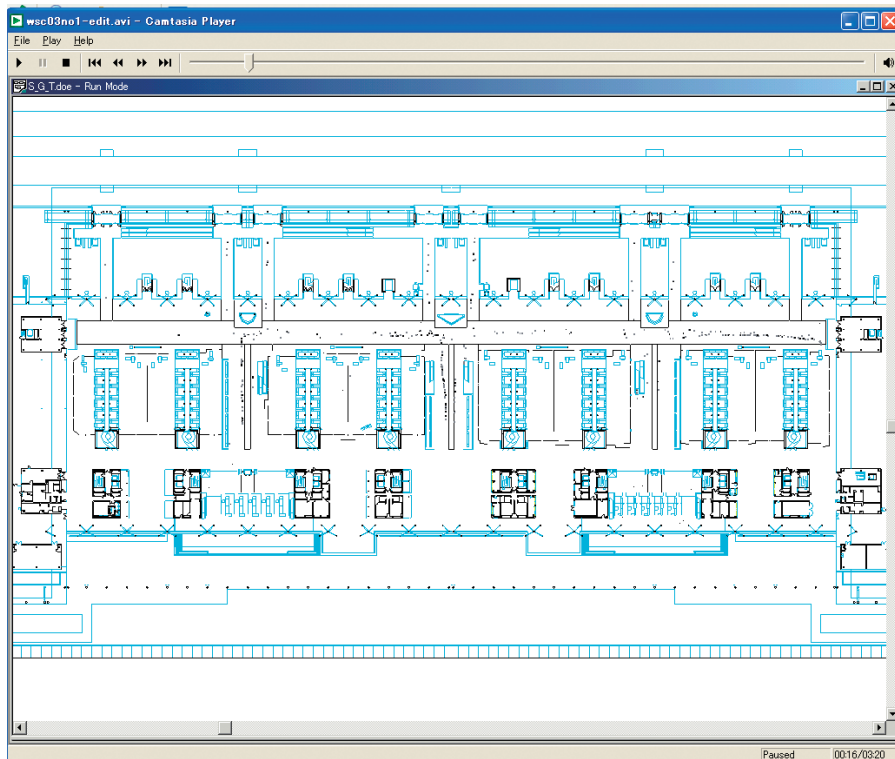


図3 国際線出発空港ターミナルビル

3. ジャストインタイム生産^{4,5)}

「必要なものを必要な時に必要なだけ」というジャストインタイム生産について、シミュレーションモデルを構築するためのモジュール（サブシステム）を設計・構築し、工場でのモデルを作成した。特に、かんばん方式とよばれる生産管理方式は世界的にも注目を集めており、複雑なフロータイプの生産システムについてモジュールを用いて構築することにより、短時間で効率的にシミュレーションモデルを構築できることを示した。

他に、PC組立生産工場のフロア全体を対象として、時間分析・動作分析を実施し、セル生産・水すまし、かんばん方式を総合的に分析するためのシミュレーションモデルを構築し、特に在庫管理の観点から、シミュレーション最適化を行った。

4) Nomura, J, and S. Takakuwa. 2004. Module-based modeling flow-type multistage manufacturing systems adopting dual-card KANBAN system. In *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, 1065-1072. . Available online via <<http://www.informs-sim.org/wsc04papers/136.pdf>>

5) 高桑宗右エ門, 三輪冠奈. 「セル生産・水すまし・かんばん方式援用生産システムにおける部品在庫管理のシミュレーション最適化」オペレーションズ・リサーチ, 2006年7月号, 445-453. 2006

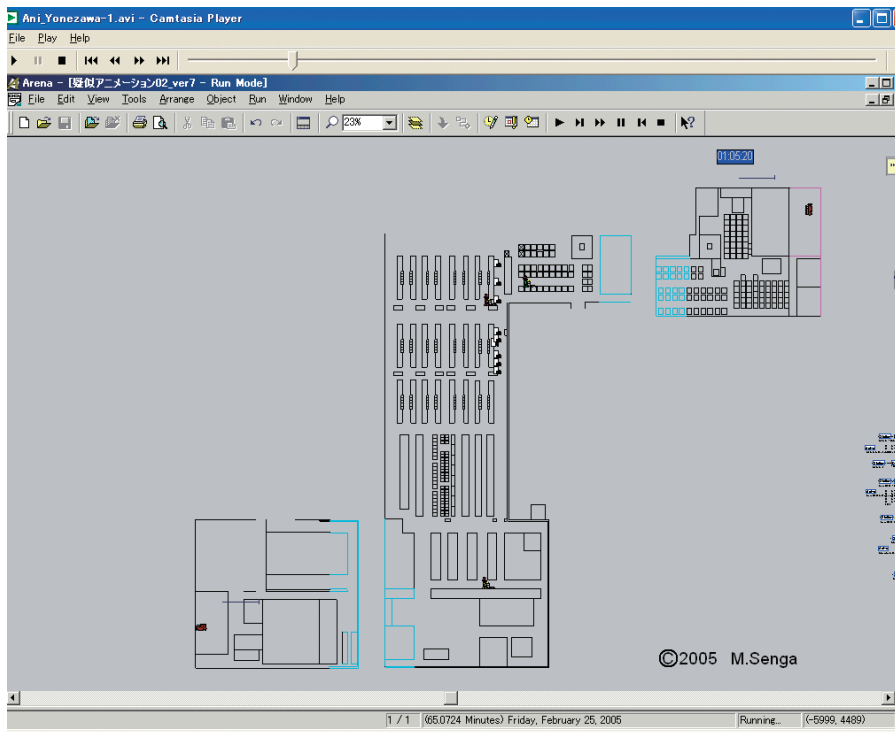


図4 ジャストインタイム生産システム

4. 救急救命センター（総合病院）⁶⁾

岐阜県立岐阜病院は病棟の建替え工事を予定しており、それに伴って、特に救急救命センターを対象として、新しいレイアウト案について検討を行った。患者は救急車で搬送されてくるか、あるいは併設されている一般病棟から到着する。その後、診察、検査、処置・手術など、疾患により適切な措置がとられる。ここでは、現行の救急救命センターについて、患者に関するデータを分析して、新病棟におけるシミュレーション分析を行った。特に、昼間・夜間、平日・週末、の各時間帯について、患者数の分析を通して、医師、看護師、検査技師、などの職員の勤務体制について、分析を行い、提言を行った。

6) Takakuwa, S. and H. Shiozaki, 2004. Functional analysis for operating emergency department of a general hospital. In *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2003-2011*. Available online via <<http://www.informs-sim.org/wsc04papers/268.pdf>>

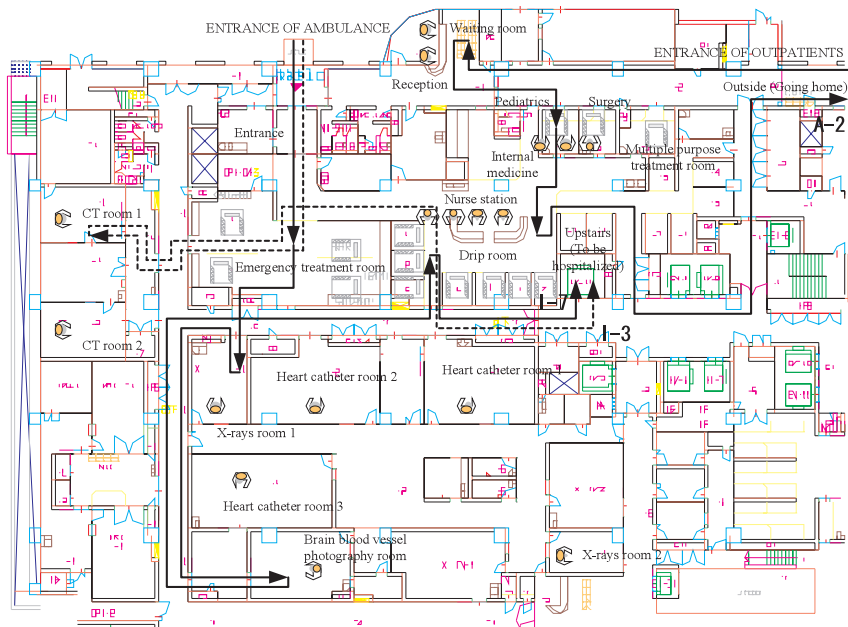


図5 総合病院内の救急救命センター

5. 総合病院ならびに名大病院の外来病棟・内科診療^{7,8)}

内科の外来診察病棟を対象にして、患者の予約方法ならびに患者数が、内科診察・検査の待ち時間に及ぼす影響について検討した。特に、再診患者の再診予約の方法について、これまで採用されている方法について、各種パフォーマンスの評価の観点から、詳細に分析した。はじめに、岐阜県立多治見病院を対象にして、シミュレーション分析を行った。続いて、名大病院の内科外来についても、特に医師の勤務体制等について考慮して分析を行った。

7) Wijewickrama, A. and S. Takakuwa. 2005. Simulation analysis of appointment scheduling in an outpatient department of internal medicine. In *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 2264-2273. Available online via <<http://www.informs-sim.org/wsc05papers/284.pdf>>

8) Wijewickrama, A. and S. Takakuwa. 2006. Simulation analysis of an outpatient department of internal medicine in a university hospital. In *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, 425-432. Available online via <<http://www.informs-sim.org/wsc06papers/050.pdf>>

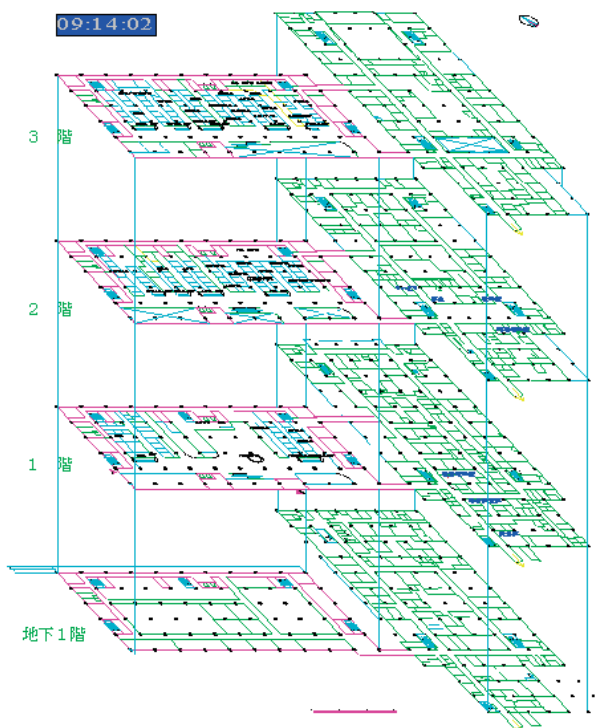


図6 名大病院の外来病棟

6. 大規模な輸送・在庫管理システム⁹⁻¹¹⁾

トラックによる輸送システムについて、いくつかの企業を対象にして分析を行った。工場では、日用品（洗剤、シャンプー、など）を生産しており、各地の流通センターへ輸送している。流通センターでは、製品の在庫管理を行っており、在庫状況に応じて、工場に対して輸送依頼を行っている。他方、工場では、流通センターからの要請を受けて、大型トラックに製品を積載して目的地である流通センターへ輸送する。シミュレーションによって、在庫状況の変動の様子、トラック輸送の発着時刻・積載内容が出力され、適正なトラックのサイズと台数について、検討できるようなモデルになっている。台湾の日系企業では、工場は台北市にあり、流通センターは6箇所ある輸送システムについて検討した。また、中国の日系企業では、工場は青島市にあり、流通セ

- 9) Takakuwa, S., and T. Fujii. 1999. A practical module-based simulation model for transshipment-inventory systems. In *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1324-1332. Available online via <<http://www.informs-sim.org/wsc99papers/194.pdf>>.
- 10) Miwa, K , and S. Takakuwa 2005. Flexible module-based modeling and analysis for large-scale transportation-inventory systems. In *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 1750-1758. Available online via <<http://www.informs-sim.org/wsc05papers/216.pdf>>.
- 11) Wang, X. and S. Takakuwa. 2006. Module-based modeling of production-distribution systems considering shipment consolidation. In *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, 425-432. Available online via <<http://www.informs-sim.org/wsc06papers/187.pdf>>

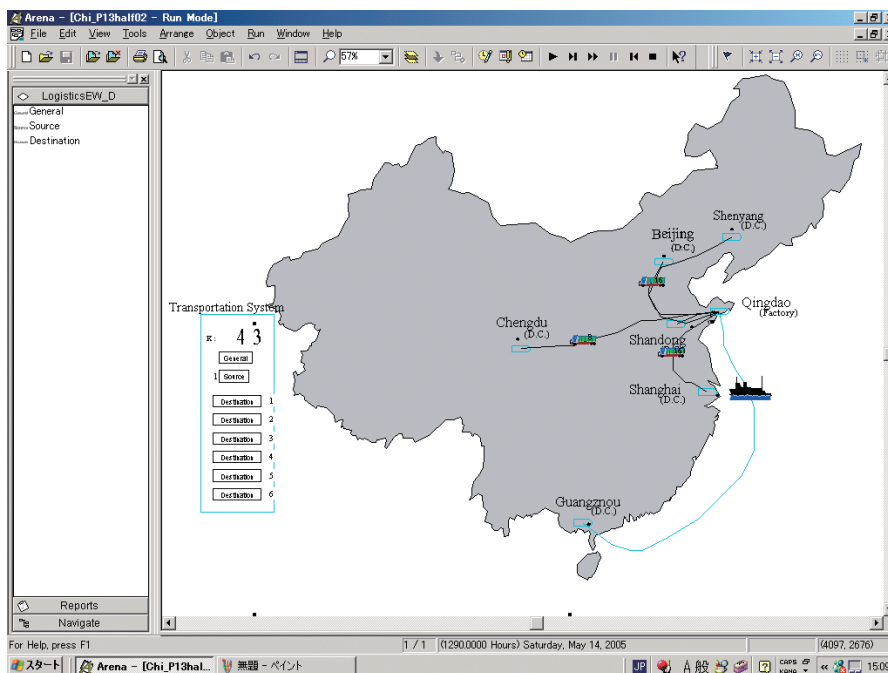


図7 大規模な輸送・在庫管理システム

ンターは6箇所ある。さらに、流通センターにおける在庫管理方式を特定して、モジュールを構築し、シミュレーションモデル構築を容易にすることができた。

7. コールセンター¹²⁾

東邦ガス(株)は、これまで利用者からの電話による問合せを各営業所、支社などで行ってきたが、これらをすべてコールセンターで一括して受けることにより、サービスの向上と効率的な対応を行うことにした。各地の営業所・支社へかかってきた電話はコールセンターへ自動転送され、120名ほどのオペレータにより対応される。ここで、月、週、時刻別の1日当りコール数を調査し、一定のサービスレベルを維持しながら、最適なオペレータの勤務体制について検討を行い、種々の提案を行った。

12) Takakuwa, S. and T. Okada. 2005. Simulation analysis of inbound call center of a city-gas company. In *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, 2026-2033*. Available online via <<http://www.informs-sim.org/wsc05papers/252.pdf>>

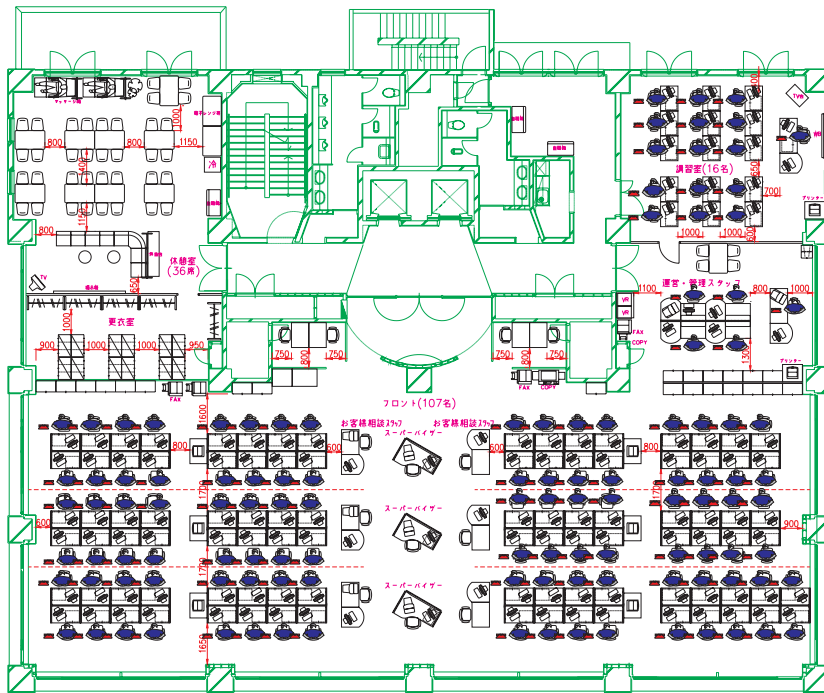


図8 コールセンター

VI. おわりに

前項で述べた各システムの他にも、研究室では、これまでさまざまなシステムについて、シミュレーションモデルを構築し、分析を行ってきた。例えば、大型店舗や総合病院の大規模駐車場、自動生産システムなどの工場の生産システム、立体自動倉庫・無人搬送車によるハンドリングシステム、各種コンベヤ搬送システム、コンビニエンスストア店舗、情報システムを対象としたビジネスプロセス、などについてもシミュレーション分析を行ってきた。これらについては、研究室のウェブサイト (<http://www.stlab.soec.nagoya-u.ac.jp/>) を参照いただきたい。米国と比べて、システムシミュレーションに対する重要性の認識と活用のレベルはかなり差があるのが現状である。本稿が読者諸賢のいささかの参考になれば欣幸である。

(たかくわ そうえもん：名古屋大学大学院経済学研究科産業経営システム専攻)