

# DXを加速するシミュレーション技術

株式会社 NTT データ数理システム しまだ よしあき  
嶋田 佳明

## はじめに

当社株式会社NTTデータ数理システムは「数理学とコンピュータサイエンスにより現実世界の問題を解決する」をミッションとして1982年に創業し、長年、科学技術の発達や産業の合理化、社会課題の解決に貢献してきました。創業当時は半導体設計におけるシミュレータ開発や、科学技術計算全般のソフトウェアの開発をしてきました。2000年代前後からは、数理科学を軸としたパッケージソフトウェア事業が中核を担っています。当社がこれまでに開発したパッケージソフトウェアは多岐に渡ります。1995年に汎用数理計画パッケージNUOPT（現：Nuorium Optimizer）をリリースしたのを皮切りに、2000年代には汎用データマイニングツールであるVisual Mining Studio（現：Alkano）やペイジアンネットワーク構築支援システムBAYONET（現：BayoLinkS）、テキストマイニングツールText Mining Studio、汎用シミュレーションシステムS<sup>3</sup> Simulation System（現：S<sup>4</sup> Simulation System）を開発・販売してきました。当社はパッケージソフトウェアの開発・販売だけではなく、受託開発、データ分析、機械学習などのコンサルティング、AIシステム開発なども請け負っています。本稿では、前半に製造業におけるDX、後半に都市のDXをテーマに、当社が保持する技術の中からシミュレーション技術をピックアップして、シミュレーション技術の役割や活用事例について紹介します。

## シミュレーションとは

シミュレーションは、現実世界をモデル化（簡略化）して、コンピュータ上でモデルを実行することで、元の現実世界がどのように振る舞うかを分析・予測する問題解決手法です。製造業、サプライチェーン、コールセンター、ヘルスケアにおけるビジネス課題から、人流、感染症の伝搬といった社会現象まで幅広く適用できる手法です。シミュレーション手法は、古くからある手法ですが、昨今コンピュータの性能が著しく向上したことと、実際

のデータを取得し、活用できるようになったことで、より現実に近いシミュレーションが可能になり、企業経営の意思決定の手段としても注目されています。

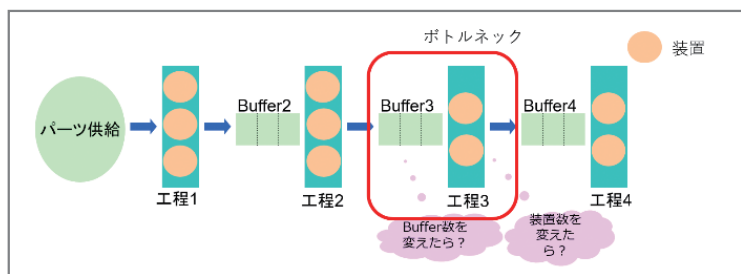
今、あらゆる業種業態でDXが進められています。DXとはデジタルトランスフォーメーションのことで、AIやIoTなどのデジタル技術を使って、製品やサービス、ビジネスモデルを変革することで、競争上の優位性を確立することです。シミュレーションは、このようなDXを推進するための手段の一つです。

## 製造業DXにおけるシミュレーションの役割

日本はものづくり大国と呼ばれ、製造業が長年日本経済を支えてきました。近年のものづくりの現場における課題として、消費者の多様なニーズに合わせた多品種少量生産があげられます。多品種少量生産では、消費者のニーズに合わせて、似たような製品を少量ずつ製造することです。商品の仕様が変更することによる生産ラインの変更や、調達する原料コストの増加や、生産性の低下が課題です。また、製造現場では、人材不足や、技術継承、作業の属人化も課題となっています。DXを推進し、これらの課題を解決することで、現場の生産性を高めることは、これからの企業経営において大変重要です。そこで、ここでは、シミュレーション技術が製造業のDX推進にどのように役立つかを紹介していきます。

## 製造ラインシミュレーション

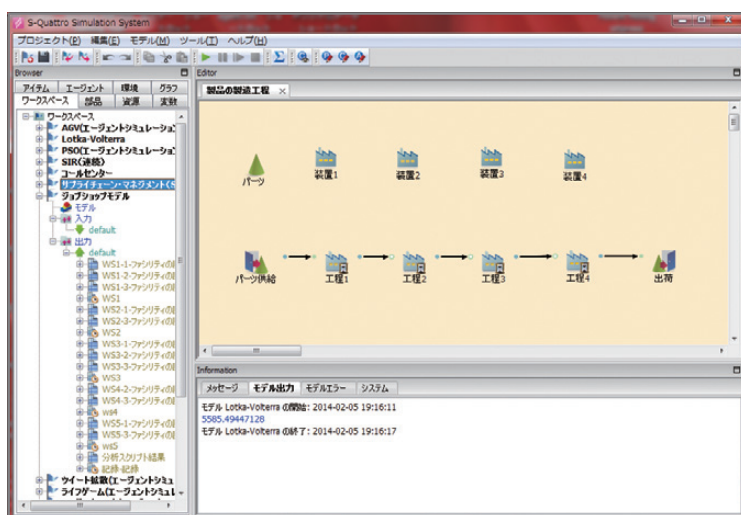
製品の生産プロセスは多くの工程に分けられています。半導体のような複雑な工程に分けられる場合、その工程数は600にも及びます。工程の中に、作業効率が高く時間がかかる工程や、不良品が発生しやすい工程が含まれていると、全体の生産工程に影響します。製造工程を可視化し、現場の受注実績や生産計画、機械の稼働実績、現場技術者のノウハウを数値化して、シミュレーションモデルを構築（モデル化）することで、このような問題の解決を図ります【図1】。



【図1】製造ラインのシミュレーションモデル



【図2】生産性向上のイメージ



【図3】S4 Simulation System

モデル化された製造ラインでシミュレーションを行うと、製品の生産個数や機械の稼働率、在庫の推移などがコンピュータ上で手にとるようにわかります。現状の生産ラインの能力を可視化、分析することで、ボトルネックとなっている工程や無駄を発見します。現状を分析できたら、次はそれを解消するための施策の効果を定量的に検証します。例えば、在庫置き場を増やす（減らす）、機械を増設する（減らす）、作業員を増やす（減らす）、といった施策を打ったときの生産個数やコストをシミュレーションし、最適な施策を導いていきます。

## 生産計画シミュレーション

製造ライン以外にも、製品の生産性に影響を与える要因として、生産計画があげられます。生産計画とは、

どの製品をいつ、どれだけ製造するかを計画したものです。製品を製造するには、機械や作業員のような生産資源を使います。機械や作業員が潤沢であれば、生産性は向上しますが、工場の機械や作業員の数には限りがありますので、生産資源の使用が競合し、うまく計画しないと待ち時間が発生して効率が悪くなります。また、多品種少量生産では、複数の種類の製品を同じ製造ラインで製造します。この場合は、機械に対して、製品の仕様を変更するための段取り替えという作業が発生します。段取り替えを行っている最中は、他の製品を生産できず、待ち時間が発生します。段取り替えには丸一日かかるようなこともありますので、効率の悪い生産計画の場合、同じ期間でも作れる量の数が劇的に減ってしまうのです。

シミュレーションで、このような生産計画のムリ、無駄を発見することが出来れば、現場の生産性を飛躍的に向上させることができます【図2】。

## 製造業DXを支えるソフトウェア

ここまで紹介してきたようなシミュレーションを行うには、製造ラインをコンピュータ上で再現し、実行する必要があります。それには、一からプログラミングする方法もありますが、時間がかかりますし、製造現場の担当者は、ITのプロフェッショナルではありません。そこで、当社のS4 Simulation Systemのようなシミュレータを活用します【図3】。

S4 Simulation Systemには、GUIが付属している為、プログラミング経験がなくても、製造ラインのシミュレーションモデルの構築や分析を手軽に行うことができます。製造ラインシミュレーションでは、工場の生産ラインの構成要素となる機械、作業員、工程に対応する部品をマウス操作で配置します。次に工程間を連結し、製品の流れを表現します。最後に、各部品の設定画面で、加工時間や作業員の人数などのシミュレーションの条件を設定していきます。

## ファクトリーオートメーション

近年ファクトリーオートメーションという言葉をや

く聞くようになりました。ファクトリーオートメーションとは工場の自動化のことで、これまで現場の作業員が行っていた作業を自動化することを言います。自動化の対象は、自動倉庫、AGVや製造機械の制御、運転計画、品質管理、故障予知、画像認識による不良品判別、生産計画の自動作成まで様々あります。これを支える技術として、機械学習、数理最適化の技術があります。ここでは、生産計画の自動化にシミュレーションと強化学習を使った事例を紹介します。

強化学習とは機械学習手法の一つです。有名な応用例として、囲碁の対戦相手のAIがあります。囲碁では、次の一手を考える際に、現在の盤面の状況から最善の一手を過去の経験から導く必要があります。AIも強くなるためには、訓練時に様々な盤面の状況で、どの一手が上手いのかを試行錯誤し、学習する必要があります。より強くなるためには、大量のパターンを学習させる必要がありますので、実際に棋士と対戦させることは現実的ではありません。そこで、シミュレーションで大量のパターンのデータを生成し、学習を効率的に行わせます。このように、シミュレーションと強化学習は非常に相性のいい組み合わせといえます。

生産工程の場合には、シミュレータ上には盤面ではなく、工場の製造ラインを構築します。このシミュレータ上で、さまざまな生産計画を試行錯誤して、納期遅れがなく、生産にかかる時間（リードタイム）が短い、効率のいい生産計画の立案方法を強化学習で学習していきます。生産計画は、これまで熟練者が勘と経験をもとに立てている現場が多いと言われています。熟練者の技術継承や属人化が課題になっている今、熟練者以上の効率のいい生産計画を立てることが出来れば、競合他社に対する優位性を確保できます。

## シミュレーション技術の サプライチェーンへの応用

サプライチェーンとは、部品の調達、製造、物流、販売まで、消費者に製品を届けるまでの一連の流れです。

これまでの、特に製造現場についての話をしてきましたが、このようなサプライチェーン全体をDXで効率化、最適化することが求められています。

例えば、精度のいい需要予測、在庫切れや在庫を持ちすぎないようにするための最適な在庫管理、トラックやコンテナへの最適な積み付け、配送ルート of 最適化、倉庫内でのピッキング作業の効率化など、サプラ

イチェーンの最適化に関係する課題は数多くあります。

## 倉庫内作業シミュレーション

ここでは、倉庫内作業におけるシミュレーション活用について紹介します。ネットショッピングの需要は年々高まっており、コロナ禍でより一層、拍車がかかりました。ネットショッピングで注文すると、その情報が近くの物流倉庫に行き、物流倉庫での出荷作業を経て、品物が自宅に届けられます。

このような物流倉庫での出荷作業の中に、ピッキングと呼ばれる作業があります。ピッキング作業は倉庫の保管棚から商品をピックアップして、梱包する作業です。商品の種類が多様化し、ネットショッピングの事業者も数多く出てきたことで、このような物流倉庫内でのピッキング作業の効率化は大変重要です。ピッキング作業を効率化するには、品物を保管棚から正確に、よりスピーディーにピッキングする必要があります。これを実現するには、ピッキング作業員にどの品物を割り当て、それらをどの順番でピッキングするよう指示を与えるかがポイントとなります。効率のいいピッキング順番は、最短経路が基本となりますが、人気商品の棚では、待ち時間が発生します。また、棚のレイアウトが悪いと、作業員同士のすれ違いによる混雑も発生します。このような作業員同士の相互作用も考慮するには、エージェントシミュレーションを活用します。

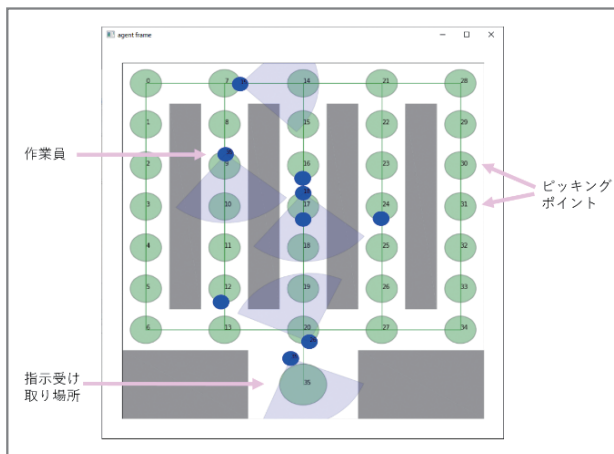
シミュレーションの代表的な手法に、エージェントシミュレーションと言われる手法があります。エージェントシミュレーションでは、自律的に行動するエージェントに行動ルールやエージェント間の相互作用をプログラムしておきます。シミュレーションでは、それぞれのエージェントを同じ場所（環境）で行動させることで起こる複雑な現象を分析します。倉庫内シミュレーションでは、エージェントを作業員とし、作業員のピッキング作業をモデル化し、作業員間のすれ違いや、待ちによる混雑現象を分析します【図4】。

分析では、保管棚のレイアウトや棚割り、作業員のピッキング順序を変えたりすることで、作業員が作業を完了するまでの時間を評価し、最適な方法を選び出します。

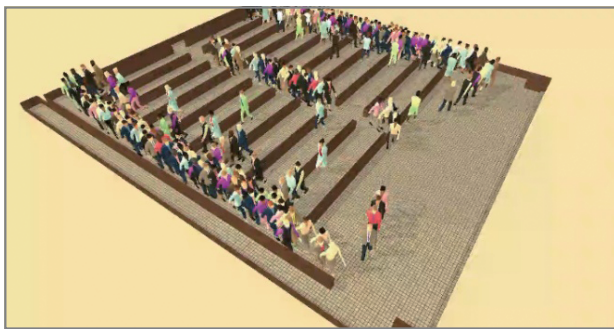
## 都市のDX

ここからは話題がガラリと変わって、皆さまにも身





【図4】倉庫内シミュレーション



【図5】避難シミュレーション



【図6】イベント後の帰宅シミュレーション

近に感じられる都市のDXについて紹介します。現代の都市は様々な課題を抱えています。その一つとして、都市部への人口集中によって起こる問題が挙げられます。大都市で地震が発生すると、電車がストップし、帰宅困難者が何十万、何百万というレベルで発生します。イベント会場や施設における混雑は、事故を招く

ほか、コロナ禍においては感染拡大につながります。また、都心部の交通渋滞もより一層激しさを増す中、近年では2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、CO2を削減するための取り組みが求められています。

都市に人口が集中する一方で、地域における問題も加速しています。過疎化が進んでいる地域では、移動手段として車が必須であるにもかかわらず、誰もが車を運転できるわけではありません。また、電車やバスの廃線によって、交通弱者と呼ばれる方々が出てきています。このような方々には、行きたいときに行きたいところにいけるような手段を提供する必要があります。

都市のDXの一つとも言える、スマートシティ化は、都市が抱えるこのような課題を解決するために重要な手段となっています。IoTやAI、ロボット技術、ICTなどを駆使し、都市をスマートシティ化することは、地域のサービス効率化や新たな価値の創造につながります。ここからは、スマートシティ化を実現する上で、シミュレーションが活用できるシーンをいくつか紹介していきたいと思います。

## 避難シミュレーション

様々なシミュレーションの中で、人流シミュレーションと呼ばれる分野があります。人流シミュレーションは、倉庫内シミュレーションで紹介したエージェントシミュレーションがベースとなります。倉庫内シミュレーションでは、作業員が倉庫内で行動することで起こる現象を分析しますが、人流シミュレーションでは、人が施設や道路を移動する事によって起こる混雑現象を分析します。

例えば、公共ホールでイベント開催中に火災が起こった場合、イベント参加者がスムーズに避難できるかどうかは、設計段階で考えておかなければなりません。そこで、コンピュータ上で実際のイベント参加者の人の動きをシミュレーションし、避難出口の数や大きさ、位置が適切かどうかを検証します【図5】。

対象が施設ではなく、道路の場合は大規模なシミュレーションになります。例えば、野球が終わった後の帰宅シミュレーションでは、一斉にスタジアムから何万人という観客が出てくることで起こる混雑をシミュレーションします。シミュレーションで、予め混雑する道路が予測できれば、スムーズに観客を誘導でき、事故を未然に防止するような警備計画をたてることができます【図6】。

## オンデマンド型交通における需給マッチング

スマートシティを実現するための手段に、次世代の交通モビリティサービスであるMaaSがあります。MaaSとは、バス、電車、タクシー、ライドシェア、シェアサイクルなどがIT技術によって、シームレスにつながってできる交通網のことです。MaaSが広まれば、誰でもいつでも行きたいところに行く事ができるようになります。

MaaSの一つに、オンデマンド型交通があります。オンデマンド型交通とは、利用者が事前に予約し、予約した時刻にお客を迎えに来るタイプのものです。また、バスのように複数人を同時に運ぶタイプのものもあります。ただし、このようなオンデマンド型交通の場合は、予め事前に需要と供給のバランスをシミュレーションで検証しておき、合理的な車の台数を計算しておく必要があります【図7】。

シミュレーションでは、実際の地域で想定される需要を発生させ、オンデマンド型の車両を走らせます。需要に対して供給が過剰になっていないかを見極め、適切な供給量はどの程度になるかを見積もります。また、どの利用者と車両をマッチングさせると効率がいいかといったシミュレーションも重要な検討要素の一つです。

## シェアサイクルの最適配置

最近都市部で、シェアサイクルと呼ばれるサービスをよく見かけるようになりました。シェアサイクルは、借りた場所と異なる場所に返却ができる乗り捨て型のレンタル自転車です。自転車の貸出しや返却はポートと呼ばれる拠点で行われます。シェアサイクルの課題は、借りたいときに自転車がない、返したいポートのラックがいっぱいで返せない、といったように各ポートの自転車台数に偏りが起こることです。この課題を解決するために、トラックに自転車を積んで運搬し、偏りを解消しているという現実があります。シミュレーションを活用すれば、適切なポートの位置やラック数、自転車の配置数を最適化することができます。

シミュレーションに必要なデータには、1)利用者の到着頻度(各時刻に何人が利用するのか)、2)ポートのODペア数(どのポートで自転車を借り、どのポートで貸しているのか)、3.)自転車の利用時間(利用者が何分自転車を利用しているのか)、4.)各ポートラック数、5.)営業開始時の各ポートの自転車台数を用います。

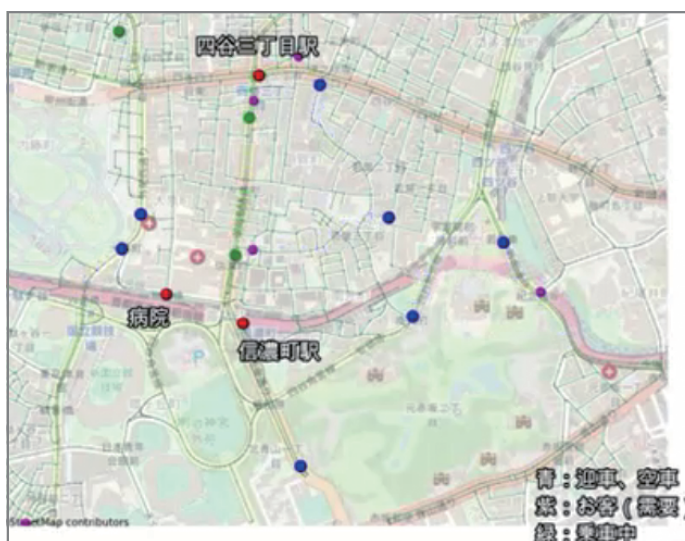
シミュレーションでは、このようなデータを入力し、実際に各ポートで需要を発生させ、自転車の貸出し、移動、返却をシミュレーションし、最適なラック数と自転車の初期配置台数を割り出します。

また、最近ではリアルタイムに各ポートの自転車台数のデータが管理されています。ポートの自転車台数に偏りが出ないように、スマートフォンのアプリで利用者におすすめの返却場所を通知し、それに応じた利用者クーポンを渡すようなサービスも考えられます。このような利用者の行動変容による効果をシミュレーションで検証することも可能です。

## おわりに

前半は主に製造業DXにシミュレーション技術を活用した例を中心に紹介しました。日本は長年ものづくり大国と呼ばれ製造業が日本経済を支えてきました。これからは、DXがより重要となってきます。DXがあらたなブレークスルーとなって、製造業の新しい未来を切り開くことが期待されます。

後半は都市のDXをテーマに様々な課題やシミュレーションの活用例を紹介してきました。都市を構成するものには、人、モビリティ、道路ネットワーク様々ありますが、これらをモデル化し、課題を解決するための施策をシミュレーションで検証できることは大きなメリットです。5Gやデジタルツイン技術は、リアルタイムに取れた都市の様々なデータをシミュレーションに活用し、都市をリアルタイム制御することが出来るようになります。このような技術によって、今後、より多くの社会課題を解決できる事が期待されます。



【図7】 オンデマンド型交通シミュレーション