

# 生産シミュレーション技術の健診サービスへの適用

Application of Production Simulation Technology to Medical Examination Services

杉山 尚美      名富 知      手島 文彰

■ SUGIYAMA Naomi      ■ NATOMI Tomo      ■ TESHIMA Fumiaki

東芝グループが注力事業領域の一つと位置づけているヘルスケア事業は、従来の“診断・治療”を中心に“予防”、“予後・介護”、及び“健康増進”までを含めたトータルソリューションの提供を目指しており、診断・治療用機器などの“モノ”から、それから生まれる“こと”を真の価値と捉えた“モノ+こと”へとシフトして、新しい付加価値を創出することに取り組んでいる。

今回、予防領域では、人間ドックや定期健診などの検査待ち時間を短縮することを目的に、これまでモノづくりの生産設計や業務改善に活用してきた生産シミュレーション技術を適用して、次検査を決定する健診順路の適正化手法を構築した。健診施設の健診実績データを用いてその有効性と、生産ラインにおける課題解決ノウハウのサービス分野への活用可能性を確認した。

Toshiba is making efforts to create new business value in the healthcare field by not only supplying products but also providing enhanced user experiences, with the aim of offering total solutions in a broad range of spheres including preventive medicine, prognosis/nursing care, and health promotion in addition to the various types of medical systems that it is already providing for diagnosis and treatment.

In the field of preventive medicine, we have now applied a production simulation technology used for production design and work efficiency improvement to medical examination services such as comprehensive medical examinations and periodic health examinations, in order to reduce the waiting time of examinees in medical examination facilities. We have established examination route management methods to reduce the waiting time of examinees by leveling workloads in bottlenecked inspection areas, and confirmed the effectiveness of these methods through the results of simulation tests using actual data.

## 1 まえがき

世界の人口増加と、先進国を中心とした少子高齢化を背景に、東芝グループの注力事業領域の一つであるヘルスケア事業は、従来の“診断・治療”だけでなく、“予防”、“予後・介護”、及び“健康増進”を含むトータルソリューションの提供を目指している。また、“モノ”としての製品やサービス単体のビジネスから、体験的価値や満足感など新たな付加価値としての“こと”を提供するビジネスへの展開を推進している。

予防領域での“こと”の提供として、医療機関における受診者へのサービス改善、特に検査待ち時間の削減がある。サービス窓口での待ち時間は、待ち行列問題として経営工学分野で扱われている。しかし、健診施設のように連続的に複数サービスを受ける場合は、一般的な数理モデルで表現できないため、健診ルートや、検査時間、窓口到着の分布などを仮想的に設定できるシミュレーションによる評価が適している。

そこで東芝は、人間ドックや定期健診などのサービス向上として待ち時間を削減することを目的に、従来、工場の生産設計やリードタイム短縮などの現場改善に活用されてきた生産シミュレーションを適用して、次検査を決定する健診順路の適正化手法を構築した。この手法は、受診者の検査待ち状況を分析し予測して健診順路を適正化することで、待ち時間を削減できる。

## 2 生産シミュレーションの概要

### 2.1 シミュレーションの活用

国内や海外における消費者ニーズの多様化と、製品のライフサイクルの短期化に対応するため、当社は生産技術力の強化を図ってきた。

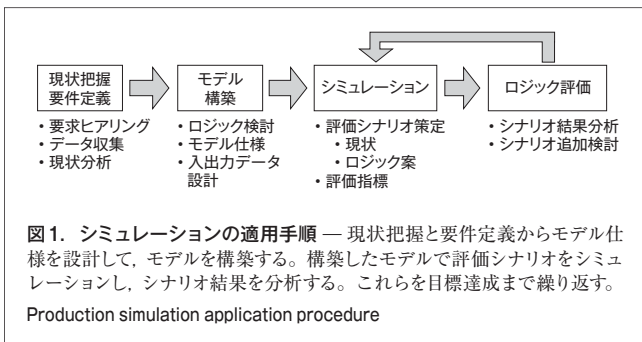
生産シミュレーションとは、工程と設備や作業者などの能力を入力し、投入されたワークの工程進捗を計算するシミュレーションソフトウェアで、高効率な生産ラインの構築に活用している。例えば、海外拠点の立上げでは3D(3次元)CADデータを活用し、製品設計段階から工程設計、レイアウト設計、生産能力評価までをシミュレーションツールで一貫して行うことは、ライン立上げ後のロス削減に有効である<sup>(1)</sup>。一方、半導体の前工程では数百工程を数千台の装置を使い、同じ装置で異なる工程を繰り返し処理するリエントラントな生産が特徴で、ワーク投入や工程着工制御の適正化にシミュレーションツールは必須である<sup>(2)</sup>。

このように、生産シミュレーションは仮想ラインを用いて作業者や設備の配置、モノの流し方、ボトルネックの解消など、生産ラインや工場に関わる様々な課題解決に役だっている。

### 2.2 シミュレーションの適用手順

シミュレーションの適用手順を図1に示し、以下に述べる。

- (1) 現状把握と要件定義      現状と課題をヒアリングし、実際のデータで現状能力やボトルネックを確認する。ここ



では、対象モデルの要件や目標値を設定し、必要なデータの収集を行う。

- (2) **モデル構築** シミュレーションの制御ロジック、及びモデル詳細仕様の設計を経て、モデルを構築する。
  - (3) **シミュレーション** 目標達成に向けた評価シナリオを描き、構築したモデルでシナリオのシミュレーションを実施する。
  - (4) **ロジック評価** シミュレーション結果を分析する。
- これらの手順を繰り返しながら、目標達成の解を得る。

### 2.3 生産ラインと健診施設の違い

シミュレーションを適用するため、健診施設での受診者の流れを決定するルールが必要である。そこで、モノを対象とした生産ラインと人を対象とした健診施設について、待ち行列からの選択と次の行き先を決定するルールを比較した(表1)。

生産ラインでは投入したワークを決められた工程順で処理していく。健診施設を生産ライン形態に当てはめると、流れ作業のフローラインではなく、類似機能の設備をグループ配置しワークが設備を行き来するジョブショップと考えることができる。生産ラインのジョブショップの場合、工程前の仕掛りから着工序列を決める選択ルールと次工程設備の決定ルールがあり、目的に応じて選択している。

一方、健診施設の場合、対象は人であり、検査項目は決まっ

表1. 生産ラインと健診施設のルールの違い

Differences in control rules of production line and medical examination facility

項目	生産ライン	健診施設
対象	ワーク(モノ)	人
対象の流れ	工程順は固定	検査順は変更可能
狙い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生産性向上</li> <li>・納期遵守</li> <li>・仕掛り削減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・健診時間短縮</li> <li>・CS向上</li> <li>・受入れ者数増加</li> </ul>
待ち行列の選択ルール	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワークの選択</li> <li>・FIFO: First In First Out (先入れ先出し)</li> <li>・EDD: Earliest Due Date (納期が早い)</li> <li>・SPT: Shortest Processing Time (処理時間が短い) など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人の選択</li> <li>・並び順 (FIFO)</li> </ul>
行き先の決定ルール	<ul style="list-style-type: none"> <li>次設備の決定</li> <li>・設備のワーク待ち時間</li> <li>・設備稼働率</li> <li>・処理可能な工程数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>次検査の決定</li> <li>・固定</li> <li>・施設のスタッフのスキル</li> </ul>

\* CS: 顧客満足

ているが検査順は特定の検査間で制約を守れば誘導次第で変更可能である。しかし、待ち行列の中では基本的に並んだ順で検査する。

このように健診施設はルールの中身が生産ラインと異なるため、生産シミュレーションを健診施設へ適用するにあたっては新たにルールを作り出す必要がある。

## 3 健診サービスへの生産シミュレーションの適用

### 3.1 現状把握と要件定義

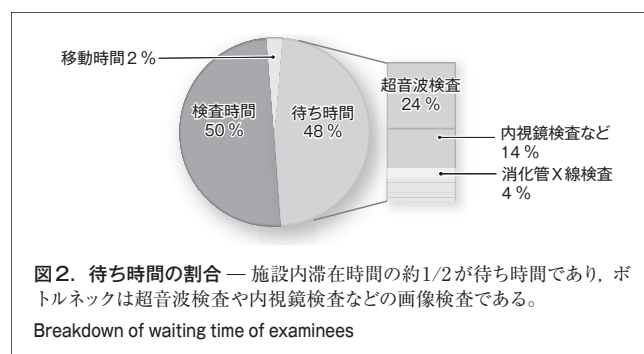
現状の課題として、検査待ち時間の問題が挙げられる。ある健診施設では、受診者が施設内に滞在する時間のうち48%は待ち時間が占めており、特に超音波検査や内視鏡検査など画像検査系の待ち時間が多かった(図2)。これは、検査項目により検査時間に大きな隔たりがあり、特に、超音波検査や内視鏡検査など画像検査の検査時間は他の検査に比べて圧倒的に長く、また複数の画像検査を実施することが多いため、画像検査に待ち行列ができやすいのが本質的な問題構造となっている。

### 3.2 モデル構築

構築するモデルでは、以下を定義した。

- (1) 受診者到着分布
- (2) 受診コース(検査項目)
- (3) 標準検査時間、標準検査準備時間
- (4) 検査間移動時間
- (5) 検査設備台数
- (6) 検査禁忌
- (7) 順路決定ロジック

- (a) 検査待ち時間を考慮したロジック1 次検査の候補リストから順路制約を加味したうえで、待ち時間が最小となる検査を選択する。待ち時間は、対象検査エリアの検査時間、待ち人数、設備台数、及び検査中受診者の残りの検査時間から算出する。このロジックは簡単ではあるが、施設内が混雑してボトルネックとなる検査(以下、ボトルネック検査と略記)にいったん待ち行列ができると、その検査は順路で後回しとなり、結局



はその後ボトルネック検査に受診者が集中して長時間の待ちが発生するリスクがある。

(b) 検査待ち時間とボトルネック検査の進捗を考慮したロジック2 ロジック1に、更に当日計画されているボトルネック検査の所要時間に対する進捗度を加味して次検査を決定するロジックである。待ち時間が最小でない状況であっても、ある程度の待ち行列を容認してボトルネック検査に誘導できることで、ボトルネック検査での長時間待ちというロジック1のリスクを減らすことができる。この際、最小待ち時間ではなくボトルネック検査をどのような状況まで優先すべきかという、最適条件は事前シミュレーションから設定しておく。このロジックは混雑する前にボトルネックとなる装置を有効活用できるが、受付時刻が集中すると、ロジック1と同様に受診者の集中は避けられない。

### 3.3 シミュレーション

シミュレーションデータは、1日当たり100人の受診者を受け入れる健診施設の検査エリアと、そこでの検査項目、設備台数、及び受診実績を用いる。

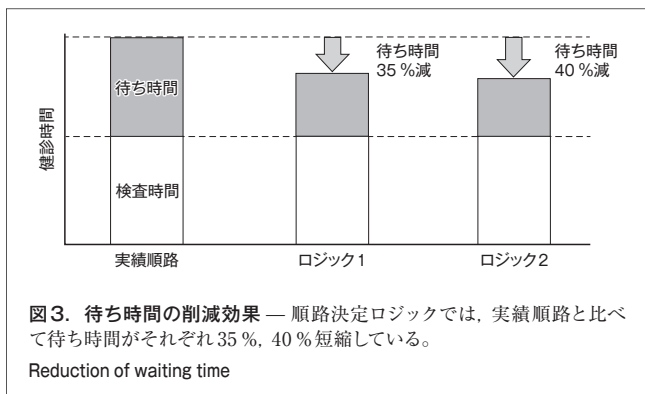
健診施設の健診実績データを用いて、次のシナリオで健診順路を評価する。最初に個々の受診者が実績の受付時刻に健診を開始して、実績どおりの順路で検査を受ける実績シミュレーションを実施する。次に順路決定ロジック案と比較してロジックの効果を見積もる。ロジック案としては、前述のロジック1とロジック2の二つとする。更に、受付時刻の平準化により、待ち時間削減のいっそうの効果が得られることを確認する。

### 3.4 ロジック評価

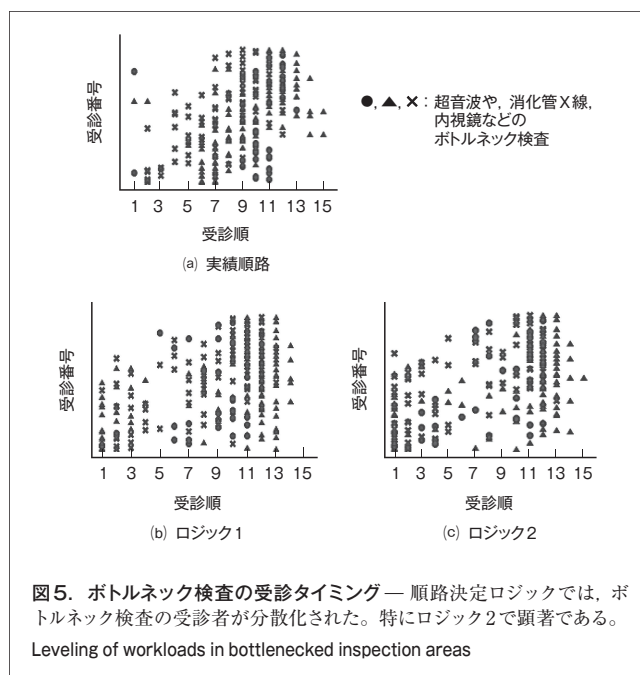
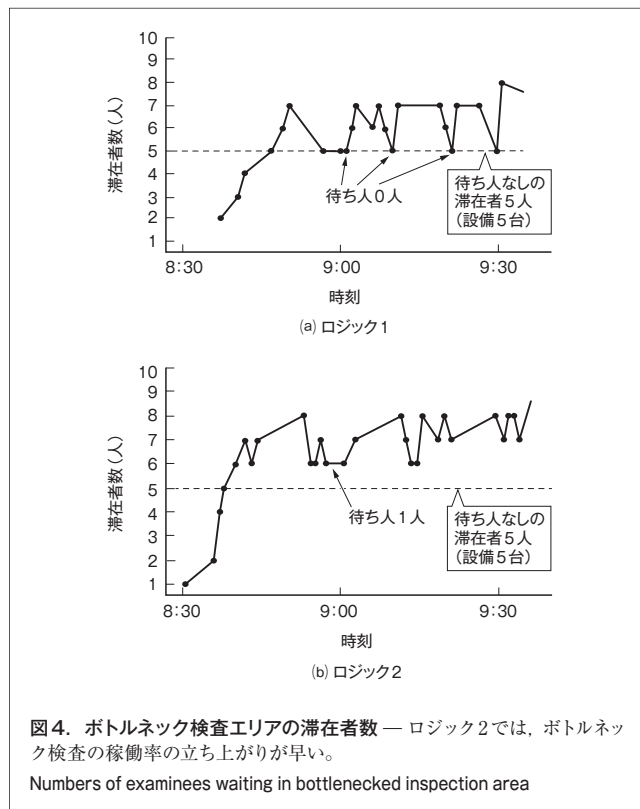
#### 3.4.1 実績順路と順路決定ロジックのシミュレーション結果

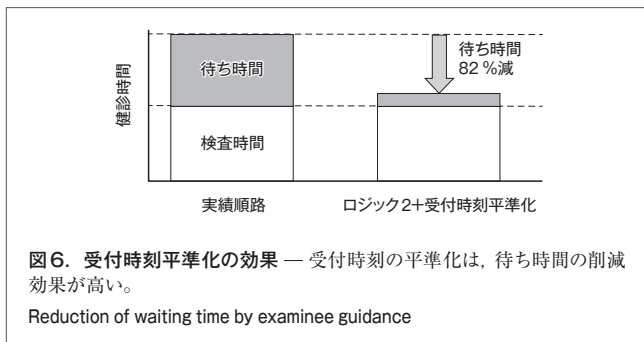
順路決定ロジックは、実績順路と比べて待ち時間をロジック1で35%、ロジック2で40%削減できる結果となり、検査待ち時間を考慮したこれらのロジックは待ち時間削減に有効であることを確認した(図3)。

ロジック2では、余裕のある時間帯に積極的にボトルネックの画像検査に受診者を誘導することで、検査が空くことなく稼働できたため待ち時間の削減につながった(図4)。



受診の健診順路は待ち状況に影響を与える。実際に受診者が健診順路の何番目にボトルネック検査を受診したかを分析した(図5)。ここでは図2に示した画像検査系の三つのボトルネック検査を対象にした。実績順路では、ボトルネック検査の受診は順路の半ばから後半に集中しており、早い段階に受診させることで待ちを分散できることがわかる(図5(a))。ロ





ジック1では健診順路に変化が生じてボトルネック検査は前半と後半に受診するケースが増え、負荷が分散されているがまだ後半には偏る傾向がある(図5(b))。ロジック2では狙いどおりボトルネック検査を前半に受診するケースが増え、ロジック1よりも負荷が分散され、トータルの待ち時間が減った(図5(c))。

**3.4.2 順路適正化と受付時刻平準化の効果** 生産ラインでは投入から完成までのリードタイムを短縮する施策に、ライン内の仕掛りを削減する方法がある。一方で、ラインの最大能力を保持するためにボトルネックとなる装置を空き状態にしないだけの仕掛りを工程前に持たせることも必要であり、二律背反の関係にある。前述の結果は実績の受付時刻を厳守したものであるため、施設内に入る受診者の波を制御することはできていない。これを制御するには、受診開始時刻の平準化が必要となる。

ロジック2に受付時刻平準化を組み合わせた場合のシミュレーション結果を図6に示す。この結果は、待ち時間を82%削減できており、健診時間の48%を占めていた待ち時間は15%まで低減している。順路適正化と受付時刻平準化を組み合わせると、待ち時間の大半を解消できる効果がある。

**3.4.3 ロバスト性検証** 実際の健診施設では、交通機関や受診者などによる外乱の影響や設備などの環境の変化で、受付時刻、検査間の移動時間、及び検査時間にばらつきが存在する。これらの不確定な変動に対する順路決定ロジックのロバスト性を、モンテカルロシミュレーションで評価した。

前述の三つ全てにばらつきを与えて繰り返し実行したシミュレーションでは、平均すると健診時間は1%、待ち時間は3.7%増加する結果となり、ばらつきによる大きな影響は見られない。しかし個別の結果では、ばらつきを与える前と比較して待ち時間は60~175%の範囲で分布した。個々の受診者の健診時間はばらつきによる影響は受けるが、実績順路のシミュレーション結果よりは待ち時間は短くなっており、ばらつきを考慮しても健診順路決定ロジックは有効であると考えられる。

## 4 あとがき

健診施設における受診者の待ち時間削減を目的に、健診

サービスをモデル化して生産シミュレーションを適用した結果、健診順路の適正化や受付時刻の平準化により、待ち時間を大幅に削減できるめどが得られた。これは受診者をボトルネック検査にバランスよく誘導する、つまり負荷を平準化することによって得られる効果であることが確かめられた。生産ラインでの工程設計やリードタイム削減のための施策が、サービス分野でも有効であることを示す結果である。また、健診順路の適正化はCS(顧客満足)向上の他、施設の業務効率の向上にもつながり、生産シミュレーションを用いることで施設の評価から運用の改善提案までできるようになる。

通常、健診時の順路はあらかじめ決まっており、施設のスタッフが混雑状況を見ながら受診者を誘導しているが、スタッフによる誘導は、経験に基づくノウハウに依存しており、必ずしも最適な誘導ができるとは限らない。施設側から見れば混雑している検査はわかっている、受診者をどう誘導すれば待ちを解消できるのかがわからないという悩みを抱えている。そこで、検査が完了した受診者に対して、健診システムが次検査を指示することで、新人や経験の少ないスタッフでも常に適切な誘導を行うことができるようになる。ここで、この生産シミュレーションを活用して定期的に順路決定ロジックの効果を検証することが可能である。

健診サービスの向上には、スタッフの教育や、検査エリアの混雑状況の可視化、受付時刻の細分化など、他にもいろいろな施策がある。生産シミュレーションを用いた健診順路の適正化は、ICT(情報通信技術)を活用した“こと”の提供における差別化技術として、今後健診システムへの組み込みを検討していく。

## 文献

- (1) 高田 淳 他. 生産エンジニアリングツールを活用したライン設計. 東芝レビュー. 67, 2, 2012, p.23-26.
- (2) 小竹正弘 他. 生産シミュレーション技術の製造ライン設計への適用と生産予測への応用. 東芝レビュー. 69, 9, 2014, p.8-11.



杉山 尚美 SUGIYAMA Naomi

生産技術統括部 生産技術センター 設計生産システム変革推進部主任研究員。モノづくりの仕組み構築及び生産シミュレーションの研究・開発に従事。技術士(経営工学部門)。Design & Manufacturing Innovation Dept.



名富 知 NATOMI Tomo

生産技術統括部 生産技術センター 設計生産システム変革推進部。モノづくりの仕組み構築及び生産シミュレーションの研究・開発に従事。Design & Manufacturing Innovation Dept.



手島 文彰 TESHIMA Fumiaki

ヘルスケア社 ヘルスケアIT推進部主幹。健診システムの設計・開発に従事。Healthcare IT Business Promotion Div.