

# 多段待ち行列モデルを用いた店舗サービスへの IT導入がもたらす影響の分析

宇都宮 陽一<sup>1,a)</sup> 奥田 隆史<sup>1,b)</sup>

概要：待ち行列の解消や人手不足の解消を目的に店舗でのサービスにスマートフォンなどによる事前注文システム (IT システム) の導入が増えている。IT システムの導入により注文・会計時の待ち時間は解消されるが、商品を受け取る段階でスムーズに受け取れないなどの問題が起きている。また、店舗側にも商品提供を行う担当者の負担が増えるなどの新たな課題が発生している。そこで、店舗でのサービスを注文会計と商品提供からなる多段待ち行列モデルと見なし、IT システムの導入に伴う影響に関しての評価を行う。

## Analysis of the Impact of IT Introduction to Store Services using Multi-stage Queuing Model

YOICHI UTSUNOMIYA<sup>1,a)</sup> TAKASHI OKUDA<sup>1,b)</sup>

### 1. はじめに

さまざま店舗サービスの中でもファストフード業界では客に対する待ち時間に敏感である。入店から会計カウンターで注文・会計するまでの待ち時間と注文・会計を済ませた後に商品提供カウンターで商品を受け取るまでの待ち時間は、顧客満足度に影響を与える重要な指標である [1][2]。そこで我々は、さまざまなファストフード業界の中のコーヒーショップなどに見られる形態の最適化に向けて解析を行った。その中で、一部の商品を会計カウンターで提供する形態の場合、会計カウンターで扱う商品を適切に調整することで全体の待ち時間を短くできることを確認した [3]。

最近ではスマートフォンが決済手段の1つとなり、店舗に行く前に注文と支払いを済ませることで“待ち時間ゼロ”が可能となってきている [4]。しかし、店舗ではそれらの注文に追い付くことが難しくなり、店舗内が混雑しボトルネックとなる状況が起きており、店舗内の混雑を敬遠した顧客が店を出てしまう状況となり売上を下げることになった

ている [5]。そこで本稿では、従来の店舗形態において、客の到着状況を変化させた場合や配置するスタッフの人数を変化させた場合などの特性解析 [6][7] を踏まえ、スマートフォンなどを使った IT システムによる会計カウンターを導入したことで生じる影響の分析を行う。

以降、第2節で関連研究と課題について述べる。第3節でサービスフローと検証モデルについて述べ、第4節でシミュレーション条件について述べ、第5節でシミュレーション結果および考察について述べる。最後に第6節でまとめおよび今後の課題について述べる。

### 2. 関連研究と課題

本節では、関連研究と課題について述べる。

#### 2.1 関連研究

コーヒーショップなどの場合は到着順でサービスの順番が回ってくるが、レストランでの空席待ちなどの場合、来店した人数や禁煙・喫煙、テラス席・室内席など客の要望と店舗側の状況によりサービスの順番が変わる場合がある [8]。飲食店に限らず実際のビジネスプロセスの中での待ち時間やサービス時間を知ることは重要であり、多段待ち行列モデルで各待ち行列間の最適化の研究は古くから行われてお

<sup>1</sup> 愛知県立大学大学院  
Aichi Prefectural University, 1522-3 Ibaragabasama,  
Nagakute-shi, Aichi, 480-1198, Japan

a) id141001@cis.aichi-pu.ac.jp

b) okuda@ist.aichi-pu.ac.jp

表 1 店舗スタッフの呼称と役割  
Table 1 Name and role of store staff.

| 呼称                        | 役割  |
|---------------------------|---|
| 注学会計<br>(Cashier Staff)   | 客からの注文を受け会計処理を行う。<br>注文内容を商品提供に伝達する。<br>提供が簡単な商品は提供することがある。 |
| 注学会計 (IT)<br>(IT Cashier) | 客からの注文を受け会計処理を行う。<br>注文内容を商品提供に伝達する。                        |
| 商品提供<br>(Barista Staff)   | 注文内容に応じた調理を行い商品を提供する。                                       |

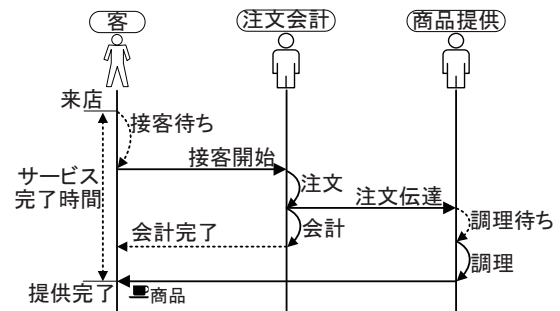


図 1 サービスフロー 1  
Fig. 1 Service Flow 1.

り [9], 実際のイベントログから推定する研究も行われている [10]. また, 製品等の生産計画におけるスケジューリングでは, 所要時間の他, 生産コスト, 納期など複数の条件を考慮した最適化の研究が行われている [11][12][13].

サービスの提供を待っている客に対し, 待ち時間に関する情報をどのように提供するかで顧客満足度がどのように変化するかの研究も行われている [14]. さらに, 新しい飲食店などの場合, 既存の店舗と異なるシステムで運営されていることがあり, 客側が不慣れであることが待ち時間の増加につながる可能性もある [15].

## 2.2 着目する課題

飲食店を含め多段待ち行列モデルに関する研究は行われているが, その一部に IT システムを含む形態での評価はあまり行われていない. IT システムの導入により客が注文する際の待ち時間は基本的になくなるが, その結果, 店舗内が混雑し売上が下がる事態になっている [5]. 本稿では IT システムを利用しない従来形態の特性および IT システムを利用する形態の特性をシミュレーションによって評価し, IT システムを導入する場合の影響を分析する.

## 3. サービスフローと検証モデル

本節では, まず店舗におけるサービスフローについて述べ, その後検証モデルについて述べる.

### 3.1 店舗におけるサービスフロー

検証モデルは来店する客と表 1 に示す店舗スタッフで構成されるものとする. また, 店舗における客と店舗スタッフ (あるいは IT システム) 間のやりとりで生じる状態などを本稿では次のように定義する.

- 来店: 客が実店舗に到着した時, あるいは IT システムにアクセスした時
- 接客待ち: 来店時に客がいるために接客を待たされる状態
- 接客開始: 注文のための接客が開始された時
- 注文: 商品の選択および注文内容を伝えている状態
- 会計: 注文内容に応じた会計処理を行っている状態
- 注文伝達: 注学会計から商品提供に対し注文内容を伝

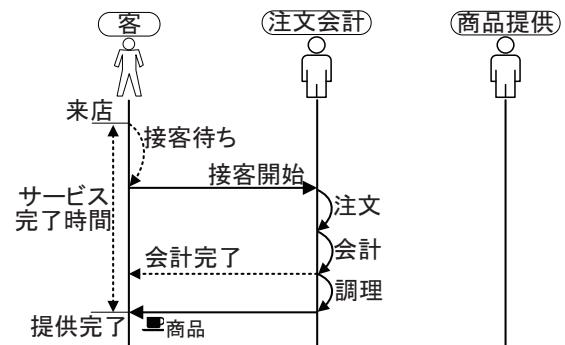


図 2 サービスフロー 2  
Fig. 2 Service Flow 2.

達した時

- 調理待ち: 注文伝達後, 他の商品を調理中であるために待たされる状態
  - 調理: 注文された商品を調理している状態
  - 提供完了: 調理が完了した商品を提供した時
- 店舗における客と店舗スタッフ (あるいは IT システム) 間のやりとりを, 前述の状態などを使って本稿では次のようなサービスフローとして定義する.
- サービスフロー 1: 注学会計で受けた注文を商品提供に伝達し商品を提供する流れ (図 1)
  - サービスフロー 2: 注学会計で商品の提供までを行う流れ (図 2)
  - サービスフロー 3: 注学会計 (IT) を使って注文を行い, 商品提供から商品を提供する流れ (図 3)(※注学会計 (IT) を使用するためのアプリ起動などの時間は考慮しないものとする)

なお, 注学会計が自ら商品の調理および提供を行うか否かを判断するための閾値を迅速メニュー閾値  $T_{rapid}$  とし, 注文された商品の調理時間が  $T_{rapid}$  未満であれば注学会計が自ら商品の調理および提供を行う.

### 3.2 検証モデル C1B1

検証モデル C1B1 は, 注学会計 1 名と商品提供 1 名から構成される. 図 4 にモデルを示す. 客は来店すると 1 つ目の待ち行列に並び, 注学会計が非稼働中になれば入店順に

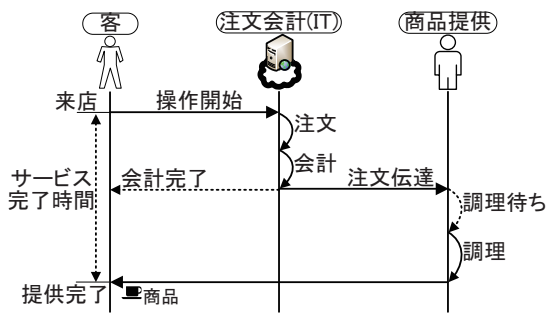


図 3 サービスフロー 3  
Fig. 3 Service Flow 3.

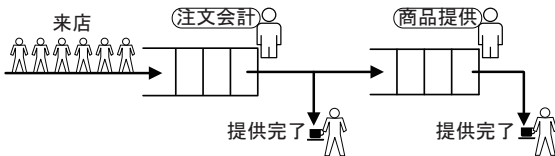


図 4 検証モデル C1B1  
Fig. 4 ModelC1B1.

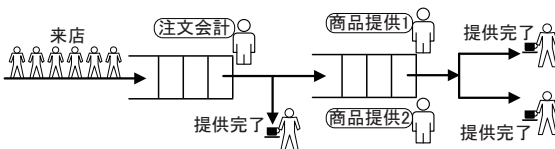


図 5 検証モデル C1B2  
Fig. 5 ModelC1B2.

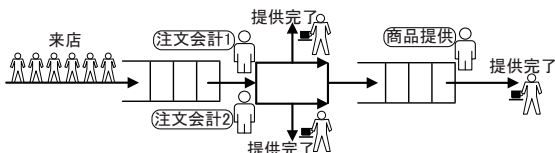


図 6 検証モデル C2B1  
Fig. 6 ModelC2B1.

サービスを受ける。

### 3.3 検証モデル C1B2

検証モデル C1B2 は、注文会計 1 名と商品提供 2 名から構成される。図 5 にモデルを示す。客は来店すると 1 つ目の待ち行列に並び、注文会計が非稼働中になれば入店順にサービスを受ける。商品提供が 2 名いるため、いずれかが非稼働中になれば商品提供のサービスを受ける。

### 3.4 検証モデル C2B1

検証モデル C2B1 は、注文会計 2 名と商品提供 1 名から構成される。図 6 にモデルを示す。客は来店すると 1 つ目の待ち行列に並び、いずれかの注文会計が非稼働中になれば入店順にサービスを受ける。

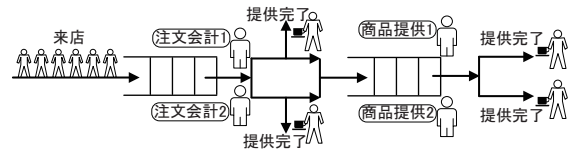


図 7 検証モデル C2B2  
Fig. 7 ModelC2B2.

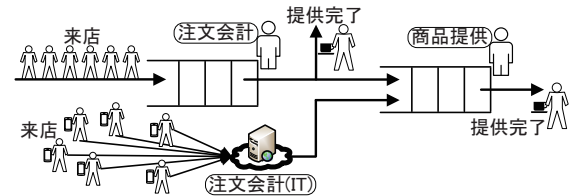


図 8 検証モデル C2B1.IT  
Fig. 8 ModelC2B1.IT.

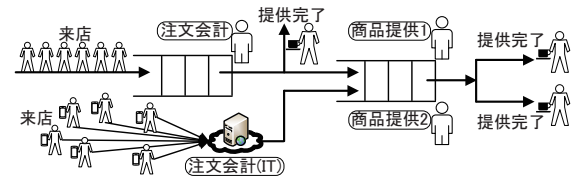


図 9 検証モデル C2B2.IT  
Fig. 9 ModelC2B2.IT.

### 3.5 検証モデル C2B2

検証モデル C2B2 は、注文会計 2 名と商品提供 2 名から構成される。図 7 にモデルを示す。客は来店すると 1 つ目の待ち行列に並び、いずれかの注文会計が非稼働中になれば入店順にサービスを受け、商品提供が 2 名いるため、いずれかが非稼働中になれば商品提供のサービスを受ける。

### 3.6 検証モデル C2B1.IT

検証モデル C2B1.IT は、検証モデル C2B1 の注文会計 1 名を注文会計 (IT) に置き換えたものである。図 8 にモデルを示す。客が注文会計 (IT) を利用する割合は、シミュレーションの条件によって変更する。

### 3.7 検証モデル C2B2.IT

検証モデル C2B2.IT は、検証モデル C2B2 の注文会計 1 名を注文会計 (IT) に置き換えたものである。図 9 にモデルを示す。客が注文会計 (IT) を利用する割合は、シミュレーションの条件によって変更する。

## 4. シミュレーション条件

本節では、シミュレーション条件について述べる。まず共通の条件について述べ、評価のための個別の条件について述べる。評価値にはサービス完了時間  $T_{set}$  (service completion time) を用い、式 (1) により算出する。

$$\text{サービス完了時間} = \text{提供完了時刻} - \text{来店時刻} \quad (1)$$

表 2 共通条件

Table 2 Common conditions.

| 項目名   | 設定値  |
|---|--|
| シミュレーション時間 (Simulation Duration)              | 8 時間   |
| 各条件でのシミュレーション回数 (Simulation Times)            | 30 回   |
| 迅速メニュー閾値 ( $T_{rapid}$ :Rapid Menu Threshold) | 10.0, 20.0, 30.0, 35.0, 40.0, 45.0, 50.0, 55.0, 60.0, 65.0, 70.0, 75.0, 80.0, 85.0, 90.0, 100.0(sec) |

表 3 商品別注文時間と注文割合

Table 3 Product order time and order ratio.

| 商品名    | 平均注文時間 [sec] と分散 | pattern0 比率 [%] | pattern1 比率 [%] | pattern2 比率 [%] |
|--------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| コーヒー   | 10.0, 1.00       | 10              | 20              | 10              |
| カフェラテ  | 13.0, 1.30       | 20              | 30              | 10              |
| カフェモカ  | 13.0, 1.30       | 30              | 30              | 30              |
| フラペチーノ | 16.0, 1.60       | 30              | 10              | 30              |
| カスタマイズ | 20.0, 2.00       | 10              | 10              | 20              |
| 平均注文時間 |                  | 14.3            | 13.4            | 15.0            |

#### 4.1 共通条件

各シミュレーションに共通な条件について述べる。シミュレーション時間、各条件でのシミュレーション回数、迅速メニュー閾値の値を表 2 に示す。

#### 4.2 商品別注文時間、商品別会計時間、商品別調理時間

商品別注文時間、商品別会計時間、商品別調理時間の値をそれぞれ表 3, 表 4, 表 5 に示す。また、各商品の注文割合として想定する 3 つの注文パターンの比率を示し、各商品の各時間と注文割合から平均注文時間、平均会計時間、平均調理時間を算出した値を示す。

#### 4.3 利用率と客の平均到着間隔

平均注文時間、平均会計時間、平均調理時間の和を客 1 人にかかるサービス時間とみなし、利用率に応じた客の平均到着間隔を表 6 のように設定する。利用率 100% の値が、それぞれの注文パターンにおける平均注文時間、平均会計時間、平均調理時間の和となっている。到着間隔の分布については指数分布と 2 次の超指数分布を使用する。平均到着間隔  $\lambda^{-1}$  で到着するとした場合、2 次の超指数分布は平方変動係数  $Ca^2 (= \text{分散} \sigma^2 / (\lambda^{-1})^2)$  によって決まる。 $Ca^2 = 1$  のとき指数分布、 $Ca^2 > 1$  のとき 2 次の超指数分布に従う。本稿では、2 次の超指数分布において  $Ca^2 = 1.5$ ,  $Ca^2 = 2.0$  の条件で評価を行う。

### 5. シミュレーション結果および考察

本節ではシミュレーション結果および考察について述べ

表 4 商品別会計時間と注文割合

Table 4 Product accounting time and order ratio.

| 商品名    | 平均会計時間 [sec] と分散 | pattern0 比率 [%] | pattern1 比率 [%] | pattern2 比率 [%] |
|--------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| コーヒー   | 10.0, 1.00       | 10              | 20              | 10              |
| カフェラテ  | 10.0, 1.00       | 20              | 30              | 10              |
| カフェモカ  | 10.0, 1.00       | 30              | 30              | 30              |
| フラペチーノ | 10.0, 1.00       | 30              | 10              | 30              |
| カスタマイズ | 15.0, 1.50       | 10              | 10              | 20              |
| 平均会計時間 |                  | 10.5            | 10.5            | 11.0            |

表 5 商品別調理時間と注文割合

Table 5 Product cooking time and order ratio.

| 商品名    | 平均調理時間 [sec] と分散 | pattern0 比率 [%] | pattern1 比率 [%] | pattern2 比率 [%] |
|--------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| コーヒー   | 10.0, 1.0        | 10              | 20              | 10              |
| カフェラテ  | 30.0, 3.0        | 20              | 30              | 10              |
| カフェモカ  | 45.0, 4.5        | 30              | 30              | 30              |
| フラペチーノ | 60.0, 6.0        | 30              | 10              | 30              |
| カスタマイズ | 100.0, 10.0      | 10              | 10              | 20              |
| 平均調理時間 |                  | 48.5            | 40.5            | 55.5            |

表 6 利用率と客の平均到着間隔

Table 6 Utilization ratio and mean arrival interval.

| 利用率  | 平均到着間隔 (sec) |           |           |
|------|--------------|-----------|-----------|
|      | pattern 0    | pattern 1 | pattern 2 |
| 70%  | 104.7        | 92.0      | 116.4     |
| 80%  | 91.6         | 80.5      | 101.9     |
| 90%  | 81.4         | 71.6      | 90.6      |
| 100% | 73.3         | 64.4      | 81.5      |
| 110% | 66.6         | 58.6      | 74.1      |
| 120% | 61.1         | 53.7      | 67.9      |
| 130% | 56.4         | 49.5      | 62.7      |
| 140% | 52.4         | 46.0      | 58.2      |
| 150% | 48.9         | 42.9      | 54.3      |
| 160% | 45.8         | 40.3      | 50.9      |
| 170% | 43.1         | 37.9      | 47.9      |
| 180% | 40.7         | 35.8      | 45.3      |
| 190% | 38.6         | 33.9      | 42.9      |
| 200% | 36.7         | 32.2      | 40.8      |

る。第 5.1 節で IT システムを利用しない場合の結果を示し、第 5.2 節 IT システムを利用しない場合の結果を示す。

#### 5.1 IT システムを利用しない場合

本節では、IT システムを利用しない検証モデルを使用したシミュレーション結果および考察を示す。

##### 5.1.1 シミュレーション条件 1.1

検証モデル C1B1 を用い、迅速メニュー閾値を変更した場合の評価を注文パターンごとに行う。なお、利用率は 80% で到着間隔分布は指数分布である。シミュレーション結果を図 10 に示す。各結果は各条件におけるサービス完

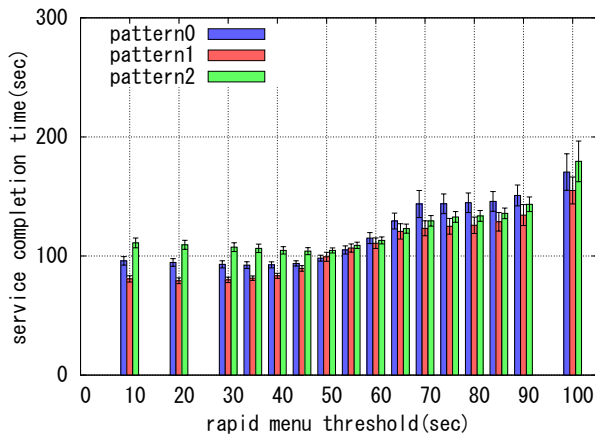


図 10 シミュレーション条件 1.1 の結果 利用率=80%

Fig. 10 Result of simulation condition 1.1, utilization rate:80%.

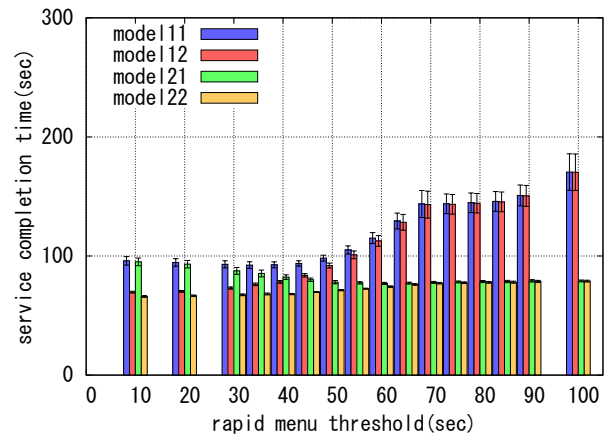


図 12 シミュレーション条件 1.3 の結果

Fig. 12 Result of simulation condition 1.3.

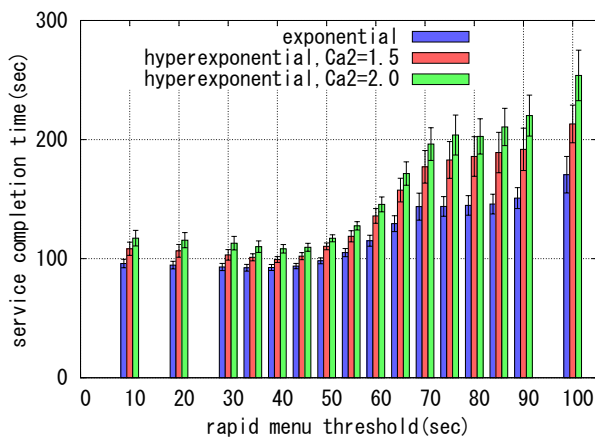


図 11 シミュレーション条件 1.2 の結果

Fig. 11 Result of simulation condition 1.2.

了時間の平均とその 95%信頼区間となっている。この結果から迅速メニュー閾値を変更することができれば、サービス完了時間を短縮するように調整できることがわかる。

### 5.1.2 シミュレーション条件 1.2

検証モデル C1B1 を用い、迅速メニュー閾値を変更した場合の評価を到着間隔分布別に行う。なお、利用率は 80%である。シミュレーション結果を図 11 に示す。客の到着間隔分布が指数分布からバースト性のある 2 次の超指数分布になることで、サービス完了時間が増加することがわかる。また、この結果からも迅速メニュー閾値を変更することができれば、サービス完了時間を短縮するような調整ができることがわかる。

### 5.1.3 シミュレーション条件 1.3

検証モデル C1B1, 検証モデル C1B2, 検証モデル C2B1, 検証モデル C2B2 を用い、検証モデルを変更した場合の評価を行う。なお、利用率は 80%で到着間隔分布は指数分布である。シミュレーション結果を図 12 に示す。検証モデル間で人数が異なるため、当然ながらスタッフの合計人数

が多い方がサービス完了時間は短い。検証モデル C1B2, 検証モデル C2B1 についてみると、迅速メニュー閾値の 40sec あたりを境にサービス完了時間が逆転している。この例では合計 3 名のスタッフであるが、注文会計で提供可能な商品によって最適な配置を決めることが可能である。

いずれの結果においても迅速メニュー閾値を変更できれば、サービス完了時間をより短くできることがわかる。しかし実際に注文会計で調理および提供する商品は注ぐだけのコーヒーなどに限定されているため、次節では迅速メニュー閾値を 20sec としてシミュレーションを行う。

## 5.2 IT システムを利用する場合

本節では、IT システムを利用する検証モデルを使用したシミュレーション結果および考察を示す。

### 5.2.1 シミュレーション条件 2.1

検証モデル C1B1, 検証モデル C2B1, 検証モデル C2B1.IT を用いる、なお、検証モデル C2B1.IT では、IT システムの利用者が 40%の場合と 80%の場合とする。利用率を変えた場合の評価について、到着間隔分布を指数分布にした場合で行う。シミュレーション結果を図 13 に示す。

この結果においても IT システムを利用した場合のサービス完了時間が長くなっている。IT システムの利用者が多くなるほどサービス完了時間が長くなっている。IT システムを利用している客はサービスフロー 3 の流れであるため、時間の増加は調理待ちで生じていると考えられ、商品提供での待ち行列が長くなっているものと思われる。

### 5.2.2 シミュレーション条件 2.2

検証モデル C1B2, 検証モデル C2B2, 検証モデル C2B2.IT を用いる、なお、検証モデル C2B2.IT では、IT システムの利用者が 40%の場合と 80%の場合とする。利用率を変えた場合の評価について、到着間隔分布を指数分布にした場合で行う。シミュレーション結果を図 14 に示す。

商品提供が 2 名いることでサービス完了時間が短くな

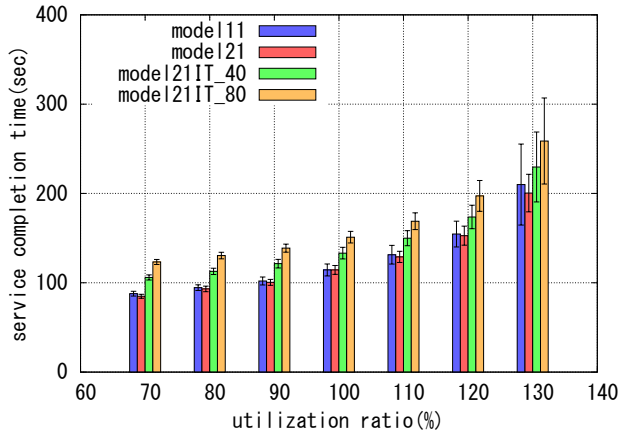


図 13 シミュレーション条件 2.1 の結果 到着間隔分布:指数分布  
Fig. 13 Result of simulation condition 2.1 distribution:exponential.

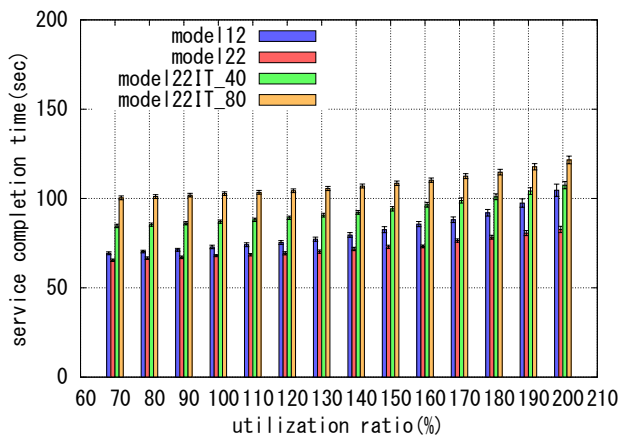


図 14 シミュレーション条件 2.2 の結果 到着間隔分布:指数分布  
Fig. 14 Result of simulation condition 2.1 distribution:exponential.

り、利用率が増加した場合でもサービス完了時間の増加が抑えられていることがわかる。

いずれの結果においても IT システムを利用する客がいる場合はサービス完了時間が長くなっている。その要因は商品提供での待ち行列が長くなり調理待ちが生じているためであると思われる。利用率が低い場合は商品提供 1 名でも IT システムを利用しない場合と大きな差はないが、IT システムを利用する場合、利用率の変化による影響が IT システムを利用しない場合よりも顕著に出ることがわかる。

## 6. まとめおよび今後の課題

IT システムを利用しない場合と IT システムを利用する場合の検証モデルを用い、サービス完了時間に関する評価を行った。IT システムを利用しない場合、迅速メニュー閾値を調整することができればサービス完了時間を短くできることを確認した。検証モデル C2B1 のように注文会計に多くのスタッフを割り当てた場合、迅速メニュー閾値を調

整する効果は大きい注文会計の人数が少ない場合はそれほど大きくはない。IT システムを利用する場合、商品提供での待ち行列が長くなり調理待ちが生じやすくなることが分かった。また、利用率の変化による影響が IT システムを利用しない場合よりも顕著に出ることがわかった。この結果から IT システムを利用する場合、商品提供へのスタッフ割り当てが重要であることが確認できた。

今後の課題として、客ごとに異なる注文内容とサービス完了時間の関係を解析し、店舗全体としての特性と客単位の特性の関係を明らかにすることがあげられる。

## 参考文献

- [1] 豊泉洋 (早稲田大学会計研究科教授): スタバの並び方って変じゃない?: 順番待ちの数学, YOMIURI ONLINE, 入手先 <[http://www.yomiuri.co.jp/adv/wol/opinion/science\\_150105.html](http://www.yomiuri.co.jp/adv/wol/opinion/science_150105.html)> (2017.04.25).
- [2] 川島幸之助, 塩田茂雄, 河西憲一, 豊泉洋, 会田雅樹: 待ち行列理論の基礎と応用, 共立出版 (2014).
- [3] 山北美穂, 宇都宮陽一, 奥田隆史: 待ち行列モデルの多角的解析によるファーストフード型ショップ窓口の最適化, 第 77 回全国大会講演論文集, Vol.2015, No.1, pp.757-758(2015).
- [4] 森山真二: マクドナルド「待ち時間ゼロ」が日本の流通・外食に激震, DIAMOND Online, 入手先 <<http://diamond.jp/articles/-/120559>> (2017.03.09).
- [5] BUSINESS INSIDER: Starbucks is facing a huge crisis? and the CEO refuses to say how he's going to solve it, 入手先 <<http://www.businessinsider.com/starbucks-crisis-of-long-lines-and-delays-in-stores-2017-1/>> (2017.04.13).
- [6] 宇都宮 陽一, 奥田 隆史: 多段待ち行列モデルとなる店舗サービスのスタッフ配置に関する解析, 研究報告数理モデル化と問題解決 (MPS), 2017-MPS-113(14), pp.1-5(2017).
- [7] 宇都宮 陽一, 奥田 隆史: 多段待ち行列モデルを使った店舗サービスにおける待ち時間の評価, 研究報告数理モデル化と問題解決 (MPS), 2017-MPS-115(5), pp.1-5(2017).
- [8] 宮沢政清: 待ち行列の数理とその応用, 牧野書店 (2013).
- [9] S.Mitsumori: Optimal Scheduling for Load Balance of Two-Machine Production Lines, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vo.11, No.6, pp.400-409(1981).
- [10] 野ヶ山尊秀, 高橋治久: AND 合流ゲートウェイと連結するアクティビティの平均潜在待ち時間とサービス時間の推定法とその検証, 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 (TOM), Vol.9, No.2, pp.20-32(2016).
- [11] K.Gokbayrak, O.Selvi: Service Time Optimization of Mixed-Line Flow Shop Systems, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.55, No.2, pp.395-404(2010).
- [12] L.Xiang, Y.Ai-ling, Z.Hui-yu: Buffer allocation optimization for flexible flow shop, 2016 IEEE Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference, pp.966-970(2016).
- [13] A.Chatterjee, D.Seo, L.R.Varshney: Capacity of Systems with Queue-Length Dependent Service Quality, IEEE Transactions on Information Theory, Vol.63, No.6, pp.3950-3963(2017).
- [14] 嶋田敏, 多比良恵, 原辰徳, 新井民夫: サービス受給中の期待形成を考慮した待ち時間に関する顧客満足度の解析, 日本経営工学会論文誌, Vol.64, No.3, pp.386-398(2013).
- [15] 錦野宇志郎: 「スタバが怖い!」がわからない人はマーケティングをやめなさい!!, 秀和システム (2017).