

マルチエージェント・シミュレーションを用いた フォーク並びなし待ち行列を平滑化する仕掛け戦略の検証

Verification of a Reduction ‘Shikake’ Strategies of Queue Length in Fork-less Shaped Queuing Systems Using a Multi Agent Simulation

大藤哲平^{1*} 奥田隆史^{2†}
Teppei OFUJI¹ Takashi OKUDA²

¹ 愛知県立大学情報科学研究科

¹ Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

² 愛知県立大学情報科学部

² Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

Abstract: In fork-less shaped queuing systems, the variation of queue length has negative effects on both store clerk and customer. In this study, we verify a reduction “Shikake” strategies of queue length using a multi agent simulation

1 はじめに

我々は何らかのサービスを受ける際に、客として待ち行列に並ぶ。客が成す行列には、コンビニエンスストアのように一列に並んで先頭の客から空いたレジ(窓口)へ移動する「フォーク型待ち行列」(図1)と、スーパーマーケットのように客が自由にレジ(窓口)を選択する「フォーク並びなし待ち行列」(図2)の二つに大別される。本研究では、後者について考える。

フォーク並びなし待ち行列において、客は各々の持つ何らかの判断基準にしたがって、複数ある窓口から自由に一つの窓口を選択する。ここで、フォーク並びなし待ち行列の具体事例として、スーパーマーケットのレジを考える。客は必要な商品を揃えたらレジに並ぶが、その際に担当する店員の容姿や作業効率、あるいは前に並んでいる客の商品量を見てどのレジへ並ぶかを決めることもあるだろう。しかし店員や客にとって、レジの行列は一か所に偏るよりもなるべく平滑化されているほうが好ましい。[1]

奥田 [2] は、レジなどに見られるフォーク並びなし待ち行列の平滑化について、待ち行列システムの観点から行列を減らすための基本原理について整理し、レジ担当者の制服・マスクの着用や店舗内のカゴ・カートが、本来の導入目的とは別の「結果としての仕掛け」として機能していると考察している。

本稿では、フォーク並びなし待ち行列に偏りを生じさせる原因を「客」「店員」の二つの目線から考察し、その要因を操作するような仕掛け施した待ち行列の効果を、マルチエージェント・シミュレーション(以下、MAS)[3](付録A参照)を用いて分析する。

以下、第2節で行列が偏る要因についてまとめる。第3節で本研究にて提案する仕掛けについて述べ、第4節でモデルについて述べる。第5節でマルチエージェント・シミュレーションの数値例を示し、最後に第6節で本稿をまとめる。

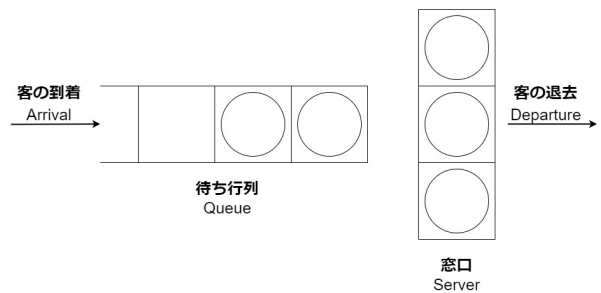


図1: フォーク型待ち行列モデル

2 行列が偏る要因

本節では、待ち行列に偏りが生じる要因を店員が要因となるもの(店員要因)と客が要因となるもの(客要因)の二つに分けて考察する。第2.1節では店員要因について、第2.2節では客要因について述べる。

*連絡先: 愛知県立大学情報科学研究科
〒480-1198 愛知県長久手市茨ヶ廻間 1522-3
E-mail: im201002@cis.aichi-pu.ac.jp

†連絡先: 愛知県立大学情報科学部
〒480-1198 愛知県長久手市茨ヶ廻間 1522-3
E-mail: okuda@ist.aichi-pu.ac.jp

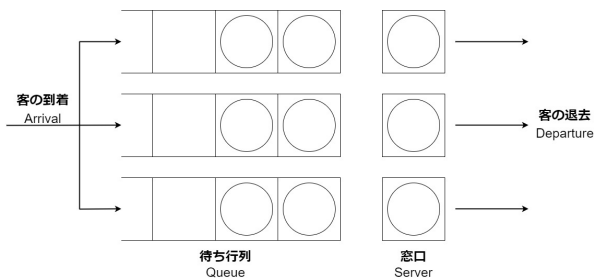


図 2: フォーク並びなし待ち行列モデル

2.1 店員要因

待ち行列の偏りに影響があると考えられる 3 つの店員要因について考察する。

処理効率

商品をレジでスキャンする速度は、店員の器用さやバーコード・レジキーの位置把握具合によって変化する。同じ商品量でも、作業の早い店員は短時間で処理できるが、そうでない店員は多くの時間を要してしまうだろう。

会計速度

会計手段により、会計時間に大きな差が生じる。JCB によると、現金で支払った場合の平均会計時間が 28 秒に対し、クレジットカード支払いは 12 秒、非接触型支払い (QUICPay) は 8 秒であり、その差はおよそ 3 倍にも及ぶ [6]。

店員評価

店員一人一人には個性がある。個性は、容姿や接客態度、作業の丁寧さなどにより定められるだろう。客は、各々の持つ選択基準に従って店員の個性を評価し、その評価により並ぶ列を選択する。

2.2 客要因

待ち行列の偏りに影響があると考えられる 2 つの客要因について考察する。

商品購入量

購入する商品の量は客によって異なる。購入する商品量が多いほどレジ処理に多くの時間を必要とするので回転率が悪くなり、行列は長くなる。

客の嗜好

レジの選択基準として、客の店員に対する嗜好がある。店員の容姿を重視する客や、接客態度、マナーを重視する客もいる。こうした客がある特定の店員に集中することも考えられるだろう。

3 提案仕掛け

本節では、仕掛けの 3 要件「公平性 (Fairness, 誰も不利益を被らない)」「誘引性 (Attractiveness, 行動が誘われる)」「目的二重性 (Duality of purpose, 仕掛ける側と仕掛けられる側で目的が異なる)」[7] に注意しながら、前述の要因に作用して行列平滑化が見込まれる仕掛けを提案する。

前節と同様に、「店員向け仕掛け」と「客向け仕掛け」の二つに分けて説明する。はじめに、今回提案する仕掛けの立ち位置を図 3 にまとめる。その後、第 3.1 節で店員向け仕掛けについて、第 3.2 節で客向け仕掛けについて説明する。

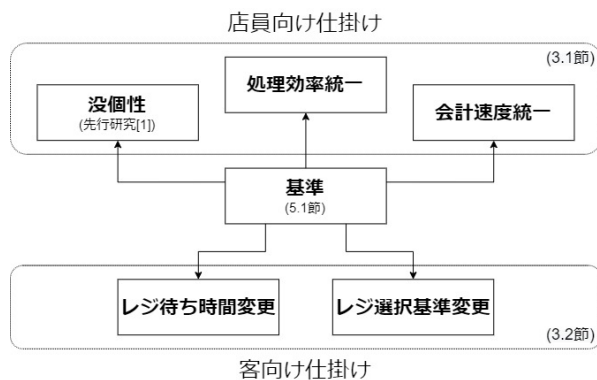


図 3: 提案仕掛けの立ち位置

3.1 店員向け仕掛け

第 2.1 節で述べた 3 つの店員要因に対応した仕掛けについて述べる。

処理効率統一仕掛け

処理効率統一仕掛けでは、複数いる店員のレジで商品を処理する速度を統一することにより行列平滑化を目指す。

会計速度統一仕掛け

会計速度統一仕掛けは、複数いる店員の会計に要する時間を統一することで行列平滑化を目指す仕掛けである。

没個性仕掛け

没個性仕掛けは、店員の個性を隠す・消す仕掛けである。これにより客の店員評価に対する選択基準を減らすことで行列平滑化を目指す。

3.2 客向け仕掛け

第 2.2 節で述べた客要因の一つである客の嗜好に関わる「レジ選択基準変更仕掛け」と、周囲のより空い

ているレジに並びなおすことに着目した「レジ待ち時間変更仕掛け」について述べる。

レジ選択基準変更仕掛け

レジ選択基準変更仕掛けでは、客がレジを選択する基準を操作することで行列の平滑化を目指す。

レジ待ち時間変更仕掛け

レジ待ち時間変更仕掛けは、周囲に空いているレジがあったときにどのようなタイミングで移動するかを操作する仕掛けである。

4 マルチエージェントモデル

本節では、フォーク並びなし待ち行列型のレジと前述の提案仕掛けを、マルチエージェントシステムを用いてモデル化する。以下、第 4.1 節で店内モデル、第 4.2 節で店員エージェントモデル、第 4.3 節で客エージェントモデルについて説明し、第 4.4 節にてシミュレーションのシナリオ説明する。

4.1 店内モデル

本研究では、 N_{stf} 人の店員エージェント A_{stf} と、 N_{cst} 人の客エージェント A_{cst} で構成される集団を想定する。

店員エージェント A_{stf} は空間の特定の位置に存在し、移動や退去などは一切しない。

客エージェント A_{cst} は到着率 λ に従い到着し、店員エージェントの前にたどり着いたときサービスを受け、その後退去する。

4.2 店員エージェントモデル

店員エージェントは、以下の 3 変数を持つ。

処理効率 μ [個/step]

1 ステップあたりに処理できる商品数。3 段階で評価する。

会計速度 S [step]

会計に必要とするステップ。3 段階で評価する。

評価 V

店員の容姿や態度などの評価を示す値。3 段階で評価する。

4.3 客エージェントモデル

客エージェントは以下の 3 つの変数を持つ。

購入量 G [個]

カゴ・カート内の商品数。1~ N_g の範囲

列変更時間 L [step]

並んでいるレジを変更するまでの時間。1~ T_l の範囲

選択基準 C

並ぶレジを決定する 5 つの基準。内容を表 1 に示す。

表 1: 選択基準

| No. | 選択方針 |
|-----|---|
| 1 | ランダムに選択したレジ |
| 2 | 前に並んでいる客の商品購入量 G が最小のレジ |
| 3 | 店員の評価 V が高いレジを優先選択 |
| 4 | 店員の処理効率 μ が高いレジを優先選択 |
| 5 | 前に並んでいる客の商品購入量 G と店員の処理効率 μ から予測される待ち時刻が最小のレジ |

4.4 シミュレーションのシナリオ

シミュレーションは、以下の (step1)~(step5) の順に進行する。

- (step1) 到着率 λ に従い客エージェントが到着
- (step2) 選択基準 C に従い客がレジを選んで列に並ぶ
- (step3) 順番が来る前に列変更時間 L 経過した場合、予測待ち時間が最小のレジに移動
- (step4) 順番が来たら $T_s = G/\mu + S$ ステップかけて会計処理
- (step5) T_s ステップ経過後、退去

5 数値例

前述のモデルをマルチエージェント・シミュレーションで実行し、仕掛けの効果を検証する。シミュレーションパッケージには artisoc[5] を利用する。

5.1 パラメータの設定

本研究では、平均的なスーパーマーケットの、ある 1 時間を想定してパラメータを決定した [8][9]。設定したパラメータを表 2 にまとめる。店員エージェント数 $N_{stf} = 6$ 、客エージェント数 $N_{cst} = 155$ 、客エージェントの到着率 $\lambda = 0.05$ とする。

次に、店員エージェントの持つパラメータについて述べる。店員エージェントは三つの所持変数それぞれについて、3 段階で評価される。表 3 に、仕掛けを施していない場合の各店員エージェントのパラメータについてまとめる。これを基準パラメータとする。なお、表の括弧内の数値は実際のシミュレーションに用いた数値である。また、行列平滑化効果の検証をするために、店員エージェントのパラメータに意図的に差を設けた。本シミュレーションでは、店員 1 は「評価が低

く、レジでの処理も遅く、会計速度も遅い店員」で、反対に店員6は「評価が高く、レジでの処理も速く、会計速度も速い店員」となっている。

続いて、客エージェントの持つパラメータについて述べる。客エージェントの持つ購入量 G と列変更時間 L は特定範囲内の整数乱数で与えられる。表4に、購入量 G と列変更時間 L の具体的な値をまとめる。また、どの選択基準 C を持つかは、レジ選択基準変更仕掛けを施さない場合において同様に確からしいものとする。

表 2: パラメータ設定

| Parameter | Notation | Value |
|------------------------------|-----------|-------|
| The number of staff agent | N_{stf} | 6 |
| The number of customer agent | N_{cst} | 155 |
| Arrival rate of customer | λ | 0.05 |

表 3: 店員エージェント基準パラメータ

| Staff No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Service rate (actual value) | 1 (0.18) | 1 (0.18) | 2 (0.35) | 2 (0.35) | 3 (0.7) | 3 (0.7) |
| Checkout speed (actual value) | 1 (28) | 3 (8) | 2 (12) | 2 (12) | 1 (28) | 3 (8) |
| Staff value | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |

表 4: 客エージェントパラメータ

| Parameter | Notation | Value (base) | Value (shikake) |
|---------------------|----------|-----------------|--------------------|
| Number of goods G | N_g | 1~20 | - |
| Changing time L | T_l | 0 | 60 |

5.2 仕掛けパターン

本研究では、作成したモデルに1つずつ仕掛けを適用してシミュレーションを行い比較検証をおこなった。適用した仕掛けとその内容に番号を振り、表5にまとめる。

5.3 評価指標

行列平滑化は、店員と客の双方にとって望ましい状態である。したがって、提案仕掛けの評価は店員視点と客視点の二つの視点から評価する。以下に、それぞれの視点における評価指標をまとめる。

店員視点評価指標

- **最大行列差分 D_{MAX}**
ある時間にレジ間で観測される最短行列と最長行列の差の最大値
- **レジ来客数 $N_{ave}(i)$**
 i 番目レジの来客数

表 5: 仕掛けパターン

| No. | 仕掛け | 内容 |
|-----|----------|------------------|
| 1 | 仕掛無し | 基準パラメータ |
| 2 | 没個性 | 評価 $V = 2$ |
| 3 | 処理効率統一 | 処理効率 $\mu = 2$ |
| 4 | 会計速度統一 | 会計速度 $S = 2$ |
| 5 | レジ待ち時間変更 | 列変更時間 $T_l = 60$ |
| 6 | レジ選択基準変更 | 全客選択基準 0 所持 |
| 7 | レジ選択基準変更 | 全客選択基準 1 所持 |
| 8 | レジ選択基準変更 | 全客選択基準 2 所持 |
| 9 | レジ選択基準変更 | 全客選択基準 3 所持 |
| 10 | レジ選択基準変更 | 全客選択基準 4 所持 |

客視点評価指標

- **平均待ち時間 T_{ave}**
全客エージェントの待ち時間の平均値
- **最大待ち時間 T_{MAX}**
最も長時間レジに並んだ客エージェントの待ち時間

5.4 数値例

10通りの仕掛けパターンごとにシミュレーションを1000回ずつおこない、各評価指標ごとに平均値を算出した。得られた結果を以下にまとめる。

はじめに5.4.1で店員視点評価指標「最大行列差分 D_{MAX} 」「レジ来客数 $N_{ave}(i)$ 」の結果を示し、続いて5.4.2で客視点評価指標「平均待ち時間 T_{ave} 」「最大待ち時間 T_{MAX} 」の結果を示す。

なお、結果を示す以下4つのグラフに全てにおいて、横軸は仕掛けパターン(表5参照)、エラーバーは95%信頼区間を表す。赤色破線は仕掛けパターン1(仕掛け無し)の数値を表しており、他の仕掛けパターンとの比較のために用いる。

5.4.1 店員視点評価指標

最大行列差分 D_{MAX}

図4にシミュレーションから得られた結果を示す。縦軸は行列差分(人数)を表す。

仕掛けパターン1(仕掛け無し)のとき、最大行列差分 $D_{MAX} = 2.07$ となった。図4より、仕掛けパターン5(レジ待ち時間変更)のみ、 $D_{MAX} = 3.32$ と増加し、その他の仕掛けは行列差分に大きな影響をもたらされなかった。仕掛けパターン5は、行列差分を増加させるため行列平滑化仕掛けとしては不適であると考えられる。

レジ来客数 $N_{ave}(i)$

図5にシミュレーションから得られた結果を示す。縦軸は来客数(人数)を表す。各仕掛けパターンに対する棒グラフは、左側から順に店員1, 店員2, ..., 店員6となっている。グラフ内の二本の赤色破線は、仕掛けパターン1(仕掛け無し)での最小値と最大値を表している。

行列平滑化は、特定の店員の負担増大を防ぐ効果が期待される。つまり、各仕掛けパターンにおいて、各店員に対する来客数が2つの赤色破線間に収まっているものが、行列平滑化に効果があるといえる。

図5より、仕掛けパターン仕掛けパターン2, 4, 6, 7, 8は、行列平滑化に効果があると考えられる。反対に、仕掛けパターン5(レジ待ち時間変更)は最小値と最大値の差が仕掛けパターン1より特に大きくなったので、行列平滑化に不適であると考えられる。

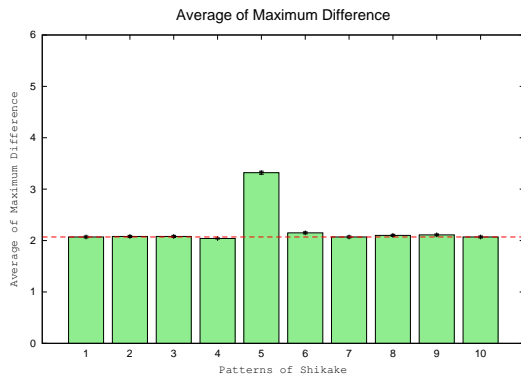


図 4: 最大行列差分 D_{MAX}

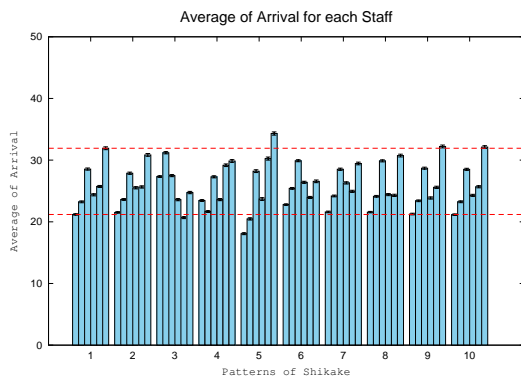


図 5: レジ来客数 $N_{ave}(i)$

5.4.2 客視点評価指標

平均待ち時間 T_{ave}

図6にシミュレーションから得られた結果をに示す。縦軸は平均待ち時間(ステップ)を表す。

仕掛けパターン1のとき、平均待ち時間 $T_{ave} = 52.45$ となった。図6より、仕掛けパターン3(処理効率統一)

および仕掛けパターン4(会計速度統一)のとき平均待ち時間が減少したことがわかるので、行列平滑化に有効な仕掛けであるといえる。反対に、仕掛けパターン5(レジ待ち時間変更)のとき平均待ち時間は大きく増加した。そのため、仕掛けパターン5は行列平滑化に不適な仕掛けであると考えられる。

最大待ち時間 T_{MAX}

図7にシミュレーションから得られた結果を示す。縦軸は最大待ち時間(ステップ)を表す。

仕掛けパターン1のとき、最大待ち時間 $T_{ave} = 144.63$ となった。図7より、仕掛けパターン3(処理効率統一)および仕掛けパターン4(会計速度統一)のとき平均待ち時間が減少したことがわかるので、行列平滑化に有効な仕掛けであるといえる。反対に、仕掛けパターン5(レジ待ち時間変更)のとき最大待ち時間は大きく増加した。そのため、仕掛けパターン5は行列平滑化に不適な仕掛けであると考えられる。

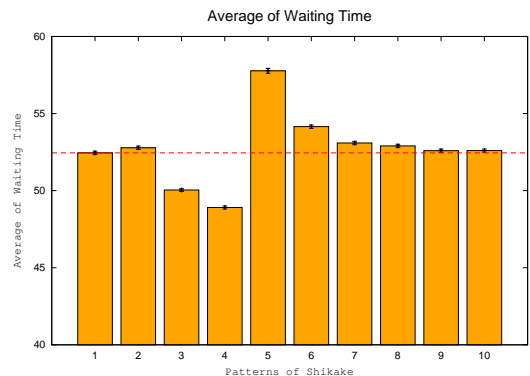


図 6: 平均待ち時間 T_{ave}

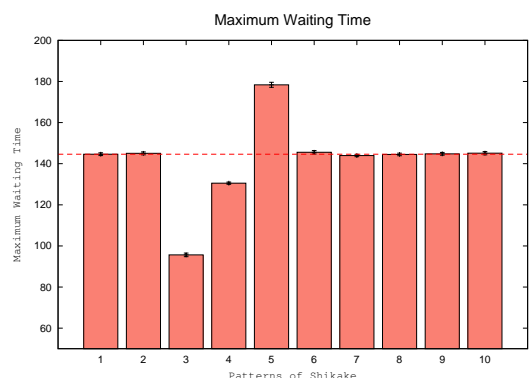


図 7: 最大待ち時間 T_{MAX}

5.4.3 まとめ

以上の4つの評価指標から、仕掛けパターン4(会計速度統一)は店員・客の両視点で有効な仕掛けである

といえる。反対に、仕掛けパターン 5(レジ待ち時間変更)は、店員・客の両視点から適していない仕掛けといえる。

6 おわりに

スーパーマーケットのような客が自由に窓口を選択するフォーク並びなし待ち行列において、各窓口の行列長の差を無くし平滑化させることは、サービス満足度の向上や、特定の店員の負担軽減において重要である。本稿では、マルチエージェント・シミュレーションを用いてフォーク並びなし待ち行列をモデル化し、提案した行列平滑化仕掛けの有効性を検証した。その結果、「会計速度を統一する仕掛け」は行列平滑化に有効であることが判明した。

今後の課題は、客のレジ選択基準の追加や、レジの混雑具合を見て並ぶかどうかの駆け引きをするエージェントを追加して検証をおこなうことである。

付録 A マルチエージェント・シミュレーション

本節では、マルチエージェント・シミュレーション [3][4][5] について述べる。A.1 では複雑系の現象について、A.2 ではマルチエージェント・シミュレーションについて説明する。

A.1 複雑系の現象

社会には、多数の要素が複雑に絡み合って構成される事象が多く存在し、人間や生物などの個々の行動(ミクロ)からは想定できないような広範囲の社会現象(マクロ)がある。これを「複雑系の現象」という。[4]

複雑系の具体的事例として、「群れを成して行動する動物」や「交通渋滞」などがある。

A.2 マルチエージェント・シミュレーション

マルチエージェント・シミュレーションとは、複数のエージェントを用いた仮想実験のことである。ここにおけるエージェントとは、周囲の状況を認識して、それに基づいて自身の持つルールに従って行動する主体のことを指す。つまり、エージェントは人間や生物の行動ルールを模して自律的に行動する主体と言える。[4]

マルチエージェント・シミュレーションは、複雑系の現象を個々のエージェントの相互作用により発生した結果として捉え、その仕組みを解析するのに適した手法である。

参考文献

- [1] 高橋幸雄, 森村英典:『混雑と待ち』, 朝倉書店, 2001.
- [2] 奥田隆史, “フォーク並びなし待ち行列システムにおける行列平滑化の仕掛け”, <https://www.shikakeology.org/pdf/TBC2020010.pdf>, 第8回仕掛学研究会, 2020.
- [3] 山影進,『人口社会構築指南～artisocによるマルチエージェント・シミュレーション入門～』, 書籍工房早山, 2011.
- [4] 構造計画研究所, “MAS とは? -MAS コミュニティ-構造計画研究所”, <https://mas.kke.co.jp/about/>, 2020年10月4日閲覧.
- [5] 構造計画研究所, “artisoc4 -MAS コミュニティ-構造計画研究所”, <https://mas.kke.co.jp/artisoc4/>, 2020年9月11日閲覧.
- [6] JCB, “決済速度に関する実証実験結果 | JCB ”, <https://www.global.jcb/ja/press/00000000162855.html>, 2020年9月11日閲覧.
- [7] 松村真宏, 『仕掛学 -人を動かすアイデアの作り方』, 東洋経済新報社, 2016.
- [8] 全国スーパーマーケット協会, “2019年スーパーマーケット年次統計調査報告書”’, <http://www.super.or.jp/wp-content/uploads/2019/10/2019nenji-tokei.pdf>, 2020年9月10日閲覧.
- [9] 平田直也, 中桐 齊之, “マルチエージェントモデルを用いたセルフレジ導入によるレジサービスへの影響と解析”, 2017年度情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, 2017.
- [10] 外山祥平, 平山雅之, “レジ混雑緩和システムの設と実装”, 研究報告システムとLSIの設計技術(SLDM) Vol.2017-SLDM-181 No.39 pp1-6, 2017.
- [11] 伊藤千鶴, “レジに並ぶ際の顧客の最適戦略とその効果に関する研究”, 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 59巻 pp1-4, 2018.