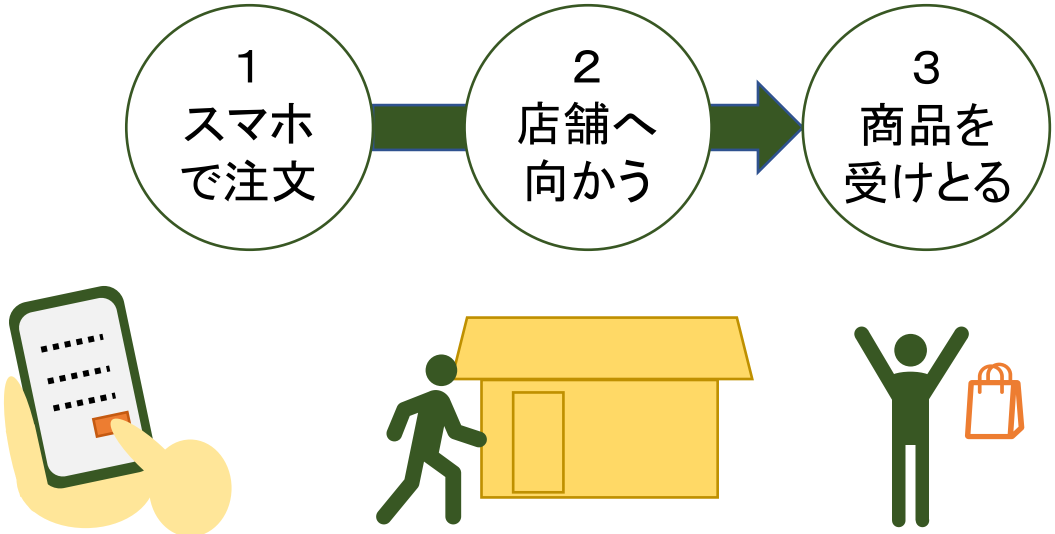
離散イベントシミュレーションを用いたモバイルオーダーが店舗運営へもたらす影響分析

NTTデータ数理システム学生研究奨励賞　2022

早稲田大学創造理工学部
経営システム工学科　4年
平井杏佳

指導教員　蓮池隆

モバイルオーダーとは



- **レジに並ばず**に注文ができるサービス
- ファーストフード店を中心に普及　ex.マクドナルド，スターバックス

モバイルオーダーの特徴

客視点

- レジ待ちの時間が無くなって**時短**になる！
- **自分のペース**で注文できる

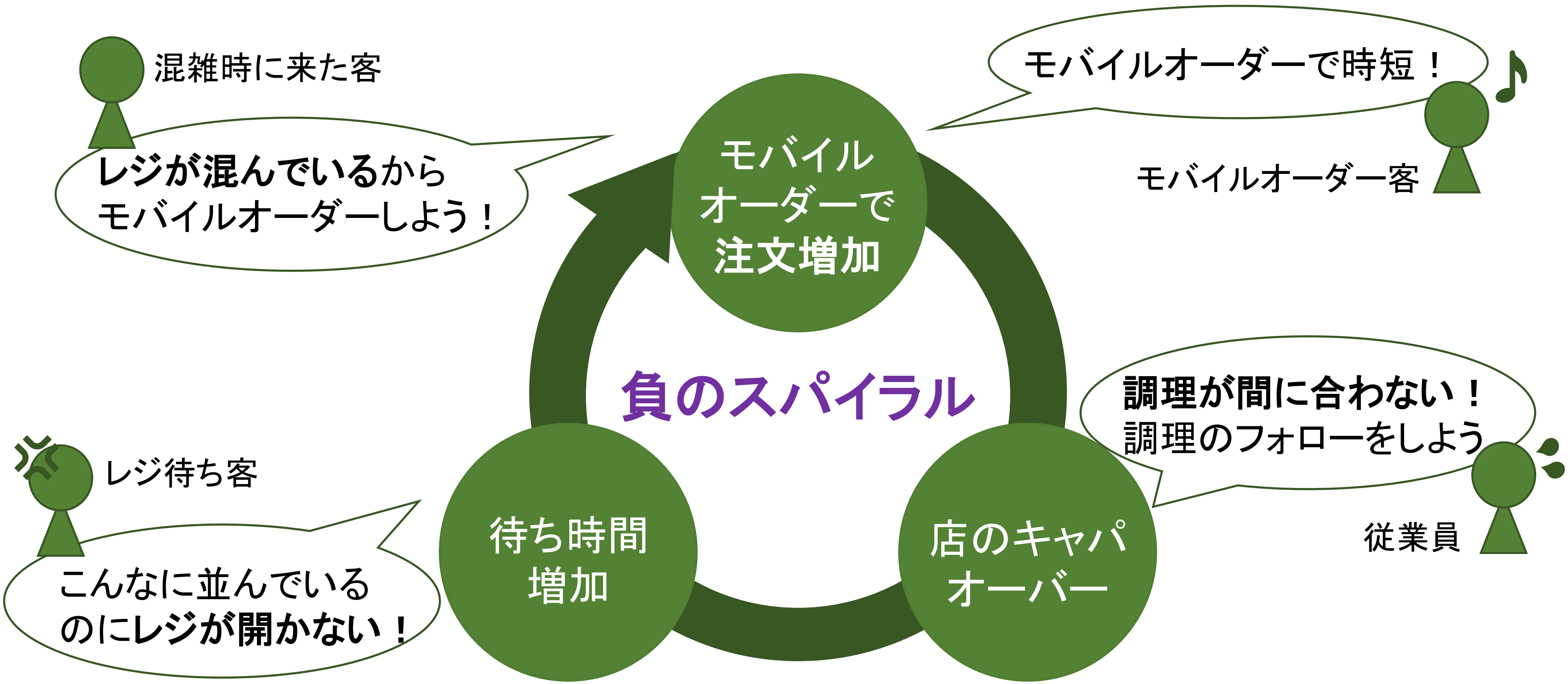
従業員視点

- レジ受けの仕事が1つ減って，**負担軽減**
- **人材不足**の解消

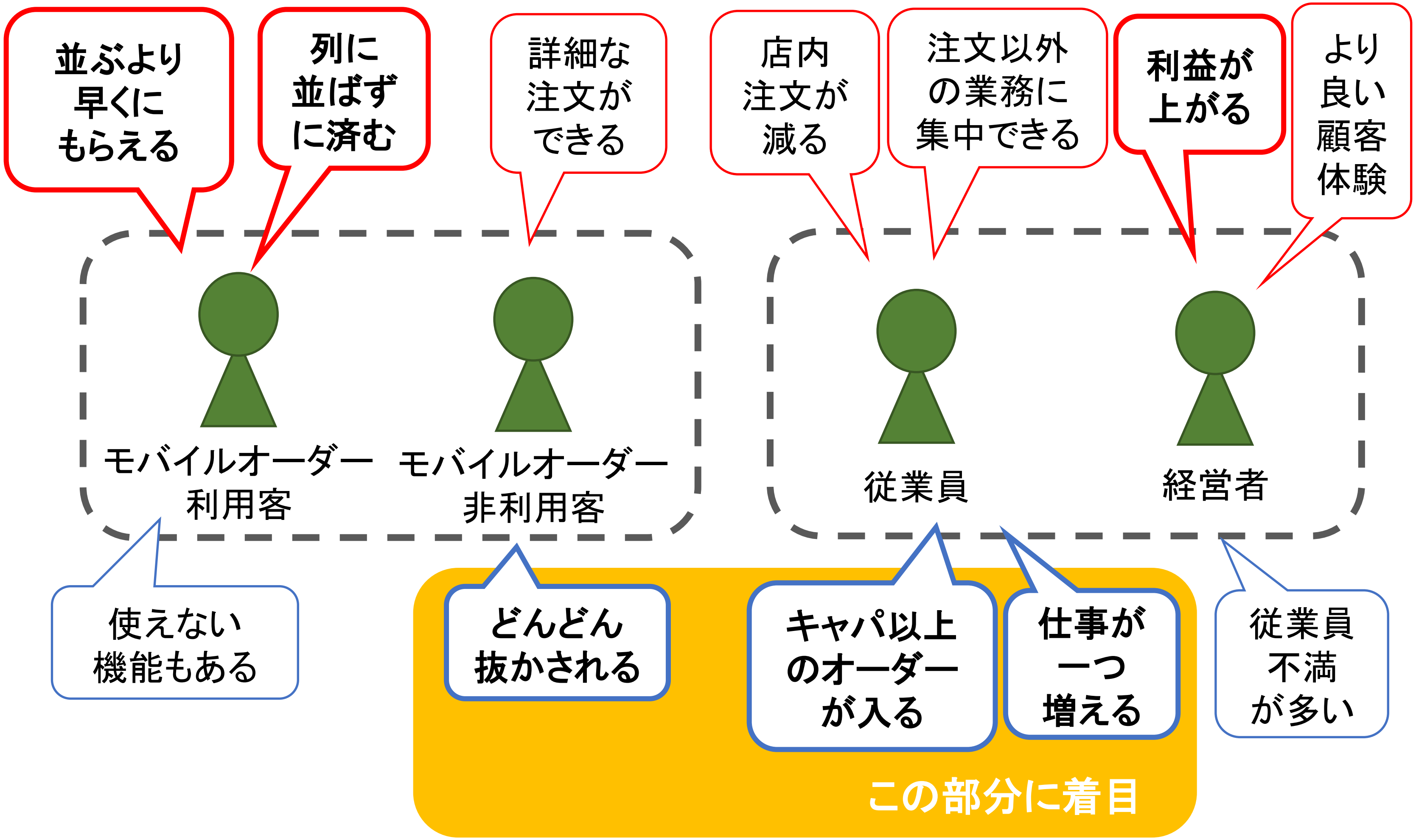
WinWinなサービスである！

と考えられていたが，，，

モバイルオーダーが混雑を招いている？



モバイルオーダーのメリットデメリット



モバイルオーダーは良いサービスか？

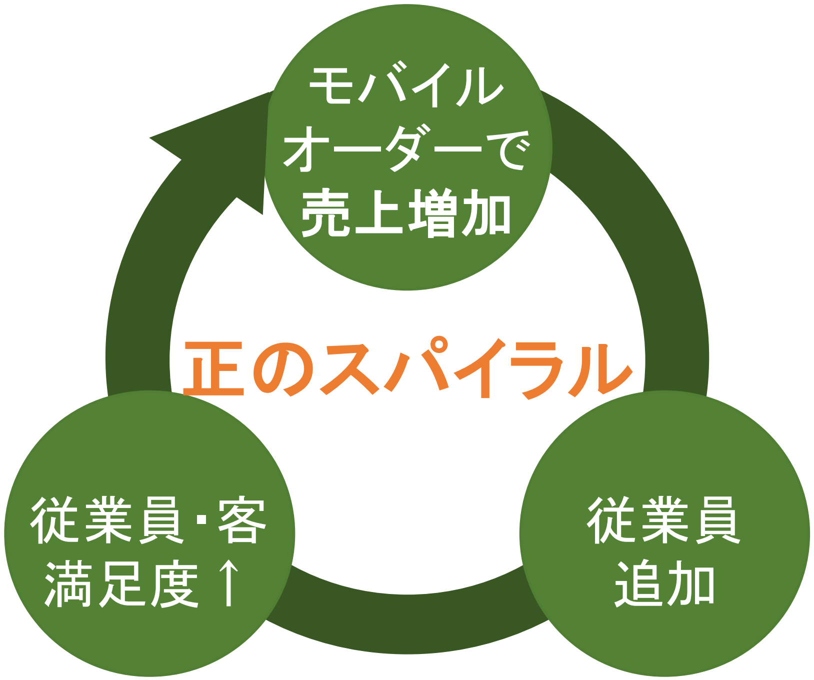
モバイルオーダーは**注文が一気に増加**する
レジでの注文を止めざるおえない

レジ待ちの列が**長く**なる
待ち時間の増加
退店者が増える可能性

モバイルオーダーを導入したほうが
デメリットでは？

研究目的

▶モバイルオーダーの導入によって
店の売上が増加するか



① モバイルオーダーで売上増加
② 得た利益で従業員追加
③ 従業員の負担軽減，
客の満足度上昇
④ さらに売上増加
・
・
・

正のスパイラルならば
WinWinなサービスといえる！

実験概要

①モバイルオーダーによって売上高が上がるのか，どのくらい上がるのか

- モバイルオーダー導入と未導入で比較
- 混雑率を変化

②得た利益分でスタッフを増員した場合，より売上高が上がるのか

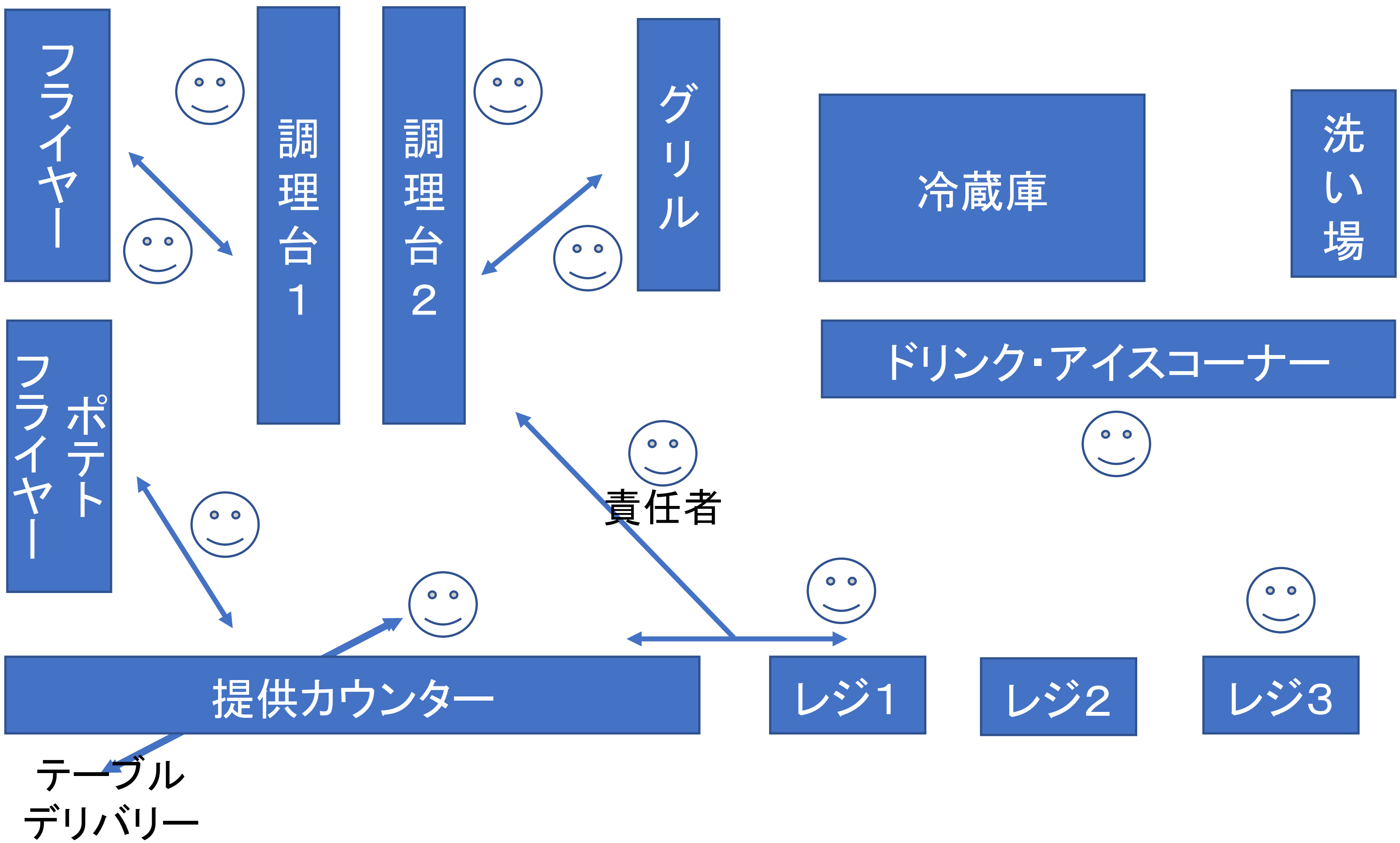
- 増員した場合，しなかった場合の比較
- どこに配置するかも比較検討
- 混雑率を変化

シミュレーションモデル

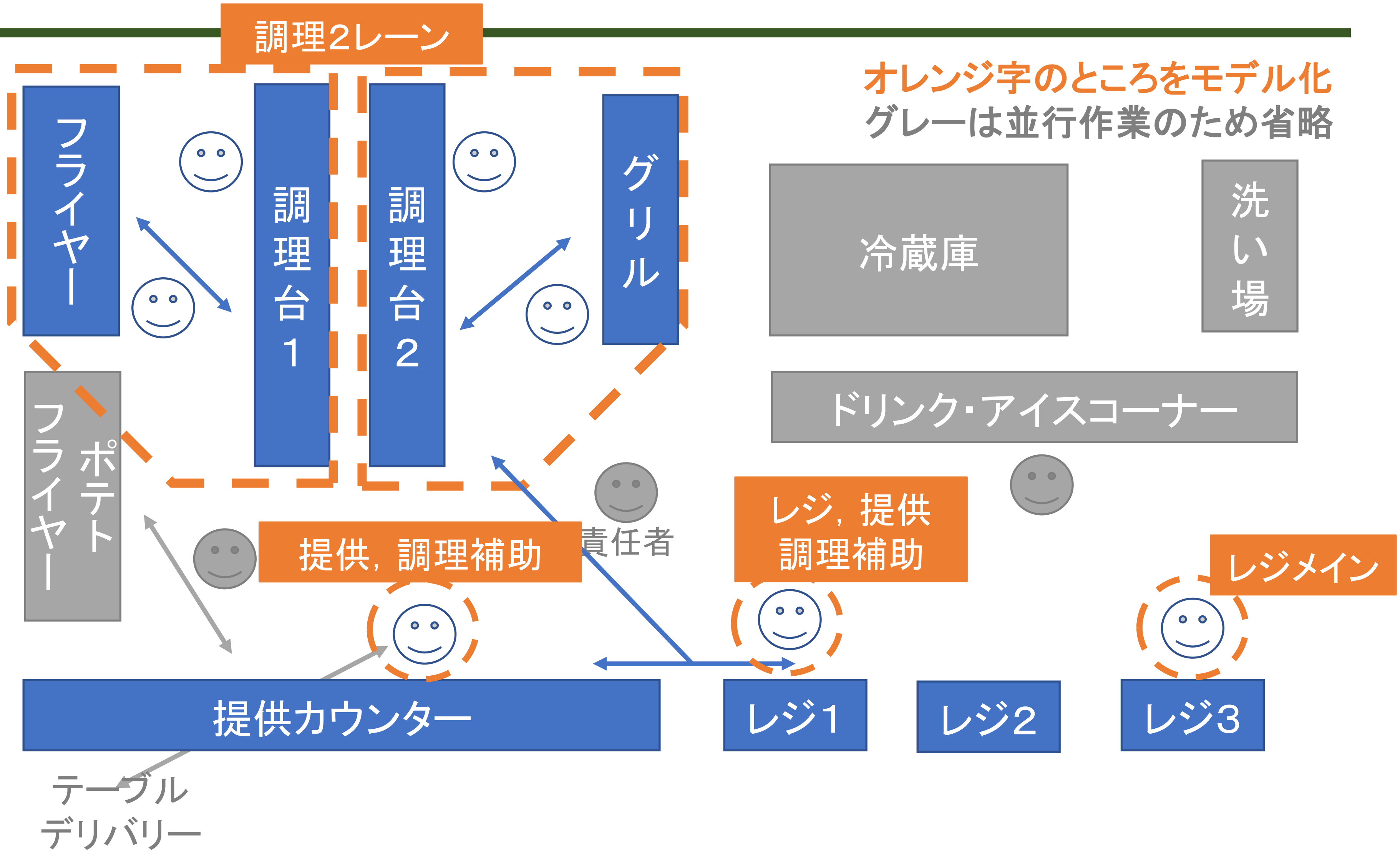
- Lunch帯のハンバーガーショップを想定
  - モバイルオーダーによる混雑を表現するため
  - 今回は実在する店舗Xのレイアウトを採用

- シミュレーションソフトには,
  S^4 Simulation System Version 6.2.0 を使用

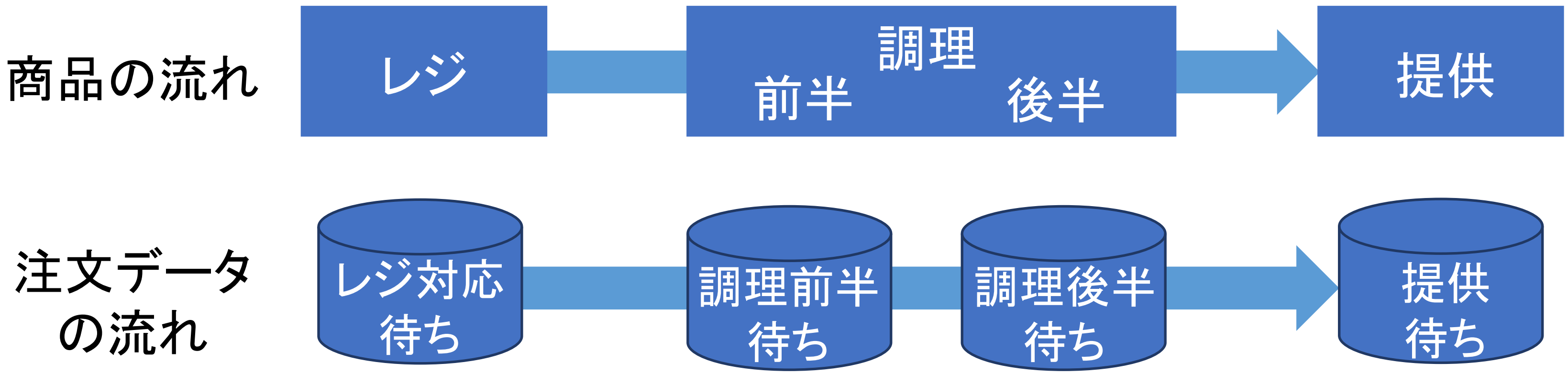
実際のキッチンレイアウト例



実際のキッチンレイアウト例



シミュレーションモデル

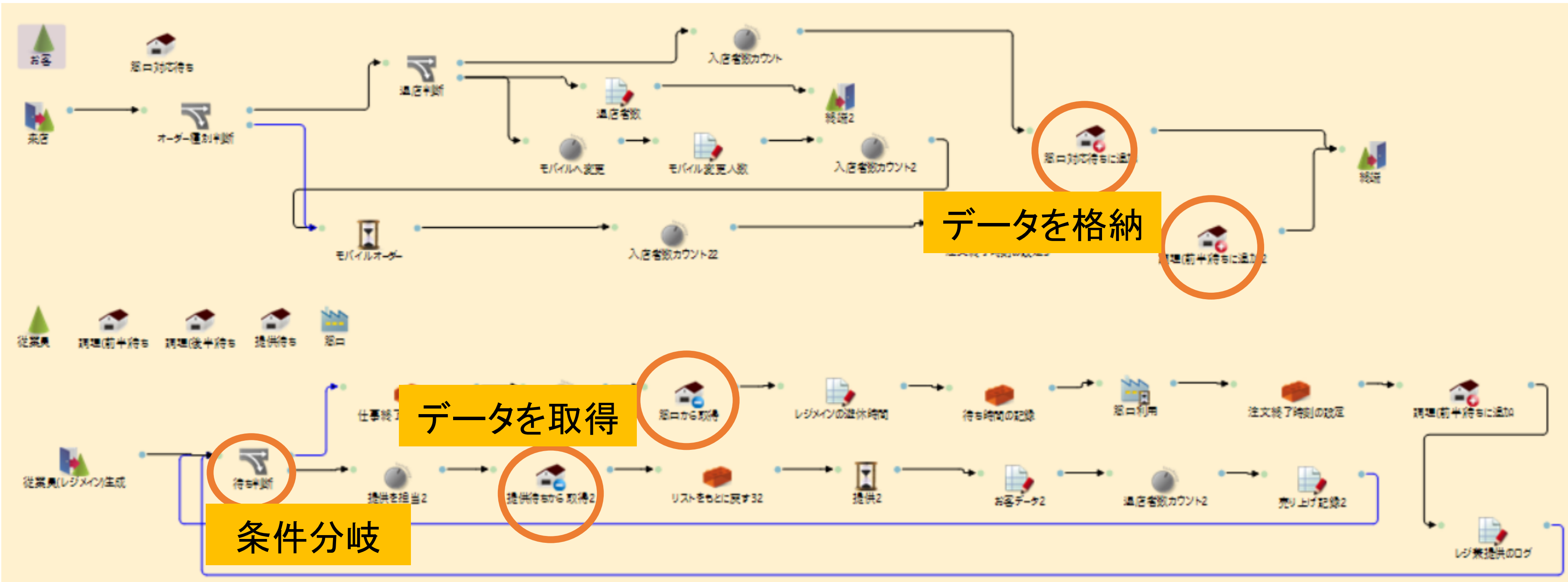


- **レジ**，**調理**，**提供**の3つの仕事に簡素化
- 調理は**前後半**の工程に分かれる
- 各従業員が兼任の役割を持つ
- 各対応待ちのデータから，**FIFO**で処理していく

各従業員の役割と判断条件

- レジメイン1人
  - 提供待ちが4個以上⇒**提供**
  - 調理前半待ちが8個以上⇒**提供**
  - どちらも満たしていないとき⇒**レジ**
- レジ，提供，調理後半1人
  - 調理前半待ちが8個以上⇒**調理後半**
  - 提供待ちが2個以上⇒**提供**
  - どちらも満たしていないとき⇒**レジ**
- 提供，調理後半1人
  - 調理前半待ちが4個以上⇒**調理後半**
  - 満たしていないとき⇒**提供**
- 調理2レーン(2人で1レーンとみなす)
  - 調理後半に人がいる場合(兼任がいるとき)⇒**調理前半のみ**

実際のモデル(一部抜粋)



- 客(上のフロー)と従業員(下のフロー)の動きを分けて記述
- レジ待ち数や注文待ち数に応じて，挙動を変化

※S^4 Simulation System Version 6.2.0 を使用

シミュレーション条件

前提条件

- シミュレーション時間：1時間
- レジ対応時間：30～90秒の一様分布
- 提供時間：10～20秒の一様分布
- メニュー構成と調理時間(すべてセットメニューとして考える)

表1　商品の金額と平均調理時間，注文割合

商品名	金額(円)	平均調理時間(秒)	分散	注文割合
商品A	760	40	4	35
商品B	500	20	2	22
商品C	670	25	2.5	10
商品D	500	20	2	10
商品E	800	30	3	10
商品2セット	1340	45	4.5	13

シミュレーション条件

- 客の到着間隔
  - 混雑している時:15秒に1人の指数分布
  - 空いている時:30秒に1人の指数分布
- モバイルオーダー率:20%
- 混雑時(レジ待ち＋商品受け取り待ちが30人以上)
  - 75%退店
  - 25%モバイルオーダーに変更

シミュレーション条件

<u>評価値</u>

- 売上高
- 待ち時間
  - レジ待ち時間(入店してから，レジを受け始めるまで)
  - 商品受け取り待ち時間(注文が終わってから，商品を受け取るまで)
  - 総待ち時間(入店してから，商品を受け取るまで)
- 各従業員の稼働率
  - (勤務時間－遊休時間)÷勤務時間×100で算出

異なる乱数(seed)で**10回**シミュレーションを行う

実験概要

① モバイルオーダーによって売上高が上がるのか，どのくらい上がるのか

- モバイルオーダー導入と未導入で比較
- 混雑率を変化

② 得た利益分でスタッフを増員した場合，より売上高が上がるのか

- 増員した場合，しなかった場合の比較
- どこに配置するかも比較検討
- 混雑率を変化

実験①-1　売上高の比較

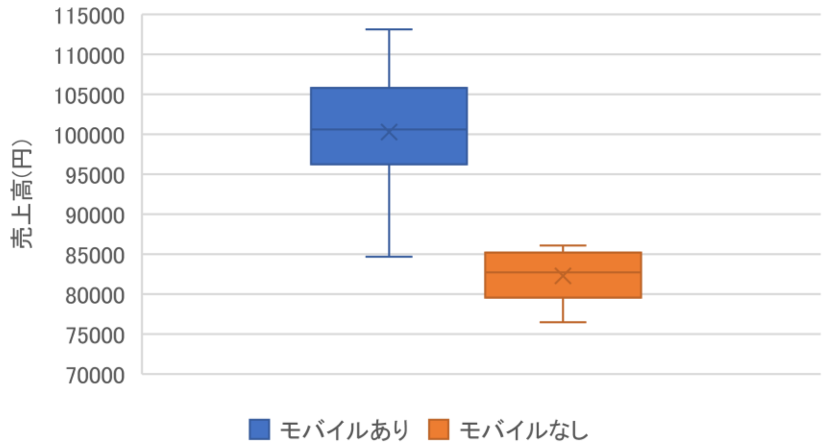


図1 混雑時の売上高の比較

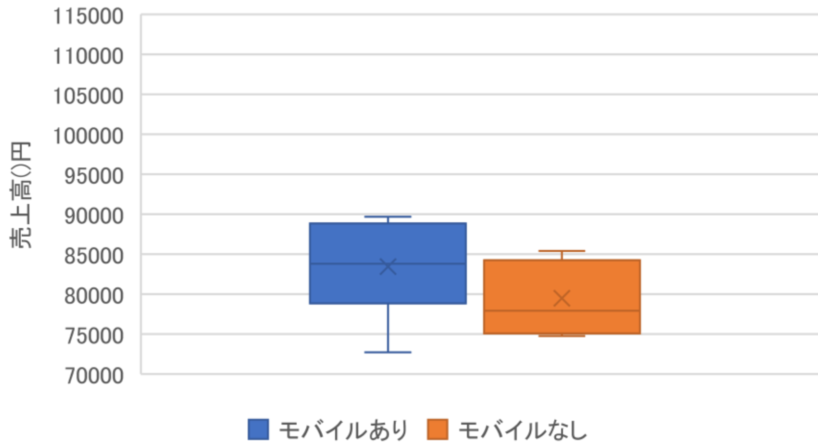


図2 空いている時の売上高の比較

モバイルありの平均:100,310円
モバイルなしの平均: 82,278円

モバイルありの方が
18,032円売上増

モバイルありの平均:83,440円
モバイルなしの平均:79,497円

モバイルありの方が
3,943円売上増

実験①-1　稼働率の比較

表2　各従業員の稼働率の比較

役割	モバイルあり	モバイルなし
レジメイン	95.4	100.0
レジ＆提供＆調理後半	96.6	99.8
提供＆調理後半	89.0	54.3
調理	97.7	96.5

- **モバイルあり**は各従業員の稼働率が**ほぼ同じ**である
- **モバイルなし**は提供＆調理後半担当の稼働率が**低く**，レジを担当する従業員の稼働率が**高い**

⇒モバイルなしではすべての客がレジにて注文するため，
レジの負荷が増加

実験①-2　モバイルなしのレイアウト変更

現状
・レジメイン１人
・レジ＆提供＆調理後半１人
・提供＆調理後半１人
・調理2レーン

変更後
・レジメイン１人
・レジ＆提供＆調理後半２人
・調理2レーン

総人数は変えずに，レジに重きを置く
スタッフ配置に変更

実験①-2　稼働率の比較(レイアウト変更後)

表3　各従業員の稼働率の比較

役割	モバイルあり	モバイルなし
レジメイン	95.4	99.7
レジ＆提供＆調理後半	96.6	99.5
提供＆調理後半	89.0	−
調理	97.7	98.3

- モバイルありよりモバイルなしの方が**約3～4%**稼働率が**高い**
- どちらもおおよそ90%を超える稼働率で，稼働率はほぼ同じといえる

⇒混雑時はモバイルあり・なしともに，**絶え間なく従業員が働いている**といえる

実験①-2　売上高の比較(レイアウト変更後)

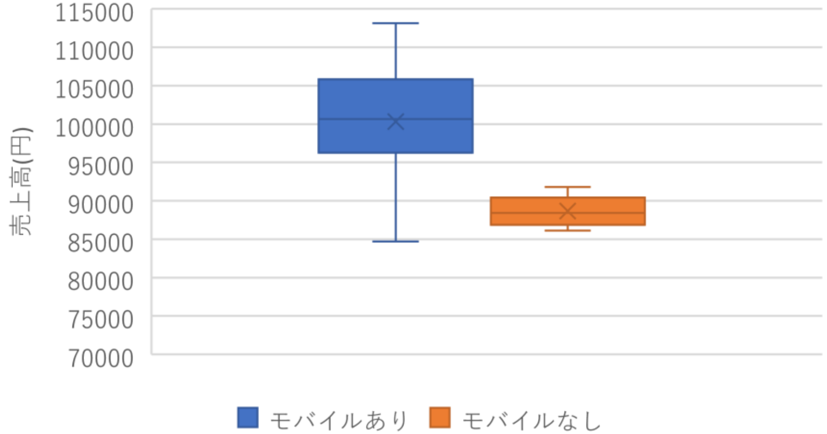


図3 混雑時の売上高の比較
(モバイルなしレイアウト変更)

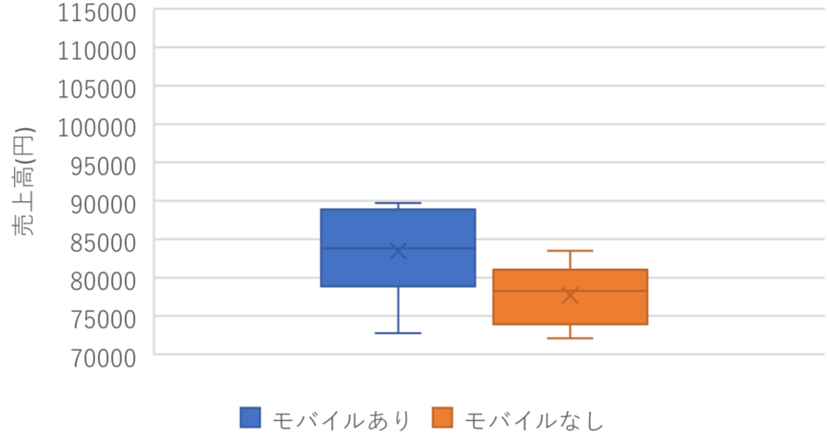


図4 空いている時の売上高の比較
(モバイルなしレイアウト変更)

モバイルありの平均：100,310円
モバイルなしの平均：　88,659円

モバイルありの方が
11,651円売上増

モバイルありの平均：83,440円
モバイルなしの平均：77,681円

モバイルありの方が
5,759円売上増

実験①-2　2つの母平均の差の検定

μ_1:モバイルありの売上高母平均

μ_2:モバイルなしの売上高母平均

${\sigma_1}^2$:モバイルありの売上高分散

${\sigma_2}^2$:モバイルありの売上高分散

$\bar{x}_1$:モバイルありの売上高平均

$\bar{x}_2$:モバイルなしの売上高平均

n_1:モバイルありのデータ数

n_2:モバイルなしのデータ数

S_1:モバイルありの平方和

S_2:モバイルなしの平方和

$\phi_1 = n_1 - 1$

$\phi_2 = n_2 - 1$

実験①-2　2つの母平均の差の検定～混雑時～

帰無仮説 $\mathrm{H}_0: \mu_1 = \mu_2$

対立仮説 $\mathrm{H}_1: \mu_1 > \mu_2$

とする.

有意水準$\alpha = 0.05$とする.

この時，棄却域Rは

$$t_0 \geq t(\phi_1 + \phi_2, 2\alpha)$$

2つの母分散が等しいとすると，母分散Vは

$$V = \frac{S_1 + S_2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$= \frac{582755000 + 30969490}{10 + 10 - 2}$$

$$= 34095805$$

と推定される.

検定統計量t_0は

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{V(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2})}}$$

よって

$$t_0 \fallingdotseq 4.46$$

したがって，

$$t_0 \geq t(\phi_1 + \phi_2, 2\alpha) = 1.734$$

となるので有意である.

H_0を棄却し，$\boldsymbol{\mu_1 > \mu_2}$**であると**いえる.

すなわち，**モバイルオーダーありの方が売上高が高い**といえる.

実験①-2　2つの母平均の差の検定～空いている時～

帰無仮説 $\mathrm{H}_0: \mu_1 = \mu_2$

対立仮説 $\mathrm{H}_1: \mu_1 > \mu_2$

とする.

有意水準$\alpha = 0.05$とする.

この時，棄却域Rは

$$t_0 \geq t(\phi_1 + \phi_2, 2\alpha)$$

2つの母分散が等しいとすると，母分散Vは

$$V = \frac{S_1 + S_2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$= \frac{273075000 \ + 125954090}{10 + 10 - 2}$$

$$= 22168282.7$$

と推定される.

検定統計量t_0は

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{V(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2})}}$$

よって

$$t_0 \fallingdotseq 2.74$$

したがって,

$$t_0 \geq t(\phi_1 + \phi_2, 2\alpha) = 1.734$$

となるので有意である.

H_0を棄却し，$\boldsymbol{\mu_1} > \boldsymbol{\mu_2}$**である**といえる.

すなわち，**モバイルオーダーありの方が売上高が高い**といえる.

実験①-2　待ち時間の比較

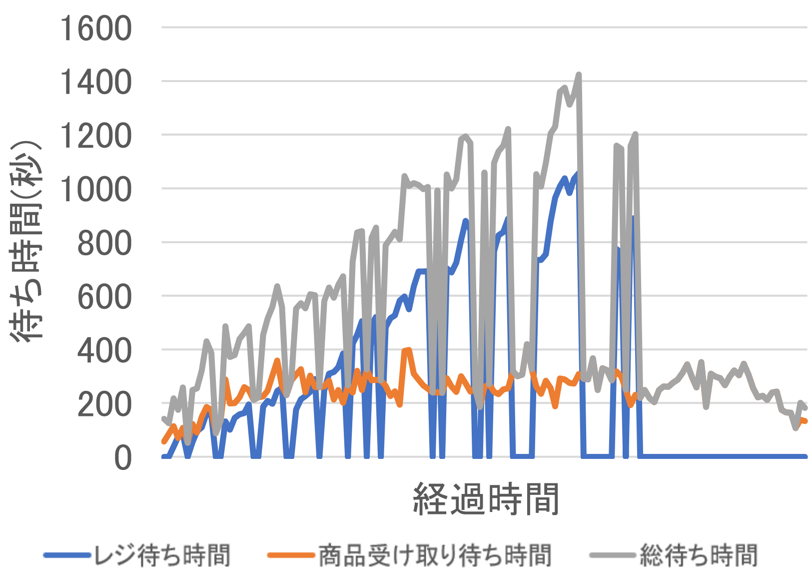


図5 モバイルありの待ち時間

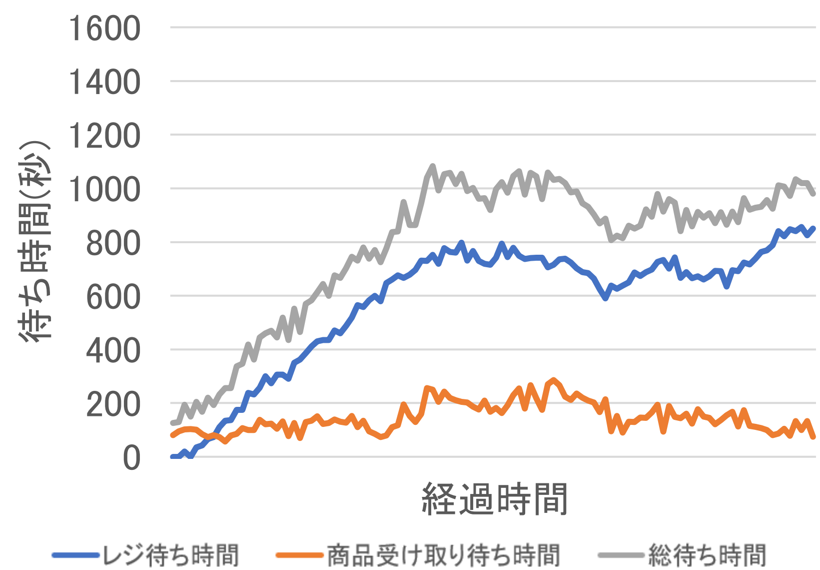


図6 モバイルなしの待ち時間

- モバイルありの方が**待ち時間の最大値が大きい**
- モバイルありでは**レジ待ち客の待ち時間が長い**
- モバイルなしは混雑すると総待ち時間が1000秒前後で横ばい
- 商品受け取り待ち時間はモバイルあり＞モバイルなし

実験①　考察

モバイルオーダーによって売上高は増加する

- 混雑時に顕著に**売上増**
- 従業員稼働率は**モバイルなし＞モバイルあり**

⇒稼働率に関係なく，売上が増加

なぜモバイルオーダーありの方が利益増？

- 売上の増加≒**客数の増加**

⇒モバイルオーダーの方が**絶え間なくオーダー**が入る

⇒モバイルオーダーの方が，店の滞在時間が短く，**退店率が低い**

- 一方で，モバイルオーダーを導入すると**待ち時間は増加傾向**

実験概要

① モバイルオーダーによって売上高が上がるのか，どのくらい上がるのか
- モバイルオーダー導入と未導入で比較
- 混雑率を変化

② 得た利益分でスタッフを増員した場合，より売上高が上がるのか
- 増員した場合，しなかった場合の比較
- どこに配置するかも比較検討
- 混雑率を変化

実験② 従業員追加のレイアウト

表2 各従業員の稼働率の比較(再掲・抜粋)

役割	モバイルあり		
レジメイン	95.4		
レジ＆提供＆調理後半	96.6	＋1人追加	・・・レイアウトA
提供＆調理後半	89.0		
調理	97.7	＋調理後半担当1人追加	・・・レイアウトB

- 稼働率の高いところに従業員を1人追加
- レイアウトAとBをそれぞれ従業員追加前と比較

※調理は設備の関係で2レーンしかないため，調理前半担当は最大2名．
よって，調理後半担当を追加．

実験②　追加前，レイアウトA，Bの売上高比較

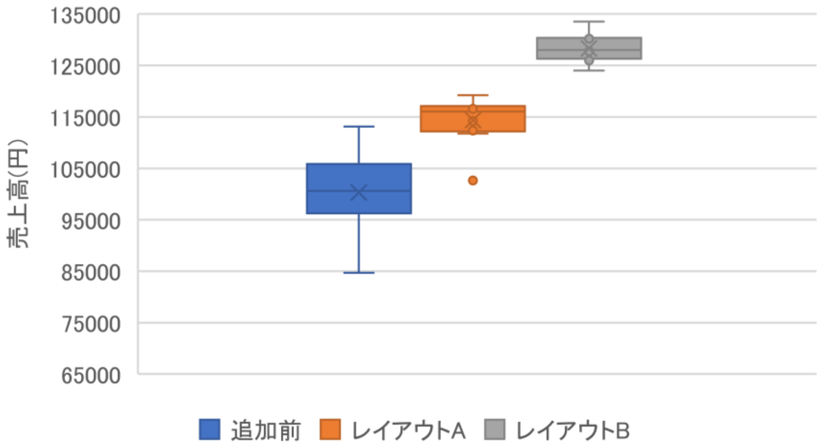


図7 混雑時の売上高の比較

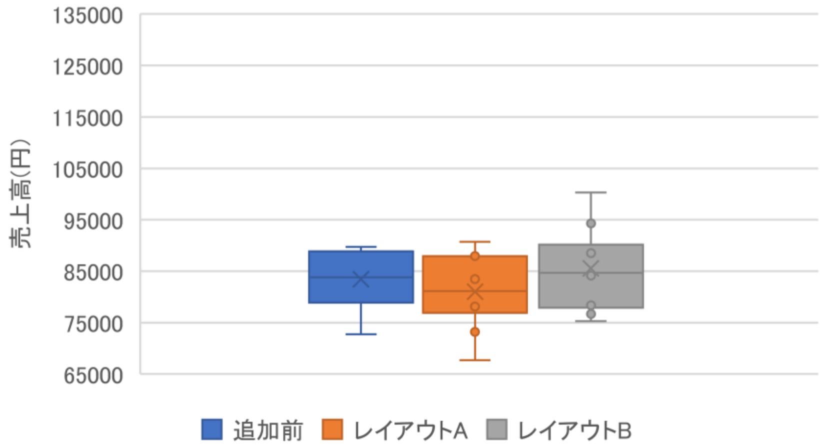


図8 空いている時の売上高の比較

追加前の平均　:100,310円
レイアウトAの平均　:114,355円
レイアウトBの平均　:128,307円

レイアウトAは**14,045円増**
レイアウトBは**27,997円増**

追加前の平均　:83,440円
レイアウトAの平均　:80,992円
レイアウトBの平均　:85,562円

レイアウトAは**2,448円減**
レイアウトBは**2,122円増**

実験② 稼働率の比較

表4 各従業員の稼働率の比較

役割	追加前	レイアウトA	レイアウトB
レジメイン	95.4	95.2	96.1
レジ＆提供＆調理後半	96.6	95.5	93.8
提供＆調理後半	89.0	95.1	94.3
調理	97.7	98.6	97.9
調理後半	－	－	58.3

- 追加前とレイアウトAの稼働率は**ほぼ同じ**

⇒従業員を1人追加しても高い稼働率を維持

- レイアウトBは売上高が最も高いが，**調理後半**の稼働率は**低い**

⇒稼働率が高くても売上高が高いとは限らない？

実験② 2つの母平均の差の検定

μ_0:追加前の売上高母平均

μ_a:レイアウトAの売上高母平均

μ_b:レイアウトBの売上高母平均

${\sigma_0}^2$:追加前の売上高分散

${\sigma_a}^2$:レイアウトAの売上高分散

${\sigma_b}^2$:レイアウトBの売上高分散

$\bar{x}_0$:追加前の売上高平均

$\bar{x}_a$:レイアウトAの売上高平均

$\bar{x}_b$:レイアウトBの売上高平均

n_0:追加前のデータ数

n_a:レイアウトAのデータ数

n_b:レイアウトBのデータ数

S_0:追加前の平方和

S_a:レイアウトAの平方和

S_b:レイアウトBの平方和

$\phi_0 = n_0 - 1$

$\phi_a = n_a - 1$

$\phi_b = n_b - 1$

実験② 2つの母平均の差の検定～レイアウトA混雑時～

帰無仮説 $\mathrm{H}_0: \mu_0 = \mu_a$

対立仮説 $\mathrm{H}_1: \mu_0 < \mu_a$

とする.

有意水準$\alpha = 0.05$とする.

この時，棄却域Rは

$$t_0 \leq -t(\phi_0 + \phi_a, 2\alpha)$$

2つの母分散が等しいとすると，母分散Vは

$$V = \frac{S_0 + S_a}{n_0 + n_a - 2}$$

$$= \frac{582755000 + 200509450}{10 + 10 - 2}$$

$$≒ 43514691.67$$

と推定される.

検定統計量t_0は

$$t_0 = \frac{\bar{x}_0 - \bar{x}_a}{\sqrt{V(\frac{1}{n_0} + \frac{1}{n_a})}}$$

よって

$$t_0 ≒ -4.76$$

したがって，

$$t_0 \leq -t(\phi_0 + \phi_a, 2\alpha) = -1.734$$

となるので有意である.

H_0を棄却し，$\boldsymbol{\mu_0} < \boldsymbol{\mu_a}$**である**といえる.

すなわち，追加前より**レイアウトAの方が売上高が高い**といえる.

実験② 2つの母平均の差の検定～レイアウトA空いている時～

帰無仮説 $\mathrm{H}_0: \mu_0 = \mu_a$

対立仮説 $\mathrm{H}_1: \mu_0 < \mu_a$

とする.

有意水準$\alpha = 0.05$とする.

この時, 棄却域Rは

$$t_0 \leq -t(\phi_0 + \phi_a, 2\alpha)$$

2つの母分散が等しいとすると, 母分散Vは

$$V = \frac{S_0 + S_a}{n_0 + n_a - 2}$$

$$= \frac{273075000 + 461298360}{10 + 10 - 2}$$

$$= 40798520$$

と推定される.

検定統計量t_0は

$$t_0 = \frac{\bar{x}_0 - \bar{x}_a}{\sqrt{V(\frac{1}{n_0} + \frac{1}{n_a})}}$$

よって

$$t_0 \risingdotseq 0.857$$

したがって,

$$t_0 > -t(\phi_0 + \phi_a, 2\alpha) = -1.734$$

となるので有意であるといえない

H_0を棄却できず, $\boldsymbol{\mu_0 < \mu_a}$**であるといえない**.

すなわち, **空いている場合**は追加前より**レイアウトAの方が売上高が高い**とはいえない.

実験② 2つの母平均の差の検定～レイアウトB混雑時～

帰無仮説 $\mathrm{H}_0: \mu_0 = \mu_b$

対立仮説 $\mathrm{H}_1: \mu_0 < \mu_b$

とする.

有意水準$\alpha = 0.05$とする.

この時，棄却域Rは

$$t_0 \leq -t(\phi_0 + \phi_b, 2\alpha)$$

2つの母分散が等しいとすると，母分散Vは

$$V = \frac{S_0 + S_b}{n_0 + n_b - 2}$$

$$= \frac{582755000 + 67959210}{10 + 10 - 2}$$

$$\fallingdotseq 36150789.44$$

と推定される.

検定統計量t_0は

$$t_0 = \frac{\bar{x}_0 - \bar{x}_b}{\sqrt{V\left(\frac{1}{n_0} + \frac{1}{n_b}\right)}}$$

よって

$$t_0 \fallingdotseq -10.412$$

したがって，

$$t_0 \leq -t(\phi_0 + \phi_a, 2\alpha) = -1.734$$

となるので有意である.

H_0を棄却し，$\boldsymbol{\mu_0 < \mu_b}$**である**といえる.

すなわち，追加前より**レイアウトBの方が売上高が高い**といえる.

実験② 2つの母平均の差の検定～レイアウトB空いている時～

帰無仮説 $\mathrm{H}_0: \mu_0 = \mu_b$

対立仮説 $\mathrm{H}_1: \mu_0 < \mu_b$

とする.

有意水準$\alpha = 0.05$とする.

この時，棄却域Rは

$$t_0 \leq -t(\phi_0 + \phi_b, 2\alpha)$$

2つの母分散が等しいとすると，母分散Vは

$$V = \frac{S_0 + S_b}{n_0 + n_b - 2}$$

$$= \frac{273075000 + 553895160}{10 + 10 - 2}$$

$$≒ 45942786.67$$

と推定される.

検定統計量t_0は

$$t_0 = \frac{\bar{x}_0 - \bar{x}_b}{\sqrt{V(\frac{1}{n_0} + \frac{1}{n_b})}}$$

よって

$$t_0 ≒ -0.700$$

したがって,

$$t_0 > -t(\phi_0 + \phi_b, 2\alpha) = -1.734$$

となるので有意であるといえない

H_0を棄却できず，$\boldsymbol{\mu_0 < \mu_b}$**であるといえない**.

すなわち，**空いている場合**は追加前より**レイアウトBの方が売上高が高い**とはいえない.

実験② 待ち時間の比較

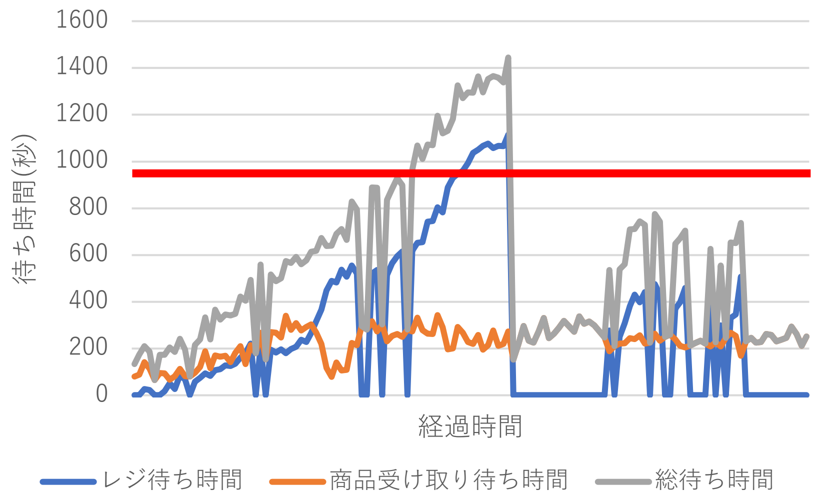


図9 追加前の待ち時間

- 追加前の待ち時間では，商品受け取り待ち時間は**横ばい**
- 一方で，レジ待ち時間は急増し，総待ち時間が1,400秒を超えてからは，退店orモバイルオーダーを選択によって，待ち時間が減っている

実験②　待ち時間の比較

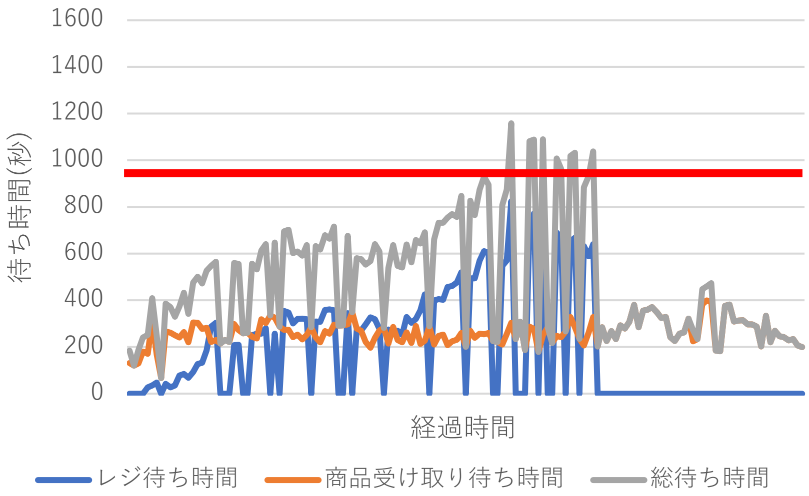


図10 レイアウトAの待ち時間

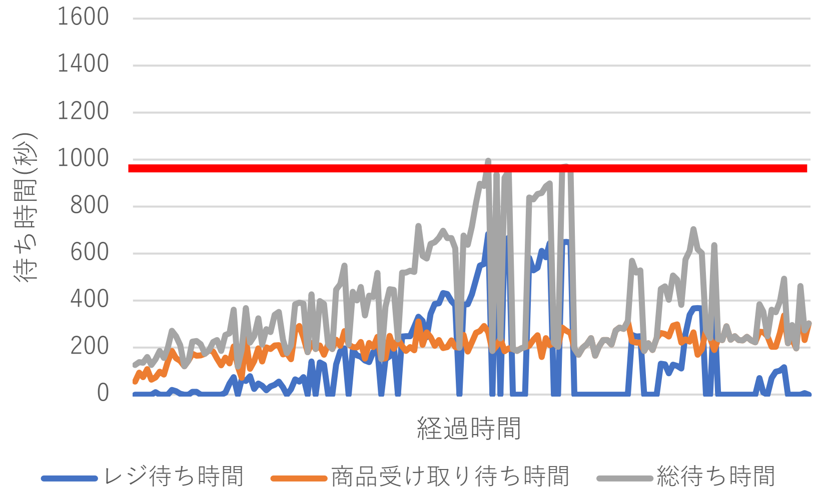


図11 レイアウトBの待ち時間

- 全体的な待ち時間は**追加前＞レイアウトA＞レイアウトB**となっている
- レイアウトAでは商品受け取り待ち時間が300秒前後の一方で，レイアウトBは200秒前後である

⇒調理に重きを置いた従業員を配置したため

⇒全体的な**待ち時間の減少**につながっている

実験② 考察

従業員を1人追加すると

混雑時　　　　　　　売上増加

空いている時　増加するとは限らない

- 混雑時は従業員の追加によって，１人当たりの待ち時間すなわちサービス時間が減少し，**客数が増えることで利益が増加**している
- 一方で，空いている時は**退店者がおらず**，すべてのお客さんを受けているため，利益の違いがあまりなかったと考えられる
- また，従業員を追加すると待ち時間の減少につながる

⇒混雑時には**従業員追加が売上増加**に影響を与える

まとめ

モバイルオーダー導入は，

レジ待ち列が短くなることによるお客の獲得

混雑時に退店してしまうお客の獲得

によって**売上を増加**させている

よって混雑時は，従業員を追加することで**さらなる売上増加**につながる

一方で，モバイルオーダー数が急増すると，従業員が調理寄りになることで，待ち時間，特に**レジ待ち客の待ち時間が伸びる**

したがって，モバイルオーダー導入前より，**混雑する時間帯に従業員を増やす**ことが有効だといえる

今後の展望

混雑時に人を追加しないのはなぜか？

- 飲食店の**人材不足**
- レイアウトによっても売上高が大きく変わる　※補足資料より

⇒**従業員習熟度**も関係？

しかし，待ち時間は**顧客満足度にも関係**する

- 人材不足を考慮した**新たなレイアウト**の提案ex.タッチパネル注文
- **顧客満足度**との関連

補足資料　2つの母平均の差の検定～混雑時レイアウトAとB～

帰無仮説 $\mathrm{H}_0: \mu_a = \mu_b$

対立仮説 $\mathrm{H}_1: \mu_a < \mu_b$

とする.

有意水準$\alpha = 0.05$とする.

この時，棄却域Rは

$$t_0 \leq -t(\phi_a + \phi_b, 2\alpha)$$

2つの母分散が等しいとすると，母分散Vは

$$V = \frac{S_a + S_b}{n_a + n_b - 2}$$

$$= \frac{200509450 + 67959210}{10 + 10 - 2}$$

$$\fallingdotseq 14914925.56$$

と推定される.

検定統計量t_0は

$$t_0 = \frac{\bar{x}_0 - \bar{x}_b}{\sqrt{V(\frac{1}{n_0} + \frac{1}{n_b})}}$$

よって

$$t_0 \fallingdotseq -8.078$$

したがって，

$$t_0 \leq -t(\phi_0 + \phi_a, 2\alpha) = -1.734$$

となるので有意である.

H_0を棄却し，$\boldsymbol{\mu_a} < \boldsymbol{\mu_b}$**である**といえる.

すなわち，レイアウトAより**レイアウトBの方が売上高が高い**といえる.

参考文献

[1] 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” 2017/6/23

[2]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へのIT導入がもたらす影響の分析” 2017/12/11

[3] マクドナルド “モバイルオーダー”

https://www.mcdonalds.co.jp/shop/mobileorder/ (最終アクセス日2022.11.25)

[4] スターバックスコーヒージャパン “Mobile Order & Pay”
https://www.starbucks.co.jp/mobileorder/guide/ (最終アクセス日2022.11.25)