

PQ方式によって稼働するエレベーター3基の 運用効率改善シミュレーション

川口隼平¹, 金井政宏^{1,3}, 田中基大²

¹ 久留米工業大学大学院電子情報システム工学専攻 ² 久留米工業大学大学院自動車システム工学専攻

³ 久留米工業大学工学部教育創造工学科

概要

久留米工業大学100号館にある3基のエレベーターは講義前後、講義に向かう人講義から帰る人によって非常に混雑する。そこで本研究では運用効率改善のため、キューイング方式の中でも優先度クラスを用いたPQ (Priority Queuing) 方式を用いることで、シミュレーションによって待ち行列の改善について調査した。その結果、各エレベーターが移動する階を指定することで運用効率の改善を行うことができると分かった。

Operation efficiency improvement simulation of 3 elevators operated by Priority Queuing

Shumpei Kawaguchi¹, Masahiro Kanai^{1,3}, Motohiro Tanaka²

¹ Department of Electronics and Information System Engineering, Kurume Institute of Technology

² Department of Automotive System Engineering, Kurume Institute of Technology

³ Department of Education and Creation Engineering, Kurume Institute of Technology

Abstract

The three elevators in Kurume Institute of Technology Building 100 are very crowded before and after the lecture, depending on who goes to the lecture and who returns from the lecture. Therefore, in this study, in order to improve operational efficiency, we investigated the improvement of the queue by simulation by using the PQ (Priority Queuing) method that uses the priority class among the queuing methods. As a result, it was found that the operational efficiency can be improved by designating the floor on which each elevator moves.

1 はじめに

シチズン時計株式会社が行ったビジネスパーソンの待ち時間意識調査 [2] によると「“30秒まで”で半数近く (47.7%) が、“1分”経つと4人に3人強 (76.7%) がイライラを感じます。」とあり、30秒から1分以上の待ち時間が発生する場合において、待ち時間を短縮することはエレベーターの快適さ改善において重要な課題であると考えられる。本研究では久留米工業大学9階建のビルにある3基のエレベーター

をモデルにシミュレーションを作成し、現実では検証しにくい事象を再現することでエレベーターにおける最適化について解くことを目標とする。

2 シミュレーションについて

シミュレーションでは講義前の時間において、客が講義の教室に向かうため1階のメインターミナルから各講義室へ上向きのトラフィックが発生するパターン Up-peak traffic をモデルにする。

2.1 仮説

先行研究 [1] によると、学生がエレベーターに到着した順で搭乗することで複数の目的階に停止することになり、停止する階を振り分けることができれば停止する階を減らすことが出来るとある。このことから客全体の目的階に合わせエレベーターに乗る人の階数を指定することで効率化が可能であると考えた。

2.2 モデル化

久留米工業大学100号館にある3基のエレベーターに対し授業前に発生する待ち行列に、本研究では以下の条件を加えることモデル化をした。

1. 客は到着順にサービスを受けようとする。
2. かごに乗る人数は常に一定である。

これによって、到着する客が複数人であっても微小時間で考えることで1人ずつ到着するため、本学エレベーターは1階をメインターミナルとして3基のエレベーターに1列の行列ができるモデルはケンドール記号で M/M/3 として表すことができる。

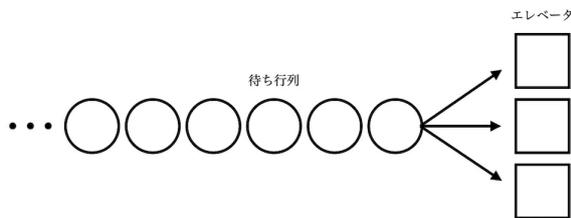


図 1: モデル M/M/3 のイメージ

2.3 解析

ケンドール記号 M/M/s で表すことのできるモデルでは、システムの効率を平均稼働率 ρ として表すことが出来る。また平均稼働率は平均到着率 λ と平均サービス率 μ から算出することができ、平均到着率は以下ようになる。

C = エレベーターを利用するクラス数

n_p = 1 クラスの人数

t = エレベーターの総稼働時間

$$\lambda = \frac{C \times n_p}{t}$$

また平均サービス率は平均サービス時間の逆数となるため、平均サービス時間 T_s を算出

x_i = i 階への平均サービス時間

n = 総利用客数

$$T_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

この平均サービス時間は確率によってランダムに発生するため、シミュレーション内で収束するまで繰り返す。このとき分散は次のように計算でき、

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right)^2$$

こうして収束した平均サービス時間から平均サービス率 μ を算出できる。

$$\mu = \frac{1}{T_s}$$

しかし、平均サービス率に関してはエレベーターの性質上そのまま利用することができない。なぜならエレベーターは客の全員送り切るまでがサービスとなるが、サービスが終わってから次のサービスを開始するためにメインターミナルに戻ってくる必要があるからである。そこで、エレベーターがサービスを開始しメインターミナルに戻ってくるまでの時間をサービス時間 T_b とし同じように計算すると次のようになる。

n_b = かご内の人数

$$\mu = \frac{n_b}{T_b}$$

2.4 構成

以上より、本研究で作成したシミュレーションの構成は次のようになる。また移動時間は実際に計測を行なった値 (図 2) を用いる。

1. あらかじめ設定した人数がポアソン到着をする。
2. ランダムな目的階を持った客にサービスを行う。
3. 往復時間をもとに平均サービス率を算出。
4. 平均到着率と平均サービス率より、平均稼働率の算出。
5. 同じ条件で繰り返し、平均稼働率の収束も行う。

2.5 優先度

仮説を検証するため、待ち行列に対して行き先階によって次に乗る客を決定するアルゴリズムを作成した。仮説では到着階を減らすことで効率化することができるため、目的階が同じ客を優先して同じか

	移動時間	1階あたり
2階	12.2秒	12.2秒
3階	15.3秒	7.6秒
4階	18.4秒	6.1秒
5階	20.7秒	5.2秒
6階	22.7秒	4.5秒
7階	24.9秒	4.2秒
8階	27.1秒	3.9秒
9階	29.3秒	3.7秒

図2: 1階から各階への移動時間

ごに載せることで到着階数を減らすことができると考えた。

しかし、同じ階に行く人がおらず最後まで優先度が低くなることで長時間待たされる客がいる可能性がある。そこで到着も考慮した評価を行なった。つまり到着時刻が早いほど優先順位は高くなり、さらに同じ階に行く人が多いほど優先順位は高くなる。

優先順位 P は次の式で求める。また優先順位は値が小さいほど高い。

r = 同一目的階人数優先度

N_d = 階数 d を目的階とする人数

T_a = 到着時刻

t = 乗り込み時刻

$$P = \frac{r}{N_d} + \frac{T_a}{t}$$

また同一目的階人数優先度 r とは、同じ階に行く人が多いグループを優先するか、到着時刻を優先するかの比率を決める値である。

3 結果及び考察

結果では前述の優先度 r について $1 \cdot 10 \cdot 50$ で行い、最も平均待ち時間が減った割合が高かったものについて考察する。

またビジネスパーソンの待ち時間意識調査 [2] より、イライラする待ち時間の基準を 30 秒・60 秒と考え、構成における 2 番目でサービスを行う際に優先度をつけない状態で行なったシミュレーションを実験 1、優先度をつけかごの載せる客を振り分けたシミュレーションを実験 2 とし、それぞれの各人数パターンにおける平均待ち時間の全データをもとにヒストグラムで比較し考察した。

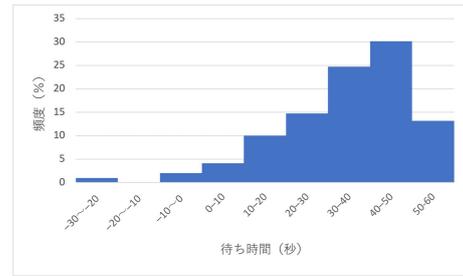


図3: 6クラス実験1

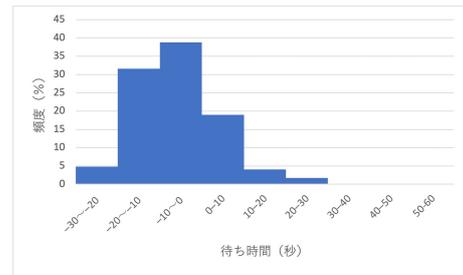


図4: 6クラス実験2

3.1 結果

ひとクラス 30 人、6 クラスが利用したパターンでは基準は 30 秒だけとなり、実験 1 で 30 秒を超えたパターンが全体のおよそ 68% あったことに対して実験 2 では 1 パターンもなく、大幅な改善が見られた。

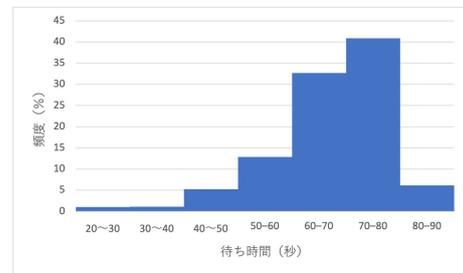


図5: 7クラス実験1

7 クラスのパターンでは 60 秒を超えたパターンもあり、実験 1 で 30 秒以上・60 秒以内であったパターンが全体のおよそ 19%、60 秒以上となったパターンはおよそ 79% であったことに対し、実験 2 では 30 秒以上・60 秒以内であったパターンが全体のおよそ 52%、60 秒以上となったパターンはおよそ 0.2% となった。

また 30 秒以上全てのパターンに関して実験 1 では 99% であったが、実験 2 では 52% となり 6 クラス

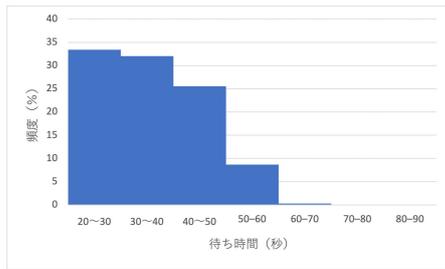


図 6: 7クラス実験2

のパターンと同様に改善が見られた。

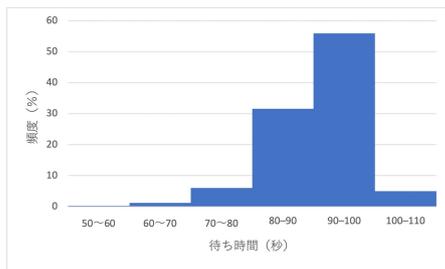


図 7: 8クラス実験1

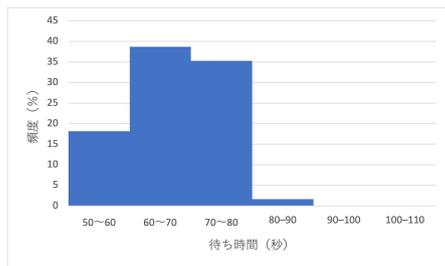


図 8: 8クラス実験2

8クラスのパターンでは実験1で60秒以上のパターンが約99%となりほぼ全てとなったが、実験2では約75%となった。また30秒以上60秒以内となったパターンは約24%となり同様に改善が見られた。

3.2 考察

平均稼働率 ρ が改善されると、必然的に平均待ち時間も改善されるため、各階の利用人数に変動がないエレベーター・システムであれば、各エレベーターの目的階による利用制限をすることで十分な効率化が見込めることがわかった。

またこの効率化をするにあたり重要なことは、各エレベーターの平均稼働率 ρ ができるだけ均等になるように設定することであると考える。エレベーター

を1つのサービスと考えたとき、どれか1つでも偏りがあれば偏ったエレベーターを利用している客が不満を感じるきっかけになる可能性がある。

以上から、各階の利用人数とエレベーターの移動時間がわかれば、利用制限による最適化が可能であることが分かった。

4 まとめ

本研究ではエレベーターを外部から支援することで運用効率の改善を行うシステムについて、シミュレーションをもとに解析を行なった。

また待ち行列理論において平均サービス率 μ は平均サービス時間の逆数となるが、サービス時間ではなくかごがメインターミナルに戻りサービスが可能となるまでの時間の逆数とすることで、シミュレーション結果をより現実に近いものにできた。

最後に利用制限による振り分けからわかるように、本学エレベーターやオフィスビルのエレベーターを最適化するには各エレベーターが移動する階を指定するだけで十分な効率化ができる。

例えばオフィスビルのような常に各階の利用人数が一定になる場所では、メインターミナルで各エレベーターが移動できる階を示すだけで効率化でき、本学エレベーターでは授業によって客の目的階が変わるため、教務システムと連携することで時間ごとに各エレベーターの目的階を示すことで効率化が可能である。

今後の課題として本研究の結果はあくまでシミュレーションによるため、実証実験を行う必要があると考える。

また、本研究ではネットワークのキューイング方式の中でPQ方式を用いた制御を行なったが、その他WFQ(Weighted Fair Queuing)、LLQ(Low Latency Queuing) などについてもエレベーターのモデルに当てはめて最適解について引き続き研究を行う。

参考文献

- [1] 宇都薫乃, 金井政宏, “イライラしないエレベーター ～エレベーター3基の乗降人数の計測と分析”, 交通流と自動駆動粒子系シンポジウム論文集, (2018).
- [2] シチズン時計株式会社, “ビジネスパーソンの「待ち時間」意識調査”, (2018).