

指導教員印

2020年度卒業論文

人物センシング情報を用いたエレベータ群
管理における行先階の適応的変更
Adaptive Modification of destination in
Elevator-Group Control Systems with Sensing
Information

東京都市大学 知識工学部
情報科学科
自動制御研究室
大屋 英稔 教授
星 義克 講師
1721028 小貫 郁佳

目次

1	序論	1
1.1	研究目的と意義	2
2	従来研究	3
2.1	エレベータ群管理システムの概要	3
2.2	従来研究における課題	4
3	本研究で用いるシミュレータ	5
3.1	シミュレータ (S4SimulationSystem)	5
3.2	エレベータのモデル	5
3.3	乗客のモデル	5
3.4	アニメーションモデル	6
4	提案手法	7
4.1	想定環境	7
4.2	行先を決定する重み行列 w_s の設定	8
4.3	行先階の決定	9
4.4	乗客発生間隔の設定	9
4.5	提案手法のアルゴリズム	9
5	シミュレーション結果と考察	11
5.1	シミュレーション結果	11
5.1.1	平均待ち時間・平均サービス完了時間	11
5.1.2	乗客エージェントの挙動	13
5.1.3	同行先階優先乗車の様子	15
5.2	考察	16
6	結論	17

概要: 本論文では, 人物センシング情報を用いたエレベータ群管理において, 適切なかご割当てにより, 運行効率を改善する手法を提案する. オフィスビルにおける朝の出勤時にエレベータ乗車待ちの行列は, エレベータに乗車するまでに時間を要するだけでなく, ビル内移動の妨げにもなる. そこで, 人物センシング情報を用いたエレベータ群管理における適切なかご割当てアルゴリズムを提案し, その有効性を示す.

Abstract: In this thesis, we propose a method to improve the operation efficiency by appropriate cage allocation in elevator group control systems with sensing information. The queue waiting for the elevator to get on the office building in the morning not only takes time to get on the elevator, but also hinders the movement in the building. Therefore, we propose an appropriate car allocation algorithm for elevator group control systems with sensing information and show the effectiveness of the proposed algorithm.

1 序論

都市部の居住人口密度の増大に伴い高層建築物が増加しつつある。特に近年では、先進国のみならず新興国の発展により、全世界的に高層建築物が増加している。高層建築物の増加により、鉄道・自動車といった水平方向のモビリティだけでなく、エレベータによる垂直方向のモビリティも現代の都市において重要な要素となっている。

日本では、1963年に建築基準法改正で、建築物の高さ制限が緩和されたことによって、超高層ビルの建設が可能になり、それと同時にビル内の交通インフラであるエレベータに対して輸送効率の向上が求められるようになった。高層ビル内の、エレベータの輸送効率向上を目的として、通常2~8台のエレベータを一群として効率的に管理・運用するエレベータ群管理システムを導入し、さらに人工知能技術を組み込むことにより、エレベータ群管理システムの効率化が図られてきた [1]。

一方、RFID(Radio Frequency Identifier)・バイオメトリクスなどの認証技術の発展やセキュリティ面への社会の関心の高まりにより、監視カメラ・入退管理システム・セキュリティゲート等の人物をセンシングするシステムが広く普及している。特に、オフィスビルでは、ビル内に設置された入退管理システムなどとエレベータが連動したシステムが設置され始めている。鈴木らは、エレベータホール周辺で検出した乗客の行先階を自動的に登録し、乗車するエレベータを個々の利用者に報知するシステムにおいて、乗客のエレベータホールへの移動時間を考慮した配車を行う手法 [2] を提案し、エレベータの運行効率を向上させることに成功している。しかしながら、セキュリティ面への関心の高まりによるセキュリティゲート等の入退管理システムの導入は日常生活における人々の動線を分断し利用者の移動を妨げている。このような中、エレベータ利用者には、エレベータの待ち時間、乗場での行列やかご内の満員状態、朝の出勤時の乗場ボタン操作などに対して、「イライラする」、「面倒である」といった潜在的な不満を持つことがあり、これを解消すべき課題として、エレベータの他、ビル内の設備によるビル内の動線への影響について星野らは人流解析技術を用いたビル内移動の最適化シミュレーションを行っている [4]。オフィスビルにおける朝の出勤時、ビル内で働く人々がほぼ同時刻にエレベータを利用する。このとき、エレベータを利用するための行列が発生し、エレベータに乗車するまでに時間を要す

る他、エレベータ待ちの行列はその他の通行の妨げになり、ビル内の移動が困難になる。そこで、本論文では、潜在的な不満を持つことが多いオフィスビルにおける朝の出勤時に着目し、人物センシング情報を用いた適切なかごの割当てにより、運転効率を改善する手法を提案する。

1.1 研究目的と意義

利用者が潜在的な不満を持つことが多い朝の出勤時において、エレベータ利用者はロビー階（主に1F）から上層階への移動が多くなる。このとき、ロビー階にはエレベータ待ち行列が発生し、利用者がエレベータに乗車するまでに時間を要する他、エレベータ待ち行列はその他の通行の妨げになる。ビル内移動が困難という問題の解決のため、根本的な課題として挙げられるエレベータの運行効率の改善を図る。エレベータの運行効率を改善するための方策として、乗客を効率よくエレベータかごに割当てすることで、エレベータかごの無駄な停止時間を省くこと、エレベータかごがロビー階を出発してから再びロビー階に戻るまでの周回時間を短くし、エレベータかごの回転率を上げることなどが挙げられる。本論文では、同じ行先階の乗客を一つのエレベータかごにまとめて乗車させることで一つのエレベータかごに含まれる行先階や、各階に停止する回数の低減、ならびに周回時間の削減を図り、エレベータの運行効率を改善する。

2 従来研究

エレベータ群管理は不確実な乗客発生情報に基づいた最適化問題であるため、AI(Artificial Intelligence)技術などを用いて「知識」を導入し、より少ない演算量でより良い制御を行うアプローチが試みられている。エレベータ群管理のAI技術応用の研究の1つとして、ファジィ・ルールベースを用いた手法 [7] が挙げられ、文献 [7] では、変動するビル内交通に適応したかご割当制御が可能になることを示している。また、エレベータホールにて行先階を登録し事前に個々の利用者に割当てかごを報知する方式において、停止する階床数に上限値を設けることで運転効率の向上を図る研究 [5] がある。文献 [6] では、ビルごとに異なるだけでなく階ごとに異なる制御を行いたいという要望に応えるため、階ごとに異なる評価を用いてかご割当てを行う必要があるエレベータ群において、利用状況や要望に合わせて調整する必要のある制御パラメータ数が従来の数十倍になるという課題に対し、遺伝的アルゴリズムを用いたパラメータの最適化を行うことにより、利用状況などの環境の変化があった場合でも安定した制御ができるパラメータ調整方法を提案している。更に、鈴木ら [2] は、入退管理システムとエレベータ群が連動することで、事前に行先階を自動的に登録できるシステムにおける適切な割当てかごの報知をするシステムを提案している。

2.1 エレベータ群管理システムの概要

ここで、一般的なエレベータ群管理システムについて説明する。乗客が乗場ボタンを押すと同時に「乗場呼び」が登録され、エレベータ群内で最も適切と判断されるかご（以下、割当てかごと表記）が、該当する乗場呼びに割り当てられる。この割当てかごの決定と同時に、乗場に設置されたホールランタンやチャイムなどにより、どのかごが応答するか乗客に報知される。また、乗車後かご内に設置された行先階ボタンを押し、目的階まで移動することができる。

2.2 従来研究における課題

従来のエレベータ管理では、各階でエレベータかごが満員になるまで全ての乗客を乗車させていた。しかし、あるフロアにおいて乗客の到着順に乗客を乗車させると一つのエレベータかご内に含まれる行先階は最大でビル階数 -1 となる。全ての階でエレベータかごが停止し、乗客の乗り降りが発生すると、かごが停止する時間と乗り降りにかかる時間分のロス時間が生じる。このロス時間をできるだけ小さくすることにより、エレベータがロビー階を出発してから再びロビー階に戻ってくるまでの周回時間を短縮することが課題である。

3 本研究で用いるシミュレータ

3.1 シミュレータ (S4SimulationSystem)

本研究では、人物センシング情報を用いて、乗客が発生してからのかご割当て、乗車から降車までの移動を離散時間でシミュレーションする。シミュレータは、S4SimulationSystem (株式会社NTT データ数理システム) を用いる。S4SimulationSystem では、一定のルールに従い自律的に行動するエージェント同士が相互に作用しながら行動することで現れる複雑な社会現象を分析・予測する。S4SimulationSystem を使用してモデルを作成する際、本シミュレータ独自の psim 言語ライブラリを用いた Python 言語によるプログラミングを利用する。

3.2 エレベータのモデル

エレベータは個々のエージェントが検出された時点での情報に基づいて動作する。エレベータの基本的な動作は、あるフロアにおけるエレベータの進行方向と待ち行列のエージェントの行先階が同じ方向の場合乗車させる。乗車の際に、乗車時刻・エレベータ ID・エージェント ID・ホール待ち時間・乗車階・行先階を乗車したエージェントに与える。このデータを基に乗客は行先階で降車し、降車の際、降車時刻、降車階を降車したエージェントに与える。

3.3 乗客のモデル

乗客は重み行列 ws を用いた経験分布により生成される。重み行列 ws とは、各階から各階への乗客発生割合を担うものである。例えば、16F のビルにおける 1F の重み行列を、

$$[0,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,5]$$

と設定した場合を考えてみる。ただし、この重み行列では、左から 1F, 2F … 16F に対する重みを表している。エレベータの利用者は乗車階と異なる階への移動を目的としてエレベータを利用するため、1F から 1F に対する重みを 0 にすることで 1F を行先階とする乗客

は発生しない。2~15Fは重みを1, 16Fの重みを5にしたとき, 2~15Fよりも16Fを行先階とする乗客が多く発生する。このようにして重み行列 ws を変更することで様々な交通流を発生させることができる。本論文における交通流の設定については4.2章で説明する。

3.4 アニメーションモデル

シミュレータ S4SimulationSystem では, エレベータかごと乗客エージェントの様子をアニメーションモデルによって確認できる。図1は, アニメーションモデルの表示例である。●が乗客エージェント一人分で, 右肩の数字は行先階を表している。■はエレベータかご一台分で, 右肩の数字は乗車人数を表している。

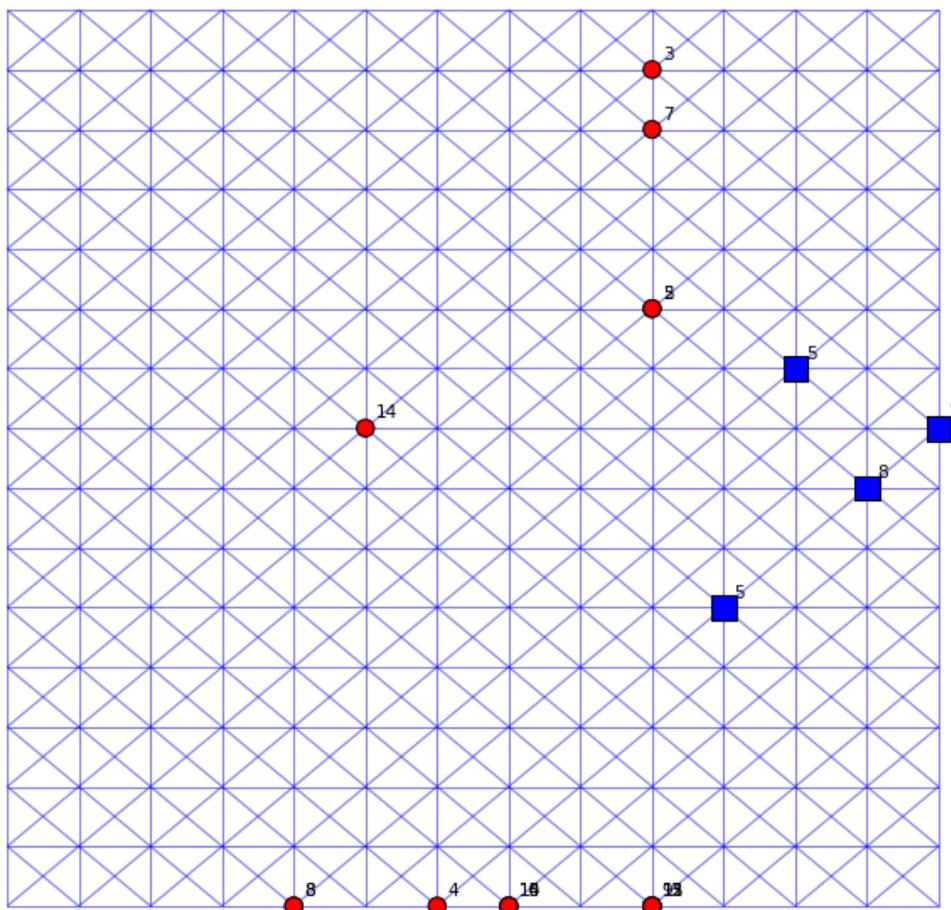


図 1: アニメーションモデル表示例

4 提案手法

匹田ら [5] は、各かごがロビー階を出発してから再びロビー階に戻ってくるまでの1周回に対し、「呼び個数制限」を設け、周回あたりのかごの停止回数を減らすことで運行効率の改善を図っている。文献 [5] において、かごの停止回数に上限を設けることで運行効率を改善できると示されていることから、本研究では、各階の待ち行列の先頭の乗客エージェントの行先階を初期登録し、初期登録された行先階と同じ行先階を持つ乗客エージェントを優先的にまとめて乗車させる (以下、同行先階優先乗車と呼ぶ。) ことで、エレベータの運行効率の改善を図る。同行先階優先乗車については、4.5 章で詳しく説明する。

4.1 想定環境

表 1 は、シミュレーションを行う環境である。建物はオフィスビルを想定し、エレベータは4台、各エレベータかごの定員は20人、階床数は16Fで1Fをロビー階とする。交通流は、オフィスビルにおける朝の出勤時を想定し、ロビー階から多く乗客が発生することで上向きの移動が多くなる強 up-peak 交通とする。up-peak 交通とは、下階から上階への上向きの移動が多くなる状態のことであり、特に、オフィスビルにおける朝の出勤時のような上向きの移動が強いとき、強 up-peak 交通と呼ぶ。

表 1: シミュレーション想定環境

ビル	オフィスビル
かご	4台
かご定員	20人
階床数	16F(1F:ロビー階)
交通流	強 up-peak 交通

4.2 行先を決定する重み行列 ws の設定

強 up-peak 交通におけるシミュレーションを行うため、1F から 2F~16F の各階への移動の重みを 5 とし、2F~16F から各階への移動の重みを 1 とする。なお、1F から 1F の重みが 0、2F から 2F の重みが 0... というように同じ階への重みを 0 に設定することで、乗車階と行先階が同じエージェントが発生しないようにする。本研究では、オフィスビルにおける朝の出勤時を想定するため、ロビー階である 1F からの乗客が多く発生するように 1F から 2~16F を行先階とする重みを 5 に設定し、2~16F から各階への重みを 1 に設定する。

```
ws = [[0,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5,5], #1F のユーザ
      [1,0,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1], #2F のユーザ
      [1,1,0,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1], #3F のユーザ
      [1,1,1,0,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1], #4F のユーザ
      [1,1,1,1,0,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1], #5F のユーザ
      [1,1,1,1,1,0,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1], #6F のユーザ
      [1,1,1,1,1,1,0,1,1,1,1,1,1,1,1,1], #7F のユーザ
      [1,1,1,1,1,1,1,0,1,1,1,1,1,1,1,1], #8F のユーザ
      [1,1,1,1,1,1,1,1,0,1,1,1,1,1,1,1], #9F のユーザ
      [1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,1,1,1,1,1,1], #10F のユーザ
      [1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,1,1,1,1,1], #11F のユーザ
      [1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,1,1,1,1], #12F のユーザ
      [1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,1,1,1], #13F のユーザ
      [1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,1,1], #14F のユーザ
      [1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,1], #15F のユーザ
      [1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0], #16F のユーザ
    ]
```

4.3 行先階の決定

行先階 n について 0 から $\text{maxFloor}(\text{maxFloor} = 15)$ の範囲で、確率 $\frac{ws[i][n]}{\sum ws[i][n]}$ で n を返すような乱数ジェネレータを g とする。 g を self. goal に返し、各階のエージェントの行先階が決定する。

4.4 乗客発生間隔の設定

各階毎の乗客エージェントの発生間隔の期待値のリスト arriveMean を設定する。 $0 \sim \text{maxTime}$ までの乗客エージェントの発生間隔は指数分布に従う。朝の出勤時における強 up-peak 交通を想定するため、ロビー階である 1F の乗客エージェントの発生間隔を 2 に設定し、2~16F の乗客エージェントの発生間隔を 20 に設定することでロビー階の発生間隔が狭くなるようにする。

```
arriveMean = [(0, [2,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20]),  
              (maxTime, [2,50,50,50,50,50,50,50,50,50,50,50,50,50,50,50])]
```

4.5 提案手法のアルゴリズム

まず、同行先階優先乗車について述べる。同行先階優先乗車とは、各階の待ち行列の先頭の乗客エージェントの行先階を初期登録し、初期登録された行先階と同じ行先階を持つ乗客エージェントを優先的にまとめて乗車させる手法である。提案手法のアルゴリズムで、各階に待ち行列のリスト $\text{waitingList}[y]$ とその先頭の乗客エージェントの行先階を初期登録するためのリスト $\text{stop}[y](0 < y < \text{maxFloor})$ を設定する。ただし、 y は乗車階を表す。例えば、5F の場合 ($y = 4$)、 $\text{waitingList}[4]$ と $\text{stop}[4]$ を設定する。ただし、プログラム上では、1F が 0、2F が 1、 \dots というように実際の階数 -1 が y に相当する。次に、提案アルゴリズムを示す。

1. waitingList[y] に格納された先頭の乗客エージェントの行先階をリスト stop[y] に格納し，先頭の乗客エージェントをエレベータかごに乗車させる．乗車した乗客エージェントは waitingList[y] から削除する．
2. stop[y] に格納された行先階と同じ行先階の乗客エージェントを waitingList[y] から全て探し出し，エレベータかごに乗車させる．乗車した乗客エージェントは waitingList[y] から削除する．待ち行列の末尾まで探索したら，stop[y] に格納された値を削除する．このとき，waitingList[y] から乗車した乗客エージェントを削除しているため，リストは更新されている．
3. エレベータかごが定員以下なら，1～2 を繰り返す．

5 シミュレーション結果と考察

5.1 シミュレーション結果

5.1.1 平均待ち時間・平均サービス完了時間

乗客エージェントのランダム到着を考慮した上で、従来エレベータ、提案手法エレベータに対してシミュレーションを30回行った際の、平均待ち時間と平均サービス完了時間を表2、3に示す。

30回分のシミュレーション結果を比較したとき、提案手法の方が平均待ち時間は2.160[s]、平均サービス完了時間は2.715[s]優れた結果が得られた。これは、同行先階優先乗車により、エレベータかごの停止時間、乗客エージェントの乗り降りにかかる時間が短縮されたためだと考えられる。また、乗客エージェントのランダム到着を考慮した上でシミュレーションを30回行い、従来エレベータの平均待ち時間の最小値は17.993[s]、最大値は23.034[s]、提案手法の平均待ち時間の最小値は14.373[s]、最大値は22.297[s]であり、最小値・最大値ともに提案手法が優れている。さらに、平均サービス完了時間についても同様に従来エレベータの平均サービス完了時間の最小値、最大値はそれぞれ31.020[s]、36.664[s]であり、提案手法の平均サービス完了時間の最小値、最大値はそれぞれ28.368[s]、34.425[s]であることから、最小値・最大値ともに提案手法が優れていることがわかる。すなわち、乗客エージェントのランダム到着順に依存せず提案手法が優れていると考えられるが、シミュレーション回数を増やしても同様の結果が得られるかどうかについては今後検討する必要がある。

表 2: 平均待ち時間・平均サービス完了時間 (従来エレベータ)

	平均待ち時間	平均サービス完了時間
1	19.113	31.020
2	21.654	35.266
3	22.607	35.607
4	23.657	37.972
5	20.043	33.058
6	19.411	32.556
7	20.813	34.253
8	21.308	33.922
9	22.346	35.289
10	19.824	32.618
11	21.453	34.542
12	22.103	34.933
13	22.957	36.328
14	22.422	35.495
15	17.993	32.865
16	21.609	36.401
17	20.167	33.384
18	19.343	33.339
19	21.154	33.712
20	21.836	35.475
21	20.623	35.676
22	21.632	34.471
23	21.690	34.857
24	20.437	35.797
25	21.701	35.348
26	20.915	34.710
27	23.034	36.664
28	20.618	33.341
29	21.314	35.417
30	21.148	33.554
平均	21.164	34.596

表 3: 平均待ち時間・平均サービス完了時間 (提案手法)

	平均待ち時間	平均サービス完了時間
1	19.352	32.180
2	17.104	29.788
3	18.635	30.925
4	14.373	28.368
5	18.301	30.709
6	15.787	28.921
7	21.188	34.071
8	18.415	31.286
9	15.458	29.823
10	18.860	30.987
11	19.830	33.253
12	18.005	30.365
13	18.923	32.195
14	19.458	32.290
15	19.564	31.783
16	19.761	31.909
17	20.501	33.501
18	19.511	31.986
19	20.796	32.984
20	19.323	32.791
21	19.010	32.158
22	19.033	31.745
23	20.944	34.015
24	19.296	32.803
25	19.424	32.162
26	22.297	34.425
27	20.482	32.669
28	20.215	31.761
29	17.878	32.452
30	18.410	32.139
平均	19.004	31.881

5.1.2 乗客エージェントの挙動

従来エレベータ，提案手法エレベータに対してシミュレーションを30回行った際の，乗客エージェントの挙動を表4，5に示す．

表 4: 乗客エージェントの挙動 (従来エレベータ)

乗車時刻	エレベータ ID	エージェント ID	待ち時間	乗車階	行先階	降車時刻	サービス完了時間	降車階
16	0	6	7	14	8	23	14	8
17	1	9	4	13	4	28	15	4
20	2	12	2	10	3	28	10	3
21	3	14	2	9	7	24	5	7
26	1	18	1	5	1	32	7	1
32	0	7	21	0	7	69	58	7
32	2	10	18	0	3	37	23	3
32	3	15	11	0	12	50	29	12
33	0	17	11	0	8	76	54	8
33	2	21	6	0	11	50	23	11
33	3	23	3	0	4	39	9	4
34	0	26	1	0	4	63	30	4
35	0	27	1	0	7	70	36	7
35	1	19	9	1	7	43	17	7
36	0	28	1	0	7	71	36	7
37	0	29	1	0	12	89	53	12
37	3	16	16	3	8	44	23	8
38	0	30	1	0	3	61	24	3
39	0	31	1	0	9	80	42	9
39	1	4	30	4	14	54	45	14
39	2	25	7	4	9	46	14	9
40	0	32	1	0	13	93	54	13
41	0	33	1	0	8	77	37	8
42	0	34	2	0	1	54	14	1
43	0	37	2	0	7	72	31	7
43	2	22	15	7	10	48	20	10
44	0	38	3	0	12	90	49	12
45	0	39	3	0	10	83	41	10
45	1	5	36	8	13	52	43	13
46	0	40	1	0	1	55	10	1

表 5: 乗客エージェントの挙動 (提案手法)

乗車時刻	エレベータ ID	エージェント ID	待ち時間	乗車階	行先階	降車時刻	サービス完了時間	降車階
19	0	16	2	11	6	25	8	6
26	1	9	15	4	2	29	18	2
30	2	4	21	0	15	58	49	15
30	3	6	20	0	7	44	34	7
31	2	8	20	0	11	50	39	11
31	3	10	19	0	5	40	28	5
32	0	11	19	0	4	43	30	4
32	0	19	13	0	4	44	25	4
32	1	12	17	0	9	48	33	9
32	2	13	17	0	6	42	27	6
32	2	29	1	0	6	43	12	6
32	3	14	16	0	10	49	33	10
32	3	23	7	0	10	50	25	10
33	0	15	16	0	3	39	22	3
33	0	24	7	0	3	40	14	3
33	0	26	3	0	3	41	11	3
33	1	20	10	0	4	39	16	4
33	2	21	9	0	13	54	30	13
33	3	25	6	0	2	36	9	2
34	0	32	2	0	12	54	22	12
35	0	33	1	0	4	45	11	4
35	1	34	1	1	5	41	7	5
36	2	7	26	2	15	59	49	15
40	2	39	4	5	7	45	9	7
42	3	36	8	6	11	52	18	11
43	1	44	2	6	9	49	8	9
46	1	5	37	8	13	54	45	13
47	3	18	29	9	11	53	35	11
51	2	28	21	11	13	55	25	13
57	1	37	22	15	11	63	28	11

表4, 5は, 上から乗客エージェントの乗車時刻順に記されている. 表の横一列がある乗客エージェント一人分の挙動であり, 乗車時刻, エレベータID, エージェントID, 待ち時間, 乗車階, 行先階, 降車時刻, サービス完了時間, 降車階が示されている.

表4の乗車時刻32~37は1Fから乗車した乗客エージェントである. 同乗車時刻の行先階を見ると行先階は不規則である. さらに, 乗車時刻33~34では行先階が5Fの乗客エージェントが2人連続して発生しているにも関わらず, 3号機と4号機に分散して乗車している. それに対し, 表5の乗車時刻30~35は1Fから乗車した乗客エージェントである. 同乗車時刻の行先階を見ると, 同じ行先階が連続し, なおかつ, 行先階が同じ乗客エージェントは同じエレベータかごに乗車している. これは, 行先階が同じ乗客エージェントを優先して乗車させる同行先階優先乗車によるものである. このようにして, 同じ行先階の乗客エージェントを一つのエレベータかごにまとめて乗車させる同行先階優先乗車がなされていることが確認できる. 次の節で, 同行先階優先乗車の様子を検討する.

5.1.3 同行先階優先乗車の様子

表 6: 0号機抽出 (従来エレベータ)

エレベータ ID	エージェント ID	待ち時間	乗車階	行先階
0	5	6	14	3
0	4	23	0	13
0	16	15	0	14
0	27	5	0	15
0	26	10	2	7
0	22	16	3	7
0	23	20	6	10
0	35	22	13	3
0	60	6	11	2
0	57	12	7	4
0	42	33	0	14
0	48	30	0	4
0	52	27	0	8
0	61	24	0	2
0	68	19	0	5

表 7: 0号機抽出 (提案手法)

エレベータ ID	エージェント ID	待ち時間	乗車階	行先階
0	10	3	15	13
0	4	23	0	6
0	7	21	0	6
0	16	16	0	6
0	11	20	0	12
0	19	10	0	12
0	24	4	0	12
0	23	6	0	15
0	26	10	5	7
0	31	1	5	12
0	40	4	12	15
0	48	22	8	12
0	55	14	8	13
0	79	1	15	7
0	59	24	10	0

表6, 7は, 0号機のエレベータの挙動を抽出したものである. 図6, 7の行先階に注目すると, 表6では, 行先階に規則性はなく, 乗客エージェントの発生順に乗車している. 一方, 表7では, 同じ行先階が頻繁に連続している. これは, 同じ行先階の乗客エージェントを一つのエレベータかごにまとめて乗車させたためである.

5.2 考察

従来手法と提案手法のシミュレーション結果を比較したとき、表 2, 3 で示した平均待ち時間・平均サービス完了時間ともに、提案手法の方が優れた結果が得られた。これは、同行先階優先乗車により、同じ行先階の乗客エージェントが一つのエレベータかごにまとまって乗車するため、一つのエレベータかごに含まれる行先階が減少し、エレベータかごがロビー階を出発してから再びロビー階に戻るまでの周回あたりのエレベータかご停止回数が減少したためだと考えられる。また、時間が進むに連れて、各階の待ち行列は長くなる。すると、同じ行先階の乗客エージェントが発生している割合が高くなるため、同行先階優先乗車の様子が顕著に確認できる。

30 回分のシミュレーション結果を比較したとき、従来エレベータの方が良い結果が得られる場合もあるが、乗客エージェントはランダム到着のため、偶然同じ行先階の乗客エージェントが連続して発生した、あるいは、乗車階と行先階の距離が近かったことなどが挙げられる。しかしながら、ランダム到着を考慮し、全体のシミュレーション結果で比較したとき、平均待ち時間は 2.160[s]、平均サービス完了時間は 2.715[s]、同行先階優先乗車の方が優れていることから、エレベータの運行効率を改善手法として同行先階優先乗車の適用が推奨される。

6 結論

オフィスビルにおける朝の出勤時に、多くのエレベータ利用者がほぼ同時刻に集中することで発生するエレベータ待ち行列は、エレベータ利用に待ち時間を要する他、ビル内移動の通行の妨げになる。また、同時間帯のエレベータ利用者の多くが「イライラする」、「面倒である」といった潜在的不満を抱えている。従来のエレベータは、あるフロアにおいて一つのエレベータかごに対して最大でビル階数-1の行先階を含むことから、エレベータかごの停止時間、乗り降りにかかる時間分のロスが発生する。

本論文では上記の課題に対し、同じ行先階の乗客エージェントが一つのエレベータかごにまとまって乗車する、同行先階優先乗車を適用し、エレベータの運行効率の改善に成功した。同行先階優先乗車の適用により、一つのエレベータかごに含まれる行先階が減少し、1周回にかかる時間が短縮されたことが、待ち行列・サービス完了時間の改善に繋がった。

本研究で提案する手法では、シミュレーション時間が進むに連れて同じ行先階の乗客エージェントが発生している割合が高くなったことから、混雑のピーク前には同行先階優先乗車を行うよりも、一回の乗車でより多くの乗客エージェントを輸送し、ピーク時に同行先階優先乗車を適用した方がより良い結果が得られると考えられる。したがって、時間の経過に伴ってエレベータ群の管理を切り替えることで、更なる運行効率の改善が見込まれる。さらに、朝の出勤時における強 up-peak 交通ではロビー階の乗客エージェントの発生が多いことから、全ての階において共通の運行をするのではなく、ロビー階を主とした運行をすることも運転効率の改善に繋がると考えられる。

参考文献

- [1] 匹田志朗, 阿部茂, ”エレベータ群管理制御における AI 技術の応用.” 人工知能学会誌
Vol.17, No.1, pp.57-62(2002)
- [2] 鈴木直彦, 小堀真吾, 岩田雅史, 山下桜子, ”人物センシング情報を用いたエレベータ群管理方式.” 電気学会論文誌 C Vol.133, No.7, pp.1392-1401(2013)
- [3] 大宮昭弘, 関根英則, ”超高層大規模ビルに対応するエレベータの研究開発.” 日立評論
Vol.98, No.12, pp.55-58(2016)
- [4] 星野孝道, 藤原正康, 羽鳥貴大, 小町章, 近藤靖郎, ”人流解析技術を用いたビル内移動の最適化シミュレーション.” 日立評論 Vol.100, No.2, pp46-51(2018)
- [5] 匹田志朗, 岩田雅史, 阿部茂, ”行先階登録と適応制御によるエレベータ群管理.” 電気学会論文誌 C Vol.124, No.7, pp.1471-1477(2004)
- [6] 飛田敏光, 藤野篤哉, 瀬川和宏, 米田健治, 市川芳明, ”遺伝的アルゴリズムを応用したエレベータ群管理用パラメータ調整方法.” 電気学会論文誌 D Vol.117, No.3, pp306-313(1997)
- [7] 匹田志朗, 駒谷喜代俊, ”ファジィ・ルールベースを用いた新しいエレベータ群管理システム.” 計測自動制御学会 Vol.25, No.1, pp.99-104(1989)
- [8] 星野孝道, 羽鳥貴大, 坪井明幸, 芦川真一, ”Group Control Elevator with Destination Floor Reservation System for Easier Movement in Buildings.”, 日立評論 Vol.66, No.3, pp28-32(2017)

謝辞

本研究を進めるにあたり，多くのご指導，ご助言を賜りました大屋英稔教授，星義克講師にこの場を借りて深く感謝申し上げます。また，日頃よりお世話になりました自動制御研究室の皆様にも御礼申し上げます。