

エレベーター内の乗降者配置による稼働効率化

—乗降者配置システムによるエレベーター内の制御—

間田 潤*, 塩田佳明**, 豊谷 純***

System for Increasing Efficiency of Human Behaviour in an Elevator —Guidance System of an Appropriate Riding Position for Passenger to Efficiently Get off an Elevator—

*Jun MADA**, *Yoshiaki SHIOTA*** and *Jun TOYOTANI****

There are some elevator systems to shorten waiting time, for example the elevator group supervisory control systems and Mitsubishi destination oriented allocation system (ELE-NAVI). Since they are operation control systems, their functions are dropping for an excessive number of people. Hence, by simulating human behaviour in an elevator using a cellular automaton, we propose a guidance system of an appropriate riding position for passenger.

Keywords: Elevator, Cellular Automaton, Human Behaviour

1. はじめに

どの大学でも同じではあると思うが、講義開始前の講義棟において、エレベーター前には長い待ち行列が発生し、遅刻しないように先を急いでいるときには大きな問題となる。そして、この問題は大学だけではなく、エレベーターの利用に関して、長い待ち行列を解消することは重要な課題である。

ある人がエレベーターで移動するときの時間としては、行き先階の上下ボタンを押してからの「待ち時間 a 」、エレベーターが来てからの「乗降時間 β_0 」、降車階までの i 回目の停車で掛かる「乗降時間 β_i 」となる(乗降時間に扉の開閉時間を含む)。したがって、 N 回の停車で降車階に着いたとすると、

$$a + \beta_0 + \sum_{i=1}^N \beta_i \quad (1)$$

によって、上下ボタンを押してから降車階に着くまでの時間が表される。よって、複数の利用者に対して、この値が最適化されることが望まれる。よく知られているエレベーター運行の効率化システムには、エレベーター自体の効率的な運行を目指す「群管理システム¹⁾」や、エレベーターに乗る人を行き先階により振り分ける「エレ・ナビ²⁾」がある。大雑把には、「群管理システム」は、各々の待ち時間が最適化されるようなシステムであり、「エレ・ナビ」は、行き先階により乗車エレベーターを振り分けて停車回数 N を減らすシステムである。しかし、エレベーターの混雑時、特に冒頭で述べたような大学での朝の時間帯のように1階からほとんどの人が乗り込み各階で降りるときには、「群管理システム」では対応できず、朝の30分程度のために「エレ・ナビ」のような特殊な機能を導入することになってしまう。

そこで本研究では、「エレベーター内の人の動き」に注目し、人の乗り降りをスムーズに行うことにより、式

*日本大学生産工学部教養・基礎科学系准教授

**日本大学生産工学部マネジメント工学科4年

***日本大学生産工学部マネジメント工学科教授

(1) の β_i の最小化を目指すことで運行の効率化を目指した。具体的には、エレベーター内の人の動きをシミュレーションと実証実験の援用により解析し、 β_i を最小化するための乗降者配置システムを構築した。なお、「乗降時間 β_i 」を「乗車時間 x_i 」, 「降車時間 y_i 」, 「扉の開閉時間 z_i 」に分ける、すなわち、

$$\beta_i = x_i + y_i + z_i$$

とすると、「1階からほとんどの人が乗り込み各階で降りる」という特殊な状況を想定しているので、

$$y_0 = 0, x_i = 0 \ (i=1,2, \dots, N), z_i = \text{const.} \ (i=0,1, \dots, N)$$

であることにご注意いただきたい。また、この条件のもとでは、 y_i の最小化は y_1 の考察が適用できるので、本稿においては $\beta_0 + \beta_1$ 、つまり、本質としては、

$$x_0 + y_1 \tag{2}$$

に注目し、この値の最小化に向けて議論を進めていく。

本稿の構成としては、第2章で、先行研究^{3),4)}で行われたシミュレーションと実証実験をもとに、人の乗り降りの効率化には「人の乗車位置の適正化」が重要であることを示す。大雑把には、エレベーター内を「中央・外側」または「前方・後方」と分けたときに、降車する人をどこに配置すると降車時間がどのように短縮されるかをシミュレーションにより確認した。また、「降りたくない人」が「降りたい人」の妨げになることも効率化で考慮しなくてはならないことを明らかにした。

そして、第3章では、第2章で得られた効率化を実現するためのシステムについて紹介し、実際に構築したシステムを用いた実証実験と、その結果について議論する。

2. シミュレーションによる効率化の考察

2.1. セルオートマトン

「エレベーター内の人の動き」を考察するためには、エレベーター内部を観測することが必要である。そのため、常に観測者が乗っているか、もしくはビデオ撮

影を行うかになるが、前者の方法は傾向をつかむほどのデータ数を得るには観測者の負担が大きすぎたり、観測者が乗降の妨げになったりもする。また、後者の方はプライバシーの問題があり実現が難しい。

そこで我々は、交通流でよく用いられる「セルオートマトン」の手法^{5),6)}によりエレベーター内部のシミュレーションを行うことを考えた。セルオートマトンについては紙面の都合により詳細な説明は省略するが、格子状の細胞に単純な時間発展規則を定めた離散的計算モデルである。簡単な例として、細胞には「活性」と「不活性」の2状態があるとし(以降、■と□により表す)、その細胞を一列に並べた状態を考える。並べた細胞の時刻 t での n 番目の細胞の状態を $u_n^t \in \{\blacksquare, \square\}$ で表すことにする。さらに時間発展は、時刻 t の $\{u_{n-1}^t, u_n^t, u_{n+1}^t\}$ により時刻 $t+1$ の u_n^{t+1} が決まる規則として、 $\{u_{n-1}^t, u_n^t, u_{n+1}^t\} \rightarrow u_n^{t+1}$ を

$$\begin{aligned} & \{\square, \square, \square\} \rightarrow \square, \{\square, \square, \blacksquare\} \rightarrow \square, \{\square, \blacksquare, \square\} \rightarrow \square, \\ & \{\square, \blacksquare, \blacksquare\} \rightarrow \blacksquare, \{\blacksquare, \square, \square\} \rightarrow \blacksquare, \{\blacksquare, \square, \blacksquare\} \rightarrow \blacksquare, \\ & \{\blacksquare, \blacksquare, \square\} \rightarrow \square, \{\blacksquare, \blacksquare, \blacksquare\} \rightarrow \blacksquare \end{aligned}$$

で定めることにする。例えば、Fig.1の最上段を初期状態とすると、時間発展の規則によって、2段目以降のパターンが一意的に得られる。このFig.1で「■を車がいる」、「□を車がない」と見ると、車(■)は前に空き(□)があると前に一つ進み、前に車(■)がいると進まない、すなわち、簡単な交通流モデルとして見なすことができる。

セルオートマトンは交通流だけでなく、我々のように人の動きを表すモデルとしても用いられているが、主に避難シミュレーションのモデルとして活用されている⁷⁾。

2.2. シミュレーション

前節のモデル(Fig.1)と比較すると、エレベーター内の人の動きを表すためには、

- (1) 直線(1次元)的な動きから平面(2次元)的

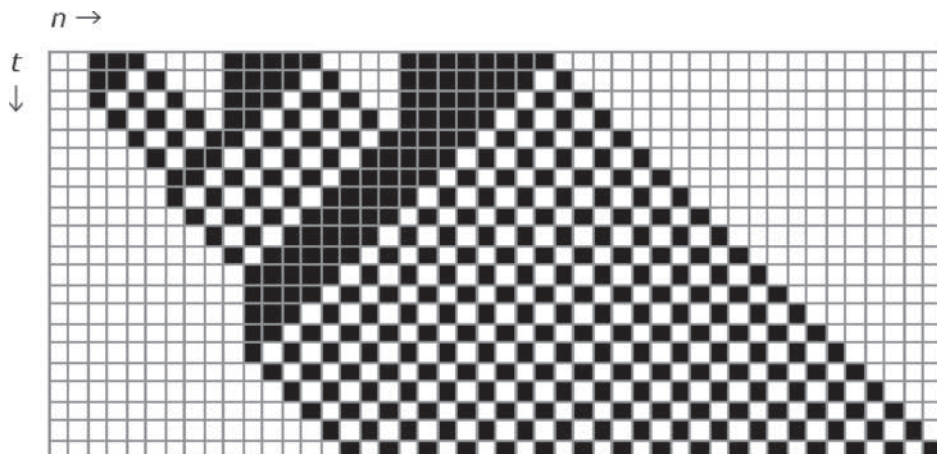


Fig.1 Example of cellular automata (It looks like a traffic flow.)

な動きにする

(2) 人がいる (■) と人がいない (□) だけではなく、降車階が異なり「降りたくない人」が存在するという2つの拡張を行わなければならない。

拡張 (1) については、1次元格子上で考えていたものを2次元格子上で、特にエレベーターの定員を考慮して、Fig. 2のように4×4の16マスで考えることにする。また、前節では各マスの状態で次の時刻の状態が並行して決まっていたが、現実では出口に近い人から順に行動を起こすことから、Fig. 2のようにマスに優先順位を与えて順番に次の状態を決めていくことにする。

	15	11	12	16	
	13	7	8	14	
	9	3	4	10	
	5	1	2	6	

Fig. 2 Processing numbers of the simulation

拡張 (2) については、人を「降りたい人 (●)」と「降りたくない人 (○)」に分けた上で、

- 降りたくない人 (○) も降りたい人 (●) の妨げになれば回避行動を起こす

として導入する。そして、人の動きに関する時間発展の規則を簡単にまとめると、降りたい人 (●) と降りたくない人 (○) の初期配置を与えた後、Fig. 2のマスの番号順に人がいるかないかを見ていき、人がいなければ次の番号のマスに移り、人がいれば次の規則に従い人を動かすことにする。

▶降りたい人 (●)

- 1) 出口方向の前、斜め前、横を順で見て、人のいないマスがあれば移動し、マークを▲に変える
- 2) 空きがなければ、その場に止まり、マークを★に変える

▶降りたくない人 (○)

- その場に止まる

▶降りたいけれど移動できない人 (★)

- 1) 出口方向の前、斜め前、横を順で見て、人のいないマスがあれば移動し、マークを▲に変える
- 2) 空きがなければ、その場に止まり、マークは★のままにする

▶回避したい人 (☆)

- 1) 回避行動として壁方向の横、中央方向の横、前を順に見て、人のいないマスがあれば移動し、マークを△に変える

- 2) 空きがなければ、その場に止まり、マークは☆のままにする

▶移動が終わった人 (▲, △)

- その場に止まる

▶すべてのマス目で処理が終わった後

- 1) すべてのマスの処理が終わった後、中央列 (1, 2, 3, 4, 7, 8) にいる降りたくない人 (○) で、真後ろと壁側後方 (例えば、番号1のマスにいた場合は番号3, 9のマスが対象) に「降りたいけれど移動できない人 (★)」もしくは「回避したい人 (☆)」がいる場合はマークを☆に変える

- 2) ▲のマークを●に、△のマークを☆に戻す

- 3) 時刻が1つ進んだとする

以上の規則に従った例を Fig. 3 に示す。

2.3. 実証実験との比較

前節のシミュレーションの検証を行うために、Fig. 4のようにエレベーター内の空間を仮想的に再現し、協力者のもとで乗降の実証実験を行った。乗降者の条件としては、

- 乗員は10名とする
- 降りたい人が3名と7名の2通りを考える

(ほとんどが降りない状況と降りる状況を再現する) を考え、効率化を考えるための条件として、Fig. 5のようにエレベーター内を「前方・後方」と「中央・外側」に区分して、

- 降りたい人が「条件なし (ランダム)」に配置されている
- 降りたい人が「前方」に配置されている
- 降りたい人が「中央」に配置されている

の場合を初期配置とした。

各組合せを数値実験では100回、実証実験 (降りる・降りないおよび乗車位置はクジで決定し、通常の乗り降りを実証してもらった) では10回実施した結果が Fig. 6 である。なお、Fig. 6 は各結果を降車時間が小さい順にソートした結果を示しており、実証実験では試行回数が少ないので横軸 $x=5, 15, \dots, 95$ にプロットしている。また、縦軸は数値実験が「ステップ数」、実証実験が「秒」の単位である。

結果として、Fig. 6 のグラフを見ると分かるように、おおよそその基本的な状況は再現できているので、本シミュレーションをもとに効率化の考察を行うことにする。

2.4. シミュレーションからの考察

シミュレーションの結果より、降りたい人が適当に乗るよりも、「前方」もしくは「中央」にまとまって乗る方が効率的だと分かる。

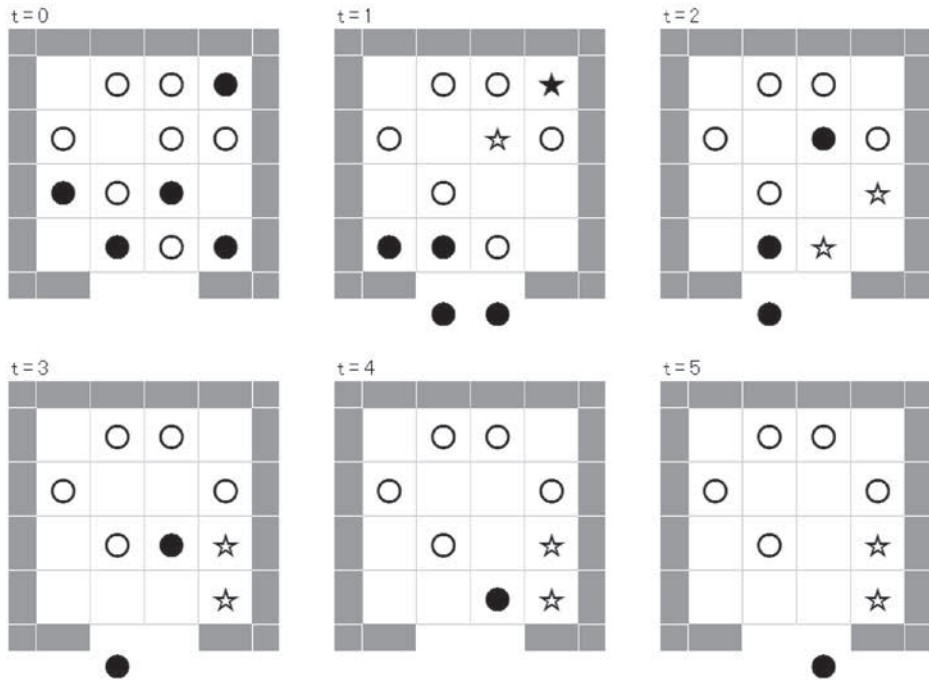


Fig. 3 Example of the simulation



Fig. 4 Virtual space of the elevator

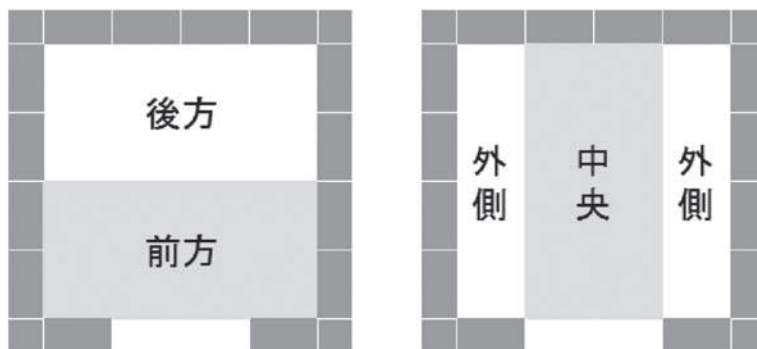


Fig. 5 Divisions in the elevator

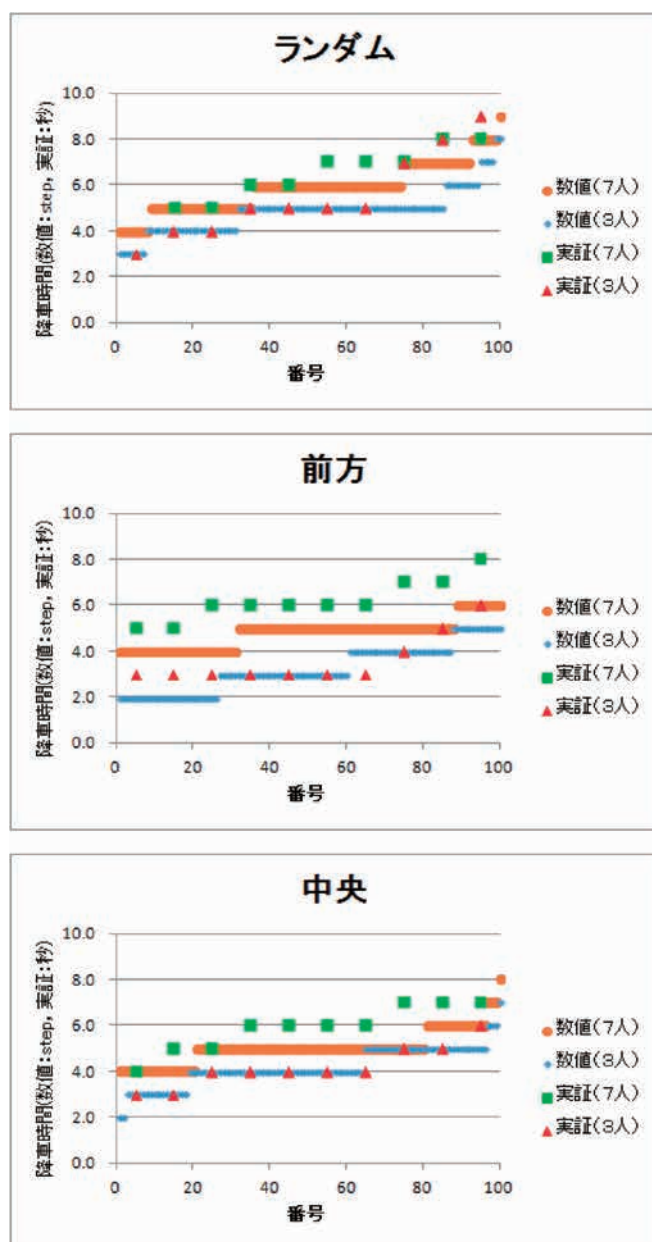


Fig. 6 Graphs of numerical experiments (Each 100 trial) and demonstration experiments (Each 10 trial). (Each data are arranged from the lowest to the highest. The points of the demonstration experiments are plotted at x=5, 15, ..., 95.)

また、シミュレーションでも考慮したように、エレベーターの乗降では降りたくない人が邪魔になることで時間のロスが生じる。単純には、Fig. 2のシミュレーションの設定で、邪魔になる人がなければ、最大でも4ステップでエレベーターの外に出ることができるので、Fig. 6のグラフを見ると、これらの値は理想値であることが分かる。特に、Table 1は降りたくない人が降車の邪魔になる(回避行動が必要となる)場合の有無で降車時間平均をまとめた表であるが、邪魔となりやすい「3人が降車」と「条件なし」などでステップ数が高くなっていることが分かる。すなわち、邪魔が生じないことも効率化には重要となる。

そこで、邪魔が生じないように、降りたい人よりも出口方向に近い位置には降りたくない人を配置しないよう

にし、更に降りたい人が「前方かつ中央」に集まるようにシミュレーションを行ったので、その結果を Fig. 7に示す。考察通り効率化がなされることが確認できた。なお、降車人数が増えて8名となったときには、効率が良いのは「前方」または「中央」の方である。「前方かつ中央」では、4名がFig. 2の番号1~4のセルにいれば条件を満たしてしまい、例えば Fig. 8のように効率の悪い配置が生じてしまうことが原因である。

以上の結果として本稿では、効率化を考えた初期配置としては、

- Fig. 9の優先順で降りたい人を出口に近い方から配置すればよい

と結論づけることにする。

Table 1 Average of steps related to the presence or absence of the way

	条件なし		中央		前方	
	3人	7人	3人	7人	3人	7人
平均 (全体)	4.85	5.92	4.21	5.05	3.27	4.81
平均 (邪魔なし)	4.62	5.65	4.03	5.05	2.71	4.79
平均 (邪魔あり)	5.00	6.83	4.70	5.00	3.88	4.93
邪魔なし	39%	77%	73%	92%	52%	86%
邪魔あり	61%	23%	27%	8%	48%	14%

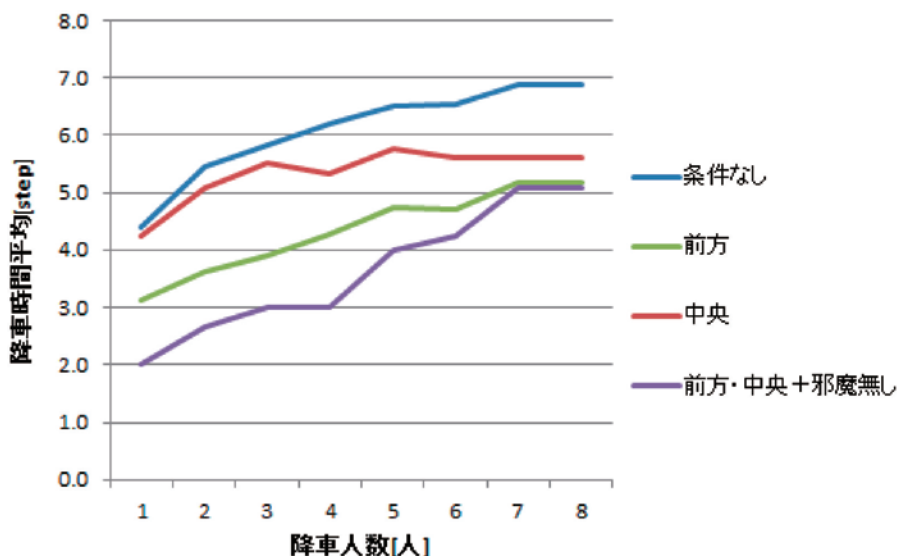


Fig. 7 Average of the drop-off time by riding position and the number of people getting off (100 trials in each condition)

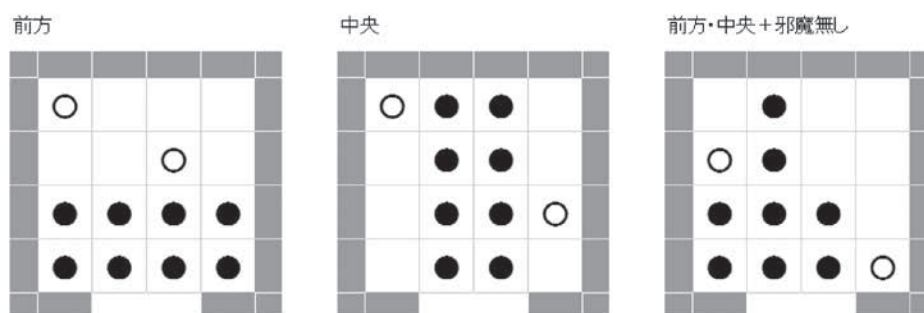


Fig. 8 Example of riding positions of 10 persons



Fig. 9 Priority order of riding position (“※” shows a person to press the button.)

3. 効率化に向けたシステムの構築

3.1. 乗降者配置システム

前章で効率化を行う手段とした『「邪魔が生じない」ように降りたい人を「前方」に配置する』を実現するためのシステムをExcelのマクロなどを活用して Fig. 10 のように構築した (状況を単純化し, 「降りる」か「降りない」かを選択するだけとしたが, 各階に対応したシステムに拡張することは簡単である)。システム的には



Fig. 10 Screen of the guidance system
(The red numbers in the elevator show persons getting off.)

入力順	降車階	乗車場所	降車階	入力順
1	1	1	1	1
2	2	2	1	4
3	2	3	1	5
4	1	4	1	8
5	1	5	2	2
6	2	6	2	3
7	2	7	2	6
8	1	8	2	7
9	2	16	2	9
10		0		10
11		0		11
12		0		12
13		0		13
14		0		14
15		0		15
16		0		16
現在の番号	10			

Fig. 11 Processing sheet of the system (The right figure shows riding position.)

Fig. 11 のような処理シートを作成し、

- (1) 乗降者は Fig. 10 の画面で順番に「降りる」か「降りない」かのボタンを押す。
- (2) ボタンを押した順番に降車階の欄に「降りる [1]」か「降りない [2]」が記録される。
- (3) (2) の情報を「降りる [1]」か「降りない [2]」に分けてソートして乗車位置を指定する。
- (4) (3) で決定した乗車位置が Fig. 10 の画面に反映される。

※ (1) のボタンが押されるごとに (2) ~ (4) の操作が実行される。

※最後に乗車する人はボタン操作のために前方隅に配置した。

の流れで乗降者配置を決定した。

また、乗降者配置を指定する場合、通常の乗車方法では効率が悪くなることが予想されたので、乗降者配置システムを流用して、乗車についても Fig. 12 のように降りない人が先に乗り、降りる人が後で乗るような整列乗車のシステムを導入した。

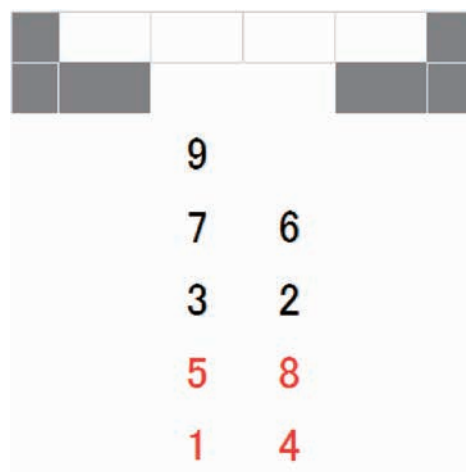


Fig. 12 Screen of the aligned entry system
(The red numbers show persons getting off.)

3.2. 乗降者配置システムの実証実験

Fig. 4 の擬似的なエレベーターに、前節のシステム画面を投影するプロジェクター、スクリーン、モニターと入力のためのマウスなどを Fig. 13 のように配置した。

これまで(2-3)と同様の実験として、エレベーターに乗る人数は10人とし、そこから降りる人数を3人と7人の2パターンで設定した。そして、各々のパターンで、

- (a) 条件を与えない(比較用)
- (b) システム利用(エレベーター前に2列で並ぶ)
- (c) システム利用(エレベーター前に4列で並ぶ)

※Fig. 12での2列の4名以降を左右に分割するの3パターンに分けて各10回の試行を行った(整列を2列と4列としたのはエレベーター前のスペースを考慮した結果である)。なお、実験手順はFig. 14のように

- (1) 「降りる・降りない」をクジ引きで決める
- (2) 「降りる・降りない」をシステムに入力する
- (3) 開始線にいったん並ぶ
- (4) 合図でエレベーター前に並んでから、再度の合図でエレベーターに乗り込む
- (5) 乗り込みが終了したら、合図により降りる人が降車する

※(a)の「条件を与えない」場合は、(2)の手順はスキップし、エレベーター前の並び方も任意とする。

と定める。

3.3. 実験結果および検討

Fig. 15はエレベーターの乗降に関わる「並ぶ」、「入

る」、「降りる」の時間平均を示したグラフである。3人降りる場合と7人降りる場合の両方で、条件なしのグラフが1番高くなっており、システムを活用することでエレベーターの稼働効率化が実現されていることが分かる。また、場所に余裕があれば4列よりも2列で並ぶ方が「入る」部分で効率的であることも分かった。

なお、「並ぶ」の時間はエレベーターの待ち時間を活用すれば良いので、このシステムで一番効率的な3名が降車する「システム利用2列」と「条件なし」を比較すると、「入る+降りる」は概算で

$$(9.0+4.8) - (8.6+2.5) = 2.7$$

と、式(2)で示し、目指した

$$x_0 + y_1$$

の最小化に、エレベーター1機につき約2.7秒の貢献ができたと言える。もし、エレベーターが4機ある建物で使用すれば、この条件下で約11秒の短縮が見込まれる。

4. まとめ

我々の提案したシステムでは、エレベーターを利用する人に乗車位置と乗車前の整列にルールを設けることにより、Fig. 15のように乗降時間の短縮に成功した。そして、本提案は既存の群管理システムやエレ・ナビとは異なるシステムによる効率化であり、

- 単独のシステムで用いることができる

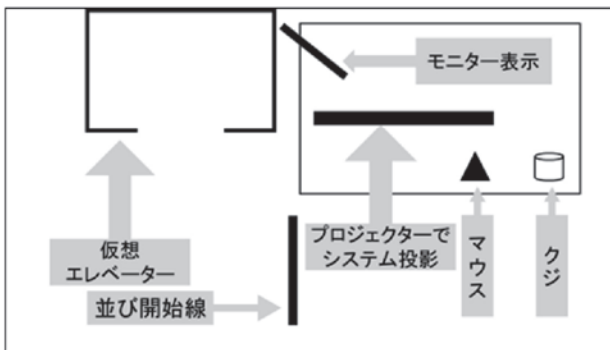


Fig. 13 Layout of the equipment

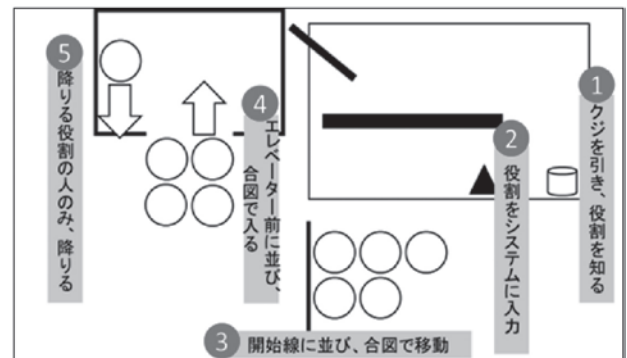


Fig. 14 Experimental procedure

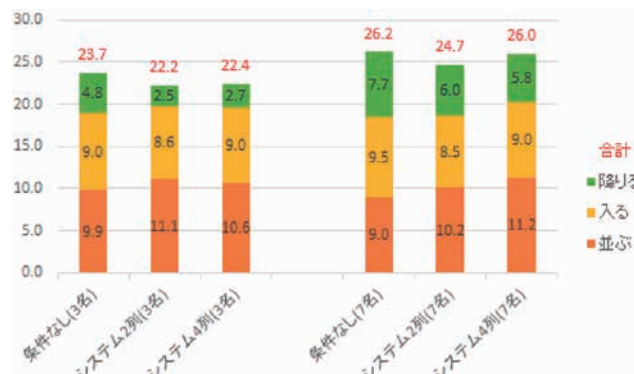


Fig. 15 Graphs of the demonstration experiments on the presence or absence of the system



Fig. 16 Example to extend the system

- 混雑が予想される階のみで活用するだけでも効果が見られる
- エレベーター自体への工事を必要としない
- 既存の群管理システムやエレ・ナビと連動させることができる

といった利点が挙げられる。

今後は、本文でも述べたが、簡単のため「降りる」と「降りない」にしているボタンを、実用化に向けて、Fig. 16のように降車階ボタンに変更し、低階に降りる人を出口付近に集め、高階で降りる人は奥に乗車するシステムに拡張する。もちろん、各階に停止し、降車が終わった後に、適正な乗車位置に再配置する機能も必要になると考える。さらに、実験室レベルの状況を改善し、本当に導入できる段階までシステムの改善も目指す。また、同様なシステムはバスや鉄道などにも適用可能であると考えてるので、システムの拡張を試みる。

謝辞

卒業研究を通して、本研究の基礎を作ってくれた豊谷研卒業生の渡辺一樹氏、堀内理沙氏、太田慎之佑氏に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) FUJITEC：エレベータ群管理システム FLEX-NX シリーズ, 2016/10/14, https://www.fujitec.co.jp/products/option/flex_nx
- 2) 三菱電機：セキュリティ連動・エレベーター行先予報システム「エレ・ナビ」, 2017/10/14, <http://www.mitsubishielectric.co.jp/elevator/technology/02.html>
- 3) 渡辺一樹, 堀内理沙：エレベーター利用の効率化に関する研究, 平成 27 年度卒業論文 (2016)
- 4) 太田慎之佑：エレベーター内部の数値解析に対する実証実験について, 平成 28 年度卒業論文 (2017)
- 5) 柳澤大地, 西成活弘：渋滞学のセルオートマトンモデル, 日本応用数学会論文誌, vol.22. No. 1 (2012), 2-13.
- 6) 時弘哲治：箱玉系の数理, 朝倉書店, (2010), 1-12.
- 7) 柳澤大地, 西成活弘：群集運動のセルオートマトンモデル, 情報処理学会誌「情報処理」, Vol.58. No.7 (2017) 570-573.

(H 30. 2. 5 受理)

Biographical Sketches of the Authors



Jun Mada is an associate professor at College of Industrial Technology of Nihon University. He received his Bachelor's and Master's degrees of education from Shimane University in 1999 and 2001, his Doctor's degrees of mathematical sciences from the University of Tokyo in 2004. His research interest is in integrable system and mathematical medicine, especially, periodic box-ball system and angiogenesis. He is a member of the Mathematical Society of Japan and the Physical Society of Japan.



Yoshiaki Shiota is a student of Department of Industrial Engineering and Management, College of Industrial Technology, Nihon University. His main area of research is Data Science and Simulation engineering. He investigated on graduation research about increasing efficiency of human behavior in an elevator.



Jun Toyotani is a professor, Department of Industrial Engineering and Management, College of Industrial Technology, Nihon University. He received Dr. of Engineering from Nihon University in 1998. His research interest is study which utilizes simulation technique for management. And his recent study is being studied about marketing analysis and automation of business with AI. He is secretary general and director of Japan Society of Directories.