

# ダブルデッキエレベーター行先予報システム

奥中孝剛\*  
小堀真吾\*\*

Destination Oriented Allocation System for Double Deck Elevators

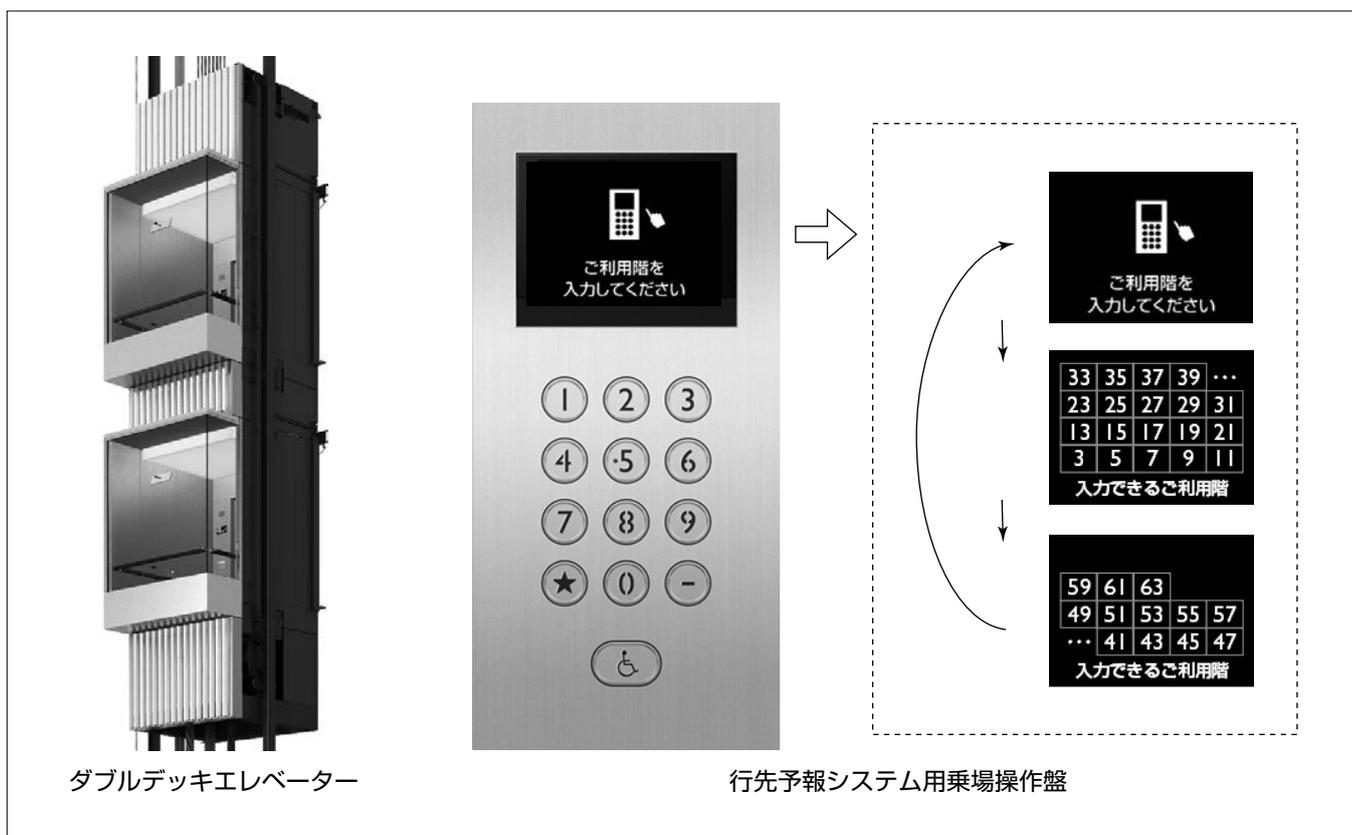
Takayoshi Okunaka, Shingo Kobori

## 要旨

近年、先進国だけでなくアジア・中東を含めた世界的なビルの高層化に伴い、垂直移動手段であるエレベーターシステムの重要性が高まっている。特に、連結した上下の2台のかごが同一の昇降路を走行するダブルデッキエレベーター(以下“DD”という。)や、複数台のエレベーターの効率的な運行管理を行う群管理システムによる、輸送能力の向上が求められている。DDは、一度の走行で2台分の利用者を輸送可能にしたシステムであるが、上下かごの一方のかごだけで利用者が乗降するケースでは、他方のかごは不要な待ち状態が発生するため、輸送能力が低下するという課題があった。また、降車したい階に停止するかが乗る前に分かりにくいという課題もあった。一方、複数台の運

行管理を行う群管理システムでは、乗場で行き先階を登録する行先予報システム(Destination Oriented Allocation System : DOAS)が普及しつつあり、同じ行き先階の利用者を同じかごにまとめることで輸送能力を高めている。

そこで、従来のDDでの課題を解決するため、ダブルデッキエレベーター行先予報システム(以下“ダブルデッキDOAS”という。)を開発した。このシステムでは、利用者が入力した行き先階情報に基づいて上下かごの停止階がペアになるかごを割り当てることによって、不要な停止を削減し、更なる輸送能力向上を実現した。また、乗場操作盤の画面上に当該階からの登録可能な行き先階を表示することで、行き先階入力時の利用者操作性を向上させた。



## ダブルデッキエレベーター及び行先予報システム用乗場操作盤

二つのかごを上下に連結させたダブルデッキエレベーターと、利用者が乗場で行き先階を入力するための乗場操作盤の外観を示す。ダブルデッキエレベーター行先予報システムでは、乗場操作盤で入力された行き先階情報に基づいた割当てによる更なる輸送能力の向上を実現すると同時に、乗場操作盤の液晶画面に登録可能な行き先階を表示することで、行き先階制限による登録不可能な行き先階の入力を回避し、利用者操作性を向上させる。

1. ま え が き

近年、先進国だけでなく中南米・アジア・中東を含めた世界的なビルの高層化に伴い、ビル内の垂直移動手段であるエレベーターシステムの重要性が高まっている。

そこで、高層ビル向けのエレベーターシステムとして、これまでに開発してきたDDとDOASを組み合わせたダブルデッキDOASを開発し、市場投入した。

本稿では、ダブルデッキDOASに適用する新しい群管理システムの特長及び運行効率の改善効果について述べる。

2. 従来の群管理システム

これまでに、輸送能力を向上させる群管理システムとして、停止する階床に制限を設けて一往復当たりの停止時間を減少させることで大容量輸送を図るDD運転モード<sup>(1)</sup>や、利用者が乗車前に入力した行き先階の情報に基づいて、同一行き先階への利用者を同一かごに割り当てることで、効率的な運行を実現するDOASを開発してきた。DOASは、海外市場での需要の高まりによって近年市場に普及しつつある。この章では、従来の群管理システムでのDD向け運転モード及びDOAS向け割当て制御について述べる。

2.1 DD向け運転モード

DDは、昇降路内に二つのかごを上下に連結させて走行することによって、一度に輸送できる人数を増加させることを目的としたエレベーターである。

DDの運行には、次の三つの運転モードがあり、交通状況に応じて使い分けを行う。

(1) ダブル運転

常に上かごを偶数階だけ、下かごを奇数階だけに停止させる運転モードである。大容量輸送が可能な半面、停止する階床に制限があるため、階段やエスカレーターによる隣

接階への移動が必要な場合がある。このモードは、主にロビー階での乗車が多い出勤時間帯に適用される。

(2) セミダブル運転

全行き先階に対して停止可能となる運転モードである。このモードは、階間交通が多く発生する時間帯に適用され、階間移動者の利便性を向上させることが可能である。

(3) シングル運転

上下二つのかごのうち、どちらか一方のかごだけでサービスを行う運転モードである。このモードは、サービスしていない方のかごで点検を行う場合などに適用される。

以上の各運転モードから、DDのロビー階は上下2階床となり、上下のロビー階を行き来するにはエスカレーターや階段が必要となるなど運用上の制約はある。しかし、シングルデッキエレベーターでは輸送能力が不足している場合には、DD適用によって大幅に輸送能力を向上させ、昇降路面積も削減できる。

そのため、ある一定レベル以上の輸送能力が求められる場合や、建物の仕様によって昇降路面積に制限がある場合などには、非常に有効なシステムである。

2.2 DOAS向け割当て制御

従来の上昇/下降ボタンによる登録方式では、利用者がかごに乗り込み、行き先階ボタンを押すまで行き先階は分からないため、同じ行き先階の利用者が複数のかごに乗りし、停止階床数が増加する傾向にあった。DOASでは、乗場操作盤を用いてかごに乗り込む前に行き先階を入力することによって、同一行き先階へ行く利用者を極力同一かごに乗車させる割当てを行う。そのため、一往復当たりの停止階床数を減少させ、往復時間を削減できる(図1)。結果として、単位時間当たりの輸送人数の増加、ひいては輸送効率の大幅な向上を実現できる。また、混雑したかご室内でも行き先階ボタンの操作が不要となるため、利用者利便性の向上にもつながる。

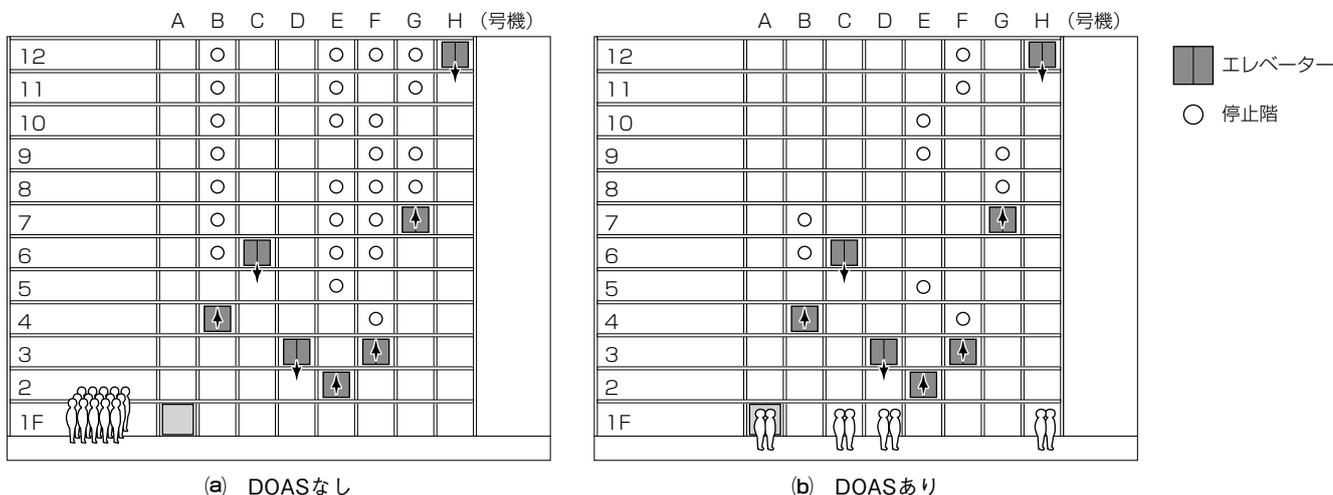


図1. DOASによる停止階床数の減少

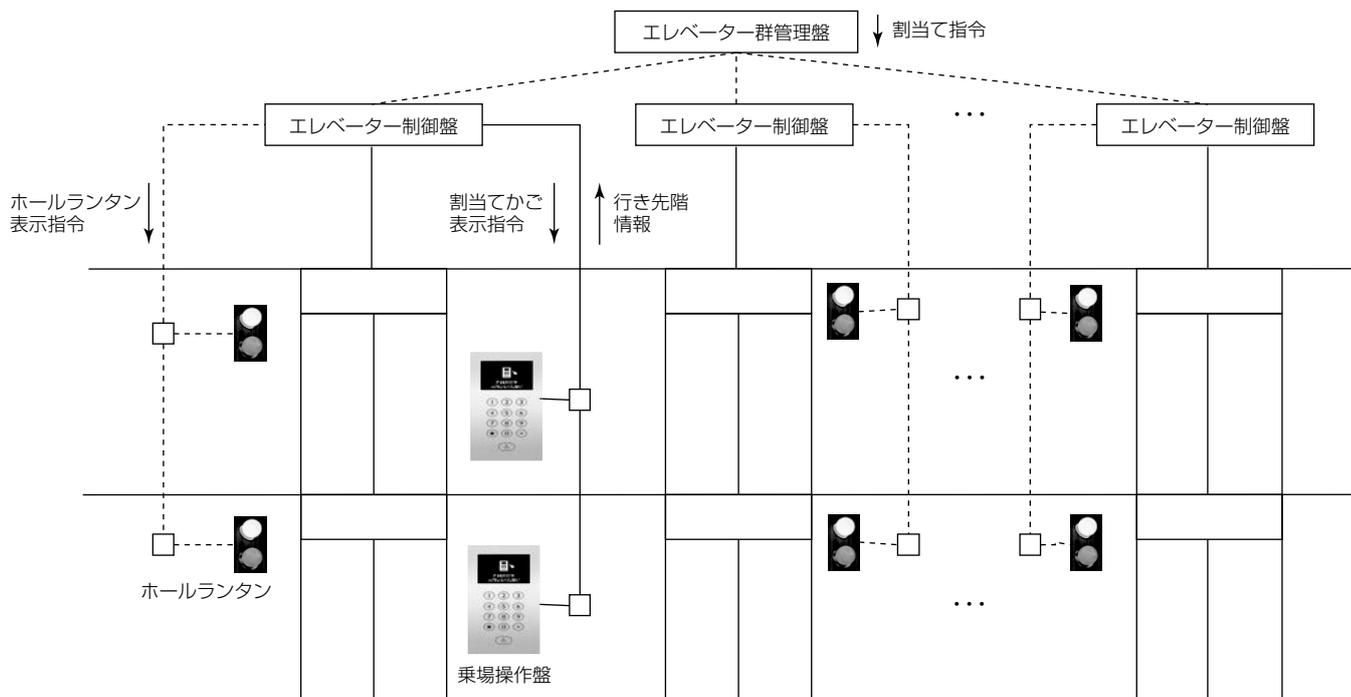


図2. ダブルデッキDOASのシステム構成

### 2.3 課題

ここで、従来のDDでの群管理システムでは主に次の課題が挙げられる。

- (1) 上下かごの一方のかごだけで利用者が乗降し、他方のかごが戸閉待機となる不要な待ち状態が発生することで、輸送能力が低下する。
- (2) ダブル運転選択時など、時間帯に応じて変更する停止階の制限によって、登録可能な行き先階が判別しづらく、制限されている行き先階を入力する可能性がある。

そこで、DDにDOASを組み合わせ、3章に述べる特徴を組み込んだダブルデッキDOASの開発によって、これらの課題の解決を図る。

## 3. ダブルデッキDOASの特長

### 3.1 システム構成

今回開発したダブルデッキDOASでは、乗場操作盤を全階床に設置することで、全ての利用者に対して、かごに乗り込む前の行き先階情報に基づいた最適な割当てを実現し、課題を解決している。このシステムのシステム構成を図2に示す。

### 3.2 割当てアルゴリズム

#### 3.2.1 上下反対かごの待機状態削減

DOASでは、かごに乗り込む前に行き先階が登録される。そのため、行き先階情報に基づき、一度の停止で極力上下かごの停止階がペアとなり、両かご共に利用者が乗降するような割当てが可能となる。この割当てによって、従来のDDの課題を解決し、更なる輸送能力の向上によって、運行効率を向上させた。

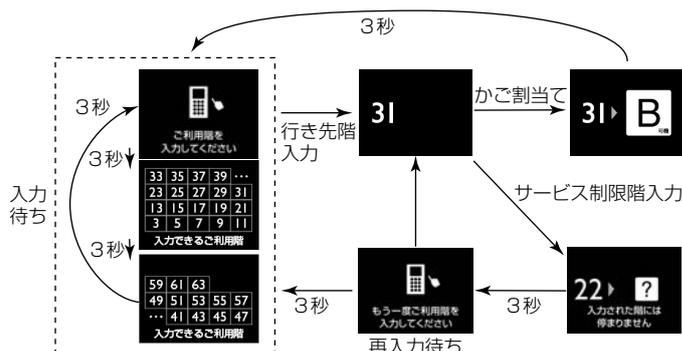


図3. 乗場操作盤画面の遷移

#### 3.2.2 上下かごの誤乗車防止

セミダブル運転時は、利便性向上のためダブル運転のような停止階の制限は設けていない。そのため、上下かごのそれぞれが同一階に順に停止する可能性がある。またDOASでは、かご内での行き先階登録を制限しているため、割り当てられたかごの上かごと下かごで誤ったかごに乗車すると目的階に到着できなくなるという課題があった。そこで、このシステムでは、最下階から最上階までのような一度の走行で、上かごと下かごが同一階には順に停止しないように割り当てる(別昇降路のかごに割り当てる)ことによって、利用者が指定されたかごの上かごと下かごで誤乗車しないような運行を実現した。そのため、利用者は到着したかごに乗車すればよく、上下どちらのかごに乗車するか意識する必要をなくすことで、利用者利便性を向上させた。

### 3.3 乗場操作盤画面

ダブル運転選択時は、運行効率向上のため、乗場階が偶数階ならば行き先階も偶数階、乗場階が奇数階ならば行き

先階も奇数階への移動しかできないような制限を設けている。そこで、制限されている行き先階の入力を回避させるため、乗場操作盤の画面上に登録可能な行き先階を表示することによって、操作性を向上させた。登録可能となる行き先階の表示例を図3に示す。登録可能な階床数が多くなり、一画面で行き先階表示しきれない場合には、一定時間(3秒)表示すると画面を自動的に遷移させる。

4. ダブルデッキDOASの輸送能力評価

エレベーターシステムの輸送能力評価には往復時間(Round Trip Time:  $RTT$ )と、それに基づく5分間輸送能力(Handling Capacity:  $HC$ )が指標として用いられることが多い<sup>(2)</sup>。一般的にこれらの指標はアップピーク交通を想定して計算されるため、本稿ではダブル運転中のダブルデッキDOASを想定し、 $RTT$ と $HC$ を定式化する。 $RTT$ と $HC$ は式(1)及び式(2)によって計算される<sup>(3)</sup>。

$$RTT = 2Ht_v + (S + 1)t_s + P \cdot P_{rate}t_r + t_{loss} \dots\dots\dots (1)$$

$$HC = \frac{300}{RTT} P \cdot P_{rate} \cdot N_c \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $S$ は主階(最下階)出発後に停止する階床数であり、一般的には主階で乗車した利用者の行き先階の個数の期待値として計算される。また、 $H$ は上昇方向から下降方向へ方向反転する階の期待値として計算される(表1)。

DOASを適用したDD  $k$ 台で分担する行き先階の個数の期待値 $S_{all}$ は式(3)となる。

$$S_{all} = N_f \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{1}{N_f} \right)^{2kP \cdot P_{rate}} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $N_f$ とは主階より上方でサービスを提供する階床数である。

DDでは、ダブル運転によって停止数を半減できる可能性はあるものの、式(3)の $S_{all}$ に含まれる行き先階は必ずしも隣接する奇数階・偶数階とは限らない。そこで式(4)及び式(5)を用いて、DD  $k$ 台の停止数の期待値 $S_{set}$ を求める。

$$S_{set} = \frac{\sum_{i=0}^{i_{max}} \left( \frac{S_{all}}{2} + i \right) \left( C_{S_{all}/2-i}^{N_f/2} \cdot C_{2i}^{N_f/2 - (S_{all}/2 - i)} \right)}{\sum_{i=0}^{i_{max}} \left( C_{S_{all}/2-i}^{N_f/2} \cdot C_{2i}^{N_f/2 - (S_{all}/2 - i)} \right)} \dots\dots\dots (4)$$

$$i_{max} = \min \left( \frac{S_{all}}{2}, \frac{N_f}{2} - \frac{S_{all}}{2} \right) \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 $C$ は組合せ数である。

DD 1台当たりの停止数の期待値 $S$ は式(6)になる。

$$S = \frac{S_{set}}{k} \dots\dots\dots (6)$$

ダブルデッキDOASの場合、反転階 $H$ は停止数 $S$ を用いて式(7)で求める。

$$H = 2 \left( \frac{N_f}{2} - \sum_{i=1}^{\frac{N_f}{2}-1} \left( \frac{2i}{N_f} \right) S \right) \dots\dots\dots (7)$$

表1. 変数一覧

記号	説明
$RTT$	往復時間(s)
$H$	反転階
$t_v$	一階床当たりの移動時間(s)
$S$	停止数(上昇方向)
$t_s$	停止加算時間(加減速加算時間+戸開閉時間)(s)
$P$	一方のかご定員(上かごと下かごは同値)(人)
$P_{rate}$	乗車率(%)
$t_r$	乗降時間(s/人)
$t_{loss}$	損失時間(乗降時間と戸開閉時間の10%)(s)
$HC$	5分間輸送能力(人/5min)
$N_c$	台数
$k$	行き先階別に割り振られるかごの台数

表2. 輸送能力の評価結果( $N_f=16, N_c=4, P=20$ )

記号	説明	DOASあり	DOASなし
$S_{all}$	行き先階数	14.7	13.4
$S$	停止数	5.1	7.5
$H$	反転階	14.3	16.0
$RTT$	往復時間(s)	137.0	163.3
$HC$	5分間輸送能力(人/5分)	245.3	205.8

また、乗客1人が乗車に要する時間・降車に要する時間をそれぞれ $t_r \cdot t_u$ とした場合、乗降時間 $t_r$ は式(8)になる。

$$t_r = t_v + t_u \left( 2 - \frac{S}{k} \right) \dots\dots\dots (8)$$

なお、 $S \cdot H \cdot t_r$ 以外のパラメータは、エレベーターの加速度・減速度・定格速度・戸開閉時間などで求まる。

表2は、 $N_f=16, N_c=4, P=20$ の場合での輸送能力の評価結果である。比較としてDOASなしのDD( $k=1$ )の輸送能力の評価結果も示す。DDにDOASを適用することで、 $RTT$ が短く、 $HC$ が高くなり、輸送能力が向上することが分かる。

5. む す び

今回開発したダブルデッキDOASは、従来のDDでの群管理システムの課題を克服し、輸送能力及び操作性の向上を実現した。増加しつつある高層ビルで、垂直移動手段の効率化に寄与できるシステムである。

今後は、エレベーターシステムの開発だけでなく、外部機能との連携も強化することで、輸送能力、利便性の更なる向上を図る。そして、ビル全体として効率的な垂直移動の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 東中恒裕, ほか: エレベーターの超高揚程化対応技術, 三菱電機技報, 86, No.8, 437~440 (2012)
- (2) (社)日本エレベーター協会: 建築設計・施工のための昇降機計画指針 (1992)
- (3) Barney, G., et al.: Elevator traffic handbook theory and practice(second edition). Routledge (2016)