ロープレスエレベータシステムの提案と その有効性評価

正員 宮武 昌史 (東京理科大学)
正員 古関 隆章 (東京大学)
正員 曾根 悟 (東京大学)

A Proposal of a Ropeless Lift System and Evaluation of its Feasibility

Masafumi Miyatake, Member (Science University of Tokyo)

Takafumi Koseki, Member, and Satoru Sone, Member (The University of Tokyo)

Ropeless lifts are needed for vertical transport in the future super skyscrapers whose height is more than 800m because of the limited handling capacity of roped lifts for such buildings. The ropeless lifts have two advantages: multiple car operation in a single shaft and transferability between shafts. The ropeless lifts can be operated like double-track railway systems by making use of these advantages.

In this paper, we propose designing and operating methods for the ropeless lifts in order to obtain higher handling capacity and save more lift space than conventional roped lifts. The methods contain mainly two ideas: three shaft operation integrated as a unit and application of zonal direct train scheduling. We analyse the lift area of the ropeless lifts and compare it with that of roped lifts. We conclude that the ropeless lifts can save lift area and are enough applicable to present buildings whose number of floors is about 70.

キーワード：鉛直輸送、ロープレスエレベータ、複数かご協調運転、スケジューリング、設備設計、占有面積

1. はじめに

現在のロープ式エレベータはロープを使うために1本のエレベータシャフトに1つのかごしか持てず、超々高層ビルや大深度地下利用の将来構想における800m, 200階にもなるビルでは制御性や輸送能力の点で問題が生じる。この根本的解決にはかごを直接駆動するロープレスエレベータ方式⁽¹⁾が有効で、ロープ式にない2つの長所を持つ。

- (i) 1本のエレベータシャフト内での複数かご運転
- (ii) シャフト間を乗り移る横行機能

上記の(i)を実現する自走式の駆動システムとして昇降路一次形の永久磁石式リニア同期モータが最も実現の可能性が高いと現段階で判定されている。また、(ii)を実現するための高性能な分岐装置について二次元方向に推力を出すリニア同期モータ(LSM)の検討が行われている⁽²⁾。

筆者らは早い段階からロープレスエレベータの運行方法に関する議論の重要性を指摘し、ロープレスエレベータの有効性の実証と、運行方式の提案を行ってきた。その結果、当初は200階もの高いビルへの適用を目指したロープレスエレベータも、効率的な運行方法を取れば現状の高層ビル程度で輸送能力的にロープ式エレベータ以上の性能を出せることが分かってきた。そこで、本論文では、ロープレスエレベータの適用可能性の広さを示すことで、ロープレス

エレベータの開発の意義と適用対象を明確にし、その技術的發展を促すための成果を得ることを目的とした。

2. ロープレスエレベータの特長を活かした設備構成方法の提案

< 2.1 > 前提とするハードウェアの方式 ロープレ

図1: 想定するロープレスエレベータ駆動装置の構成

Fig. 1: Assumed hardware structure for ropeless lifts.

図 2: 3 本シャフトによる循環運転の提案

Fig. 2: A proposal of circulated operation of cars among three shafts integrated as a unit.

スエレベータの駆動装置は図 1 のような構成を仮定する。かごの両面にリニアモータを配置することで、片面の 2 倍の推力を得ながら一次側と二次側の間の強い吸引力を打ち消す。かご自体に吸引力が作用するのでかごの強度を強くする必要はあるが、両面モータを用いながらも水平移動を伴う分岐が容易なのが特長である。乗降のためのドアは、リニアモータのない面を 2 つ使用する。

さらに、2 本以上のシャフトをドアの方向に密接して設置して二次元駆動が可能なリニアモータを使うことにより、かごがシャフト間を移動できる構成を想定した。全面に二次元駆動モータを使用すれば、任意の階で水平移動が可能となる。3 本以上シャフトが並んだ時は、両端のシャフトでしか乗降ができない点に注意が必要である。

複数のかごが独立に走るシステムでは、衝突防止機構が必要で、それは鉄道の信号システムと同様のもので対応できる。2 つのかごの接近限界は、かごの高さから 2 階床差分となる。その物理的条件のもとで、かごの衝突を防ぐための信号保安システムとして、鉄道における移動閉塞を想定する。ここでは、先行かごの速度情報を用いない方式を仮定し、後続かごはブレーキをかけて先行かごの現在の位置の 2 階床手前で停止できるように走行する⁽³⁾。

< 2.2 > 複数シャフトを組み合わせた循環運行 横行機能を用いない場合は、複数のかごが 1 本のシャフト内を往復する運行しかできないが、横行機能を用いれば循環運転が可能になり、鉄道のような複線運転が可能である。しかし、需要逼迫時は出勤時のように上りと下りの需要が大きく偏っているため、はじめから偏った需要を想定してシステムを組む方が合理的である。そこで図 2 のように 1 本の回送用シャフトと 2 本の乗降用シャフトを組み合わせた 3 本シャフト 1 ユニット運行方式（以下：3 本シャフト式）を提案する。

中央のシャフトを回送用シャフトとした理由は、まず図 1 のハード構成では乗降が不可能であることと、両脇の

図 3: 緩急シャフトを分離した運転方法

Fig. 3: Operating methods which separate shafts for non-stop zones and local service zones.

シャフトの 2 倍のかごを処理するためにはサービスのための停止を行う余裕が小さいからである。回送用シャフト 1 本は、回送専用にしたおかげで、今回検討した範囲では乗降用シャフト 2 本よりも処理能力が大きく、回送用シャフトの容量で輸送力が決まる場面はなかった。

その他に考えられる方式として、図 3 のように急行サービス用シャフトとローカルサービス用シャフトで構成するものがある。これらの方式は、図 1 のハード構成を取る限り実現が難しい。文献 (4) でその具体的実現方法が述べられているが、中央のシャフトで乗降可能なハードが実現出来ない限り輸送上の障害が生じるとされている。さらに、急行シャフトから緩行シャフトへ移動するような柔軟な輸送のためには水平方向の移動時に乗客を乗せる必要があり、水平駆動装置の主に乗り心地に対する必要性能が高くなる。そこで、ここでは図 3 の方式を対象外とした。

< 2.3 > 複数ユニットの併用による鉛直輸送システムの構築 通常、エレベータシステム全体では多数のシャフトが設置される。ロープレスエレベータでも需要に合わせたいくつかのシャフトやユニットを用意する必要がある。特に、図 2 のような 3 本シャフト式では片方向の輸送しかできないので、図 4 のように上記ユニットをいくつも組み合わせ、需要に応じて輸送の方向を変える。

このことは、出勤時の半分から同程度のピーク需要を持つ昼食時でも同じであるが、食堂階の位置によって対応を変化させる必要がある。食堂が上層部に存在する場合は、上層の食堂階へ向かう客と地上の食堂またはビル外へ向かう客が混在した需要となり、出退勤時とは異なっている。現状のビルでは食堂階は極めて限られているので、食堂階は地上階と同等に扱うことができ、ユニットを地上発着用と上層食堂発着用に配分してサービスすればよい。

また、昼食時は上下方向の需要比が短時間に大きく変わるのも特徴で、サービス方向、すなわちかごの動く方向を速やかに反転させる必要がある。ここでは、方向の反転が

図4: 複数のユニットの組み合わせ

Fig. 4: Combinations of multiple units.

速やかに行えるようなハードウェアやソフトウェアの実現を前提としている。理想的には、ユニット全体のかごを停止させることなく、シャフト単位で停止・反転を行うのがよい⁽⁴⁾。

3. ロープレスエレベータの運行計画と運行制御

＜3.1＞ 基本的運行計画方針 ビル内の交通需要は、地上と上層の各一般階の間の交通が多く、特に出勤時のようなピーク時にはそれがほとんどを占める。この需要構造は都心の端末駅と郊外の各駅を結ぶ通勤鉄道に類似している。その通勤鉄道に適した輸送方式として、図5の左側に示すような地域分離型輸送方式が知られているが、ロープレスエレベータでもこれを応用する。従来のエレベータでもサービス階分割はすでに行われているが、ここでは1本のシャフト内で複数のサービスゾーンをサービスする点が根本的に違う。

また、地域分離型輸送は端末で多数のかごを一斉に発車させると効率的で、地上のロビー階を図5右側のように複数階床に設定し、目的階に応じて乗客を振り分ける。ロビー間の行き来には階段・エスカレータを使うため、ロビー階数は3つ位が限度であり、かごの接近限界を考慮して例え

地域分離型輸送方式

図5: 地域分離型輸送のロープレスエレベータへの適用

Fig. 5: An application of zonal direct service to the ropeless lifts.

ばB2F, 1F, 3Fのような一階おきのロビー配置とする。

なお、横行機能を利用した運行として、鉄道の急行列車のような追い越し運転も想像できる。しかし、追い越しは、追い越されるかごの損失時間が大きいため全乗客からみた総合的効果が小さいこと、追い越しの設備を余計に作る必要があること、乗客を載せたかごが水平に動くのは乗り心地面で問題があることから、本論文では追い越しは不要として考慮しない。

＜3.2＞ 運行スケジュールリング エレベータは輸送単位が小さいため、すべての階に止めても乗降客のない不要な停止が生じる。したがって、ロープレスエレベータ用の運行スケジュールリングでは、サービスゾーン内のすべての階に止まるのではなく、そのうちのいくつかの階のみに停止すると仮定する。

平均的な停止階床数 f は従来のエレベータ設計⁽⁵⁾でも用いられており、ロビー階と各一般階の間の均一な需要の場合、かごの乗車人数 r とサービスゾーン内全階床数 n として、(1)式で表される。

$$f = n \left\{ 1 - \left(\frac{n-1}{n} \right)^r \right\} \quad (1)$$

停止階床数が与えられれば、従来のロープ式エレベータの交通計算⁽⁵⁾の要領で、図6の上に示した各要素を構成す

乗降用シャフト側 回送用シャフト側

t_a : シャフト間移動時間
 t_b : 乗客の乗込時間
 t_c : ノンストップ区間所要時間
 t_d : サービス区間所要時間
 t_e : 回送区間所要時間

図6: 運行スケジュールリング方法

Fig. 6: A scheduling method.

図 7: 生成された運行スケジュール

Fig. 7: A generated schedule.

るサービスゾーン内の所要時間・ノンストップ区間の所要時間、乗客の乗込時間を求められる。

ロープレスエレベータでは、1つのシャフト内に複数のかごが走るため、信号システムを考慮して、それらの相互関係も運行スケジュールとして記述する必要がある。図5に示した基本的運行パターンに従い、かごが信号システムによる速度制限を受けず、最大ジャーク、最大加速度、定格速度を使い切る理想運行曲線を保てるよう、各ゾーンをサービスするかご間の間隔を規定する。なお、本論文では、最大ジャークを 1.0m/s^3 、最大加速度を 0.8m/s^2 と仮定している。その際、各シャフト毎にこの操作を行い、特に、シャフト間を水平移動する間は2つのシャフトに影響を及ぼすことに留意する。シャフト間の水平移動時間は、シャフト間隔をロープ式よりもやや広い 4m と仮定し、その距離を鉛直方向の最大ジャーク、最大加速度と同じ値で移動した場合の所要時間約 4 秒に 1 秒を加えた 5 秒と仮定する。

以上の操作により作成したスケジュールの例を図7に示す¹⁾。図7の下部で太線で示された部分は、同じ階の異なるシャフトで2つのかごが停止していることを示している。

< 3.3 > 運行制御方法 従来のエレベータでは、乗客の確率的到着に依存した乗り場呼びに対して適切なかごを割り付ける群管理制御という運行制御が発達している。

一方、前節では、運行スケジュールという、従来のエレベータでは用いられない概念を導入した。そこで筆者らは、これらを融合する方法について議論を行っており、上記で定めた運行スケジュールを守る程度に各かごに割り付ける呼びを制限する方法を検討中である。しかし、本論文の

1. 実際は曲線で表されるものだが、簡略化のため出発・停止点間を直線で結んでいる。

図 8: エレベータ占有床面積計算時の仮定

Fig. 8: Assumptions for the calculation of lift area.

図 9: ロープレスエレベータにおけるゾーンの組合せ

Fig. 9: Combination of service zones in ropeless lifts.

対象は設備的な有効性の議論であって、本論文との直接的関連はないため、詳細は省略する⁽⁶⁾。

4. 各エレベータ方式の基本特性比較

本検討ではまず、各エレベータ方式の能力の階床数依存性を調べた。ここでは、1つのサービスゾーンの階床数を10階に固定し、ロビー階からすべての階へ同じ人数の乗客が移動するという出勤時の需要を仮定した。また、かご定員は20名とした。

計算したビルの高さは、一般階30階（ゾーン数3）、一般階60階（ゾーン数6）、一般階90階（ゾーン数9）、一般階120階（ゾーン数12）の4通りである。このとき、ロープ式エレベータとロープレスエレベータのシャフト配置と停止階は図8のように仮定し、面積の計算ではロープ式は機械室分を含め、ロープレスエレベータでは地下のロビー階を含める。

ロープレスエレベータでは1本のシャフトで3つのゾーンをサービスするため、ゾーンの組み合わせ方によって得られる結果は若干変わってくる。ここでは、3本シャフト式の構成とユニット内における各シャフトのサービスゾーンを図9のようにし、図中のユニット(A,B)を必要数だけ用意すると仮定して計算することとした。

図 10: 各方式における階床数と占有床面積の関係

Fig. 10: Relation between the number of floors and lift area.

これ以外に、回送用シャフトを用いず、かごが上下に往復する 1 本シャフトによる往復方式との比較も行う。

ここでは、定格速度について次のような仮定をおいた。

- (i) ロープ式と 1 本シャフト式は、かご数が限定されているため、速度が高い方がかご一周時間が短くなって輸送力が上がる。ここでは、これらの方式に有利な仮定として、ロープレスイレベータと同一の加速度・ジャークの制約の範囲内で可能な限り速度を出すこととする。
- (ii) 3 本シャフト式は、かご数が自由に設定できるため、低速の方がブレーキ距離に依存するかご間の距離を詰められ、輸送力が上がる。そこで、定格速度は 200m/min, 400m/min の 2 通りで計算し、かご数は最も輸送能力の大きくなる個数を選ぶ。

以上の仮定をおき、1 階あたり 5 分間に 10 人の乗客が発生した場合に必要なシャフト・ユニット数を計算し、各階床における機械室も含んだシャフト本数の総和（以下：総シャフト本数）を、占有面積を表す評価量とした。それを 1 階床あたりの平均シャフト本数に直した値を図 10 に示す。なお、ロープレスイレベータは、つり合いおもりの分の面積減よりもリニアモータの分の面積増が大きいと考え、ロープ式のシャフト 1.3 本分に換算している。

図 10 をみると、次のようなことが言える。

- (i) ロープ式と 1 本シャフト式では、占有面積が階床数にほぼ比例している。これを言い換えると、エレベータ総占有面積が階床数の 2 乗に比例することを意味している。
- (ii) 3 本シャフト式では、占有面積の増加が階床数が

増えても抑えられており、これらの方式の高層化への対応能力が高いことを示している。

- (iii) 全般的な傾向として、ロープ式が劣ることは 30 階床程度でも明らかであるが、より省面積なスカイロビー方式を導入した場合の検討も必要である。

- (iv) 60 階までは 1 本シャフト方式と 3 本シャフト方式が互角で、30 階では 1 本シャフト方式が僅差ながら最も優位となった。これは、60 階程度までは 3 本シャフト式のシャフト 1 本当たりのかご数が 3 個強と、1 本シャフト式と大差ないことに起因する。

以上から、ロープレスイレベータの優位性はある程度明らかになったが、前述のスカイロビー方式や、シャフト面積だけではなく乗り場面積も考慮した方がより適切な評価となる。そこで、次に、実際のビルに近いモデルをもとにそれらを詳細に検討した。

5. 実際のビルを想定した際の諸方式の比較

< 5.1 > 想定するビル・エレベータシステムと乗客需要の仮定 ここでは、現存の高層ビルを参考に仮定した図 11 のようなロープ式エレベータのモデルを例として用いる。なお、1F と 5F は後述のロープレスイレベータの場合はロビー階となっているが、ロープ式エレベータの場合はここでのサービスは行わないとし、実質は 1F 以上にシャフトがあるとした。

また、以下では、出勤時についてのみ必要な設備を計算するが、主要な食堂が地上にあるビルならば、特に他の時間帯の交通需要を考慮する必要はなく、特に一般性を損なうことはない。

表 1: 輸送能力の計算結果

Table 1: Calculated results of handling capacity.

エレベータ	A	B	C	D	E	F
かご 1 周時間 (s)	217	216	207	194	179	148
全台数の 5 分間輸送能力 (人)	212	213	223	238	258	233
1 階当たり 5 分間到着人数計算値	19.3	17.8	18.5	21.6	25.7	29.1
1 階当たり 5 分間到着人数設計値	17	17	18	21	25	29
全階の 5 分間総到着人数設計値	187	204	216	231	250	232

図 11 の各エレベータの輸送能力を計算し、そこから設計時の想定需要を逆算する。エレベータの輸送能力の計算には、ロープ式エレベータで用いられている交通計算の手法を用い、その結果を示したのが表 1 である。表 1 ではさらに、それを 1 階当たりの 5 分間到着人数に直し、計算値よりも少ない整数値を設計値とした。

図 11: 想定するビル内のロープ式エレベータ

Fig. 11: Roped lifts in an assumed building.

< 5.2 > ロープレスエレベータの設計 ここでは、比較の際の条件を揃えるために定員・サービスゾーンを図 11 と全く同じとして計算する。定格速度は低い方が輸送能力が上がるため、200m/min とした。まず基本となるピーク時の運行パターンは図 12 のようにする。1 本の乗降用シャフトが 3 つのゾーンをサービスし、そのユニットを複数個用意する。このパターンのもとでスケジュールを作成し、(乗客から見た) 運行周期を求めた。実はすでに示した図 7 がこの場合について作成したスケジュールであり、最小周期は 133.5 秒、その時のかご数は最小 13 個となった。

次に、輸送能力を求める。通常の交通計算では、乗客は定員の 80% が乗り込んだ状態を仮定しているので、図 7 の各ゾーンの 5 分間輸送能力はすべて等しく、(2) 式のように 43.15 人と計算される。

$$24 \times 0.8 \times \frac{60 \times 5}{133.5} = 43.15 \text{ (人 / 5min)} \quad (2)$$

その結果と需要を照らし合わせて、必要なユニット数を求める。ユニットは、5 分間の需要が最も多いゾーンに合わせて、必要な数だけ用意する。表 1 より、E のエレベータが担当するゾーンの需要が 250 人と最も多いので、必要なユニット数は (3) 式のように 6 つと計算できる。

図 12: ロープレスエレベータのモデル

Fig. 12: A model of ropeless lifts.

$$250 \div 43.15 = 5.79 < 6 \text{ (unit)} \quad (3)$$

さらに、図 12 (a) のように運行の柔軟性を考えて全階にシャフトとドアを設ける方式 A だけではなく、占有面積削減のために運行形態を変更し、さらに不要な階にはドアやシャフトを設置しない図 12 (b) の方式 B も検討する。方式 B では 1 ユニットあたり 29 階分のシャフトと 53 個所の乗り場が削減されている。

方式 A では、5F から 48F-70F、3F から 25F-48F、1F から 7F-15F、というように、高層のロビー階は高層階行きといった対応が取れていたが、方式 B では省面積を重視した結果それが崩れており、乗客にとって行き先が分かりにくいという欠点を持つ。なお、方式 B では、ゾーン境界を 36F 付近で変えられる余地を残した構成とした。

方式 B では、運行周期が 139.2 秒となり、上記と同様の計算では必要ユニット数が 6.04 個となった。6 個を超えているため、7 ユニット必要ように思われるが、設計段階での 0.04 個分は誤差の範囲とできるうえ、誤差とみなさない場合も 6 ユニットのまま定員を少し増やして対応するの

図 13: スカイロビー方式によるエレベータ設計
Fig. 13: A roped lift design using sky lobby.

が普通である。ここでは、定員を揃えるという意図も含んで前者の立場を取り、方式 A と同様にかご定員の同じ 6 ユニットとした。

< 5.3 > スカイロビーを用いたロープ式エレベータ
最後に比較の参考として、ロープ式エレベータにおいても占有床面積削減が可能なスカイロビー方式を用いることを考える。スカイロビー方式は図 13 のような方式である。通常はスカイロビーはビルを大体等分するように配置するが、今回は 25 階に存在する会議室の便を考え、そこに設けた。さらに、地上とスカイロビーを結ぶシャトルエレベータには、客室を上下二層としたダブルデッキエレベータを用い、省面積となるようにした。図 5-1 の各系統のエレベータは、実際に表 1 を満たすように設計した台数を記している。速度も、元来ロープ式エレベータで用いられている値を参考にして定めた。

< 5.4 > 各方式の比較 これまで説明した 4 通りの方式を、シャフト・乗り場を合わせて計算した占有床面積、平均待ち時間と、乗客が乗ってから降りるまでの時間を表す乗車時間の平均値とで比較した。

比較の際、ロープ式エレベータはシャフト上部に機械室があるため、分速 180m の遅いエレベータは 2F 分、その他

表 2: 4 つのエレベータ方式の比較結果
Table 2: Results of comparison among four lift systems.

		ロープ式		ロープレス	
		スカイロビーなし	スカイロビーあり	方式 A	方式 B
総シャフト本数		2042	1440	1260	1086
ドアの枚数	一般	534	477	768	450
	ロビー	46	74	36	36
	総合	603	588	822	504
総面積	通常和	2645	2028	2082	1590
	重み和	2645	2028	2460	1915.8
平均待ち時間		12.6	16.6	11.1	11.6
平均乗車時間		84.3	99.3	109.6	109.6
平均サービス時間	通常和	96.9	115.9	120.7	121.2
	重み和	109.5	132.5	131.8	132.8
平均乗換数		0	0.635	0	0
全かご数		46	50	78	78

のエレベータを 3F 分として延べ占有階床数に加えた。各評価量の計算結果を表 2 に示す。ただし、表 2 中の各評価量の詳細は、次のようになっている。

- (i) 総シャフト本数 : 各階床のシャフト本数の総和。定員を揃えているので、床面積に比例する。
- (ii) ドアの枚数 : 一般階とロビー階に分けて集計。ドアの枚数は乗り場面積と密接に関係するが、ロビー階の乗り場面積が大きいと考え、総合評価では、(一般) + (ロビー) × 1.5 とした。
- (iii) 総面積 : 一般階のドア 1 枚あたり乗り場面積は大体シャフト 1 本分に相当するため、上記の 2 つの和をとった。「重み和」とあるのは、ロープレスエレベータのシャフト面積に重み 1.3 をかけたもの。
- (iv) 平均待ち時間 : 全乗客の平均。スカイロビー方式の場合はシャトル+ローカルの和。単位は秒。
- (v) 平均乗車時間 : 全乗客の平均。スカイロビー方式の場合はシャトル+ローカルの和。単位は秒。
- (vi) 平均サービス時間 : 平均待ち時間と平均乗車時間の和をとったサービス完了時間。「重み和」とあるのは、待ち時間を 2 倍して足したもの。単位は秒。
- (vii) 平均乗換数 : 出発階から目的階までにエレベータを乗り継ぐ回数を全乗客の平均値で示したもの。
- (viii) 全かご数 : エレベータシステム全体で必要とな

るかご数。

表 2 から、次のような傾向が読み取れる。

- (i) 方式 A は無駄なドアが多いため、ロープ式の場合より乗り場部分が多くなる。
- (ii) 運行形態をある程度固定し、不要部分のシャフトやドアを削る方式 B は、ロビー階での案内が複雑だが、方式 A より 2 割以上面積を削れる。輸送の柔軟性をある程度犠牲にすれば、70 階程度のビルでもスカイロビー方式よりも占有面積で勝っている。
- (iii) 乗車時間は、エレベータを乗り継ぐスカイロビー方式でもロープレスエレベータより有利となった。シャトルエレベータの乗車が 30 秒程で済む一方で、ロープレスエレベータの速度が遅いことが原因である。なお、ロープレスエレベータの速度を上げると、時隔が広がって輸送力が落ちた結果として、需要に対して必要なユニット数が増える。
- (iv) 時間的なサービス水準は、高速性が最も有効となるロープ式のスカイロビーなしが最良となった。一方、スカイロビー方式は同程度のサービス完了時間ではあるが、乗換が必要な分だけロープレスエレベータよりもサービスが悪いといえる。

これらから、現状の超高層ビル程度でも占有面積の上でもサービス水準の面でも従来のロープ式エレベータに十分対抗できることが明らかとなった。しかも、ロープレスエレベータはすべてのゾーンで 5 分間で 250 名の輸送能力を持つが、表 1 からみて上層の輸送能力は使い切っておらず、条件的には不利である。

< 5.5 > 出勤時の下り輸送に関する考察 出勤時にロープレスエレベータを 6 ユニットしか用いない場合、下り輸送ができないので、下り用のエレベータを追加する必要がある。しかし、需要のピークは 10 分程と短時間で、その間の下り需要は一般に上りの数十分の一ときわめて少ない。そのような短時間のわずかの下り需要のためにもう 1 つ同じロープレスエレベータのユニットを用いるのは得策ではない。実際には、少人数のエレベータを 1.2 台用意する方がよく、この程度なら占有面積とサービス水準を総合的に考慮したロープレスエレベータの優位性を保つことは可能である。しかし、可能ならば荷物用や非常用といった、通常用いられないエレベータの輸送力をごく短い時間だけ下りの輸送用に転用するのがもっと合理的な方法である。従来の荷物用や非常用エレベータの概念を見直すことは本設備の合理化に寄与すると考えられる。

6. おわりに

本論文では、ロープレスエレベータの特長を活用した運行方法を提唱し、それをロープ式エレベータ等の従来の方式と比較して、ロープレスエレベータが現状の高層ビル程度でも技術的には利用価値が十分あることを示した。

ただし、真の導入可能性評価には、イニシャルコストや

ランニングコストの問題が大きく、技術的な評価だけでは十分とは言えない。この点は今後の課題である。また、今回は出勤時に的を当てて議論したが、多様な需要構造を持つビルでは、時間帯別の検討も必要となる。

なお、本論文の成果は、文部省科学研究費補助金（特別研究員奨励費）によるもの⁽⁴⁾の一部である。

（平成 10 年 12 月 25 日受付、平成 11 年 5 月 24 日再受付）

文 献

- (1) 海老原、正田：「ロープレスエレベータは可能か」電気学会誌，Vol.115，No.7，pp.420-423（1995）
- (2) 古関 他：「二次元リニア同期モータの試験機と準三次元解析を用いた三次元力の評価」平成 10 年電気学会産業応用部門全国大会 [I]，No. 102，pp. 345-348（1998）
- (3) 宮武 他：「ロープレスエレベータの信号システムに関する考察」平成 10 年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集 [III]，No.252，pp.229-232（1998）
- (4) 宮武：「ロープレスエレベータを用いた鉛直輸送システムの提案と構築方法に関する研究」東京大学工学系研究科電子情報工学専攻 学位論文（1999）
- (5) 日本エレベーター協会：「昇降機設計指針」（1992）
- (6) 宮武、高橋、古関、曾根：「スケジュール的要素を取り入れたロープレスエレベータのセミデマンド運行制御」鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL'98）（1998）

宮武 昌史（正員） 1972 年 3 月 16 日生。1994 年東京大学工学部電気工学科卒業。1999 年同大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻博士課程修了、博士（工学）。同年東京理科大学理工学部電気工学科助手、現在に至る。交通システムおよびパワーエレクトロニクスの応用研究に従事。

古関 隆章（正員） 1963 年 7 月 29 日生。1986 年東京大学工学部電気工学科卒業。1992 年同大学大学院博士課程修了、博士（工学）。東京大学助手、講師を経て 1997 年同大学院工学系研究科電気工学専攻助教授、現在に至る。リニアモータなど電気機械の産業応用と交通システムの研究に従事。

曾根 悟（正員） 1939 年 4 月 23 日生。1962 年東京大学工学部電気工学科卒業。1967 年同大学大学院博士課程修了、工学博士。東京大学講師、助教授、教授を経て、現在同大学院工学系研究科電気工学専攻教授。専門は交通システム工学。1982 年論文賞、1996 年産業応用特別賞学術賞受賞。