

# 東京タワー向け屋外展望用エレベーター

松井 太\* 榎本 優\*  
浅野和雄\* 羽根田 治\*  
三本木慧介\*

## Outdoor Type Observation Elevator for Tokyo Tower

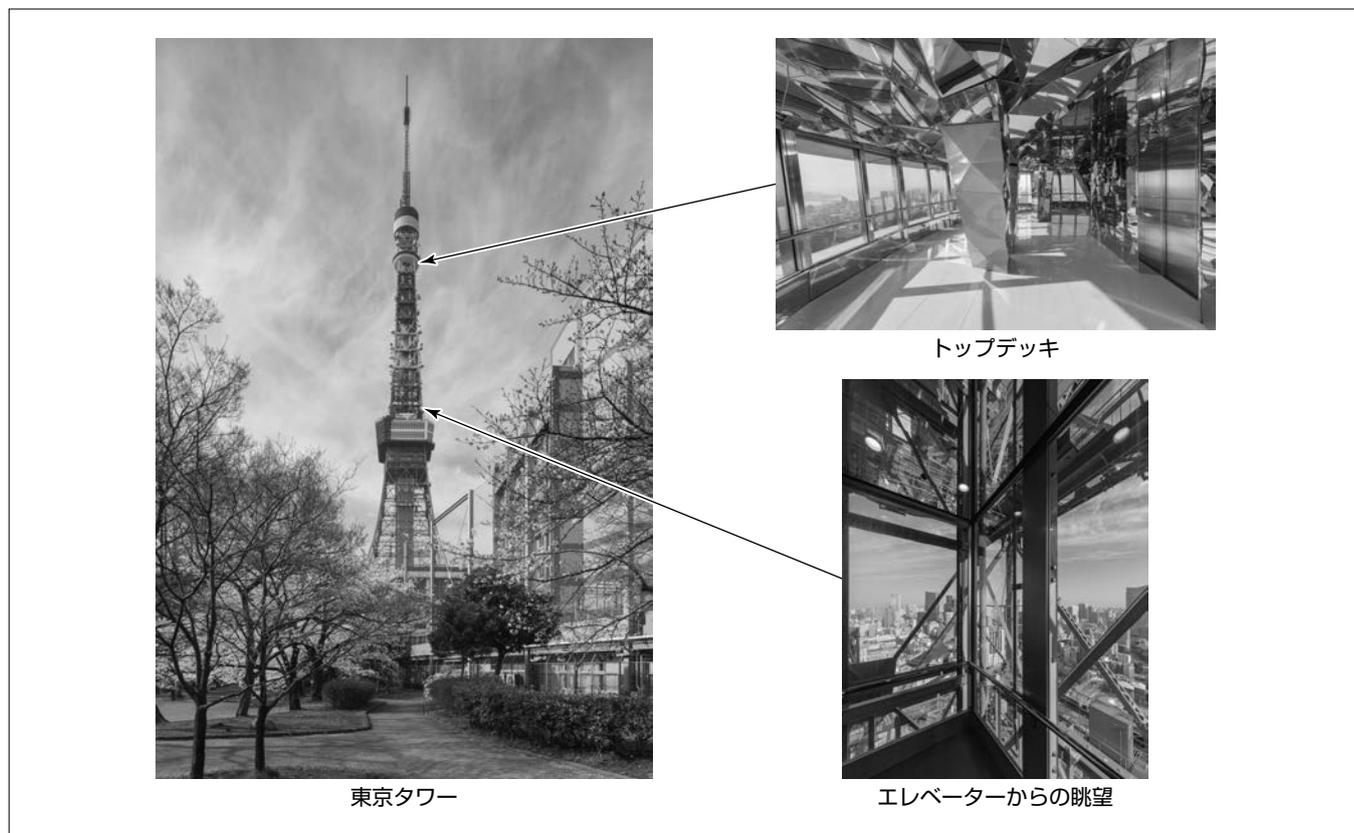
Futoshi Matsui, Kazuo Asano, Keisuke Sambongi, Yu Enomoto, Osamu Haneda

### 要 旨<sup>(1)(2)</sup>

展望用エレベーターは、通常のエレベーターと異なりかごと昇降路壁の一部をガラス等にして、かご内の乗客が展望を楽しめるようにしたエレベーターのことである。観光資源として活用されるため、モニュメンタルな建物に設置されることも多く、かご内意匠などデザイン性を重視したのも多い。展望用エレベーターの中でも、昇降路の一部をオープンにし、屋外の自然環境に露出させているエレベーターを屋外展望用エレベーターと呼称している。

東京タワー向け屋外展望用エレベーターは、メインデッキとトップデッキ間の約85mを結ぶエレベーターで、納入は今から半世紀以上前の1958年にさかのぼる。当初は塔保守の目的で、人荷用エレベーターとして計画・納入

されたことが記録されている。その後、1967年の特別展望台のオープンに合わせて、展望用として改修され、現在のような屋外展望用エレベーターとして運行されるようになった。その後、数回にわたって改修されてきたものの、2016年末から開始された特別展望台(現トップデッキ)のリニューアル工事に併せて、エレベーターも大規模なリニューアルを実施するに至った。このリニューアルに際しては、現行法規への対応や、屋外かつ高層に位置していることから、風雨への対策を重点的に実施した。また、電波塔であるため電磁波の影響も考えられたことから、電子機器のシールド化等の対策を図った。



### 東京タワーとリニューアル後のトップデッキとエレベーターからの眺望

竣工(しゅんこう)から半世紀以上が経過した今でも東京タワーは東京のシンボルとして愛されている。リニューアル前のエレベーターかご室はレトロな雰囲気を残していたが、リニューアル後はガラスや鏡面素材を活用し、開放的な空間が演出されている。

1. ま え が き <sup>(1)(2)</sup>

東京タワーのメインデッキとトップデッキを結ぶエレベーターは、屋外展望用エレベーターと呼ばれ、一般的なエレベーターとは設置環境が大きく異なる。通常の屋内環境エレベーターは、建物の内部に存在することがほとんどであり、昇降路壁等で外気と遮断されているため、天候などの影響を受けることは少ない。一方、屋外展望用エレベーターは、乗客が展望を楽しめるよう、昇降路壁の一部をオープンにしたエレベーターを指す。ガラスを積極的に使用したかご等の展望用としての工夫はもちろん、自然環境に露出していることから、雨や雪、風といった天候に大きな影響を受けるため、それらへの対策も必要不可欠である。そのため、設計も特殊な要素を多く含むことになり、高い技術力を必要とされる。本稿で述べる東京タワーに設置されている屋外展望用エレベーターは、1958年の東京タワー竣工当時から設置されている。当初は塔保守の目的で、人荷用エレベーターとして使用されていたものの、1967年の特別展望台のオープンに合わせて、展望用エレベーターとして改修され、現在のように観光資源として活用されるようになった。その後、数回にわたって改修を受けてきたものの、2016年末から開始された特別展望台(現トップデッキ)のリニューアル工事に併せ、エレベーターも大規模なリニューアルを実施するに至った。

2. 特殊環境対策

この案件のエレベーター(表1)は、屋外環境に露出しており、かつ高層に位置していることから、風雨の対策を重点的に実施する必要があった。特に、常に自然環境に置かれるかご室や周辺の電気機器及び非常救出階の乗場扉・機器は、防水対策と風圧対策を重点的に実施する必要があった。機械室に設置されている巻上機は、直接的に風雨等の影響は受けないものの、ロープ等を介して間接的に影響を受けるおそれがあるため、対策を講じている。加えて、東京タワーは現在も電波塔として一部が使用されているため、電磁波による電子機器への影響も考慮する必要があった。次に、その詳細な検討内容について述べる。

2.1 巻上機

このエレベーターは、昇降路壁がないことから外風の影響を受ける、また上空の冷気がロープ穴から機械室内に流入するため、通常の屋内環境エレベ

表1. 東京タワー向け屋外展望用エレベーターの仕様

用途	人荷用(人主体)
積載量	1,000kg
速度	90m/min
昇降行程	約85m
ローピング	1:1

ターと比較して主に①ロープが雨で濡(ぬ)れる、②空気中の水蒸気が冷やされ結露が発生する、③外風で揺れる釣合いロープを適用しない、④外風の風圧でかごに外力が作用するという四つの特徴がある。

これらの特徴に対し、巻上機に必要な機能として、主に①ロープが水で濡れた状態での駆動綱車とロープ間の摩擦力の確保、②制動面に結露やさびが発生した際の制動能力の確保、③釣合いロープなしによるアンバランス増加、④かごへ作用する風圧によるアンバランス増加を考慮した駆動綱車とロープ間の摩擦力の確保の四つが挙げられる。

今回、これらの機能に対し、現行法規に対応した安全基準を確保するため屋外UCMP(Unintended Car Movement Protection: 戸開走行保護装置)の大臣認定取得と、ライフサイクルコスト低減のための長寿命化という課題があった。そこで、屋外環境での適用実績があるウォーム巻上機をベースにした図1に示す巻上機“EML-500”を開発した。

2.1.1 屋外UCMPの大臣認定取得

UCMPの大臣認定で、戸開時にかごが規定の制動距離で安全に停止することが要求される。取得済みの屋内UCMPの大臣認定と比較して、屋外UCMPの大臣認定に適用する巻上機の要求事項は、主に①ロープが水で濡れた状態でも適切な駆動綱車とロープ間の摩擦力があること、②制動面に結露やさびが発生した状態でのかごの制動距離が基準値内であることの二つが挙げられる。

これらの要求事項に対し、この巻上機を据え付けた試験塔でロープ及び制動面へ散水して実機評価を行った。ロープが水で濡れた状態での駆動綱車とロープ間の摩擦力は、ロープ表面に凹凸があるため、特異な現象が生じないと想定していたとおり、通常の屋内環境と比較して差異がなかった。また、制動面に結露やさびが発生した状態では、事前検討でハイドロプレーニング現象によって制動距離が伸びるという懸念があった。そこで、許容面圧を確保しつつ排水用の溝の数量と位置を最適化したブレーキパッドを開発し、規定の制動距離内で停止することを確認した。これによって、屋外UCMPの大臣認定を取得した。

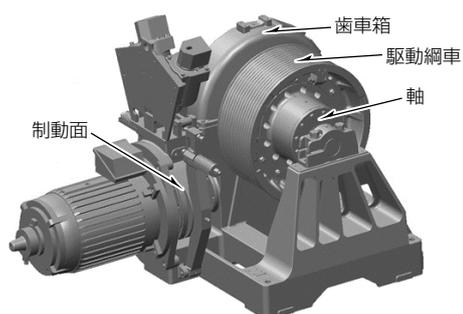


図1. 巻上機EML-500

### 2.1.2 駆動綱車とロープの長寿命化

エレベーターは、駆動綱車にロープを巻き付けた摩擦力で駆動している。釣合いロープなしによるアンバランス増加やかごへ作用する風圧によるアンバランス増加を考慮した駆動綱車とロープ間の摩擦力を確保するため、このエレベーターは低速運転の仕様であるが、通常は高速運転の仕様で適用されるフルラップ構造(図2)を採用した。しかし、フルラップ構造は駆動綱車とそらせ車にロープを2回巻き付けるため、ロープの屈曲回数が多くなることから、ロープの屈曲疲労が促進される懸念があった。

そこで、図2のとおりリニューアルに当たり、そらせ車を2個から1個に変更することでロープの屈曲回数を低減した。これによって、ロープの長寿命化を行った。

また、ロープ本数の変更(6本→7本)と駆動綱車の溝形状の変更によって駆動綱車の溝の面圧を低下させると同時に、駆動綱車の硬度及びロープの種類を変更して駆動綱車(従来比310%)とロープ(従来比230%)の長寿命化を実現した。

この長寿命化対策によって、交換インターバルの延長を実現したが、エレベーターの使用期間の中で交換は必須である。図1に示した両持ち構造である駆動綱車の交換は、駆動綱車を軸方向に引き抜く必要があって軸を歯車箱から取り外さなければならない。そこで、図3のとおり駆動綱車を左右2分割とし、軸を取り外すことなく駆動綱車を取り外す構造とし駆動綱車の交換作業性に配慮した。

### 2.2 かご上機器

2.1節で述べたとおり、屋外展望用エレベーターとなるこのエレベーターでは風雨・電磁波への対策が求められる。

そこで、かご室及びかご室に取り付ける機器に関しては上面からの防水だけでなく、かご室が下降している際に発生すると考えられる下面からの吹き上げを考慮する必要がある。あらゆる方向からの風雨にさらされるため、JIS C 0920に定められたIPX4等級相当を満足する構造を採用し、JIS規格で定められた防水試験を実施して防水性能に問題がないことを確認した。防水試験方法を図4に示す。

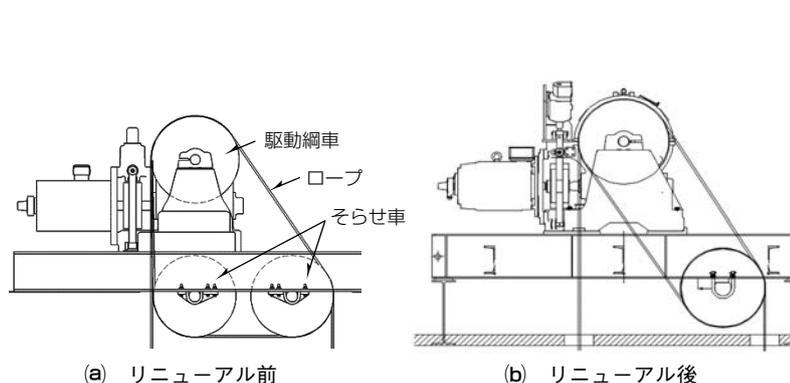


図2. フルラップ構造

また、東京タワーでは現在も電波塔としての役割を維持しており、FMラジオ放送などに使用されている。そのため、エレベーターの各機器に対して電磁波による誤動作の影響も考えられ、耐電磁波対策を行った。

各機器に施した耐電磁波対策の確認は、欧州の統一規格であるEN(European Norm)規格のEN61000-4-3に基づいて試験を行った。試験は電界発生アンテナから3m離れた地点に均一電界面を設定し、所定の電界強度で電磁波を照射して誤動作、不具合等が発生しないか確認した。試験方法を図5に示す。

耐電磁波試験では機器単体の試験を行うだけでなく、複数の機器を実際の機器配置に従って設置する組合せ試験も行うことで、実機状況を可能な限り模擬した。耐電磁波試験状況を図6に示す。

試験の結果、この案件で現状計測されている電界強度及び周波数帯で不具合が発生しないことを確認した。

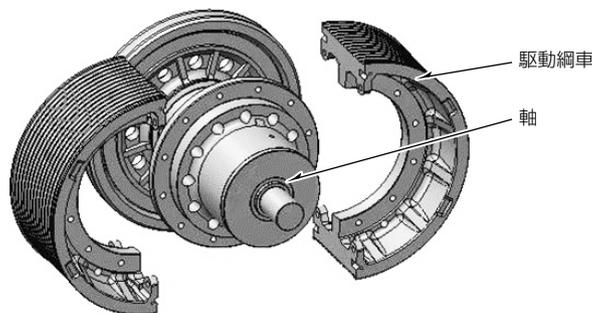


図3. 分割した駆動綱車の構造

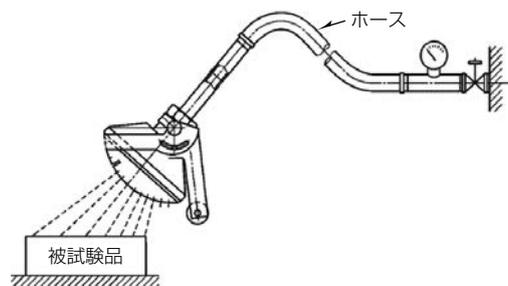


図4. 防水試験

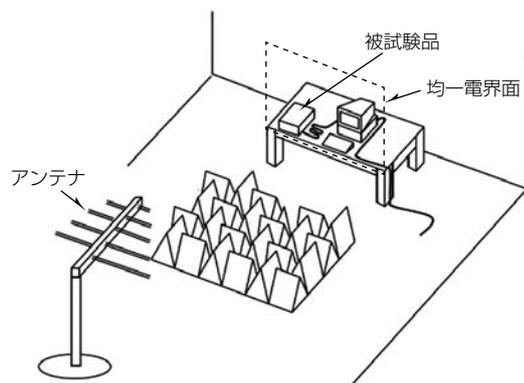


図5. 耐電磁波試験方法

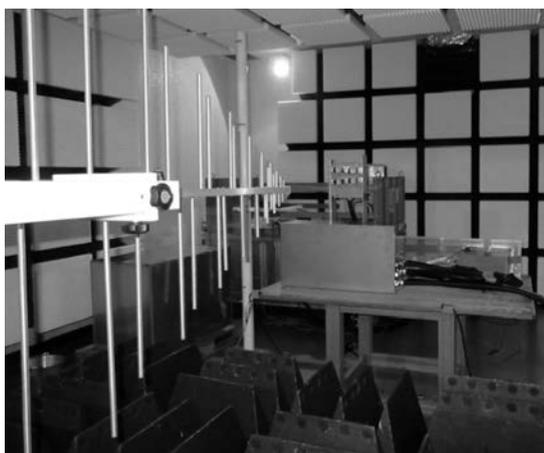
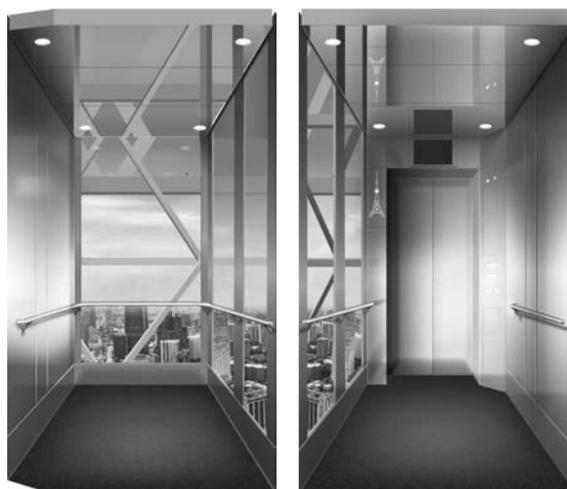


図6. 耐電磁波試験状況



(a) 展望窓側 (b) 出入口側

図7. かが室意匠

防水、耐電磁波対策を行うに当たり、最も注意した点は機器の経年劣化を考慮し、定期的なメンテナンスを容易に行える構造にしたことである。中でも、防水・耐電磁波を担保する部位に容易に交換可能な防水ガスケットを採用したことで定期的な交換によって性能を常に一定に保つことを可能にした。

### 2.3 かが室

かが室は窓ガラスを足元から天井面までとし、天井に鏡面素材を配することによって、図7のとおり、窓から見える景色と天井に映る鏡像に連続性を持たせた意匠となっている。この意匠を実現するため、既存かが室からの形状変更(隅切型から角型へ)が必要となった。また、このエレベーターは屋外展望用であるため、かが室内への浸水を防ぐ構造が必須である。

かが室形状変更による機械部品とかが室とのスペース減少、及び当該意匠によるかが室質量増加によって屋外展望用エレベーターで用いられてきたかが室を外装板で覆って防水する構造を採用できず、新たな防水構造を検討する必要があった。

防水構造としては、基本的にはかが室の組立て後に各部品間の隙間をシーリングで埋めることで対応したが、機械部品付近などシーリングを施工するスペースのない箇所に関しては、部品間でゴムを押しつぶす防水パッキン構造を用いた。

防水パッキン構造では、部品の製作時に発生した歪(ひず)みや据付け誤差によってゴムを押しつぶすことができなければその効果が発揮できないため、各工程での品質確認を十分行い、防水性能に問題ないことを確認した。

### 2.4 非常救出階出入口

このリニューアルに当たっては、現行建築基準法に準拠する必要があり、国土交通省告示第1536号第2に則し、メインデッキからトップデッキまでの約85mの間に非常救出階出入口が新設されることになった。

当該非常救出階出入口は高層かつ屋外環境にあるため雨水によるさび、直射日光による変形など特有の故障要因を考慮する必要がある。特に台風などの風荷重による乗場扉の落下や機器変形・破損による戸開閉不良が発生した場合には甚大な被害になりえるため、慎重な構造検討と、製品相当の試作品での強度検証を行った。

乗場扉の落下対策としては扉と三方枠・敷居、それぞれの部品が噛みあう取り合い(アイジャクリ構造)とすることで、想定外の荷重で乗場扉が変形しても落下までには至らない冗長性を考慮した構造とした。

乗場機器の変形・破損としては建築基準法施行令第87条から換算した風荷重で強度試験を実施し、最大風荷重の除荷後に乗場扉が開閉できること、及び乗場機器の変形・破損がないことを確認した。

## 3. むすび

今回、東京タワー向け屋外展望用エレベーターのリニューアルとして、現行法規への対応や風雨、電磁波等への対策を実施した。本稿では、特に一般的なエレベーターとは異なる設計要素やその試験について述べた。

三菱電機がこれまで納入した屋外展望用エレベーターの中には東京タワーと同様にモニュメンタルな要素を持つものもあり、今後のリニューアルの要求が高まる可能性もある。それらに備え、今後も当社の高い技術力を維持向上させていく。

### 参考文献

- (1) 小林憲太郎, ほか: 屋外用エレベーター, 三菱電機技報, 44, No.8, 1042~1047 (1970)
- (2) 山田春夫: 展望用エレベータの設置計画, 三菱電機技報, 46, No.12, 1386~1390 (1972)