

## Techno Scope

# 高層建築に対応する エレベータ

泉ガーデンタワー（東京都港区）  
高さ216m、地上45階・地下2階のオールガラス張りの  
高層建築。2002年竣工。展望用シャトルエレベータは  
日本最大級の75人乗り、240m/min。国内の超高層  
ビル用高速エレベータとして初めて屋外形展望用エ  
レベータが採用された。

建築物の高層化に伴い、エレベータの高速化・大容量化技術が開発されてきた。近年では中国や中東を中心に超高層ビルの計画が急増しており、超高速エレベータのニーズが増加している。高速化と安全性、快適性の両立を追求してきた日本のエレベータ技術を紹介する。

## 世界最速記録を3回連続更新した日本製

日本の高層建築に対応するエレベータの歩みを振り返ると、その原点は霞が関ビルディング（東京都千代田区）にさかのぼる。霞が関ビルディングは、1963年の建築基準法改正で容積地内の高さ制限が緩和され超高層ビルの建設が可能となり、1968年に誕生した。高さ147m、地上36階、地下3階の日本初の超高層ビルには、300m/minの超高速エレベータが設置された。

その後、高さ100m以上の超高層ビルは東京を中心に次々に建設され、エレベータの高速化が進んだ。1971年には京王プラザホテル（東京都新宿区）で360m/min、1974年には初めて200mを超える新宿住友ビル（高さ200m）と新宿三井ビル（同212m）で、シアーズタワー（アメリカ・シカゴ）とタイ記録となる世界最高速度540m/minの超高速エレベータが設置された。この間に、速度の2乗で比例して増大する運動エネルギーを吸収する非常止め装置、風速の6乗に比例して増大するとされる空力騒音防止、高速走行に伴うかごの横揺れ防止といった、

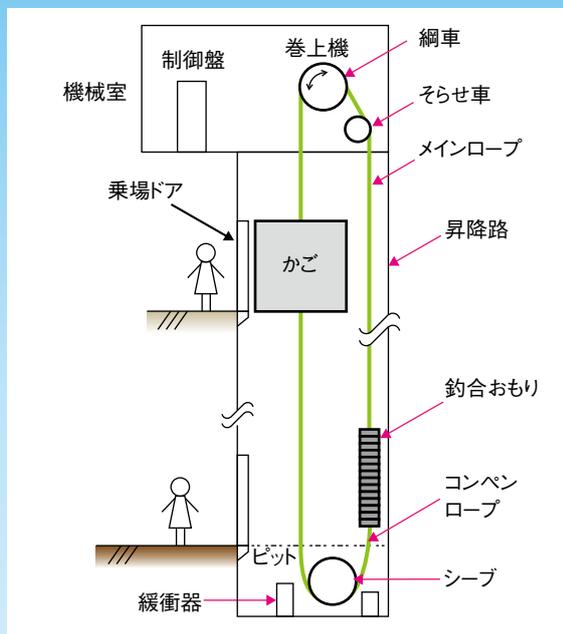
エレベータの高速化に欠かせない要素技術が日本で発展した。

こうした1970年代からの技術蓄積によって、1978年には高さ226mのサンシャイン60（東京都豊島区）に600m/minの超高速エレベータが設置され、ついに日本の技術がエレベータ世界最速記録を塗り替えた。そして1993年には高さ296mの横浜ランドマークタワー（神奈川県横浜市）で750m/min、2004年には高さ509mの台北101（台湾・台北市）で1,010m/minと、日本の技術が3回連続で世界最速記録を更新した。現在、世界最速エレベータが設置されている台北101では、昇降行程382mを約39秒で駆け上がっている。

## 快適性と高速化の両立

人や物を安全に運ぶ縦方向の移動手段として欠かせないエレベータとは、人や荷物を載せた箱を垂直または斜め、水平に移動させる昇降機の1種（このほか昇降機にはエスカレータや小荷物専用昇降機が含まれる）で、かご床面積が1m<sup>2</sup>、天井高さが1.2mを超えるものと建築基準法施行令に規定されて

■ エレベータ(ロープ式)の概念図



かつてエレベータは蒸気機関や内燃機関などで直接駆動されていたが、現在は電動モータによって駆動されている。駆動方式はロープ式が主流となっている。

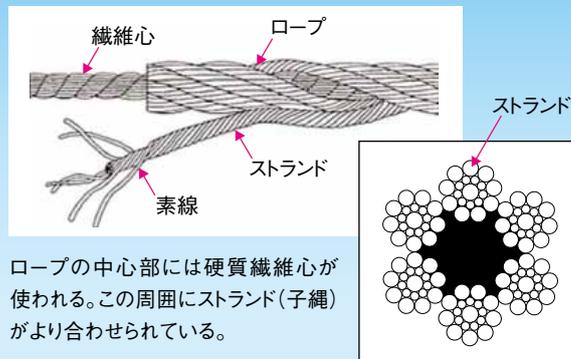
いる。建物の形状や設置場所にに応じて、ロープ式や油圧式などの駆動メカニズムが使われているが、90%以上はロープ式で構成されている。中でも超高層ビルでは、より高く、より速く運行できる方式として、ロープ式の1種であるトランクシヨン方式が採用されている。トランクシヨン方式の構造は、かごと釣合おもりをメインロープでつなぎ、巻上機の回転力でかごと釣合おもりをガイドレールに沿って昇降させる仕組みになっている。

日本製の高速エレベータは、走行中に床に500円玉を縦に立てても倒れないほど揺れがなく、動いていることを忘れてしまうほどの快適性を実現している。しかし閉鎖された空間で息苦しさを感じさせるなど、昇降距離の長距離化が進めば進むほど人体に与える生理的・心理的な負担が大きくなる。そのため現状でのエレベータ移動時間は長くて60秒が限度とも言われており、高速化が必須となる。

軽量化と高強度化を追求するワイヤロープ

エレベータの重要部品と位置づけられるワイヤロープは、炭素鋼の素線を数十本より合わせたストランドと呼ばれる細い子縄(鋼線の束)を6本程度より合わせてできており、柔軟性を保つため中心部にはマニラ麻などの硬質繊維心が入っている。通常の太さは直径10mm、12mm、16mmなどがあり、かご積載量や移動距離に応じて使用するロープの本数を増やしたり、よ

■ ワイヤロープの構成



ロープの中心部には硬質繊維心が使われる。この周囲にストランド(子縄)がより合わせられている。

り太いものが使われている。素線の炭素鋼にはJIS G 3506に規定されている硬鋼線材が使用されている。炭素含有量は一般的に0.4~0.9%で、熱処理によりパーライト組織にし冷間引き抜き加工(伸線)されている。引張強さは1,320N/mm<sup>2</sup>~1,910N/mm<sup>2</sup>が主流で高強度なものは2,350N/mm<sup>2</sup>程度まである。高層化が進むほどワイヤロープの質量の割合が多くなり、モータの大容量化やロープにかかる負荷が大きくなるのが課題となることから、このような高強度ワイヤロープが求められてきた。

一方、ワイヤロープの耐久性、寿命については、使用頻度や環境などにより大きく異なる。起動回数が著しく多い場合や、ロープの特定部分に多くの曲げ回数が発生する場合、直射日光などにより昇降路内温度が上昇しやすい環境や雨水が浸入しやすいなど湿度の高い環境の場合などでは、ロープの劣化進行が早くなる傾向がある。さらにロープには常に張力がかかっており、綱車などの滑車を通過するたびに摩擦と曲げが作用する。ワイヤロープの寿命は現在5~10年前後とされているが、長寿命化の観点からも高強度なワイヤロープが求められてきた。

耐破断力約1.3倍、弾性係数1.2倍のメインロープ

ここで具体事例として、最近の高速エレベータ技術の結晶と位置づけられる、東京スカイツリー®の技術を見てみよう。4台設置された一般利用者向けのエレベータは、40人乗りの規模としては国内最高速の600m/minで、地上から東京スカイツリー天望デッキまでの約350mを約50秒で結んでいる。また2台の27人乗り業務用エレベータは、国内最長の昇降行程464.4mを走行している。

エレベータの高昇降行程化に対応するため、メインロープには超高強度ワイヤロープが採用された。超高強度ワイヤロープの特徴は、まずストランドを8本に増やし真円に近い形状にして巻上時の摩擦係数を安定化させた。またクレーン用として実績

のある、鋼心にポリエチレン被覆を採用し、内部破断を防いでいる。高い破断荷重を必要とするため、ロープ心に炭素鋼を使用すると、内部磨耗や内部腐食が起こることにより、繊維に比べ寿命が短くなる。しかしポリエチレン被覆したことで、側ストランドとロープ心の直接接触をなくし、内部磨耗の防止や断線発生の低減を可能にした。これにより、繊維心入りワイヤロープと比べ耐破断力は約1.3倍、弾性係数は1.2倍と性能が高まった。その結果、メインロープの構成として直径20mmの強度区分B種(1,770N/mm<sup>2</sup>)のワイヤロープを10本使用することを可能にし、一般的な強度区分であるA種(1,620N/mm<sup>2</sup>)のワイヤロープに比べ本数を2本削減するとともに、システム全体で約17%の軽量化に成功した。長さ500m強のメインロープ1本の質量は約1tに達する。その10本のロープが、総質量約40tにも及ぶエレベータの安全昇降を支えている。

一方、かご下に吊り下げるコンペンロープは、メインロープとの質量バランスを取るため、昇降路最下部に設けたシーブ(滑車)おもりで加重しているが、ロープ1本当たり作用する張力がメインロープに比べて少なくなる。このため振れやすく、本数が多いため、ロープ同士の交差や絡まりが懸念された。この対策として、直径25mmの大径ワイヤロープが採用された。これに

より、コンペンロープの吊り構成は従来の直径20mm×13本から直径25mm×6本へと本数の大幅削減を実現するとともに、ロープの配置間隔を広げることでロープ同士の交差や絡まりを抑えた。

また東京スカイツリー®のような塔状の超高層建築物では、地震や強風による揺れがメインロープなどの長尺物にも共振し、昇降路機器へのメインロープの引っ掛かりが懸念される。建物揺れの固有周波数は0.1Hz以下の超低周波(建物揺れの1往復の周期が10秒以上)であるため、一般的な振動センサでは検知することができなかった。そのため0.08Hzまでの建物揺れを感知できる超低周波対応の長尺物揺れ感知器を新たに開発し、この感知器の情報から各長尺物の揺れ量を推定する長尺物揺れリアルタイム推定システムを開発・導入した。これによって一定のしきい値を超えるとエレベータを停止させるなど、安全性の向上を図った。

### コンパクト高出力モータを使った高速巻上機

ここまでワイヤロープに焦点を当てエレベータ技術を紹介してきたが、やはり高速化の決め手となるのは動力源だ。東京スカ

## 利用者の安全性を実現する、絶え間ない技術革新

エレベータ史において、1835年人力以外の動力として蒸気機関が登場したことと並んで、1852年E・G・オーチスによる非常止め装置の発明が特筆すべきごとである。それまでロープが切れたり、外れたりする落下事故があることから人員輸送用としては適していなかったエレベータに、安全装置が初めて取り付けられたからだ。発明から2年後の1854年には、アメリカ・ニューヨークのクリスタルパレス博覧会でオーチス自らが非常止め装置を装備したエレベータに乗り込み、集まった多くの人の前でロープを切らせることで安全性を実証した。このセンセーショナルな技術公開により、エレベータ技術の近代化の扉が開かれたのである。

エレベータは現在、故障や事故などを防ぐとともに、緊急時に利用者の安全を守るためにさまざまな安全装置を備えている。たとえば、エレベータのかごが到着しないと乗り場側の扉が開かず、安全な昇降速度を監視・制御する调速機、ロープ切断時にかごを停止させる非常止め装置、万一の時に役立つ衝撃緩衝器などが設置されている。

東京スカイツリー®は、2009年の建築基準法改正で義務化された戸開走行保護装置(UCMP)の設置対象外であったが、利用者の安全性向上のためUCMP機能を装備している。UCMPは、エレベータの駆動装置や制御装置が故障して、戸が閉じる前にかごが所定の範囲を超えて昇降したとき、自動的にかごを制止させる安全装置だ。二重化された制御装置や、かご戸・乗り場戸スイッチ、特定距離感知装置、戸開走行判定装置などの機器構成を実装することで、挟まれ防止クリアランスや転落防止クリアランスの基準を満たして大臣認定を取得し、安全性の向上を実現している。



安全装置付きエレベータの公開実演をするE・G・オーチス(1854年、アメリカ・ニューヨークのクリスタルパレス博覧会)

(資料提供:日本オーチス・エレベータ(株))

■ 東京スカイツリー®(東京都墨田区)

東京スカイツリー®のエレベータは定員40人の大容量タイプとして世界最速クラスの600m/minを実現。上昇・停止時の減速を含めても地上350mの東京スカイツリー天望デッキまで約50秒で到達する。

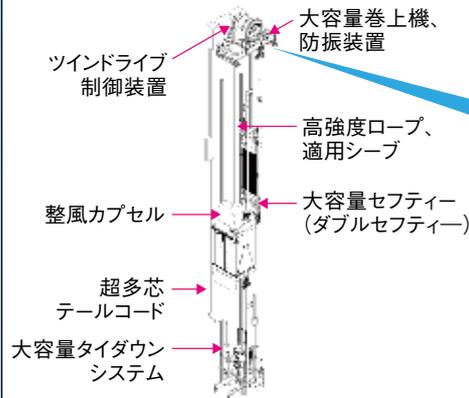


4階出発ロビー

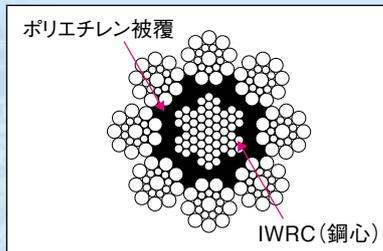
◀40人乗りエレベータかご室 (秋・祭の空)



● 40人乗りエレベータの技術的特徴



巻上機は高出力化を図るとともに、振動騒音を低減している。



超高強度ワイヤロープ。繊維心入りロープと比べ、破断力は約1.3倍、弾性係数は1.2倍と性能が高まった。



遊星式疲労試験機。ワイヤロープメーカーでは、遊星式疲労試験機などを用いて性能を繰り返し検証した。

イツリー®では、2重巻きのコンパクト高出力モータを使った高速巻上機と、その強力な巻上機を制御する信頼性の高い制御装置が開発された。一般的に、巻上機はエレベータ機械室内に収めるため小型・軽量化が求められるが、これに伴って構造全体の剛性が低下する。さらに大容量化に対応する巻上機用モータの大型化に伴って磁束密度が増加し、振動騒音が発生しやすくなる。これらの技術的な課題に対して、巻上機全体構造を3次元有限要素法(FEM)でモデル化し振動解析を行い、軽量化と大容量化の二律背反を適正化することにより、高出力と静音化を両立した。

また巻上機の機械室については、メンテナンス作業を考慮した設計になっている点が大きな特徴だ。東京スカイツリー®では、機器更新に備え最大1.6m角の機材が交換できるよう、専用のマシンハッチが設けられている。

世界市場で高く評価される日本製

日本は1997年に世界一のエレベータ大国となり、年間設置台数は現在約3万4,000台で推移している。一方、海外では中国市場が2000年以降年率20%という高い伸び率を示し、2002年には年間設置台数で日本市場を追い抜いた。しかし日本のエレベータは、3回にわたり世界最高速度を更新した実績や、エスカレータや小荷物専用昇降機を含めると年間4万台規模の昇降機市場を依然として保有している。しかも短期間に超高速まで一気に技術を確認した日本のものづくり力は、依然として世界市場で高く評価されている。優れた鉄鋼材料に支えられた、世界最高水準を誇る日本のエレベータは、今後も世界の超高層建築に採用されていくことだろう。

●取材協力 東芝エレベータ(株)、東京製綱(株)、(一社)日本エレベーター協会  
●文 杉山 香里