

超高速エレベーターの安全装置

井村光芳* 釘谷琢夫**
新川岳史* 小林 孝***
白石直浩*

Safety Device for Super High-speed Elevators

Mitsuyoshi Imura, Takeshi Niikawa, Naohiro Shiraishi, Takuo Kugiya, Takashi Kobayashi

要 旨

近年、建築技術の進歩とともに従来の高さを上回る500mを超える超高層ビルが計画されるようになり、その移動手段であるエレベーターで輸送能力向上のニーズが高まってきている。輸送能力を向上させるには、1つはエレベーターの速度を上げる、もう1つはエレベーターの積載量を増やすという2つの方法がある。

三菱電機は、速度、積載量とも最大クラスの仕様で、超高層ビルにおける輸送能力向上のニーズに応える世界最高速^(注1)1,080m/minエレベーター(上昇方向1,080m/min、下降方向600m/min)及びダブルデッキとしては世界最高速かつ世界最長昇降行程^(注2)となるエレベーターの開発を行った。

本稿では超高速エレベーター用の安全装置である非常止

め装置、油入緩衝器及び調速機の開発と、その設計及び評価技術について述べる。

(1) 非常止め装置

高摩擦・低摩耗特性を持ち、かつ耐熱衝撃性に優れている制動片の開発を行うとともに、非常止め装置を上下2段に配置するデュプレックス形構造とし小型化を図った。

(2) 油入緩衝器

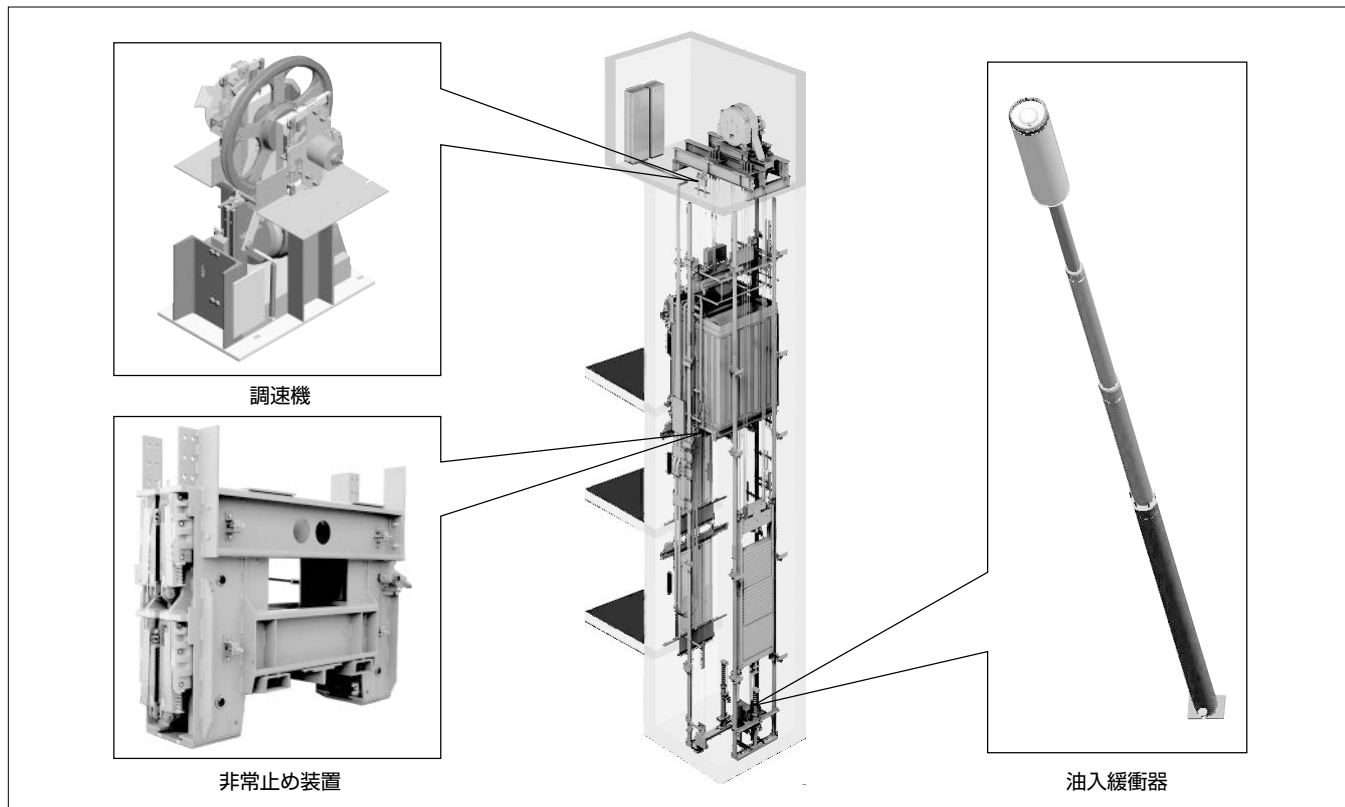
従来の単段式で構成した場合、緩衝器全高は約20mに達するため、ブランジャを3段化することによって、約25%の小型化を達成した。

(3) 調速機

かごの上昇速度(1,080m/min)と下降速度(600m/min)が異なるため、かごの走行方向に応じて異常検出速度を機械的に切り換えられる新構造を採用した。

(注1) 2011年9月1日現在、当社調べ

(注2) 2011年9月1日現在、当社調べ



超高速エレベーターの安全装置

超高速エレベーターの安全装置として、非常止め装置、油入緩衝器及び調速機を新規に開発した。

非常止め装置：ブレーキシュー(制動片)に耐摩耗性及耐熱衝撃性に優れるファインセラミックを採用し安定した制動性能を実現。

油入緩衝器：昇降路最下部でかごを受け止める緩衝器はブランジャを3段で構成し全高の短縮化を実現。

調速機：かご速度を機械的に監視する調速機に新機構を採用し昇降異速度に対応。

1. ま え が き

エレベーターでは、ロープの破断などによってかごが自由落下したときや異常増速したときに、かごを安全に減速停止させるための安全装置として非常止め装置、緩衝器及び調速機の設置が各国法規・規格に規定されている。

超高速エレベーター用の安全装置で、実機相当の試験を実施するにはその規模が大きく評価に時間を要するため、その開発には基礎試験とシミュレーション技術の確立が不可欠となる。

本稿では非常止め装置、油入緩衝器及び調速機の開発の概要と、その設計及び評価技術について述べる。

2. 安全装置の構成

超高速大容量エレベーターの安全装置の構成を図1に示す。

かごの異常増速を検出し、かごを停止させる装置が調速機と巻上機のブレーキである。また、万が一かごを吊(つ)る巻上ロープが切断した場合でも、かごを落下させず、停止させる装置が調速機と非常止め装置である。一般に調速機は機械室に設置される。

調速機の綱車に調速機ロープが掛けられており、昇降路下方に設置されている張り車によって張力が与えられている。調速機ロープは、かご下部に設置されている非常止め装置のレバーに固定されており、かごが昇降すると調速機ロープもかごと同じ速度で昇降し、調速機の綱車を回転させ、かごの速度を機械的に監視している。

非常止め装置は、エレベーターのかごの下部に設置されている。エレベーターのかごの速度が定格速度の1.2～1.4倍になると調速機が動作して、非常止め制動片が持ち上げられレールを挟み込む。この制動片とレールの間の摩擦力

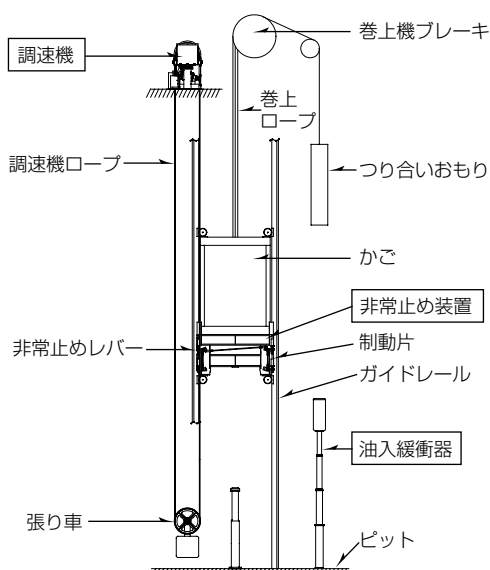


図1. 安全装置の構成

によってかごを減速停止させる。

油入緩衝器は、昇降路のピットのかご及びつり合いおりの下方に設置されている。エレベーターのかごが非常止め装置の作動速度に達しない状態で最下階を行き過ぎた場合及びかごが最上階を行き過ぎた場合に、かご又はつり合いおりを受け止めて緩衝停止させる。

今回のように上下方向の定格速度が異なるエレベーターシステム(上昇方向1,080m/min, 下降方向600m/min)に対応させる安全装置としては、上昇方向すなわち最大かご速度に応じて安全装置を構成させることもできるが、非常止めの負担エネルギーを下げ、かご側緩衝器の長さを短縮させるために、非常止め装置は下降方向速度、緩衝器は上昇方向速度、調速機はかごの走行方向に応じて動作速度を切り換え可能な仕様で新規開発を行った。

3. 非常止め装置

3.1 非常止め装置の仕様と技術課題

今回開発した非常止め装置の仕様を表1に示す。表には横浜ランドマークタワー向けの非常止め装置の仕様を併記した。横浜ランドマークタワー向けに比べて、停止エネルギーは約1.5倍となる。図2に非常止め装置の外観を示す。

横浜ランドマークタワー向けでは、非常止め装置の制動片にセラミックを適用した⁽¹⁾。制動時に発生する熱は制動エネルギーに比例し大きくなるため、この高温条件下でも安定した高摩擦・高耐摩耗性が確保できるようにするためである。今回の非常止め装置では、更に安定した高摩擦・高耐摩耗性を持ち、かつ耐熱衝撃性に優れた制動片の材料選定が重要となる。また、非常止め装置の構造では、適用質量の増大に対して制動片の押付力を増加させると非常止

表1. 非常止め装置の仕様

項目	横浜ランドマークタワー	今回開発品
最大動作速度	937 m/min	750 m/min
最大適用質量	13,000kg	30,000kg
負担エネルギー	1.59 MJ	2.34 MJ
減速特性	平均減速度0.2～1.0G (制動距離12.4～62.2m)	平均減速度0.2～1.0G (制動距離7.9～39.9m)

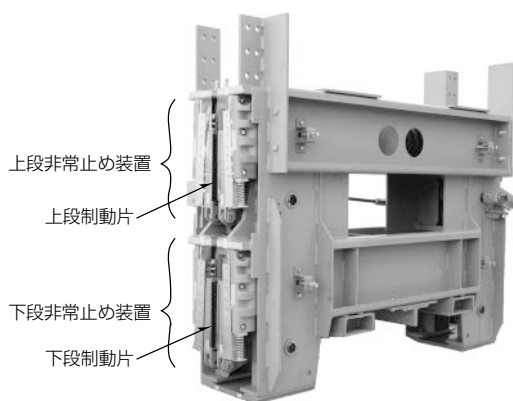


図2. デュプレックス形非常止め装置の外観

め装置が大型化するため、図2のような非常止め装置を上下2段に配置するデュプレックス形非常止め構造を採用した。

3.2 制動片の選定試験

制動片の材料選定試験を行う場合、実機相当の試験装置では規模が大きく、試験効率が悪く試験時間と費用を要する。したがって、非常止め装置の動作を模擬した円盤試験装置を用い、制動片の摺動(しゅうどう)特性について評価した。円盤試験装置の外観を図3に示し、その結果を図4に示す。

従来の制動片に比べ、新規開発したファインセラミック製制動片は、①摩擦係数が約25%高く、制動片の摩耗量は約1/10であった。②耐熱衝撃性に優れ、制動後も制動片に

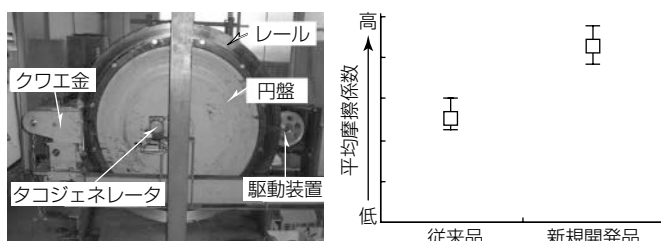


図3. 円盤試験装置の外観

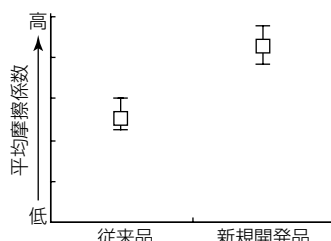


図4. 円盤試験結果

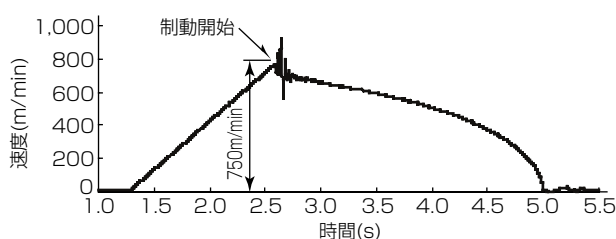
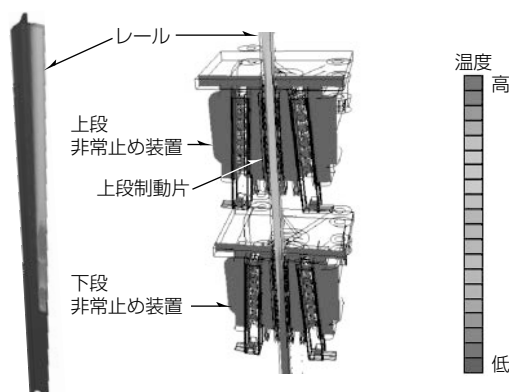
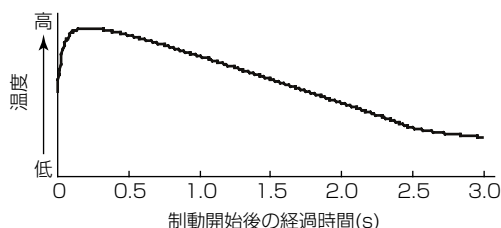


図5. 非常止め装置の制動試験結果



(a) レールと非常止め装置の温度解析結果



(b) 上段制動片の摩擦部表面近傍の温度推移

図6. 非常止め装置の制動時の温度解析結果

欠けや割れが生じないことが確認できた。その結果、今回新規開発した制動片が高摩擦・高耐摩耗性を持ち、かつ耐熱衝撃性に優れていることが明らかになった⁽²⁾。

3.3 非常止め装置の実機試験と温度シミュレーション

非常止め装置の実機試験は、おもりを積載して最大適用質量相当にした落下体の下部に非常止め装置を設置し実施した。試験方法は各国法規・規格に準拠し制動時の速度及び減速度を測定した。さらに、制動片の摩擦熱による温度変化も同時に測定した。

図5は新規制動片を用いた非常止め装置の制動試験結果の一例を示す。速度約750m/minで制動を開始し平均減速度約0.7Gで減速・停止し、法規・規格の仕様を満足した。また、制動片の摩耗はほとんどなく、摺動後も複数回再試験を実施して、同様の制動特性が得られることを確認した。

なお、実験で計測しきれない熱挙動の詳細把握には非定常三次元熱解析を適用した(図6)。熱解析では固定されたレール部と移動する制動片を移動境界問題として連成し、減速・停止に伴って時間変化する摺動面摩擦による摩擦面発生熱密度 $q(t)$ [W/m²]は式(1)から時間過渡関数として摩擦面に与えた。

$$q(t) = P\mu V \dots\dots\dots(1)$$

P : 制動面圧 [N/m²]

μ : 摩擦係数

V : 瞬時移動速度 [m/s]

制動試験時の温度測定結果とシミュレーションを活用した総合分析・検証から、新規制動片の摺動面最高温度は十分な裕度を持つことを確認した。

これまで述べたように、非常止め装置の評価を実施し、超高速エレベーターに対して安定した制動特性を持つ非常止め装置の技術確立した。

4. 油入緩衝器

4.1 油入緩衝器の仕様と技術課題

今回開発した油入緩衝器の仕様を表2に示す。表には横浜ランドマークタワー向けの油入緩衝器の仕様を併記した。横浜ランドマークタワー向けに比べ、ストロークは約1.8倍、油入緩衝器の吸収エネルギーは約1.5倍であり、これまでの最大のものとなる。図7に油入緩衝器の外観を示す。

ストロークが7,300mmともなると、従来の単段式で構成した場合、緩衝器全高は約20mに達する。このような長尺

表2. 油入緩衝器の仕様

項目	横浜ランドマークタワー	今回開発品
ストローク	4,000mm	7,300mm
最大衝突速度	530m/min	717m/min
最大適用質量	10,000kg	8,000kg
減速特性	平均減速度1.0g以下 2.5Gを超える時間が0.04s以下	
ブランジャ復帰時間	90s以内	

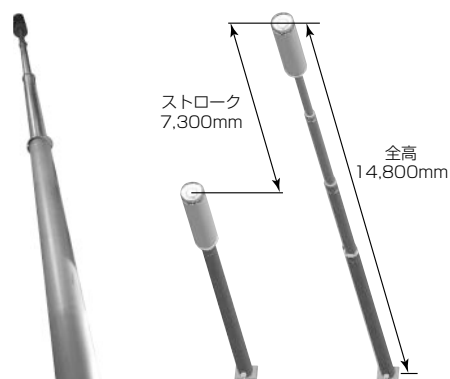


図 7. 油入緩衝器の外観

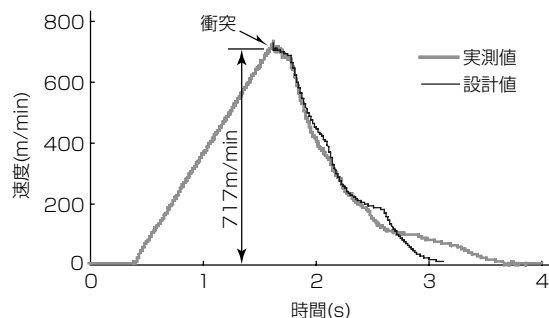


図 8. 油入緩衝器の減速試験結果と設計値

の緩衝器の製造、運搬及び設置するピットを掘削するコストを考えると、複数段化によって緩衝器全高を短縮することは大きなメリットとなる。今回、プランジャを三段化することによって、約25%の小型化を達成した。

4.2 減速特性のシミュレーション

油入緩衝器にかごが衝突したときに、法規・規格で定められた減速特性でかごを緩衝するためには、油入緩衝器のオリフィスの設計が重要である。このため、油入緩衝器の構造と作動油の動特性のシミュレーションモデルを構築し、最適な減速度を得るためのオリフィス設計を実施した。

4.3 油入緩衝器の実機試験

油入緩衝器の試験方法は欧州EN(European Norm)規格及び中国GB(Guo jia Biao zhun)規格に準拠し、最大衝突速度になる自由落下高さからおもり枠を落下させ、油入緩衝器に衝突させたときの減速度を測定した。図8は減速試験結果とシミュレーションによる設計値との比較を示す。速度717m/minで衝突後、平均減速度0.62Gで減速停止し、法規・規格に準拠した減速特性の仕様を満足した。

また、ほぼ設計通りの結果が得られ、複数段のプランジャを持つ緩衝器の設計手法を確立するとともに、十分な安全性を持つ油入緩衝器を実現できた。

5. 調 速 機

5.1 調速機の仕様

今回開発した調速機の仕様を表3に示す。表には横浜ランドマークタワー向けの調速機の仕様を併記した。また、図9に調速機の外観を示す。

表 3. 調速機の仕様

項目	横浜ランドマークタワー	今回開発品
定格速度	750m/min	かご上昇側：1,080m/min かご下降側：600m/min
昇降路全高	400m以下	600m以下
形式	フライボール形	フライウェイト形
綱車直径	500mm	
ロープ直径	12mm	

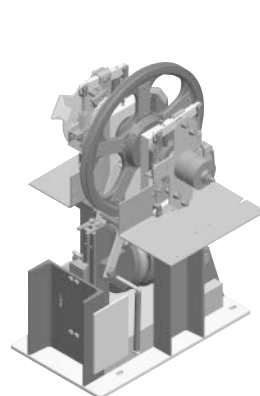


図 9. 調速機の外観

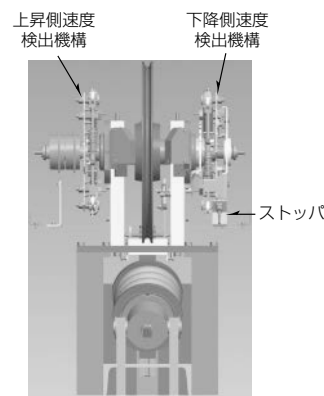


図10. 速度検出機構

5.2 技術課題と解決策

一般的に調速機は遠心力を利用して過速検出動作を実施するが、遠心力には回転方向依存性がないため、従来構造のままかごの走行方向に応じて動作速度を切り換えることは難しい。そこで、上昇側と下降側それぞれの定格速度に合わせて設計した速度検出機構を綱車の両側面に配置した。また、かご上昇時に下降側速度検出機構が動作しないよう、かごの走行方向に応じて下降側速度検出機構の動作を制限するストッパを設けた。図10に速度検出機構を示す。

6. む す び

超高速エレベーター用安全装置の開発と評価方法、結果について述べた。開発した安全装置は種々のシミュレーション及び試験によって確認し、十分な安全性能を持つものである。この開発によって、昇降機の歴史に残る世界最高速度、最大適用質量の乗用エレベーターを実現するとともに、超高速エレベーターの安全装置の技術を確立した。今後も、市場のニーズにこたえるエレベーターの実現に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 山崎真治，ほか：横浜ランドマークタワー向け速度750m/minエレベーターの安全装置，三菱電機技報，67，No.10，944～948（1993）
- (2) 加藤 覚，ほか：世界最高速エレベーター，三菱電機技報，75，No.12，791～795（2001）