

ロープ式エレベーター技術発展の系統化調査

2

Historical Development of Rope Type Elevator Technology

三井 宣夫

Nobuo Mitsui

■ 要旨

日本のエレベーターの歴史は他の文明機械と同様に明治維新後に欧米から輸入された製品から始まった。性能的に優れたものはほとんど輸入品に依存していたが、大正時代に入るとこの輸入品を参考に実用的エレベーターを製造する国産メーカーが誕生し、次第に国産品が増加した。しかし、輸入製品との技術格差は大きく、国産メーカーは十分な技術成果をあげることなく太平洋戦争の勃発とともに、その発展は中断された。

国産メーカーのエレベーター技術開発が本格的に行われたのは戦後からであり、特に1970年代以降は著しい発展を遂げた。その内容は、日本経済の高度成長期を背景にした盛んなエレベーター需要と高度エレクトロニクス技術の追風を受けた3つの技術分野であった。

すなわち、1961年に誕生した規格形エレベーターを中心にして、交流二段制御、交流帰還制御、インバータ制御へと技術変遷を経て、やがてエレベーター全機種のインバータ制御化の契機を作った中低速エレベーター制御。1968年から始まった日本の超高層ビル化に対応して超高速大容量エレベーター制御技術が発展し続け、その過程で3回にわたり世界最速記録を更新した高速エレベーター制御。1978年から導入したマイクロコンピュータ技術を使うことで初めて可能になった個別呼び割当理論に基づく高性能群管理制御であった。

そして、一国の市場規模としては世界有数の大きさに成長したエレベーター市場を背景に2000年代までに、(1) インバータ制御エレベーターの開発と、短期間に実現した全機種のインバータ制御での統一、(2) エレベーターの世界最高速度記録の達成と更新、(3) インバータ制御技術を中心にした日本系合併事業の海外市場における活躍、という3つの実績をあげ、日本のエレベーター技術は世界の中でトップ的水準に到達したと考えられる。

エレベーターの輸入開始から約130年間で日本のエレベーター技術がここまで発展した要因は、大きなエレベーター市場の存在、開発力旺盛な複数メーカーの存在、日本の高度エレクトロニクス技術環境の3つであったと言える。

■ Abstract

The history of the elevator in Japan began like other modern mechanical contrivances when the first elevators were imported from the West in the years after the Meiji Restoration in 1868. Japan continued to rely on imports for better performing mechanical products for years to come, but some domestic manufacturers succeeded in producing simple and practical elevators in imitation of the imported model about 1920, and the elevator technology of domestic manufacturers gradually became established. Yet there remained a substantial technological gap between foreign and domestic elevators that was not closed by the time World War 2 broke out, and further progress on elevators was ceased during the war years.

Full-scale development resumed after the war, and especially took off after the 1970s. Against the backdrop of Japan's rapid post-war economic growth, there were three technological innovations that were fueled by a robust demand for elevators and progress in advanced electronics.

First was the inverter control technology in the standardized elevator developed in 1961 that became widely to be adopted for all different types of elevators in Japan. Second was the high-speed elevator control technology in high-rise buildings in Japan beginning in 1968. In the process, Japan's high-speed elevator controls broke world speed records three times. Third was the high-performance elevator group supervisory control technology based on the individual call allocation theory that could determine immediately the most suitable service car by the arrival estimate time calculated with micro computer technology when a call made at floor.

It has been presumed that Japan's elevator sector achieved the position of the most advanced elevator technologies in the world by the year 2000, by reason of the accomplishment that Japan (1) developed inverter control for all range elevators within a remarkably short period of time, (2) repeatedly shattered the world elevator speed record, and (3) has influenced more effect upon Japanese joint elevator ventures in the China market.

Japan's striking success over these past 130 years since elevators were first introduced to the country can be attributed to three factors: robust domestic demand for elevators, intense technological competition among major manufacturers and Japan's lead in advanced electronics.

■ Profile

三井 宣夫

Nobuo Mitsui

国立科学博物館産業技術史資料情報センター 主任調査員

昭和38年3月	信州大学工学部電気工学科卒業
昭和38年4月	(株)日立製作所入社 以後、エレベーター速度制御開発・設計に従事、 エレベーター設計副部長、情報端末装置部長を歴任
平成5年7月	同社退職
平成5年8月	(株)日立エレベータエンジニアリング社入社、設計 本部長、製造本部長、顧問を歴任
平成13年6月	同社退職
平成13年7月	三井技術士事務所開設、現在にいたる
会員他	技術士、(社)電気学会会員、(社)日本技術士会 会員

■ Contents

1.はじめに	61
2.近代エレベーターの誕生	62
3.初期のエレベーターと国産メーカーの誕生	65
4.戦後の復興と超高層ビルの誕生	79
5.多彩な技術革新と超々高速度の実現	86
6.考察	108
7.あとがき	111

1 はじめに

日本における昇降機はエレベーターとエスカレーター及び小荷物専用エレベーターを総称して呼ぶ用語で、エレベーターは かが床面積が1㎡を超え、または天井高さが1.2mを超えるものと規定されている。さらにエレベーターは大きくロープ式エレベーターと油圧式エレベーターに分けられる（図1.1）。2000年代に入って日本の昇降機の設置台数は年間41,000台レベルで推移していて、この内エレベーターは約34,000台あり、その90%以上がロープ式エレベーターで構成されている⁽¹⁾。そこで本報告ではこのロープ式エレベーターを対象に1875～2000年の約130年間のエレベーター技術の系統化について調査した。以下の記述で特に断りが無い場合、エレベーターはロープ式エレベーターを指すことにする。

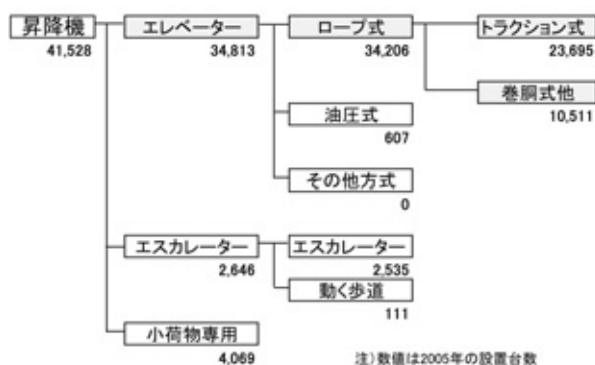


図1.1 昇降機事業の中のロープ式エレベーター

日本に最初に輸入されたエレベーターは1875（明治8）年に王子製紙十条工場に設置された水圧式の荷物専用エレベーターであったと言われる。それから約130年、現在の日本には約60万台のエレベーターが設置されて、現代のビジネスや生活のために必要不可欠な機械として生活環境の一部となっている。この技術的にも最高水準に到達した今日のエレベーターがどのような歴史をたどり、どのような技術によって支えられているかを5つの章に分けて記述する。

第2章では、エレベーターの歴史的な経緯と1852年にE.G.オーチス（米）によって発明されたロープ切断時の非常止め装置の出現から始まった近代エレベーターの歴史を述べる。

第3章では日本にエレベーターが輸入された明治時代の後半から太平洋戦争までを一区切りにして、輸入エレベーターの普及と国産メーカーの誕生について述べる。当初は技術力が低く経験も無かった国産メーカーが国産技術奨励の国策などもあって次第に技術力を

向上させたが、やがて太平洋戦争の勃発により民需エレベーターの製造禁止令によってエレベーターの産業は停滞したことを述べる。

第4章では戦後の復興から、国産メーカーの躍進、エレベーターを取り巻く社会環境の変化の中で生まれた規格形エレベーター、そして日本最初の300m/min超高速エレベーターの誕生までを述べる。

第5章では1970年以降に急速に展開されたビルの高層化とエレクトロニクス化という大きな時代の流れに支えられた多彩な技術革新の内容を10年毎に区切り、背景となった時代のニーズを含めて技術成果を述べる。

第6章では、日本のエレベーター技術が今日の技術水準を実現した要因について考察し、さらに現在の技術レベルを維持するための課題についても触れる。

用語略解：以下本文中でのメーカー名称表記は下記とする。オーチス・エレベーター・カンパニー社（Otis Elevator Company 米国）はオーチス（米）。ウェestingハウス社（Westinghouse 米国）はWH。現在の日本オーチス・エレベーター株式会社は時代と共に幾つか社名が変更になったが、1927年の創業から1973年まではすべて東洋オーチス、1973年以降は日本オーチス。三菱電機株式会社は三菱電機。日立製作所は日立。東京芝浦電気株式会社は東芝、東芝エレベーター株式会社と変遷したが全て東芝。富士輸送機工業株式会社はフジテック株式会社になったが全てフジテック。その他社名の株式会社や法人の（財）（社）などは文中の最初のみ付けるが2回目以降は省略を原則とした。速度による機種区分は、120m/min未満を中低速機種、120m/min以上を高速機種、300m/min以上を超高速機種、600m/min以上を超々高速機種と呼称。

2 | 近代エレベーターの誕生 (2) (3) (4)

地上に文明が発祥した時から、地球の重力に抗して高い建物や塔の上に人や物を安全に運ぶ手段に対する要求はあったと言える。

滑車とロープ（綱）を使って物を上下に移動する装置の起源は古く、ピラミッドを作った古代エジプト時代やアルキメデスの時代にすでに使われていたといわれる。紀元前236年、当時の傑出した科学者であり機械の天才であったアルキメデスは、ロープと滑車を使い、ロープをキャプスタン（縦軸のろくろ）で巻き取る装置を発明した。また、紀元前200年頃には踏み車を人間が踏むことでものを巻き上げる装置が出現したと言われ、これらの機構は中世のヨーロッパに引き継がれて使用された（図2.1、図2.2）。

1835年にはティーグル（Teagle）と呼ばれる蒸気力を利用したエレベーターが英国の工場で荷物用として使

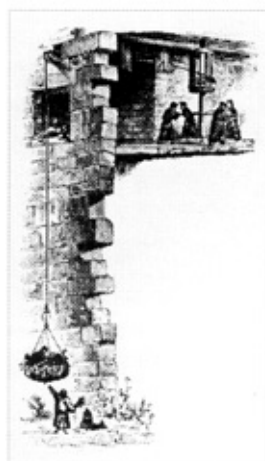


図2.1 キャプスタンを
使った巻き上げ機



図2.2 人力による歩行形
巻き上げ機

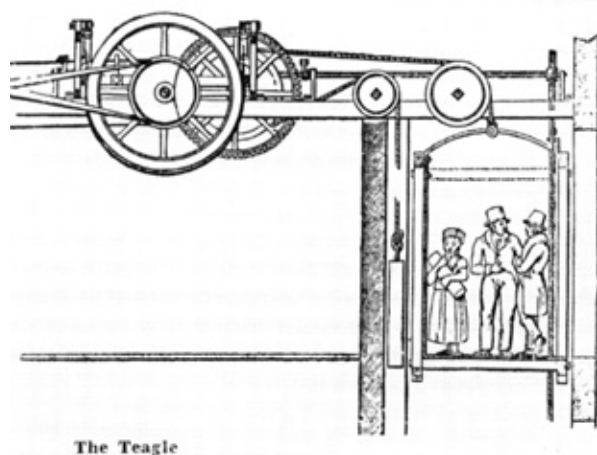


図2.3 ティーグル：1835年に英国で製作された動力
エレベーター

われたとされ、その構造が記録されている（図2.3）。これは動力を用いたエレベーターの一番古い記録である。

1845年にはウィリアム・トンプソン卿（英）が水圧エレベーターを発明し、そして1850年に米国で商業エレベーターとして、蒸気力を駆動力とした蒸気プラットフォーム・リフトが登場し、同じ年に大型ドラム巻取式の機構に初めてウォームギヤを装備したエレベーターが出現したと言われる。

しかし、これらは荷物の運搬用として大変便利であったが、当時は麻ロープが使われていたこともあり、使用中にロープが切れ落下する危険があり、利用者は常に墜落の恐怖にさらされていたし、また実際にも墜落事故で痛ましい犠牲者も出たようである。

1852年に機械技術者であったE.G.オーチス（E.G.Otis 米）はニューヨークのベッド製造会社から荷物用エレベーターの製造を依頼された時に、従来の欠点である落下事故を防止するために非常止め装置付きのエレベーターを考案した。この装置は、荷馬車のバネをホイスト台枠上部に取り付けそのバネにホイストロープを取り付け、ホイスト台枠の両側を木製のガイドレールで案内するように作り、このガイドレールにラックギヤ（歯の付いたバー）を取り付けたものであった。

通常、使用時はロープの力でバネが引っ張られてラチェットは引き込まれているが、万一ロープが切れるとバネの力によりラチェットが飛び出し、ガイドレールのラックギヤにかみ合ってホイスト台枠の落下を食い止めることが出来た。当時のロープは麻ロープが主体であり、磨耗や過大加重などにより時々切れることがあり、便利ではあるが危険な機械とされていたので、この発明は画期的であった。

E.G.オーチスは特許を取得して1853年にはエレベーター製造会社を設立した。これが現オーチス（米）の始まりであった。

1854年にニューヨーク市で開催されたクリスタルパレス博覧会にE.G.オーチスは発明した落下防止装置付のエレベーターを持ち込み、観衆が見守る中で自らエレベーターに乗込み、ロープを切断させて見せた。エレベーターは2本のガイドレールにしっかりと支えられて落下することは無かった。見守る観衆からは割れるような拍手が起こったという（図2.4）。

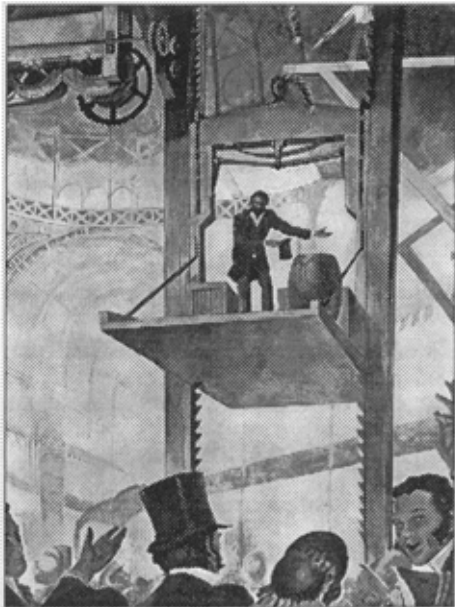


図2.4 1854年のクリスタルパレス博覧会（N Y市）での公開実験

この機構はその後改良がなされて非常止装置として近代エレベーターには装備しなくてはならない必須の安全装置となった。

当時のエレベーター駆動機構は、蒸気力を使用して回転するドラムにロープを巻付ける巻胴式（ドラム式）や水圧によって押し上げられる動滑車を使った機構であった（図2.5、図2.6）。

現在普通に使用されているワイヤーロープが使われるようになったのは、1862年にローブリング社（Roebbling Company 米）がエレベーター用ワイヤーロープの製造を開始してからであり、それまでは麻ロープが使用されていた。

1878年にシーメンスとハルスケ（Siemens、

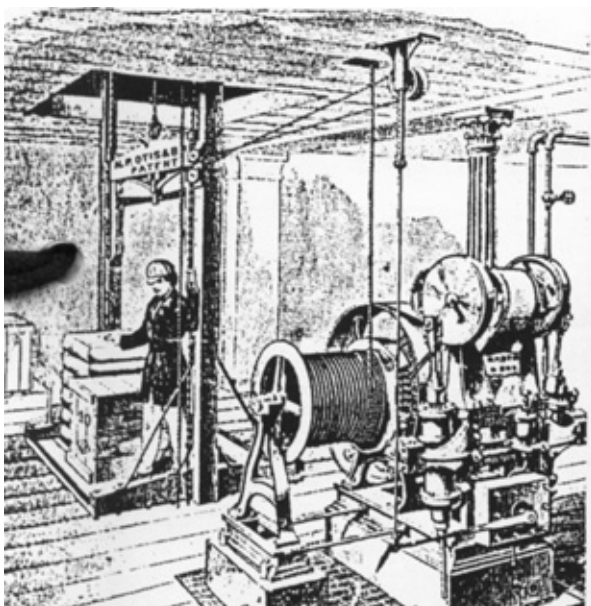


図2.5 蒸気機関を使ったエレベーター

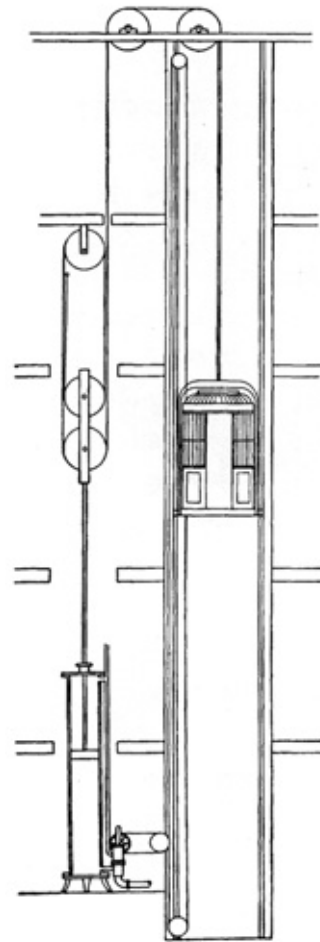


図2.6 水圧式によるエレベーター（4倍増速の例）

Halske 独）が初めての直流電動機を動力源とした電動エレベーターを発明して、特許を取得した。しかしシーメンスはその後英国に渡りエレベーターを製作することは無かった。

製品としての電動エレベーターは1889年にオーチス（米）がニューヨークのデマレストビルに納入したものが最初となった。電動機は直流電動機でウォームギヤ減速機付きの巻胴式であった。

巻胴式は、ビル高さが増大してロープが長くなると巻胴部が長大化してしまい使用できる高さに限界があったために、米国におけるビルの高層化ニーズに対してこの欠点は次第に無視できなくなった。この問題を解決したのは図2.7に示したトラクション式であった。このトラクション式はシープ（ロープ駆動車）に溝を刻み、この溝にエレベーターロープを巻掛けてかごとつり合おもりを振り分けにしたつるべ状の構造で、駆動力はシープ溝とワイヤーロープ間の摩擦力を利用しているので、ワイヤーロープが実用化されて初めて可能となった方式であった。

トラクション式はあらゆる高さのビルに対して同じ構造の巻上機が使用できることから、高さ制限を考慮

しなくて良いので、ビル建築のさまざまな高さに対応することが出来た。なおトラクション式は減速機を使うものをギヤード式、減速機を使わないものをギヤレス式と呼び、ギヤレス式は高速エレベーターに使われた。

このトラクション式の発明は1877年にフリードリッヒ・クーペ（Friedrich Koepe 独）によってなされたが欧州ではビルの高さが巻胴式で対応できたためか、普及しなかった。しかし米国においては高層ビルの時代を迎え巻胴式ではもはや対応できなくなってきたため実用化されることになった。

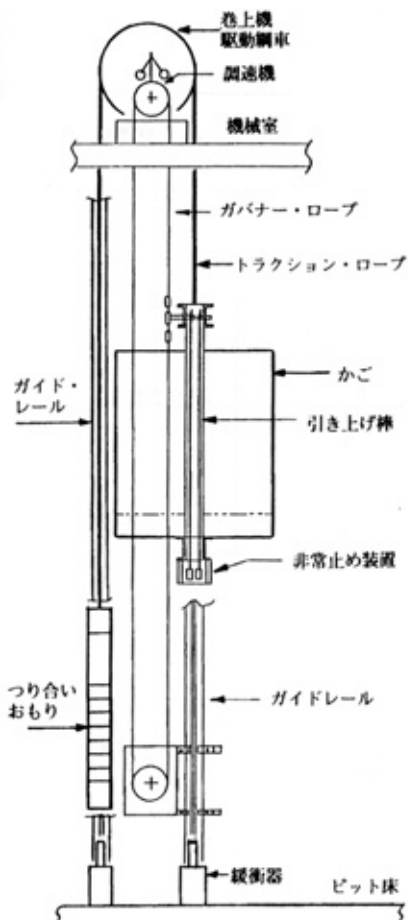


図2.7 トラクション式のエレベーター構造

1903年にオーチス（米）は、ニューヨークのビーバ・ビルディングとシカゴのマジェスティック・ビルディングに最初のトラクション式による150m/minギヤレスエレベーターを納入し、これ以後トラクション式の有用性が認められて高層ビルのエレベーター方式として急速に普及した。

以上の経緯から、近代エレベーターはガイドレール、非常止装置、および電動駆動の3つの要素を備えたものと言うことができ、これらの基本形はアメリカにおいてほぼ確立された。

3 | 初期のエレベーターと国産メーカーの誕生

3.1 初期のエレベーター

3-1-1 輸入1号機から関東大震災まで⁽⁵⁾

日本における最初のエレベーターは1875（明治8）年に王子製紙 十条工場に設置された水圧式の荷物用エレベーターだとされ、この頃より荷物の昇降用として、蒸気力応用や水圧式などのエレベーターが使われ始めた。

乗用エレベーターは1890（明治23）年に東京浅草千束町に建築された凌雲閣、通称「浅草十二階」に設置されたエレベーターが最初であったとされる。凌雲閣は建坪37坪5合（123.8㎡）八角形十二階木造レンガ構造で、1890年11月13日に開館した。閣内には2台のエレベーターが1階から8階に設置され、それより上は螺旋階段で登るようになっていて、9階は新聞の閲覧室、10階は上等休憩室、11と12階は展望室で見料1銭の望遠鏡が備えられていた（図3.1、図3.2）。当初の開館日は11月10日であった。しかし実際は天候と来賓の都合で延期され11月13日になったが、これに因んで1979（昭和54）年に（社）日本エレベーター協会ではこの11月10日を「エレベーターの日」と制定した。



図3.1 凌雲閣



図3.2 凌雲閣のエレベーターと巻上機

凌雲閣の建設の経緯と様子が、文献（5）に「凌雲閣」登閣記事（「工談雑誌」明治24年2月7日発行）として紹介されているのでその部分を引用する。

『凌雲閣ハ、我が国未曾有ノ建築ニテ起案者ハ福原庄七氏ナリ、明治貳拾貳年拾貳月ニ起工シ明治貳拾参年拾壹月ニ竣工ス。建築設計ハ本会顧問辰野金吾氏外英国土木博士W.K.バルトン氏等ニテ、建築ノ監督ハ伊沢雄司氏ナリ、之ヲ請負建築セシハ和泉孝次郎氏ナリ、又式図ノ如キ電氣力ノ昇降機ハ東京電燈会社計画シ且ツ閣内、閣外ニ点ズル電燈ハ、藤岡市助（東京帝国大学、當時は工部省工学科助教授、後に東京電燈会社技師長となる）、三宅順祐（白熱舎製造主任）両学士ノ担任セラレタル由ニテ閣頂ニ貳個ノ「アーケ」燈ヲ点ズ此ノ燈ノ照ラストキハ、公園内ハ満月ヲ欺クニ等シト云フ、去ル貳拾六日小生塔閣シテ之ヲ試ミルニ閣内ニテ切符ヲヒサグアリ、壹券八銭トス。之ヲ償フテ正面ノ階段ヲ上レバ切符ヲ閱シテ切断シ再ビ之ヲ授ク、右足ニ進メバ傍ラニ人アリテ小室（かごの意）ニ案内ス。恰モ乗合馬車ノ如シ、乃チ第貳図ノ「エレベートル」ナリ忽ニシテ轟然タル響ヲ聞クコト貳分時ニシテ

音静スレバ、扉ヲ開キテ小室ヲ出テ四方ノ窓ヲ眺ムレバ夢ノ如ク九層ノ階ニ達セリ。尚進ンデ第參図ノ如ク階段ヲ昇レバ頂上拾貳層ノ樓ニ達ス。コノ時遠眼鏡ヲ備ヘテ之ヲ強ユ。周囲の手摺リニ拠ツテ或ハ東、或ハ西、或ハ南、或ハ北ト眺望スルニ東京市下ハ勿論、隣国（近県の意）ノ遠景ヲ一目瞭然タラシメ、特ニ品海（東京湾の意）ノ絶景奇ト云イ妙ト云ワナザルヲ得ズ。ナカンズク磁石ノ指針ヲ求メ手ノ下ヲ望メバ、芳原遊廊ニテ美技ノ欄ニヨツテ或ハ笑イ、或ハ招クヲ見ルベシ……（略）、然ルニ開化ノ魁トシテ人気ヲ呼ンダコノエレベートルハ危険ナリトノ理由デ当局ヨリ幾何モナクシテ、電気運転ヲ差止メラレタルハ甚ダ遺憾トスル所デアル』（文中の第貳図、第參図とあるのは図3.2と似た図を参照したものであるが文献⁽⁵⁾では省略されている）。

2台のエレベーターは三疊敷の大きさで、かご内には布団を敷いた腰掛が設置されていた。図3.2の中段の図から2台のエレベーターは一方が上昇するときは他方が降下するように互いに重量をキャンセルする構造であったから、単純なつるべ式の構造かあるいは1つの巻胴部に正逆のロープを巻き分ける構造だったと思われるが詳細は定かでない。下段の図には三相配線らしいものが見えるが、当時の東京電燈会社の給電は直流であったので、電動機は直流電動機であり、容量は7馬力（約5.3kW）だった⁽⁶⁾。また減速装置は平歯車を何段か組み合わせて歯車減速機で、ベルトが何本か見えることから運転方向の切換えは正逆1組のベルトをベルトシッパー（鉄製のガイドでベルトを駆動プーリーとアイドルプーリー間を横に滑らせるもの）で切換える方式であったと考えられる。運転時に轟音を発したとあるので歯車減速機の騒音は大変にやかましいものであったらしい。速度は1階－8階までの100尺の高さを約2分で上昇したことから15m/min程度の一段速度制御だったと考える。

開館時の人気は大変に高く連日押すな押すなの賑わいであったと言う。しかし開館後のエレベーターの性能は安定せず故障が多く、開館後7ヶ月後の1891（明治24）年5月に警視庁から派遣された技師による検査が行われ、構造が不完全なため「危険なり」との理由で運転停止を言い渡されて、ついに運転が取りやめとなった。さらに2年後には設備そのものも撤去された。なおロープは麻ロープが使われていた。

それから23年後の1914（大正3）年7月に再び1階－8階までに乗用エレベーターが設置され、1回の利用料金10銭で一般公開された。この時のエレベーターは15馬力（約11.3kW）の電動機で運転されるエレベーター

であった。

この2回にわたり設置されたエレベーターのメーカーの正確な情報は残っていないが、日本オーチスの社史には凌雲閣に納入したとの記録があることから⁽⁷⁾、この間の事情は以下のようなものと推定される。

1890年当時のオーチス（米）は創立37年を経過し世界31か国に輸出しており、1888年にパリのエッフェル塔のエレベーターも製作した高い技術力を持っていたので、日本の警視庁から「危険」と判定される技術水準とは考えられないこと、米貿（American Trading Company）はオーチス（米）の極東地域の総代理店で、当時国内では米貿と呼ばれた）が日本へ推進したのは1896（明治29）年であることから考えて、1890年の凌雲閣のエレベーターは東京電燈会社の設計による国産機であり、1914年のものがオーチス（米）の輸入エレベーターであったと考える。

その後1923（大正12）年9月1日の関東大震災で凌雲閣は9階より上部が崩壊したために、9月23日に陸軍工兵隊の手によって爆破撤去されエレベーターも消滅した⁽⁸⁾。

1896（明治29）年に日本銀行本店（辰野金吾設計）に分速100フィート（30m/min）の乗用電動エレベーターと貨幣運搬用水圧式荷物用エレベーターが設置された。これは米貿がロンドン支店へ直接注文して取り寄せたオーチス（米）製品であって、米貿の日本国への輸入1号機となった。

1901（明治34）年に大阪東区今橋通りの日本生命保険本店（関野貞設計）にオーチス（米）製ロープコントロール、分速80フィート（24m/min）の乗用エレベーターが設置された。ロープコントロールとは当時のエレベーターの運転方式で制御装置を操作するロープがかごの中を貫通していて、このロープを引く方向と強さによりエレベーターの運転を制御するものであった（図3.3）。このエレベーターは1961（昭和36）年まで稼動していたが関係法令上の理由で撤去され、その時の機器一式が1966（昭和41）年に国立科学博物館に寄贈された。国立博物館では一時館内で公開展示していたが、その後展示品は解体され2006年時点では部品状態で国立科学博物館に保管中である（図3.4、図3.5）。部品の保管状態は良好で、稼動可能な状態で現存する国内最古のエレベーター機器と考えられる。



図3.3 ロープコントロール方式の運転の様子

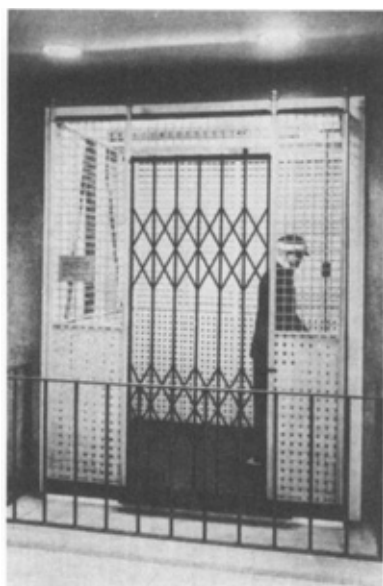


図3.4 科学博物館に展示されていた時の様子

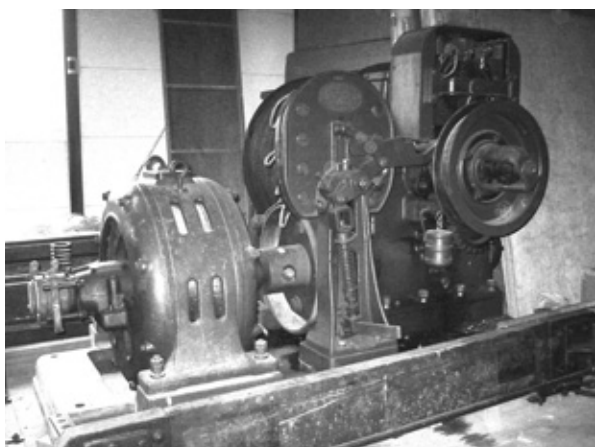


図3.5 科学博物館に保管されている巻上機

1901年に和歌浦^{てんぐ}箕供山（別名下り松）の望海楼旅館の主人中尾は黒崎商会に発注して娯楽余興を目的に乗用エレベーターを設置した（図3.6）⁽⁹⁾。しかし娯楽余興設備としては成功せず1917（大正6）年に撤去された。夏目漱石の小説「行人」の中にはこの望海楼のエレベーターを舞台にした記述があり夏目漱石も乗ったものと思われる。写真からエレベーターは国産品ではないかと想像されるがメーカーは不明である。

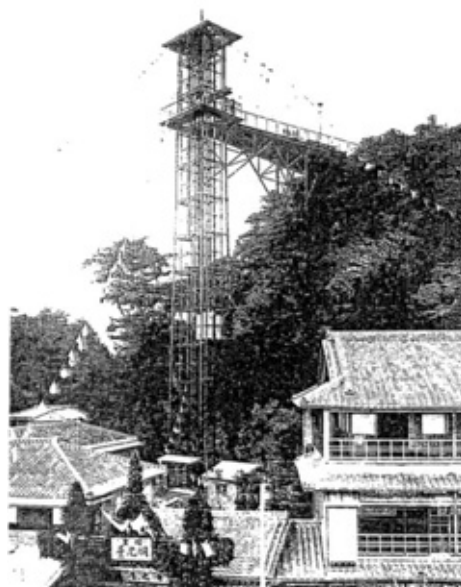


図3.6 和歌浦の望海楼旅館のエレベーター（漱石全集 8（岩波書店）から引用）

同01年に浅草吾妻橋の大日本ビールの工場に蒸気力応用のベルト掛け方式のエレベーターが設置された。その後電動式20馬力（15kW）のエレベーターに改造された。

1903（明治36）年に第5回日本勸業博覧会（大阪）で大林組が木製の塔を作りオーチス製品を真似て作ったというエレベーターを設置して、1回5銭で見物させた。このエレベーターは博覧会終了とともに撤去された。

1907（明治40）年に、東京上野に大博覧会が開催され、エレベーターとエスカレーターが設置された。

1911（明治44）年に横浜税関局が鉄骨煉瓦構造の倉庫（妻木頼黄^{よりなか}設計）を2棟建設しオーチス（米）の巻胴式荷物用エレベーター5機を設置した。18～27m/min、積載量900kg、駆動は10馬力（7.5kW）の直流分巻電動機、停止階床は3停止であった。その後、2003（平成15）年に横浜市がこの赤レンガ倉庫を国から購入し保存改造文化施設とし市民に開放、エレベーター機器類は保存文化財として横浜赤レンガ倉庫パークの一角に展示している（図3.7、図3.8）⁽⁵⁴⁾。巻胴式巻上機は錆止め塗装と欠品により動かすことは出来ないが、100年前の重厚で信頼感のある製品を見ること

が出来る（なお展示品は昭和4年に日立製の誘導電動機に交換されている）。その他、2つのつり合おもりが1つのレールを共用している珍しいローピング方式や現在のものとはほぼ同じ形態のガバナと非常止め装置も保存公開されている。



図3.7 横浜市の赤レンガ倉庫1号館（修復後）

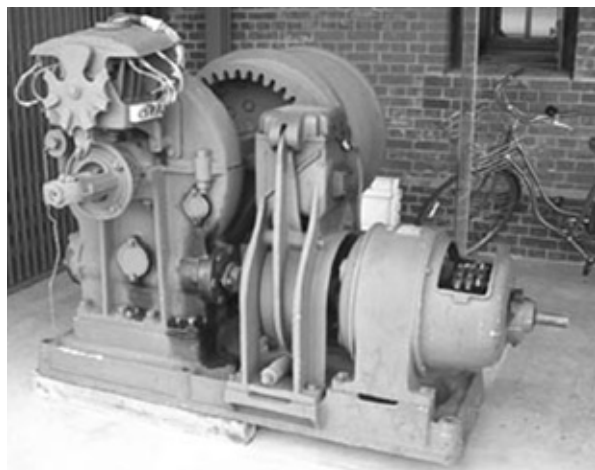


図3.8 赤レンガ倉庫の巻胴式巻上機

同11年、東京・白木屋（現東急百貨店）に乗用エレベーターが設置された。百貨店に設置されたものとしてはわが国最初のものであった。かご内にはベンチが在り、専任のエレベーターボーイが運転をした（図3.9）。

1912（明治45）年、三井銀行本店（日本橋）にオーチス（米）の45m/min、20馬力（15kW）電動機による乗用エレベーターが設置された。

1914（大正3）年、三越呉服店本店（現三越百貨店）にオーチス製の45m/min、20馬力（15kW）電動機による乗用エレベーターが5台設置された。1912（明治45）年に三井銀行本店に設置したものと同形であった。（このエレベーターは平成年間に改修工事が行われ大部分が最新のものに置換えられたが、デザインの一部に当時の雰囲気を与えるために古い意匠が残されている）。

1915（大正4）年、わが国初の国産化した乗用エレベーターとなった東松式エレベーターと呼ばれる押し



図3.9 日本橋白木屋のエレベーターとエレベーターボーイ

ボタン式全自動エレベーターが大阪本町の伊藤丸紅呉服店に設置された。製作は機械技師東松孝時が経営する東松工作所で行われた。東松孝時は、1910年に設置されたオーチス（米）の東京泉端病院の患者用電動エレベーターや朝鮮銀行納めの水圧式乗用エレベーターの構造について専心調査研究を続け、これをもとに電動エレベーターを開発して納入したものであった。

東松式エレベーターは、乗客がかご内で非常停止装置のテストができるようにしたもので、このテストボタンは特許を取得していた。この発明の動機はエレベーターの命綱とも言われる巻上げ用のワイヤーロープの寿命予測できる方法が未だなく、国産ワイヤーロープの実績が少なく耐久性に乏しいことから窮余の一策として考案された方法であったと言う。ちなみに国産のエレベーター用のワイヤーロープは1927（昭和2）年に東京製綱株が製作したのが最初であった⁽¹⁰⁾。このため、初期の東松式エレベーターでは国産の一般用ワイヤーロープが利用されたと考えられる。

1919（大正8）年、東松孝時はわが国最初の法人組織日本エレベーター製造株（大阪）を設立した。そしてこれが刺激となって、1920年頃には、帝国エレベーター製造株、日本重機製造株（大阪）、内外エレベーター

ター(株)(日本エレベーター製造の技師九里博武が創立、神戸)などが誕生した。これらのメーカーの創業者はいずれも輸入エレベーターの据付や保守を請け負っていた人物達でそれまでの経験を生かし創業したものであった。

1921(大正10)年に警視庁保安部建築課に昇降機担当課が設けられ、江口技師を中心にエレベーターの保安指導や竣工検査、エレベーター事故の原因調査などを行った。わが国の法令上で「昇降機」という用語が出てくるのは、1920(大正9)年の法律第37号による市街地建築物法施行令(大正9年9月勅令第438号第12条)からであった⁽⁵⁾。

この背景には、大正初期の頃から貸事務所、大規模店舗等の高層建築物が除々に増加するに伴ってエレベーターの設置も多くなり、これによる事故も増加した。例えば東京市の中心部の「呉服店」の昇降機や自動階段(エスカレーター)による事故は、大正3年7月から大正10年12月の間に即死2名、全治5~10日14名、全治3週間3名、擦過傷27名と多数発生した。このようなことから、社会公共の安全、秩序の維持を使命とする保安警察の立場からその取締が必要になった。しかし、いまだ諸外国のようにエレベーターコードといった具体的な規定はなく、もっぱら市街地建築物法に法源を置く包括的な命令権によって行われていた。日本における最初の規定は1926(大正15)年7月の警視庁令「昇降機取締規則」の制定を待たねばならなかった。

同21年、日立は王子製紙 伏木工場(富山)に15m/min、積載量1,000kgの交流一段制御荷物用エレベーター1台を設置。

1922(大正11)年、日本エレベーター製造は京都帝大の機械科教授堀覚太郎を専務取締役に迎え技術力を高めた。ちなみに、堀覚太郎はわが国初期のエレベーター沿革と発展について貴重な文献となった建築学会編集「建築学会パンフレット 第二輯第一号エレベーター」⁽¹¹⁾を1928(昭和3)年に発表している。

同22年、大阪市役所庁舎に日本エレベーター製造の乗用エレベーター2台と、オーチス(米)の乗用エレベーター2台が併設置された。

1923(大正12)年、東京駅前の丸ビル(9階建て)に内田商事(株)(現昭和エレベーター(株))がエービーシー(ABSee 米)製のエレベーターを設置。

当時の輸入エレベーターは主にオーチス(米)であったがその他に、エービーシー(米)、ホートン(米)、ワーズワース(英)、スチグラ(Stigler 伊)などであった。1926年頃のデータによると当時の日本のエレベーター台数は2千数百台であり、そのうち800台がオ

ーチス(米)を初めとする輸入製品、約1,000台が日本エレベーター製造製であったと言う。

同23年9月1日、関東大震災(M7.9震度6)が発生し、1890年代から約35年間に東京を中心に設置された初期の記録されるべき多くのエレベーターは、その建物とともに崩壊もしくは焼失した。

3-1-2 関東大震災から終戦まで⁽⁵⁾

関東大震災の被害は甚大で、帝都東京府下の復興は国を挙げての急務であった。当時、わが国は工業化が進みつつあったので、この震災を契機に木造建築は耐久性のある高階床建築へ切り替わり、エレベーターの需要は逐年増大した。当時の国産トップメーカーであった日本エレベーター製造の生産記録で見ると大正8年から12年までの4年間に259台、大正15年までの3年間に601台、続く昭和5年までの4年間に953台とありこの間のエレベーター需要が急速に伸びたことが窺える。

高性能・高級エレベーターは相変わらずオーチス(米)をはじめとする外国製品であったが、震災後のエレベーター需要に応じて日本エレベーター製造のほか内田商事(株)エレベーター部(現昭和重機(株))、三協エレベーター、島田エレベーター、水谷エレベーターなどの国産メーカーが多数誕生して、実用的で安価な交流エレベーターの製造を開始した。この結果、エレベーター需要の中心は実用的な分野が拡大してエレベーター台数が大きく伸びた時期となった。

以下、この時期の主なエレベーターの実績を列挙する。

1916(大正5)年に、オーチス(米)が東京丸の内の帝国鉄道協会(現日本交通協会)にオグジリアリ・マイクロ・ドライブ(通称マイクロドライブ)式の交流エレベーターを設置。この方式は着床時の速度が定格速度の1/12の微速度運転をするために直流エレベーター並みの精密着床が得られた。この方式はその後、国産メーカーの交流二段制御開発のきっかけとなった。

1925(大正14)年、帝国ホテル(米国人フランク・ロイド・ライト設計)にエレベーターが設置された。

1926(大正15)年、東華菜館(京都)に米賀がオーチス(米)のカースイッチ方式の乗用交流エレベーターを納入。その後、エレベーターは改修工事が行われたがご構造、運転方式は当時のままに残されていて、今でも目測での停止操作、手動による戸の開閉を行い使用されていて、わが国の稼働中のエレベーターとしては最長寿エレベーターの一つとされる(図3.10)。



図3.10 稼動中のものでは最長寿エレベーター

1927(昭和2)年、日本銀行本店に内田商事がエービーシー製直流ギヤード乗用エレベーター5台を納入し、華麗なデザインの出入口戸周り意匠が評判になった。

1929(昭和4)年、大正12年の関東大震災で焼失した三井銀行本店(現三井本館)が再建され、オーチス(米)が直流ギヤレスエレベーター10台を設置した(図3.11)。これはわが国初のワードレオナード(可変電圧制御)方式による高級エレベーターであった。ワードレオナード方式は巻上電動機の端子電圧を制御するための専用発電機があり、この出力電圧を発電機界磁電流で制御することにより、速度範囲が広くトルク変化も滑らかにできるので、高速度で高級な速度特性が実現できたので、以後ワードレオナード方式は、高級エレベーターの代名詞ともなった(図3.12)。

また、ピット(昇降路の底部)には油圧を使った油入り緩衝装置(オイルバッファ)が採用され、出入口戸には圧搾空気を使った自動戸閉装置が採用されるなど、わが国では初めてのものが数多く使用された。運転方式は運転手がスイッチを低速運転に切替えると、その後は自動的に着床する方式(カースイッチマイクロ)であった(このエレベーターは平成年間になって改修工事が行われたが、巻上機のギヤレスマシンやインジケータなど一部の機器が往時のままに残されている)。

同29年、内外エレベーターが電気製品はWH製を使って、朝日新聞社朝日会館(大阪中ノ島)に150m/minの直流ギヤレスエレベーター15人乗り4台を納入した。運転方式はシグナルコントロール方式で、この方式は従来運転手が行っていた起動、走行、減速、停止を自動化したもので、運転手は行き先ボタンを押し戸を閉めて、スタートレバーを押すだけとなった。

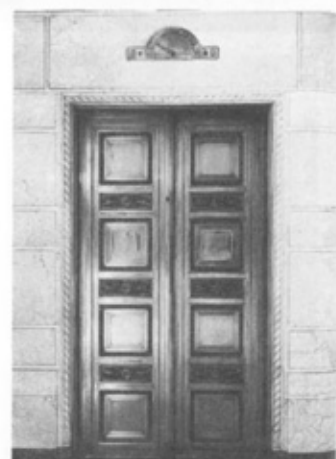


図3.11 三井銀行本店とエレベーター乗り場

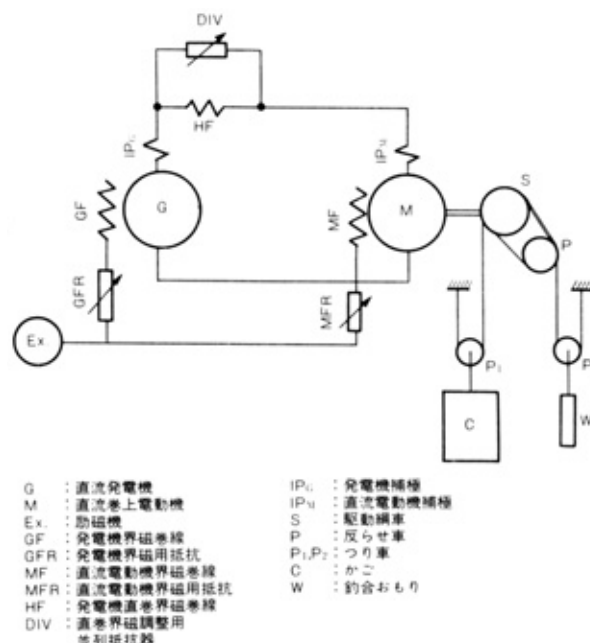


図3.12 ワードレオナード方式の主回路

同29年、内田商事(株)エレベーター部が上野松坂屋にエービーシー製の直流ギヤレスエレベーター3台を設置。

1930(昭和5)年、東洋オーチスは三信ビル(日比谷)にシグナルコントロール方式の150m/minの直流ギヤレスエレベーター5台を設置。

1931(昭和6)年、日本エレベーター製造は日比谷の常盤生命保険会社ビルに明電舎製の電動機を使っ

て、直流可変電圧式の90m/minのエレベーター1台を設置した。

同31年に、日本エレベーター製造と内外エレベーターは鉄道省秋葉原貨物駅に独自のマイクロドライブ方式の貨物用エレベーター20台を設置。しかし乗り心地が悪いなどの理由で乗用としては使用されなかった。

1932（昭和7）年、東洋オーチスは聖路加病院付属看護婦学校（東京）に、わが国最初の乗合全自動エレベーターとなったコレクティブコントロール方式のエレベーターを設置した（図3.13）。この方式は大変合理的であったがオーチス（米）の特許で東洋オーチスと、WHと技術提携関係にあった三菱電機以外のメーカーは使うことが出来なかった。

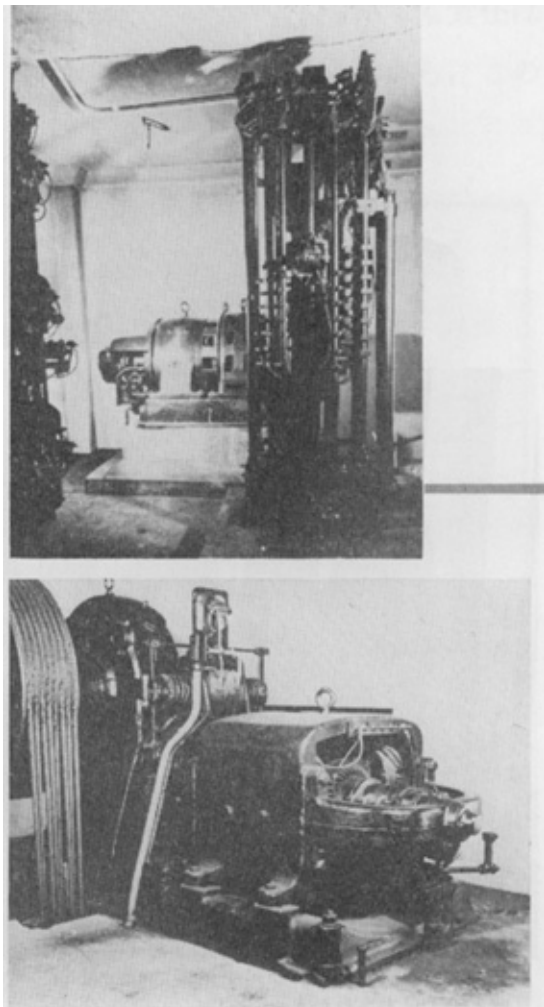


図3.13 聖路加病院のエレベーター機械室と巻上機

同32年に、大阪城趾天守閣改築に際して、日本エレベーター製造が乗用エレベーターを設置した（図3.14）。その後、昭和天皇陛下が関西行幸の際にこのエレベーターに乗られ、摂津平野を展望された。天皇陛下が垂直の交通機関としてエレベーターを国内で利用された最初であったと言われる。

同32年、住友ビル（東京）にWHの直流ギヤードエ



図3.14 大阪城には国産エレベーターが設置された



図3.15 120m/min直流ギヤレスエレベーター納入された十合百貨店

レベーター1台と三菱電機の直流ギヤードエレベーターの1台と連携して運転する全自動エレベーターが設置された。当時三菱電機は技術面でWHと一体的な関係にあったのでこのようなことが出来た。

1935（昭和10）年、朝日ビル（名古屋）と雅叙園（東京）に直流ギヤードエレベーターが設置された。

同35年、東洋オーチスは十合百貨店（大阪）に120m/min直流ギヤレスエレベーター積載量1,350kg、6台を設置し、同時に日立も同じ仕様の直流ギヤレスエレベーター2台を納入した（図3.15）。このように同一のビル内に異なる複数のメーカーの製品が納入されるケースは日本ではしばしば見られ、このことは同じ条件のもとで性能が顧客によって比較されることになり、必然的にメーカー間に強い技術競争関係が生まれる要因となった。

1936（昭和11）年、三菱電機は丸物百貨店（京都）に直流ギヤレスエレベーターを設置した。

同36年、日立は大阪中央放送局に直流ギヤレスエレベーター3台を設置した。

同36年、日本エレベーター製造が昭和5年に納入した乗用エレベーター一式18台が、新しく完成した国会

議事堂で稼動を開始した（図3.16）。



図3.16 国会議事堂には国産エレベーターが設置された

当時は国産品が奨励されたことから、国会議事堂をはじめとしてほとんど全ての官公署建築物は日本エレベーター製造に特命発注がなされたことや、海軍艦政本部から艦載飛行機昇降用の特殊大型エレベーター20数台が発注されたことから、同社のエレベーター製造技術は著しく向上した。

1937（昭和12）年、東洋オーチスは関西電力株式会社黒部峡谷鉄道（富山県）の豎坑に150m/min、積載量4,500kg、昇降行程194mの貨車を積んだまま昇降するギヤレスエレベーターを設置した。電動機容量は88.5kWで当時日本最大の記録品であった（1985年に改修が行われこの巻上機は日本オーチスの芝山工場に保管展示中）（図3.17）。

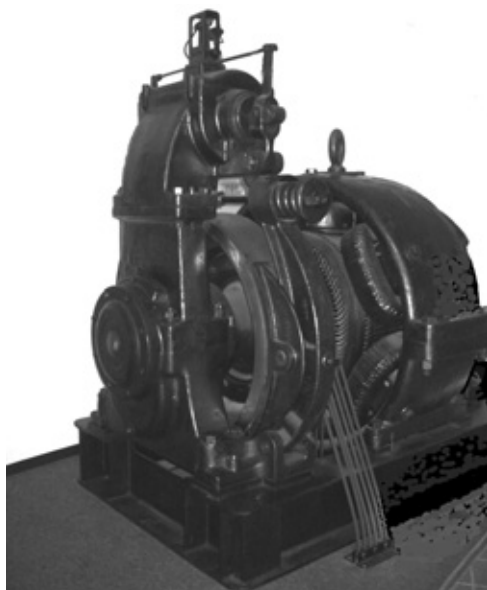


図3.17 黒部峡谷鉄道豎坑の初号機ギヤレスマシン（日本オーチス保管中）

1937（昭和12）年に日中戦争が勃発して、わが国は万事戦時体勢をとることになり国内産業は全て戦時産業に切換えられ、昭和13年には一般乗用エレベーターは贅沢品として製造・販売ともに禁止された。さらに、既設の乗用エレベーターまでが軍需用に金属回収のため多数撤去される運命となった。

1945（昭和20）年3月東京大空襲。4月に横浜市そして川崎市など全国の主要都市は次々に激しい空襲に曝され、8月には広島、長崎に原子爆弾が投下され日本全土が焦土と化した。8月15日に遂に日本は連合国軍に降伏して第二次世界大戦が終わった。

図3.18は昭和12年の警視庁の東京府下を対象とした昇降機台数データで、図3.19はこれをグラフにしたものである。全体として高い伸び率でエレベーターが普及していて、とくに小貨物用（現在は小荷物専用と呼称）が著しい伸びを示しているのが注目される。

昇降機の種類	大正	昭和	昭和12年	昭和13年	昭和14年	昭和15年	昭和16年	昭和17年	昭和18年	昭和19年	昭和20年	昭和21年	昭和22年	昭和23年	昭和24年	昭和25年	昭和26年	昭和27年	昭和28年	昭和29年	昭和30年	昭和31年	昭和32年	昭和33年	昭和34年	昭和35年	昭和36年	昭和37年
乗用	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
貨物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
小貨物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
エス	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28

昭和12年、警視庁で調査した昇降機台数

図3.18 戦前の東京都内の昇降機台数（警視庁の調査データ）

昇降機設置台数（昭和12年警視庁調）

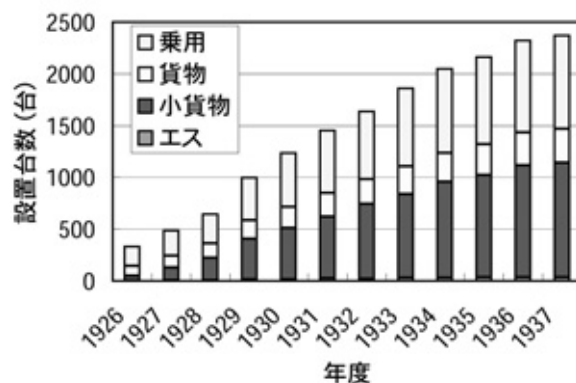


図3.19 戦前の東京都内の昇降機台数グラフ

3-1-3 安全装置⁽¹²⁾

1852年のE.G.オーチスの落下防止用の非常止め装置の発明が近代エレベーターのスタートであったが、その他電磁ブレーキ、ガバナ、緩衝器など主要な安全装置も米国において進歩発展した。1911（明治44）年に輸入された横浜赤レンガ倉庫のオーチス（米）の荷物用电レベーターでは表3.1の装置がすべて装備されていた。そして、日本でエレベーターが普及した1930年代には安全に関する基本的な構成はほぼ固まり、現在に引き継がれている。その内容は（1）停止のための装置と（2）端階での衝突防止システムによって、エレベーターの安全を守るもので以下にその内容を述べる。

（1）停止のための装置

エレベーターを安全に停止させるための主な装置について名称と必要とする機能を表3.1にまとめて示した。

表3.1 停止のための装置

	装置名	必要とする機能と使われ方
1	通常の停止装置	かごを出入口に自動的に止める装置。通常運転時の停止
2	電磁ブレーキ	動力が切れた時に原動機を自動的に止める。制御時の非常停止。ガバナ信号による非常停止。交流一段制御および交流二段制御エレベーターの通常停止
3	ガバナ（調速機）	かごの速度を直接監視して、危険速度を検知したとき、電磁ブレーキあるいは非常止め装置を作動させる
4	非常止め装置	ロープが切れてかご落下、あるいはかごが危険速度に達した時にかごの下降を自動的に制止する装置
5	緩衝器	非常止め装置が作動すべき速度に近い速度で昇降路底部に衝突した場合にも、かご内の人々が安全であるように衝撃を小さくして停止させるための緩衝器

電磁ブレーキ（制動機）は巻上機の駆動軸に取り付けられたブレーキドラムやブレーキディスクをバネ力によりブレーキシューを圧接して制動するものである。制動力の開放には電磁力を使うので、制御時の主電源切断、停電、コイル断線など電気エネルギーが消滅すると制動力を発生する。また制動用バネは左右2個が独立していて、両方が同時に故障しない限り制動力を失うことは無い構造になっている（図3.20）。

ガバナは調速機とも呼ばれ、ガバナ駆動ロープの端をかごに接続することでかごの速度を直接監視して過速を防止する装置である。かご速度が規定値を超えると遠心力で振子が開き、ロープキャッチ部のレバーを蹴

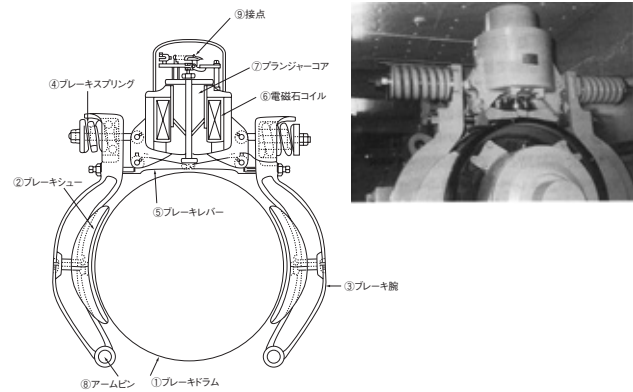


図3.20 電磁ブレーキの構造

りガバナロープを把握する装置で、フライボール形とディスク形がある（図3.21）。ガバナが過速を検知するとガバナロープが把握され、非常止め装置のレバーが引かれ非常止め装置が作動してかごは保持される。これと同時に電動機へ主回路が遮断されて電磁ブレーキが作動する。

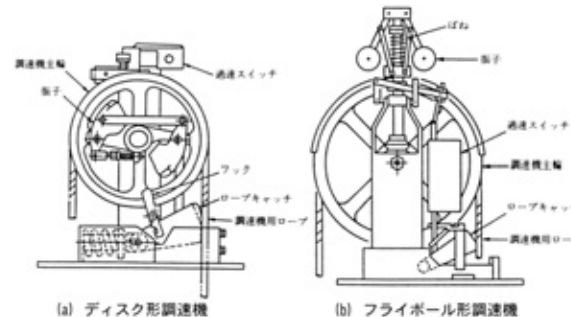


図3.21 ガバナの構造
（左がディスク形、右がフライボール形）

非常止め装置はガイドレールとの間にテーパ状の空隙を持った非常止めブロックと、上下に動くローラまたは楔から構成される（図3.22）。その取り付け部はかごの主堅枠の下部または上部の横梁に取り付けられている（図3.23）。ガバナが危険速度を検知すると、ガバナロープが把握されるとローラまたは楔が引き上げられ、非常止め装置が作動してかごはガイドレールに確実に保持される。

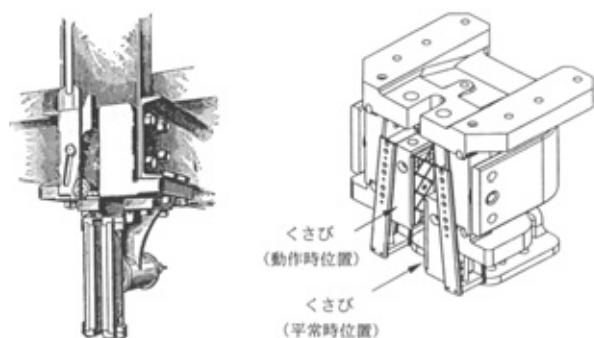


図3.22 早ぎきタイプ（左）と次第ぎきタイプ（右）の非常止め装置

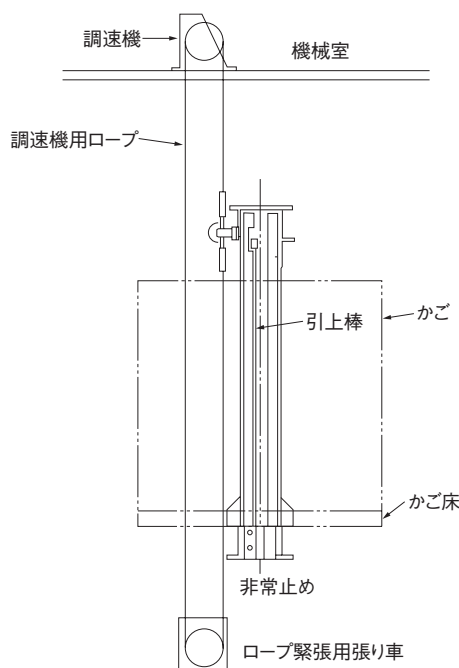


図3.23 ガバナロープとかご構造の関係

緩衝器はかご、あるいはつり合おもりが昇降路の底部に直接衝突した時に緩衝するためのバネまたは油圧の緩衝器である。バネ式緩衝機は60m/min以下のエレベーターに使われ、油入り緩衝機は90m/min以上のエレベーターに使われる（図3.24）。

(2) 両端階での衝突防止のシステム

エレベーターは昇降路という専用の運行空間を備えているので運行は極めて安全であるが、唯一の危険は昇降路の底部あるいは頂部天井に衝突することである。

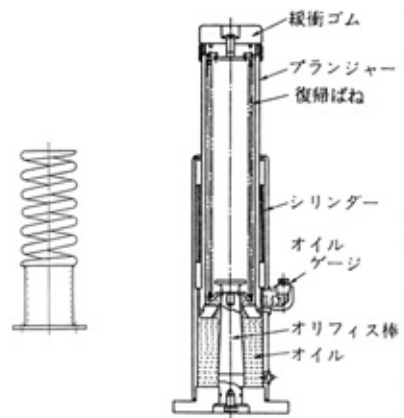


図3.24 バネ緩衝器（左）と油入緩衝器（右）

る。このために中間階では特別な装置は必要ないが、端階については衝突防止のために幾重にも安全機構が準備されている。

表3.2は端階に対して備えている重層的な安全システムの構成を示す。表の見方は左端の階床欄に示した最上階、最下階のそれぞれの矢印方向にエレベーターが進行するときどのような順序でバックアップが働くかを示している。非太枠部分は正常機能で、太枠部分は正常機能が不全のときのバックアップを示している。

例えば下降運転の場合について備考欄の番号で示すと、減速信号10に対するバックアップが11、停止信号12に対してのバックアップは13、13に対して14、がそれぞれ重層的にバックアップを構成している。そして全てが失敗したときには最後の緩衝器15により物理的に停止される。

表3.2 端階における安全停止のための重層システム

階床	安全停止の重層構成			検出手段動作内容	備考
	正常停止	異常停止	最終停止		
↑最上階			緩衝器*	物理的停止(再起動不可)	1
		終端停止		主電源遮断(再起動不可)	2
	端階停止			塔内スイッチで強制停止	3
	停止			電気信号/塔内スイッチ	4
	端階減速			塔内スイッチで強制減速	5
	減速			電気信号	6
中間階	減速			電気信号	7
	停止			電気信号(検出スイッチ)	8
	減速			電気信号	9
↓最下階	減速			電気信号	10
	端階減速			塔内スイッチで強制減速	11
	停止			電気信号/塔内スイッチ	12
	端階停止			塔内スイッチで強制停止	13
		終端停止		主電源遮断(再起動不可)	14
			緩衝器	物理的停止(再起動不可)	15

注) 緩衝器*：最上階の緩衝器は間接的な機能を示す。すなわちピット部の緩衝器につり合おもりが衝突すると、ロープが緩みかごはフリーとなり、 $9.8\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ (1G) の減速度を受けて停止する。

なお備考欄の1, 2, 14, 15の状況で停止した場合は重大な異常停止であるから、専門技術者による点検復旧をしない限り再起動はできない。

3-1-4 運転方式の変遷⁽⁴⁾

(1) ロープコントロール

エレベーターは人が乗る部分と駆動部分が離れているので、運転は専用の運転者が駆動部位で制御するか、あるいは運転者がかご内から遠隔で操作することが必要である。

初期のエレベーターではロープコントロール方式と呼ばれる遠隔操作方式が使われた。ロープコントロールは、エレベーターのかごの中を貫通する制御用の細いロープ（麻製）を設け、ロープの先端は上部または下部にある機械室の駆動機の制御装置に接続されている。かご内の運転手がロープを強く引くことで制御装置の切換を行う。この方式は初期から使われたようで、1935年の英国ティーグルの絵図（前掲図2.3）にもコントロール用のロープと思われるものが描かれていて、ローププリーの軸が駆動装置の部分に伸びている。また前掲図3.3はロープコントロールのロープ操作の様子が示されている。

初期のエレベーターのかごの構造は腰高の部分まではパネルで上部は格子状のもので囲われていた。かごの出入口の戸はホールディングゲートあるいはセーフティゲートと呼ばれる細い金属棒をピン留めした伸縮構造が使われた（図3.25）。このために運転手は乗客の乗り降りを案内して、戸を手で閉めて安全を確認した後にコントロールロープを引いてエレベーターを起動した。停止時はかごの出入口の戸の隙間から目的の床の位置を確認してロープを操作して停止した。乗り場に待っている乗客は上昇時に乗客の足が見えたら、下降時は乗客の肩が見えたらその階に停止しすればよかったと言われている。運転手はその時の乗客数や運転方向などを勘案して停止したので、運転手の技量により上手に停止できたり、床面と狂って停止したりした。

ロープコントロールの場合に限らず、当時のエレベーターの運転手は、運転操作と共に乗客の安全を守る上で大変重要な役割を担っていた。その役割は表3.3に示すように、運転手は目ばかりでなく耳、口など五感を働かせて乗客の安全確保に努めた。

(2) カースイッチコントロール（カースイッチ操作式）

電気技術の発達に伴い、ロープコントロールの制御ロープがカースイッチレバーと呼ばれる電氣的な切換機に代わり、運転手は制御ロープ操作に代わりスイッ

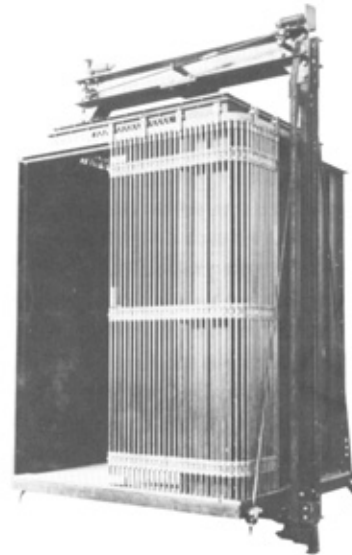


図3.25 セーフティゲート付きかご構造

表3.3 当時の運転手の役割

	役 割	役割の内容
1	運転操作	乗客の希望に応じてエレベーター運転
2	乗り降り案内	乗り降りの案内、誘導
3	戸の開閉	かごの戸と乗り場の戸を手動で開閉
4	戸閉め確認	乗り場戸の安全装置の確認、挟まれ防止
5	定員確認	オーバーロードの防止

チレバーを左右に操作すれば運転できることになった。この運転方式がカースイッチコントロールであり最も簡便な運転手付の運転方式であったので、昭和30年代まで広く使われた。（図3.26）。



図3.26 カースイッチレバーとフォールディングゲートの一部

交流一段制御エレベーターではかご内の操作盤のカースイッチレバーを中央の位置から左右に回すだけで運転方向が決まり電動機を起動でき、停止階でレバーを戻すと停止できる。交流二段制御エレベーター（着床する時は定格速度から低速度に切換えて走行し停止する方式、第4.3節参照）ではレバーが2段切換となり、停止時はまず1段目で減速して低速運転に切換、その後2段目のレバー操作で停止する。

この方式の限界は120m/min程度で、それ以上になると適切な位置での減速切換えが困難になり運転ミス

が増えて、人為判断による減速・停止の床合わせ操作は困難になった。

(3) ボタンスイッチコントロール

エレベーターの普及が進み、小規模なビルやアパートにもエレベーターが設置されるようになると、経費的に運転手が雇えないので乗客自身が運転する方式が必要となった。この運転手なしの代表的な運転方式がボタンスイッチコントロールであった。ホールには呼びボタンが一つ設置されているのみで、最も単純な運転方式であるから、回路が簡単となり古くから採用されている方式である。

乗客は使用する場合、エレベーターの到着を透かし戸を通して目視確認して、手動で乗り場戸を開き（乗り場戸はエレベーターがその階に停止していない時はロック機構が働き乗り場側からは開けられないが、その階に停止するとロックが解ける）、乗り込み後に手動で出入口の戸を閉め、さらにかごの戸を閉めて、その後に行く先ボタンを押すと起動して、目的階では自動的に停止できる。停止操作は微妙な着床タイミング制御は出来ないで、着床精度の面から運転速度は低く抑えられ、交流一段制御エレベーターの場合速度は15～30m/minであった。

ボタンスイッチコントロールでは呼びが登録されると、その客が利用し終えるまでエレベーターを独占するため、使用中の表示を出して他の階の乗客に知らせた。この方式は回路構成が簡単で経済的であったので、階床が低く乗客が少ないビルやアパートの乗用エレベーターおよび工場の荷物用エレベーターに多く使用された。

(4) コレクティブコントロール（乗合全自動方式）

この方式はオーチス（米）が1925年に発明、日本には1932年に聖路加病院看護学校に納入されたのが最初である。エレベーターホールには、上昇用と下降用に2個の呼びボタンが設置されていて、乗客は行きたい方向の呼びボタンを押すと、常時呼び登録ができる。エレベーターは呼びの発生の順序に関係なく、かごの運転方向と同方向のホール呼びに順にサービスし、終わったところで、運転方向を反転して、反対方向の呼びに順次サービスする運転手なしの運転方式である。乗り場では方向別の乗客を分離して運転方向の乗客の呼びに順に応答するのでエレベーターの運行に良くマッチしたものであった。

この方式は、2台、3台併設設置にも採用された。複数併設の場合は、エレベーターは常に先行した他のエ

レベーターの通過した階床の呼び（背面呼び）に応えるような機能と組み合わせて使用され、建物全体で均等なサービスとなる様に制御される。それぞれ方式は、2台の場合はツインあるいはデュプレックス、3台の場合はトリプレックスなどの接頭語をコレクティブコントロールの頭につけて呼称された。

なおこの運転方式はメーカーによって、ツーボタンコントロール（2BCと略す）、セレクトブコレクティブコントロールなどと呼ばれる。

(5) シグナルコントロール（乗合全自動運転手つき併用方式）

エレベーターの速度が90～120m/min時代は運転手が減速のタイミングを見定めることはさほど難しいことではなかったが、120m/minを超えると容易ではなくなった。そこで運転手の技量に頼らない運転方式の開発ニーズが高まってきた。

このニーズに応じて、1924年にオーチス社（米）が開発したものがシグナルコントロールであった。そして日本では1930（昭和5）年にオーチス（米）が三信ビル（日比谷）や明治生命保険本社ビル（丸の内）に納入したものが最初となった。

この方式は運転手を必要とする半自動であり、運転手はかごの中で乗客が希望する階のボタンを押すと信号がエレベーター制御システムに登録されるので、出入口の戸を手動で閉めてスタートレバーを押すだけで、その後はエレベーターが自動的に起動し、加速、走行、減速、停止の動作を行う方式であった。そして運転手の業務は、乗客の乗降案内、出入口戸の開閉確認、過剰乗り込み防止など乗客安全サービスが主要なものとなった。

3.2 国産メーカーの誕生

3-2-1 主要メーカーの誕生

大正時代から昭和のはじめにかけて幾つかの国内メーカーが誕生したが、多くは輸入品の据付や一部の製品を専門メーカーから購入・組立てするものであった。ここではエレベーターを一貫製造でき、その後の日本のエレベーター技術を牽引することになったエレベーターメーカー3社について述べる。

東洋オーチス・エレベータ(株)⁽⁷⁾

わが国に最初にエレベーターを輸入したのは米国や欧州のエレベーターメーカーであった。この中でオーチス（米）は、いち早く極東地域総代理店の米賀を日本市場に送り込み、1896（明治29）年に日本銀行本店

に輸入エレベーター1号機を納入した。

その後は製品の持つ高い技術力と信頼性が評価されて順調に業績を伸ばしていたが、大正時代の中頃から始まったWHの日本進出と国内メーカーの誕生などから事業強化の必要性を感じて、1927（昭和2）年に三井物産との業務提携をしてオーチス・カンパニー日本支社を設立した。その5年後の1932年には三井物産と資本提携して合弁会社の東洋オーチス・エレベータ(株)を設立して日本の拠点を確立した。翌1933年には東京都内に東洋一の内容を誇る蒲田工場を完成してほとんど全ての部品をこの工場で生産し、特殊部品（ギヤレスマシンや制御盤など）のみを米国から輸入する生産体制を作り、エレベーター専門メーカーとして本格製造を開始した。（図3.27）



図3.27 東洋オーチスの蒲田工場

1937（昭和12）年には年間250台を受注し過去最高の業績を上げたが、時局の緊迫化に伴い外資系企業への圧迫を強く受けるようになり、1941年にはオーチス（米）からの派遣役員が帰国したことなどもあって、他の国内メーカーと同様に事業規模を縮小した。その後、時局を反映して、社名を東洋造機工業(株)に変え軍需工場となって終戦を迎えた。

三菱電機(株)⁽¹³⁾

WHは米国内でエレベーター事業への進出がオーチス（米）に比べて遅かったことから、日本への進出も1920年代であった。最初は、日本における代表的な商社の高田商会を通じて他の電気機械品類と一緒にエレベーター販売を開始した。しかし高田商会は1923年の関東大震災の影響で業績が悪化し、ついに1925年に倒産した。同年、WHは日本市場の重要性から自前の日本法人ウエスティング・ハウス・カンパニー・オブ・ジャパン社を設立したが、十分な成果を挙げることができなかった。このため、WHは1922年以来技術提携関係にあった三菱電機に対して、WH製品だけを一手

販売する会社の設立を条件に三菱電機に日本における事業を委託したので、三菱電機は1930（昭和5）年に三菱電機100%出資の菱美電機商会を設立してWHの製品の一手販売を開始した。

これより先に三菱電機は、昭和3年に航空母艦「加賀」に海軍艦船向け昇降機用部品を納入し、エレベーター関連製品の製造をはじめていた。

1935（昭和10）年に三菱電機 神戸製作所に専用工場を作り、WHとの技術提携関係を生かしてエレベーターの一貫製造販売を開始し、これが三菱のエレベーター事業への進出の年となった。1937年には神戸製作所から名古屋製作所にエレベーター部門を移すとともに、名古屋製作所内には東洋一のエレベーター試験塔を建設して敷坪1,500坪（4,950㎡）のエレベーター工場を完成して事業を強化充実した。三菱電機がエレベーターの一貫生産を始めると菱美電機商会はエレベーター輸入が無くなり、工事部門としての機能を分担していたがやがて三菱電機に吸収された。

1941年にWHからの派遣技術者が米国に帰国して、三菱電機は独自の技術で事業を推進した。

日本エレベーター製造(株)

1919（大正8）年に日本における最初の国産メーカーとなった日本エレベーター製造(株)が設立された。当時、関西方面の建築設計界で活躍していた片岡安博士を社長に東松孝時は常務取締役となって自身が経営する東松工作所を継承した。当初は交流一段制御の低速交流エレベーターが主体であったが、1931年には明電舎と協力して国産技術による初の90m/min直流エレベーターを製造した。当時は一社で電気品と機械品をすべて製造するのが難しかったから、電気品は専門メーカーの協力を得ていた。その後国産技術の奨励の時流に乗り1936（昭和11）年に新しく完成した国会議事堂のエレベーター一式を納入（製品出荷は昭和5年）するなど、国内トップメーカーとして多くの実績を上げた。

1936（昭和11）年に日立に買収され、販売、据付、保守を分担する会社として存続したが、1940（昭和15）年に解散してエレベーター事業は日立に一本化された。日立に買収されるまでに合計約3,000台のエレベーターを製造した（なお、現日本エレベーター製造(株)は別会社）。

(株)日立製作所⁽¹⁴⁾

日立製作所は大正時代から電気機械メーカーとして顧客の要求に応じてエレベーターやエレベーター用の電気品を製作していた。1921年に王子製紙(株)伏木工場

(富山県)に15m/minの荷物エレベーターを、1922年に今井呉服店(函館市)に乗用と荷物用の2台などを製作した。しかし本格的にエレベーター事業を開始したのは、日立工場内にエレベーターの一貫生産体制を整えた1932(昭和7)年であった。当時は関東大震災の後で、本格的な高階床建物への転換期を迎え都市の近代化が進みつつあったが、国内の主要昇降機メーカーは大阪に日本エレベーター製造、神戸に内外エレベーターがある程度で、高級乗用エレベーターはほとんどが外国製品であった。最初は海軍省からの軍艦「長門」と「扶桑」に搭載する飛行機昇降用の飛行機上下(しょうか)機を製造した。一般エレベーターの初号機は東京電気(株)納めの荷物用1台と東和アパート納めの乗用1台で、制御方式は交流一段制御や交流二段制御の低速交流エレベーターが主体であったが、1935(昭和10)年に十合呉服店(大阪)に120m/minギヤレスエレベーターを納入し高速機種の製造に進出した。

1936(昭和11)年に日立は、国産トップメーカーの日本エレベーター製造を買収し、日立と日本エレベーター製造が業務分担する体制でエレベーター事業の拡大を図り、その後、1940年に日本エレベーター製造を解散して事業を一本化した。

3-2-2 第二次世界大戦の影響

戦前戦後を通じて日本のエレベーター技術を牽引することになる主要エレベーターメーカー3社は昭和10年までにエレベーター事業を本格的に開始した。当時はエレベーター需要が拡大しており、その中で高級エレベーターの分野を独占していたオーチス(米)とWHはその優位性を維持拡大することを重要な戦略としていたと考えられる。例えば戦前のエレベーター関連特許登録件数は110件であるが、その内48件はオーチス(米)とWHの2社が占めていて、日本市場をかなり重視していた事がわかる。当時両社ともに製品を直接輸入する体制でなかったため、特許権によって日本の市場を支配しようとしたと考えられる(図3.28)。

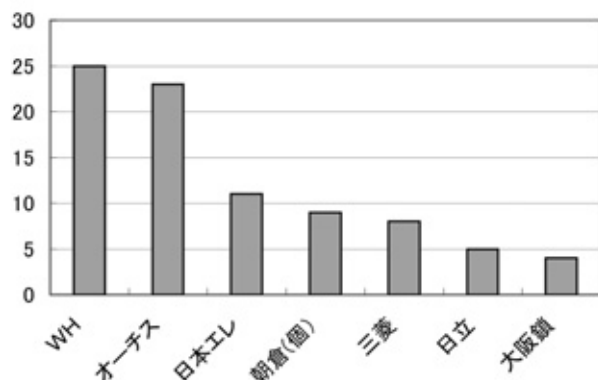


図3.28 戦前のエレベーター特許110件の分析

このような状況下で国産メーカーのうち東洋オーチスと三菱電機は米国のエレベーター技術を導入して技術を向上させたが、残りのメーカーは国産技術に頼って事業を展開した。当然技術格差がありその後の展開に大きなハンディを生み出すはずであったが、当時の緊迫した日米関係から国内は軍事優先の国策が推進され、さらに昭和13年には一般の乗用エレベーターの製造販売禁止令が発令されたために、国内のエレベーター需要は昭和12年をピークに終わってしまった。

その後は軍艦用のエレベーターや軍需工場関係のエレベーターのみとなり一気にエレベーター市場は縮小して、各社ともにエレベーター開発は休止状態となり、メーカー間の技術競争の場そのものが消滅してしまったために、技術格差はあまり顕在化することはなかった。

4 戦後の復興と超高層ビルの誕生

ここでは1945-1970年の技術動向について述べる。

4.1 撤去エレベーターの復旧⁽⁵⁾

1945（昭和20）年8月15日、日本はポツダム宣言を受諾して第二次世界大戦の終戦を迎えた。終戦直後の焼け野原の東京に連合国軍総司令官マッカーサー元帥が進駐軍とともに日本に進駐し、日比谷の第一生命ビルに連合国軍最高司令官総司令部（以下GHQと略記）を設置した（図4.1）。そして、進駐軍は焼け残った主なビルを接収して宿舎にしたが、第一ホテルもその一つで佐官級宿舎となった。当時の第一ホテルの乗用エレベーターは4台分あったが戦時中の金属徴用のために撤去され、2台が残っていただけであり、実際その2台の稼動状況も十分ではなかったらしい。このためマッカーサー元帥は「エレベーターの無い建物は無意味だ、即刻復旧せよ」と日本側に命令した。いわゆるマッカーサー命令が9月に出され、東洋オーチス、三菱電機、日立の3社が召集され、米軍接収ビルのエレベーターを使用可能な状態にすることになった。



図4.1 GHQ本部が置かれた第一生命ビル

しかし、時間が少なく仕事量は多くて3社で対応できるものではなかったために、戦前からのエレベーター各社が分担、協力して対応することになった。終戦直後のため各社共に対応できる技術者は少なく、必要とする資材、特にガイドレール、ワイヤーロープなど主要材料が単独では到底入手が困難で各メーカーが協力し合うことになった。また戦時中の金属回収の名目で撤去されたエレベーター機械部品が川崎の埋立地にボイラー等と一緒に雑然と野積みされていたので、エレベーター業者は政府機関への手続きをして持帰り、撤去エレベーターの復旧の部品としたほどであった。

この復旧工事は、GHQの技術将校K.クラウド（元東洋オーチス）の指揮の下に行われ、明治生命館、東京海上、第一生命、日本郵船等は三菱電機が、第一ホテル、服部時計店、満鉄ビル等は日立がそれぞれ担当して復旧納入した。

当時の様子が東京証券取引所のエレベーター工事を手がけた井上裕次郎の手記（「エレベーター界」No76（昭和59.10））に掲載されていてその一部を引用する。『終戦により連合国軍がわが国に進駐しての初仕事は東京証券取引所を米軍宿舎用として改装し、ホテルとするため2台のABSee製エレベーターの改造設置を佐藤工業の社長から直接受注した。価格は問わないから故障の起こらない確かな工事をしてくれと、前受金も十分頂戴出来て満悦であった。当時は万円札が無く百円札のみで持帰りの荷造りに苦勞した。』とあり、復旧は大変急がれていた様子が伺われる。これら戦後初の乗用エレベーターの検査に立ち会ったのは、東京都の野口技師と福森技師であった。

当時、進駐軍の接収ビル以外の多くのエレベーターも戦時中に軍の金属徴用で撤去されたり、戦災で焼失したりしてまともな状態のエレベーターはまれで、ほとんど壊滅状態であった。戦前からエレベーターの行政にかかわり戦後は東京都昇降機安全協議会顧問をした丹野敬蔵の調査によると、戦前の東京都の登録乗用エレベーターは1,022台あったが戦後には506台とほぼ半減してしまった（図4.2）。GHQのために復旧したエレベーター台数は正確には残っていないが、関連記録から推定すると、全国で200台程度であったと考える。

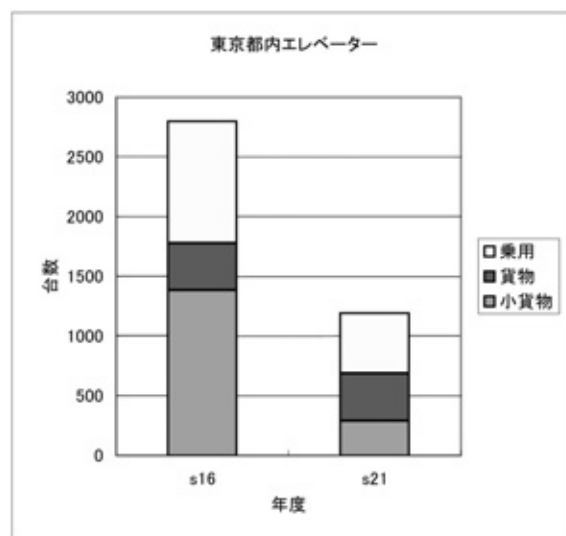


図4.2 東京都内のエレベーターは戦争で半減した

4.2 エレベーター製造の復活

すべてが破壊され惨憺たる状況下でGHQの命令によるエレベーター復旧工事はまるで嵐のような繁忙をもたらしたが、この復旧需要は1947（昭和22）年末には終わってしまった。しかしこの復旧需要はその後の日本のエレベーター業界に少なからぬ影響を残した。終戦直後はどのメーカーも戦時中の動員で社員は四散し、わずかに復員してきた社員には仕事がなく、残った機械を使ってフライパンやなべを作ったり、部品を集めて蒸しパン製造器や電気パン焼き機器を作る有様であった。しかしエレベーター部門では対応しきれない仕事があり、確実な売上金が得られる状況であったため、総合電気メーカーの三菱電機、日立では社内の他の部門から人材を集めて対応し、戦災で被害を受けなかった工場内の工作機械類もエレベーター製造に優先的に割り当てられ急速に体制が整うことになり、GHQの威光で戦後最も早く立ち上がった事業部門となり、その後この2社の急速な発展につながった。

大手メーカーのひとつであった東洋オーチスは戦時中に凍結された株式問題の処理が遅れるなど経営面でも戦争の痛手が大きく、1946（昭和21）年に、社名を東洋造機工業から東洋オーチスと元に戻し、オーチス（米）が100%の株式を取得して新しい東洋オーチスとして軌道に乗ったのは1951（昭和26）年であった。

他方、事業規模の小さい多くの国内メーカーでは人材や機械類を集めてくるべき他の部門を持たないため、大手のように行かず、立ち直りには多くの時間と苦労が必要であった。

1948（昭和23）年に、一般民間向けのエレベーター製造禁止令が解除され再び民需が期待できるようになった。また、所轄官庁として建設省が誕生し、行政面では「東京都昇降機安全条例」が制定されて、エレベーター市場は復活した。

4.3 KJ形エレベーターと規格形エレベーター

(1) KJ形エレベーターの誕生

戦後の復興が軌道に乗り生活が安定してきた昭和30年代になると、都市への人口の集中がますます進み、これに伴って安価な一般住宅の不足が大きな社会問題となってきたので、1955（昭和30）年に国は日本住宅公団（以下住宅公団と略記）を設立して、良質で安価な住宅の供給を目指した。当初は4階床以下の低層アパートを主体にしていたが次第に高層化のニーズが高

まり、昭和31年に住宅公団初代総裁加納久朗の欧州視察で入手した欧州の住宅事情などが参考にされ、住宅公団は量産効果があり安価で実用性の高い住宅公団用エレベーターの開発方針を決め、メーカーに検討を依頼した。

この要望にこたえて三菱電機と日立は、当時東南アジア地域へ輸出をはじめていた構造が簡単で量産性のある交流一段制御エレベーターをもとに、30m/min、積載量750kg、一枚戸の方式を標準化して住宅公団向けに「KJ形エレベーター」を開発した（図4.3）^{(15) (16)}。

交流一段制御は誘導電動機と電磁ブレーキだけで制御する最も簡単な制御方式で、主回路は上昇用と下降用の2つの主接触器があり、起動後に目的階の停止位置で主電源を遮断すると同時に、電磁ブレーキが作動してエレベーターが停止される。この方式は制御が簡単で経済的であるが、速度が速くなると着床誤差（目的階の床面とエレベーター床面の段差）が大きくなり、停止時の衝撃も大きくなるので、一般には30m/min以下の速度範囲で使用された。

1958（昭和33）年、三菱電機が最初のKJ形エレベーターを名古屋本重町アパートに設置した（図4.3）。

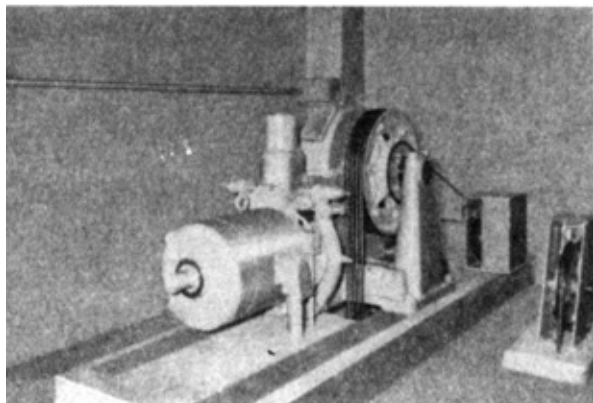


図4.3 本重町アパートのKJ形エレベーター

当初は標準化作業に参加した2社がKJ形エレベーターを納入したが、その後は他のメーカーにも広く発注されて、KJ形エレベーターは全国的に広まった。

さらに、住宅公団は高層アパート団地を次第に拡大してゆくなかで速度を45m/minに高めてより輸送能力の高いKJ形エレベーターの開発をメーカーに提案した。この要望を受けて1966（昭和41）年、三菱電機は電磁ブレーキ力を速度帰還制御する交流一段制御45m/minエレベーターを、日立は機械的な緩衝機構（一種のショックアブソーバ）と電氣的負荷補償装置による交流一段制御5m/minエレベーターを開発して公団金町市街地住宅や公団習志野台市街地住宅に納入した。

しかし、日立の方式は標準的な電磁ブレーキ方式であったため、機械的制動の宿命としてブレーキシューの磨耗が大きく、メンテナンス上に問題があり改善が必要となった。

その結果、日立は誘導電動機を使って減速時のみ電氣的に制動力を発生させ、制動力を速度帰還制御する方式を開発した。誘導電動機を使って制動力を得る方法の中で、速度が零になるつまりエレベーターが停止する点まで、制動力を発生できる方式には直流制動（発電制動とも言う）と逆相制動の2つあったが、簡単に安価な方式として図4.4の主回路が使われた。当時まだ高価であったサイリスタ（現在の逆阻止3端子サイリスタで当時の呼称、SCRとも表記する）が1つと

ダイオードが使われ、減速時には上昇用と下降用の主接触器を切替えると同時に制動用の主接触器を開くことで、逆相制動と直流制動の入り混じった制動力を発生させた。そして、サイリスタの点弧位相を速度帰還制御することで制動力を変化させ直線的に減速して停止する方式を実現した。この機種は1969（昭和44）年以降に公団住宅の高島平団地（東京）や希望が丘団地（東京）などに納入された。

すでに三菱電機は速度帰還制御を採用していたので、他のメーカーも速度帰還方式をつかった住宅公団向けのエレベーターを開発することになり、45m/minKJ形エレベーターは速度帰還制御方式を採用した初めての交流エレベーターとなった。

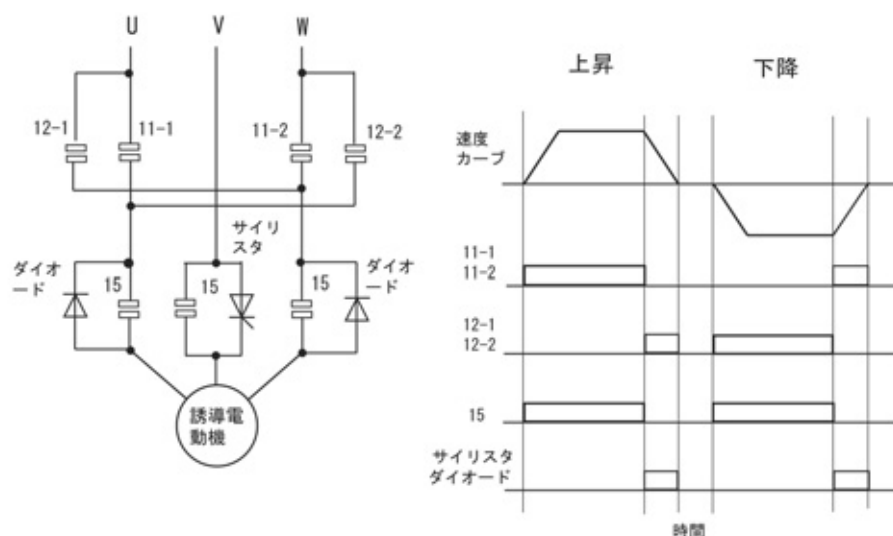


図4.4 45m/minKJ形エレベーターで使われた主回路の例

(2) 規格形エレベーターの誕生

KJ形エレベーターで始まった仕様を標準化して量産性を高め経済的にエレベーターを供給するコンセプトは、一般用エレベーターでも以前から求められていたニーズにマッチしたものであったから、各社は1961（昭和36）年に量産性と経済性を追求した規格形（当初は普及形と呼んだ）エレベーターを開発した。

この規格形エレベーターは定員が6～11人、速度が30、45、60m/minの範囲をシリーズ化したもので広く一般の中低層ビルを対象として、出入口の戸形式や意匠が標準化された。

制御方式は30m/minがKJ形と同じ交流一段制御が使われ、45m/minと60m/minは交流二段制御が使われた。

すでに述べたように、交流一段制御は誘導電動機と電磁ブレーキだけで制御する最も簡単な制御方式で経済的であるが、速度が速くなると着床誤差が大きくなり、停止時の衝撃が大きくなるので30m/min以下の速

度範囲で使用された。

交流二段制御は1つの電動機に極数の異なる2つの電動機巻線が組み込まれた二段速度電動機を使う制御方式である。高速運転は高速電動機（極数の少ない巻線）が使われ、目的階の手前の減速点で低速電動機（極数の多い巻線、一般に高速電動機極数の4倍に設定）に切替えることで、定格速度の1/4の低速度運転後に停止点で、主電源を遮断して電磁ブレーキで停止する方式であった。これにより、交流一段制御に比べて定格速度を大きくしても、停止時の速度を低くできるので着床誤差は十分に小さく、停止の衝撃も小さくできた。

図4.5と図4.6は交流二段制御の内容を説明した主回路構成と速度特性と接触器のタイムチャートである。

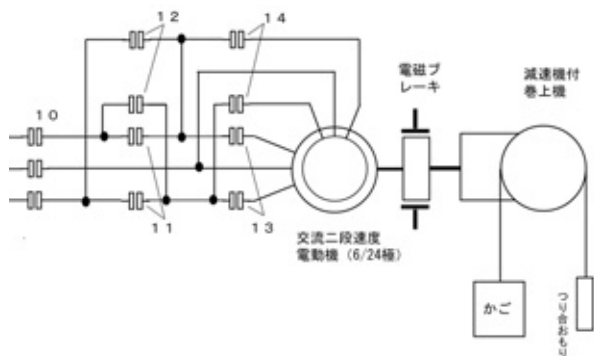


図4.5 交流二段制御の主回路構成

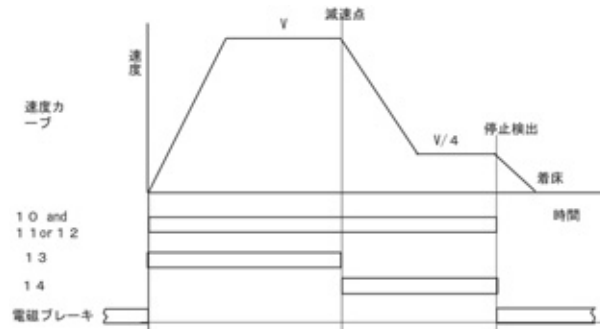


図4.6 交流二段制御の速度特性とタイムチャート

規格形エレベーターに使われる誘導電動機は構造が簡単で堅牢なため保守の手間がかからないほか、運転速度は技術者の技量に関係なく電源周波数で決まることから常に安定していて大変扱い易く、実用性と汎用性の両方を備えたものであった。

各メーカーはこの規格形エレベーターのシリーズにそれぞれ「エレベット」「A形」「レディメイド」などのブランド名を付けて発売した。

発売後は、価格が安く納期も短縮化できたことから市場から歓迎され、規格形エレベーターは爆発的な人気を呼び、エレベーター業界の主力的な機種となった。

また規格形エレベーターの普及は建築設計者にも多くのメリットがあったので、それまでは「建築の都合に合わせてエレベーターは作るもの」という風潮があった建築設計界が、規格形エレベーターの寸法に合わせて設置設計をするようになった。

4.4 超高層ビルの誕生

1963（昭和38）年の建築基準法の改正により容積地区内の高さ制限緩和がされ、わが国でも超高層ビルの建設が可能になった。この新基準に準じて昭和40年3月に着工して昭和43年4月に竣工した霞が関ビルはわが国最初の超高層ビルとなった。ビル高さ147m、地上36階、地下3階であった。

世界有数の地震国であるわが国で超高層ビルを建築する場合の最大問題は、耐震強度の確保であった。これを解決したのは武藤清（当時鹿島建設副社長、東大名誉教授）の提案した柔構造設計であった。柔構造理論は日本の五重塔が大きな地震でも壊れないことにヒントを得たと言われ、地盤の地震周期に対して建物の固有振動周期を長くすることで強い破壊力を受けないようにしたものであった。この理論を元に当時の最高性能の大型コンピュータを駆使して耐震設計評価が行われ、想定される地震力に対してビルがどのように揺れるかが詳細に検討された。その結果、地震力では関東大震災の3倍の大地震に耐え、秒速82.5mの風にも耐えられる霞が関ビルが実現した。

そして、エレベーター関係では、この日本最初の超高層ビルにふさわしく300m/minの超高速エレベーターが計画され、東洋オーチスが7台、日立2台の計9台を納入した⁽¹⁷⁾（図4.7）。



図4.7 初の超高速エレベーターが納められた霞が関ビル

また、ビル全体では31台のエレベーターが納入されたので、多数のエレベーターを最も効率的に管理する群管理制御が盛んに検討された。完成後の階床別収容人数、想定される交通需要などをいろいろなケースを想定し、大型コンピュータを駆使してシミュレーションを繰り返し待ち時間や輸送能力が検討された。その結果、ビル内を低層用、中層用、高層用にサービス階を分割する分割急行方式（マルチゾーニング）が採用された。エレベーターの配置は、分散しないだけでなく一定の場所に集約することで総合的にエレベーターを利用する案が採用された。

霞が関ビルで実施された群管理制御の事前評価についての考え方と検討手法は、日本最初の超高層ビルということもあって、その後の超高層ビルにおけるエレベーター設備計画の雛型となった。

4.5 新しいエレベーターメーカー

現在の日本には、エレベーターとエスカレーターの両製品を総合的に製造販売し、独自の研究開発施設をもち超高速エレベーターが作れるメーカーは5社あるが、このうちの2社が戦後に出現した。

(1) フジテック(株)⁽¹⁸⁾

1948(昭和23)年に内山正太郎はエレベーターの製造・販売・保守を目的として富士輸送機工業(株)を設立した。1960年代に国の輸出振興策のもとに東南アジア向けのエレベーター輸出が盛んになったことも背景となり、1964年頃からは国内の先行大手メーカーとの競合を避け海外に営業の重点を移し、他の国内メーカーとは異なる戦略を展開した。1972(昭和47)年にはシンガポール住宅局(Housing & Development Board略してHDB)向けの住宅用エレベーター2,000台を一括受注するなどの実績を作り、海外での事業を拡大した。そして事業拡大と共に研究開発を強化して、群管理制御や超高速エレベーターなど高度技術製品を開発して国内事業を展開した。

(2) 株東芝⁽¹⁹⁾

1958(昭和33)年に株東芝(当時東京芝浦電気(株))は東洋オーチスと資本提携をして、東洋オーチスの営業部門を受け持つ形で昇降機業界に参入した。その後1966(昭和41)年に東洋オーチスとの資本提携を解消し府中工場に一貫生産体制を作り、東芝が自らエレベーターの製造・販売・保守を行うエレベーターメーカーとして事業を開始した。エレベーター事業では後発ではあったが、システム制御やエレクトロニクス技術を使った制御技術分野では三菱電機、日立と並ぶ実力があり、高速エレベーター制御を中心に急速に実績を上げた。このため国内市場での高速エレベーター分野における技術開発競争は激しさを増し、多くの新技術が生み出される遠因となった。2001(平成13)年にはエレベーター関係事業を東芝から独立させて、昇降機事業を専業とする東芝エレベータ(株)を設立して事業を展開した。

4.6 法令の整備と日本エレベータ協会⁽⁵⁾

業界の健全な発展にとっては、法制的整備や業界全体の順法と実務課題の提案活動は大変に重要である。ここではエレベーター業界の今日の隆盛を築いてきた戦後の建築基準法の成立と整備の状況と、法令の普及徹底と業界要望を取纏め行政に反映する上で貢献した日本エレベータ協会について述べる。

日本エレベータ協会のスタートは、終戦直後の撤去エレベーターの緊急復旧命令が契機となって同業各社が分担と協力によりGHQの要求に対応した中から生まれた「エレベーター同業協会」が出発点で、その設立は昭和22年頃であった(図4.8)。

1948(昭和23)年に建設省が誕生し、同48年に戦前の警視庁令「昇降機取締規則」が廃止され、新しく「東京都昇降機安全条例」が制定されエレベーター行



図4.8 エレベーター関係者は力を合わせてGHQの要望に応えた

政が東京都に移管された。

同48年、一般民間向けエレベータの製造が解禁され、民間のエレベーター需要が復活した。

1949(昭和24)年、東京都知事の認可を受けて「(社)エレベータ協会」が設立され、エレベーター同業協会は解散した。エレベータ協会発足の時の正会員数は16社で、理事長は石川周作(日立)であった。その後エレベーター業界はこのエレベータ協会を中心に、利用者の安全確保、関係法規の普及徹底などの活動を展開して、業界の健全な発展に貢献した。

1950(昭和25)年、建築基準法および同施行令が施行された。しかしこの段階では「建築物に設ける昇降機は建築設備である」と位置付け、建築確認申請時の審査対象と定めたが、技術的な詳細は規定されていなかった。

1958(昭和33)年、建築基準法施行令が改正され初

めて「昇降機の構造に関する技術基準」が定められ、更に、翌昭和34年に建築基準法および同施行令が改正され、昇降機の確認行政が全国的に施行されるようになった。

1959（昭和34）年、建築基準法が改正されて「昇降機の定期検査」が追加規定された。それまで既設エレベーターに対する安全確保はメーカーに一任されていたが、これを境に所有者の維持管理責任が規定され、定期的に安全性の検査をすることが法的に義務付けられた。

1961（昭和36）年、エレベータ協会は、建設省認可の（社）日本エレベータ協会に改組して、札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、福岡に支部を設置して全国的な組織となった。

1963（昭和38）年、建築基準法の改正で、容積率の考えが導入されて軒高制限の規制が緩和され、高さが31m以上の建物が建設できるようになり、日本の超高層時代の幕開けとなった。

建築基準法および同施行令は、その後も時代の要請に応じた新しいニーズや技術の出現に対応して随時、法令と施行令の改正が行われ今日にいたっている。

4.7 この時代の主な納入先

戦後の復興から1970年代の間に設置された主なエレベーターの記録を以下に記す。

1948（昭和23）年、東洋オーチスは大阪中ノ島の三井ビルに直流ギヤレスエレベーターの「スーパーUMV」の1号機を納入。戦後初の最新ギヤレスエレベーターであったことから、業界内の話題を呼んだ。

1949（昭和24）年、三菱電機が民間復興の第1号となる三越百貨店（銀座）に75m/min、1,500kg、カースイッチ制御の直流ギヤードエレベーターを納入した。

1951（昭和26）年、日活国際会館にシグナルコレクティブコントロール方式エレベーターが設置され、東洋オーチス4台、日立2台が併設設置された。

1952（昭和27）年、東京・新丸ビルに1,000kg、150m/minの直流ギヤレスエレベーターが設置された。WH技術を背景にした三菱電機のエレベーターと国産技術の日立のエレベーターが納入された。（図4.9）

1953（昭和28）年、この年わが国昇降機生産台数が年間1,000台に到達した。この時期は日本経済全体が「神武景気」（'55～'57）さらに「岩戸景気」（'58～'62）などを経て東京オリンピック開催へと続く高度高成長が続き、驚異の戦後復興の時期と重なり、エレベーターの設置台数は一本調子で増加した。



図4.9 竣工時東洋一と言われた新丸ビル

1954（昭和29）年、三菱電機が渋谷東急会館（東京）に秤起動付きロートロール（回転増幅器の一種）を使ったフィードバックコントロールのエレベーターを設置した。

1955（昭和30）年、三和銀行本店（大阪）に全自動群管理制御のエレベーターを東洋オーチスが設置した。この群管理制御はオーチス（米）のオートロニック群管理制御を一部適用した方式であった。

1956（昭和31）年、日立は小平記念館（日立）に200m/minのギヤレスエレベーターを設置した。

1957（昭和32）年、三菱電機は名鉄百貨店（名古屋）に全自動群管理制御エレベーターを設置した。この時期からエレベーターは全自動運転方式が次第に一般的となった。

1958（昭和33）年、三菱電機が東京タワー（高さ333m）に展望用エレベーターを設置した（図4.10）。



図4.10 東京タワー

1959（昭和34）年、東洋オーチスが新三井ビル（大阪中ノ島）に静電式タッチボタンを採用した本格的なオートロニック全自動群管理制御エレベーター13台を設置した。この方式は運行管理制御に電子管を使用した電子計算機が採用され、乗り場呼び数の計算、待ち時間の集計、ピーク時の基準階からの出発管理など当時としては画期的な群管理制御であった。国内のメーカーは米国の文献では知っていたが実物を見るのは初めてであったので、完成後は多くの見学者が集まった（図4.11）。



図4.11 本格的な群管理制御が話題となった
新三井ビル（大阪・中ノ島）

同59年、日立が東京銀行丸の内支店に磁気増幅器を使った帰還制御方式の直流ギヤレスエレベーターを設置した。

同59年、中部電力本社ビル（名古屋）に日立が、関西電力本社ビル（大阪）に三菱電機がそれぞれ全自動群管理制御ギヤレスエレベーターを設置。この群管理制御は自動化したエレベーターを複数台並列に並べたとき、乗客が乗り場のボタンを押すとその階に一番近い距離に近づいて来たかごに乗るようにし、また混雑時と閑散時との利用状況に応じて、各かごがお互いに集まったり離れたたり自動制御される方式であった。

1961（昭和36）年、三菱電機は京都国際ホテルに210m/minの高速エレベーターを納入した。戦前戦後を通じてそれまで乗用エレベーターの最高速度は150m/minであったので、当時210m/minは国内の最速エレベーターとなった。

1963（昭和38）年、東洋オーチスがNHK放送センターに全自動群管理制御エレベーター他16台を設置。

1964（昭和39）年、三菱電機と日立がホテルオータニ（東京）にギヤレスエレベーターを、併設設置した。

同64年、三菱電機が科学技術館（東京）に定員124人の国内で一番定員の多いエレベーターを設置。

同64年、全国の昇降機生産台数が5,000台を突破し、1978年から11年間でエレベーター市場は5倍に拡大した。

1967（昭和42）年、三菱電機は巻上電動機の回転速度を直接検出する速度帰還制御を開発して、名鉄グランドホテルに240m/minのエレベーターを納入。

同67年、日立は早稲田大学理工工学部に240m/minのエレベーター納入。

1968（昭和43）年、わが国初の超高層ビルとなった霞が関ビルが完成し、国内初の300m/min超高速エレベーター9台が設置された（霞が関ビルについては第4.4節参照）。

1970（昭和45）年、全国年間の昇降機生産台数が10,000台を突破した。内訳は直流エレベーターが1,168台、交流エレベーターが8,960台、油圧エレベーターが340台で合計10,468台を記録した。

5 | 多彩な技術革新と超々高速度の実現

ここでは、1970－2000年の30年間の技術動向を述べる。この時期はビルの高層化とエレクトロニクス技術の発展が重なり、かつてない多彩なエレベーター技術革新が実現した時代となったので、最初にその概要に触れる。

図5.1はこの間の主要技術がどのように変遷したかを、社会ニーズと技術環境に対比させて示した。30年間の変遷を経て制御方式はエレベーターの機種にかかわらず究極の電動機制御と言われるインバータ制御に収斂し、中低速エレベーターは時代と共に多くの機種が誕生して市場を拡大し、高速エレベーター速度は高速化がますます進み世界最速記録を逐次更新し、群管理制御は予測待ち時間計算に基礎を置く個別呼び割り当て方式を完成するなど多くの技術成果が見られた。

図5.2はエレベーターとエスカレーターの国内設置台数と機種構成の変化を示した図で2000年代になって台数の伸びがやや停滞し、その中で1990年以降に誕生したホームエレベーターと機械室なしエレベーターが時代の要請にマッチしたことから、主要機種としてエレベーター市場の構成を大きく塗り替えることになった。なお図5.2の詳細なデータは巻末に示した。

図5.3は日本のエレベーター技術の発展を最高速度と制御方式の変遷で示したものであるが、1970年以降は次々に新しい制御方式が生まれて最後はインバータ制御に統一されて行く過程と、新しい制御技術を使ってエレベーターの速度が超高速度から超々高速度へと更新された経過を見ることができる。

以下では10年間を単位にエレベーター技術がどのように進展したかを述べる。

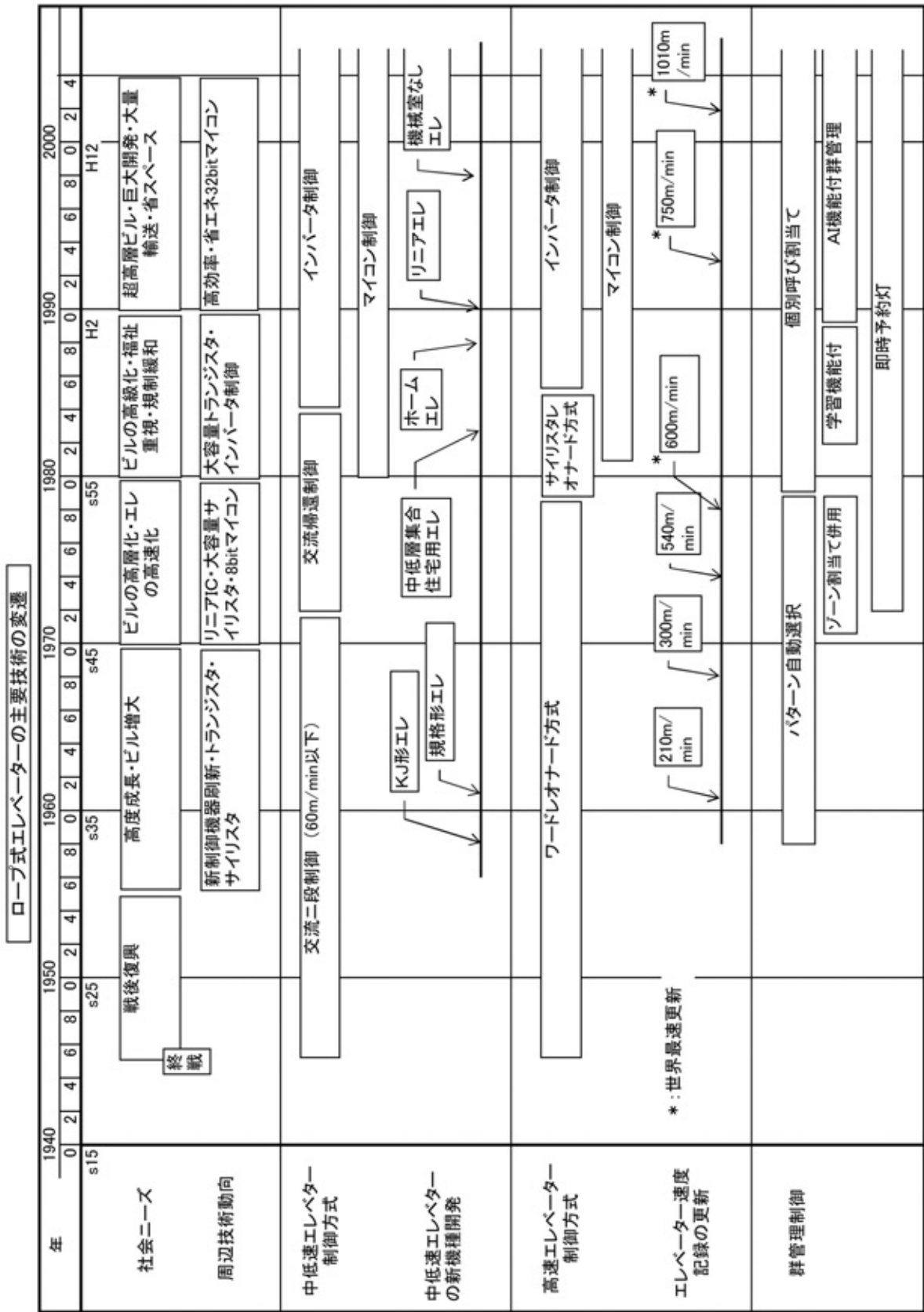


図5.1 機種別の主要技術の変遷

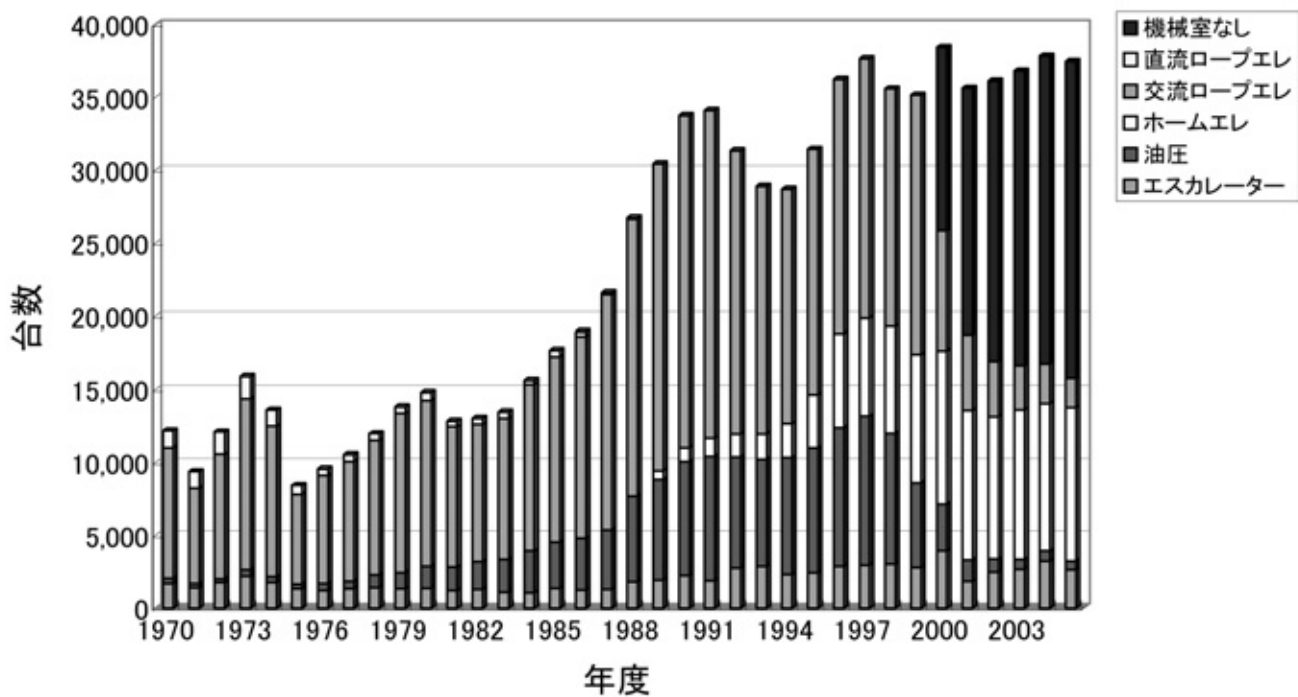


図5.2 エレベーター・エスカレーター設置台数の推移

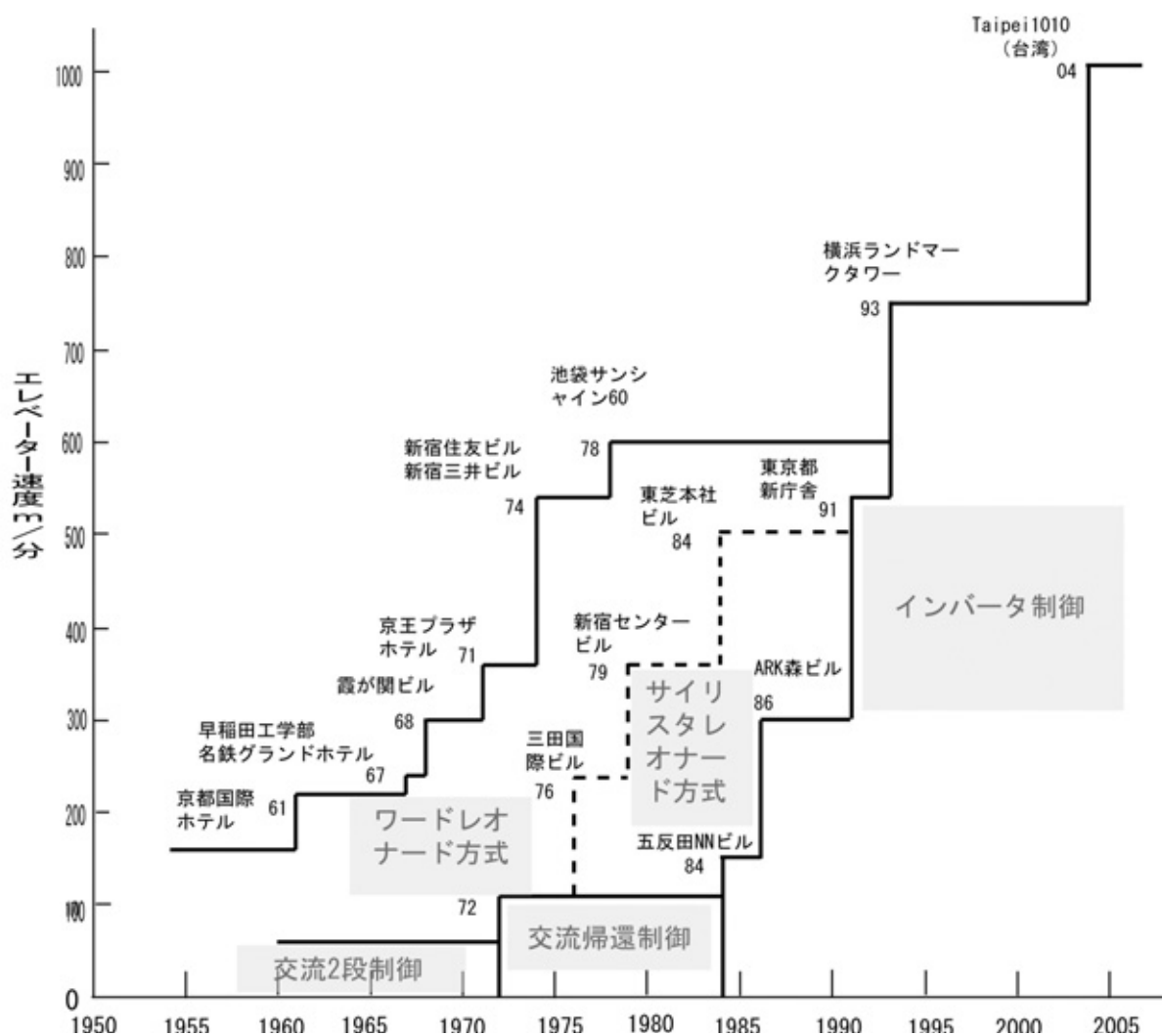


図5.3 最高速度の更新と制御方式の変遷

5.1 ビルの高層化とエレクトロニクス 幕開けの1970年代

5-1-1 社会ニーズと技術環境

この10年は、社会ニーズとして霞が関ビルに続く超高層ビル時代が進展してエレベーターの高速化、高性能化が求められ、一方で数量的に多数を占める中規模ビル向けのエレベーターの性能向上が求された。技術環境ではリニアIC、マイクロコンピュータ（以下マイコンと略す）、高耐圧大容量サイリスタなどエレクトロニクス化が進展した。

5-1-2 中低速エレベーター分野

(1) 交流帰還制御方式

1961（昭和36）年に誕生した規格形エレベーターは使い易さと経済性の良さが市場に受け入れられ、建築業界とエレベーターメーカーの双方にメリットのある機種として急速に市場に普及して、1970年には新設エレベーターの全設置台数が初めて10,468台と1万の大山を超えた年になったが、この中で交流エレベーターは8,960台でその75%以上が規格形エレベーターであった⁽²⁰⁾。当時の規格形エレベーターは速度が30～60m/min、定員が6～11人の仕様範囲をカバーしていたが、規格形エレベーターの人気の高まるに従い速度と定員の範囲拡大を望む市場ニーズが高まり、これに应运えて1970年に90m/minと105m/minの機種が追加され、定員も13人と15人が追加拡大された。

当然この速度範囲は交流エレベーターでは技術的に対応できないので、当時の高級機種とされた直流ギヤードエレベーターが採用された。しかし追加機種は着床性能と乗り心地は良好であったが、価格帯が規格形エレベーター的ではなかったために市場からの反応は冷たく、メーカーが期待したほどの成果が無く新しい研究を開始せざるを得ない状況となった。

そこで開発されたのが交流帰還制御（本来は誘導電動機を使った速度帰還制御と呼ぶべきであったが、業界では簡略して交流帰還制御と呼ぶ）であった。この方式の原型は、1946年に住宅公団向けに開発された45m/minKJ形エレベーターに使われた誘導電動機を電気ブレーキとして使った速度帰還制御方式であった。ところが、45m/minKJ形エレベーターの場合は750kg、45m/minの1機種だけを対象に経済性を優先した方式であったために、主回路構成や制御回路が簡単に作られていて制御性能に余裕が無い方式であった。

しかし速度制御の原理としては優れていたことから、メーカー各社は45～105m/minの広い速度範囲を

安定して制御できるように、交流一段速度電動機に全波整流電流を加える直流制動力、交流二段速度電動機の低速側に全波整流電流を加える直流制動力、交流一段速度電動機の一次側に逆相電圧を加える逆相制動力を発生させるなどの方式を開発して安定した制動力を発生させ、この制動力を高利得速度帰還制御回路と位置精度の高い速度指令を使って制御する交流帰還制御を実現した。

制動力の発生方式はメーカーにより異なっていたが、減速過程を制動力だけで速度帰還制御して定格速度から直線的に着床する制御原理は同じであった。

ここでは交流二段速度電動機の低速側に直流電流を流す図5.4に示す方式を例に交流帰還制御の概要を説明する。

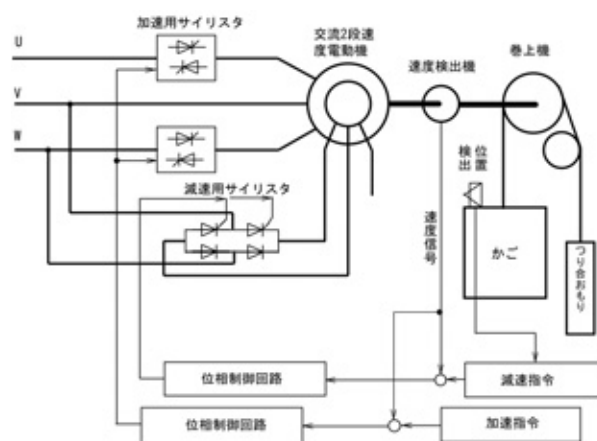


図5.4 交流帰還制御の主回路構成の一例

この例の場合、電動機は従来の交流二段制御に使われた交流二段速度電動機が使われた。制御回路は2組の加速用サイリスタにより高速側電動機を制御し、混合ブリッジに組まれた減速用サイリスタで低速側電動機の制動力を制御するように構成された。一番の特長は減速制御で、かごの位置信号から作られる速度指令と巻上機に取り付けられた速度検出機の手信号とによって、減速用サイリスタを速度帰還制御することで直線的に着床する方式であった。

図5.5は交流帰還制御の制御原理を示した速度特性図である。起動と走行は高速側電動機で運転され、目的階の手前で減速に切換えられると高速側電動機が遮断され、減速用サイリスタが低速電動機に直流電流を加えることで減速が開始される。このときエレベーターは走行時の運動エネルギーと負荷条件で決まる惰力走行運転（フリーラン）状態になるが、速度指令と速度信号を比較して速度指令に対して速度信号が大きくなった時に制動電流を増加させるように制御される。その結果エレベーターは速度指令に沿って直線的に減

速して着床する。速度指令はかご位置をベースにしたもので位置精度が高く安定していたので、速度指令に忠実に追従することで正確な着床特性が得られた。

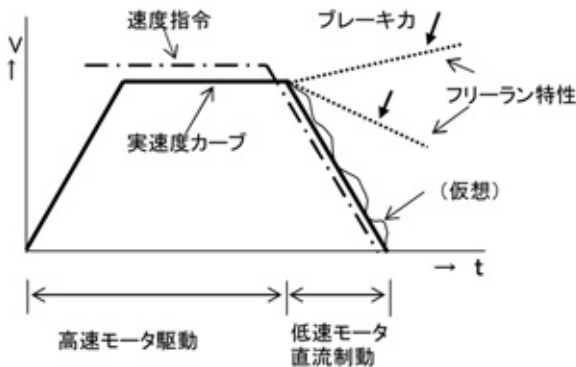


図5.5 交流帰還制御の制御原理
(ブレーキ力のみで直線的に着床する)

このように交流帰還制御は、誘導電動機を使って直流エレベーターが追及してきた運転時間に無駄の無い、理想的な速度特性を実現することができる制御方式となった。

この結果、課題であった105m/minまでの範囲を直流エレベーターによらず、誘導電動機を使った交流帰還制御で統一することができた。

そして1972（昭和47）年に、主要メーカーは、「エレベット」、「ビルエース」、「スペックⅣ」、「エレメイト」、「フジベット」などそれぞれのブランド名で交流帰還制御規格形エレベーターを一齐に発売した。同時に機械意匠関係では新しい化粧鋼板材の採用、スタンダード意匠やデラックス意匠の充実などのモデルチェンジが行われた。

発売後は交流二段制御に比べて格段に性能が向上したことで90、105m/min機種のコスト面での改善ができたことから、国内メーカーはほとんどがこの方式に移行して、数年の間に105m/min以下の交流エレベーターは交流帰還制御エレベーターに切り替わった。

(2) マイコン制御規格形エレベーター ^{(21) (22)}

1979（昭和54）年に汎用の8bitマイコンを採用したマイコン制御規格形エレベーターが発売された。

マイコンは1971年にインテル社（米）が4bitマイコンを開発したのが最初で、その後8bit、16bitと機能が逐次拡大したが、エレベーター部門では1970年代の中頃から、制御の複雑さから有接点リレーでは対応出来ない群管理制御装置に専用マイコンや制御用ミニコンなどが採用されマイコン化が始まった。しかし、汎用マイコン（以下単にマイコンと略す）を使ってエレベーター制御盤全体を対象にしたマイコン化は規格形エ

レベーターが最初となった。

当時はまだマイコンは技術的にも新しく実績も少ないことから、安全上重要な出入口の戸閉め確認回路や主回路の非常停止回路などは実績のある有接点リレー回路構成のまま残して、一般の信号回路部をマイコン化するという慎重な対応をするなど、各社はそれぞれにフェイルセーフ設計思想に基づいてシステム全体の安全性を確保した方式で製品化した。

さらに、マイコン化した部分には必要に応じて2重系化したり、作動信号と出力信号を照合診断する合理性チェック機能など安全に対する機能を多数盛り込まれた。その結果、マイコン化したエレベーターは出荷後のフィールドにおいては有接点リレー方式に比べて大幅な信頼性向上が証明された。

機能面では、戸閉め時限時間の自動調整、呼びいたずら防止回路、照明やファンの自動休止機能、不停止階選択、自動休止スケジュール、有接点リレーの廃止（90%以上）、アナログ式の階床選択機（フロアセクター）からデジタル式階床選択方式に変更など多数の新しい機能がソフト的に実現された。

制御回路全体をマイコン化したことの効果は次のようなものであった。

- (1) マイコンの高機能を使って乗客サービスと安全性が向上
- (2) 建物の用途、目的に合わせて選択可能なオプション仕様が充実拡大
- (3) 運転効率の向上と省エネルギー化
- (4) 制御機器の小形標準化
- (5) 故障低減と保全性の向上

1979（昭和54）年、フジテックと日立がマイコン制御規格形エレベーターを扇屋ビル（京都）、三晃商会（名古屋）、高岡ビル（東京）などに納入して、その後一齐に市場に納入され普及した（図5.6）。

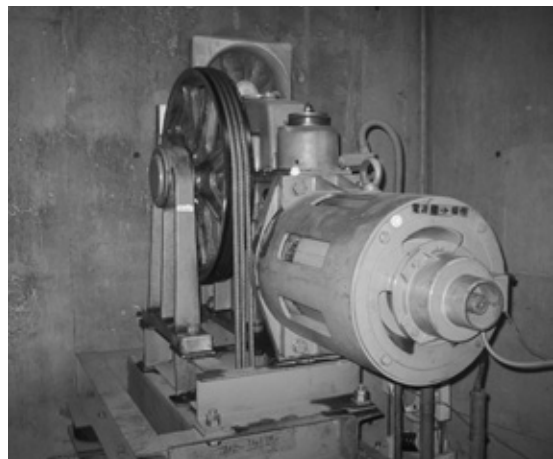


図5.6 高岡ビルのマイコン制御規格形エレベーター

5-1-3 高速エレベーター分野

(1) サイリスタレオナード方式⁽²³⁾⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾

1970年代になると大容量・高耐圧のサイリスタが普及してきたことから、これを使って大容量のサイリスタコンバータが他の産業分野で実用されるようになった。サイリスタコンバータは三相交流から任意の直流電流を発生できるので、これを使って直流電動機を制御するサイリスタレオナード方式が高速エレベーター制御用に開発された。

サイリスタレオナード方式をエレベーター制御に使用する試みは1967年頃には現れたが、実際に製品が使われたのは1975年以降であった。サイリスタレオナード方式の回路構成には幾つかの方式があるが、実用化されたのは2組のサイリスタコンバータを使う図5.7の無循環電流（主回路切換）方式とサイリスタコンバータ1組の図5.8の界磁切換方式であった。

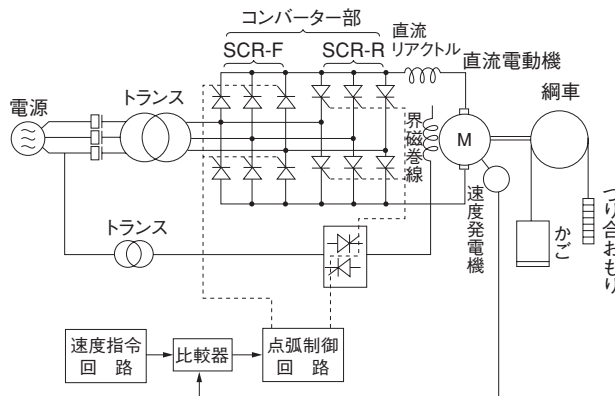


図5.7 サイリスタレオナード方式の主回路（無循環電流式）

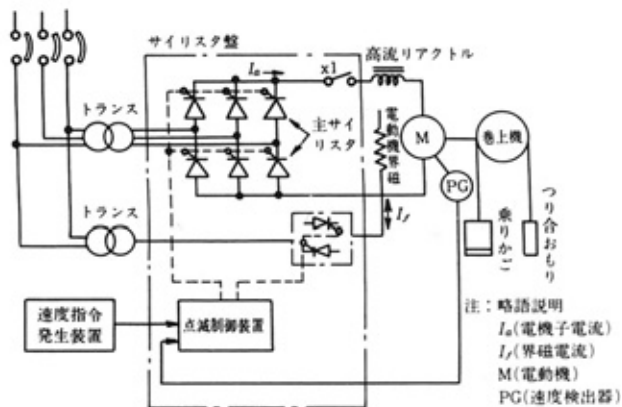


図5.8 サイリスタレオナード方式の主回路（界磁切換式）

ワードレオナード方式では電動発電機界磁電流を制御して出力電圧を変化させるが、サイリスタレオナード方式ではサイリスタの点弧位相を変えることで出力電圧を制御する。

例えば図5.7の無循環電流方式を例に説明すると、2

組のサイリスタコンバータが逆並列に組み合わせてあり、運転状況に応じて正負の電流が直流電動機に与えられるので、従来のワードレオナード方式の電動発電機の機能を静止回路機器で実現できた。

サイリスタレオナード方式では、制御時のサイリスタの位相制御に伴う高調波電流が発生したり、電流制御に伴うトルク脈動問題などがあるために、高調波抑制のリアクトルやリップル電流吸収回路などが必要になったが、反面これまでの電動発電機関係のブラシやコミュテータの保守が不要となり、設置のスペースも大きく節減されたほかに大幅な省電力効果が得られた。

ワードレオナード方式の場合には、エレベーター運転時の消費電力の31%程度が電動発電機部の消費電力であったが、サイリスタレオナード方式化すると電力変換部分での損失は6%程度になり、25%の省電力効果が得られた。さらに停止中のエレベーターが起動するときに電動発電機の起動操作がないので即時起動が可能になりサービスが向上したり、電動発電機騒音がなくなるなどのメリットがあり開発時点では、次世代の高速エレベーターの制御方式はサイリスタレオナード方式に置き換わると期待された。

サイリスタレオナード方式エレベーターの主な納入実績は以下のようなものであった。

1975（昭和50）年に、三菱電機が三田国際ビルに国内初のサイリスタレオナード方式240m/minエレベーターを納入した。

1979～1980年にかけて、新宿センタービルに360m/minエレベーター、第一勧業銀行本店ビルに300m/minエレベーターなど次々にサイリスタレオナード方式の超高速エレベーターがそれぞれのメーカーによって納入された。

1984（昭和59）年に、東芝本社ビルにサイリスタレオナード方式として最速記録となる480m/minエレベーターが設置された。

(2) 540m/minから600m/minへ速度記録の更新

1968年の霞が関ビルの完成後は東京都を中心に100m以上の超高層ビルが次々に建設され、それに合わせて、エレベーターの高速度化が進んだ。

1970（昭和45）年、世界貿易センタービル（東京）に300m/minエレベーターが、続いて京王プラザホテル（東京）に360m/minエレベーターが三菱電機と日立の2社により併設納入された。

1974（昭和49）年、新宿住友ビル（高さ200m）、新宿三井ビル（高さ212m）が相次いで完成してビルの高さがはじめて200mを超えた。この2つのビルには、

1969年にシアーズタワーセンター（シカゴ市）で記録された世界最高速度タイとなる、540m/min超高速エレベーターを、三菱電機と日立が納入した。

超高速エレベーターにおける機械技術の主要課題は、速度の2乗に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、風速の約6乗に比例して増大するとされる騒音防止、高速走行にともなうかごの横揺れ防止の3点であった。

速度の2乗で増大する非常停止時の運動エネルギーを確実に吸収できる非常止め装置の性能はエレベーターの安全の基本であるので、特に重要な技術課題であった。非常止め装置の制動子（シューとも呼ぶ）面はレールとの摩擦力で落下時の運動エネルギーを吸収するので超高速になると非常止め動作時の制動子表面は数百度にも及ぶ高温になり、その状態で安定した制動力を保つ技術が必要となるために材質、形状、表面加工方法などが研究され、性能は実落下試験を繰り返して確認された。

風速による騒音は、かご周囲の空気乱流とかご構造物の風きり音によるので、これらを防止する整風ガイドとかごの外周を覆う流線型のカプセル構造が採用され、速度が上昇するたびに改良工夫された。

走行時のかごの横揺れ防止は、ガイドレールの精度良い据付技術が基本となり、これ加えて吸振性の高いガイドローラ構造の開発が必要となった。吸振性を良好にするためには、ローラ径を大きくしさらに支持部にはバネとダンパー装置を取り付けて吸振性の高い構造が開発された。

これらの超高速エレベーターにおける機械系の技術開発は300m/minエレベーターの開発から始まり、1974年に540m/min超高速エレベーターが完成するまでの間に基本的な技術がほぼ確立された。

1978年、東京・池袋のサンシャイン60ビル（高さ226m）に三菱電機が600m/min超々高速エレベーターを設置した。これは国内はもちろん、海外を含めて乗用エレベーターの最高速度記録となった。三菱電機は600m/minエレベーターのために専用のガイドローラ、かご構造、非常止め装置、油入り緩衝機を新しく開発して対応したと言われ、これらの研究成果により、世界最速の600m/minエレベーターでありながら、極めて高い水準の乗り心地性能を実現した（図5.9）⁽¹³⁾。

同78年、新宿野村ビル（高さ203m）が、1979年に新宿センタービル（高さ216m）が相次いで建設されて、それぞれに540m/minエレベーターと420m/minエレベーターが納入されて新宿副都心は日本でも超高層ビルが一番に集中した地域となった。



図5.9 600m/min超々高速エレベーターが納入されたサンシャイン60

5-1-4 群管理制御

(1) パターン選択方式

ビルの高層化・大型化が進むと必然的に多数のエレベーターが必要になり、これらを全体システムとして効率よく運行制御することがますます重要になり、エレベーターの群管理制御が発展した。

ビル内のエレベーター利用者の時刻変動を調べると、ビルの規模、用途、テナントの違いなどからそのビル特有の交通需要のパターンを示す（図5.10）。そこで、この交通需要の特長を捉えてそれぞれに最も良く適合するエレベーターの運行パターンを幾つかに分類して予め準備しておき、状況に応じて最適パターンを採用することで運行効率を高めたのがパターン選択方式群管理制御である。

少し時代はさかのぼるが、このパターン選択方式は

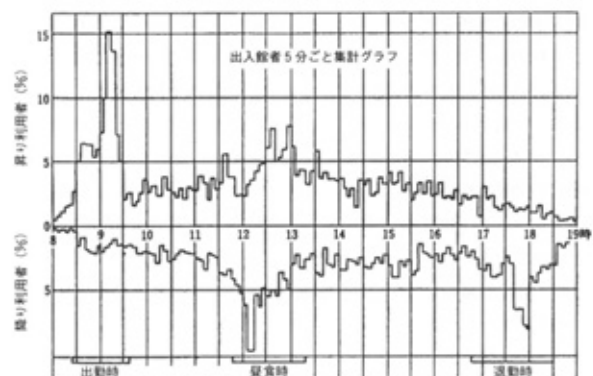


図5.10 エレベーター利用者の時刻変動

1948年にオーチス（米）が開発してオートトロニックの名称で製品化したものが始まりであり、この情報は戦後の日本に文献を通じて伝えられて、三菱電機のASP方式（1957年）や日立のATP方式（1958年）などと呼ばれた群管理制御につながった^{(26) (27) (28)}。

しかし本格的な群管理制御は1959（昭和34）年に、東洋オーチスが新三井ビル（大阪中ノ島）に納入したオートトロニック群管理制御が最初となった。

この群管理制御では電子管を使った電子計算機が採用されて乗り場呼び数の計算、待ち時間の集計、基準階における出発時間間隔の調整が行われた。また電動戸開閉装置やロードウェィングデバイス（Load Weighing Device かご内荷重測定装置）を採用して、これらの情報をビル内交通情報として集めて利用し

て、エレベーター呼びの発生状況に応じて準備された運行パターンを自動選択するものであった（表5.1）⁽⁴⁾。

これらの技術はオートトロニック群管理制御で初めて使われたものであるが、その後国内のメーカーもすぐに当時の群管理制御に類似の機能を盛り込み、この方式に追従した。

その後パターン選択方式に、ビルの階床を幾つかのサービスゾーンに区分してそのゾーンごとにサービスエレベーターを配置する「ゾーン呼び割当」方式と組み合わせでよりきめの細かい制御方式が採用された。

パターン選択方式の基本は、エレベーターを均等に配置することで結果として乗客の待ち時間を短縮できると考える「エレベーター均等配置」理論とも呼ぶことができる。

表5.1 パターン選択方式のパターンの1例

パターン名称	パターンの特徴と機能
ベーシック	利用者が少なく、呼びに対しては、グループ中の1台が応答し、さらに呼びがあると一定時間後に次のエレベーターが基準階からスタートする
バランス	上方、下方の両基準階出発方式として、上下両方向のエレベーターをバランスさせる
アップピーク	朝のラッシュ時にエレベーターを下方基準階に集中。出発時間がきても下方基準階に1台もエレベーターがいないとき、下降しているエレベーターは乗り場呼びを無視して下方基準階に急行する
ダウンピーク	夕方の退館のラッシュ時には、上方基準階がエレベーターの出発階となり、下方基準階に到着したエレベーターは、直ちに反転、待ち時間なしに上方向に出発する

この時期の主な納入事例は以下のようなものであった。

1960年、関電本社ビル（大阪）に全自動群管理制御エレベーターが設置された。

1968年、霞が関ビルにパターン選択と分割急行方式（エレベーターグループごとに急行不停止階区間を設定する方式）を組み合わせた全自動群管理制御エレベーターが設置された。

1970年、世界貿易センタービル（東京）に群管理制御部をIC化した全自動群管理制御エレベーターが設置された。

(2) 個別呼び割当方式と即時予約灯

パターン選択方式はその後にも次第にきめ細かくパターンを分けて、エレベーターの運行間隔を均等化するように努力が続けられた。しかし最適パターンに従って出発時間を制御しても、一度エレベーターが出発すると、エレベーターは飛び越し通過すること無く、呼びに近いエレベーターが順次応答することになるので、必然的にエレベーターは一群になって運転するこ

とは避けられなかった。

1975年頃になると群管理制御に制御用ミニコン、専用マイコンなどと呼ぶコンピュータが使用されるようになり、やがてこれらは16bitマイコン、32bitマイコンへと発展した。

これらのマイコン機能を使うと高度な数値演算が可能となることから、ホール呼びに対して待ち時間を直接に予測演算してその結果を基にサービスすべきエレベーター号機を決める「個別呼び割当方式」が開発された。それまでのパターン選択方式を「エレベーター均等配置化」理論と呼ぶならば、新しい方式は「待ち時間均等化」理論と呼ぶものであった。

予測待ち時間は、エレベーターのリアルタイムの状況をモニターして、すでに発生している呼びばかりでなく、将来発生するであろう呼びの状況まで加味して計算された。その結果に基づき、ビル全体としてエレベーター効率を最適化するためのサービスエレベーターを選択して、呼びに対して飛び越し通過を認め、待ち時間を均等化することが出来るものであった。

予測待ち時間の計算は、マイコン機能の進歩と予測

計算理論の改良により、呼びができると殆んど瞬時にサービスエレベーターを決定できたので、ホール呼びが発生すると即時にサービスエレベーターを示す即時予約灯を点灯できるようになった。これまでも複数のエレベーター中からサービスエレベーターの到着を知らせる到着予報灯はあったが、多くはサービスエレベーターの決定に時間がかかり、場合によってはエレベーターが減速過程に入ってから初めて到着予報灯を点灯するものであったから、この即時予約灯方式は心理的に安心感を与え、余裕を持ってエレベーターを待つことができると市場から大いに歓迎され個別呼び割当方式の群管理制御ではすべてに採用されるようになった⁽²⁹⁾。

この時期の主な納入物件は以下のようなものがあった。

1972（昭和47）年、日立はNHK放送センタービルにICロジックを使って国内で初めて即時予約灯つき全自動群管理制御エレベーターを設置した。ただし内容は個別呼び割当理論ではなくて、特殊ゾーン呼び割当理論で即時にサービスエレベーターを決定し予約灯を点灯する方式であった（図5.11）。



図5.11 建設中のNHK放送センタービル

1978年、東芝は新宿野村ビルに専用マイコンを使った個別呼び割当方式の群管理制御エレベーターを納入した。

1979年、新宿センタービルには個別呼び割当方式で即時予約灯つきの全自動群管理制御エレベーターと心理的待ち時間評価方式を取り入れた全自動群管理制御エレベーターの2つの方式が設置された。

同79年、大阪住友信託銀行（千里ニュータウン）に心理的待ち時間評価方式を取り入れた個別呼び割当方式の全自動群管理制御エレベーターが設置された。

5-1-5 その他の技術成果

この時期に達成されたその他の技術成果を記す。

1970（昭和45）年、三菱電機が本格的な展望用エレベーターを渋谷東急百貨店本店に納入。この後、デパート、飲食店、レジャービルなどに展望用は多数納入されるようになった。

1972（昭和47）年、第22興和ビル（東京）と大林ビル（大阪）に国内で初めてダブルデッキエレベーターを日立と三菱電機がそれぞれに納入した。ダブルデッキエレベーターはかごが2階建てになっていて、同一昇降路内にエレベーターを2台設置したものに近い機能を持つことから輸送能力がおおよそ1.8倍になり昇降路を増やさずに大量輸送ができる効果が得られる事から、米国などでは実績のあるものであった。

1973（昭和48）年、三菱電機が宝組勝島第二倉庫に30t大容量荷物用エレベーターを設置した。トラクション式では日本最大容量となる記録品であった。

5.2 マイコン技術の定着とインバータ制御の1980年代

5-2-1 社会ニーズと技術環境

この10年は、社会ニーズとしてビルの高層化・高級化がさらに進む一方で、身近な中層集合住宅や個人住宅を対象としたバリアフリーなど高齢化・福祉化社会への対応が求められ、技術面ではマイコンが16bit化されあらゆる制御に導入され、リレーシーケンスでは困難で複雑な高度制御を実現したり、パワーエレクトロニクスとの融合によるインバータ制御が一般産業界で実用化された。

5-2-2 中低速エレベーター分野

(1) インバータ制御規格形エレベーター^{(30) (34) (60)}

この時期の規格形エレベーターは、1979年にマイコン制御化、1982年に機械意匠関係のモデルチェンジがあり、交流帰還制御の効率の良い運転特性と充実した意匠性が評価されてエレベーター市場においてますます主要な機種となった。

1980年代になると、マイコン技術とパワーエレクトロニクスを組み合わせた汎用インバータが一般産業界で普及してきた。この動きを受けてエレベーターの分野でもインバータ制御化の研究が開始された。そして、1985（昭和60）年に各社はほぼ同時に汎用インバータ用開発されたパワーエレクトロニクスを使ったインバータ制御規格形エレベーターを発売した。

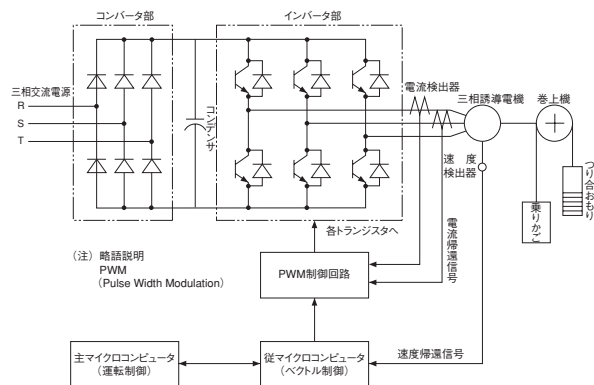


図5.12 インバータ制御規格形エレベーターの主回路

インバータ制御規格形エレベーターの主回路構成を図5.12に示したが、インバータ制御は、電圧と周波数を連続的に制御できるため、従来の交流エレベーターが抱えていた低力率、大電流制御過程を高力率・小電流制御に改善でき、無効電力の低減による電源設備容量の低減と誘導電動機の回転子損失（二次損失）の大幅な低減が出来た。特に交流帰還制御では減速時の制動エネルギーが電動機回転子の二次損失として消費されることから、交通量の多い中規模ビルで高い起動頻度で使用されると、電動機の過熱問題がしばしば発生することがあったので、電動機の発熱損失がもっとも少ないインバータ制御はこの問題の解決策ともなった。

また当時、低騒音のヘリカルギヤ減速機が開発され適用された事もあり大きな省エネ効果を実現した。例えば、図5.13は60m/minエレベーターでの消費電力の様子をインバータ制御と交流帰還制御を比較して示したものであるが、加速時の低力率大電流の損失と減速時の損失が改善されている。この結果、交流帰還制御に比べてインバータ制御エレベーターの平均消費電力は約50%の省電力効果が実現された⁽³⁰⁾。

さらに、インバータ制御では制御性の優れたベクトル制御が採用されて従来の直流電動機並みの精度の高いトルク制御が可能になり、これ加えて16bitマイコンを使い正確で円滑な速度制御が可能になり、エレベーター性能と信頼性は一層向上した。

この当時、規格形エレベーターでは交流帰還制御が定着していて誘導電動機を使った速度帰還制御技術が確立していたことと、マイコンが導入されて高速高精度な制御技術が定着していたから、インバータ制御の受入れのための技術環境が整っていた。この様子はまるで速度帰還技術とマイコン技術と言う2人の脇役がいまや遅しと待っている晴れ舞台に、千両役者のインバータ制御が見栄を切って登場したような観があった。誘導電動機にとって周波数制御は理想的な制御方式であり、これに比べ電動機をブレーキと兼用する交

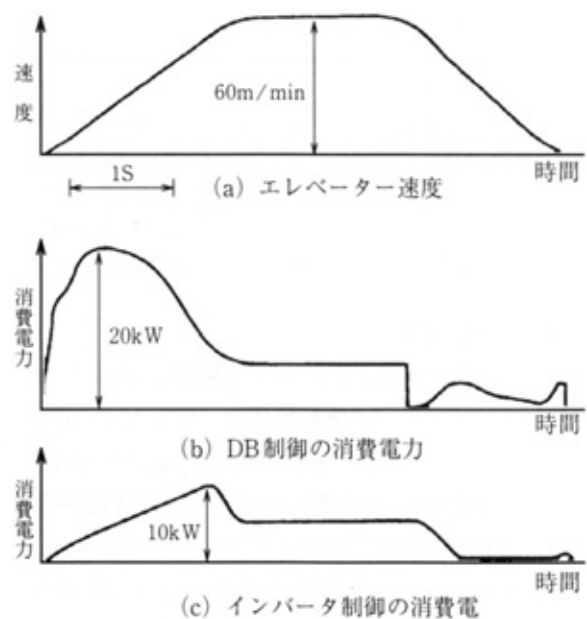


図5.13 交流帰還制御とインバータ制御の消費電力の比較（全負荷上昇時）

流帰還制御は特殊であり無理があったので、インバータ制御はある意味で技術的な必然であったと言える。このため、日本では他国では例を見ない速さと広がりをもって、中低速エレベーターのインバータ制御化が進展した。

インバータ制御規格形エレベーターは1984年から市場に現れはじめ、初期の物件としては東芝、三菱電機、日立がコクヨ本社ビル（大阪）、上智麹町ビル（東京）、坂田ビル（東京）などに納入して、その後一斉に市場に普及した。

(2) 中層集合住宅用エレベーター⁽¹⁴⁾

エレベーター市場の下位マーケットを対象としてスタートした規格形エレベーターは、約20年の間に2～3年の間隔で行われたモデルチェンジを通じて、性能や仕様、意匠デザインの高級化が進み、中上位のマーケット対応の機種に変身してしまった。しかし、3～5階建の低・中層ビルの建築棟数は3,000棟/月にも及び、その70%以上は住宅用であるが主として経済的理由からエレベーターの設置率は10%程度と低く、集合住宅の増加、高齢化社会の到来などを考えるとこれらの市場ニーズに応えるエレベーターが強く求められるようになり、これに応えた2つの機種がこの時期に誕生した。

最初に開発されたのは、4人乗り30m/minの中層集合住宅用エレベーターであった。この機種は小形、省スペース、低維持費と言う市場ニーズに応えるために、定員4人、頂部の機械室なし、単純構造を基本に開発された。構造は、つり合おもりが不要で単純な構造の

巻胴式を採用し、駆動機構は昇降路の下部に設置するベースメントタイプとすることで頂部機械室を無くし、頂部にかかる荷重はガイドレールで負担する構造として、建築物の高さ制限に対応しやすく建物の負担荷重も小さい中層集合住宅にふさわしい構造であった（図5.14）。

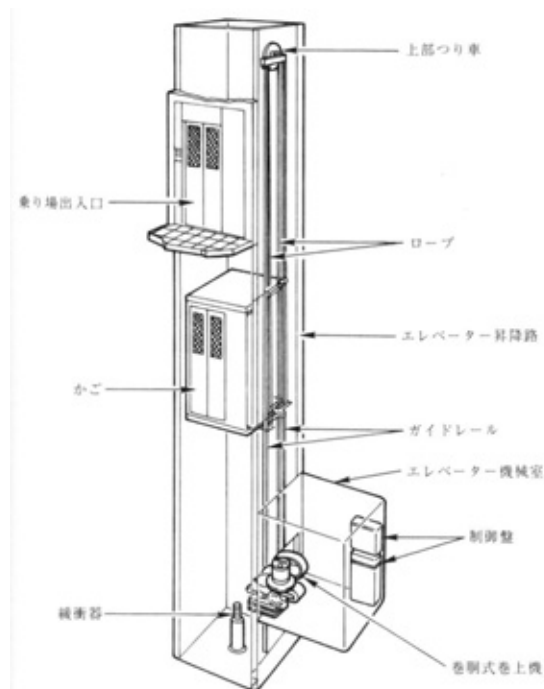


図5.14 中層集合住宅用エレベーターの構造

また、定格速度は50Hz地区が25m/min、60Hz地区が30m/minとして生産の合理化を図った。この結果、当時の規格形の最小機種である6人乗り45m/minエレベーター（型式R-6-2S45）に対して昇降路面積は3/4に機械室の大きさは約1/5に縮小した実用機となった。

この機種は各社から1983（昭和58）年に、「コンパクト4」、「ファミリーエース」、「スペックJr」、「エレメイト・ミニ」などの製品名で発売された。

(3) ホームエレベーターの誕生^{(32) (33)}

1987年に建築基準法施行令の改訂によって木造三階建ての個人住宅の建築が可能になったことから、4人乗り30m/minの中層集合住宅用エレベーターに比べて、さらに小形で2～3階床に使える経済性の高い個人住宅専用エレベーターすなわち「ホームエレベーター」のニーズが高まってきた。このため各メーカーは再びさらに一段と小形化したエレベーターの開発に取り組んだ。

ホームエレベーターでは積載量200kg以下、12m/min以下に規定することで各種の法的規制が緩和され、かごの小形軽量化、巻上機の小型化が可能となり、このことから駆動装置を昇降路内に設置することが認められ、機械室なし構造のホームエレベーターが実現した。

駆動機構は、メーカーによって異なり、巻胴式、トラクション式、油圧式などが採用され、巻上機はピット（昇降路底部）やオーバーヘッド（頂部の空間）に設置して、制御装置も昇降路内に設置する構造が開発された。この構造は昇降路の高さを家屋の最上階とほぼ同じにすることが出来るので、構造的に上部機械室が設置できない個人住宅でも容易に設置できる物であった。そして低価格、低維持費を実現したことで購入者の負担を大幅に軽減した機種となった。

1988年に、各社からロープ式や油圧式などそれぞれの構造のホームエレベーターがほぼ一斉に発売された（図5.15）。

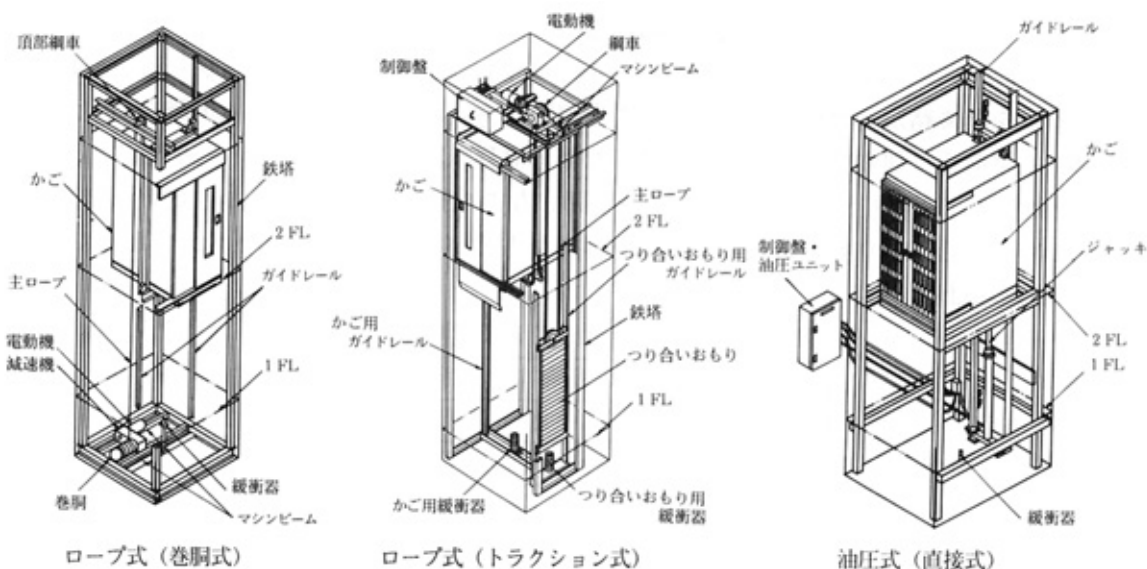


図5.15 ホームエレベーター各種の構造

ホームエレベーター出現はこれまでエレベーターの設置がほとんど無かった2～3階床の個人住宅の新しいエレベーター市場を開拓出来たので、設置台数の全国統計を取り始めた1989年には598台の設置に対して、2000年は10,449台、2002年は8,764台と急増して、エレベーター市場の中で新しい主力機種となった。

5-2-3 高速エレベーター分野

(1) 高速エレベーターのインバータ制御^{(34) (35)}

1980年代初めの高速エレベーターでは、電力変換部を半導体化したサイリスタレオナード方式の拡大が進行中であった。しかし、一般産業界ではサイリスタに比べて使いやすい大容量・高耐圧のパワートランジスタが次々と開発されて、大容量電動機の制御にパワートランジスタを使ったインバータ制御が普及しつつあった。この動きを受けて高速エレベーター制御にもインバータ制御が採用されるようになった。

1984年、三菱電機はサイリスタで構成したコンバータ部とパワートランジスタで構成したインバータ部からなるインバータ装置を使って世界に先駆けて150m/minインバータ制御高速エレベーターを開発して五反田NNビル（東京）に納入した（図5.16）。

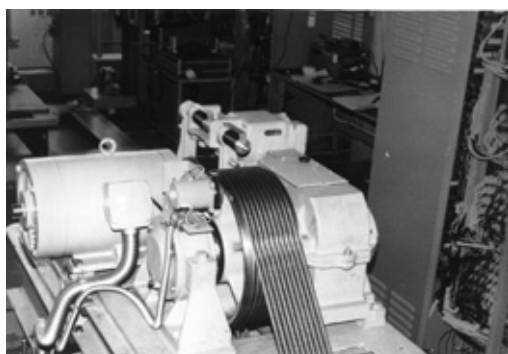


図5.16 150m/minインバータ制御高速エレベーターの巻上機

1985年、東芝はコンバータ部とインバータ部を共にパワートランジスタを使ったインバータ装置を使った120m/minインバータ制御高速ギヤレスエレベーターを東邦ガス総合技術研究所（東海市）に納入した（図5.17）。その後各社がこれに追従して日本におけるインバータ制御高速エレベーターの時代がはじまった。

高速エレベーターをインバータ制御化する場合、微速度から定格速度まで精密に制御する技術、誘導電動機を円滑に静粛に運転する技術、減速制御時や全負荷下降運転時の電力回生制御など高度な技術開発が必要となった。

誘導電動機を使って微速度から定格速度まで精密に制御する技術は周波数制御だけでは難しく、特に微速



図5.17 120m/minインバータ制御高速ギヤレスエレベーターの巻上機

度での正確なトルク制御は、円滑で正確な着床特性実現やかご停止時にも発生する乗客の乗り降りによるかご床面上下移動に対する微速度補正運転など高速エレベーター特有な制御を実現するために重要な技術であったが、ベクトル制御技術とマイコンを使ったデジタル制御技術によって初めて解決された。

ベクトル制御は、誘導電動機の一次電流を、界磁を発生する界磁電流成分とトルクを発生するトルク電流成分に分けて、界磁電流成分を一定に保ちながらトルク電流成分のみを独立して制御できるので、直流電動機のように正確なトルク制御ができる技術で、これは一次電流の瞬時値制御が可能になって初めて実用化された。

また、誘導電動機を円滑で静粛に運転する技術は、インバータの出力をPWM（Pulse Width Modulation パルス幅変調）制御して良好な正弦波三相交流波形にすること、低騒音設計電動機の開発、ベクトル制御などによって解決された。

また高速エレベーターの場合は、減速制御時や全負荷下降運転時などのマイナス負荷条件時に大きな電力回生が発生するため、コンバータ部は電力回生機能を持ったコンバータが必要となり、サイリスタコンバータやトランジスタコンバータが使われた。サイリスタコンバータに比べて、トランジスタコンバータでは電源側に対してもPMW制御を使えることと力率を1に制御できる長所があり、初期のもの以外は全てトランジスタコンバータの方式が使用された（図5.18）。

これらの技術によって、インバータ制御では誘導電動機を使って速度制御の全領域にわたり高効率・高力率で運転することが可能になり、サイリスタレオナード方式に比べて一層の省エネルギー効果（約10%）と電源設備容量低減（約30%）が可能となった。さらに、誘導電動機は直流電動機に比べ構造が簡単で保守が容易となるなどの長所もあることから、これまで直流エ

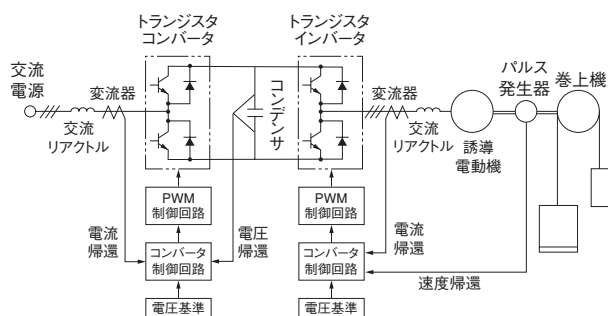


図5.18 インバータ制御高速エレベーターの主回路（電圧形）

エレベーターの牙城とされていた高速エレベーターの領域はすべて誘導電動機を使ったインバータ制御へと切替った。

1985（昭和60）年、中国電力本社ビルに電流形インバータ制御180m/minエレベーターが納入され、高速エレベーターの分野では電圧形インバータと電流形インバータの2種類が存在することになった⁽⁴⁸⁾。

1986（昭和61）年、300m/minインバータ制御超高速エレベーターがARK森ビル（赤坂六本木地区市街地再開発計画）に納入された

1989（平成元）年、新川崎三井ビルに300m/minインバータ制御超高速エレベーターが納入された。

これらの結果、インバータ制御製品が現れた1985年に全国で年間420台設置された直流エレベーターは5年後の1990年に全国で23台、1995年には僅か6台が設置されただけとなり、1929年にわが国に初めて直流ギヤレスエレベーターが輸入されて以来、高級エレベーターの代名詞でもあった直流エレベーターはほぼすべてインバータ制御の交流エレベーターに切り替り、直流エレベーターの時代が終わった（図5.19）。

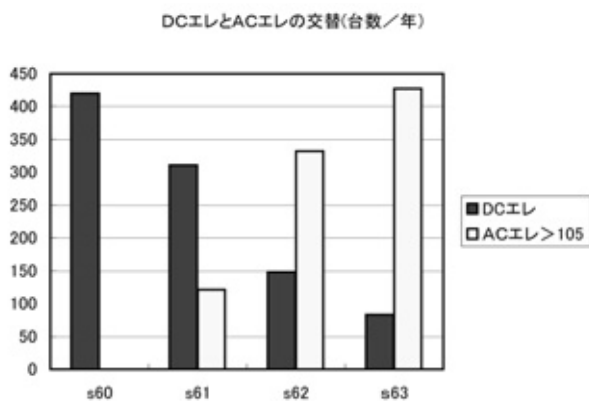


図5.19 インバータ制御の出現による直流エレベーターと交流エレベーターの交代（105m/min超える機種対象）

(2) 高効率・低騒音ヘリカルギヤ減速機⁽³⁶⁾

特に円滑な乗り心地と運転時の静粛性が求められた高速エレベーター分野では従来から直流ギヤレス式が主流であった。しかし1980年代に歯車設計技術と加工技術の進歩により騒音の少ないヘリカルギヤ（はす歯）減速機が実用化され、インバータ制御化と同期して240m/min以下の高速エレベーターに採用された。

エレベーターの巻上機に減速機を使うと電動機回転数を高くできるので電動機を小形にできるほか、速度制御時の等価慣性モーメントが小さく出来ることで制御が安定するなどの利点があり、従来から低騒音の高性能歯車減速機が検討されてきた。

その結果、歯車の非線形ねじり振動シミュレーションなどのコンピュータ解析など新しい設計技術を使うことで噛み合い時の歯車の挙動が明らかになり、ヘリカルギヤ減速機の低騒音化が可能になり240m/min以下の高速エレベーターに使用されるようになった（図5.20）。またコンピュータによる振動シミュレーション技術は、振動・騒音の伝達系の全体解析を可能にして、振動・騒音の伝達しにくい構造設計が可能になったために、従来に比べて軽量化したかご構造を採用しても問題のない性能が得られるようになった。

ヘリカルギヤを使った初期の納入先の例としては、五反田NNの150m/min、中国電力本館（広島）の180m/min、ARK森ビルの240m/minなどのインバータ制御高速エレベーターが挙げられる。

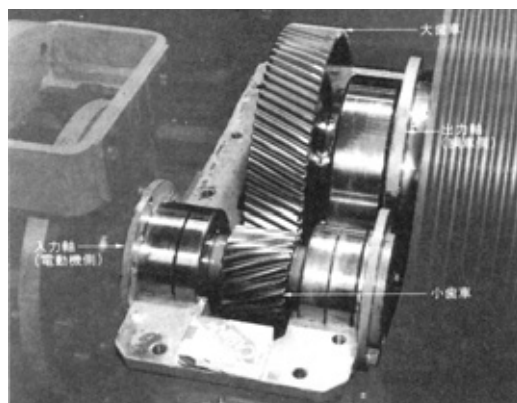


図5.20 高精度加工された240m/min用ヘリカルギヤ減速機

5-2-4 群管理制御

1970年代に開発された「個別呼び割当方式」群管理制御は、呼び応答時間をリアルタイムでかつ直接的に待ち時間を予測演算して適切なサービスエレベーターを決定する点で、それまでの方式と一線を画す群管理制御であった。しかし予測演算は、エレベーターが呼びに応答するまでに発生する新しい呼びの数、発生階

床、人数など多くの条件を予測することで行われるものであるから、制御結果はこの予測演算の精度の良否に依存していた。

このため、1980年代に入ると16bitマイコンの高い能力を生かして予測演算の精度をいかに高めるかが開発のテーマとなり、最初に出現したのが「学習機能付き群管理制御」であった。この方式はエレベーター納入後のビルにおける、時々刻々に変化する乗り場呼び、乗客数、乗降人数などの実稼動状態を収集して、曜日、時間帯、階床などの単位で集計分析して評価パラメータとして記憶しておき、予測演算時にはこれらをそのビル固有の特長パラメータとして、状況に応じて使い分けることで予測演算精度を高めたものであった。

これによりエレベーター納入後においても予測演算の諸条件をそのビルに最適化することが自動的にできるようになり精度の良い群管理制御ができるようになった。

この時代の主な納入実績を示す。

1982年に近鉄堂島ビル（大阪）に、1983年に東京ガス浜松町ビルに、1984年に東芝本社ビルと銀泉心斎橋ビル（大阪）に、それぞれ学習機能付き群管理制御エレベーターが設置された。

5.3 超々高速度と省エネ・省スペースの1990年以降

5-3-1 社会ニーズと技術環境

この10年は、社会ニーズとして超高速エレベーターはより高速化・大容量化が求められ、規格形を含む中低速エレベーターはよりコンパクトに使い易い機種が求められた。技術面では電気・機械ともに高効率・省エネ・省スペースが要求された。

5-3-2 中低速エレベーター分野

(1) リニアモータエレベーター⁽⁴⁾

1990（平成2）年に日本オーチスはつり合おりにリニアモータ（Linear Induction Motor 略してLIM）を取り付けたリニアモータエレベーターを世界で初めて製品化して国内に設置した。リニアモータで駆動力を発生することから、昇降路の頂部には自由に回転するプーリを設置して、かごとつり合おりをつるべ式に構成するだけで良いことから、頂部の機械室がない構造とする事ができた。

リニアモータは円筒状の一次側と、この一次側を貫通するカラムと呼ぶ金属柱（二次側導体）から構成されていて、昇降路内の全長に亘って設置されたカラムに沿ってリニアモータが上下に動くことで、エレベーターのかごを駆動する方式であった（図5.21、図5.22）。

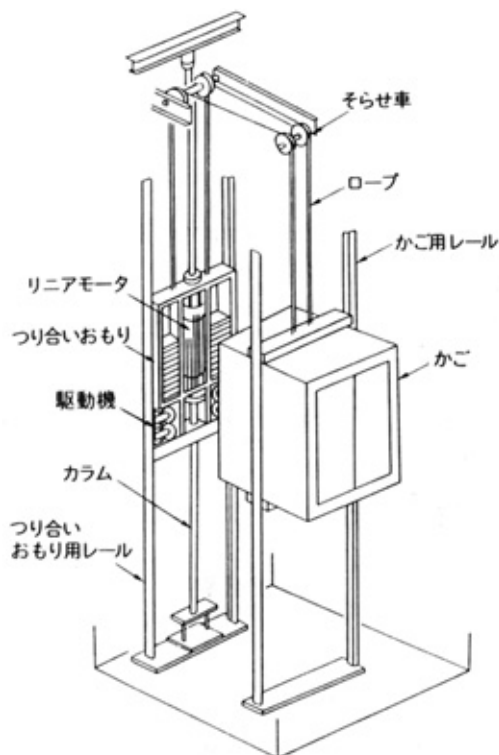


図5.21 リニアモータエレベーターの構造



図5.22 つり合おりに組込まれたリニアモータ部とカラム（中央の円柱）

これにより機械室に相当する部分はプーリのみとなりこの部分の寸法が短縮できるので、昇降路全長が大幅に短縮された省スペース性がセールスポイントになった。

リニアモータエレベーターの出現は2つの点で業界に大きな反響を呼んだ。1つはエレベーターにリニアモータを使うコンセプトは1960年代からあったにもかかわらず、実用化されたのはこのときが初めてであったこと。2つ目は、中層集合住宅用の小形エレベーターやホームエレベーターだけが低速度・小形であるという理由で可能であった頂部の機械室なし構造が一般のエレベーターにおいても実現できる方式が出現し

たことであった。

当然、他のメーカー各社はこれに対抗するリニアモーターエレベーターの開発を開始したが、リニアモーターエレベーターを実際に製品化したのは日本オーチスだけであった。理由はその後、東芝がトラクション式の機械室なしエレベーターを発表し画期的な省スペース構造を実現したからであった。

(2) 機械室なしエレベーター (37) (38) (39)

1998 (平成10) 年に東芝は国内で初めてトラクション式の機械室なし (マシンルームレス、MRLとも呼ぶ) 規格形エレベーターを発売した。発表された機械室なしの仕様範囲は当初は60m/min以下の低速機種に限られていたが、トラクション式はリニアモーター式に比べて駆動部分が経済的に製作でき、行程長の制約も無く、従来技術の範囲内で据付工事ができるなど長所があったから、機械室なし規格形エレベーターの発売は業界に強い衝撃を与えた。

東芝が開発した機械室なしエレベーターの全体構成は図5.23に示したように、巻上機は2:1ローピングのギヤレスマシンで昇降路内の頂部に近い部分のエレベーターレールに取り付けられ、巻上機のシーブを介してつり合いおもりとかごはロープで連結され、ギヤレスマシンはインバータで制御された。巻上機とロープピッチ (ロープ終端留部) など荷重は全てレールに負担させ建物には荷重がかからない構造で、その他の機器も昇降路内に収納された機械室がない構造であった。

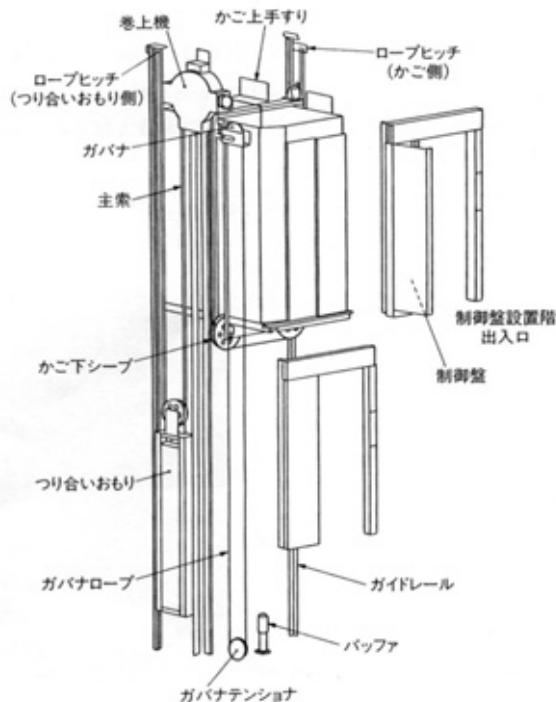


図5.23 機械室なしエレベーターの構造
(巻上機は昇降路の上部に設置)

大きな技術的特長の一つは永久磁石を使った薄型扁平の同期電動機を使ったギヤレスマシンであった。従来、交流エレベーターでは電動機回転数とエレベーター速度の関係から減速機を使うギヤード構造が当然と考えられていたので、2:1ローピングの採用とインバータ制御を採用することで交流エレベーターの巻上機をギヤレス化したことは画期的であった。更に、省スペース化のために電動機、シーブ、ブレーキの3つの機器を一体としたコンパクトな構造が採用された (図5.24)。

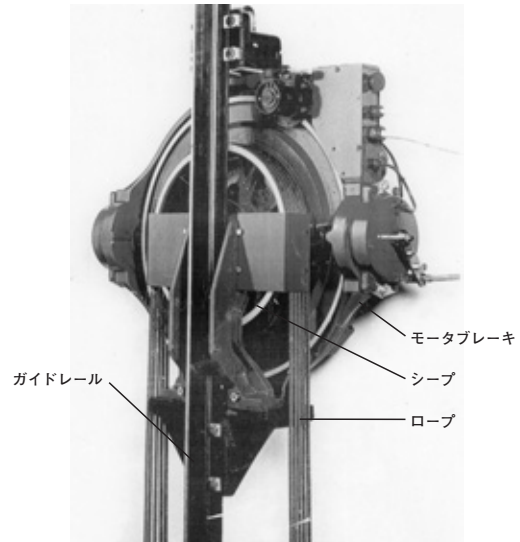


図5.24 機械室なしエレベーター用の薄型ギヤレスマシン

この機械室なしエレベーターはコネ社 (Kone フィンランド) が特許を取得して1996年に製品化した技術であり、東芝が技術提携して日本国内で最初に発売したものであったために、国内では東芝以外のエレベーターメーカーは同様な構造のエレベーターを製造することは出来ない独占技術であった。

しかしこれに対して、三菱電機をはじめ他のメーカーは薄型でなく小径で横長の長軸タイプの誘導電動機を使ったギヤレス巻上機を開発し、巻上機を昇降路のピット (底部) に設置することで特許を回避した機械室なし規格形エレベーターを発売した (図5.25)。

当時、日本では法規によってエレベーター機械室の設置が義務付けられていたので、当初の機械室なしエレベーターは大臣認定機種として扱われた。しかしその後、時代の流れとして規制緩和が進み2000年には建築基準法施行令が改訂され大幅な規制緩和が実現して、この中で機械室なしエレベーターについての考え方が明確にされた。そして、この規制緩和はメーカーの開発意欲を強く刺激することになり、これを機に厚さ3mmの樹脂被覆ロープや直径5mmの小径ロープを使った小径長軸電動機を使った機械室なしエレベーターなどが次々に発表され、規格形エレベーターのみな

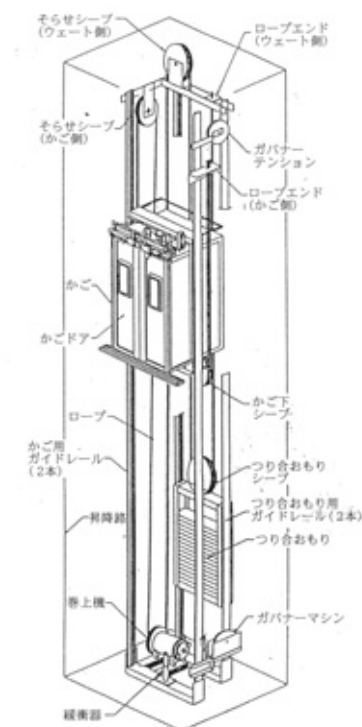


図5.25 機械室なしエレベーターの構造
(巻上機はピット部に設置)

らず一般エレベーターも含めて広く機械室なしエレベーターが普及した。

機械室なしエレベーターの基本コンセプトは、巻上機の昇降路内収納、インバータ制御、交流ギヤレス巻上機の3つだと考えられる。

ところが、日本のエレベーターメーカーは1980～1990年にかけて中層集合住宅用エレベーターやホームエレベーターの機械室なし構造、規格形エレベーターのインバータ制御化、リニアモータエレベーターでの誘導電動機のギヤレス化を実現して、この3つの基本コンセプトを技術的にすでに保有していた。にもかかわらず、機械室なし構造は日本ではなく欧州メーカーによって発明された。

機械室なしエレベーターの発明者H.Hakara（フィンランド）によると、「1992年に出現したリニアモータエレベーターが開発の引き金になった」と言う⁽⁵⁸⁾が、リニアモータエレベーターに衝撃を受けたのは日本の技術者も同じであったので、他の要因として次の2点が影響を与えていたのではないかと考えられる。

第1の点は日本では中層集合住宅用エレベーターやホームエレベーターで機械室なしを開発するときに、エレベーターの仕様を低速化・小形化することで、つまり技術の外に実現条件を求めたが、これに対して欧州メーカーはエレベーター仕様に制限を加えるのではなく、技術的に解決する方向を選択して技術自体に実現条件を求めたところに差があった。

第2の点は欧州の市街地住宅では4～5階床の住宅が古くから普及していて、屋根の構造は頂部に機械室を設置することが困難な構造であったために、機械室の必要な構造では居住階である最上階のサービスを犠牲にしなければならなかった。このために最上階までサービスできるエレベーター構造に対するニーズが伝統的に強く存在したことが影響した。

(3) 中低速エレベーター市場の変化

新しく出現したホームエレベーターと機械室なしエレベーターは日本のエレベーター市場に大きな変化をもたらした。その様子を示したのがエレベーター設置台数推移とエレベーター方式ごとの構成を示した図5.26である。

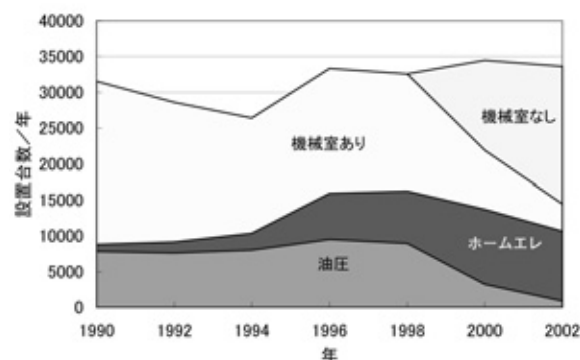


図5.26 中低速エレベーター市場の新しい変化

この図から、ホームエレベーターは1994年ごろから増加が始まり新しいエレベーター市場を開拓してホームエレベーターが増えた分だけエレベーター市場を拡大し、設置台数は1989年の598台から2002年の9,764台に増加し、エレベーター全体の1/3弱を占める主要機種の一つとなった事が読み取れる。

一方、機械室なしエレベーターは従来の機械室式を置換える形で普及し、1998年の発売後3年の2000年には設置台数12,561台、2002年には19,193台と急激に増加した。この背景には、これまで頂部に機械室が不要で建物に荷重負担をかけない特長が評価されて、構造的に頂部の機械室が設置できない場合や建物日影規制条例が適用される建物に広く使用され、一時は全エレベーターの約30%を占めるほどに普及した油圧エレベーターが、同じ長所を実現できる機械室なしエレベーターに急速に転換していることが重さなったものであることが図から読み取れる。

この結果、ホームエレベーターも機械室なし構造であることを考えると、2002年には全エレベーターの86%が機械室なしエレベーターに切り替わり、1990年代はエレベーター市場における大きな転換期となった。

この時代の主な中低速エレベーターの納入物件を以下に列記する。

1990（平成2）年、日本オーチスが萬世ビル（東京）に、国内初のつり合おもりにリニアモータを搭載したリニアモータエレベーターを納入した。

同90年、ホームエレベーターがインバータ制御に切り替わり、この時点で中低速エレベーターの全機種がインバータ制御エレベーターに切り替わった。

1998（平成10）年、東芝は原川ビル（東京）に国内初の機械室なし規格形エレベーターを納入。

1999（平成11）年、三菱電機は国際航空専門学校（埼玉県所沢）に巻上機をピットに設置した機械室なし規格形エレベーターを納入、その後は各社がそれぞれの機械室なし方式で追従した。

5-3-3 高速エレベーター分野^{(40) (41)}

(1) 超高速エレベーターのインバータ制御

1990年以降はインバータ制御による大容量・超々高速エレベーター制御技術が発展した時代となった。1990年までに国内に建設された高さ100m以上の超高層ビルは82棟であり200mを超えるものは1979年の新宿センタービル竣工以降10年間以上にわたり建設はなかったが、1991年に東京都庁舎（高さ243m）、1993年に横浜ランドマークタワー（高さ296m）の大形超高層ビルが出現することになり、再び大容量・超高速エレベーター技術の開発が行われた。

特に、1993年には三菱電機が横浜ランドマークタワーに750m/min超々高速エレベーターを設置して、世界最速記録を更新した。関連で述べると、その後2004年には、国内の実績ではないが、東芝がTAIPEI 101（台湾）に1,010m/min超々高速エレベーターを納入して世界最速記録を更新し、日本技術が連続して3回にわたり世界最速記録更新の実績を残すことになった。

この背景には1970年代から継続された超高速エレベーターに関する技術蓄積があった。540m/minクラスまでの超高速エレベーターの技術課題は、すでに述べた新宿副都心のビル群に納入された超高速エレベーターで確立されていたが、それ以上になるとまた新しい技術開発が必要となった。

このため、540m/minエレベーターでの技術をベースに、速度によって増加する走行時の横揺れ防止策、増大する運動エネルギーに耐える非常止め装置の開発、風きり音対策とかごの防音技術など再び乗り心地に関連する高性能化技術が必要になった。さらに、ビルの超高層化は大規模化を意味するのでそれに見合った大輸送力を可能にする、大容量電動機制御技術が求

められた。

表5.2は、エレベーターの速度が750m/minから1,010m/minへと高速化するに伴う問題点を整理して示したものであるが、以下にそれぞれの対応技術の概要を述べる。

表5.2 超々高速化の技術課題

項	技術課題	開発技術
イ	大容量インバータ制御	マルチインバータ、低トルク脈動制御
ロ	上下振動抑制	昇降機系ダンパ、非共振制御
ハ	安定な非常止め装置	耐摩耗・高摩擦摺動材料
ニ	大形油入り緩衝器	長ストローク緩衝器
ホ	かご横振動制振	高制振特性ガイドローラ
ヘ	走行騒音の静音化	空気騒音低減構造、遮音構造

（イ）大容量インバータ制御では、電動機容量が例えば100kWを超えるとインバータ主回路は多数のトランジスタ並列制御が必要となり、300Aクラスのパワートランジスタを3～4個並列にして構成したインバータユニットを、さらに並列に使用するマルチインバータ技術が必要となった。この場合、1台の電動機を2組のインバータユニットで制御する1電動機インバータ並列制御と、電動機容量を2台に分けてそれぞれをインバータ制御する2電動機インバータ制御の2つの方式が開発された（図5.27）。また電動機の低周波運転時のトルク脈度を低減するために、インバータ波形特性と電動機特性の詳細な吟味が行われ安定したトルク特性を実現する技術が開発された。

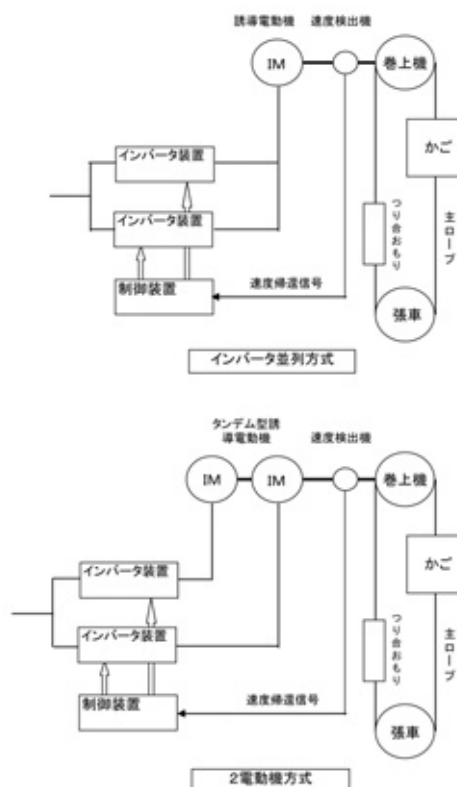


図5.27 マルチインバータ制御の2つの方式

日本では超々高速の実機試験ができる研究塔が無いので、制御性能の確認は専用の等価試験装置を使ったシミュレーションにより解析研究された。通常、等価試験装置は大きなフライホイールを中央に取り付けて駆動用電動機（実物）と負荷用の発電機を直結した構造が使われ、これを使って慣性エネルギーの影響や電力回生時の特性などエレベーター特有の負荷条件を実機と同じように発生させて、各種の性能試験や評価を実施した（図5.28）。

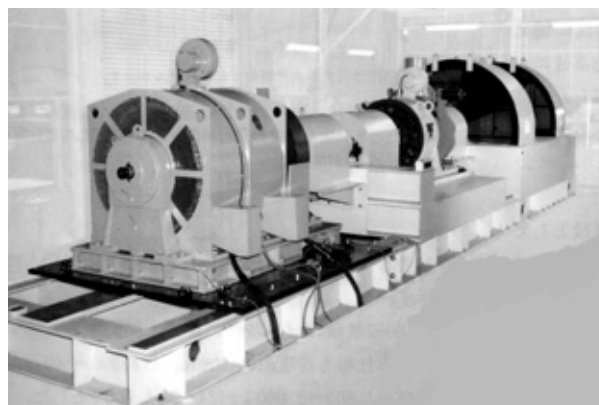


図5.28 等価試験装置の一例

（ロ）上下振動抑制は、ロープが長くなるとかごが上下に動くフワフワ振動が現れやすくなりその結果、乗り心地の悪化と速度制御の安定性低下につながることから、必要となる技術である。上下振動には（a）かごとつり合おもりが同相で上下する同相モードと（b）かごとつり合おもりが互いに逆相で上下する逆相モードの2つがあり、それぞれ個別に対応した機械的ダンパー構造や電気的フィルターなどを開発して上下振動抑制することが行われた。

（ハ）安定な非常止め装置は、速度の2乗に比例して増大するエネルギーを確実に吸収してエレベーターを停止する最も基本的な安全装置であるため速度が向上するたびに必ず十分な検討が行われた。540m/minを超える速度では動作時にレールとの摩擦熱で非常止めの摺動面の温度は更に高温となり、高温でも安定した制動特性をもつ特殊鋳鉄材や特殊セラミックス材が使われた。開発はシミュレーションやモデル実験などで検討されるが最後は実物実験で確実にかごを停止できることが確認された。非常止め装置の実験では自由落下状態で実験ができるのでストロークが短くてよいこともあって、速度制御の場合と異なり必ず実物実験が行われ十分な性能が確認された。

（ニ）大容量油入り緩衝器は、終端階強制減速装置（法的に認められたもので、あらかじめ緩衝器に当たる前に強制的に減速させる装置）⁽¹²⁾をつけることで

油入緩衝器の定格速度をエレベーターの定格速度に対して低く設定できるが、それでもストロークが4m以上必要になり緩衝器の全長は10mを超える大きさになった。このため長大化してもなお安定した性能が得られるようにオリフィスの形状や保持用のスプリングの構造など大型化に伴う技術課題を克服して実用化された。

（ホ）かごの横振動制振は、かごの横振動発生の要因がレールの曲がりやガイドローラの転動に起因するものであるからこれらを遮断するためにはガイドローラの支持部に粘性ダンパーの取り付け、場合によっては減衰量が制御できる磁気ダンパーなどを組み合わせた高性能ガイドローラが使用された（図5.29）。

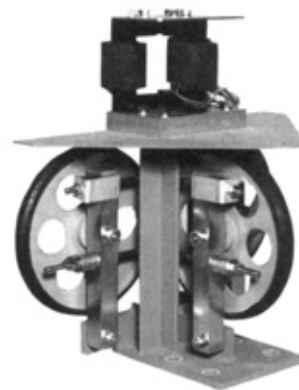


図5.29 粘性・磁気ダンパ付の高制振ガイドローラ

（ヘ）走行騒音の静音化は、かご構造動特性の改善により外部からの振動騒音要因の影響を受けにくいとかご構造を実現することと、走行に伴う空気流が引き起こす風音の防止策の2つの技術開発により実現された。かごの動特性はかご加振試験装置を使って種々の加振波形を入力してそのときの固有振動数や振動モードの解析を行い、外乱を受けにくいとかご構造が開発された。さらにかごは2重構造が採用され、内壁と外壁をそれぞれ独立させて外壁の振動を遮断する構造も採用された。

空気流が引き起こす風音は走行時にかごの頂部や側部に流れる空気流の乱れに起因することから、構造的な突起物を極力なくして全体を滑らかな流線型のカプセルで覆うことが必要となった。このカプセル構造は速度が高くなるに従ってより滑らかな曲線形状をもったカプセルに作られた（図5.30）。

この時期の主な納入実績を以下に記す。

1991（平成3）年、東京都内の最高ビルとなった東京都新庁舎（高さ243m）が竣工し、当時のインバータ制御では最速となる540m/min、1,600kgの超高速エレベーターが納入された。ここでは同一仕様の超高速エレベーターが、北高層棟には三菱電機による電圧形

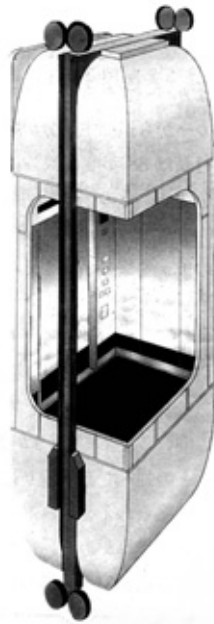


図5.30 かご全体を覆う流線構造カプセル

インバータ制御エレベーターが、南高層棟には日立による電流形インバータ制御エレベーターと2つの方式を使って納入された(図5.31)。同一仕様のエレベーターを異なる技術で対応することは、複数メーカーの併設設置が多い日本ではしばしば見られることで、業界におけるエレベーター技術の活性化につながるものであった。

電圧形インバータと電流形インバータとは、技術的に平滑フィルタ要素にコンデンサーを使うか直流リアクトルを使うかの差異はあるが、エレベーター性能的な差異は無いものであった。



図5.31 東京都新庁舎には540m/minインバータ制御超高速エレベーターが設置された

1993(平成5)年、三菱電機は横浜ランドマーク(高さ296m)で、世界最速記録となる750m/min積載荷重1600kgの超々高速インバータ制御エレベーター3

台を納入した。ここでは2台のインバータ制御装置を並列運転して120kW電動機を制御する、1電動機インバータ並列制御が採用された。風音対策としては流線型カプセル付きの2重かご構造が採用され、非常止め装置の摺動面には専用に開発した特殊セラミックウェッジが使用され、油入緩衝器には11mのバッファーを専用に開発して使用された。これらの結果、かご内騒音は従来の超高速エレベーターに比べても更に静粛なものであった⁽⁴²⁾(図5.32)。

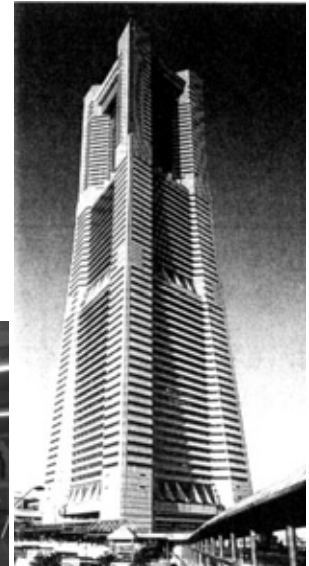


図5.32 横浜ランドマークタワーと巻上機

1995(平成7)年、東芝は大阪ワールドトレードセンタービルディングに西日本では初めてとなった540m/minインバータ制御超高速エレベーターを納入した。

1999(平成11)年、希土類永久磁石を使った同期電動機(Permanent Magnet Synchronous Motor 以下略してPMSM)による高速エレベーターが出現した。

2003(平成15)年、六本木ヒルズ森タワーに階間調整式ダブルデッキ300m/min超高速エレベーターが納入された。階間調整式は上下のかごの間に間隔調整機構を組み込み二つのかごの間隔を調整できるようにしたもので、ここでは日本オーチス、三菱電機、日立はパンタグラフ式、フジテックはロープつるべ式、東芝はボールネジ式と各社はそれぞれの方式を使って納入した。階間調整式ダブルデッキを使うことで異なる階床間隔に対しても停止前に着床階床間隔にあわせて上下のかご間隔を調整できるので、建物の設計自由度は飛躍的に改善された。

2004(平成16)年、東芝はTAIPEI 101(高さ508m、台北市)に上昇時1,010m/min/下降時600m/minのインバータ制御超々高速エレベーター2台を納入して、エレベーターの世界最速記録を更新した。非常止め装

置には耐熱性・耐磨耗性に優れた特殊セラミックスを採用し、かごにはスポイラー付き整風カプセル構造を採用し、さらに新技術としてかご下部にアクティブ制振装置、かご内の気圧制御システムなど幾つかの新技術を採用して良好な乗り心地を実現した。

駆動制御システムでは大容量二巻線PMSM 180kW電動機を使って、それぞれの巻線をインバータで個別に駆動するツインドライブ（2電動機インバータ制御）方式が採用された（図5.33）⁽⁴³⁾。



図5.33 TAIPEI 101

5-3-4 群管理制御⁽⁴⁴⁾ ⁽⁴⁵⁾ ⁽⁴⁶⁾ ⁽⁴⁷⁾

群管理制御の基本的なニーズである平均待ち時間の短縮機能は1980年代に完成した学習機能付き群管理制御で一応の完成をみた。

1990年代は、32bitマイコンの高機能性を使って予測演算理論の高度化と乗客やビル内の階床ごとの個別ニーズに細かく対応するサービスの2つ面で技術進歩があり、AI（人工知能）機能付き群管理制御が製品化された時代であった。

予測演算理論の高度化はたとえば、ファジー理論、エキスパート理論、遺伝的アルゴリズムなど新しく高度な理論が各社それぞれに導入され、予測精度の向上が図られた。各社は自社の既存製品との対比で、これらの改善による数値的な改善効果をそれぞれに発表しているが、技術的な飛躍は学習機能の導入時に比べると小さいものであった。

一方、新しい動きとしては乗り場情報、かご内情報、乗客に関する情報の3つの情報の統合的サービス、言い換えると情報系サービスの充実が大きく進んだ。

たとえばかご内の混雑度が大きい待ち時間の少ないかごを選択するか、或いは待ち時間は最適ではない

が混雑の無い空いたかごを選択するか、乗客の好みに合わせることが出来る機能、階床ごとの交通流情報からリアルタイムに群管理ルールセットを変更する機能、乗り場で行先を登録することで行き先別に乗客を誘導して途中階停止のイライラを解消する機能、などきめ細かいサービスの取り込みと、それらを適切に伝えるディスプレイ、表示デザインおよび音声利用など情報表示機能の改善が主要テーマとして取り上げられ進歩した。

これらの機能は新しい群管理制御製品において、ヒューマンインターフェース、階床別個性化、予測チューニングなどとメーカーによりキーワードはそれぞれに異なっているが、基本はビル全体の最適化の中に乗客の心理的なアメニティ性を取り込み、「やさしさ」をデザインした製品となった。

この時代に納入された主な製品を下記に記す。

1989（平成元）年、朝日生命仙台一番町ビルにファジー理論を使ったAI機能応用群管理制御エレベーターが設置された。

同89年、御堂筋グランドビルにエキスパート・ファジー理論を使ったAI機能応用群管理制御エレベーターが設置された。

1990（平成2）年、紀尾井町ビルにファジー理論を使ったAI機能応用群管理制御エレベーターが納入された。

同90年、日本電気本社ビルにエキスパート・ファジー理論を使ったAI機能応用群管理制御エレベーターが納入された。

1991（平成3）年、ホテルニューオータニ・ニュータワーにAI機能応用群管理制御エレベーターが納入された。

1993（平成5）年に第一農中ビル（東京）に、1995（平成7）年に三菱電機ビル（東京）と、1997（平成9）年に愛知県産業貿易館本館にそれぞれ、ニューラルネットワークを取り入れたAI機能応用群管理制御エレベーターが納入された。

1997（平成9）年、オルガノ新本社ビルに遺伝的アルゴリズムを使ったAI機能応用群管理制御エレベーターが納入された。

5-3-5 その他の技術成果

1992（平成4）年、日本オーチスは新東京国際空港（現成田国際空港）第2ターミナルビルに、時速20km（333m/min）で走行する日本初のロープ式水平シャトル（乗客を運搬するための水平走行設備）を納入した。

駆動機構はギヤレスエレベーターのトラクション巻上機が使われて、空気浮上方式で車体を浮かし無人運

転システムが使用され、加減速制御や正確な着床制御など高速エレベーターの技術が使用された。このため行政上はエレベーターとして認可された（図5.34）。

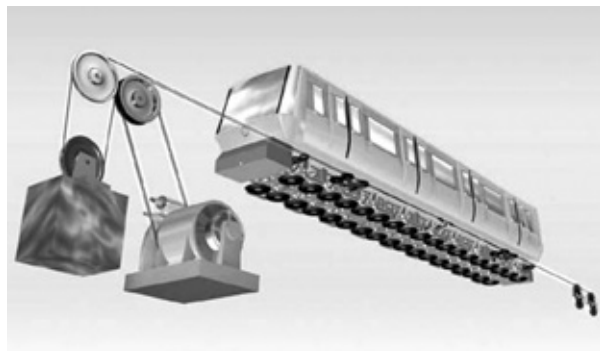


図5.34 ロープ式水平シャトルの構造
(エレベーターと同じトラクション駆動が使われている)

5.4 エレベーターの耐震対策

地震国日本の宿命としてビル高層化時代におけるエレベーターの耐震性強化は重要な技術課題であり、この問題に対して統一指針の元に業界として取組んできたのでその状況を述べる。

5-4-1 エレベーター耐震指針の制定

エレベーターの耐震基準制定のきっかけとなったのは1971年に米国サンフェルナンド溪谷北部で発生した地震（M6.4）であった。ロスアンゼルス地区に設置された昇降機約9,000台のうち1,000台以上が何らかの被害を受け、エレベーターでは700台近くのエレベーターのつり合おもりがガイドレールから外れ、100台以上のエレベーターで脱レールしたつり合おもりとかごが衝突する事態を招いた。地震の発生が午前6時頃でエレベーターの運行が少なかったことを考慮すると、昼間の地震では更に大きな被害が生じたことが容易に推定される状況であった⁽⁵³⁾。この状況に対して日本エレベーター協会はかご、つり合おもりの脱レール防止対策、巻上機や制御盤の固定強化、地震時エレベーター管制運転装置など、今日の昇降機耐震設計・施工指針の基本となる基準を検討し、1972年に「昇降機防災対策標準」を制定し協会員へ周知すると共に、需要家への啓蒙を図った⁽⁴⁹⁾。この時に想定した耐震性能は、震度階4程度でつり合おもりが脱レールしないこと、地震時管制運転により走行中のエレベーターは最寄階に着床させて乗客を避難させることとした。

5-4-2 昇降機耐震設計・施工指針の制定

その後、東海地震発生の危険が指摘されるにつれて

より一層の耐震性強化と基準の整備が求められる中、1978年の宮城県沖地震（M7.5）では、サンフェルナンド地震と類似のつり合おもりの脱レールや機械室機器の移動・転倒等の被害が、仙台市内のエレベーターに発生して耐震性強化の見直しが必要になった。

これが背景となり、1980年には建築基準法施行令が改正され、建築物に併せてエレベーターの耐震基準も強化され、エレベーター協会は1981年に「エレベーター耐震設計・施工指針」を取りまとめ業界内への徹底を図った。

この設計・施工指針の要旨は

- (1) 地震その他の震動によって、主索が外れないようにする。
- (2) 地震その他の震動によって、かご、つり合おもりが外れないようにする。
- (3) ケーブル、ロープ等が地震時の揺れにより支障が生じないようにする。
- (4) 地震その他の震動によって、機械室の機器が移動・転倒しないようにする。

の4点であった。

しかし、この指針は高さが60m以下の建築物に設置されるエレベーターのみを対象としていて、高さが60mを超える建築物に設置するエレベーターについては個別の性能評定を受ける必要があったことから、高さが60mを超える建築物にも適用できるよう、動的解析による設計用地震力の算定方法を取り入れるなどの改訂を行い、1984年度に「昇降機の技術基準の解説」で公表された⁽⁵⁰⁾。

1995（平成7）年1月に発生した兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）では、昇降機にも大きな被害が生じた。前記の「エレベーター耐震設計・施工指針」を適用したエレベーターは1981年以前に設置されたエレベーターに比べて被害の発生率が低く、指針の効果は十分に認められた。しかしながら地震の規模が大きかったこともあり、宮城県沖地震では発生しなかったつり合おもりブロックの脱落やエスカレーター本体の落下など新たな問題が発生した。このため、「エレベーター耐震設計・施工指針」の見直しが行われて、1998年4月に「昇降機耐震設計・施工指針」が発行された⁽⁵¹⁾。指針の改訂要旨は

- (1) 耐震クラスの導入
 - (2) つり合おもりの脱落防止
 - (3) エレベーターの耐震規定の一部強化
 - (4) エスカレーターの耐震指針の新設
- の4点であった。

図5.35は以上述べた内容の経過を図で示したものである。

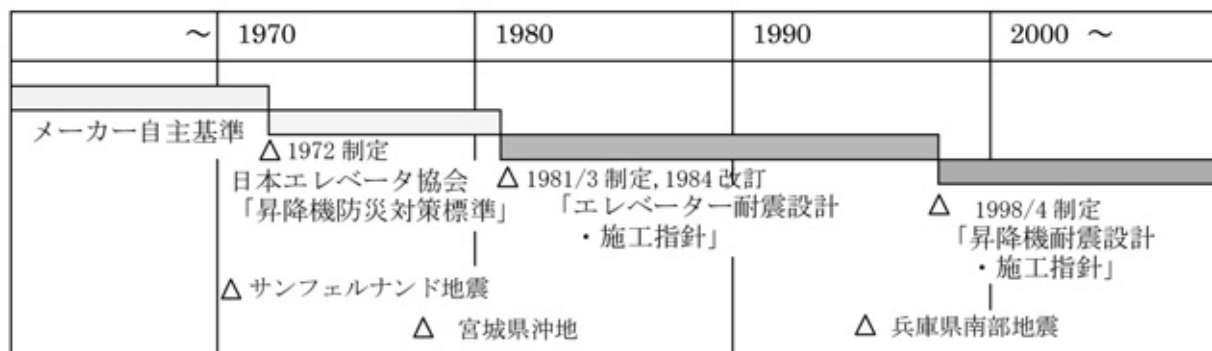


図5.35 耐震指針の変遷

5-4-3 耐震設計用標準震度の変遷

以上のような経過をたどってエレベーターの耐震指針は逐次整備されてきたが、この過程で、昇降路機器および機械室機器に対する設計用標準震度のレベルは「昇降機防災対策標準」で定めた標準震度に対し「昇降機耐震設計・施工指針」（1998年制定）では建物の規模や構造によるクラス分けの考えが導入されて、Bクラス（標準クラス）で2倍、Sクラスで3倍以上に引き上げられる強化が図られた。

その後、2004（平成16）年10月に発生した新潟県中越地震では、約200km離れた東京都心部において、長周期成分を含んだ地震動が高層や超高層建物に設置したエレベーターのロープ類と共振し昇降路内機器と絡まる被害をもたらした。また2005年7月に発生した千葉県西北部を震源とする地震では大半の地域の計測震度が4程度であったが地震時管制運転により東京都、千葉県、埼玉県、神奈川県で64,000台に及ぶエレベーターが停止した⁽⁵²⁾。

これらは、被害状況調査結果から建物の地上高さ60mを超えているもので被害が発生しており、高さが高くなるにつれて被害発生割合が増加しているいわゆる長周期地震動問題であり、新しい課題として取り組みが進んでいる。

6 | 考察

技術変遷の概要

日本のエレベーター技術はオーチス（米）とWHの2社を通じてもたらされたアメリカのエレベーター技術をベースとして発展してきた。最初のエレベーターの登場から第二次世界大戦の直前までは高級機種は輸入製品が主体で、国内メーカーはこれを参考に技術吸収した低速機種を中心に製造した時代であった。大戦を境にオーチス（米）やWHの影響が薄れ、しかも戦後の復興という大きなエレベーター需要が出現したこともあって国産メーカーは順調に製造技術を回復して、やがて市場の主導権を持つようになった。その後、単一国にしては多すぎる主要メーカー間の技術競争の中で、日本市場にマッチしたエレベーター技術を発展させ今日に至った。

エレベーター技術は主としては、安全、着床精度、速さ、乗り心地、意匠（デザイン）の5つの要素技術から構成される。この内、安全技術は日本に輸入され

た頃には基本的な技術が確立され、1930年代にはほぼ完成された。その後は基本的要素の変化はなく、高速・大容量化に伴う規模拡大と性能向上が中心となった技術開発であったと言える。着床精度技術は交流帰還制御が導入された1970年中頃までに確立され、それ以後は着床精度技術が課題になることはなくなった。速さ、乗り心地、意匠関係の技術は1970年以降も引き続き発展を遂げて、速度はますます高速化する中、乗り心地は円滑で静粛な高級特性が追求され、技術向上は2000年代も続いている。また意匠関係はデザインコンセプトや法的な規制など時代の変化に応じて常に新しいものが追求され続けている。

図6.1はこの間の要素技術の変遷を示したものであるが、中でもエレクトロニクスを応用した高速化技術を含むインバータ制御と群管理制御の分野は著しい技術進歩を果たした。



注) 右端の○は技術変化が大きいもの、◎は中でもマイコンによって大きく進歩した技術を示す。また切換え時期は技術適用製品の納入年とし、不明なものは関連製品の動向から推定した。

図6.1 ロープ式エレベーター要素技術の変遷

日本の現状

日本のエレベーターメーカーは、1978年の600m/min超々高速エレベーター、1993年に750m/min超々高速エレベーター、2004年に1,010m/min超々高速エレベーターを開発して次々にエレベーターの速度記録を塗り替えた。これらは何れもその時代の世界最高速度記録で、日本のエレベーターメーカーが3回にわたり世界記録を更新し続けてきた。

一方、1997年に日本の昇降機（エスカレーター、小荷物専用昇降機を含む）の年間設置台数は約4万3千台を記録して、1国のエレベーター市場規模としては当時の世界一のエレベーター大国になり⁽⁵⁵⁾、この地位は2002年に中国が6万台を超える設置台数を記録⁽⁵⁷⁾して日本を抜くまで維持された。

中国エレベーター市場は2000年以降年率20%以上の伸び率を示し、かつてない膨大な市場を形成しつつあり、世界の名だたるエレベーターメーカーがすべて合弁会社の形で中国市場に進出してその占有率は80%以上に及び、世界の技術展示場の観を呈している⁽⁵⁶⁾ ⁽⁵⁷⁾（図6.2）。

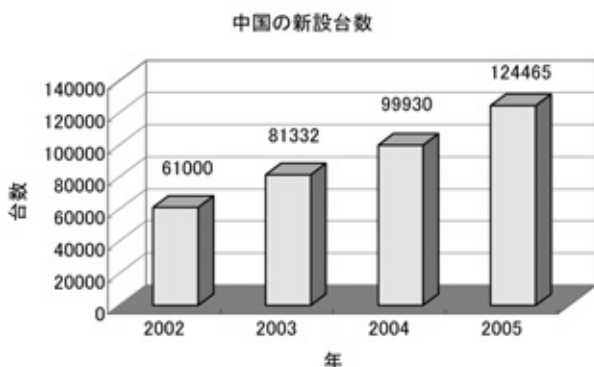


図6.2 最近の中国エレベーター市場の伸び

この中で、短期間に低速から超々高速まで一気にインバータ制御化した実績を持つ日本のエレベーターメーカーとの合弁会社は、中国市場において米国系、欧州系に比べて高い市場占有率を維持し技術的に優位にある。

世界最高速度記録の更新実績、年間4万台規模の昇降機市場の保有、海外市場での強い技術的影響力という事実から、日本のエレベーター技術力は2000年時点で世界のエレベーター技術分野においてトップに近いポジションに達したと考える。

発展の要因

ではこのような技術的な成果がなぜ日本で生まれたのでしょうか。今回の調査を通して考えると、それは次の3つの要因によるものだったと考える。

(1) 大きい市場需要の存在

(2) 主要メーカー間の激しい技術競争環境

(3) 日本におけるエレクトロニクスの高度応用技術環境

1つ目の大きい市場需要は、前半は1945年から1973年の第一次オイルショックまで続く戦後復興を背景にした驚異的な建築着工面積の伸び率に支えられた需要で、実用性の高い量産機といえる規格形エレベーターが生み出した需要でもある、後半は1968年に始まった超高層ビル時代に即した高速エレベーター需要と1980年以降の福祉重視の社会環境に応えたホームエレベーターに代表される中低層市場開拓から生まれた幅広い需要だったといえる。この様子を建築着工面積とエレベーター設置台数の関係で見たのが図6.3と図6.4であるが、1980年代の後半から建築着工面積と設置台数の相関が崩れて、着工面積10万㎡当たりの設置台数が1970年代に比べて3~4倍と急激に伸び、エレベーターが不可欠な建物の比重が増えるなど市場に質的な変化が起きている。

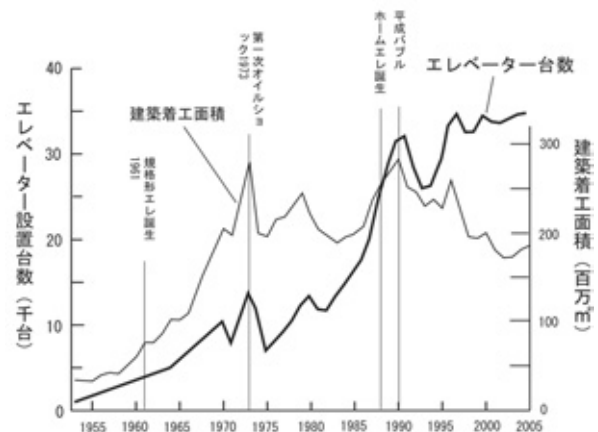


図6.3 建築着工面積とエレベーター設置台数



図6.4 建築着工面積10万㎡当たりのエレベーター設置台数

この背景の一つは超高層ビルの増加で、例えば東京都内の高さ100m以上ビルの5年区間ごと竣工棟数で見ると1990年以降に超高層ビルが急増しているが(図6.5)、全体の建築着工面積は減少している事によると言える。

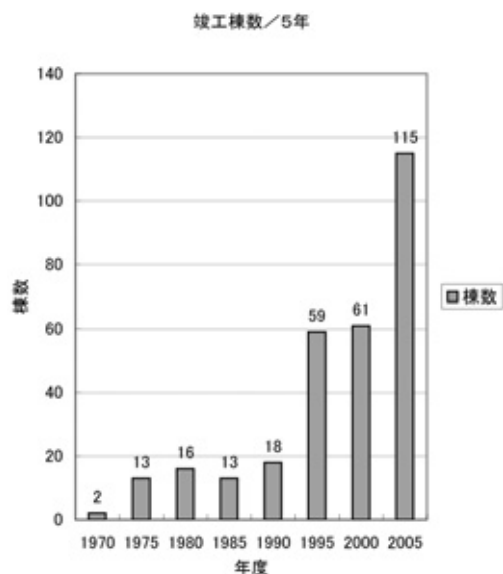


図6.5 都内の超高層ビル建設棟数の推移
(高さ100m以上)

2つ目の要因は旺盛な市場需要を背景に、複数の主要メーカーが展開した激しい技術競争環境である。とくに上位の3社は、重電機メーカーとして互角で高い技術力を持つ大手企業の一部門であったから、技術的優位性を主張するために他社を意識した新しい技術を次々に実現した。

そして同一建物に複数のメーカー製品が設置されるという日本市場がさらに競争を増幅した。そして、このことが世界速度記録を更新し、インバータ制御を短期間に全製品に適用して世界をリードするに至ったと考える。

3つ目の要因は、日本におけるマイコンとパワートランジスタを中心としたエレクトロニクスの高度応用技術の環境で、国内の重電機メーカーはこの分野のリーディングメーカーであったことから、主要メーカーはこの技術環境を1980年以降のエレベーター制御にいち早く応用することになり技術の高度化を実現し、今日の技術ポジションを確立することが出来たと考える。

今後の行方

2000年代に到達した世界のエレベーター技術分野においてトップに近いポジションは日本が狙って獲得したものではなく、気が付いたらトップに近いポジションになっていたと言える。今後もこの地位を維持することができるかどうかは前述の3つの要因が持続されるかどうかによると思う。

結論から言うと、次のエレベーター技術の中心国は中国に移ってゆくものと予想される。中国はすでに第一要因の大きな市場を確保しているし、次の激しい技術競争環境は出現しつつある。したがって、それが何であるか今は分からないが中国市場が次なる新しい「高度技術」を実現した時に、日本のポジションは中国に移るだろうと予想される。

ただし目下は、中国における日本系合弁会社間の技術競争は、日本メーカーの代理技術競争的な面を持っているので、日本が高い技術開発力を発揮して、今後も引き続き合弁会社に技術的影響を与え続けることができれば、日本の今のポジションはしばらくは続くと思う。

近年、機械室なしエレベーターやツインカーシステム(ティッセンカップ社、独)など海外から新しい技術ニュースが伝えられるのに、反面日本発の高度技術の兆しは少ない様に思える。到達するときは無意識であっても、手に入れた地位を維持するには意図的な努力が求められる。わが国の主要メーカーの使命は、日本のポジションを強く意識した意図的な技術開発に努力することではないかと考える。

ビルの超高層化・大容量化は最近のはっきりした傾向であり、この中でダブルデッキエレベーターなど300m/min以上の超高速・大量輸送可能なエレベーターニーズは一層増加している。

今、日本の主要メーカーに求められているのは750m/min、1,010m/minの開発で達成した技術成果を標準化して大幅な原価低減により、超高速エレベーターの“規格形エレベーター”を作ることではないかと考える。いささか突飛な話であるが、今から65年前に先輩たちが規格形エレベーターをつくり、大幅な低価格化に成功して市場を一気に活性化した事実を思い起こすと、いろいろな示唆を与えてくれるように思う。

世界記録を達成したエレベーターでは受注金額を超える開発費を投入したとも言われる⁽⁴²⁾。それであればこそ、この技術の一般化や標準化は日本の主要メーカーの独壇場でライバルの海外メーカーには出来ない分野であるので、超高速エレベーターの規格形化は現在のポジションを維持し海外市場での優位性を保ち、日本のエレベーター技術を発展させるひとつの道だと思う。

7 | あとがき

過去に約30年間、エレベーターメーカーに勤務したことから、エレベーター技術史に興味があり、今回は良い機会に恵まれたと思い調査を引き受けた。文明の歴史を見ると多くの技術はまるで生物のように居心地の良い場所を求めて移動しているように見える。今回のエレベーター技術も、欧州から米国へ移動し、そして日本に渡ってきたと言える。技術開発には多くの金と時間と努力が求められるが、その点も生物が育つためには十分な飼料が必要なのとよく似ている。日本におけるエレベーター技術はそれなりの大きさの市場が存在して、技術開発のために金と時間と努力を惜しまない複数のメーカーが存在したことが今日の成果を生んだと言える。じつは、エレベーター技術は今からおおよそ150年前に欧州から米国に移り発展したが、状況はかなり似ていたのではなかったかと今回の調査で気づき、このケースと日本の場合の比較に今はとても興味を感じている。

今回の調査を進めるに当たってはメーカーの発表した技術論文を中心に情報を集めることから始めた。

幸に今回は日本エレベーター協会の全面的な支援を受けて、協会内の資料類やメーカー寄贈の社史などを自由に利用させてもらうことができた。

特に、同協会の計らいで、同協会の萩中弘行氏や主要メーカー出身の上坂逸朗氏（日本オーチス）、越迫正幸氏（日立）、竹田広司氏（フジテック）、水口宏昭氏（東芝）、渡辺英紀氏（三菱電機）の6氏の協力が受けられることになり、各社から見た情報や記述の偏りの校正など多くの意見を頂いた。また協会誌「エレベーター界」出版社の渡部功氏から貴重な情報を頂いた。日立製作所水戸事業所には事業所内の図書室の資料を快く利用させて頂いた。これらの方々には、この場を借りて感謝の意を表します。

また調査の過程ではメーカー各社の関係者に広くお世話になりましたのでお礼を申し上げます。

その他、報告書の執筆にあたり、図、写真などの提供あるいは引用を快諾して頂いた各社に、この紙面を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- (1) (社)日本エレベーター協会：「平成17年度昇降機台数調査報告」エレベーター界2006-164号、(2006)
- (2) 日本オーチス・エレベーター(株)：「エレベーター・エスカレーター物語」日本オーチス・エレベーター(株) (1971) (非売品)
- (3) 内明朝：「蒸気から水、水から電気」(株)日立ビルシステム (2000)
- (4) 日本オーチス・エレベーター(株)：「エレベーター・エスカレーターの基礎技術」日本オーチス・エレベーター(株) (1998) (非売品)
- (5) 渡部功：「日本におけるエレベーター百年史」日本エレベーター協会 (1990)
- (6) 東京電燈(株)：「東京電燈株式会社開業五十年史」東京電燈(株) (1936) (非売品)
- (7) 日本オーチス・エレベーター(株)：「日本オーチス・エレベーター50年のあゆみ」日本オーチス・エレベーター(株) (1982) (非売品)
- (8) 細馬宏通：「浅草十二階」青土社 (2001)
- (9) 夏目金之助：「漱石全集 8」岩波書店 (1994)
- (10) 東京製綱(株)：「東京製綱100年史」東京製綱(株) (1989) (非売品)
- (11) 堀覚太郎：「建築学会パンフレット第2輯第1号エレベーター」建築学会 (1928)
- (12) 国土交通省住宅局建築指導課他編：「昇降機技術基準の解説 (2002年版)」サクライ (2002)
- (13) 三菱電機(株)：「三菱エレベーター・エスカレーターの歩み」三菱電機(株) (1991) (非売品)
- (14) 日立製作所水戸工場：「水戸工場史」日立製作所水戸工場 (1982) (非売品)
- (15) 日本住宅公団20年史刊行委員会編：「日本住宅公団20年史」日本住宅公団 (1975)
- (16) 石川理一：「アパート用エレベーター」三菱電機 Vol. 30 No. 10 (1956)
- (17) 宮尾他：「300m/minギヤレスエレベーターの制御」日立評論 Vol. 50 No. 9 (1968)
- (18) フジテック(株)：「フジテック50年の歩み」フジテック(株) (1998) (非売品)
- (19) 東芝エレベーターテクノス(株)：30年のあゆみ、東芝エレベーターテクノス(株) (1998) (非売品)
- (20) (社)日本エレベーター協会：「昭和59年度昇降機台数調査報告」エレベーター界1985-80号、(1985)
- (21) 弓仲他：「マイクロコンピュータ制御による規格形エレベーターの開発」日立評論 Vol.61 No. 11 (1979)
- (22) 水口他：「マイコン応用規格形エレベーター」東芝レビュー Vol.35 No.8 (1980)
- (23) 渡辺他：「サイリスタレオナード方式ギヤレスエレベーター」三菱電機技報 Vol. 52 No.10 (1978)
- (24) 坂井他：「サイリスタレオナード方式直流エレベーター」日立評論 Vol. 62 No.7 (1980)
- (25) 水口他：「サイリスタレオナード方式ギヤレスエレベーター」東芝レビュー 35巻12号 (1980)
- (26) J・D・ラトクリフ：「オートメーション時代のエレベーター」リーダズダイジェスト 1956年8号
- (27) 宮城 晃：「オートセレクトパタンオート全自動群管理運転手なしエレベーター」三菱電機技報 Vol 31 No. 11 (1957)
- (28) 犬塚績：「エレベーターの全自動群管理方式」日立評論 Vol. 41 No. 9 (1959)
- (29) 岩坂他：「コンピュータによるエレベーター群管理システムCIP3800」日立評論 Vol. 60 No. 4 (1978)
- (30) 高橋他：「マイクロコンピュータ利用インバータ駆動省電力規格形エレベーターの開発」日立評論 Vol. 66 No. 6 (1984)
- (31) 野村他：「VVVF制御方式エレベーターの最近の動向」三菱電機技報 Vol. 61 No. 11 (1987)
- (32) 吉川他：「個人住宅エレベーター」三菱電機技報 Vol. 61 No. 11 (1987)
- (33) 石井他：「ホームエレベーター」東芝レビュー Vol. 44 No. 9 (1989)
- (34) 北川他：「インバータ制御 エレベーター」東芝レビュー 39巻9号 (1984)
- (35) 渡辺他：「高速エレベーター用制御・駆動装置」三菱電機技報 Vol 57 No. 11 (1983)
- (36) 奈良他：「インバータ制御高速エレベーターにおける軽量化技術」日立評論 Vol. 68 No. 6 (1986)
- (37) 安田他：「中低層ビルを革新するマシナールームレスエレベーター」東芝レビューVol 53 No. 9 (1998)
- (38) 林他：「三菱新機械室レスエレベーター “ELEPAQ-I”」三菱電機技報 Vol 75 No. 12 (2001)
- (39) 安部茂：「機械室レスエレベーター」電気学会誌 Vol.127 (2007)
- (40) 重田他：「810m/min超高速エレベーターの開発」日立評論 Vol. 75 No. 7 (1993)

- (41) 渡辺他：「横浜ランドマークタワー向け750m/minエレベーター」三菱電機技報Vol 67 No. 7 (1993)
- (42) 雑誌記事：「技術を拓く ハイテク・エレベーター」日経ビジネス (1993年7月26日号)
- (43) 中川他：「世界最高速1,010m/minエレベーター」東芝レビュー Vol. 57 No. 6 (2002)
- (44) 原田他：「AI応用エレベーター群管理システム」東芝レビュー Vol 44 No. 9 (1989)
- (45) 米田他：「階床ごとのニーズに合わせて運行する群管理エレベーターシステム」日立評論 Vol 79 No. 9 (1997)
- (46) 安藤他：「新群管理システム “Σ AI-2200”」三菱電機技報 Vol 75 No. 12 (2001)
- (47) K.Sasaki et al : “Elevator Group Supervisory Control System using Neural Networks” Elevator World February96 (1996)
- (48) 三井他：「正弦波インバータ制御高速エレベーター」日立評論 Vol. 86 No. 6 (1986)
- (49) (社)日本エレベーター協会：「日本エレベーター協会標準 (JEAS-507)」
- (50) (財)日本建築センター：「昇降機耐震設計・施工指針、1998」
- (51) (財)日本建築設備・昇降機センター：「昇降機検査資格者講習テキスト、2006」
- (52) (社)日本エレベーター協会：「エレベーターの長周期地震対策、エレベーター界2006-163 (2006)」
- (53) “Elevator World’s 1972 Annual Study・Earthquakes and Elevators” Elevator World ((財)日本建築センター他地震とエレベーター翻訳出版委員会訳) (1973)
- (54) パンフレット：「横浜市赤レンガ倉庫の展示マシン説明文」横浜市港湾局臨海事業部赤レンガ倉庫等担当 (2001)
- (55) (社)日本エレベーター協会：「世界の昇降機の市場規模」日本エレベーター協会 (1999)
- (56) 「中国における生産台数」日本エレベーター協会情報 (訪中報告) (2006)
- (57) 和田訳：「中国におけるエレベーター市場とエレベーター産業」エレベーター界2005-158号、日本エレベーター協会 (2005)
- (58) J.Jong et al : “The Advantage of PMSM Elevator Technology in High Rise Building” Elevator Technology10 (2000)
- (59) 竹内照男：「エレベーター・エスカレーター入門」広研社 (2002)
- (60) 釜池他：「VVVF制御のエレベーターへの応用」三菱電機技報 Vol 58 No. 12 (1984)
- (61) 薬師寺泰蔵：「テクノヘゲモニー」中公新書 中央公論社 (1989)
- (62) 「電気工学ハンドブック (第6版)」(社)電気学会 (2001)

付録1 1890～1950年のエレベーター技術の変遷

年	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	
	8 0 2 4 6 8	0 2 4 6 8 0	0 2 4 6 8 0	0 2 4 6 8 0	0 2 4 6 8 0	0 2 4 6 8 0	0 2 4 6 8 0	
エレベーター環境	M23	M33	M43	T9	s5	s15	s25	
	エレベーターの導入と近代建築の普及							
	国産技術の奨励							
	民間エレ製造禁止							
	終戦							
中低速エレベーター制御方式	○ (1875年)王子製紙十条工場(水圧) ● 凌雲閣(電動15m/min) ○ 日本銀行(電動/水圧) ● 日本生命保険本社(ロープコントロール) ● 望海楼(観光用) ○ 赤レンガ倉庫(27m/min) ○ 白木屋百貨 ○ 三井銀行本店(45m/min) ○ 三越呉服本店(45m/min) ● 国産1号機(東松式) ○ 帝国鉄道協会(マイクロドライブ) ○ 丸ビル(直流ギヤード) ○ 日本銀行本店(直流ギヤード) ○ 三井銀行本店(国内初ワードレオナード方式直流ギヤレス) ● 常盤生命保険会社(国産90m/min直流ギヤード) ● 鉄道省秋葉原駅(マイクロドライブ) ○ 聖路加病院付属看護学校(国内初コクetchブ) ● 国会議事堂(国産機18台) ● 大阪放送会館(90m/min直流ギヤレス)							
高速エレベーター制御方式							○ 朝日新聞社朝日会館(150m/min直流ギヤレス) ○ 三信ビル(150m/min直流ギヤレス) ● 十合百貨店(120m/min直流ギヤレス) ● 丸物百貨店(直流ギヤレス) ○ 黒部峡谷鉄道(150m/min直流ギヤレス)	

注)○は輸入品、●は国産品

付録2 国内エレベーター・エスカレーターの新設台数の変遷

	西暦 和暦	1953	1964	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
		S28	S39	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60
エスカレーター				1,714	1,425	1,762	2,197	1,777	1,348	1,228	1,338	1,424	1,361	1,395	1,220	1,306	1,114	1,064	1,401
油圧エレベーター				340	268	261	429	390	314	465	536	848	1,100	1,492	1,614	1,900	2,254	2,873	3,131
ホームエレベ				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
交流エレベーター				8,960	6,562	8,537	11,753	10,333	6,159	7,408	8,195	9,251	10,901	11,372	9,625	9,421	9,668	11,414	12,736
直流エレベーター				1,168	1,126	1,543	1,527	1,107	609	452	475	471	462	542	379	402	426	294	420
機械室なしエレ				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
エレベーター小計		1,000	5,000	10,468	7,956	10,341	13,709	11,830	7,082	8,325	9,206	10,570	12,463	13,406	11,618	11,723	12,348	14,581	16,287
昇降機合計				12,182	9,381	12,103	15,906	13,607	8,430	9,553	10,544	11,994	13,824	14,801	12,838	13,029	13,462	15,645	17,688

	西暦 和暦	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
エスカレーター		1,257	1,297	1,828	1,930	2,237	1,914	2,770	2,879	2,324	2,438	2,891	2,980	3,029	2,785	3,939	1,852	2,496	2,686	3,228	2,646
油圧エレベーター		3,543	4,089	5,875	6,905	7,829	8,521	7,608	7,362	8,013	8,556	9,513	10,196	8,988	5,840	3,223	1,478	893	652	702	607
ホームエレベ		—	—	—	598	966	1,240	1,577	1,717	2,325	3,641	6,443	6,686	7,267	8,764	10,499	10,256	9,764	10,284	10,135	10,511
交流エレベーター		13,833	16,067	18,955	21,015	22,713	22,426	19,401	16,934	16,050	16,810	17,393	17,805	16,308	17,771	8,207	5,177	3,784	3,019	2,709	2,007
直流エレベーター		311	148	83	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
機械室なしエレ		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,561	16,864	19,193	20,178	21,072	21,688
エレベーター小計		17,687	20,304	24,913	28,518	31,508	32,187	28,586	26,013	26,388	29,007	33,349	34,687	32,563	32,375	34,490	33,775	33,634	34,133	34,618	34,813
昇降機合計		18,944	21,601	26,741	30,448	33,745	34,101	31,356	28,892	28,712	31,445	36,240	37,667	35,592	35,160	38,429	35,627	36,130	36,819	37,846	37,459

付録3 ロープ式エレベーター技術年表

西暦	和暦	ロープ式エレベーター関連事項	海外及び関連情報
1835			英国で蒸気力利用のエレベーター「Teagle」が製作される
1852			E.G.オーチス(米)がエレベーターの非常止装置特許取得
1854			E.G.オーチスがニューヨーク市のクリスタルパレス万国博で非常止装置の公開デモンストレーション
1857			オーチス(米)がE.V.ホーワウト・カンパニー(NY市)に世界初めての乗用エレベーターを納入、5階建て、12m/min、積載量450kg、スチームエンジン駆動のドラム巻取り式エレベーター
1862			ロープリング社(米)がエレベーター用ワイヤロープ製造開始
1875	明治8	王子製紙十条工場に水圧式の荷物昇降機が設置	
1889	明治22		・ドブロヴォルスキー(独)が出力100Wの三相誘導電動機製作 ・パリ万国博覧会記念のエッフェル塔(高さ321m)に5台の水圧エレベーターが設置 ・オーチス(米)がデマレストビル(NY市)に30m/minの直流電動機駆動とウォームギヤ減速機の巻胴式エレベーター2台を納入
1890	明治23	凌雲閣(本道レンガ造り、12階建て 東京)に日本初の電動式乗用エレベーターが設置	
1896	明治29	日本銀行本店(辰野金吾設計)にオーチス製の30m/minの電動式乗用エレベーターと水圧式荷物エレベーターが設置	アメリカン・トレーディング・カンパニー(通称 米貨)がオーチス製品の極東地域総代理店として日本での輸入業開始
1901	明治34	日本生命保険会社本店(大阪)にオーチス製の電動式のロープコントロール巻胴式エレベーターが設置(1961年に国立科学博物館に部品一式が寄贈された)	
1903	明治36		オーチス(米)が、ビーバ・ビルディング(NY市)とマジェスティック・ビルディング(シカゴ市)に最初のギヤレストラクション式エレベーターを設置
1910	明治43	和歌山県和歌浦の望海楼(別名下り松眺望台)に鉄骨製エレベーターが設置(黒崎商會の設計製作)。	
1911	明治44	白木屋(東京)に百貨店用の最初のエレベーター(1階～3階)が設置。	
1912	明治45	三井銀行本店(東京)に日本最初の直流電動機使用トラクション式45m/minの乗用エレベーター4台が設置	
1914	大正3	・三越百貨店本店(東京)に三井銀行本店と同じ乗用エレベーター5台が設置。当時最高級として新聞が報道 ・凌雲閣(東京)にオーチス(米)の乗用エレベーターが再び設置	
1915	大正4	伊藤丸紅呉服店(大阪)に押しボタン式の国産初の乗用エレベーター2台が設置。製作は東松孝時の東松製作所	
1916	大正5	帝國鉄道協会(現日本交通協会 東京)にマイクロドライブ式エレベーターをオーチス(米)が納入。国内メーカーの交流二段制御の開発の切っ掛けとなる	
1919	大正8		日本エレベーター製造株式会社設立
1923	大正12		関東大震災発生
1926	大正15		警視庁令「昇降機取締規則」が制定され、わが国の本格的昇降機行政が開始
1927	昭和2		東京製鋼がエレベーター用に平行巻取りロープ(6xS(19))の製造を開始
1929	昭和4	三井銀行本館(現三井本館 東京)が再建され、日本初のギヤレスエレベーターをオーチス(米)が納入	
1931	昭和6	日本エレベーター製造が榊明電と協力して国産初の90m/min直流可変電圧式ギヤードエレベーターを常盤生命保険(東京)に納入	エンバイヤーステートビル(NY市)完成、102階床高さ381m、エレベーターは360m/minを含み総数74台
1932	昭和7	日本初のコネクティブコントロールエレベーターを聖路加病院看護学校に東洋オーチスが納入	日立がエレベーター事業開始
1935	昭和10	十合呉服店(大阪)に120m/minのギヤレスエレベーターを、東洋オーチスと日立が納入	三菱電機がエレベーター事業開始。
1936	昭和11	・新国議会議事堂(現国議会議事堂)に乗用エレベーター18台を日本エレベーター製造が納入 ・黒部川発電所堅坑トロコ積載用に、150m/min、4,500kg、ストローク194.4mの荷物ギヤレスエレベーター1台を東洋オーチスが納入(現在巻上機がオーチス芝山工場に展示保管)	
1938	昭和13	第一生命館(東京)に三菱電機がギヤレスエレベーター2台、ギヤードエレベーター4台、交流二段制御エレベーター1台、交流一段制御エレベーター5台の計12台を納入	戦時体制に基づき、民需用一般エレベーターの販売製造禁止令が出る
1945	昭和20	連合国軍総司令部(GHQ)の接收ビルのエレベーターの復旧命令に対して、エレベーター各社が協力して復旧に当たる	第二次世界大戦終結(終戦)
1948	昭和23		・建設省が誕生 ・富士輸送機工業株式会社設立
1949	昭和24	中ノ島公堂(大阪)に運転手付コネクティブコントロールの1号機を東洋オーチスが納入	・東京都昇降機安全条例が制定 ・東京知事認可のエレベーター協会設立。正会員数16社
1951	昭和26	日活国際会館(東京)に120m/min、1,350kgの乗用ギヤレスエレベーターを東洋オーチスと日立が納入	サンフランシスコ講和条約締結
1952	昭和27	新丸ビル(東京)に150m/min、1,000kgのギヤレスエレベーターを三菱電機と日立が納入	
1953	昭和28		国内昇降機全生産台数1,000台突破(通産省統計)
1955	昭和30		日本住宅公団設立
1955	昭和30	東京都庁舎にギヤレスエレベーターを三菱電機と日立が納入	
1956	昭和31		1956年8月号の「リーダズダイジェスト」の「オートメーション時代のエレベーター」の記事で米国における最新の自動式エレベーターが紹介
1958	昭和33	・日本住宅公団が住宅公団専用の30m/minのKJ形エレベーターを制定。三菱電機が名古屋市中区本町アパートに1号機を納入 ・東京タワーに展望用エレベーターを三菱電機が納入	
1959	昭和34	新三井ビル(大阪)に本格的なオートロニック群管理制御エレベーターの国内1号機を東洋オーチスが納入	
1961	昭和36	・三菱電機と日立が規格形エレベーターを発売。定員6～11人、速度30～60m/minをシリーズ化 ・京都国際ホテルに210m/min高速エレベーターを三菱電機が納入	
1963	昭和38		建築基準法が改正、容積率適用地区での建物高さの31m制限が無くなる
1964	昭和39		国内昇降機全生産台数5,000台突破(通産省統計)
1966	昭和41		東芝が昇降機事業開始

1967	昭和42	・早稲田大学工学部及び名鉄グラントホテルに240m/minエレベーターが設置 ・45m/minのKJ形エレベーター（電磁ブレーキ式）が開発され、金町市街地、習志野台市街地住宅に設置。	
1968	昭和43	国内初の超高層ビル 森が関ビルが完成。東洋オーチスと日立が300m/min超高速エレベーターと群管理制御を納入	東京製綱が300m/minエレベーター用の高強力ロープを開発
1970	昭和45	・規格形エレベーターのシリーズに速度90と105m/min、定員13と15人の機種が追加 ・京王プラザホテルに360m/minギヤレスエレベーターが設置	
1971	昭和46	・世界貿易センター（東京）に300m/minエレベーターが設置	国内昇降機全生産台数10,000台突破（通産省統計）
1972	昭和47	住宅公園高島平団地に速度傳遞制御式の45m/minのKJ形エレベーターが設置	
1973	昭和48	宝相勝島第二倉庫に30t大容量荷物用エレベーター（トラクション方式の日本最大記録品）を三菱電機が納入	日本エレベーター協会による「昇降機防災対策標準」が制定
1974	昭和49	新宿住友ビル、新宿三井ビルに世界最速タイとなる540m/min超高速エレベーターを三菱電機と日立が納入	
1975	昭和50	三田国際ビルに240m/min、1,150kgのサイリスタレオナードエレベーターを三菱電機が納入	
1978	昭和53	池袋のサンシャイン60（東京）に600m/min超々高速エレベーターを三菱電機が納入、乗用エレベーターの世界最速記録を更新	
1979	昭和54	・新宿センタービルにサイリスタレオナード方式360m/min超高速エレベーターが設置、同納先には個別呼び割当方式による即時予約灯付の群管理制御が採用 ・マイコン制御規格形エレベーターが発売	
1980	昭和55	・全静止化ギヤレスエレベーターが三菱銀行本店に設置 ・エタニティビル（大阪）に交流傳遞制御120m/minエレベーターをフジテックが納入	
1981	昭和56		「エレベーター耐震設計・施行指針」が制定
1982	昭和57	・オー・エム・ホテル日航ビル（大阪）にオールマイコンギヤレスエレベーターが設置 ・近鉄御堂筋ビル（大阪）に学習制御採用の群管理制御エレベーターが設置	
1983	昭和58	中層集合住宅用エレベーター（巻胴式、頂部の機械室なし構造）が発売。	
1984	昭和59	・五反田NNビル（東京）に世界で初めてとなるインバータ制御150m/min高速エレベーターを三菱電機が納入 ・東芝本社ビルにマイコン制御サイリスタレオナード方式の最速480m/minエレベーターを東芝が納入 ・通油ビル（名古屋）に交流傳遞制御で150m/minエレベーターをフジテックが納入 ・インバータ制御規格形エレベーターが発売	
1985	昭和60	・東邦ガス総合研究所（名古屋）にインバータ制御ギヤレスエレベーターを東芝が納入	
1986	昭和61	ARK森ビル（東京）にマイコン制御インバータ制御300m/min超高速エレベーターが設置	
1987	昭和62	中国電力本館ビル（広島）に電流形インバータ制御180m/min高速エレベーターが設置	木造4層建築が許可になり、建設省は「個人住宅用エレベーター設計指針」を公表
1988	昭和63	個人住宅用エレベーター（ホームエレベーター）が発売	
1989	平成1	紀尾井町ビル（東京）にAI機能（ファジー）付の群管理制御エレベーターが設置	
1990	平成2	萬世ビル（東京）に世界初のリニヤエレベーターを日本オーチスが納入	
1991	平成3	東京都庁第一庁舎（高さ243m）にインバータ制御540m/min超高速エレベーターが設置	
1992	平成4	成田国際空港にわが国初の水平移動ロープ式シャトルを日本オーチスが納入 ・横浜ランドマークタワーに750m/min超々高速エレベーターを三菱電機が納入。世界最速記録の更新	
1993	平成5		
1995	平成7	大阪ワールドトレードセンタ（大阪）に西日本で最速540m/min超高速エレベーターが設置	
1996	平成8		欧州で機械室なしエレベーターが発売
1997	平成9	オルガノ本社ビル（東京）に遺伝的アルゴリズム採用の群管理制御エレベーターが設置 ・機械室なしの規格形エレベーターが発売	
1998	平成10	・原川ビル（東京）にわが国初の機械室なしエレベーターを東芝が納入	「昇降機耐震設計・施行指針」が制定
2003	平成14	六本木ヒルズ森タワーに階間調整式ダブルデッキの300m/min超高速エレベーターが設置	
2004	平成16	TAIPEI101ビル（台湾、高さ508m）に1010m/min超々高速エレベーターを東芝が納入。世界最速記録の更新	

付録4 ロープ式エレベーター登録候補一覧

番号	名称	資料形態	所在地	製作者	製作年	コメント
1	荷物交流エレベーター	展示	赤レンガ倉庫 1号館(横浜市)	オーチス・エレベータ(米)輸入品	1910	初期輸入エレベーターの現存する実物品の一つ
2	乗用交流エレベーター	稼働	東亜菜館(京都市)	オーチス・エレベータ(米)輸入品	1926	2007年現在で稼働中エレベーターとしては国内最古のエレベーターの一つ
3	300m/min超高速エレベーター	稼働	震が関ビル(東京都)	日本オーチス・エレベータ/日立製作所	1968	わが国最初の超高速エレベーターの巻上機。輸入の巻上機と国産の巻上機の2機種が稼働中
4	マイコン制御規格エレベーター	稼働	株式会社 高岡(東京都)	フジテック	1979	マイコン制御規格エレベーターの国内初号機の一つ
5	120m/minインバータ制御ギヤレスエレベーター	稼働	東邦ガス機総合技術研究所(東海市)	東芝エレベータ	1984	インバータ制御によるギヤレスエレベーターの国内初号機
6	インバータ制御規格エレベーター	稼働	上智麹町ビル(東京都)	三菱電機	1984	インバータ制御規格エレベーターの国内初号機の一つ
7	リニアモーターエレベーター	稼働	萬世ビル(東京都)	日本オーチス・エレベータ	1990	日本(世界)初のリニアエレベーター
8	540m/min インバータ制御超高速エレベーター	稼働	東京都庁舎南高層棟(東京都)	日立製作所	1991	国内最初の540m/minインバータ制御超高速エレベーター(電流形インバータ制御)
9	540m/min インバータ制御超高速エレベーター	稼働	東京都庁舎北高層棟(東京都)	三菱電機	1991	国内最初の540m/minインバータ制御超高速エレベーター(電圧形インバータ制御)
10	750m/min インバータ制御超々高速エレベーター	稼働	横浜ランドマークタワー(横浜市) 成田国際空港 第2旅客ターミナルビル(成田市)	三菱電機 日本オーチス・エレベータ	1991	国内最初の750m/minインバータ制御超々高速エレベーターで、設置当時の世界最速の乗用エレベーター
11	水平シャトルシステム	稼働	大阪ワールドトレードセンタービルディング(大阪市)	東芝エレベータ	1992	国内最初のロープ式水平シャトル
12	540m/min インバータ制御超高速エレベーター	稼働	愛知県産業貿易館 本館(名古屋市) 原川ビル(八王子市)	フジテック 東芝エレベータ	1994 1996 1998	西日本における最速540m/minインバータ制御超高速エレベーター ニューラルネットワークを取り入れたAI制御の群管理制御エレベーターの一つ 機械室なしエレベーターの国内初号機

本報告は平成18年度科学研究費補助金特定領域研究『日本の技術革新—経験蓄積と知識基盤化—』
計画研究「産業技術史資料に基づいた日本の技術革新に関する研究」(17074009) の研究成果である。

国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第9集

平成19(2007)年3月30日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
(担当：コーディネイト・エディット 永田 宇征 田里 誠、エディット 久保田 稔男)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL：03-3822-0111
- デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク

正誤表(ロープ式エレベーター技術発展の系統化調査)

年月日	箇所	誤	正
2007年3月30日	P80右段32行目	5m/min	45m/min
2010年5月10日	P89左段39行目	1946年	1971年
	P92右段1行目	シアーズタワーセンター	ジョン・ハンコク・センター
	P110右段15行目	ティッセンクップ	ティッセンクルップ
	P110右段30行目	65年	50年
	P112参考文献5行目	(3)内明朗	(3)宮内明朗