

## 学位論文題名

## 高速・超高速エレベータの省電力・高品質制御に関する研究

## 学位論文内容の要旨

昭和50年代から、たびたび繰り返される石油危機の際に、ビル内主要縦交通機関であるエレベータシステムに対して省電力化の問題が提示されてきた。この省電力制御技術の確立は新設エレベータばかりではなく、累積保守台数が35万台に達しようとする国内既設エレベータの延命・近代化のための更新処理に対しても向けられている。一方、土地の有効活用をめざした近年の超高層ビルラッシュに伴い、エレベータの一層の高速化や乗り心地の向上、さらには電源高調波や電動機騒音の低減が可能な高品質制御の実現も求められている。本研究は、これらの問題点に関して高速・超高速エレベータを取り上げ、新たな省電力・高品質制御法を提示している。

はじめに、経年エレベータの性能向上をめざした近代化更新処理に伴う、省電力・高品質制御法についてふれている。つまり、エレベータ駆動用電動機として、既設の経年直流電動機を流用することを前提とし、これに電力を供給する電力変換器とその制御装置に新たな方式を立案・適用することにより所要の目標を達成している。提案する電力変換器としては、安価なサイリスタを用いて有効電力を削減するサイリスタコンバータ方式と、自己消弧素子であるGTO (Gate Turn Off thyristor) を用いて力率を向上させることにより無効電力を削減するGTOコンバータ方式を提案している。

サイリスタコンバータ方式では、界磁電流を定格値に一定とし、電機子電流を正負両方向に切り換える従来のサイリスタレオナード方式の問題点である低トルク領域の無駄な電力損失を低減しうる方式を提案している。つまり、トルク指令の小さい領域で、電機子電流を定格値よりも小さい値に一方向・一定値に制御し、トルク指令に応じて界磁電流を正負両方向に制御し、トルク指令の大きい領域では、界磁電流を正または負の定格値に一定制御し、トルク指令の絶対値に応じて電機子電流を一方向に増減させる銅損低減化方式を提案している。これにより、近代化更新処理前の電動発電機方式と比較して26.5~38.5%、一般的なサイリスタレオナードによる更新方式よりも約7%程度有効電力を削減できることを実験等により確認している。

GTOコンバータ方式では、従来の6個のGTOを用いたフルブリッジ方式で問題となっていた、最小パルス幅の制限から生じる低出力時の跳躍現象によるトルクショックを解決する方式として、パルス幅制御と位相制御の併用方式を提案し、エレベータ制御への本方式の適用を可能とした。さらに、変換器のコストアップを最小限とするため、上側アームを3個のGTO、下側アームを3個のサイリスタで構成する混合ブリッジ方式として、システムの原価上昇を抑制している。そして、この提案方式により、コンバータの円滑な出力発生と高力率化が達成されることを地上等価装置で確認している。さらにこの方式をエレベータ制御に適用し、階床間の往復運転実験により約60%の皮相電力の低減効果が上げられることを確認している。

省電力化の検討とあわせて、サイリスタコンバータ方式とGTOコンバータ方式に対し

て高品質制御の検討もそれぞれ行っている。

サイリスタコンバータ方式に対しては、乗りかごの縦振動を回避しうる制御系設計法、制御用移相器との関係で電動機騒音の抑制効果を十分に発揮しうるフィルタの設計法、提案の制御方式に適した流用電動機の諸仕様、サイリスタの故障モードの如何にかかわらず故障を検出しうる保護回路などを提案するとともに、実機を用いた実験によりその効果を確認し、高品質制御の可能性を示している。

GTOコンバータ方式に対しては、自己消弧動作に伴う過電圧の発生機構の解明とその抑制方式の提案により、システム自体を実現可能なものとしている。さらに、高調波抑制用フィルタの設計法について言及し、電源高調波をサイリスタコンバータ方式の約50%へと低減し、公害的な要素の改善を示唆している。

次に、近代化更新エレベータにおける直流電動機の流用という制約をはずし、誘導電動機を用いた新設エレベータに対する省電力・高品質制御についても新たな提案を行った。ここでは、センサ個数や帰還信号の本数が少ないことから構造的に本質信頼性の高い電流型コンバータ・インバータを取り上げ、エレベータ制御への適用に必須な二項目について検討を加え、電流型システムの実用化に成功している。

第一は、トランジスタを駆動する正弦波PWM(Pulse Width Modulation)信号の新たな作成法を提案した。その他、電源環境に悪影響を与える高調波電流や、乗り心地を損なうトルク脈動を低減しうる波高値分配アルゴリズム、コンバータ制御に対して電源位相の推定値を補正することにより電源同期を簡便に行う同期処理アルゴリズム、インバータ制御に対して正弦波的にパルスを間引くPFM(Pulse Frequency Modulation)制御の併用などの新手法を提案した。これにより、電源高調波をサイリスタコンバータ方式の約25%に、トルク脈動による縦振動を乗客が感知できないレベルにまで改善できたことを示す。

第二は、電源遮断時の過電圧抑制手法の確立である。停電等による通電中の電源遮断は、電力変換器を構成するトランジスタを破壊するため、これに備える保護回路の実現は電流型システムの要である。本論文では、中小容量のシステムにはアレスタを用いた回路方式、超高速エレベータのような大容量システムにはコンデンサクランプ方式による保護方式を提案し、実験によりその過電圧抑制効果を検証している。

さらに、速度が600m/分を越え、行程が500mに至るような超々高速エレベータの高品質制御を実現するための電気分野の重要技術として、乗りかごの新たな振動抑制方式を提案し、その効果を実験により確認している。

第一は、乗りかごの横振動抑制制御法である。ここでは、乗りかご側に取り付けた電磁石と走行案内レールとの間の空隙帰還制御と乗りかごの加速度帰還制御との融合という従来にない方式を提案した。そして、シミュレータと実規模等価試験装置を用いた実験により提案方式が目標である速度810m/分級のエレベータまで有効に動作すること、さらに、レールの据え付け精度の緩和が可能であり、工事期間削減などの波及効果を有していることを示している。

第二は、乗りかごの縦振動抑制制御法である。ここでは、エレベータの行程が長くなることにより、低周波数化するロープ系固有振動数と速度制御系との共振回避手法を新たに提案している。制御方式として、電気系のみを簡易エレベータモデルを速度制御系内に備え、この出力と実機から検出した速度信号との差信号を振動抑制制御に用いる手法を提案している。そして、シミュレーションと長いロープをバネで模擬した等価実機試験装置を用いた実験によりその抑制効果を検証している。

最後に、提案した種々の技術により構成される高速・超高速エレベータが日立エレベータの主力機種として実用化されていること、超々高速エレベータが他の機械分野の技術開発完了とともに実用化可能な状況にあることを明らかにしている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 土 谷 武 士  
副 査 教 授 長 谷 川 淳  
副 査 教 授 島 公 脩  
副 査 教 授 大 西 利 只

## 学 位 論 文 題 名

### 高速・超高速エレベータの省電力・高品質制御に関する研究

近年、各種の産業機器分野で省電力、高品質制御に関する研究が活発に行われている。高層ビル内の重要な縦方向の交通機関であるエレベータにおいても、高力率でかつ少ない有効電力で運転が可能であること、及び、乗客を快適に低公害な性能で目的階に安全確実に送りとどける手法についての検討が進められている。しかしながら、その現状を見ると、すでに稼働中の十数万台にのぼる老朽既設エレベータの近代化更新法への開発の取り組みは皆無である。また、新設エレベータにおいても、保守作業における制御技術の一元化を念頭に置いた系統的な開発や、将来システムである超高行程ビル向け超々高速エレベータへの取り組みについても不十分であると言える。

本論文は、老朽エレベータの近代化更新に関し、既設直流電動機の流用に着目し、省電力・高品質特性を新たに付与しうる電力変換器（コンバータ）とその制御装置を提案した点、また、新設エレベータ用インバータ方式として、老朽エレベータ更新用コンバータ方式の延長線上に共通技術として位置付けることができる電流型インバータシステムを実用化した点、さらには、超高行程システムにおける乗りかごの振動抑制に対して斬新な手法を提案した点など極めて技術的に意義深いものがある。

特に、コンバータ方式については、従来のサイリスタレオナード方式に対してさらに踏み込んだ検討を行い、エレベータシステムに格好な低出力時の不要な損失を一層低減したサイリスタコンバータシステムを提案するとともに、あわせて保護回路、騒音抑制法なども提案してシステム完成度を高めている。さらに、このサイリスタコンバータシステムの一部素子を自己消弧素子に置換し、最小パルス幅の制約を解消する新制御法を提案し、無効電力を半減しうるコンバータ方式にまで議論を拡張し、老朽エレベータ更新時の選択肢を広げている。また、新設エレベータに適用するインバータ方式についても、コンバータ方式と同類の技術的扱いが可能な電流型システムを取り上げ、その実用化上の最大課題となっていた正弦波入出力制御方式と停電時などに発生する過電圧の保護方式を提案して本方式の本格的な実用化に成功している。更に、大深度地下利用や超々高層ビル向けの超高行程エレベータ実現の為の不可避課題である乗りかごの横・縦振動抑制に対して、保守・調整上の波及効果をも有する磁気ガイドと簡易モデル規範制御を用いたシステムを提案するとともに実機確認を完了し、実用化可能なレベルに要素技術を到達させている。

以上のことから本論文は、エレベータシステムを省電力・高品質制御の観点からとらえ、老朽エレベータの更新処理から、新設、さらには今後の超高行程エレベータに至る一連の

流れの中で統一的に扱い得る新たな電力変換器とその制御方式を提案している。

これを要するに、著者は、電力変換工学の応用先の一つであるエレベータ駆動用電力変換機器とその制御方式について省電力化と高品質化を実現するための新知見を得たものであり、電力変換工学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。