

エレベーターの省エネルギー技術

石川純一郎*
坂野裕一*
山下桜子*

Energy Saving Technologies for Elevators

Junichiro Ishikawa, Kazuhiro Banno, Sakurako Yamashita

要 旨

近年の国内外における省エネルギーに対する関心の高まりの中で、建築分野でも、省エネルギー性能評価方法の標準化、省エネルギー性能の届出義務化や省エネルギー性能改善設備の設置義務化など、低炭素社会を見据えた社会体系づくりが本格化している。このような環境変化の中で、多くの分野で“省エネルギー”をキーワードに新デバイス・新技術の開発競争が繰り広げられている。

エレベーターの製品開発でも省エネルギー性能は過去から重要視され、新機種開発のたびに性能改善が進められてきた。

エレベーターの消費エネルギーは仕様及び利用状況に応じて大きく変化するため、標準的なパターンでの性能評価が難しい面を持っている。

本稿では、エレベーターの省エネルギー技術の変遷と消費電力特性について述べるとともに、2011年6月にモデル

チェンジした標準形エレベーター“AXIEZ(アクシーズ)”に採用した省エネルギー技術とその効果について述べる。

(1) LED照明

全天井にLED(Light Emitting Diode)照明を採用し、照明単体の消費電力を1/2~1/8に削減した。

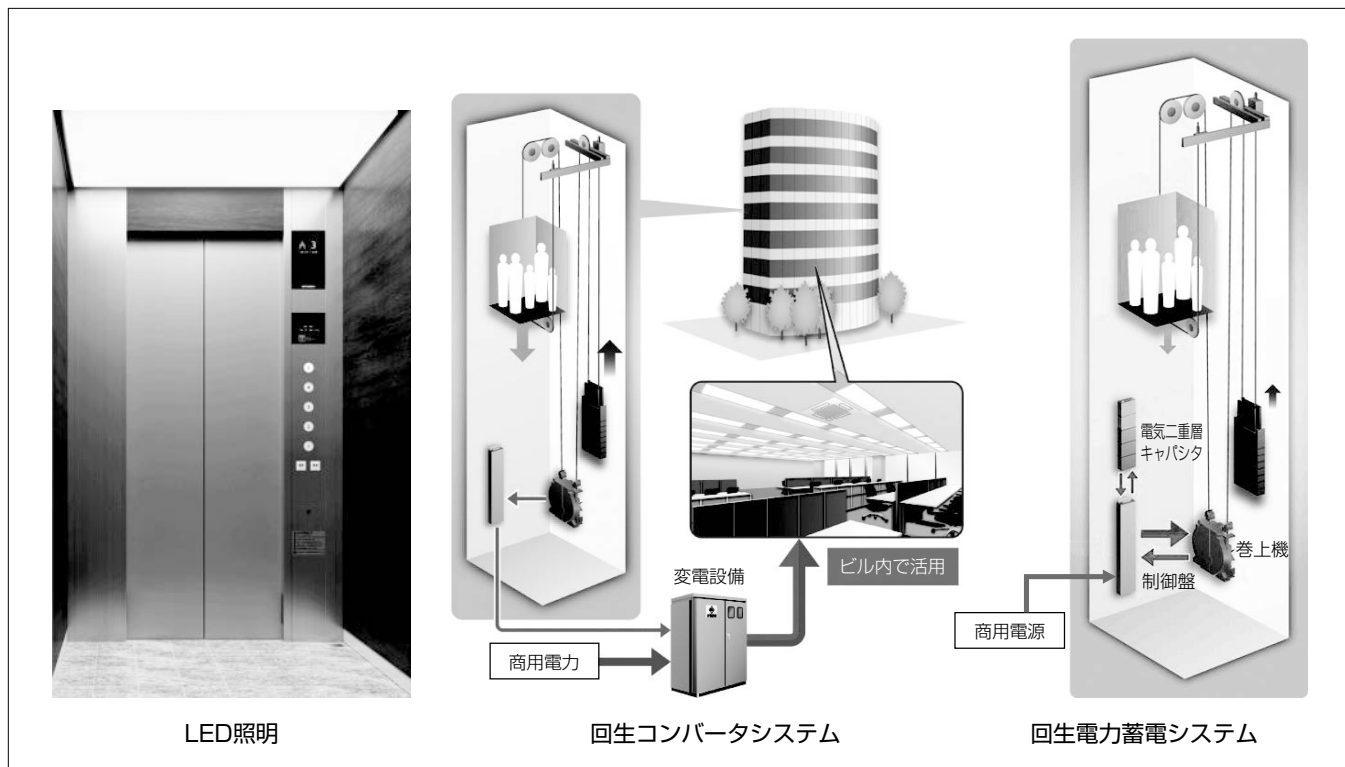
(2) 回生コンバータシステム

機械室レスエレベーター用の回生コンバータシステムを開発し、システム全体の消費エネルギーを35%^(注1)削減した。

(3) 回生電力蓄電システム

回生電力を電気二重層キャパシタに蓄え、走行時に再利用するシステムを開発することで、小規模ビルにも適用可能な回生利用システムを実現した。これによって、システム全体の消費エネルギーを25%^(注1)削減した。

(注1) 基本仕様との比較。効果はエレベーターの仕様や使用条件によって変わる。



三菱新機械室レスエレベーター“AXIEZ”の省エネルギー技術

AXIEZに投入した主な新規省エネルギー技術は、①LED照明、②回生コンバータシステム、③回生電力蓄電システムで、これらの技術によって①では消費電力を1/2~1/8に削減し、②では消費エネルギーを35%^(注1)、③では25%^(注1)削減した。

1. ま え が き

近年の国内外における省エネルギーに対する関心の高まりの中で、建築分野でも、省エネルギー性能評価方法の標準化、省エネルギー性能の届出義務化や省エネルギー性能改善設備の設置義務化など、低炭素社会を見据えた社会体系づくりが本格化している。このような環境変化の中で、多くの分野で“省エネルギー”をキーワードに新デバイス・新技術の開発競争が繰り広げられている。

エレベーターの製品開発でも省エネルギー性能は以前から重要視され、新機種開発のたびに性能改善が進められてきた。

エレベーターの消費エネルギーは仕様及び利用状況に応じて大きく変化するため、標準的なパターンでの性能評価が難しい面を持っている。

本稿では、エレベーターの省エネルギー技術の変遷と消費電力特性について述べるとともに、2011年6月にモデルチェンジした標準形エレベーターAXIEZに採用した省エネルギー技術とその効果について述べる。

2. 省エネルギー技術の変遷

表1にトラクション式エレベーターにおける駆動制御方式と消費エネルギーの変遷を示す。

速度が分速120m以上の高速エレベーターでは、1970年代後半に、MG(Motor Generator)セット(電動機・発電機)をサイリスタレオナード方式に変更し、また制御回路をマイクロプロセッサに置き換えて電子化した結果、制御性能が大幅に向上するとともに、約40%の省エネルギーを達成した。

速度が分速105m以下の低速エレベーターでは、減速機付きの誘導モータを用い、中低層ビルの標準形エレベーターとして広く普及した。1970年代前半に、サイリスタを用いて誘導モータの一次電圧を制御することで、速度がおおむね連続的に制御でき、乗り心地がかなり改善されるとともに、加速・減速時のモータ効率が改善され、制御回路の

表1. 駆動制御方式と消費エネルギーの変遷

機種	年代	1970	1980	1990	2000	2010		
高速エレベーター	モータ制御方式	ワードレオナード	サイリスタレオナード	VVVF(インバータ)				
	制御回路	リレー回路	マイクロプロセッサ					
	巻上機(モータ)	一般	ギャレス(直流モータ)	はすば歯車式(誘導モータ)	ギャレス(永久磁石同期モータ)	薄型・集中巻き構造		
		超高速	ギャレス(直流モータ)	ギャレス(誘導モータ)				
	消費エネルギー(%)	100	95	72	62	57	54	52
低速エレベーター	モータ制御方式	交流二段速度制御	一次電圧制御	VVVF(インバータ)				
	制御回路	リレー回路	マイクロプロセッサ					
	巻上機(モータ)	ウォーム歯車式(誘導モータ)		はすば歯車式(誘導モータ)	ギャレス(永久磁石同期モータ)	ギャレス(永久磁石同期モータ)	薄型・集中巻き構造	
	機械室	機械室あり				機械室なし		
	消費エネルギー(%)	100	93	74	37	32	30	29

マイクロプロセッサ化を含めて、従来タイプから効率を20%程度向上した。

その後、制御特性の優れたパワートランジスタが出現し、これを利用した可変電圧可変周波数(Variable Voltage Variable Frequency: VVVF)制御方式、すなわちインバータ制御方式の技術が飛躍的に進歩した。

三菱電機は世界に先駆けて、エレベーター用インバータ制御技術を開発し、1983年に高速エレベーターで実用化に成功した。インバータ制御方式は、高効率に加え、電源力を改善する特性を備え、約10%の高効率化と、約20%のビル電源設備容量の低減も図ることができた。また、優れた制御性能によって、誘導モータでもきめ細やかな制御による優れた乗り心地と効率の良い加速・減速が可能となり、特に低速エレベーターでは、従来の一次電圧制御方式に比べ約50%と、大幅な高効率化を達成することができた。

1990年にはウォーム歯車式巻上機に代わって、効率の良い“はすば歯車式巻上機”を実用化した。これによって伝達効率の高効率化と、更なる乗り心地の向上を達成できた。

1990年代の半ばには、永久磁石同期モータを内蔵したギャレス巻上機(以下“PMギャレス巻上機”という。)を高速(速度が毎分120m以上)・超高速(速度が毎分300m以上)に実用化し、永久磁石によって誘導機に比べ多極化・小型化と高効率化を実現した。

1998年に当社が市場投入した機械室レスエレベーターでは、巻上機や制御盤を昇降路内に納めるために、静粛性に優れたPMギャレス巻上機を低速エレベーターに採用した。制御盤は、薄型化のために、駆動部と電源部を高集積化し、制御電源をスイッチング電源化して電源電圧の安定化と変換ロス低減による消費電力の削減を実現した。

2001年には、さらに省スペース性・レイアウト性で優れている薄形PMギャレス巻上機を開発し、急速に機械室エレベーターが普及した。モータ径を上げて薄型化し、集中巻き構造の採用による大幅な銅損低減を達成することで、省エネルギーへの貢献を図っている。現在では超高速から低速までの全領域でPMギャレス巻上機が主流となっており、省エネルギーニーズの高まりによって高速エレベーター巻上機でも同様に薄型化し、集中巻き構造を採用することで、省エネルギー化している。

このようにモータドライブにおける最近数十年の技術進歩は、エレベーターの快適な乗り心地の実現や省スペース化の実現とともに、省エネルギーの点でも大きな役割を果たしてきた。

3. エレベーターの構成機器とその消費エネルギー

エレベーターの構造図を図1に、巻上機モータの電力波形を図2に示す。エレベーター機器の中で瞬時消費電力が最も大きいのはかごとつり合いおもりを昇降させる巻上機

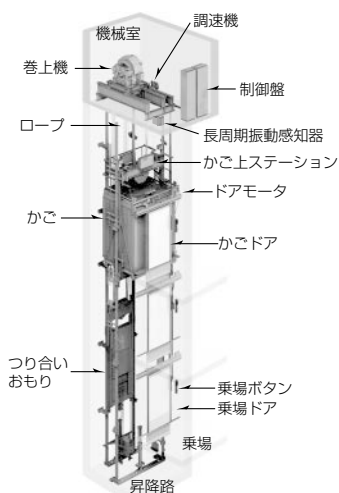


図1. エレベーターの構造

モータなどである。これらの機器は走行時のみに使用されるため、走行時間が短いエレベーターでは消費エネルギーにあまり寄与していない。

図3にエレベーターの起動頻度と機器の消費エネルギーの関係を示す。多くの低速エレベーターは低い起動頻度で使用されている。このような条件では絶対量は小さいが、継続的に電力を消費し続ける制御機器の消費エネルギーの全体に占める割合が大きい。照明は走行中及び走行停止後一定時間点灯する関係上、低い起動頻度で連続点灯する。そのため、起動頻度が低い領域で割合が大きい。巻上機モータは起動頻度の高い領域で割合が大きい。

このように起動頻度に応じて、全消費エネルギーに対して影響を与える機器が変化する。また、起動頻度以外では機器の仕様や乗車率などによっても消費エネルギーは変化する。これらの条件はビルごとに大きく異なり、随時変化するため、異なるビル用途の省エネルギー性能を特定の代表パターンで評価するのは難しい。また、様々な条件で効果的に消費エネルギーを削減するには、起動頻度に応じて複数の手段を組み合わせる必要がある。

4. AXIEZの省エネルギー技術

4.1 LED照明

先に述べたようにエレベーターのかご照明は停止後自動消灯機能によって電力消費を抑制している。そのため、一般的な照明と比較して投入回数が非常に多いのが特徴である。

これまで、エレベーターのかご照明には白熱電灯又は蛍光灯が一般的に使用されてきた。これらの照明の寿命は投入回数への依存性が高い。そのため、走行停止後も一定時間点灯し続けることで、投入回数を抑制し、寿命を延ばしている。この方法では、実際に必要な点灯時間より長く照明を点灯するため、自動消灯機能による省エネルギー効果には一定の限界がある。一方、近年、価格の低下とともに普及しつつあるLED光源の寿命は主に点灯時間に依存し

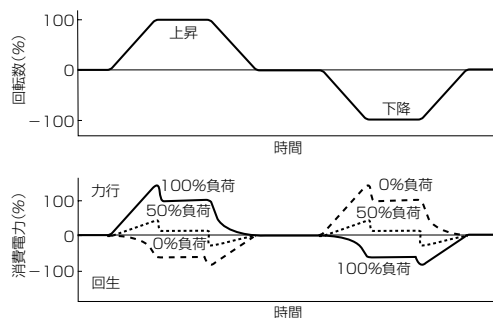


図2. 巻上機モータの電力波形

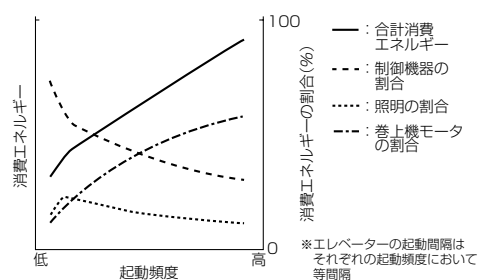


図3. エレベーターの起動頻度と消費エネルギーの関係

ており、投入回数による影響が少ないのが特徴である。

標準形エレベーターAXIEZでは全ての天井にLED光源を主照明として採用した。その結果、LED照明天井の消費電力は、従来の蛍光灯タイプ天井との比較で1/2、白熱灯ダウンライトとの比較で1/8に削減できた。また、自動消灯に移行するまでの時間を短縮することで待機電力を削減することができた。さらに、照明器具の寿命を蛍光灯比で約3.3倍、白熱灯比で約26倍となり、照明器具交換回数を削減することができた。

このように、照明器具の長寿命化と省エネルギー化によって、エレベーターのライフサイクルコストの低減と環境負荷の低減を実現した。

4.2 回生利用技術

4.2.1 回生コンバータシステム

エレベーターはかごと“つり合いおもり”をロープを介して吊(つ)っており、ロープをモータで駆動することによってかごを昇降させている。つり合いおもりは定格定員数の約半分でかごとの重量バランスが取れる。この重量バランスが崩れた場合、モータは重い方に引っ張られ、重い方を持ち上げる際に重量物に位置エネルギーが蓄積される。逆に引っ張られる方に動いた場合にはモータを発電機として利用でき、位置エネルギーを回生エネルギーとして回収できる。このようにエレベーターは構造上、速度エネルギーに加え、位置エネルギーから大きな回生電力を得ることができる。

高速エレベーターでは古くから、回生コンバータを利用することで、回生エネルギーを有効活用してきた。回生コンバータは図4に示すように、モータから返された回生電力をコンバータを介してビルの電源系統に直接返す構造になっている。そのため、高い効率で回生電力を再利用できる。

低速エレベーターについてはその多くが小規模ビルに設置されるため、回生電力を消費する設備が十分に確保できない場合が多いことや、サイズ・コスト制約の面から回生電力を抵抗で消費する方式が一般的である。

しかし、中～大規模ビルでは、十分な設備を持つにもかかわらず、これに対してソリューションが提供されていないのが現状である。そこで、機械室レス形エレベーターAXIEZでは、回生コンバータの小型化を図り、昇降路内

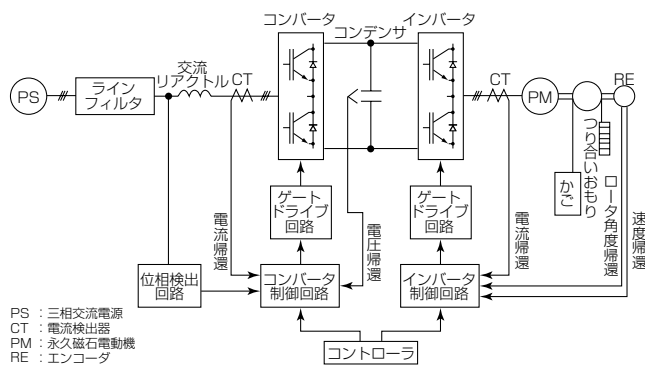


図4. 回生コンバータ付きエレベーターの駆動システム

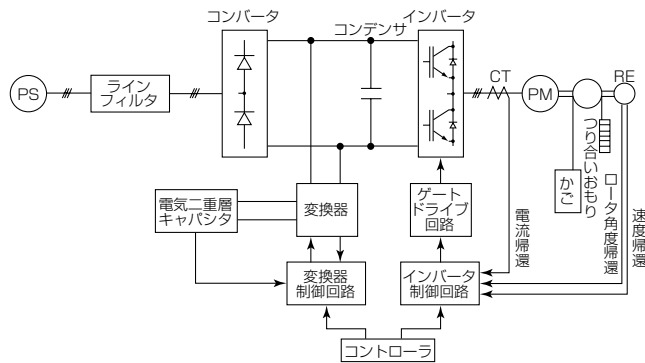


図5. 回生電力蓄電システム

に配置できるサイズを実現した。今後、低速エレベーターの省エネルギー化に貢献することが期待される。

4.2.2 回生電力蓄電システム

先に述べたとおり、小規模ビルでは回生コンバータを利用できない場合が多い。当社が2001年に発売した“エレセーブ”はニッケル水素バッテリーを備え、停電時に10分間の自動運転を可能とした。また、回生電力をバッテリーに蓄え、これを走行時に再利用することで、約20%の省エネルギー化を実現し、小規模ビルでの回生電力利用を可能とした⁽¹⁾。

近年のパワー用途向け蓄電デバイスの開発競争によって、短期間でエネルギー密度、出力密度、充放電耐久性や充放電効率が向上している。これらの蓄電デバイスの中でも、電気二重層キャパシタは優れた充放電耐久性、高い充放電効率を持ち、環境に優しいデバイスとして知られている。当社が発売した回生電力蓄電システム“エレチャージ”では、電気二重層キャパシタを蓄電デバイスとして採用した。電気二重層キャパシタは先に述べた利点がある一方、エレベーターに組み込むには、高温通電による劣化対策やキャパシタの長所を活用する回路構成と制御方法が課題であった。

そこで、エレチャージでは回路の最適化とキャパシタ温度や電圧の監視制御技術を新規開発することで、二次電池の倍以上の交換周期を実現し、約25%の省エネルギー効果を達成した(図5)。

4.3 省エネルギー効果

これまでに述べた省エネルギー技術について、それらを適用した消費エネルギーのシミュレーション評価を行った。

表2. AXIEZの消費エネルギー改善率

用途	階床	消費電力量削減率
住宅：9人乗り	5階	20%
	9階	18%
オフィス：11人乗り	5階	17%
	10階	13%
オフィス：15人乗り	5階	13%
	10階	11%

表3. 回生利用技術による消費エネルギー改善率

用途	階床	回生コンバータシステム改善率	回生電力蓄電システム改善率
住宅：9人乗り	5階	5%	2%
	9階	14%	10%
オフィス：11人乗り	5階	19%	12%
	10階	30%	21%
オフィス：15人乗り	5階	30%	25%
	10階	35%	20%

結果を表2、表3に示す。シミュレーションはエレベーターの交通流の実測データを基にした時系列での起動条件で実施した。

表2はAXIEZの従来機種に対する消費エネルギー改善率を示している。LED照明などの省エネルギー技術を取り入れることによって従来機種に対して、消費エネルギーが最大20%削減される。消費エネルギーの中で大きなウェイトを占める照明にLED照明を適用したことで自動消灯を最適に行うことが可能となり、特に起動頻度の低いビルで大きな省エネルギー効果を得られる。

表3は回生コンバータシステム及び回生電力蓄電システムの適用有無による消費エネルギー改善率を示している。回生コンバータシステムは適用なしに比べて消費エネルギーが最大35%削減、回生電力蓄電システムは適用なしに比べて消費エネルギーが最大25%削減される。また、いずれも乗客数が多くなり起動頻度が高くなるほど消費エネルギーの改善率は大きくなる傾向にある。

このようにAXIEZではLED照明、回生利用技術などによって、幅広い仕様と用途で高い省エネルギー性能を実現した。

5. む す び

エレベーターの省エネルギー技術の変遷と消費電力特性について述べるとともに新型AXIEZに採用した新技術及びその効果について述べた。

今後、回生利用技術の普及に努めるとともに、個々の機器の更なる消費エネルギー低減に努め、地球温暖化防止に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 池島宏行，ほか：三菱省エネルギー形停電時自動運転装置“エレセーブ”，三菱電機技報，75，No.12，782～785（2001）