

昇降機の品質と安全性を向上させる 信頼性評価技術

Reliability Evaluation Technology Improving Elevator and Escalator Quality and Safety

矢崎 雄一 YAZAKI Yuichi 渡辺 尚央 WATANABE Hisao

昇降機は現代社会で、高層ビルや地下鉄の駅など、高低差のある場所での移動に欠かせない存在になった。過去の利用者事故や、故障によるエレベーターかご内への閉じ込めなどを防ぐために、重要な制御回路の二重化やブレーキ動作の監視など、機器の安全性向上対策が重要になっている。併せて、修理やメンテナンスのための運行停止時間（ダウンタイム）を短縮する要求も高まっている。

東芝エレベータ(株)は、昇降機製品の更なる品質向上のために信頼性評価技術を開発し、安全・安心な製品を提供するとともにダウンタイムを抑制することで、利用者の安全性と利便性の向上を図っている。

In modern society, elevators and escalators have become essential means of transportation in locations with differences in elevation such as skyscrapers and subway stations. Measures that improve equipment safety, such as installing redundant vital control circuits and monitoring braking operations, have become ever more important in preventing past accidents from recurring, and ensuring that passengers do not become trapped in elevator cars due to malfunctions. Also, demand to reduce service downtime due to repairs and maintenance continues to grow.

Toshiba Elevator and Building Systems Corporation has developed reliability evaluation technology to further improve elevator and escalator quality, provide safe, reliable products, reduce downtime, and provide safer, more convenient service for users.

1. まえがき

昇降機は、建物内の縦方向の移動手段として、自動運転で利用者を輸送する機器であり、利用者の安全を確保することが必須である。また、故障によるエレベーターかごへの閉じ込めなど、利用者に不安を与える事象は避ける必要があり、品質の高い製品が求められる。

このような、昇降機に対する安全性の向上や故障率の低減といった要求の高まりとともに、関連する法令などの見直しも行われている。例えば、エレベーターには、ドアが開いた状態での走行を防ぐ、戸開走行保護装置の設置が義務付けられている。このような装置により、万が一故障などが生じた場合にも安全性を確保できる。一方で、装置の付加により部品点数が増加して、機器構成及びソフトウェアが複雑化することで、故障リスクやメンテナンス時間が増えて、ダウンタイムが増加することが懸念される。安全性を高めながら、従来よりもダウンタイムを短縮することが求められており、製品開発時の性能検証・信頼性評価や、製品化後の市場における製品性能・部品劣化状況の評価が重要になる。

東芝エレベータ(株)は、これまで様々な信頼性評価技術を開発し、製品の安全性を確認してきた。また、信頼性評価機能の強化及び拡大を目的として、2022年に信頼性評価センターを設立した。

ここでは、当社が開発した最新の信頼性評価技術と、信頼性評価センターの概要について述べる。

2. 信頼性評価技術

信頼性評価は、ハードウェアとソフトウェアの両面から実施する。

2.1 ハードウェアの評価技術

ハードウェアは、部品やユニットなどの昇降機を構成する要素の単体基礎試験と、それらを組み合わせて昇降機を構築した状態でのシステム試験との、2段階で評価する。

単体基礎試験では、各部品の特性値のばらつきや、環境温度の変化の影響、寿命と部品交換周期、メンテナンス時の作業性などを評価し、設計値と比較すると同時に、求められる仕様との整合性を確認する。単体基礎試験のメリットは、システム試験と比較して、次のとおりである。

- 各種試験作業の安全性が高い。
- 試験条件の調整が容易である。
- 試験結果の再現性が高い。
- 環境試験で用いる試験設備の規模を縮小できる。
- 寿命評価における加速劣化試験の実施が容易である。

単体基礎試験で部品単体の寿命を効率的に評価するために、新規に加速劣化試験方法を開発した。

開発した技術を適用した部品単体の加速劣化試験の一例

として、図1にコンデンサーの余寿命推定結果を示す。コンデンサー表面に微小な穴を開け、強制的にドライアップを早めることで、静電容量の時間変化特性を短時間で把握する⁽¹⁾。次に、得られた特性に、メンテナンスで交換・回収したコンデンサーの測定値を当てはめて、余寿命を推定する。従来、余寿命は定格値から推定していたが、この試験方法により、短い試験期間で正確に推定できるようになった。コンタクターなどの部品に対しても、同様に加速劣化試験方法を用いて、評価できる。

また、製品としての稼働開始後に、メンテナンスで交換した部品を回収して余寿命評価などを行い、単体基礎試験での加速劣化方法や試験結果の妥当性検証に役立てる。

システム試験では、単体基礎試験を終えた部品やユニットを実際の昇降機システムに組み込んで総合性能を評価し、最終的に安全性・性能が仕様を満足するかどうかを確認する。このとき、単体基礎試験の性能確認結果が、システム試験でも再現できることの検証が重要である。

昇降機は、納入場所によってエレベーターかごの大きさ(定員)や、速度、昇降行程などが異なり、様々な仕様で現地に設置される。それら全ての仕様についてシステムを試作することは難しいため、単体基礎試験結果の再現性を確認した上でシステム設計の妥当性を検討することで、仕様範囲をカバーした評価を行う。

昇降機は、工場出荷の段階では部品の状態であり、建設現場での据付・調整作業を経て最終製品となる。稼働開始後は定期的なメンテナンスを行うため、システム試験では、据付・調整作業性や保守作業性についての最終評価も実施する。

2.2 ソフトウェアの評価技術

ソフトウェアについても、昇降機の主制御装置を中心とし

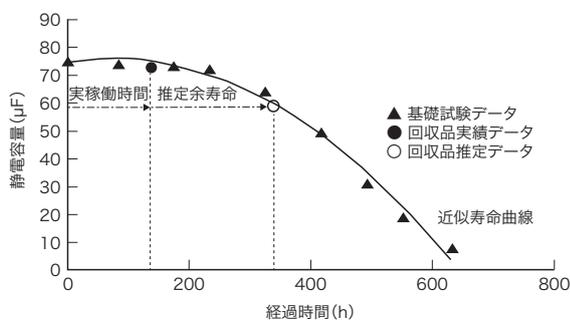


図1. コンデンサーの余寿命推定結果

メンテナンスで交換・回収したコンデンサーの特性を、加速劣化試験結果から得られた特性に当てはめることで、より正確に余寿命を推定できる。

Estimation of remaining condenser lifetime

て、周辺機器を模擬したシミュレーターを用いて、動作検証のためのテストを行う。しかし、周辺機器の中でモーター制御部は、高速で複雑な信号の入出力が必要なため、実機と等価に模擬することが難しい。また、ソフトウェアの一部を変更する場合、変更箇所の評価だけでは、ほかの部分への影響を確認できない。周辺に与える影響までチェックするためには、変更箇所だけでなく対象ソフトウェア全体をテストする必要があり、長時間を要する。

これらの解決には、実機との等価性の実現と、テストの自動化が有効な施策である。近年のモデリング技術やクラウドコンピューティング技術を活用して、実機等価性の向上とテスト自動化範囲の拡大に取り組んでいる。

例として、エレベーターのモーター制御シミュレーターについて述べる。図2に、モーター制御シミュレーターを含むソフトウェアテストシミュレーターの全体を示す。

モーター制御部は、エレベーターかごを昇降させる主モーター、及びドア用モーターを制御する。主モーターとして、パワーエレクトロニクス分野で用いられるリアルタイムシミュレーターを導入した。リアルタイムシミュレーターには、インバーター、主モーター、及びエレベーターかごなどの機械系を模したハードウェアモデルが含まれる。ドア用モーターは、実際のドア用モーターを用いた小型のドア装置(実機)を作成し、モーター制御シミュレーターに組み込んだ。それぞれ異なるシミュレーション方式を用いたが、いずれも、実機の動作と同等の制御信号が得られることを検証済みであり、評価用モデルとして利用できる。

モーター制御部に動作指示などを行うエレベーター制御盤として、エレベーターに標準適用している主制御基板(実機)を用いることで、部品改廃などの際の動作確認に対応できるようにした。

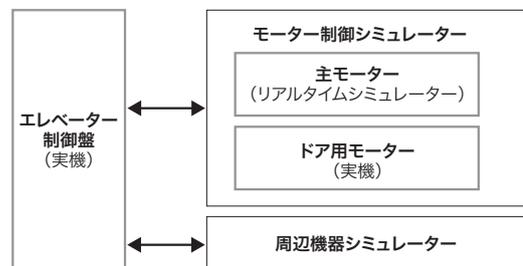


図2. モーター制御シミュレーターを含むソフトウェアテストシミュレーターの構成

モーター制御シミュレーターは、様々な仕様のモーターの等価モデルを持っており、任意に置き換えられる。

Software test simulator configuration including motor control simulator

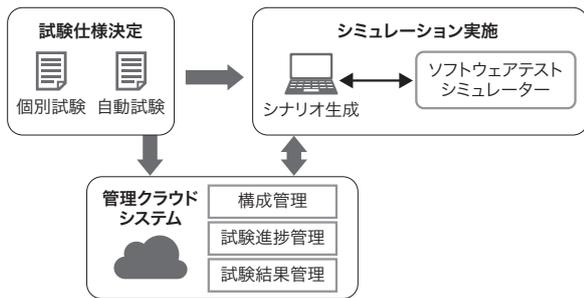


図3. ソフトウェアテスト自動化システム

試験対象となるソフトウェアやテスト仕様などをクラウドシステム上で統合管理する構成とし、テスト自動化範囲を拡大した。

Software test automation system

ソフトウェアテストシミュレーターに、ソフトウェアテストの仕様を示し、結果を入出力して保管するソフトウェアテスト自動化システムを、新たに開発した(図3)。テスト仕様は、ソフトウェア変更対象部分のテストに加えて、周辺への影響度をチェックするために回帰テストも組み込んだものとし、これらをシナリオテストとして実行する構成とした。従来、シナリオテストの設定は手動で行っていたが、簡単な手動操作で自動的にシナリオを生成するシステムに改善した。また、開発部門で設計してクラウドシステム内の構成管理に登録するソフトウェアに対し、ソフトウェアの更新情報を自動で検知して回帰テストを含むシナリオを自動更新するシステムを実現し、評価期間を短縮した。

今後は、処理の高速化や、テスト条件にランダム性を持たせることで、更なる効率化とソフトウェアの信頼性向上を図る。

3. 信頼性評価センターの設立

当社は、様々な環境を想定した性能検証や部品寿命の把握などの信頼性評価をより高度化するために、信頼性評価センターを設立した。

図4に、試験棟とその内部に設置したエスカレーター試験塔及び単品評価試験塔を示す。エスカレーター試験塔は高さ約20mで、高揚程機種の性能評価が実施できる(図4(b))。また、単品評価試験塔には、新型のロープ試験設備と、作業効率を改善した安全装置向け評価設備を導入した(図4(c))。

これらの設備や評価技術者を集約したことで、評価試験の効率化と技術者の人材育成が可能になった。また、予備エリアを確保しているため、シミュレーターの増設や、新たな技術開発要素の設備導入にも応えられる。

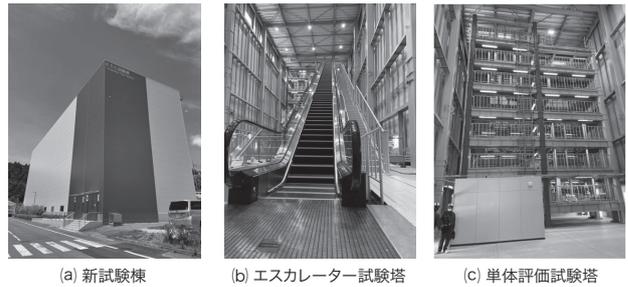


図4. 信頼性評価センターの設備

試験棟内には、高揚程エスカレーター、及びエレベーター単体部品用の昇降路を設置した。

Reliability Evaluation Center equipment

4. あとがき

品質・信頼性評価に携わる品質部門の活動は、その効果を定量的に評価することは難しく、かつ時間を要する。しかし、地道な改善の積み重ねを継続することが最も大切である。引き続き、信頼性評価センターを活用して、信頼性評価技術を磨いていく。

将来は、信頼性評価技術を高度化し、部品故障の予兆診断技術などを開発することで、昇降機の安全性向上とダウンタイム短縮を更に進め、利用者の利便性向上に貢献していく。

文献

- (1) 村上和也, ほか. アルミ電解コンデンサの短期試験方法に関する考察. 電子情報通信学会技術研究報告. 2009, 109, 94, p.7-11.



矢崎 雄一 YAZAKI Yuichi
東芝エレベータ(株)
信頼性評価センター
Toshiba Elevator and Building Systems Corp.



渡辺 尚央 WATANABE Hisao
東芝エレベータ(株)
信頼性評価センター システム品質部
Toshiba Elevator and Building Systems Corp.