特集論文

# 他社製エレベーターリニューアルのためのオートチューニング技術

潮崎晴紀*
*Harunori Shiosaki*
大塚康司*
*Yasushi Otsuka*

*三菱電機ビルソリューションズ㈱

*Auto－Tuning Technology for Elevator Renewal Using Third－Party Traction Machine*

**要　旨**

海外市場を中心にマルチブランド保守が主流化する中，他社製エレベーターに対応したリニューアルメニューの整備が急務になっている。三菱電機ビルソリューションズ㈱(MEBS)は，三菱製制御盤で他社製巻上機を制御するためのコア技術として，オートチューニング機能を開発した。この機能は，ブレーキ制動状態でモーター電気特性を同定する停止時チューニングと，走行を通じてトルク定数・システム全体の慣性モーメント(イナーシャ)を同定する走行時チューニングの２段階で構成される。走行試験によって，メーカー諸元値を用いた場合と遜色ない制御性能を確認し，モーター定数が入手できない場合でも他社製巻上機の適用が可能になった。この技術を活用することで，メーカーを問わないリニューアルメニューの提供が可能になった。

## 1．ま え が き

近年，特に海外市場では，製造元にかかわらずエレベーターの保守を行うマルチブランド保守が主流になっている。

三菱電機グループが保守しているエレベーターがリニューアル時期を迎える中，三菱製エレベーター向けだけでなく，他社製エレベーターにも対応したリニューアルメニューの整備が急務になっていた。また，このメニューの整備は，三菱電機グループ以外の保守サービスを利用している顧客に対するリニューアル提案をきっかけとして，三菱電機グループによる充実したエレベーター保守を提供することにつながる。

そこで，他社製エレベーターに対応したリニューアルソリューションとして，三菱製機器と他社機器を組み合わせてリニューアルを行うメニューを開発したため，その概要とコア技術であるオートチューニング機能の開発について述べる。今回開発したリニューアルメニューの構成は，電気機器を交換し，機械機器を流用する制御改修である。制御盤やかご上ステーションなど主要な電気機器は三菱製のものを使用するが，巻上機とかごドア装置は他社製の機器に交換する。

## 2．他社製エレベーターのリニューアルの課題

エレベーターリニューアルは，大部分の機器を交換する一括改修と，主要機器だけ交換し既設機器(主に機械部品)を可能な限り流用する制御改修に大別され，制御改修が主流である。三菱製エレベーター向けのリニューアルメニューでは，既設機器の設計情報が既知であるため，それに合わせたメニュー開発を行うことができる。一方，他社製エレベーターに対しては情報が少なく，モダニゼーション対象になる他社製エレベーターを絞りにくい。従来のMEBSのリニューアルメニューは三菱製エレベーターを対象にしていたため，他社製エレベーター向けに展開することが難しかった。特に，他社機器との接続が重要になる巻上機やかごドア装置では，この課題が顕著であり，適用する際には案件ごとの調査や設計検討が必要になるため，リニューアル提案に向けての大きな課題になっていた。また，海外市場では専業のパーツメーカーがリニューアルへの適用も織り込んだ機器を販売しており，これを活用したリニューアルを行うことが一般的になっていたが，このメニュー構成は，競合他社も同様のメニューを構成可能であるため，大きな差別化を図ることができない。そこで，各地域で実績のあるパーツメーカーの部品を活用することで他社製エレベーターへのリニューアルでの仕様対応力を確保しつつ，三菱製制御盤と組み合わせることで，保守サービスを中心に差別化を図ったリニューアルメニューを提供する。

他社製の巻上機を制御するための課題としては，ブレーキ駆動電圧やエンコーダーインターフェース仕様が三菱製巻上機の標準仕様と異なる点，及び事前の実機評価による仕様の作り込みができない点が挙げられる。専用設計の規模を小さくするため，制御盤は従来のリニューアルメニューで使用していたものをベースとし，三菱製巻上機の標準仕様との差

を埋めるためのブレーキインターフェース盤を新たに開発した。また，オートチューニング機能を開発し，据付け現場で巻上機のモーター定数を推定して制御プログラムに反映することで，事前の作り込みなしに巻上機の制御を可能とした。オートチューニング機能の詳細は，**3章**で述べる。

## 3. オートチューニング機能

三菱製制御盤と他社製巻上機を組み合わせる上での障壁は，制御パラメーター設計に必要なモーター定数の入手性にある。従来，他社製巻上機を採用する場合，モーター定数を事前にメーカーから入手する必要があり，適用可能な巻上機が限定される要因になっていた。今回の開発では，未知の巻上機モーター，エレベーターシステムの特性を据付け現場で自動的に同定し，制御パラメーターを決定するオートチューニング機能を実装した。この機能は，ブレーキによる制動状態で実施する停止時チューニングと，機械系の調整完了後に走行を通じて実施する走行時チューニングの２段階で構成され，作業員のスキルに依存することなく，高精度なエレベーター制御を実現することを目的としている。

### 3.1　停止時チューニング

停止時チューニングは，巻上機のブレーキによる制動状態で，モーターの電気的特性を同定するプロセスである。磁極推定，インダクタンス同定，抵抗同定，電流制御調整の四つで構成される。

磁極推定は，同期モーターの制御に不可欠な初期磁極位置を推定するための工程である。この工程は，位相をずらしながらパルス電圧を印加し，磁気飽和によって変化する電流を検出して磁極位置を算出する方式である。しかしながら，未知のモーターでは磁気飽和を誘発する最適な電圧が不明である。そこで，**図１**に示すように，パルス電圧の印加時間を徐々に増加させて，電流が磁気飽和を判定するために設定された基準値を超えるまで探索を行う。磁極位置の決定では推定された磁極位置の変化量を監視し，複数回にわたって推定値の変化量が基準値以下に収束した段階で，最適な電圧が印加されたと判断して推定を完了する。このようなアルゴリズムを導入することによって，高精度な磁極位置推定が可能になった。

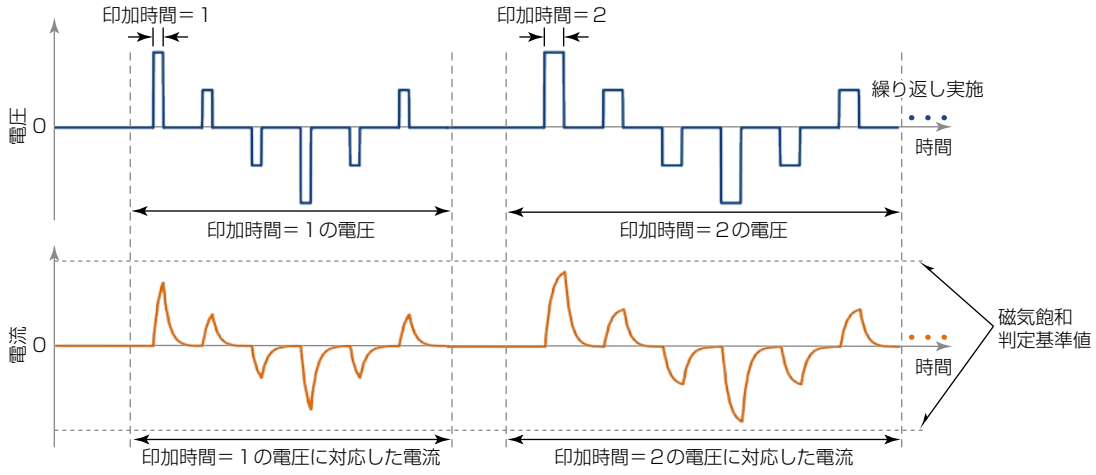


**図１−磁極推定**

次に実施されるインダクタンス同定は，前工程の磁極推定で算出された磁極位置を基にdq軸を確立し，d軸及びq軸のそれぞれに高周波の交番電圧を印加する工程である（**図２**）。印加電圧の振幅をランプ状に増加させることで過電流を抑制しつつ，同定に必要な電流レベルまで安全に到達させる仕組みを採用した。この工程の測定原理は，高周波域でモーターインピーダンスがインダクタンス成分に支配される物理特性を利用したものである。電流振幅が所定の値に達した際の電圧指令と電流からインダクタンスを算出する。

抵抗同定は，d軸電流指令をステップ状に変化させて，異なる電流レベルでの二つの定常状態を利用する手法とした。定常状態では，電流の変化率が０に収束するため，印加電圧は抵抗による電圧降下とインバーターのデッドタイム等に起因するオフセット電圧の和として表される。**図３**に示すとおり，電流$I_1$，$I_2$及びそれに対応する定常電圧$V_1$，$V_2$の差分を用いて算出することで，非線形な電圧誤差成分を相殺し精度を向上させている。

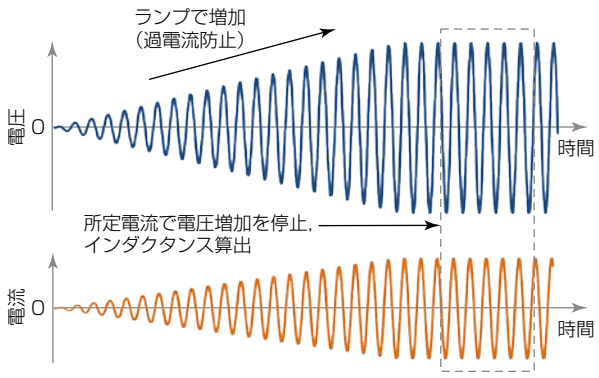


図２−インダクタンス同定

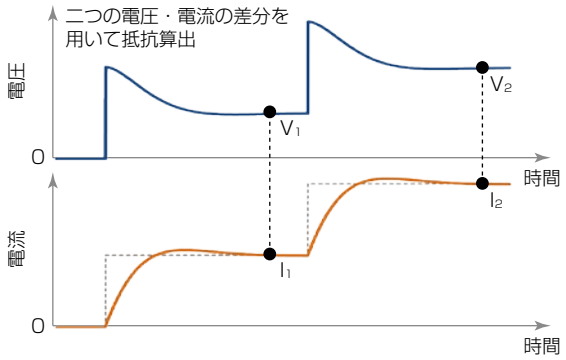


図３−抵抗同定

最後に，同定したインダクタンスと抵抗に基づいて，電流制御調整を行う。これは，**図４**のように，電流指令をステップ変化させた際の実電流を理想的な一次遅れ系の応答である理想電流と比較し，電流制御のPI制御ゲインを調整するプロセスである。ステップ変化を複数回繰り返すことで電流制御の応答を微調整し，最終的な電流制御ゲインを確定する。これによって，前段の同定誤差を修正し，安定した電流制御系を構築できる。

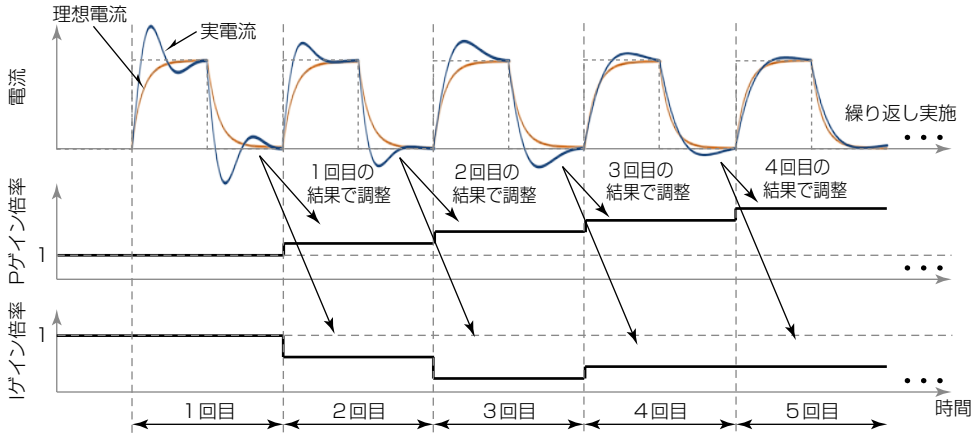


図４−電流制御調整

### 3. 2　走行時チューニング

走行時チューニングは，機械系の据付け及び釣合いおもりの調整が完了した後に，かご内を無積載とした状態で終端階を往復運転させることで実施する。この目的は，モーターのトルク定数及びシステム全体のイナーシャを高精度に同定し，速度制御ゲインを調整することにある。

具体的な同定手順では，**図５**に示すように，上昇運転及び下降運転で，加速時，一定速時，減速時のそれぞれのタイミングで加速度と電流を取得する。トルク定数の算出は，かご内無積載時のアンバランストルクを，一定速走行時の電流の平均値で除する手法を用いる。ここで，アンバランストルクは，定格積載量，カウンター率，ローピング，シーブ径などのエレベーターの機械的諸元から理論的に導出可能である。

一方，システムイナーシャは，加速時と減速時の電流差と加速度差の関係から，ニュートンの運動方程式に基づいて算出する。また，上昇運転時に同定したイナーシャと下降運転時に同定したイナーシャの平均値を最終的なシステムイナーシャとして採用する。重力の影響が反転する往復運転のデータを組み合わせることで，摩擦やアンバランストルクの影響を相殺し，純粋なイナーシャ成分だけを抽出することが可能になる。

同定されたこれらの値は速度制御ゲインに反映されて，エレベーターの乗り心地と着床精度に寄与する。

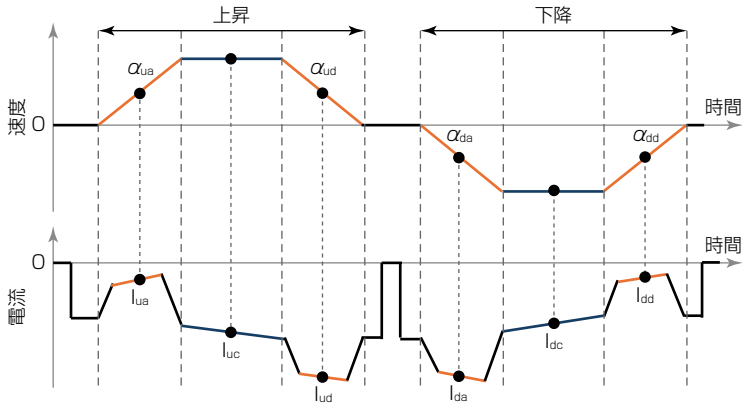


図５−走行時チューニング

### 3. 3　走行試験結果

**3. 1節**，**3. 2節**でオートチューニングした制御パラメーターを用いて走行した場合と，メーカーから入手した諸元値で制御パラメーターを設定した場合との性能比較を実施した。速度，電流，かごの上下加速度の比較図を**図６**に示す。なお，**図６**はかご内負荷がフルロードでの下降運転の波形である。

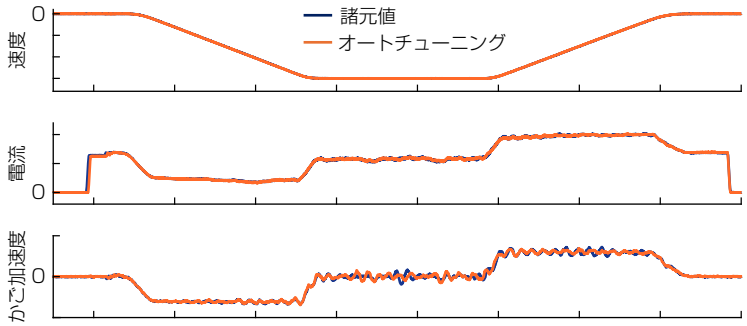


図６−走行波形の比較

オートチューニングによる制御パラメーターを用いた走行は，諸元値による制御パラメーターを用いた走行と遜色ない結果になっている。この結果から，この開発のオートチューニング機能の有効性を示すことができて，メーカーからモーター定数を入手できない場合でも他社製巻上機を適用することが可能になった。

## 4. む　す　び

エレベーターリニューアルで，三菱製制御盤で他社製巻上機を制御するコア技術である，オートチューニング機能の開発について述べた。今後は，チューニング機能を据付け調整の範囲まで広げて，現場固有の振動・騒音の抑制など，更なる対応力の強化を図る。特定メーカーに依存しない保守やそれに伴うリニューアルの要求は，海外だけでなく日本国内にも広がっている。三菱製制御盤によるリニューアル手段を確立・発展させることで，既設エレベーターメーカーを問わない充実した保守サービスの提供に寄与していく。