

クライミングエレベーター工法

Climbing Elevator with Mechanism for Extending Ropes

*三菱電機ビルソリューションズ株式会社

要 旨

建築業界で、建築工期を短縮するための技術のニーズが高まりを見せている。建築工期の短縮にはエレベーターで作業員や資材を効率良く運搬することが効果的であるが、通常エレベーターは昇降路が完成する建築工事の中盤以降しか利用できない。三菱電機ビルソリューションズ株式会社(MEBS)は建築工事の初期からエレベーターを利用可能にする、クライミングエレベーター(以下“クライミングエレ”という。)と呼ばれる技術を持っていたが、サービス階を増加するための工事によってエレベーターを停止させる期間が長期化する等の課題があった。

そこで今回、それら課題を解決する新たな工法を開発した。これまで必要としてきた、サービス階増加工事ごとの巻上ロープ交換を不要にし、巻上ロープの延長利用を実現することで、エレベーター停止期間を従来比で約70%に短縮した。

1. ま え が き

近年、建築資材の高騰や人手不足によって、建築のコスト低減や工事効率化の動きが加速している。特にクライミングエレの技術は、主に高層ビルで需要の高まりを見せている。クライミングエレとは、建築工事の初期段階から作業員や資材をエレベーターで運搬可能にする工法であり、一般的な工事用リフト(ラック&ピニオン方式の低速仮設リフト)と比較して、昇降速度が速く輸送効率が高いこと、及びエレベーターの昇降路をそのまま用いることでビル外壁部や内部の手直し工事が少ないこと等のメリットを持っている。そのため、建築工期短縮の一つの解決策として適用されているが、昇降行程延長作業時のエレベーター停止期間が長い等の課題があった。

そこで、従来技術の課題を解決することで、より効率的かつ安全にエレベーターの工事使用ができる技術を確立した。本稿では新規開発したクライミングエレ工法の概要、開発機器及び開発課題とその対応策について述べる。

2. クライミングエレ工法

クライミングエレ工法とは、図1に示すとおり、将来エレベーターが設置される昇降路内に、“巻上機・制御盤・調速機等をユニット化した機械室(以下“MRユニット”という。)”を設置して、低層階の工事中の段階からエレベーターサービスを行い、建築工事の進行に合わせて、MRユニットを上方へ移設し、サービス階を徐々に増加していく工法である。揚重装置を用いてMRユニットを上層階へ移設する作業をクライミングと呼ぶ。

3. 開 発 機 器

MEBSの従来のクライミングエレでは、MRユニットを上層階へ移設するたびに、昇降行程に合った巻上ロープ長さに変換する必要があったため、その間のエレベーター停止期間を短縮することが課題になっていた。

そこで今回、巻上ロープを連続して繰り出し可能な機器をMRユニットに搭載し、ロープ交換を不要にすることで、エレベーター停止期間を従来比で約70%に短縮した。次に新規開発した機器の概略を述べる。

3.1 MRユニット

全体構成を図1に示す。巻上機、制御盤、調速機、ロープ繰り出し装置等を枠組み内に収納することで昇降路の上部に容易に収められる高さとし、上方に延伸していく昇降路内を通過可能な平面サイズの両立を図った。さらに、分割輸送できる構造にすることで運搬搬入作業も効率化した。

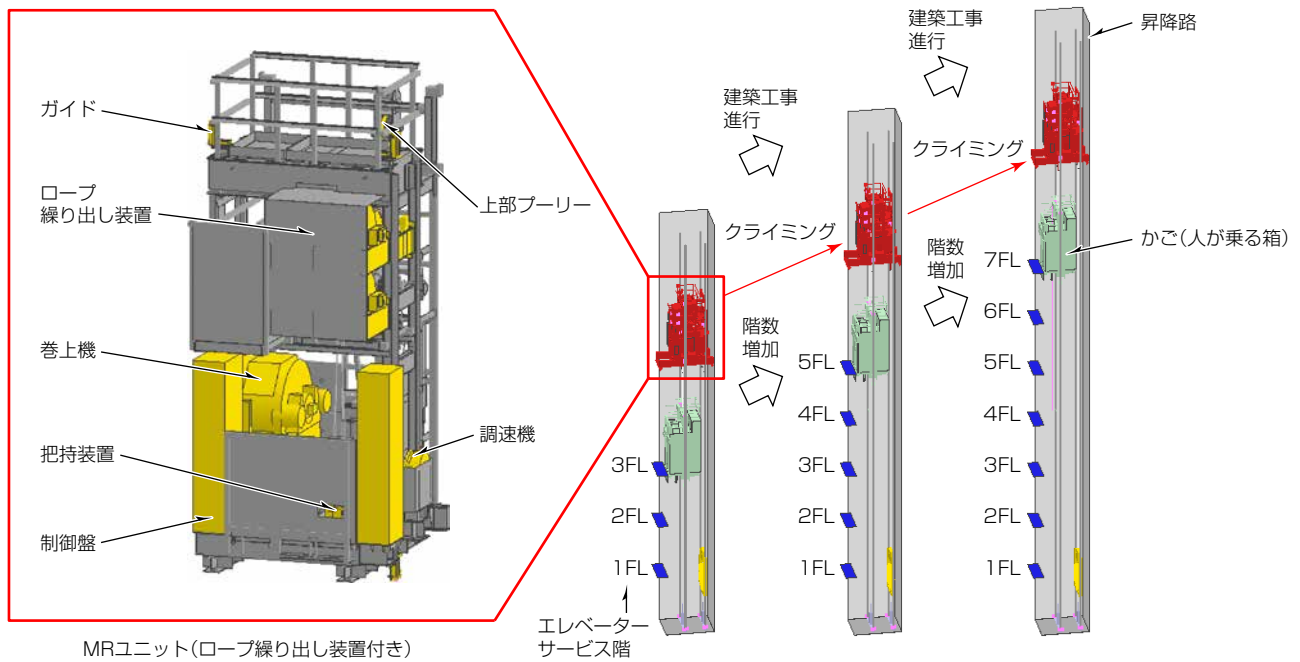


図1. MRユニット構成及びクライミングによるエレベーターサービス階増加

MRユニットの枠組みは、かごを吊(つ)り下げた状態でタワークレーン等の揚重装置で吊り上げ可能な構造にし、揚重時はガイドでガイドレールに案内を取ることで、移動中の揺れを防ぎ新しい設置階までのスムーズな移動を可能にした。

3.2 ロープ繰り出し装置

MRユニット内には、対象工事の昇降行程に対応する長さの巻上ロープを巻き付けた複数のロープドラムと、ロープ自重でドラムが慣性回転し過剰にロープが繰り出されないようにする制動ブレーキ機構を持つロープ繰り出し装置を搭載した。ロープドラムのMRユニット内への搭載によって、昇降行程を延長するごとにロープを取り替える必要がなく、停止期間の大幅な短縮が可能である。さらに、昇降路外にロープドラムを設置するスペースが不要になり、省スペース化が可能である。

3.3 把持装置

必要な長さの巻上ロープをロープドラムから都度繰り出すため、ロープドラムからかごに向かうロープを任意の場所で固定する必要があるが、ロープの端部を固定するための一般的なロープ固定具の構造は使用できない。

そこで、ロープを両側から低硬度材料で挟む圧縮止め構造を採用した。破断試験や疲労試験等の試験を実施して、ロープ端末に求められる把持力、及び把持装置で固定後のロープについて十分な性能を持つことを確認した。

3.4 ロープ繰り出し手順

今回、MRユニット内部にロープ繰り出し装置を実装したことで、ロープがMRユニットより下の位置になるため、ロープが自重で意図せずドラムから出ていく過繰り出し事象の懸念が生じた。そこで、先に上方向へロープを繰り出すことで過繰り出しを防止し、繰り出しと分けて揚重作業を行う新たなロープ繰り出し方式を考案した。クライミング手順を図2に示す。

エレベーターサービス中に、次の移設で使用する上層階分のガイドレールや乗場機器等を取り付ける(図2(1))。次に、MRユニット頂部に設置されMRユニットと分離して昇降路内を上下に移動可能なプリー(以下“上部プリー”という)の揚重工程によって、ロープを事前に上方向へ延長する(図2(2))。次に、MRユニットの揚重工程で前工程で延長したロープを下方側に移行させていくことで、ロープの延長を可能にした(図2(3))。MRユニットを所定の位置に固定後、再びエレベーターサービスを開始する(図2(4))。

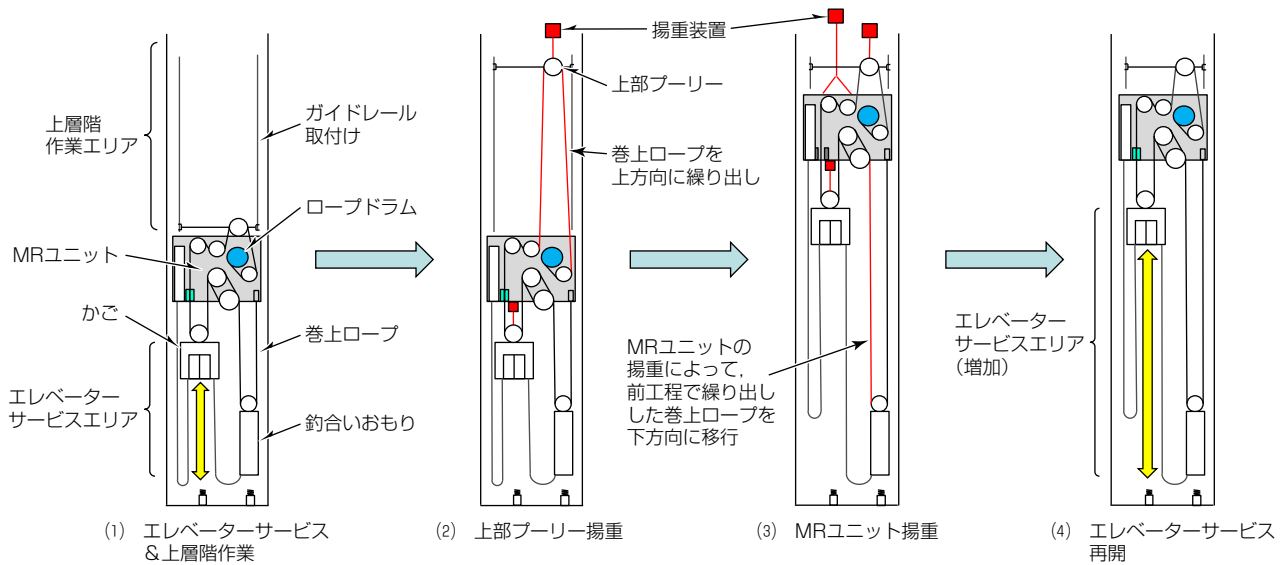


図2. クライミング手順

4. 開発課題と対応策

複数本のロープが懸架され重量物でもあるMRユニットの揚重時は、様々な事象を想定する必要がある。そのため、ロープ挙動の原理原則を把握し、システム開発として多岐にわたる課題解決を図った。

次に主要な課題と対応策について述べる。

4.1 複数本ロープ繰り出し時の課題と対策

MRユニット揚重時は、複数本のロープを一度に繰り出す必要があるため、実機による複数本同時のロープ繰り出し検証を行った。図3の左側グラフは、複数個のドラムを回転しないように固定した状態でMRユニットを昇降路内上下に1往復動かしたときのドラム側ロープ張力の変化を示している。MRユニットをアップ方向に移動後間もなく複数本のロープのうち1本のロープ張力が高負荷に変化し、ダウン方向へ移動後も1本のロープが高負荷状態を継続していることが分かった。

この要因を、ロープが複数個のシーブを通過することで生じる摩擦力によるものであるとロープ張力変動解析から確認し、他の4本のロープに比べて、最大で数倍のロープ張力がロープ1本に生じ得ることを特定した(図4)。

ロープ張力を均一に保ってクライミング動作をするためには、各ドラムに制動ブレーキ機構を実装し、一定以上の荷重が印加された場合にはドラムを回転させることで複数本のロープに張力を分散する対策を行った。図3の右側グラフに対策後のロープ張力を示す。制動ブレーキ機構を設置することで、MRユニットのアップ方向、ダウン方向共に、継続してロープ張力が均衡化されたことを確認した。

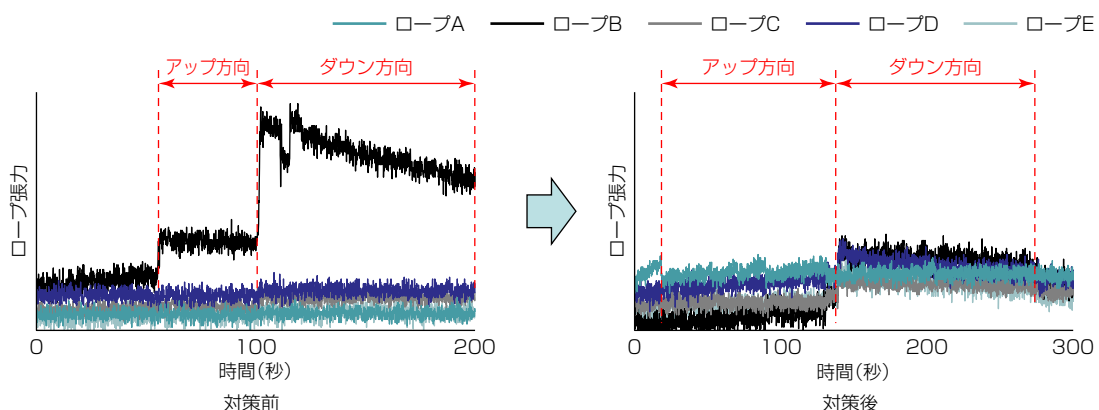


図3. 巻上ロープ張力の変化

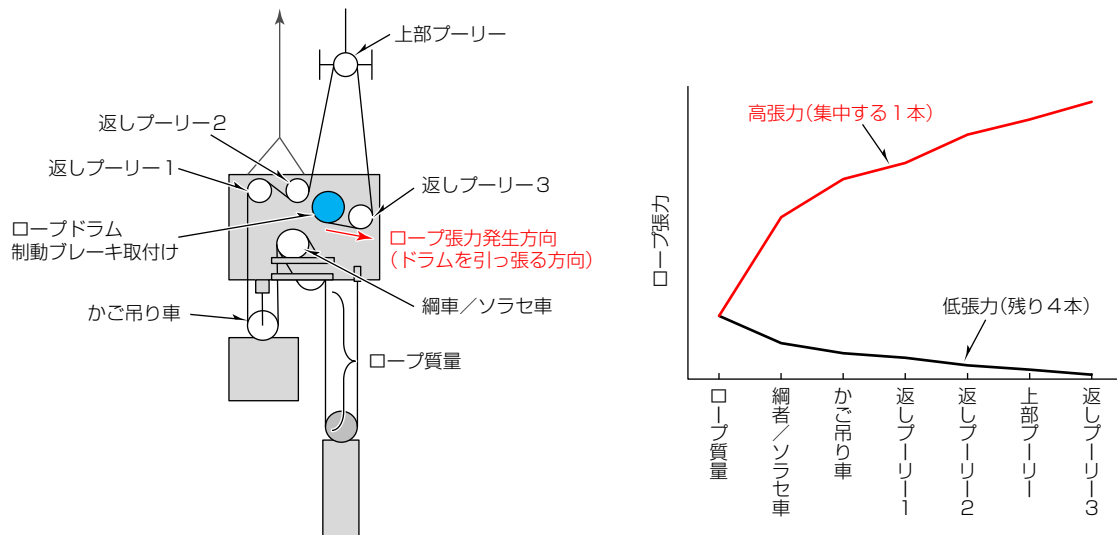


図4. 通過シーブとロープ張力解析結果

4.2 MRユニット揚重時での重心変化と対策

3章に述べたとおりMRユニット内には昇降行程分のロープが搭載されており、MRユニット揚重時にそれらロープが繰り出されることでMRユニット内のロープ質量が変わる等の影響を受けて、揚重物全体の重心位置が変化する。MRユニットはレールに案内されながら上昇するため、揚重物全体の重心位置と吊り位置がずれるとMRユニットに傾きが生じて、スムーズな上下動作に影響を与える。

そこで、揚重装置とMRユニットの間に専用吊り具(以下“トラバーサー”という。)を設けて、トラバーサーに“吊り位置可変機能”を持たせることで、重心位置の直上付近で揚重することを可能にした(図5)。

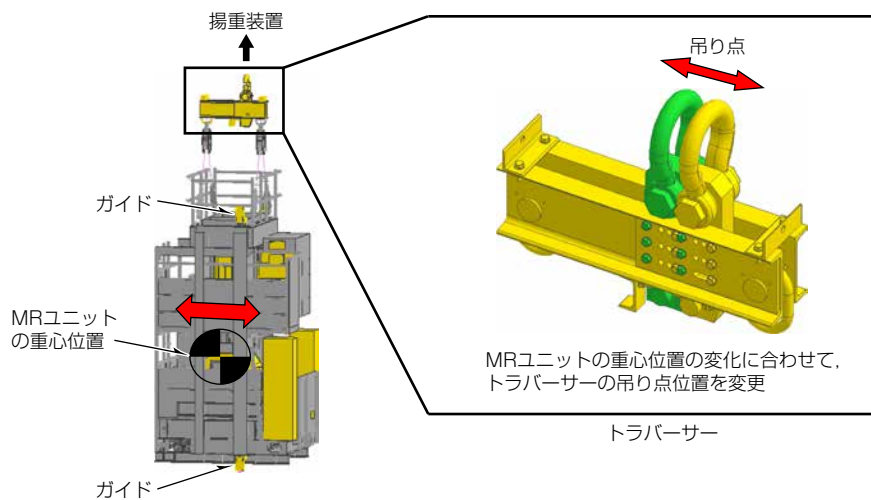


図5. トラバーサーによる吊り位置可変機能

4.3 MRユニット揚重時での動解析

MRユニット揚重時のスムーズな上下動作の実現のために、MRユニットに生じるガイド反力を算出した。ガイド反力は各機器の製作誤差や揚重装置の設置誤差に加えて、MRユニットの上下部のロープによって生じる張力の影響も考慮する必要がある。そこで理論値計算と簡易実機による試験に加えて、新たに動解析手法を用いたデジタル検証も取り入れた。

はじめに、動解析ソフトウェアから得られるMRユニット揚重時の姿勢変化及び上下ガイドから受ける反力の妥当性を確認するため、スケールモデルを用いた実験を実施した(図6)。ロードセルによって得られた反力値と解析値を比較し、動解析ソフトウェアの実用性及び動解析結果の特性について把握できた。

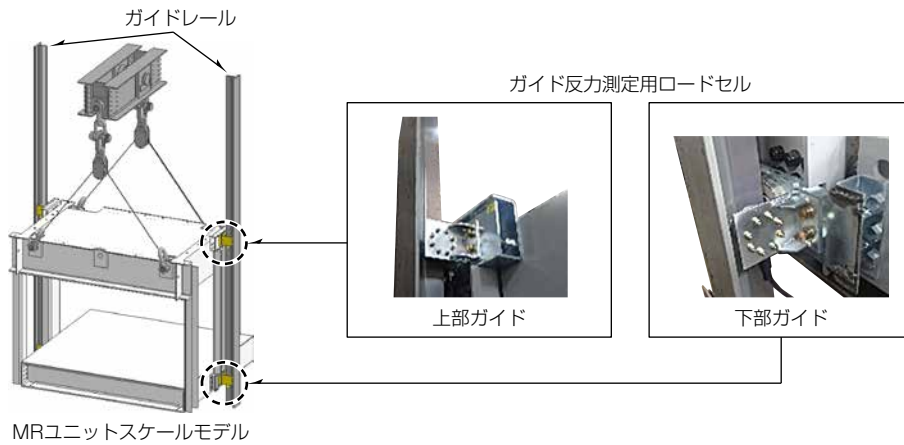


図6. 実験時のスケールモデル概略図

次に、1/1スケールでの動解析を実施した。図7のグラフはMRユニットの位置と各ガイド反力の時間変化を示している。各種パラメーターを変化させて、複数パターンの解析を実施し、ガイド反力が最大になる最悪条件の算出を実施した。デジタル検証を併用したことで、検証作業全体の効率化に加えて、理論値モデルに対する妥当性の検証や、簡易実機では再現困難な条件での動的な挙動の把握を可能にした。

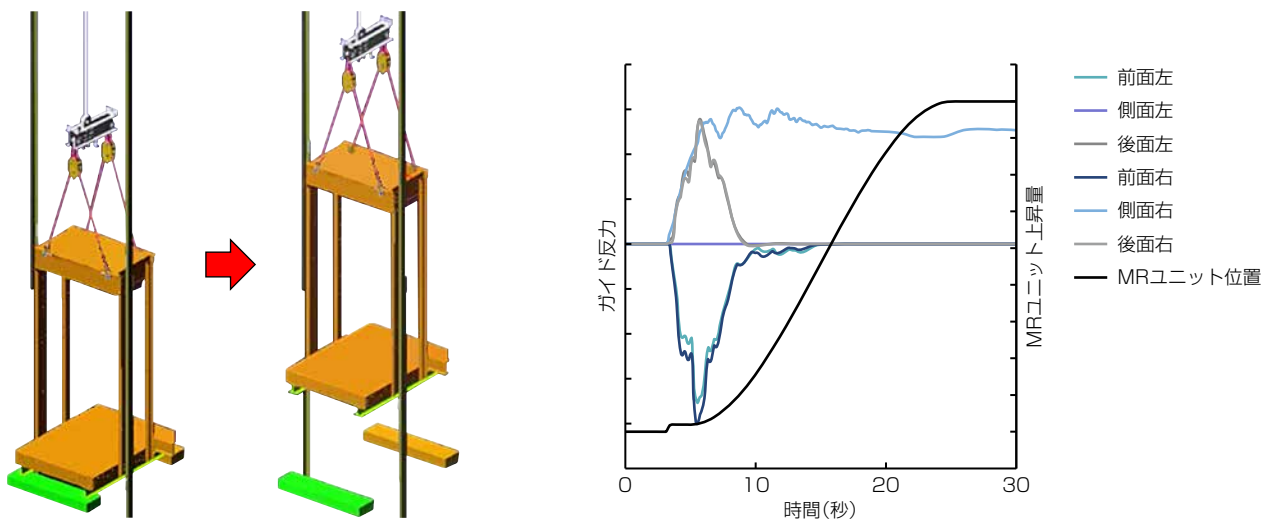


図7. MRユニット揚重時の動解析結果

4.4 揚重中の非常停止時でのシステム挙動解析

MRユニット揚重時で、機器への作用荷重が最も大きいと想定される、揚重装置の非常停止時で、全体システムを模擬した等価モデルによるシミュレーションを実施し、ロープドラムへ入力される最大荷重を特定した。これによって、ヒューマンエラーや落雷による停電等の外的要因によって発生し得る、揚重装置非常停止時のロープ荷重の最大値の定量化が可能になり、より信頼性の高い機器設計を行った(図8)。

4.5 3Dモデル及びVRを用いた作業性の確認

クライミングエレ工法は従来のエレベーター据付け方法とは大きく異なるため、特有の作業手順を確立する必要がある。そこで、3Dモデルや3D動画を用いて作業性について確認することで、効率的なMRユニットの組立て手順や配線方法を確立した。また、それら3DモデルはVR(Virtual Reality)を用いてレビューすることで、実機を製作せずに、作業スペースや、設計段階では発見できなかった部品の干渉やボルト締結作業の困難箇所について確認できた(図9)。

デジタル検証を用いることで、早期に課題が把握できただけでなく、安全で確実な作業を可能にした。

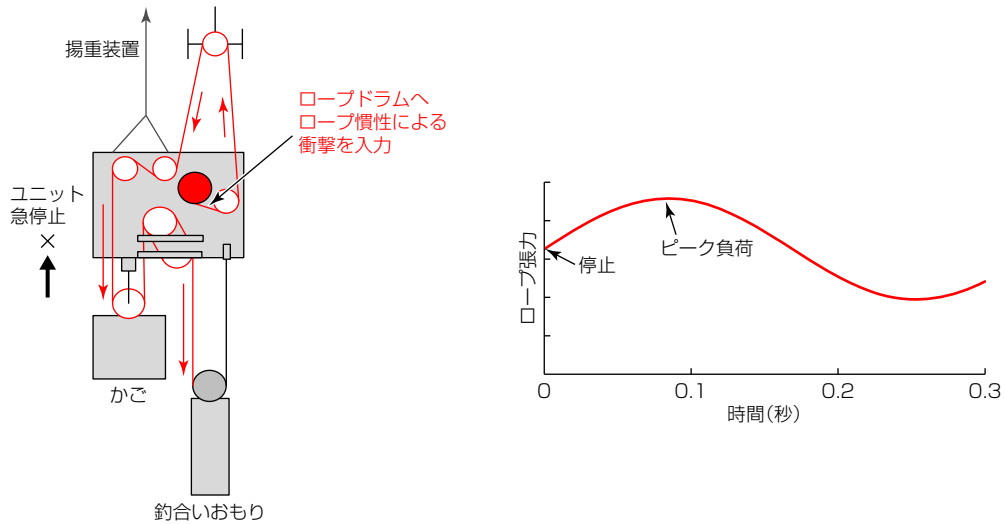


図8. 揚重装置非常停止シミュレーション

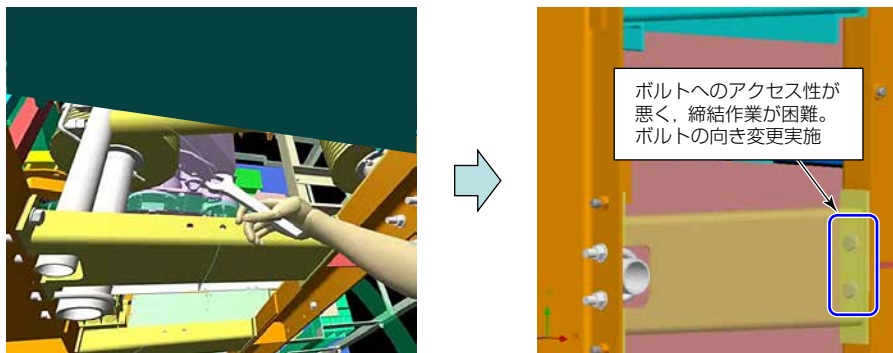


図9. VRによる作業性検証

5. む す び

新規開発したクライミングエレ工法の概要について述べた。これによって、サービス階増加時に必要なエレベーター停止期間を従来比で約70%に短縮できた。今後建築業界では、一層の資材高騰や人手不足によって、建築コスト削減や工事効率化の要求が加速すると予想され、本稿で述べたクライミングエレ工法の需要も増加が見込まれる。更に改善を加えて、建築業界の期待に対応していく。