特集論文

岡本　健*
Takeshi Okamoto
鈴木諒太郎*
Ryotaro Suzuki

大容量巻上機の小型化

Downsizing of Traction Machine in Large Class

*三菱電機ビルソリューションズ㈱

要　旨

モニュメンタルな建物等の超高層ビルに適用される高速大容量エレベーターの巻上機は大型のため，機械室での占有面積が大きく常に小型化を求められており，特に巻上機の軸方向での干渉が課題であった。また，建物のライフサイクルでのエレベーターの保守やリニューアルでの機器交換時に，大型の巻上機の搬出入経路を確保する必要があった。それに対して，巻上機を現地で交換及び組立て可能な複数のモジュールに分割して搬出入する対応をしてきたが，モジュールでも大型かつ高質量で搬出入の難易度が高く，更なる小型化が求められている。

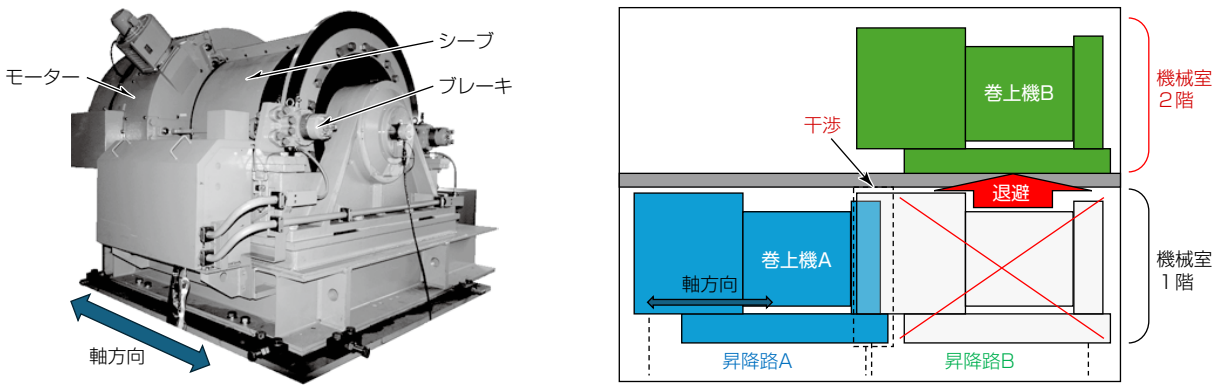
そこで今回の開発は，巻上機の軸長短縮と搬出入容易化を目指した。その結果，巻上機の軸長を従来の約８割に短縮することで，巻上機の軸方向での干渉を回避した。また，分割搬出入時のモジュールの長さを従来の約８割に，質量を従来の約５割に削減することで，巻上機交換時の搬出入の容易化を実現した。

1. ま え が き

モニュメンタルな建物等の超高層ビルに適用されるエレベーターは高速かつ大容量が求められる。これらに適用される巻上機(**図１**左)は，大容量のかごを安全かつ高速で昇降させるのに必要な駆動力と制動力が求められるため大型化しており，機械室での占有面積が大きく，建物スペースの有効活用の観点から小型化が常に求められている。また，隣り合うエレベーター同士が近接する場合，巻上機同士が軸方向で干渉することがあった。その場合，機械室を２階建て構造にするなどの高さ方向での退避が必要になり，建物でエレベーターの機械室が占めるスペースが大きくなることで，建物側の建築自由度を損ねる要因になっていた(**図１**右)。そのため，巻上機の小型化のうち，軸長短縮が特に必要であった。

一方，建物のライフサイクルで，エレベーターの保守やリニューアルのために巻上機の交換を求められる場合がある。交換時には，大型かつ高質量の巻上機の搬出入経路を確保する必要があり，従来，巻上機を現地で交換及び組立て可能な複数のモジュールに分割して搬出入する対策をしていた。しかし，分割後のモジュールさえも大型かつ高質量であるため，エレベーターに載せることができず，交換工事のための搬出入が建物利用での利便性阻害の要因になっていた。

そこで，建物側の自由度向上や負担軽減のために，巻上機の軸長短縮と分割後モジュールの小型化を主なコンセプトに巻上機を開発した。



高速大容量エレベーター用巻上機の外観　　エレベーター近接時の巻上機の配置例

図１-高速大容量エレベーター用巻上機の外観とエレベーター近接時の巻上機の配置例

2. 巻上機の小型化

この章では，軸長短縮の開発内容について２例を述べた後，分割搬出入時のモジュール小型化について述べる。

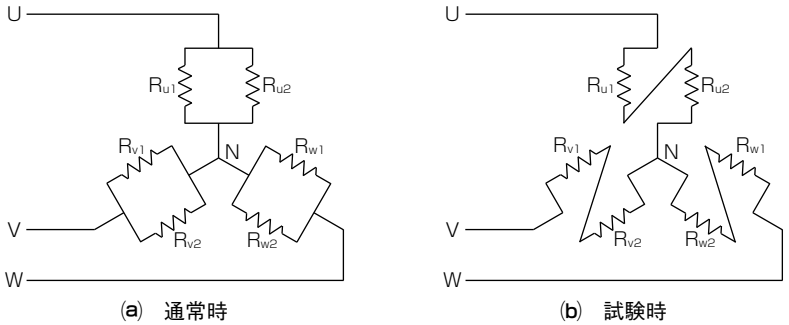
2.1　結線切換方式採用によるモーターの軸長削減

エレベーター用巻上機のモーターに要求されるトルクは，通常のエレベーターサービス時にエレベーターのかごの昇降に必要なトルクに加えて，エレベーターの安全装置の一つである非常止めの試験等，巻上機以外の機器やエレベーターの安全性を確認する試験を実施するために必要なトルクの２種類がある。これらの安全性を確認する試験に必要なトルクは通常のサービス時に必要なトルク（以下，“試験時の高トルク”という。）よりも大きいことが多く，巻上機モーターのサイズが試験時の高トルクによって大型化することが課題であった。対象巻上機は，試験時の高トルクに加えてエレベーターの高速運転での駆動が必要である。しかし，高トルクを出すモーター設計をすると，高速領域での電圧が高くなるためにインバーターの高電圧化が必要になり，高速領域での電圧を抑えたモーター設計をすると，高トルクに対応するためにインバーターの電流容量を大きくする必要がある。そのため，従来はモーターのサイズを大きくすることで，高速運転と試験時の高トルクに対応していた。これを解決するため，高速運転での駆動が必要な通常時と，低速ではあるが通常よりも大きいトルクを要する試験時の結線方式を切り換えることができる構造を今回開発した巻上機に組み込んだ。通常時に必要なトルクで定まるモーターサイズのまま，試験時の高トルクを出力できる巻上機モーターになることで小型化が実現し，モーターの軸長が従来の約９割に短縮した。

結線方式の切換えの具体例を示す。まず，巻上機モーターの各相のコイルを二つのグループに分ける。例えば，U相であればR_{u1}，R_{u2}のように分ける。通常時はこの二つのグループに分かれたコイルは並列接続するように結線されている（**図２**(a)）。一方，試験時にはこれらを直列接続するように結線を変更する（**図２**(b)）。これによって，試験時は通常時と比べて，同じ電流を流した場合の鎖交磁束量が増えて誘起電圧定数は約２倍になり，発生できるトルクが約２倍になるため，試験時に必要なトルクを発生できる。誘起電圧定数が大きくなると高速領域の電圧が高くなるが，試験時の速度は小さいため，インバーターの高電圧化の必要もなく実現可能である。実機では，**図３**のように，巻上機モーターと制御盤から動力が送られる外部線の間にあるターミナルで通常時と試験時の接続を変えることで，モーター内部にアクセスすることなく容易に結線方式の切換えが可能な構造を実現した。なお，この技術については特許第7364015号[3]及び特許第7188627号[4]を取得済みである。

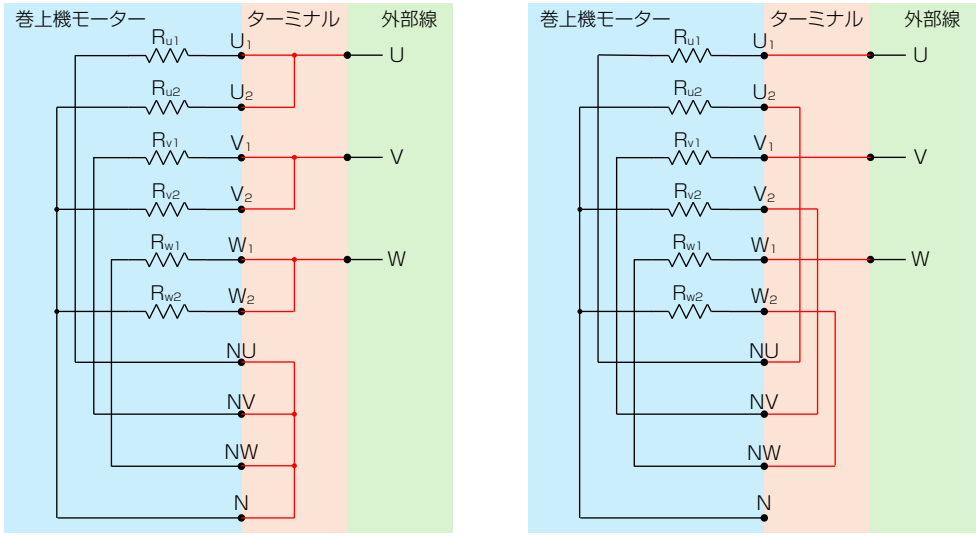
2.2　油圧浮動式ブレーキの最適設計によるシーブの軸長削減

今回開発した巻上機では必要な制動力を担保しつつブレーキ全体の薄型化を実現するため，浮動式ディスクブレーキを採用した。**図４**に従来機種と開発機種のブレーキ部を示す。従来機種では対向式ディスクブレーキを採用しており，ディスクの両側にピストンを配置する構造であるため，軸方向の寸法が大きくなるという課題があった。一方，浮動式ディスクブレーキはピストンを片側だけに配置し，クランパー本体がスライドすることで反対側のパッドをディスクへ押し付けて制動力を発生させる構造であるため，シーブ側への突出部の削減が可能である。また，この巻上機ではブレーキを巻上機本体に合わせて専用設計した。クランパーを巻上機に合わせた最適形状にすることで，寸法制約の中で高出力と薄型化の両立を実現した。



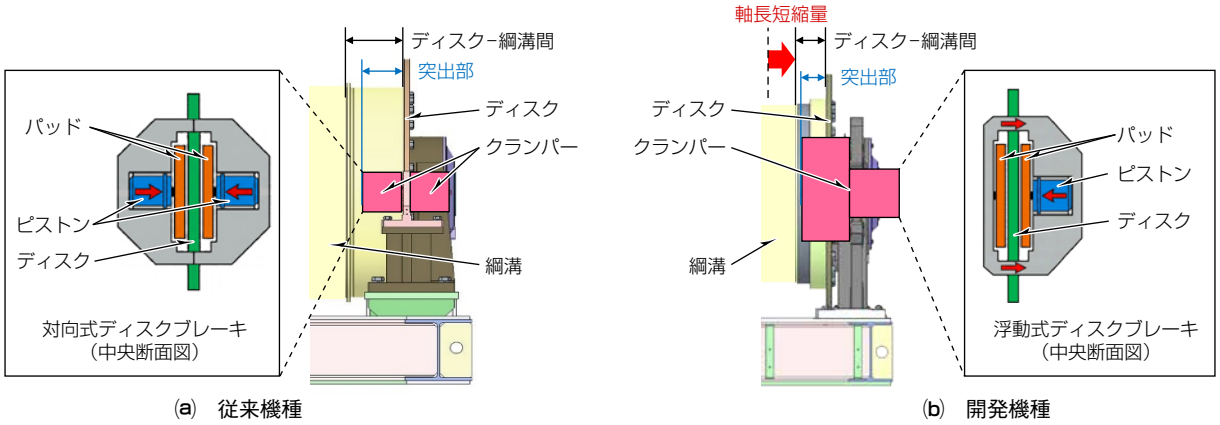
(a)　通常時　　(b)　試験時

図２−結線方式の切換え例



(a)　通常時　　(b)　試験時

図３−ターミナルでの接続例



(a)　従来機種　　(b)　開発機種

図４−ブレーキ部の概略

油圧式と浮動式を組み合わせたブレーキの巻上機への適用は，三菱電機ビルソリューションズ㈱としては初である。対向式ではディスク両側のピストンが互いに近づく方向に動くのに対して，浮動式ではピストンの動きに加えてクランパー本体も反対方向にスライドするため，対向式と比べてストローク量が２倍になる。このストロークの増大によって，クランパーの動作時に傾きが生じやすくなってシール部面圧の乱れが発生することで，油漏れリスクが高まるという課題がある。今回の設計では，油圧構成部品の支持方法を改良し傾きを抑制することで，シール部の面圧分布を均一化し，浮動式の適用を実現した。

これらによって，ブレーキのシーブ側への突出部長さを従来の約５割に削減した。綱溝はこの突出部と軸方向に干渉しない位置に設計する必要がある。突出部の削減によってディスク−綱溝間の距離を短縮し，シーブ及び巻上機全体の軸長削減を実現した。

2. 3　搬出入時の分割モジュールの小型化

巻上機を現地で組立て可能な単位まで分割したモジュールのうち，最もサイズが大きく，かつ最も質量の大きいモジュールは回転子(**図５**)であった。回転子は，モーターのローターが取り付くシャフト部と，ブレーキの制動面になるディスクが取り付くシャフト部との間に，シーブが取り付いたモジュールである。

今回の開発では，高強度ロープの適用によって従来よりもロープ径を縮小してシーブ径を小径化するとともに，ロープ本数を減らすことでシーブの綱溝数を削減しシーブの軸長を短縮した。さらに，**2. 2節**に記載のとおり，モーターやブレーキの軸長削減の開発に合わせて，シーブやシャフトの形状を最適化し，回転子モジュールの軸長を削減した。

これらの小型化開発によって，モジュールの小型化を実現し，長さを従来の約８割，質量を従来の約５割に削減した。

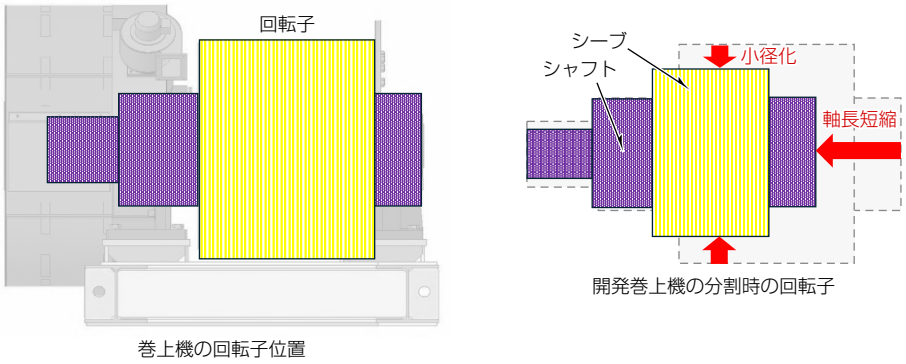


図５−巻上機の回転子位置と開発巻上機の分割時の回転子

3. 軸長短縮と分割モジュールの質量削減効果

図６に開発機種の外形図を示す。小型化開発によって，モーター部，ブレーキ突出部等の各部の軸長短縮を達成し，新巻上機の軸長は従来の約８割に削減した。これによって，隣り合うエレベーター同士が近接する場合の巻上機同士の干渉が回避され，機械室を２階建て構造にするなどの高さ方向での退避が不要になり，建物側のレイアウトの自由度向上を実現した。

また，巻上機を現地で交換及び組立て可能な複数のモジュールに分割した際の最大のモジュールの長さを従来の約８割，質量を従来の約５割に削減した。これによって，エレベーターでの運搬が可能なサイズ及び質量になり，搬出入時の建物利用での利便性の向上を実現した。

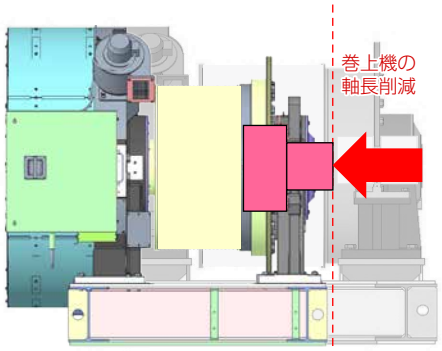


図６−開発巻上機の外形図

4. む　す　び

建物側の自由度向上や負担軽減のために，巻上機の軸長短縮と巻上機交換時の分割モジュールの小型化をコンセプトに開発を行い，エレベーター新設時の建物側への貢献に加えて，建物のライフサイクルを考慮した製品の提供を実現した。

今後も，新たな製品開発・創出を通して，社会に貢献していく。

参 考 文 献

(1)　木村康樹，ほか：高速エレベーター用巻上機の軸受発熱低減技術，三菱電機技報，**94**，No.5，290～294（2020）
(2)　加藤　覚，ほか：超高速エレベーターの駆動制御システム，三菱電機技報，**86**，No.8，424～428（2012）
(3)　垣見悠太，ほか：回転電機の結線切替装置、回転電機及び回転電機の製造方法，特許第7364015号（2023）
(4)　納谷健斗，ほか：回転電機，特許第7188627号（2022）