

# 高速エレベーター用巻上機の軸受発熱低減技術

木村康樹\*  
Yasuki Kimura  
新倉脩平\*  
Shuhei Niikura  
多田順一\*  
Junichi Tada

長濱秀紀†  
Hidenori Nagahama

Reduction Technology in Bearing Temperature Rise of Traction Machine Applied to High-speed Elevator

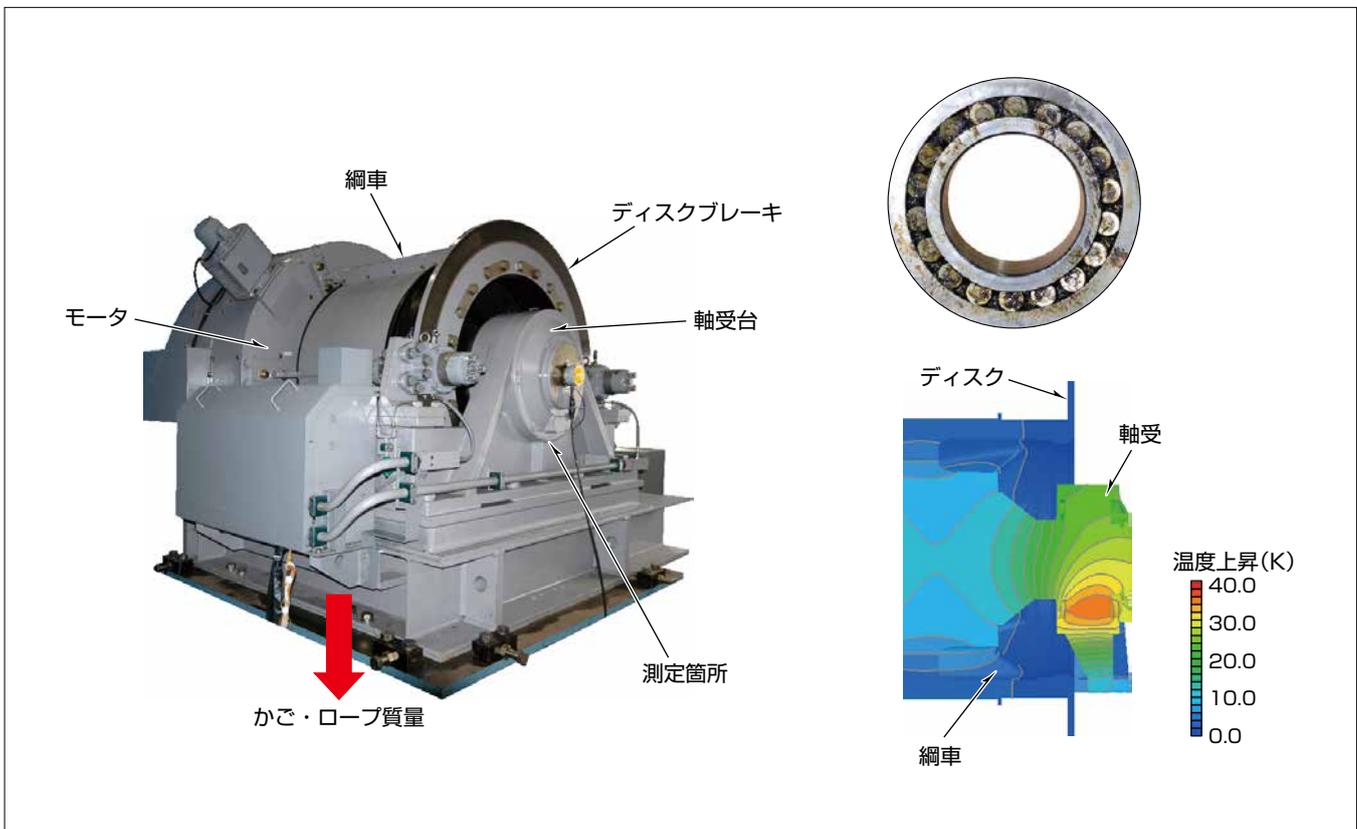
## 要旨

近年、中国・アジア・中東・日本で、高さ200~300m超の超高層ビルの建設が年々増加している。高層ビルの主要な移動手段である高速エレベーターは、利用者の利便性を高めるために、より一層の高速化<sup>(1)</sup>と大容量化(定員増)が求められている。

昇降行程が200mを超えると、高速エレベーター用巻上機の軸受には数十トンを超える荷重が作用するため、負荷容量の大きな自動調心ころ軸受が用いられる。三菱電機の巻上機のモータは最新技術を駆使して、効率90%以上を達成しているが、コイル発熱(銅損)と鉄心材発熱(鉄損)の低減が中心であった。このように軸受負荷の増大と高速化に伴い、軸受からの発熱(機械損)が、省エネルギーの観点から無視できなくなっている。

そこで、高速エレベーター用巻上機の機械損低減に着目し、軸受・グリースの各メーカーの協力を得て改良を行い、次の効果を確認した。

- (1) 軌道輪の表面性状を改良した新軸受は、軸受温度上昇試験(分速1,080m相当)の結果、従来軸受に比べて温度上昇が約44%低減した。
- (2) 基油と増ちょう剤を選定改良した新グリースは、従来グリースに比べて摩擦係数が40%以上低く、軸受温度上昇試験の結果、軸受発熱量が約18%低減した。
- (3) 高速エレベーター用実機巻上機を用いて軸受温度上昇の差異を評価した結果、新グリースでは軸受発熱量が約25%低減した。



## 高速エレベーター用巻上機の外観と軸受の発熱量解析結果

稼働中の高速エレベーター用実機巻上機の軸受温度を測定し、熱解析によって軸受発熱による損失を推定した結果、銅損・鉄損に比べて無視できないレベルであることを確認した。軸受とグリースをそれぞれ改良することによって、評価試験及び実機巻上機に適用して軸受発熱の低減効果を確認した。

## 1. ま え が き

近年、中国・アジア・中東・日本で、高さ200～300m超の超高層ビルの建設数が増加しており、600mを超える超高層ビルも建設されている。高層ビルでの主要な移動手段である高速エレベーターは、利用者の利便性を高めるために、より一層の高速化<sup>(1)</sup>と大容量化(定員増)が求められている。図1に、高速エレベーターのシステム構成例を示す。昇降行程が200mを超えると主ロープと制御ケーブル類の質量は10トン以上になり、かごとおもりの質量を合わせると数十トンの荷重が巻上機に作用する。これらの質量を支え、高速かつスムーズに回転する巻上機は、当社最新のモータ技術と軸受技術を駆使して開発設計している。

巻上機のモータは、誘導機から永久磁石モータへと進化し、さらに高性能磁石や高透磁率鉄心材の採用、磁界解析<sup>(2)</sup>による最適設計などの様々な取組みによって、90%以上のモータ効率を達成している。主な損失はコイル発熱による銅損と鉄心材発熱による鉄損である。

巻上機には負荷容量の大きい自動調心ころ軸受が用いられているが、従来のエレベーターでは、負荷される荷重が少なく損失が小さかったため、軸受からの発熱(機械損)低減に取り組んだ事例報告は少ない。

本稿では、高速エレベーター用巻上機の機械損低減に着目し、軸受・グリースの各メーカーの協力を得て軸受の改良<sup>(3)</sup>とグリースの改良<sup>(4)(5)</sup>を行った内容について述べる。

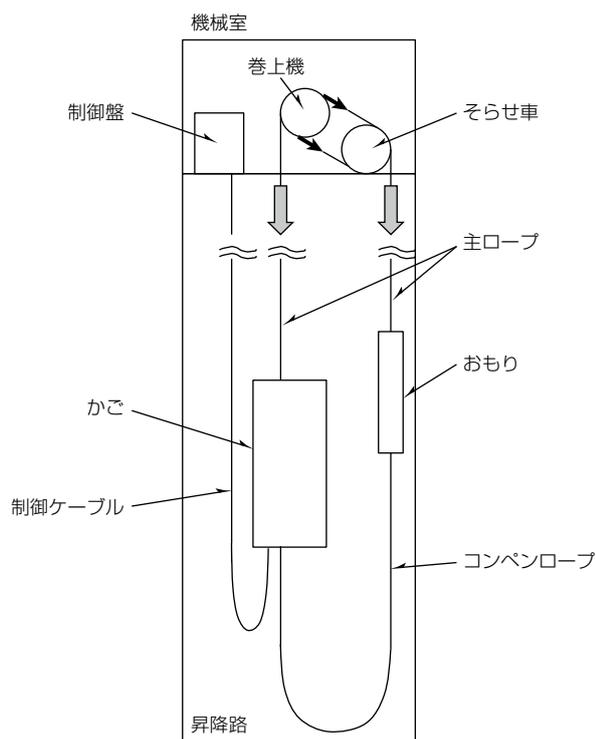


図1. 高速エレベーターのシステム構成例

## 2. 巻上機の軸受温度からの発熱量推定

対象とした巻上機(定格出力160kW)の外観写真を図2に示す。モータ側とブレーキ側に配置された二つの軸受によって綱車にかかる荷重を支持している。巻上機の損失は、稼働中の入力電力と出力の差分が全損失になるが、モータ損失(銅損、鉄損など)のほかに、ロープと綱車の摩擦ロスや、かごの空気抵抗ロスなどが含まれるため、軸受に起因する損失を分離することは容易ではない。一方で巻上機単体の試験では、かごやロープの質量に相当する数十トンの負荷をかけることが難しく、ラジアル荷重を負荷した状態での機械損を計測できない。そこで、稼働中の巻上機の軸受台下部の温度を測定し、ある発熱量を軸受部に設定して定常熱解析を行い、実測値と一致するように発熱量を計算して評価した。発熱はラジアル荷重を受ける負荷圏を75%、非負荷圏を25%として分布させ、放熱は、軸受台表面とディスク面、綱車表面の3か所として、綱車とディスクには回転速度に応じた熱伝達率を設定した。図3に軸

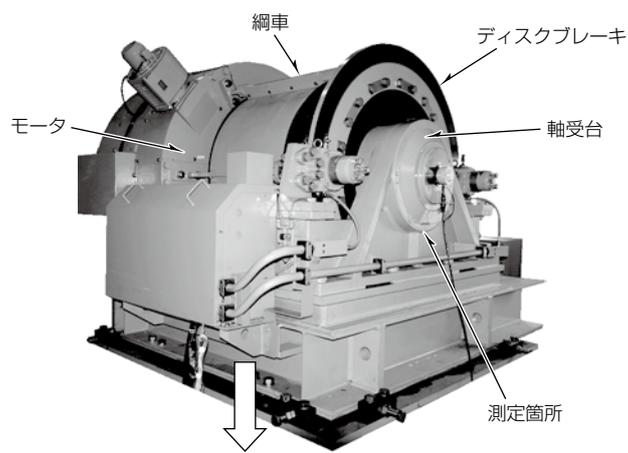


図2. 高速エレベーター用巻上機

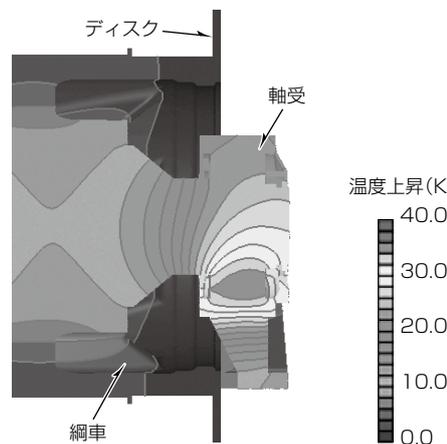


図3. 軸受の熱解析結果

受の熱解析結果を示す。解析結果から軸受発熱量は、2kW程度になり、対象とした巻上機の定格出力の1.25%が機械損であると推定できた。この数値は、モータの銅損約4%と鉄損約3%に比して無視できないレベルと言える。また、軸受温度が高いと、グリースの劣化が加速すること、及び軸が熱膨張してアキシャル荷重が発生する可能性があるなど、軸受寿命の観点からも不利になるため、軸受発熱を低減することは重要である。

### 3. 軸受改良による軸受発熱の低減

#### 3.1 軸受軌道輪のすべり抑制

自動調心ころ軸受には、図4(a)に示すように、ころと接触する内外輪との周速差から、紙面手前(●)と奥向き(○)の両方向のすべり分布が生じる。すべりが大きい場合、ころと軌道輪の接触部に働く接線力が大きくなるとともに、図4(b)のように、すべり分布のアンバランスに起因したころのスキューが発生して、摺動(しゅうどう)抵抗が増加する。したがって、ころと軌道輪のすべりを抑制し、摺動抵抗を低減することによって、発熱量が低減できると考えられる。

すべり抑制効果を確認するために、新軸受として、軌道輪の表面性状を変更することによって、すべり分布をコントロールした軸受を製作した。

#### 3.2 新軸受の発熱評価

すべりの抑制による発熱低減効果を確認するため、図5

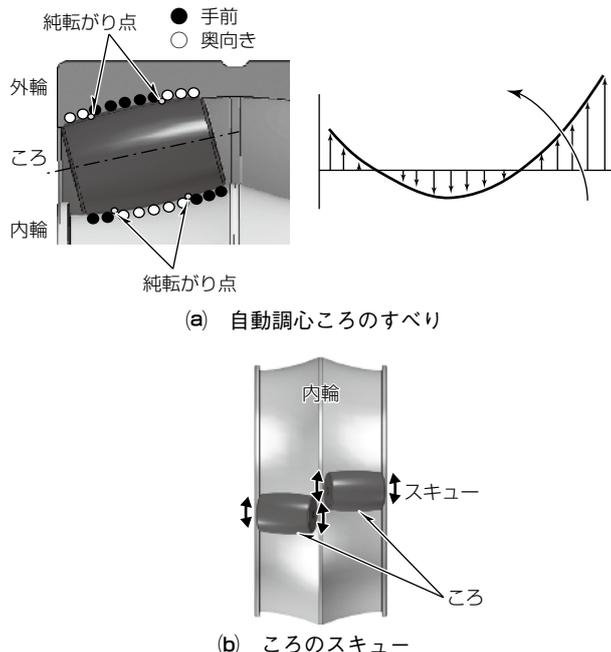


図4. 自動調心ころのすべりとスキュー

の試験装置を用いて、軸受の温度上昇を評価した。実機巻上機の1/2のサイズの軸受を用いており、試験軸受には複合リチウムグリースを封入し、支持軸受は油潤滑(VG68)とした。装置下方からラジアル荷重を負荷して、試験軸受の外輪に熱電対を取り付けて温度を測定した。ラジアル荷重は試験軸受の動定格荷重の1/10(P/C=0.1)とし、回転数はエレベーター昇降速度として1,080m相当、分速540m相当の2通りで行い、10時間後、20時間後の軸受温度を評価した。

試験結果を図6に示す。分速1,080m相当での温度は、

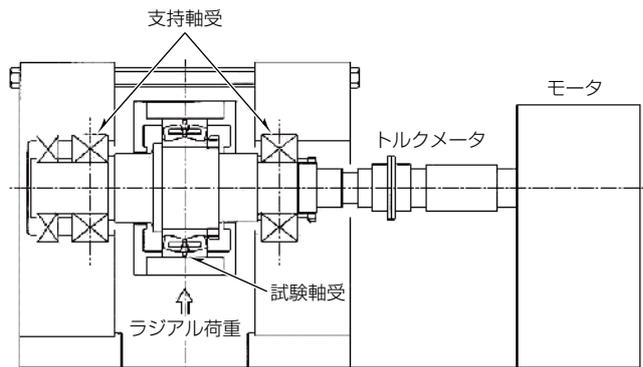
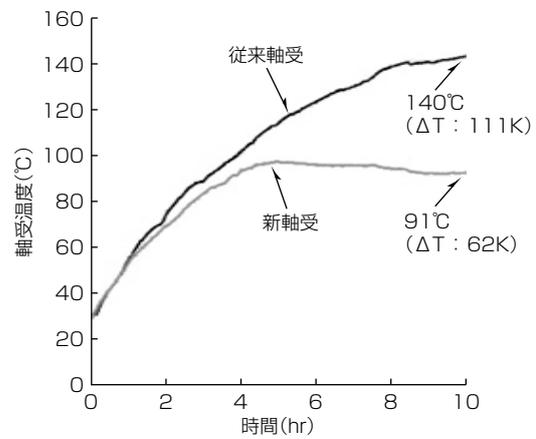
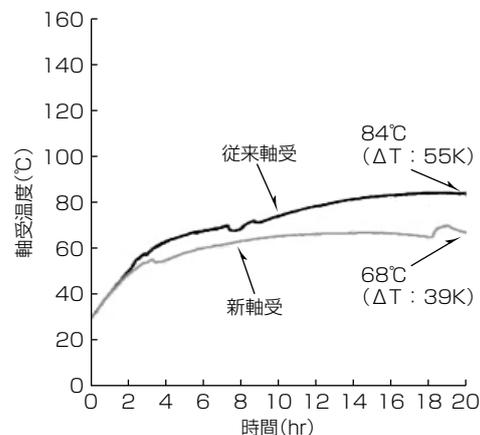


図5. 軸受温度上昇試験装置



(a) 分速1,080m相当



(b) 分速540m相当

図6. 軸受の温度上昇試験結果

10時間後で従来軸受140℃(ΔT:111K), 新軸受91.1℃(ΔT:62K), 分速540m相当では20時間後で従来軸受84℃(ΔT:55K), 新軸受68℃(ΔT:39K)になり, 発熱量はそれぞれ44%, 29%低減したことが確認できた。発熱量の低減効果は, 高速回転になるほど顕著であった。

## 4. グリース改良による軸受発熱の低減

### 4.1 従来グリースと新グリース

グリースによる軸受発熱に影響を及ぼす因子として, 攪拌(かくはん)抵抗と, ころと軌道輪のすべり摩擦がある。これらを改善することを目的にグリースを開発した。表1に今回の開発で用いたグリースの一般性状を示す。グリースAは以前からエレベーター巻上機に使用している複合リチウムグリースである。グリースBは, 攪拌抵抗に影響する基油動粘度を低温時(40℃)は低くし, 高温時(80℃)は従来グリースと同等になるように, 基油と増ちょう剤を選定して, 基油粘度を調整したものである。

### 4.2 摩擦特性評価

エレベーターは起動と停止を頻繁に繰り返すことから, ころと軌道輪は転がり速度の低い混合潤滑状態で運転されるため, 低速時でもすべり摩擦による発熱の影響がある。そこで, 図7に示すボールオンディスク試験装置を用いて, 転がり速度0.1m/sで, 周囲温度とすべり率を変えて摩擦係数を評価した。

図8の測定結果から, すべり率10%で摩擦係数を比較すると, グリースBはグリースAよりも温度30℃のときに40%, 80℃では50%低いことが分かった。また, すべり率1~20%の範囲で, グリースBの方が摩擦係数が低い。以上から, グリースBは自動調心ころ軸受の差動すべりによる摩擦が小さく, 発熱低減効果があると考えられる。

### 4.3 新グリースの軸受発熱評価

攪拌抵抗とすべり摩擦の影響を含めたグリースの発熱低減効果を調べるために, 図5の軸受温度上昇試験装置を用いて, グリースAとグリースBによる軸受温度を測定した。試験軸受には, 従来軸受を用いてグリース封入し, 支持軸受は油潤滑(VG68)とした。試験軸受の外輪に熱電対を取り付けて, 動定格荷重の1/10(P/C=0.1)のラジアル荷

重を負荷し, 分速1,080m相当の回転数で60時間運転した。図9に温度上昇試験結果を示す。60時間後の軸受温度は, グリースAでは126℃(ΔT:98K), グリースBでは104℃(ΔT:81K)になっており, グリースAに比べてグリースBでは軸受発熱量が約18%低減したことを確認した。

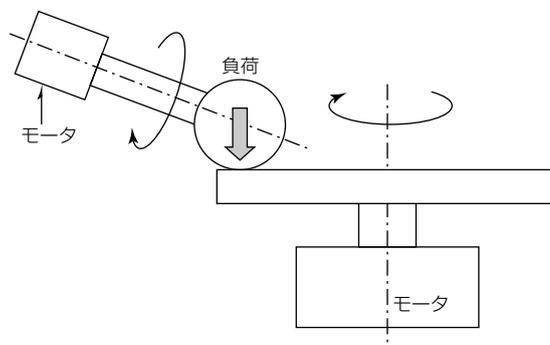


図7. ボールオンディスク試験装置

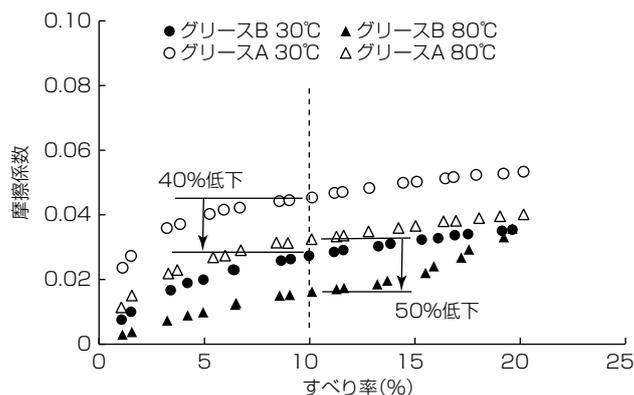


図8. 摩擦係数の測定結果

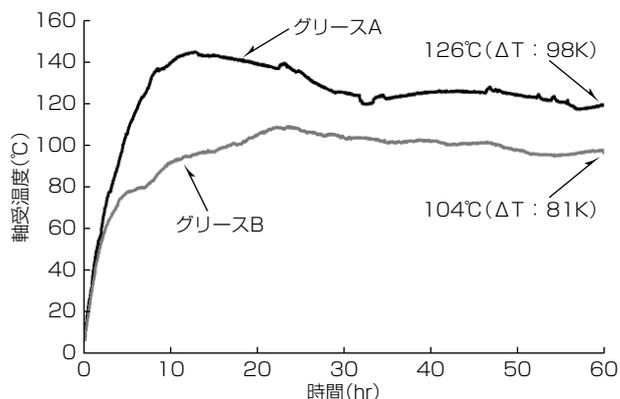


図9. 新グリースと従来グリースの温度上昇試験結果

表1. 従来グリースと新グリースの一般性状

	基油	増ちょう剤	動粘度(mm <sup>2</sup> /s)			粘度指数	混和ちょう度
			40℃	80℃	100℃		
グリースA	鉱物油	複合リチウム	101.0	20.1	11.5	101	280
グリースB	PAO(ポリアルファオレフィン)	ジウレア	80.8	20.1	12.2	147	280

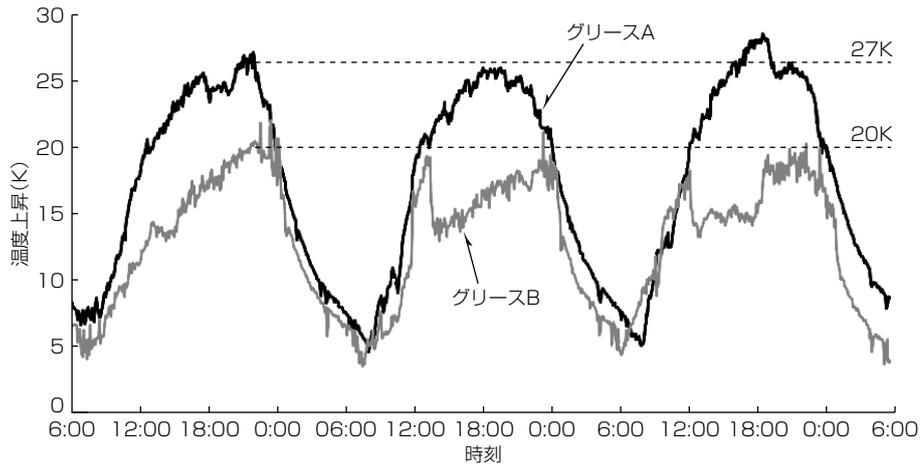


図10. 高速エレベーター用実機巻上機での温度測定結果

#### 4.4 高速エレベーター用実機巻上機での発熱低減

高速エレベーター用実機巻上機(図2)を用いて、グリースAとグリースBによる軸受温度の差異を評価した。軸受温度は、軸受を支持する軸受台下部に熱電対を取り付けて測定した。グリースAで2週間測定した後に、グリースBに入れ替えて2週間測定を行った。図10に一例として3日間の温度測定結果を示す。縦軸は軸受台下部と周囲温度との差分であり、横軸は時刻を示している。

図10から、朝から夕方にかけて軸受温度が上昇し、夜間に低下することが分かる。高層ビルでは日中と夜間の稼働率が変化することから、1日を周期としたヒートサイクル状の変化が起こっている。1日のうちで最も温度が高くなる20時付近で、グリースAでは27K上昇したのに対してグリースBでは20Kになっていた。これらの結果から、高速エレベーター用実機巻上機で、グリースAに比べてグリースBでは軸受発熱量が約25%低減することを確認した。

(昇降速度：分速1,080m相当)を行った結果、従来軸受に比べて新軸受は、温度上昇 $\Delta T$ が約44%低減した。

(2) 攪拌抵抗を低減し、すべり摩擦が少なくなるように基油と増ちょう剤を選定改良した新グリースは、すべり率1~20%の範囲で摩擦係数が40%以上低かった。さらに、軸受温度上昇試験(昇降速度：分速1,080m相当)を行った結果、新グリースでは軸受発熱量が約18%低減した。

(3) 高速エレベーター用実機巻上機を用いて、従来グリースと新グリースの軸受温度上昇の差異を評価した結果、新グリースでは軸受発熱量が約25%低減した。

このように、高速エレベーター用巻上機で、軸受とグリースの改良によって機械損(軸受発熱)が低減することが分かった。今後もエレベーターの高速化と大容量化が進むと予想されるので、更なる損失低減に取り組み、省エネルギーに貢献していく。

#### 参考文献

- (1) 加藤 寛, 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, 83, No.8, 424~428 (2012)
- (2) 瀧口隆一, ほか: ダイレクトドライブモータにおける関節型固定子鉄心の磁気特性モデルの検討, 平成25年電気学会産業応用部門大会講演論文集, 85~88 (2013)
- (3) 木村康樹, ほか: 高速エレベーター用巻上機の自動調心ころ軸受の発熱抑制に関する研究, 日本機械学会第16回機素潤滑設計部門講演会講演論文集, 179~180 (2016)
- (4) 木村康樹, ほか: 高速エレベーター用巻上機の軸受潤滑グリースに関する研究, トライボロジー会議2018秋, B28 (2018)
- (5) 外尾道太: グリースによる転がり軸受の低トルク化技術, トライボロジスト, 63, No.2, 69~74 (2018)

## 5. む す び

高速エレベーター用巻上機の機械損低減に着目し、軸受・グリースの各メーカーの協力を得て改良を行い、次の軸受発熱低減効果を確認した。

- (1) 軸受軌道輪の表面性状変更ですべり分布を改良した新軸受(実機の1/2サイズ)を製作し、軸受温度上昇試験