

# 高速ギヤレスエレベータ用新形直流機

## New DC Machine for High-Speed Gearless Elevators

白 木 勇\* 小 倉 純 一\*  
Isamu Shiraki Jun'ichi Ogura

### 内 容 梗 概

来たるべき超高層ビル時代においては、エレベータは従来よりいっそう高速、高性能のものが望まれる。この情勢に対処するため、今回セラコンスタック方式ギヤレスエレベータ用新形直流機を開発し、新標準シリーズを確立した。新形巻上用電動機は、速度特性と即応性向上のため電機子導体数をへらし、補極なしとするとともに、ブラシ電圧降下の影響をなくすためパイロットブラシを設けた。また機械構造上の再検討を行ない、制御性能の向上とともに、振動、騒音および重量、寸法の低減もあわせ行なった。また新形発電機は特に残留電圧低減のため残留磁橋を取り付け、同時に機械構造上の再検討を行ない、これに伴って電動発電機の振動、騒音および重量、寸法の低減を図った。一方、AVR+IR 制御を開発して、高速エレベータとしての高性能を得ることに成功した。

### 1. 緒 言

日立製作所では、数年前に最高級エレベータとしてFV形ギヤレスエレベータを開発して以来、多数の製品を世に出している。しかし、最近の超高層ビル建設の気運とあいまって、ギヤレスエレベータは、高速度化、着床精度の向上、運転時間の短縮、乗心地の改善、極低騒音運転などが強く要望されている。この情勢に対処し、ギヤレスエレベータの性能向上を達成するため極低騒音運転の可能な高性能を有する新形直流機を開発した。巻上用電動機としては、速度特性改善のため電機子反作用の低減および即応性の向上、界磁電流変動による速度ドリフトの低減を行ない、レオナード発電機としては、残留電圧の低減および制御巻線の改良など性能向上を行なうとともに、両者とも振動、騒音、重量、寸法などの低減および機械室の据付面積の縮小を図り、新構想のもとに、ギヤレス・エレベータ用直流機の新しい標準シリーズを確立したので、以下に述べる。

### 2. 標 準 仕 様

第1表に、ギヤレスエレベータ用直流機の新標準シリーズの仕様を示す。

エレベータのかご速度 120~300 m/min の範囲に対して使用できるものであって、きたるべき国内の超高層ビル時代にも十分対処しうるものである。仕様中、かご速度に対するシープ直径のとり方は、

巻上用電動機の回転に伴う振動、騒音および重量、寸法と、ロープの太さおよび本数を決める重要な問題であり、両者のかね合いを十分考慮して定められたものである。第1図は、新形巻上用電動機とAV形電動発電機の外観写真を示したものである。

### 3. 巻上用電動機の特長

#### 3.1 速度特性

エレベータの性能を左右する最も重要な要素は、巻上用電動機の速度特性である。新形機は特にこの点に重点をおいて設計されている。

##### 3.1.1 速度の変動要素

一般に、他励直流電動機の世界速度  $N$  は次の式により表わされる。

$$N = \frac{V_t - V_B - IR}{k\phi} \dots\dots\dots (1)$$

- ただし、  
 $V_t$ : 端子電圧  
 $V_B$ : ブラシ接触電圧降下  
 $I$ : 負荷電流  
 $R$ : 電機子回路内部抵抗  
 $k$ : 機械定数  
 $\phi$ : 正負ブラシ間の逆起電力発生に寄与する空き磁束

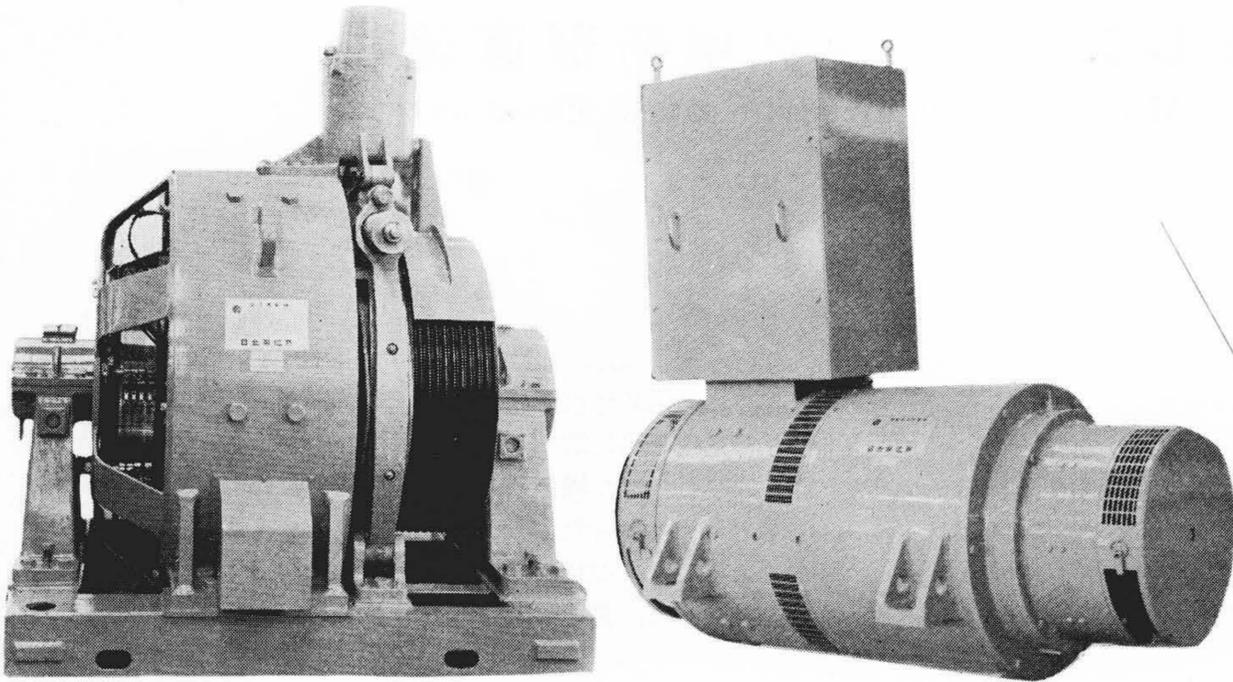
(1) 式中  $R$ ,  $k$  を除く各要素は、すべて負荷電流  $I$  により変動

第1表 ギヤレスエレベータ用新形 DCM および MG 標準シリーズ

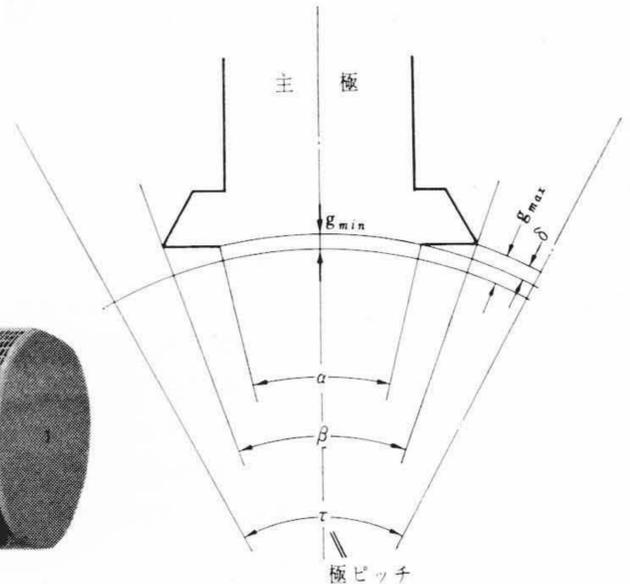
エレベータ仕様		ギヤレス巻上用電動機					AV形電動発電機			
速度(m/min)	積載量(kg)	形番	kW	rpm	シープ径(φ)	ローピング	形番	DCG kW	Ex kW	1M kW
120/150	800/ 650	GL2-1164	11	120/150	640	2:1	AV-13	13	3	15
120/150	1,100/ 900	GL2-1564	15	120/150	640	2:1	AV-18	18	4	19
120/150	1,450/1,150	GL2-2064	20	120/150	640	2:1	AV-23	23	4	22
120/150	1,800/1,400	GL2-2564	25	120/150	640	2:1	AV-29	29	4.5	26
120/150	2,100/1,700	GL2-3064	30	120/150	640	2:1	AV-35	35	4.5	33
120/150	2,500/2,000	GL2-3564	35	120/150	640	2:1	AV-40	40	5	36
150/180	1,500/1,300	GL2-3080	30	119/144	800	2:1	AV-35	35	4.5	33
150/180	1,800/1,500	GL2-3580	35	119/144	800	2:1	AV-40	40	5	36
210/240	1,150/1,000	GL1-3080	30	83.5/95.5	800	1:1	AV-35	35	4.5	33
210/240	1,300/1,150	GL1-3580	35	83.5/95.5	800	1:1	AV-40	40	5	36
210/240	1,500/1,300	GL1-4090A	40	74.5/85	900	1:1	AV-45	45	6	40
240	1,500	GL1-5090A	50	85	900	1:1	AV-56	56	6	50
300	1,000	GL1-4090B	40	106	900	1:1	AV-45	45	6	40
300	1,300	GL1-5090B	50	106	900	1:1	AV-56	56	6	50
300	1,500	GL1-6090	60	106	900	1:1	AV-67	67	7	60

(注) 電動機, DCG は1時間定格, Ex と IM は連続定格

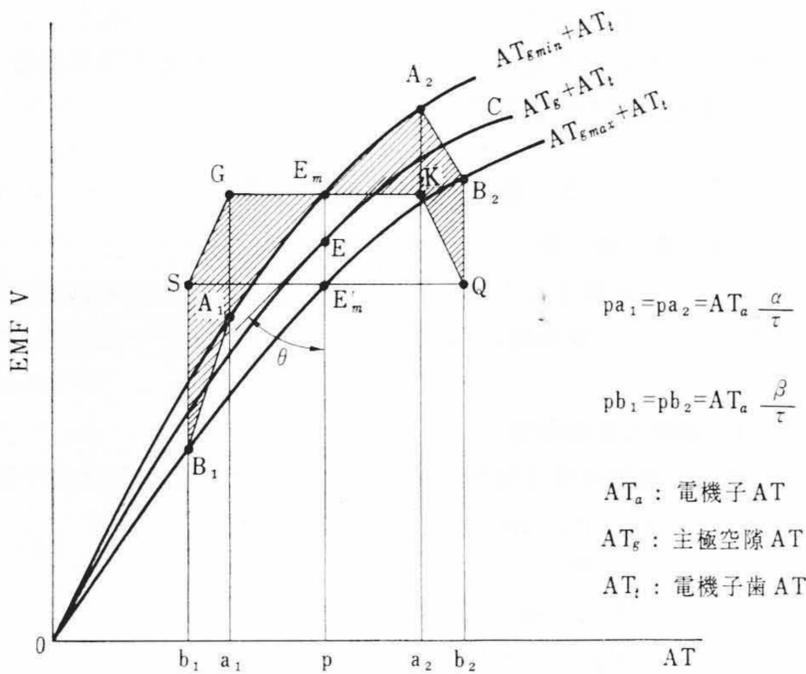
\* 日立製作所日立工場



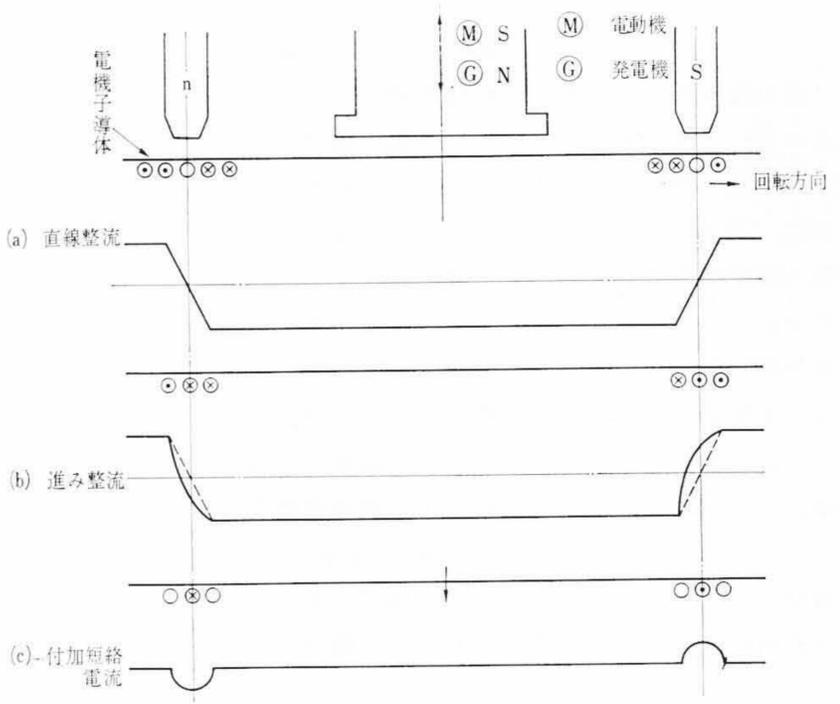
(a) 新形巻上用電動機 (b) AV形電動発電機



第2図 主極空げき



第3図 電機子電流の交差起磁力による減磁作用の算出法



第4図 進み整流による増減磁作用の説明

するものである。通常のレオナード制御の場合の速度特性は、発電機と電動機の固有の組合総合特性が問題となるのであるが、発電機特性  $V_i$  とブラシ接触電圧降下  $V_B$  および定常状態での抵抗降下  $IR$  の三要素は補償されるので問題はない。しかしながら、巻上用電動機の空げき磁束  $\phi$  の変動は AVR 制御の閉ループ外にあるため AVR では補償されず、また  $I$  に対する変動が非直線性であるため  $IR$  補償でも十分に補償しきれない。したがって、 $\phi$  の変動を極力小さくすることが望ましい。一方、 $IR$  降下は定常状態では補償しうるが、過渡時には補償できない、すなわち速度制御の即応性からいえば、 $IR$  降下を小さくして機械的時定数を小さくすることが望ましい。新形巻上用電動機はこれらの諸点を十分に考慮して設計されている。

3.1.2 空げき磁束  $\phi$  の変動の原因とその対策

$\phi$  の変動する主要な原因として次の四つがある。

- (1) 電機子電流の交差起磁力による減磁作用
  - (2) 整流特性による増減磁作用
  - (3) 補極磁束による増減磁作用
  - (4) 主極巻線の温度上昇に基づく界磁電流の変動による作用
- (1)~(3)の作用は、負荷電流によるもので、いずれも負荷電流に対して非直線性を示す。これらの原因による  $\phi$  の変動を小さくするため、巻上用電動機はいかに設計されているかを、原因の

説明とともに次に述べる。

(1) 電機子電流の交差起磁力による減磁作用

これは主として、電機子歯の部分の磁氣的飽和のために起こるもので、次に示すような図式計算法により求めることができる。すなわち、第2図より第3図を描くことにより、減磁作用に基づく逆起電力の減少分  $\Delta E$  は

$$\Delta E = \frac{(\text{面積 } E_m G S B_1 A_1) - (\text{面積 } E_m K Q B_2 A_2)}{b_1 b_2} \dots\dots (2)$$

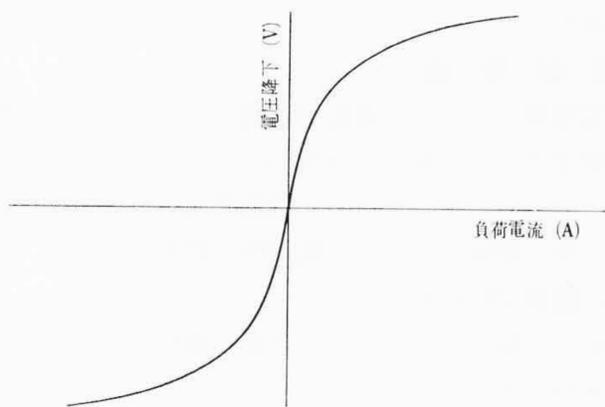
の式で表わされる。第3図より  $\Delta E$  を小さくするには、電機子AT/界磁ATの値を小さくすればよい。これを考慮して、新形機では電機子ATすなわち電機子導体数を減少させた。

(2) 整流特性による増減磁作用

整流曲線が直線整流であれば、電機子電流分布は中性帯の中心に対して対称となり、電機子起磁力は主極に対して完全に横軸成分だけとなり、主極磁束の増減には無関係である。一般に、進み整流の場合は直線整流の差分として第4図(c)に示す付加短絡電流が流れ、この電流が主極の直軸分として主極磁束を増(発電機の場合)減(電動機の場合)させる。遅れ整流の場合は、この逆となる。この作用を少なくするため、電機子導体数を少なく設計した。

(3) 補極磁束による増減磁作用

この作用についても同様に、ブラシ中性点の等価的移動と考え



第5図 カーボンブラシ接触電圧降下特性の一例

ることができる。この作用は補極をなくすことにより存在しなくなるので、新形機は補極を廃止した。

(4) 主極巻線の温度上昇に基づく界磁電流の変動による作用

界磁電流の銅損によって、主極巻線の温度は上昇する。その結果、主極巻線の抵抗値が増加し界磁電流は減少するため、主極空げき磁束 $\phi$ は減少する。この主極巻線の温度上昇は、界磁電流通電後、数時間続くので、これがエレベータの着床精度のドリフトを起こす結果となり好ましくない。このドリフトを小さくするため、新形機では主極巻線の電流密度を低くとり、極力温度上昇を低くして $\phi$ の減少を少なくするように考慮した。

3.2 即応性の向上

エレベータは、運転→停止→運転と絶えずその速度を変化し、かつ速度指令に対して速やかに追従しなければならない。発電機界磁にはいる速度指令に対する発電機電圧の遅れは AVR 制御系である程度補償されるが、発電機電圧に対する電動機速度の遅れは制御閉ループ外にあるので補償されず、いわゆる機械的時定数の大小が重要な問題となってくる。機械的時定数  $T_M$  は次の式で示される。

$$T_M = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{N_r}{T_r} \cdot \frac{I_r R}{E_r} \quad (\text{s}) \dots \dots \dots (3)$$

- ただし、  $GD^2$ : 電動機軸における全  $GD^2$  (kg-m<sup>2</sup>)
- $N_r$ : 定格回転数 (rpm)
- $T_r$ :  $N_r$  に対する定格トルク (kg-m)
- $I_r$ : 定格電流 (A)
- $R$ : 主回路の全抵抗 ( $\Omega$ )
- $E_r$ : 定格点における電動機逆起電力 (V)

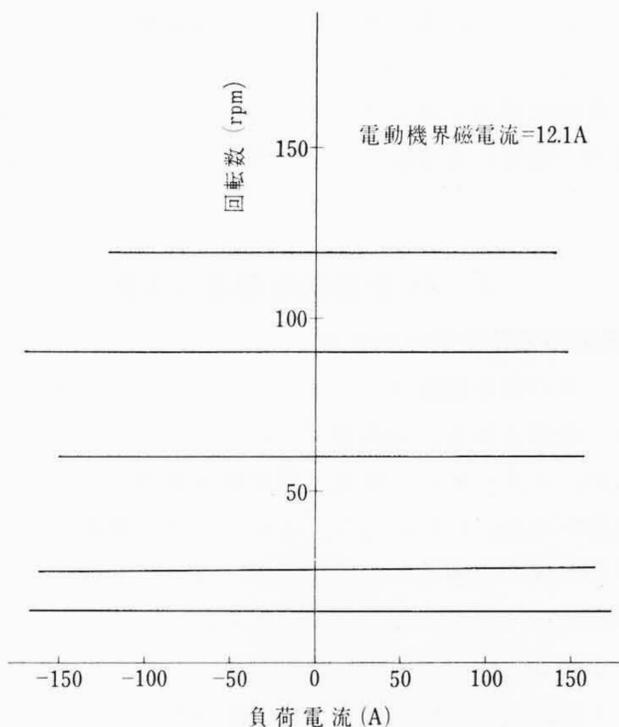
さて、与えられた電動機仕様において、設計のいかんにより変えうる要素は、 $GD^2$  と  $R$  の二つである。

まず電動機軸における全  $GD^2$  の値は特に 1:1 ローピングの高速エレベータでは、かご、平衡錘、ロープなどの機械部分によるものが大部分を占め、電動機の回転子自体の  $GD^2$  を小さくしたところで、ほとんど影響はない。したがって、 $T_M$  を小さくするには、与えられた仕様において  $R$  を小さく設計しなくてはならない。このために新形機においては、電機子導体数を少なくし、補極巻線を廃止した結果、即応性は大幅に向上した。

3.3 パイロットブラシ

ブラシの接触電圧降下  $V_B$  は、一般に第5図のように、負荷電流  $I$  に対して非直線性を示す。したがって、 $V_B$  の変動を単なる  $IR$  補償では十分に補償することはできない。そこで、新形巻上用電動機ではパイロットブラシを設けて、これから AVR 電圧検出用端子をとることにより、 $V_B$  を AVR 制御閉ループ内に収め、発電機特性  $V_i$  とともに十分に補償しうるようにした。

以上の方針に基づいて設計した結果、AVR+IR 制御をかけた総合速度特性は、第6図に示すようにフラットな特性をうることができた。



第6図 新形 20 kW 電動機と 23 kW 発電機の組合特性 (AVR+IR 制御をかけたもの)

3.4 整流特性

前述のように、新形巻上用電動機では速度特性改善のため補極を廃止したことが大きな特長であるが、エレベータの加減速時には 250% 程度までの過負荷が要求され、整流火花が問題となる。補極なしの直流機では、リアクタンス電圧そのものが火花の発生にあずかるいわゆる火花電圧となるので、同程度の大きさの補極付直流機の残留火花電圧と同じ程度まで、リアクタンス電圧を下げて設計する必要がある。このために、電機子導体数を少なくするいわゆる鉄機械の設計としたが、これは速度特性改善と同時に整流改善に大きく寄与するものであり、試験の結果は、実用上十分なる整流火花特性をうることができた。

3.5 小形化と軽量化

新形巻上用電動機は、性能向上のため鉄機械の設計としたので一般に大形化するが、特にギヤレスエレベータは大事務所超高層ビルに何台も並設設置される場合が多く、ビル設備費節約の見地から据付面積の小さいことが必要であるので、小形化することが望ましい。新形巻上用電動機の設計には、この点を十分に考慮した。特に軸長短縮のために、軸受、シーブおよびブレーキドラム、電機子巻線の各軸長短縮に留意した。また、電磁気的部分についても、鉄機械の設計のため電機子外径は大きくなって電機子鉄心重量は増加し、また電流密度を低くとったため主極巻線重量も増加するが、一方電機子導体数の減少、補極巻線および鉄心の廃止、継鉄厚みおよび長さ、ベース、シャフト、シーブの重量低減など、合理的な設計を行なって小形軽量化することができた。

3.6 機械構造

ギヤレスエレベータの巻上用電動機としては、振動、騒音が非常に少ないことが要求されるので、新形機は、特にこの点に留意して機械構造上の設計を行なった。特に問題となる点は、電機子歯およびみぞによって磁束が振動するために生ずる磁気振動および騒音である。磁気振動周波数と電動機固定子の固有振動数が接近している場合、固定子各部の剛性が弱いと大きな振動、騒音を発生する。これを避けるため、磁気振動周波数と固定子の固有振動数をできるだけ離すように設計するとともに、磁束の振動を少なくするために電機子みぞを斜溝とし、主極端のベベル、主極空げきの拡張、主極弧長の選定を行なうとともに、固定子剛性強化のため継鉄寸法の選定、主極アテ板の積層をやめ一枚物とし、特に振動しやすい主極端をリベット締めとした。この結果、振動、騒音はほとんどなくなり、

ギヤレスエレベータの乗心地の向上、静粛運動を可能にした。

また、エレベータのスタートショック低減のために、電動機軸受の静止摩擦を極力小さくするような軸受の設計を行なうとともに、潤滑油の選定にも意を用い、円滑なスタートが行なえるようになった。

### 4. AV形電動発電機の特長

#### 4.1 発電機の残留電圧の低減

エレベータの着床精度は、停止寸前のクリーピング速度が低ければ低いほど改善される。超高層ビルにおいては、エレベータは高速化されるが、クリーピング速度は着床精度維持のために、低い値に押える必要がある。したがって、エレベータが高速化するほど、レオナード発電機の残留電圧の割合は低くしなければならない。このため、新形発電機は次のような構造がとられている。

- (1) 主極間に残留磁橋を取り付ける
- (2) 主極鉄心背中に非磁性ライナを入れる
- (3) 主極鉄心に、特に保磁力の小さい材質を使用する
- (4) 動作電圧最大値における継鉄、主極鉄心の磁束密度を低くする
- (5) 継鉄、主極鉄心の磁路長を短くするため、継鉄外径を小さくする

以上の構造を採用した結果、残留電圧の低減は著しく、定格電圧の1%以内におさめることができた。

#### 4.2 発電機の制御性能

発電機固有の外部特性は、AVRにより十分補償されるので、特に電圧変動の非直線性を小さく設計する必要はなく、銅機械として設計を行なった。また、制御巻線は5種類あるが、いずれも巻数、時定数などエレベータシュミレータにより十分検討のうえ最適の設計

が行なわれた。

#### 4.3 機械構造

巻上用電動機と同じく、電動発電機においても振動、騒音の少ないことが要求される。振動が外部に伝わらないように、電動発電機は防振ゴムの上のせられるが、電動発電機自体の振動を少なくするために、長い回転子に対して数個所で精密なバランスをとってある。一方、騒音は回転数が高いために大きなものとなりやすいが、特殊なファンの採用により、冷却効果を犠牲にすることなく低騒音とすることができた。

そのほか、構造上の特長は次の諸点である。すなわち、発電機および励磁機の整流子が、ビル機械室への荷上げおよび据付工事中に損傷を受けることを防止するため、保護をかねたエンドカバーが設けてある。また、外部配線工事を容易にし配線上の体裁を良くするために発電機と誘導電動機の端子を、誘導電動機の外わく上の一箇所にとどめた。また、誘導電動機側のベアリングを、ボールベアリングからNU形ローラベアリングに変えた。これは、軸の熱膨脹によるスラストをボールではうまく逃げきれず、ベアリング損傷の恐れが多分にあるためである。ローラベアリングにした場合でも、振動、音響はボールベアリングの場合と比べて、ほとんど有意差のないことが確認されている。

### 5. 結 言

以上、まったく新しい構想のもとに、ギヤレスエレベータ用の巻上用電動機および電動発電機を開発した結果、超高層ビル時代の高速エレベータとしての高性能を期待できるにいたった。昭和39年9月1日に営業運転を開始したホテルニューオータニの4基は新形直流機の第1号機である。



## 新案の紹介



実用新案 第717013号

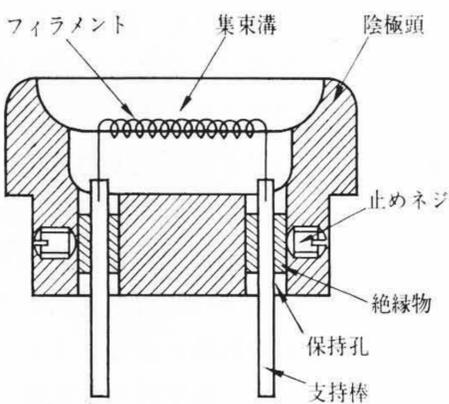
宇多村幸彦

### X線管陰極フィラメント保持機構

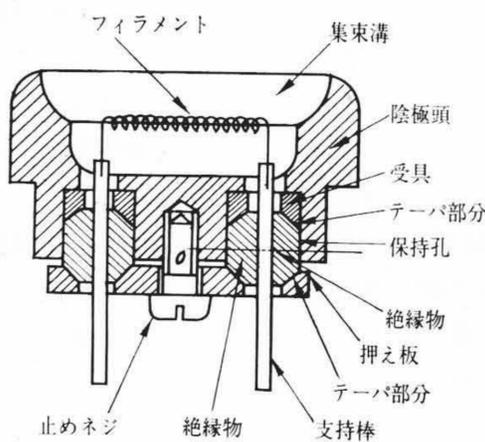
従来多く用いられているX線管陰極フィラメント保持部分の構造は、第1図に示すようにフィラメントを取り付けた支持棒を集束溝を有する陰極頭に穿けた保持孔に貫通し、この部分において支持棒を絶縁物によってはさみ、止めネジによりこれを締めつけ固定していたが、このような構造のものでは絶縁物を直接止めネジで締めつけるため絶縁物を局部的に点または線接触で押えつけることになり、絶縁物を傷つけたまたガタも生じやすいので確実な保持がむずかしいという欠陥があった。

この考案は第2図および第3図に示すように、フィラメント保持孔にテーパ部分を上下に有する二つ以上に分割した絶縁物をそう入し、これによりフィラメント支持棒を直接あるいは支持管を介してはさみ、絶縁物のテーパ部分に対接した押え板を止めネジによって陰極頭に締めつけることによってフィラメントを集束溝の所定の位置に確実に保持固定できるようにしたものである。

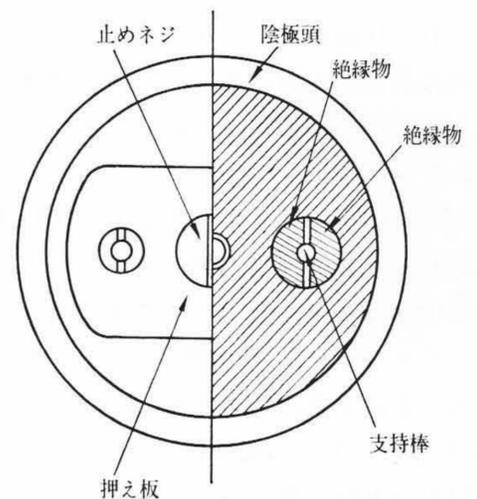
このように構成することにより従来のX線管にみられるような欠陥を完全に除去することができる。(福田)



第1図



第2図



第3図