

# 照明昇降装置における耐震性の向上

## Improved Quake Resistance for Lifting Device of Lighting Fixture

桐ヶ谷 昌広\* ・ 鶴田 亘\*\* ・ 林 健一郎\*\*\* ・ 吉田 雅彦\*\*\*\* ・ 岩間 博哉\*  
 Masahiro Kirigaya Wataru Tsuruta Ken-ichiro Hayashi Masahiko Yoshida Hiroya Iwama

昇降式照明器具の落下防止機構において、昇降用駆動源とは別の電磁ソレノイドでシャッターを回転させて昇降体をロックする回転式シャッター機構を開発した。照明器具の荷重を受けるシャッターは、上下・左右・前後の3方向に振動してもロックが解除されないカウンタバランス構造となっており、強い耐震性を実現している。さらに昇降時の動作フローを考案することで、手元スイッチにより自動でロックが解除・降下し、再設置の際は上昇後定位置で停止・ロックする動作が可能となり、メンテナンス性を向上させている。

In the mechanism for preventing lighting fixture falling from lifting device, a rotary shutter mechanism has been developed for locking the lifted lighting fixture by a solenoid-driven rotary mechanism. The shutter blade, which supports the weight of the lighting fixture, is designed as a counter-balanced structure, thereby never being unlocked against vibrations in the three direction, namely up-down, left-right or front-back. In addition, maintainability was improved by designing a lowering and lifting process, an automatic sequence for unlocking and lowering the lighting fixture for servicing by the operating switch, making it possible to elevate and stop it at the top position, and lock it for re-installation.

### 1. ま え が き

体育館や大型商業施設等の照明器具のメンテナンスは足場を組んでの高所作業となり、落下事故の危険性を伴う。また、メンテナンスのたびに足場を組む必要があるため、そのコストが増大する問題点がある。

そこで、スイッチ一つで照明器具を降ろせる昇降装置をあらかじめ天井に設置しておけば、メンテナンスを地上で安全かつスピーディに行うことができる。

近年たびたび発生する大地震に対し、照明昇降装置には落下防止のための対震性向上が求められる<sup>1)</sup>。表1に示すように、振動の重力加速度と耐震クラスの関係が建築設備耐震設計・施工指針2005年度版で規定されている。照明器具は高所に設置される関係で照明昇降装置は上層階への設置となるので、震度5強から震度6弱の大地震で無被害、あるいは震度6強から震度7の巨大地震で軽微な被害であることを示す耐震クラスAを満たすためには、1.5Gの振動負荷に耐えなくてはならない。

表1 振動の重力加速度と耐震クラスの関係

	建築設備機器の耐震クラス		
	S	A	B
上層階・屋上および搭屋	2.0 G	1.5 G	1.0 G
中間層	1.5 G	1.0 G	0.6 G
地表および1階	1.0 G	0.6 G	0.4 G

出典：建築設備耐震設計・施工指針2005年度版

照明昇降装置は図1に示すように以下の(1)～(7)の構造体によって構成される。

- (1) 照明器具を取り付ける昇降体
- (2) 照明器具をつり下げるつり材（ワイアまたはベルト）
- (3) つり材を巻取り巻出しする巻取ドラム
- (4) 巻取ドラムを回転させる動力伝達部
- (5) 回転モータ
- (6) 筐体
- (7) 筐体を天井に取り付ける取付金具

\* 生産技術研究所 Production Technologies Research Laboratory

\*\* 照明事業本部 施設・屋外照明事業部 Industrial & Exterior Lighting Division, Lighting Manufacturing Business Unit

\*\*\* 照明事業本部 ナショップ・調光システム事業部 Nashop & Lighting Control Systems Division, Lighting Manufacturing Business Unit

\*\*\*\* 照明事業本部 照明製造総合部 Lighting Manufacturing Division, Lighting Manufacturing Business Unit

メンテナンス時は、手元スイッチを押すと回転モータが回転し、動力伝達部により回転力が巻取ドラムに伝達されてつり材が巻き出されることで、昇降体とともに照明器具が下降する。メンテナンス終了後は、回転モータを逆回転させることで昇降体とともに照明器具は上昇し、元の位置に納まる。

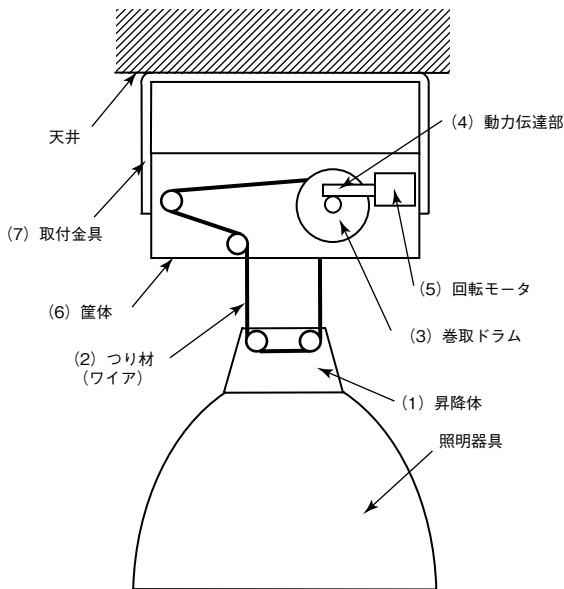


図1 照明昇降装置の構成

今回、上下・左右・前後の3方向の振動に対してロックが解除されないカウンタバランス構造の回転式シャッタ機構を開発することで、従来に比べてきわめて安全性の高い落下防止機構を実現した。

さらに、1.5 Gの振動負荷時にシャッタが十分な強度を有することを確認したので以下に報告する。

## 2. 従来の落下防止機構と問題

従来の照明昇降装置の落下防止機構の構造と問題について述べる。なお振動方向については、以下、上下方向をZ方向、水平左右方向をX方向、水平前後方向をY方向と記す。

### 2.1 直つり下げ方式

直つり下げ方式は図2に示すように、照明器具は常時つり材でつり下げられているのみで他の落下防止装置はない。したがって、つり材には照明器具の静荷重だけではなく、地震などによる振動も考慮した荷重に耐える強度が要求される。さらに、落下防止を図るには二重安全とするのが望ましい。

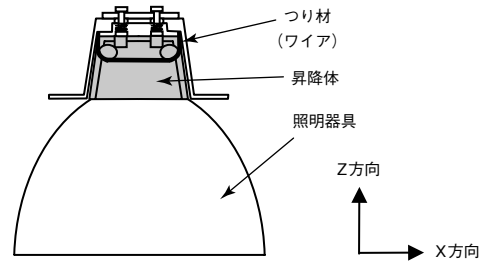


図2 直つり下げ方式

### 2.2 ロック爪方式

ロック爪方式は図3(a)に示すように、通常の設置状態ではつり材に負荷を掛けず昇降体を直接保持してロックするロック爪が設けられており、二重安全の考え方に基づくものである。ロックするためには、昇降体を図3(b)の位置まで上昇させた後ロック位置まで下降させる。ロックを解除するには、昇降体を図3(c)の位置まで上昇させてから下降させる。しかしこの方式は、昇降体のZ方向の位置によってロックとロック解除の状態を区別しているので、Z方向の振動で昇降体が動きロックが解除されやすく、照明器具が宙づり状態になるおそれがある。

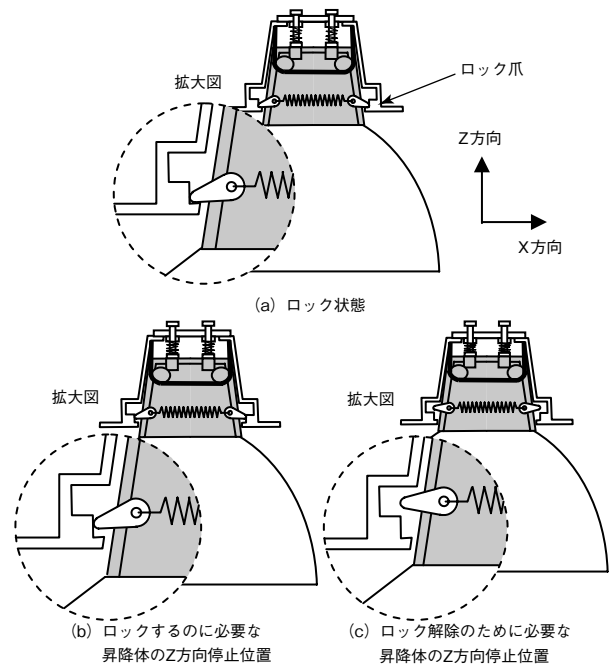


図3 ロック爪方式

## 3. 落下防止機構の開発

従来のロック方式の問題点を解決して確実な二重安全を実現するため、電磁ソレノイドを用いて水平方向に移動させる回転式シャッタ機構を開発する。これにより、Z方向の振動に対してロックが解除されることを防止する。昇降体は通常の設置状態では左右2箇所のシャッタの上に乗っている。図4に開発したシャッタ機構を搭載した照明昇降装置の構造を示す。

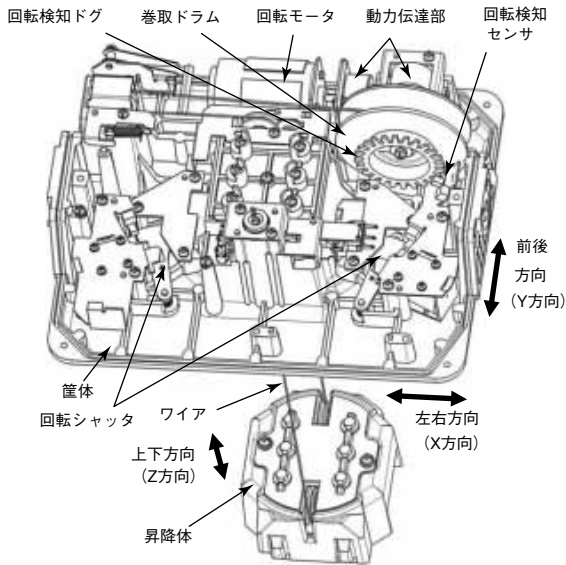


図4 シャッタ機構を搭載した照明昇降装置

シャッタの開閉は電磁ソレノイドで行う。図5 (a) はシャッタが閉じた状態、図5 (b) はシャッタが開いた状態である。電磁ソレノイドに電流を流してプランジャが後退すれば、シャッタが開きロックを解除することができる。逆に電流を切ると電磁ソレノイドの推進力がなくなり、ねじりコイルばねの回転力でシャッタを前進させて、閉じることができる。シャッタが閉じて昇降体とその上に乗るとロックが掛かるので、通常の設置状態で落下することはない。

しかし、X方向の振動により照明器具および昇降体は、片側のシャッタを回転軸として反対側が浮き上がり、これを左右交互に繰り返す(図6)。そして筐体が左に移動して昇降体の右側が浮いた状態(図6 (a))から右に移動した場合、その周波数によっては昇降体と比較して軽量で慣性力の小さいシャッタが昇降体よりも先に右に動いてロックが解除されるおそれがある。

そこで、照明器具の荷重を受けるシャッタ形状にカウンタバランス構造を採用することで、X方向の振動に対してロックが解除されない落下防止機構とする。具体的には、シャッタの回転中心と重心を一致させることでシャッタにトルクが発生せず回転が抑制でき、ロックが解除されない。図7 (a) に改善前、図7 (b) に改善後のシャッタ形状を示す。

Y方向の振動に対してもX方向の振動と同様に、シャッタにトルクが発生せずロックが解除されることはない。

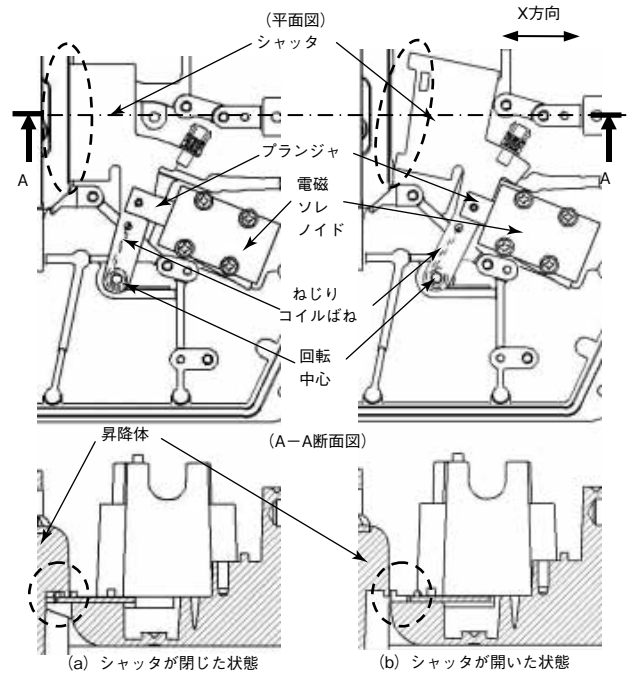


図5 シャッタ機構

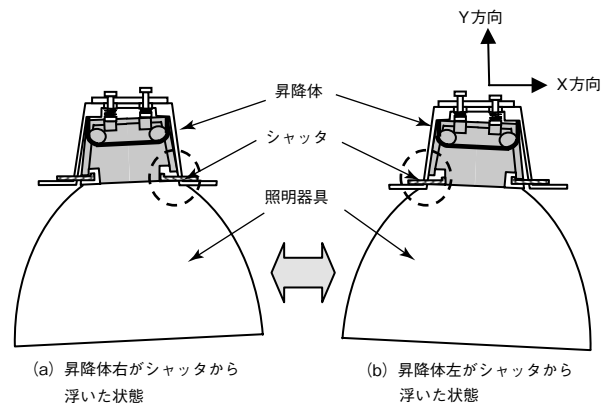


図6 X方向の振動による昇降体の動き

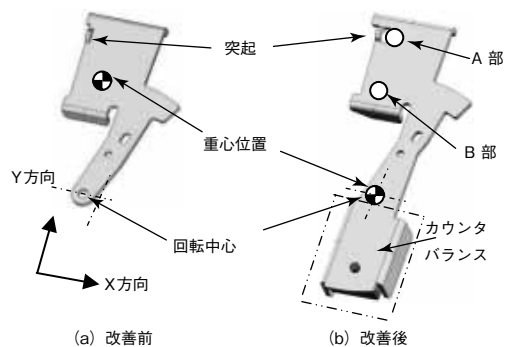


図7 シャッタ形状

## 4. 強度解析

大地震で照明昇降装置が破損しないためには、1.5 Gの振動負荷でシャッタに発生する応力が許容値以下である必要があり、以下の手順でその確認を行う。まず、構成部品に加わる最大荷重を機構解析により算出する。次に、求められた最大荷重を入力条件として構造解析により発生応力を算出する。本稿では、構成部品のなかでも落下防止機構の最重要部品であるシャッタを解析対象とする。

### 4.1 機構解析

#### 4.1.1 解析条件

機構解析に用いるモデルを図8に、解析のための条件を表2に示す。

天井と筐体を結合するアームはばね性を有しているため、X、Y、Zの3方向に変形する弾性体とみなす。その他の構成部品は剛体とみなし、各構成部品を結合する。また昇降体と筐体、シャッタと昇降体の相互作用を定義して衝突も考慮する。このように照明昇降装置をモデル化し、シャッタに加わる荷重を算出する。

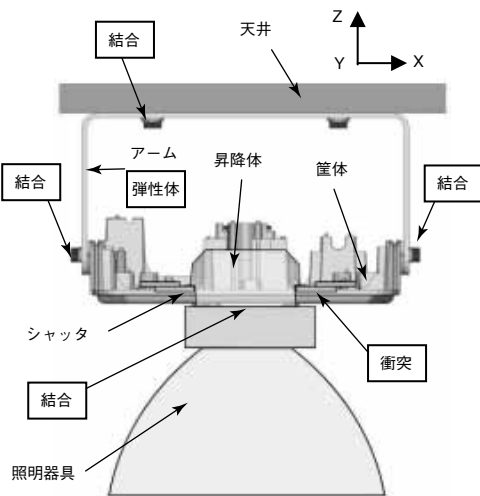


図8 機構解析モデル

表2 機構解析条件

解析方向	X, Y, Z の 3 方向
入力波形	正弦波
周波数 (f)	0.5~5.0 Hz の 0.5 Hz きざみ
振幅 (1000×1.5×9.8 / (2πf) <sup>2</sup> mm)	14.9~1489.4 mm
解析対象時間 (ステップ数)	60 s (30000)
1ステップ当りの時間	0.2 ms
アームのばね定数	X 方向 65.4 N/mm Y 方向 208.9 N/mm Z 方向 578.3 N/mm

#### 4.1.2 解析結果

過去の大地震では 5.0 Hz 以下の低周波領域における振動

成分が大きいことがわかっている。そこで、X、Y、Zの3方向のそれぞれの振動に対して、0.5～5.0 Hzの範囲で0.5 Hz きざみに一定の周波数の正弦波を加えて機構解析を行い、シャッタに作用する最大荷重を算出する。図9に一例として、X方向に0.5 Hzの振動負荷を加えたときの解析結果を示す。X方向の振動負荷のとき、荷重ピーク値は昇降体が左右交互に浮き上がった後、シャッタに衝突するときに現れる。振動印加時間が10 sを超えると、シャッタに作用する荷重のピーク値が一定になることがわかる。

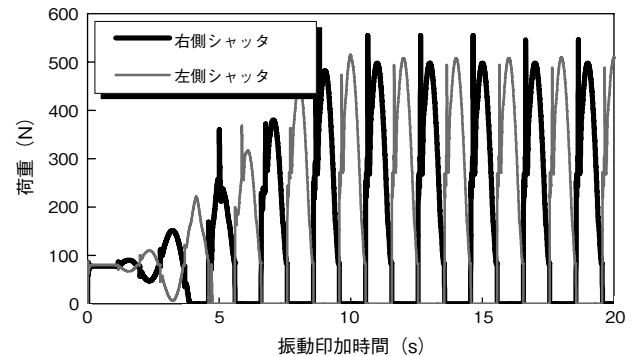
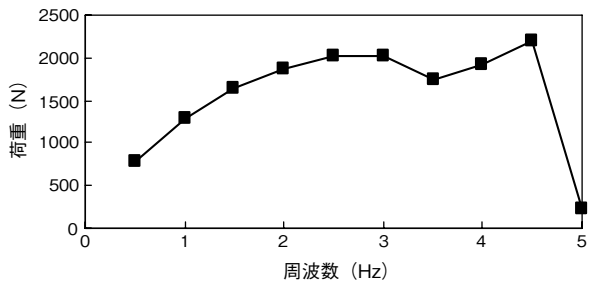
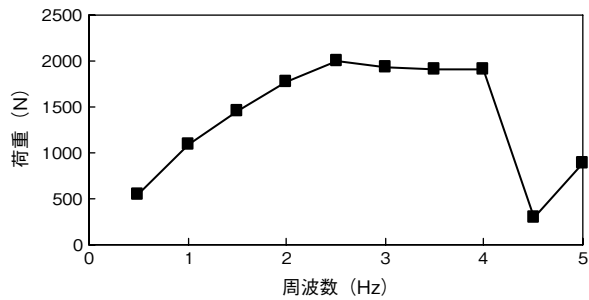


図9 解析結果 (X方向0.5 Hz振動負荷を加えた例)

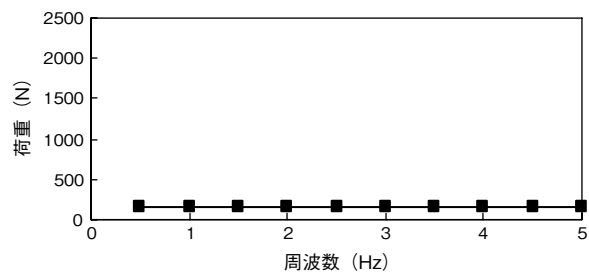
図10に解析で求められた各方向の振動、周波数ごとのシャッタに作用する荷重の最大値を示す。すべての振動条件のなかで、最大値はY方向に4.5 Hzで振動させたときの2198 Nである。一方、Z方向の振動負荷はXY方向と比較して小さく、シャッタに作用する最大荷重が146 Nとなっており、すべての周波数で昇降体がシャッタから浮き上がることはない。



(a) X方向振動負荷



(b) Y方向振動負荷



(c) Z方向振動負荷

図10 シャッタに作用する荷重の最大値

## 4.2 構造解析

### 4.2.1 解析条件

機構解析で算出された荷重 (2198 N) を用いて、構造解析でシャッタに発生する応力を求める。シャッタはさびると可動しにくくなるので、防錆性に優れる SUS304 とする。表3にその物性値を示す。コストや加工性を考慮し、応力値が基準値以下になるように幾つかの形状で解析確認を行い、最終形状での解析結果について述べる。

表3 SUS304 物性表

ヤング率	193000 MPa
ポアソン比	0.3
耐力	205 MPa
引張強さ	520 MPa

図11に解析の条件を示す。昇降体とシャッタの接触部に荷重を加え、筐体との接触部を -Z 方向に、プレートとの接触部を +Z 方向に固定する。また、シャッタ回転中心を XY 方向に固定する。

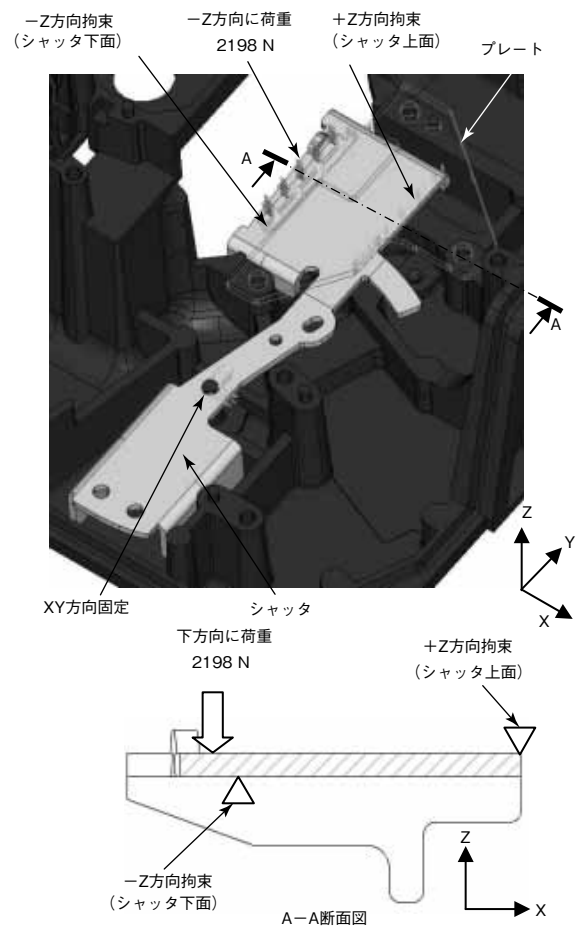


図11 シャッタ構造解析条件

### 4.2.2 解析結果

図12にシャッタに発生する応力を示す。最大応力は154 MPa (耐力に対して安全率1.34) であり、シャッタは弾性変形領域内で変形しており、十分な強度を有するといえる。

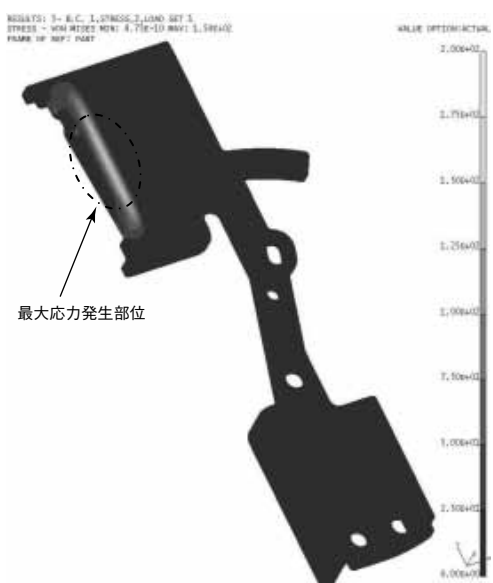


図12 シャッタに発生する応力

## 5. 照明昇降装置の動作フロー

### 5.1 昇降体位置の検出

照明器具を下に降ろす動作やメンテナンス後の再設置動作には、昇降体の位置によりシャッタの開閉が必要になる。そこで巻取ドラムに回転検知ドグを、筐体内に回転検知センサを設け、その位置を検知して高さカウンタで認識する(図4)。巻取ドラムが正方向に回転すると、つり材が巻き取られ昇降体は上昇する。回転検知センサは回転検知ドグに光を遮られ、ON/OFFの連続信号を得ることができる。この連続信号により高さカウンタ値を減ずる。

高さカウンタ値は、昇降体が上昇して最上点に到達したときの位置を0とし、昇降体が下降して照明器具交換時の位置に到達したときを15000とする。

### 5.2 昇降装置の動作フロー

図13にメンテナンス後の照明器具再設置の動作フローを示す。その動作を以下に述べる。

- (1) 作業者が手元の上昇ボタンを押すと、巻取ドラムが回転して昇降体は上昇をし始める。高さカウンタ値は15000から減少していく。
- (2) 高さカウンタ値が1000以下になると、電磁ソレノイドに通電されてシャッタが開く。その後、昇降体は上昇を続けて筐体内に移動する。
- (3) 高さカウンタ値が0になると昇降体は最上点に到達する。巻取ドラムの回転が停止し、昇降体の上昇も停止する。このとき昇降体は、シャッタの開閉動作を妨げない位置まで上昇させる。
- (4) 電磁ソレノイドの通電が遮断され、シャッタを閉じる。
- (5) 巻取ドラムが逆方向に回転して昇降体が下降し、シャッタの上に乗ることからつり材には負荷が掛からな

い状態となる。

メンテナンス時に照明器具を下に降ろす動作フローは、図13と逆になり、下降ボタンを押すことで一連の動作が可能である。

## 6. あとがき

昇降式照明器具の落下防止機構において、昇降用駆動源とは別の電磁ソレノイドでシャッタを回転させて昇降体をロックする回転式シャッタ機構を開発した。照明器具の荷重を受けるシャッタは、上下・左右・前後の3方向に振動してもロックが解除されないカウンタバランス構造となっており、強い耐震性を実現した。さらに昇降時の動作フローを考案することで、手元スイッチにより自動でロックが解除・降下し、再設置の際は上昇後定位置で停止・ロックする動作が可能となり、メンテナンス性を向上させた。

照明器具の荷重を常時受けるシャッタは、1.5 Gの振動負荷に対しても十分な強度を有することを有限要素法を用いた機構・構造解析により確認した。

開発した照明昇降装置は照明器具質量が10 kg用のものに適用しているが、今後は照明器具質量の異なる他機種にも展開していく予定である。

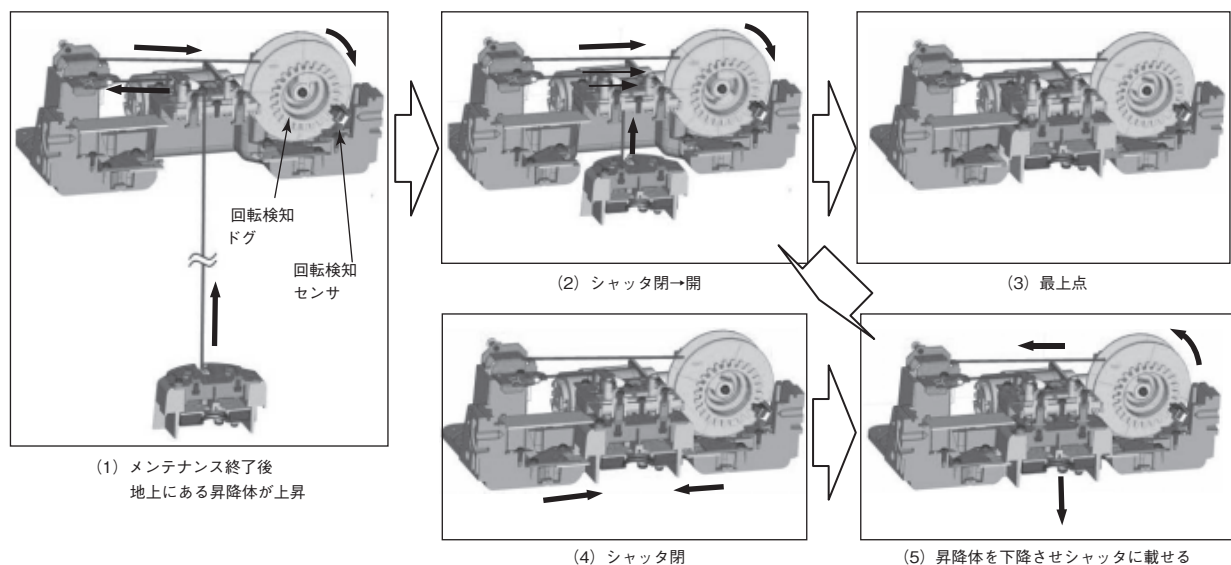


図13 メンテナンス後の照明器具再設置の動作フロー

**\*参考文献**

1) (財)日本建築センター：建築設備耐震設計・施工指針 2005 年度版 (2005)

**◆執筆者紹介**



桐ヶ谷 昌広  
生産技術研究所



鶴田 亘  
施設・屋外照明事業部



林 健一郎  
ナショナル・調光システム事業部



吉田 雅彦  
照明製造総合部



岩間 博哉  
生産技術研究所