

東京都豊島区内エレベーター事故調査報告書

平成28年11月

社会資本整備審議会

本報告書の調査の目的は、本件エレベーターの事故に関し、昇降機等事故調査部会により、再発防止の観点からの事故発生原因の解明、再発防止対策等に係る検討を行うことであり、事故の責任を問うことではない。

昇降機等事故調査部会

部会長 藤田 聡

東京都豊島区内エレベーター事故調査報告書

発生日時：平成27年6月22日（月） 19時42分ごろ

発生場所：東京都豊島区 共同住宅

昇降機等事故調査部会			
部会長	藤田	聡	
委員	深尾	精一	
委員	飯島	淳子	
委員	藤田	香織	
委員	青木	義男	
委員	鎌田	崇義	
委員	辻本	誠子	
委員	中川	聡子	
委員	稲葉	博美	
委員	釜池	宏	
委員	山海	敏弘	
委員	杉山	美樹	
委員	高木	堯男	
委員	高橋	儀平	
委員	田中	淳	
委員	谷合	周三	
委員	寺田	祐宏	
委員	直井	英雄	
委員	中里	眞朗	
委員	松久	寛典	
委員	宮迫	計	

目次

1	事故の概要	1
1.1	事故の概要	
1.2	調査の概要	
2	事実情報	1
2.1	建築物に関する情報	
2.2	エレベーターに関する情報	
2.2.1	事故機の仕様等に関する情報	
2.2.2	事故機の保守に関する情報	
2.3	事故発生時の状況等に関する情報	
2.3.1	19時42分頃のエレベーターの状況（事故時の利用者から聴取）	
2.3.2	19時52分頃のエレベーターの状況（東芝エレベータの社員が確認）	
2.3.3	制御盤に残っていたエラー情報に基づく事故発生時のかごの動き	
2.4	調査により得られた情報	
2.4.1	事故機のブレーキに関する情報	
2.4.2	事故直後の事故機の状況に関する情報	
2.4.3	事故後に回収したブレーキの調査に関する情報	
2.4.4	定期検査等に関する情報	
2.4.5	ブレーキの交換に関する情報	
2.4.6	ディスクに発生する残留押付力に関する情報	
2.4.7	残留押付力による摩耗の発生	
2.4.8	摩耗粉の堆積	
3	分析	18
3.1	残留押付力の発生について	
3.2	残留押付力により発生する摩耗のメカニズム	
3.2.1	摩耗の現象比較	
3.2.2	パッドの材質との関係	
3.3	摩耗粉がブレーキ動作に与える影響	
3.3.1	摩耗粉の堆積による残留ギャップの発生	
3.3.2	ブレーキの引き摺りの発生への影響	
3.3.3	ブレーキのコイルモールド溶融	
3.3.4	ブレーキ保持力の低下	
3.4	ブレーキ保持力の低下に至るプロセス	
3.5	事故の通報について	

4	原因	…… 25
5	再発防止策	…… 26
5.1	東芝エレベータの再発防止策	
5.1.1	ディスク材質の非磁性体への変更	
5.1.2	ブレーキへの温度センサー取り付け	
5.1.3	保守点検時の管理徹底	
5.2	他型式の同構造ブレーキについて	
6	意見	…… 27

《参 考》

本報告書本文中に用いる用語の取扱いについて

本報告書の本文中における記述に用いる用語の使い方は、次のとおりとする。

- ① 断定できる場合
・・・「認められる」
- ② 断定できないが、ほぼ間違いない場合
・・・「推定される」
- ③ 可能性が高い場合
・・・「考えられる」
- ④ 可能性がある場合
・・・「可能性が考えられる」
・・・「可能性があると考えられる」

1 事故の概要

1. 1 事故の概要

発生日時：平成27年6月22日（月） 19時42分ごろ

発生場所：東京都豊島区 共同住宅

被害者：なし

概要：利用者2名が18階でかごから降りた後、無人となったかごが戸開したままの状態徐々に上昇し、約200mmを超えたところで乗場戸が閉じた。約7分運転を継続した後、かごが最上階（25階）を超えて突き上げ停止した。

1. 2 調査の概要

平成27年9月11日：製造者及び保守者である東芝エレベータ株式会社（以下「東芝エレベータ」という。）より当該事故の報告があり、その場で国土交通省職員によるヒアリングを実施

平成27年10月8日：昇降機等事故調査部会委員及び国土交通省職員による現地調査を実施

その他、昇降機等事故調査部会委員によるワーキングの開催、ワーキング委員、国土交通省職員による資料調査を実施。

2 事実情報

2. 1 建築物に関する情報

所在地：東京都豊島区

構造：RC造

階数：地上25階、地下1階

建物用途：共同住宅、事務所

確認済証交付年月日：平成15年10月29日

検査済証交付年月日：平成17年12月 2日

2. 2 エレベーターに関する情報

2.2.1 事故機の仕様等に関する情報

（1）事故機的主要仕様に関する情報

製造者：東芝エレベータ

製造型式：CV-150

用途：乗用

定格積載量・定員：600kg・9名
定格速度：105m/分
駆動方式：ロープ式（トラクション式）
制御方式：インバーター制御方式
操作方式：2台群乗合全自動方式
昇降行程：77.89m
停止階数：25箇所停止（1～25階）
出入口の大きさ：間口800mm×高さ2,100mm
出入口の戸：2枚戸片開き
かごの大きさ：間口1,050mm×奥行1,520mm
電動機定格容量：13kW
巻上機：ヘリカルギヤ・TMH40A型
巻上機ブレーキ：ディスク式・TMB40P1型
戸開走行保護装置：未設置
(2) 確認済証交付年月日：平成17年 4月27日
(3) 検査済証交付年月日：平成17年12月 2日

2.2.2 事故機の保守に関する情報

保守会社：東芝エレベータ
契約内容：フルメンテナンス契約
直近の定期検査実施日：平成26年10月22日（既存不適格）
直近の保守点検日：平成27年 4月16日（指摘事項なし）

2.3 事故発生時の状況等に関する情報

2.3.1 19時42分頃のエレベーターの状況（事故時の利用者から聴取）

- (1) 利用者（2名）は18階でかごから降りた。（他に利用者はなく、かご内は無人。）
- (2) 降りた後、かごが戸開したまま低速で上昇を始め、約200mmを超えたあたりで乗場戸が勢いよく閉じた。

2.3.2 19時52分頃のエレベーターの状況（東芝エレベータの社員が確認）

- (1) かごが最上階を450mm行き過ぎて突き上げていた。
- (2) 釣合おもりは緩衝器に突き下げていた。
- (3) ファイナルリミットスイッチが作動していた。
- (4) かご内は無人であった。

2.3.3 制御盤に残っていたエラー情報に基づく事故発生時のかごの動き

事故後に回収されたエラー情報をもとに、東芝エレベータがまとめた事故発生時のかごの動きは以下のとおりである。(図1)

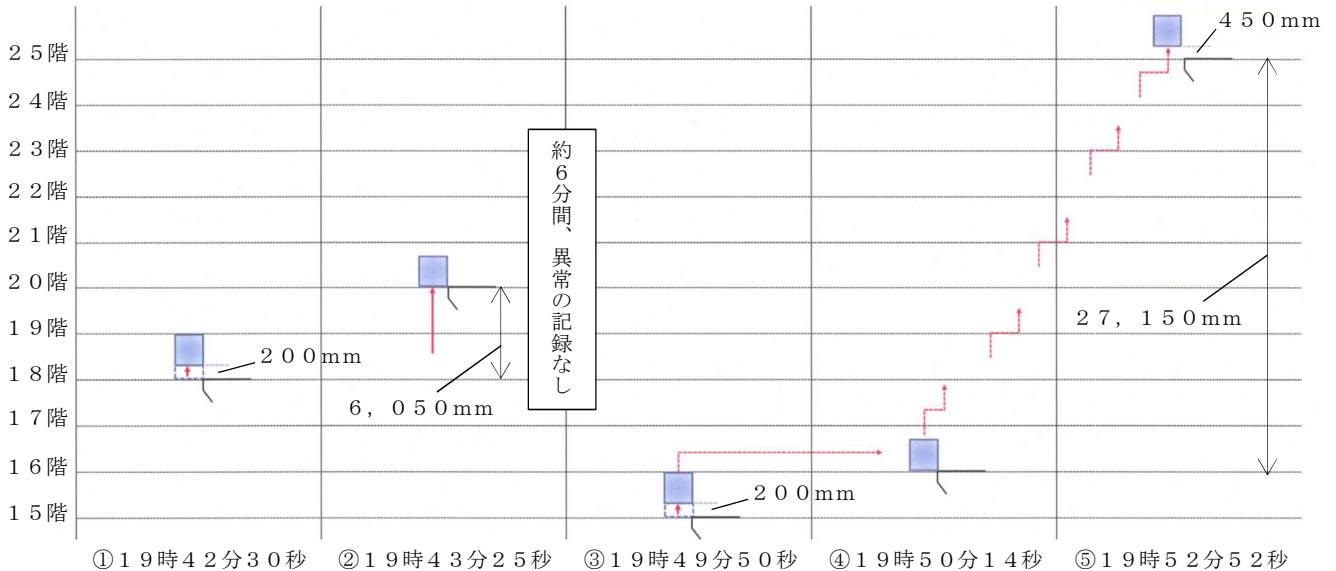


図1 制御盤内のエラー情報によるエレベーターの動き

① 19時42分30秒

18階で戸が開いたままの状態ですり上がりしたため、異常を検出して緊急停止した。

①～②の間

戸が閉まり低速で上昇した。(①→②の平均速度6.4m/分)

② 19時43分25秒

20階にかごが移動した。かご位置の異常を検出したが、自動補正して通常運転となった。

②～③の間

特に異常はなかった。

③ 19時49分50秒

15階で戸が開いたままの状態ですり上がりしたため、異常を検出して緊急停止した。

③～④の間

戸が閉まったことを検出し、再起動した。

④ 19時50分14秒

16階に移動し、かご位置の異常を検出した。

④～⑤の間

かごが上昇を続けた。(④→⑤の平均速度10.5m/分)

⑤ 19時52分52秒

25階（最上階）のファイナルリミットスイッチが作動し、そのまま25階の床上450mmで停止した。

（①以前に同様のエラー情報はなかった。）

なお、各異常モードの検出条件及び検出後の動作は表1のとおりである。

表1 異常モード（東芝エレベータの資料による）

異常モード	検出条件	検出後の動作
戸が開いたまま走行する異常	以下の3条件が重なった場合 ・戸開状態 ・かご位置が着床位置±200mmの範囲外 ・かご速度が7.5m/分以上	緊急停止後、検出条件の解除を確認して再起動し、最寄階まで移動して戸開。 (※)
かご位置の異常	かごの着床スイッチにて検出するかご位置と、調速機のパルス発生器で検出するかご位置との間に不整合（約200mm以上）があった場合	最寄階まで移動して戸開。 (※)

(※) 異常モードの検出が1時間に2回以内であれば、その後自動復旧。3回目を検出した場合は戸開後停止を継続。

2. 4 調査により得られた情報

2.4.1 事故機のブレーキに関する情報

事故機のブレーキ構造を図2に、ブレーキの動作機構を図3に、ブレーキ回路図を図4にそれぞれ示す。

当該ブレーキはディスク式（注）であり、電動機軸とカップリングを介して連結された軸（巻上機シャフト）の端部に設けられている。

ブレーキ作動時は、ばねによりアーマチュア（可動鉄心）がディスクパッドに押し付けられ、ブレーキ制動力を発生させる。ブレーキ開放時は、コイル吸引力によりアーマチュアがディスクパッドから引き離され、ディスクが回転可能となる。

また、ブレーキトルクはトルク調整ボルトの締め込み量（図3のX寸法）により調整される。すなわち、トルク調整ボルトを締め込みX寸法が小さくなるほどブレーキトルクも増大する。

（注）クラッチ式ともいうが、本報告書ではディスク式と呼ぶ。

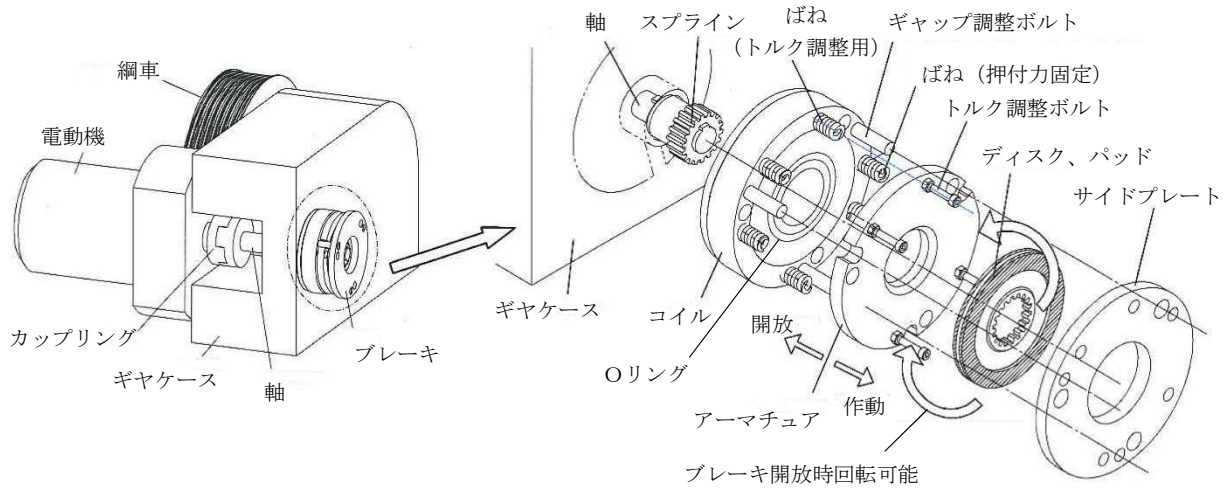


図2 ブレーキの構造

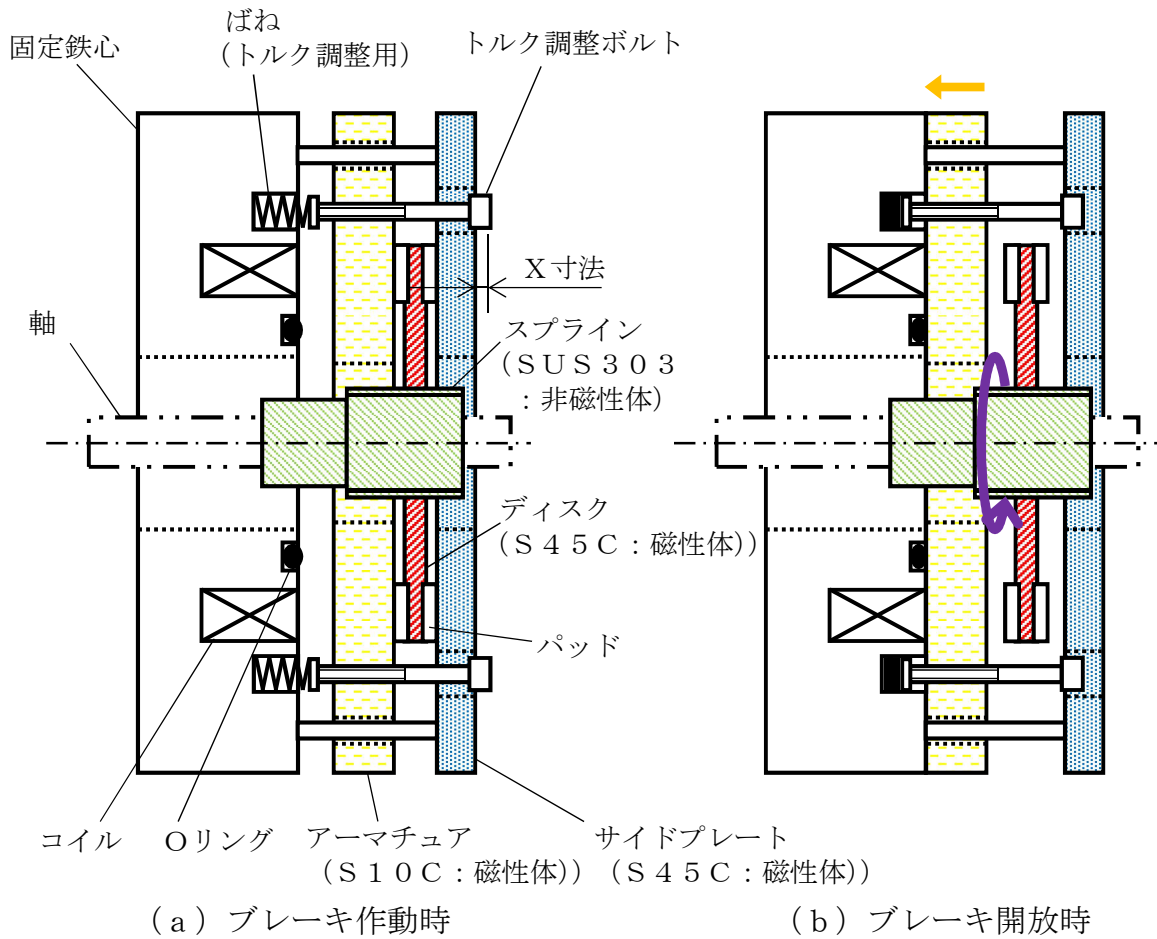


図3 ブレーキの動作機構

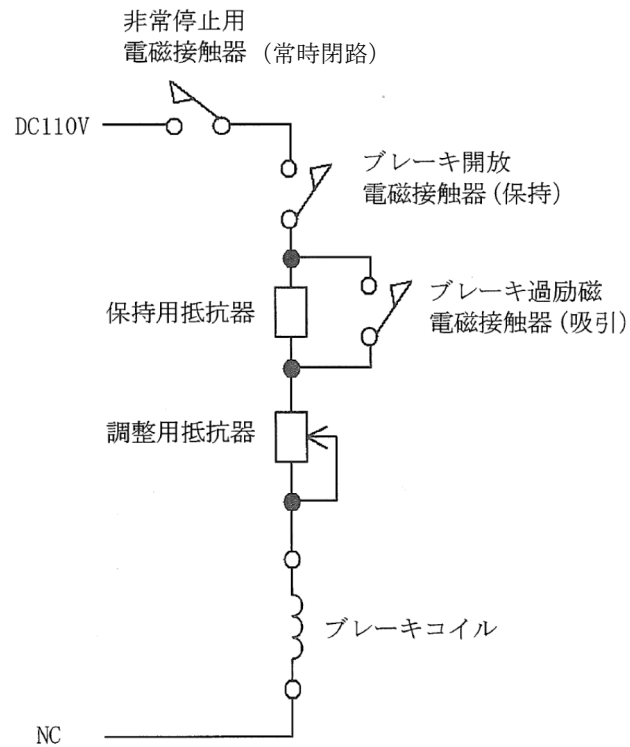


図4 ブレーキ回路図

2.4.2 事故直後の事故機の状況に関する情報

(1) ブレーキの状況

事故後に東芝エレベータにより現地にて行われた当該ブレーキの状態確認結果を表2に示す。

表2 事故後のブレーキ状態確認（現地）

項目	調査結果	基準値	判定
ブレーキの状態	発熱痕、摩耗粉あり (写真1、2参照)	外観に破損、異常がないこと	否
ブレーキ電圧	ブレーキ電源： 109.0V ブレーキ吸引時 コイル電圧： 73.2V ブレーキ保持時 コイル電圧： 40.1V	ブレーキ電源： 110V±10% ブレーキ吸引時 コイル電圧： 75V±10% ブレーキ保持時 コイル電圧： 41V±10%	良
ブレーキ コイル抵抗	12.7Ω	32.0Ω±5% (20℃)	否
ブレーキ回路 各抵抗	保持用抵抗器： 40.4Ω 調整用抵抗器： 14.7Ω	保持用抵抗器： 40.0Ω±5% (20℃) 調整用抵抗器： 14.8Ω±5% (20℃)	良
ブレーキ 回路内配線	端子部に緩みなし	端子部に緩みがないこと	良
ブレーキ 電磁接触器	接点に荒れなし	接点に荒れがないこと	良



写真1 事故後のブレーキの状態（発熱痕）

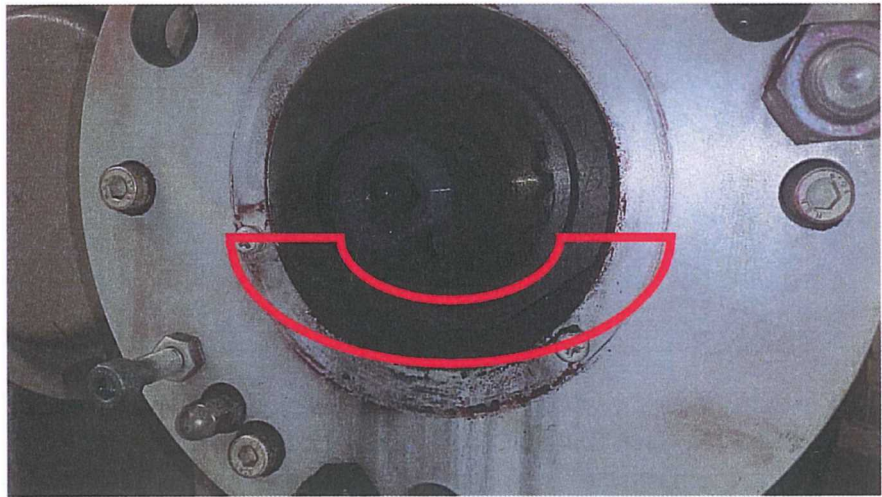


写真2 事故後のブレーキの状態（摩耗粉）

(2) ブレーキ以外の状況

ブレーキ以外の機器について、不具合は発生していなかった。

2.4.3 事故後に回収したブレーキの調査に関する情報

(1) ブレーキ単体調査

東芝エレベータが、事故機のブレーキを回収し、詳細の状況について調査を行った結果は、表3のとおりである。

表3 事故機のブレーキの調査結果

項目	調査結果	基準値	判定
ブレーキ コイル抵抗	12.73Ω	32.0Ω±5% (20℃)	否
絶縁抵抗	100MΩ以上 (測定器の最大値)	5MΩ以上 (500V)	良
トルク調整 ボルトX寸法 (図3参照)	2.90 ～3.35mm (4箇所範囲)	3.5mm以上	否
ディスクパッド 残存厚み (図5のL寸法)	13.21 ～13.69mm (※1)	15.6 ～17.5mm	否
ブレーキ保持力	20Nm以下(※2)	205.9 ～353.0Nm	否

(※1) 直近の定期検査（平成26年10月22日）では、17.4mmと報告されている。

(※2) トルク測定器の測定範囲下限以下

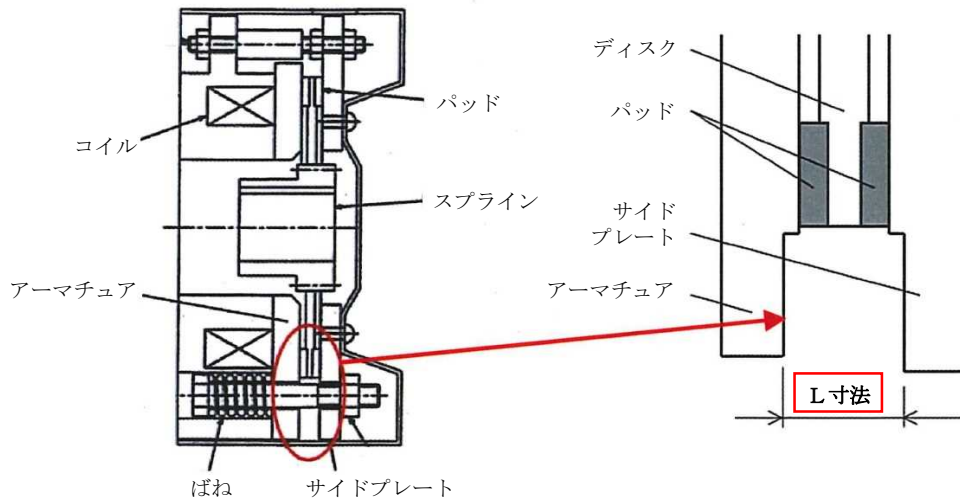


図5 ディスクパッド残存厚み測定箇所（L寸法）

この結果より、当該ブレーキは

- ・コイル抵抗値が基準の1/3程度であること
- ・トルク調整ボルトのX寸法（2.4.1参照）が基準よりも小さく、よって基準よりばねが圧縮されてばね力が強く設定された状態であること
- ・ディスクパッドが初期から約4mm摩耗した状態であること
- ・ブレーキ保持力がほぼ失われていたこと

が認められた。

(2) パッドの状況

①ディスクパッド一体品をブレーキから取り外し、パッドの厚さを測定した（写真3、表4）。

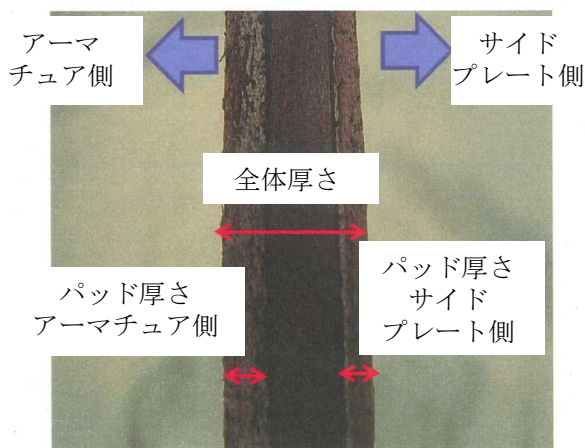
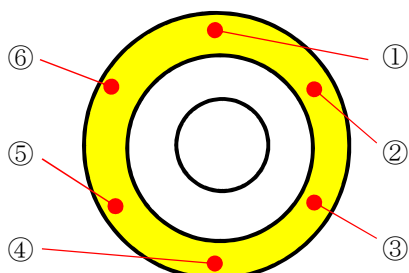


写真3 パッド厚さ測定

表4 パッド厚さ測定値

位置	全体厚さ (mm)	パッド厚さ (mm)	
		アーマチュア側	サイドプレート側
(初期)	14.0	4.0	4.0
①	10.75	2.77	1.86
②	10.71	2.78	1.81
③	10.71	2.79	1.80
④	10.72	2.78	1.82
⑤	10.74	2.79	1.83
⑥	10.71	2.81	1.83



サイドプレート側のパッド厚さが、アーマチュア側よりも約1 mm多く摩耗していることが認められた。

- ②ブレーキ作動時にパッドと接触するサイドプレート及びアーマチュアの状態を観察したところ、サイドプレートのパッドと接触する領域が摩耗しており（写真4（a）、（b））、その摩耗量（深さ）は平均0.18 mmであった。



(a) サイドプレート (b) サイドプレート (拡大)

写真4 事故機のサイドプレートの状態

- ③アーマチュアには、パッドと接触する領域に摺動痕はあるものの（写真5（a）、（b））、特に段差はなく、摩耗はほとんどなかった。

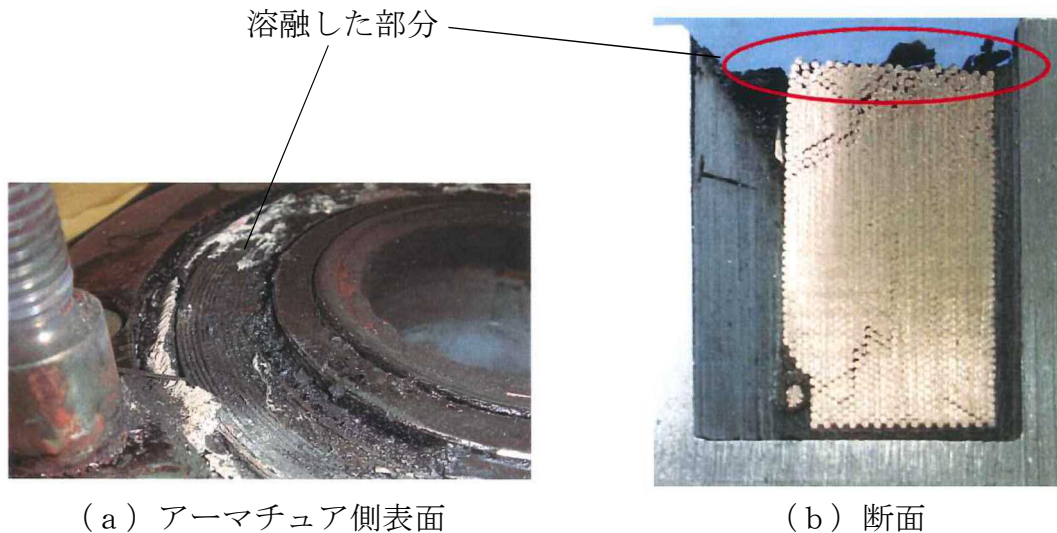


(a) アーマチュア (b) アーマチュア (拡大)

写真5 事故機のアーマチュアの状態

(3) ブレーキコイル調査

写真6のとおり、コイルケースを中央から切断し、コイルのモールド（樹脂成形）の溶融状況を確認した。



(a) アーマチュア側表面

(b) 断面

写真6 ブレーキコイルのモールドの状態

モールドの溶融はアーマチュア側表面のみに留まっており、コイル内部は異常がないことがわかった。

2.4.4 定期検査等に関する情報

(1) 事故機の定期検査等に関する情報

直近の定期検査（平成26年10月22日）において、ブレーキに関しては「油付着、取付、制動力、保持力、パッドの厚さ、パッドとディスクの接触状況、ブレーキ制動時のプランジャー及びブレーキコイルの発熱、構成機器の作動、摩耗粉、作動時の状況について、いずれも良好」であった。

また、直近の保守点検（平成27年4月16日）においても、ブレーキ（作動、パッドの摩耗、油漏れ）に関して「特に異常なし」であった。

(2) 事故後に行われた同型式のブレーキの点検

事故後、同型式のブレーキが適用されているエレベーター1,880台に対し、平成27年10月末までにブレーキの点検が実施され、このうち76台で東芝エレベータが設定した基準を超える量の摩耗粉が発生したことが確認された。

ただし、本点検において摩耗粉の量についての確認は行われたが、摩耗粉の質（色）については確認されなかった。

2.4.5 ブレーキの交換に関する情報

東芝エレベータへのヒアリングにより、事故機のブレーキ交換について以下の情報が得られた。

(1) 過去に発生した同型ブレーキの不具合事象と対策

平成23年6月に同型ブレーキを適用している他の物件において、ブレーキ開放状態の保持ができなくなり、パッドがアーマチュア及びサイドプレートに接触したままエレベーターが走行し、パッドが異常摩耗したことによりかごの突き上げが発生した。

その際に、東芝エレベータは、同型ブレーキのエレベーターについて以下の対策を実施した。

- ① ブレーキトルク調整時のトルク調整ボルトのX寸法を測定すること
- ② トルク調整ボルトのX寸法の管理基準を3.0mm以上から3.5mm以上へ変更すること
- ③ 上記①について、デジタルノギスにより測定すること

さらに、X寸法を3.5mmに設定した上で出荷することとしたが、当時パーツセンターに保管されていたブレーキ単体品については、その設定をしないままのものが残されていた。

(2) 事故機のブレーキ交換履歴

事故機では、以前ブレーキから軽微な異音があったため、平成25年4月にブレーキを交換した。その際、交換用としてパーツセンターから出庫されたブレーキについては、2.4.5(1)にて示した「X寸法が3.5mmに調整されていない状態」のものであった。

2.4.6 ディスクに発生する残留押付力に関する情報

2.4.3(2)から、アーマチュア側のパッドに比べてサイドプレート側の方が摩耗量が多かったため、サイドプレートとパッドとの摩擦状態について確認したところ、以下のことがわかった。

すなわち、ブレーキを開放するためにコイルに電流を加えると、通常は回転によりディスクは中立位置が保たれるが、周辺に磁場が発生し、磁性体であるディスクに、電流の大きさに応じて、サイドプレートの方向に押し付ける力が発生する場合がある。(以下、その力を「残留押付力」という。)(図6)

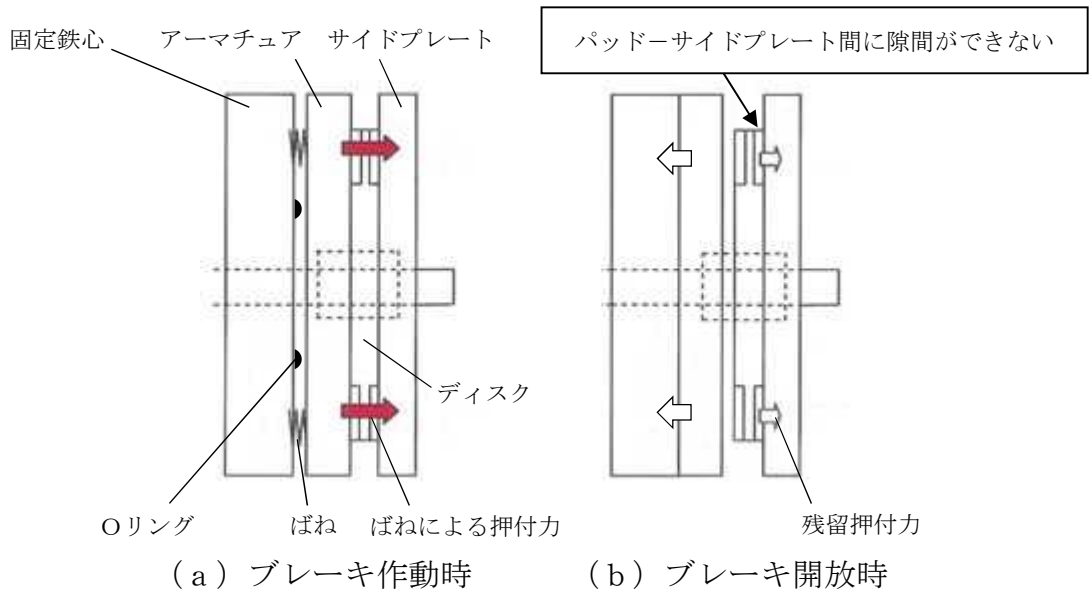


図6 残留押付力の発生

事故機に使用されたブレーキではない同型の3つのブレーキに対し、コイルに流れる電流と残留押付力との関係を測定した(写真7)。また、パッドがサイドプレートから離れる電流値の測定も実施した(写真8)。この2つの測定結果を図7に示す。



写真7 残留押付力の測定

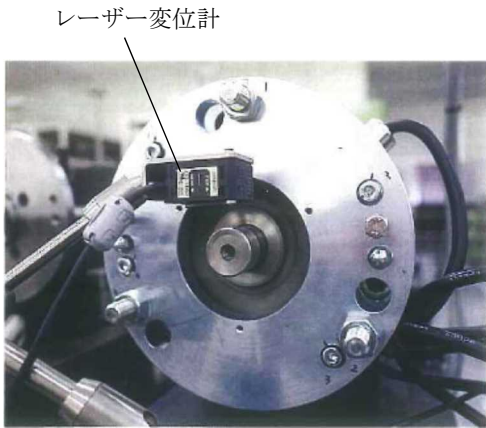


写真8 ディスク移動時の電流測定

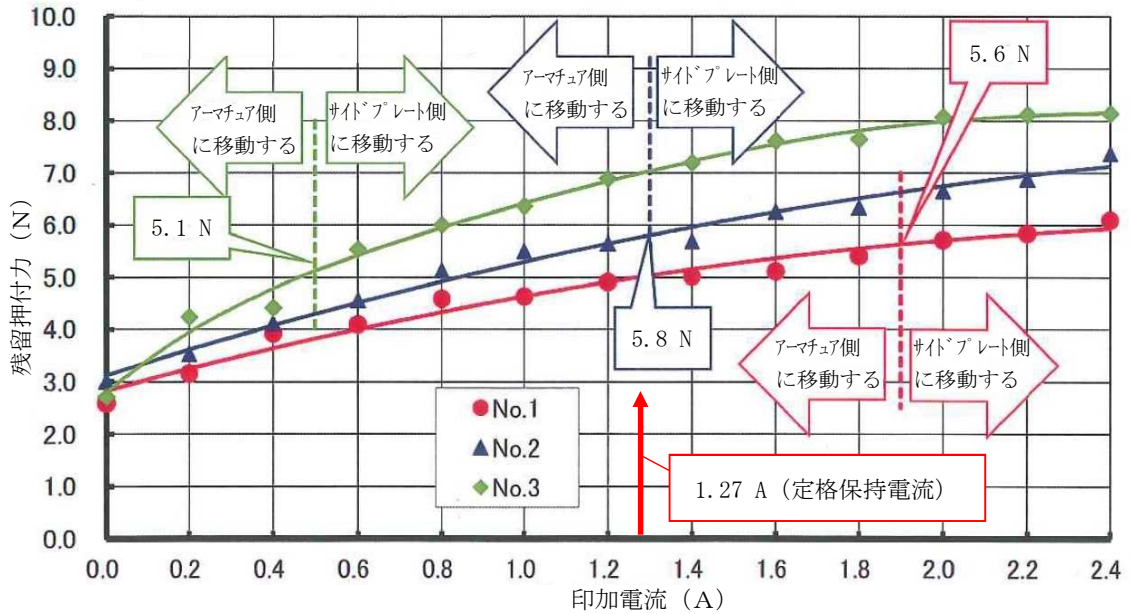


図7 残留押付力

図7から以下のことが認められる。

- 3つのブレーキとも、電流が増えるほど残留押付力も大きくなるが、その大きさにはばらつきがある。(例えば、定格保持電流(1.27 A)の場合、残留押付力は約5.0~7.0 N。)
- また、ディスクがサイドプレート側に移動するか、アーマチュア側に移動するかの境界の電流にはばらつきがある。このばらつきはパッドの厚みによるものと考えられる。(よって定格保持電流が印加された場合、サイドプレートから離れてアーマチュア側に移動するものと、サイドプレートへの接触を続けるものの両方が存在することになる。このサイドプレート側に移動するもののうち、残留押付力が比較的大きいものが、サイドプレートに接触を続けることとなる。)
- 上記の境界における残留押付力は5.1~5.8 Nである。

2.4.7 残留押付力による摩耗の発生

2.4.6で判明した約5~7 N程度の残留押付力により、パッドとサイドプレートの両方が削られるような摩耗が発生するかについて、以下のように確認した。

すなわち、図8に示すように、コイルによる残留押付力の代わりに、本試験用に取り付けた引きばねによりパッドをサイドプレートに押し付けた状態を作り、電動機により強制的にディスクを回転させることにより連続的に引き摺らせた。そして引きばねを交換することにより、10 N、50 N、100 Nの3つの押付力条件で、パッドとサイドプレートの摩耗量の試験を実施した。なお、比較のため、東芝エレベータの別のパッド材料を使用したブレーキTMB30Pについても試験を実施した。そして、稼働時間3.3ヶ月に相当する期間後の摩耗量の測定結果を図9に示す。

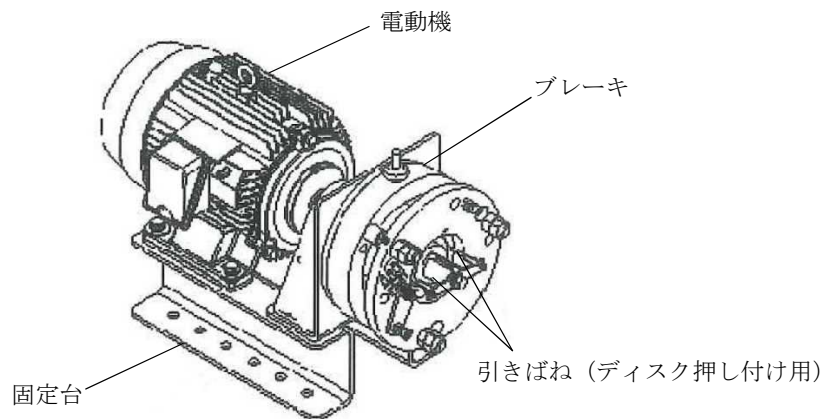
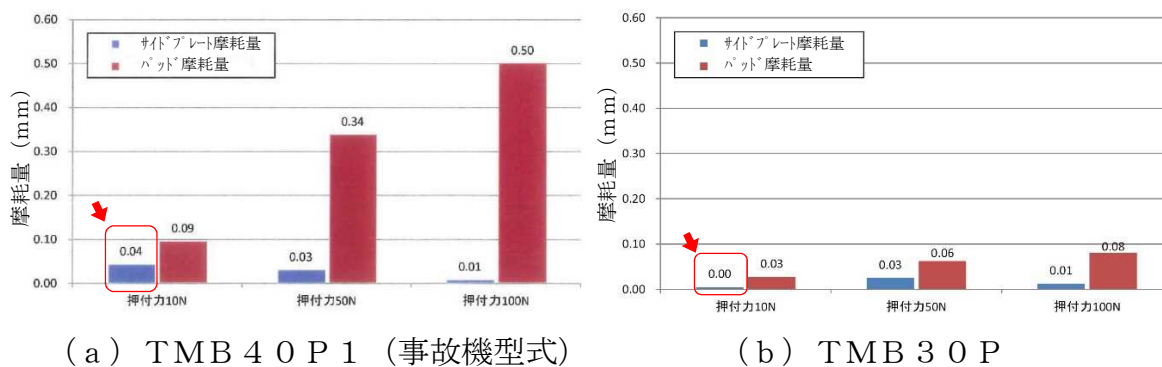


図8 押付力-摩耗量の関係の試験




(a) TMB 40P1 (事故機型式)

(b) TMB 30P

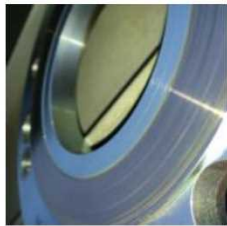


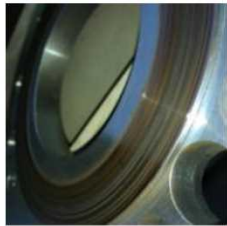


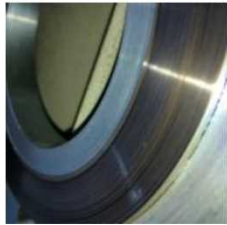

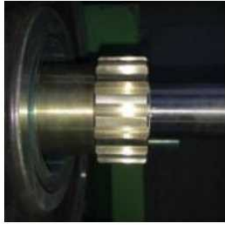
図9 押付力-摩耗量の関係

TMB 40P1 (事故機の型式) では、押付力が小さい方がサイドプレートの摩耗量が多くなるが、別のパッドを使用しているTMB 30Pでは押付力10Nではサイドプレートの摩耗がないことが認められた。

また、試験後のサイドプレート及びパッドの制動面、並びにスプライン (図2 参照) の状態を写真9に示す。

押付力 [N]	サイドプレート制動面	ディスク制動面		スプライン
10				
50				
100				

(a) TMB 4 0 P 1 (事故機型式)

押付力 [N]	サイドプレート制動面	ディスク制動面	スプライン
10			
50			
100			

(b) TMB 3 0 P

写真9 制動面及びスプライン表面の状態

写真9から、TMB 4 0 P 1 (事故機の型式) では押付力 1 0 N において、パッドの制動面にサイドプレートから発生した赤茶色の摩耗粉が付着しており、その摩耗粉がスプライン部にも付着していることが確認できた。

なお、ブレーキ製造者によると、TMB 4 0 P 1 のパッド材料は、高い摩擦係数（設計値：0.4）を得るため、TMB 3 0 P と比較し、

- ・ 摩耗率（単位仕事あたりの摩耗量）が大きい
- ・ 表面の凹凸が大きく、空孔率が高い（図 1 0 参照）
- ・ 成分に潤滑剤が少ないため、他のパッドと比較すると、いわゆるマイルド摩耗となるための転写膜が形成されにくい

といった特徴があるとのことである。

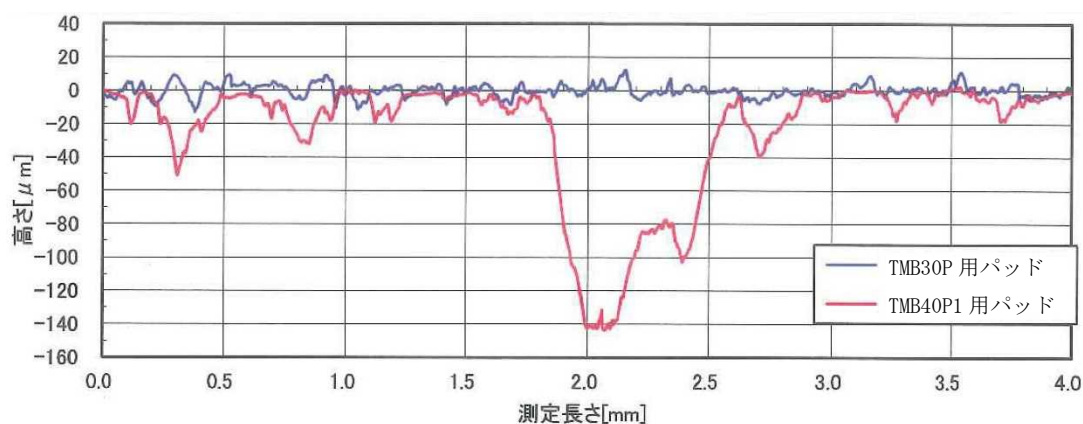


図 1 0 摩擦材の表面形状

2.4.8 摩耗粉の堆積

2.4.7 のとおり、TMB 4 0 P 1（事故機の型式）では10N程度の押付力の場合に、赤茶色の摩耗粉が発生することがわかったが、この摩耗粉は、写真2のようにブレーキから落ちてカバーに堆積する以外に、スプライン部（写真10）や、吸引時にアーマチュアとの接触音を軽減させるためにブレーキコイル部に取り付けられたOリング（図6参照）の周辺（写真11、12）にも堆積する。



写真 1 0 スプライン部の摩耗粉（押付力－摩耗量試験）

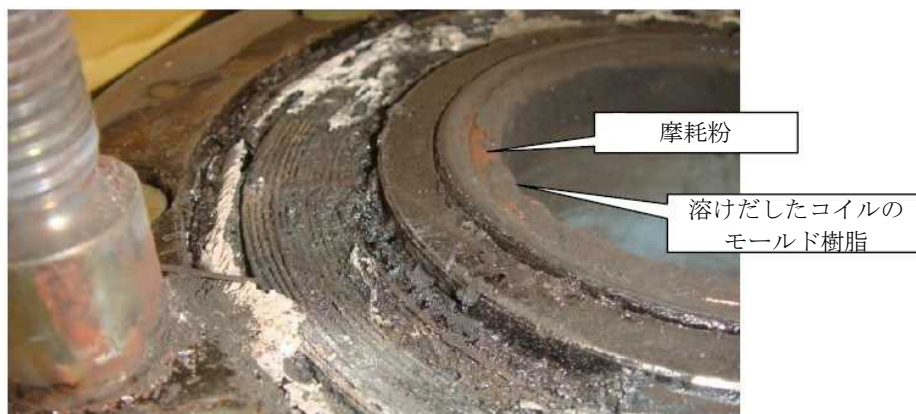


写真11 Oリング周辺部の摩耗粉（事故機のブレーキ）

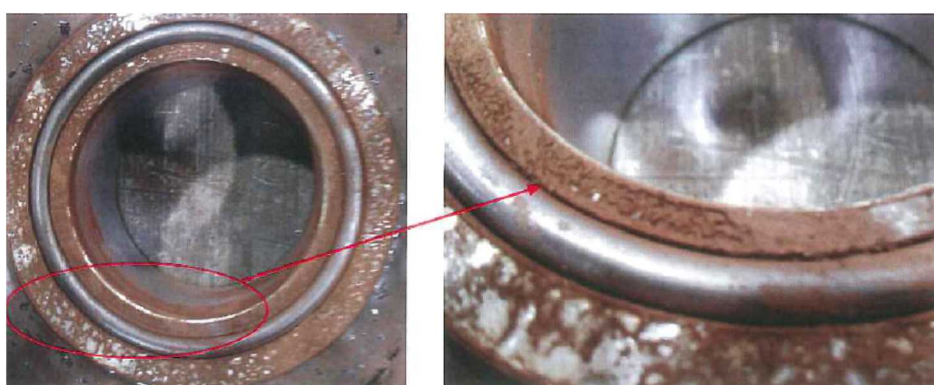


写真12 Oリング周辺部の摩耗粉（他物件のブレーキ）

3 分析

3.1 残留押付力の発生について

コイルに電流を加えた際に、TMB40P1（事故機の型式）及びTMB30P（2.4.7参照）の各ブレーキ機構内に発生すると考えられる磁束の流れを図11に示す。

TMB40P1（事故機の型式）では、巻上機に漏洩した磁束は、軸を通りディスクからサイドプレートを経由してコイルに抜けるものと考えられるが、スプラインが非磁性体のため、ディスクとスプラインの間には磁力が発生せず、ディスクにはサイドプレートに引き寄せられる磁力のみが作用するものと考えられる（図11（a））。

一方、TMB30Pのように磁性体のスプラインが用いられる場合には、ディスクとスプラインは直接接触していることから、磁束はディスクとスプラインの接触部に収束し、その間に強い磁気吸着力が発生する。このため、ディスクにサイドプレート方向の磁力が発生しても、この磁気吸着力による摺動抵抗が上回り、パッドの押し付けは発生しない（図11（b））。

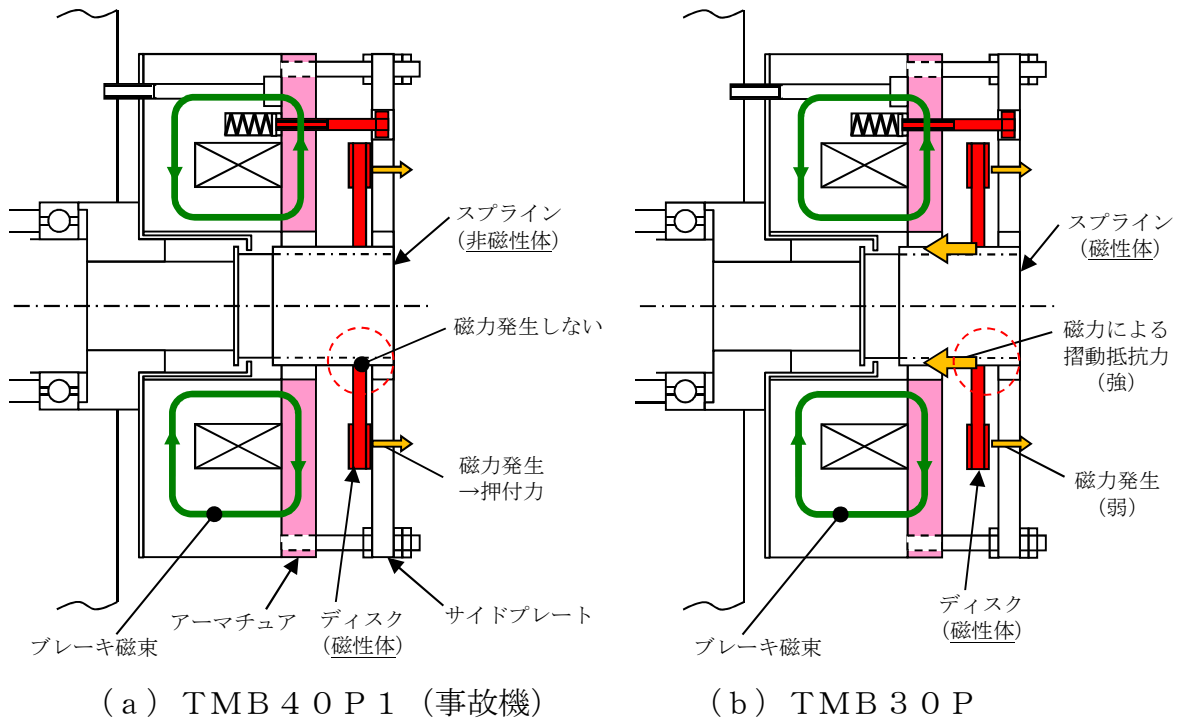


図 1.1 磁束の流れ

よって、ディスクに磁性体、スプラインに非磁性体の材料を適用することにより、コイルがアーマチュアを吸引してブレーキを開放しても、ディスクがサイドプレートに押し続けられる状態になると推定される。

3. 2 残留押付力により発生する摩耗のメカニズム

3.2.1 摩耗の現象比較

通常のブレーキ制動のような、ばねの力によりパッドがサイドプレートに押し付けられる場合の摩耗（以下「通常摩耗」という。）と、2.4.7で示した残留押付力のような小さい力で押し付けられる場合の摩耗（以下「空転摩耗」という。）について、推定される摩擦面の現象を表5に示す。

表5 通常摩耗と空転摩耗の現象比較（東芝エレベータの資料による）

	<通常摩耗品> マイルド摩耗	<空転摩耗品>		
		①シビアー摩耗	②摩耗粉介在による摩耗	③鉄の凝着摩耗
摩耗形態の 推移の推定	<p>パッド サイドプレート 転写膜</p>	<p>パッド サイドプレート</p>	<p>パッド Fe 摩擦材摩耗粉 サイドプレート</p>	<p>パッド Feが摩擦材に凝着 サイドプレート</p>
現象の推定	<p>制動仕事の発熱により、摩擦材成分は熱分解し均一に摩耗が進行。粒状・粉状となった摩擦材成分がサイドプレートの摩擦面に押し付けられ転写膜を形成する。摩耗粉は均一な細かい粒度となり、摩擦面より排出される。</p>	<p>残留押付力による仕事量の少ない連続した空転では発熱量が少ないため、摩擦材は熱分解に至らずに接触部分の凹凸部がせん断され、摩擦材そのものが粒状となり遊離する。</p>	<p>残留押付力による連続空転により、うまく排出されないまたは発生した摩耗粉の再侵入により転がり砥粒となった摩耗粉によりサイドプレートの摩擦面（鉄）が掘り起こされ摩耗粉として遊離する。</p>	<p>掘り起こされたサイドプレートの摩耗粉が摩擦材に取り込まれてしまい、同種成分間での繰返し摩擦（ともがね）となりサイドプレートが摩耗しつづける。</p>
摩耗粉の 色の推移	黒褐色	摩擦材独自の 色に近似	茶褐色 (正常摩耗では黒褐色に移行)	赤褐色
サイドプレート 摩擦面状態 の推移	正常な摩擦面状態	当たりがつき始める	転写膜の形成期	スジ状摩耗の形成

空転摩耗では、残留押付力によるほとんど制動仕事を行わない連続空転の継続により、サイドプレート由来の鉄成分の摩耗粉がパッド（摩擦材）に取り込まれるなどして、同種成分間の繰返し摩擦となり、サイドプレートの摩耗が進行し、摩耗粉が発生したものと推定される。

3.2.2 パッドの材質との関係

2.4.7 に示したとおり、事故機においてはパッドの摩擦係数が比較的高く（0.4）、摩耗率の高い材料が使われており、また凹凸の大きい材質であり、さらに潤滑剤成分が少なく、いわゆるマイルド摩耗となるための転写膜が形成されにくくなることで、このような摩耗を引き起こした可能性が考えられる。

なお、比較のため同一のブレーキ製造者から購入している別のパッド材料でも同様に押付力と摩耗量の関係の試験を実施したが、10Nの弱い力ではサイドプレートの摩耗は発生しなかった。

東芝エレベータによれば、当該別のパッド材料は、残留押付力があってもサイドプレートからの摩耗粉は現れず、実際に、このパッド材料と非磁性体のスプラインとを組み合わせたブレーキを1型式適用しているが、このブレーキでは事故機のような摩耗は発生しないとのことである。

3.3 摩耗粉がブレーキ動作に与える影響

2.4.8 から、摩耗粉がブレーキの他の箇所に堆積することがわかったが、この堆積した摩耗粉がブレーキ動作に与える影響について検討した。

3.3.1 摩耗粉の堆積による残留ギャップの発生

2.4.8 から、残留押付力によるサイドプレートとパッド間の摩擦により発生した摩耗粉はスプライン部及びOリング周辺部に堆積するが、このうち、Oリング周辺部に摩耗粉が堆積することにより、ブレーキ開放時にアーマチュアがコイルに吸引される際に、アーマチュアと固定鉄心との間に隙間（以下「残留ギャップ」という。）が発生する（図12）。

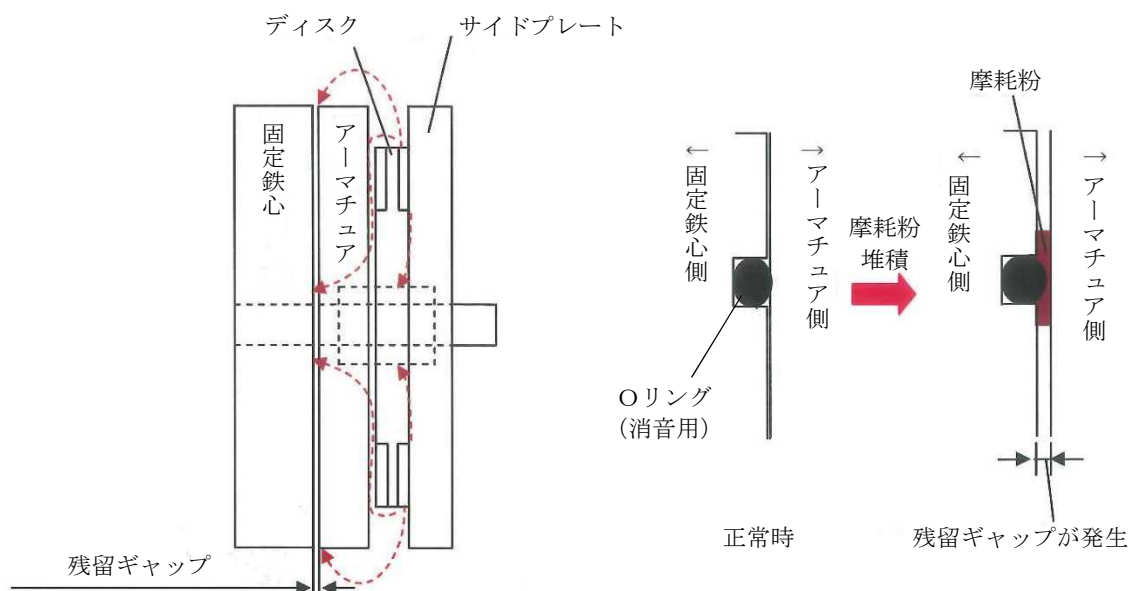


図12 摩耗粉による残留ギャップの発生

3.3.2 ブレーキの引き摺りの発生への影響

残留ギャップが大きくなるとアーマチュア吸引保持時の固定鉄心とアーマチュアの距離が大きくなるため、コイルに電圧が加わった際にアーマチュアを吸引保持する力が低下する。このため、吸引時の電圧（73.2V：表2参照）では吸引できていたが、その後保持時の電圧（40.1V：表2参照）に移行した際に、ブレーキ開放状態を保持できなくなることが考えられる。

そこで、本ブレーキについて、残留ギャップ及びトルク調整ボルトのX寸法をパラメータとして、アーマチュアが吸引できなくなる（すなわちブレーキが閉となる）電圧を測定した。残留ギャップを設けるために、図13に示すようにOリングの近傍にシムを挿入した。（当該箇所には0.18mmのアンダーカットがあるため、残留ギャップの量はシムの厚さから0.18mmを減じた値となる。）

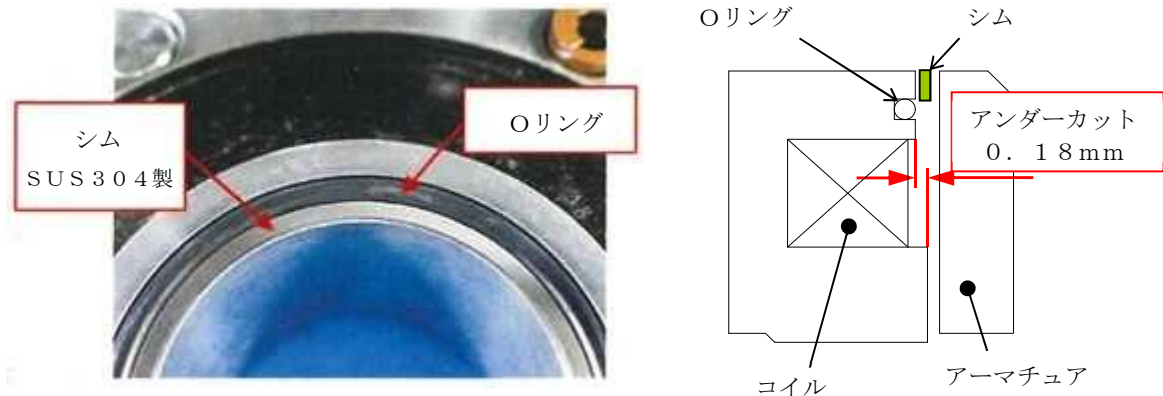


図 1 3 残留ギャップ

図 1 4 に測定結果を示す。図 1 4 から、X 寸法が小さい、すなわちトルク調整ボルトが強めに設定されているほどブレーキが閉となるシム厚さが小さくなり、例えば X 寸法が 3.0 mm に設定されている場合、0.14 mm 以上の残留ギャップが発生すると、ブレーキが開放状態を保持できず、引き摺りが発生すると推定される。

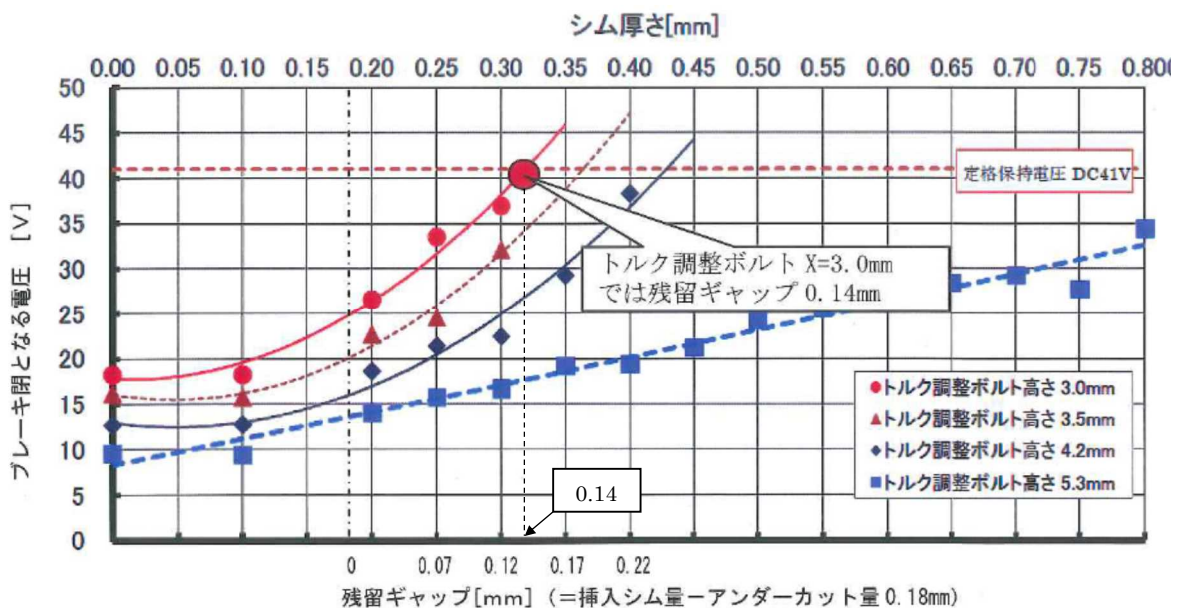


図 1 4 残留ギャップとブレーキ閉となる電圧の関係

事故機の場合、X 寸法が基準値よりも小さく設定されていたことが、早期の引き摺りを発生させたと推定される。

3.3.3 ブレーキのコイルモールド溶融

3.3.2 のようにアーマチュアが吸引状態を保持できない場合、その状態でエレベーターが運転されると、いわゆる「ブレーキ引き摺り運転」となる。これにより、パッドの摩耗が進行し、またコイルはアーマチュア側の輻射熱を受けて高温となりモールドが溶融したと考えられる。

このためコイルが短絡して抵抗が約 1 / 3 に低下することにより吸引力も低下し、引き摺り時にアーマチュアがパッドを押す力が増えたと考えられる。

3.3.4 ブレーキ保持力の低下

パッドが初期から約 4 mm 摩耗 (2.4.3 (1) 参照) してそのばねのストロークが増した場合、アーマチュアがパッドを押す力は初期の約 15% となるのである。

このばね力の低下に加え、ブレーキ引き摺り運転により引き摺られた面が高温となり、パッドの制動面が炭化する (写真 13)。これにより、パッドとサイドプレート及びアーマチュア間の摩擦係数が低下する。

以上から、ブレーキ保持力が低下し (20 Nm 以下 : 表 3 参照)、最終的にかごを静止保持できなくなった (事故機はかご内無負荷の場合、かご位置を保持するためには 42.3 Nm 以上必要) ものと考えられる。



写真 13 ブレーキのパッド制動面 (事故機)

3.4 ブレーキ保持力の低下に至るプロセス

以上の分析から、残留押付力の発生からブレーキ保持力低下に至るまでには、図 15 に示すプロセスとなると推定される。

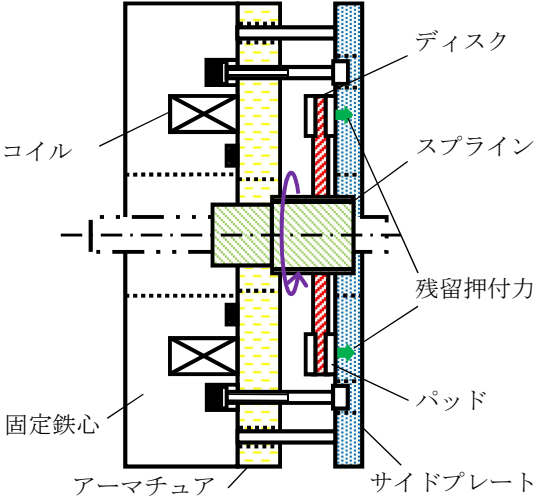
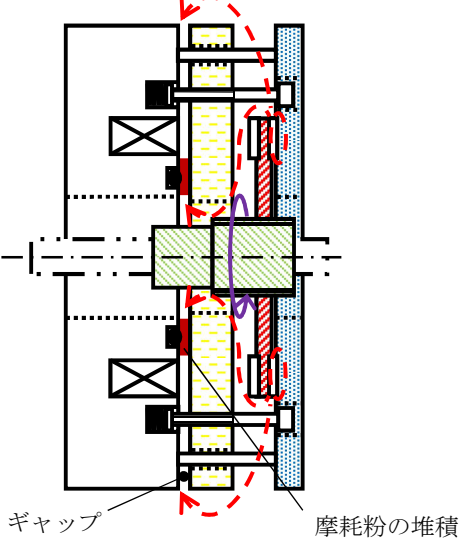
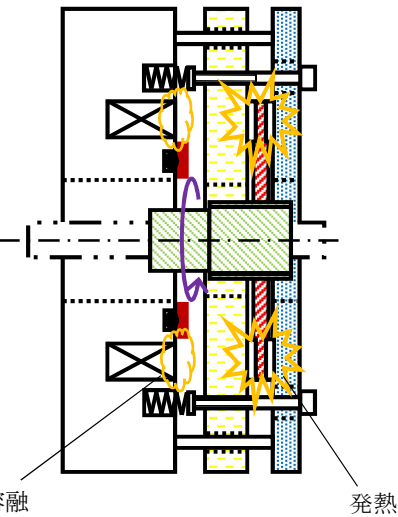
<p>① 磁界によるディスクのサイドプレートへの押付力の発生</p> 	<p>①-1 ブレーキ開放のためコイルに電圧が加わりアーマチュアがパッドから離れる。</p> <p>①-2 コイルから発生する磁界により、磁性体であるディスクに押付力が作用してサイドプレートに引っ張られる</p> <p>①-3 一方、スプライン（非磁性体）とディスクの間には吸引力が働かず、パッドがサイドプレートに押し付けられたまま回転する。（スプラインが磁性体の場合は、磁束がスプラインに収束するため、押付力は弱くなる。）</p>
<p>② サイドプレートの摩耗</p> 	<p>②-1 パッドとサイドプレートとの空転摩耗が発生する。</p> <p>②-2 凹凸が大きいというパッドの材料特性によって、初期の摩耗で生じたサイドプレートの摩耗粉がパッドの表面に入り込むことで同種成分間の摩耗となってサイドプレートの摩耗がさらに進行し、その摩耗粉がアーマチュアと固定鉄心との間のリング付近に堆積する。</p> <p>②-3 オリング付近に堆積した摩耗粉により、コイルに電圧が加わりアーマチュアが固定鉄心側に引き寄せられてもギャップが発生する。</p>
<p>③ 引き摺りの発生</p> 	<p>③-1 残留ギャップが一定の厚さを超えると、保持電流となったときにコイルがアーマチュアを保持できなくなり、アーマチュアがパッドを押したまま運転する（ブレーキ引き摺り運転）。</p> <p>③-2 引き摺り運転により、パッドの摩耗が進行し、またコイルはアーマチュア側の輻射熱を受けて高温となりモールドが溶融する。</p> <p>③-3 パッドの摩耗により、ばねのストロークが長くなる分押付力が減少し、また摩擦係数が低下することによりブレーキ保持力が低下する。</p>

図 1 5 ブレーキ保持力の低下に至るプロセス

3. 5 事故の通報について

事故発生後、東芝エレベータは制御盤からの異常信号を受信し、また、利用者からの連絡を受け、現地において本件事故の発生を把握している。

その後、関係機関への事故発生報告について所有者（管理組合）の了解を得る手続きが行われた後、約3か月後の平成27年9月11日に一般社団法人日本エレベーター協会（以下「日本エレベーター協会」という。）に報告するとともに、特定行政庁（東京都）及び国土交通省に報告を行っている。

日本エレベーター協会においては、内部ルールで、このような事故が発生した際には所有者の承諾を得て報告をすること、またその報告は原則として事故発生から10日以内に行うこととされている。

事故調査は再発防止の観点から行われるもので、事故発生直後の調査が重要であり、本件事故の場合、人身事故ではないが、戸開走行や、低速とはいえ突き上げが発生しており、このような場合も事故発生の報告が速やかに行われることが望ましいと考えられる。

4 原因

かごが戸開したまま上昇したり、最上階を超えて突き上げたりしたのは、巻上機のブレーキがパッドの摩耗により制動ばね力が低下し、かごを保持できなくなったためと認められる。

パッドが摩耗したのは、サイドプレートからの摩耗粉によってアーマチュアと固定鉄心との間の隙間が大きくなって吸引力が低下し、ブレーキが開放できずに引き摺り状態となったためと考えられる。

サイドプレートからの摩擦粉が発生したのは、

- ・ディスクの材料が磁性体であったが、軸との間の部材に非磁性体を用いたため、ディスクと軸との間の部材の間には磁力が発生せず、ディスクにはサイドプレートに引き寄せられる磁力のみが作用したため
- ・パッドの材質が凹凸が大きい等の特性により、サイドプレートの鉄粉が表面に固着し、同種金属の摺動のようになってサイドプレートの摩耗が継続的に進行したため

と推定される。

5 再発防止策

5. 1 東芝エレベータの再発防止策

5.1.1 ディスク材質の非磁性体への変更

同型式及び類似型式（スプラインが非磁性体でかつパッドの材質が事故機と同一）のブレーキが適用されているエレベーター1, 890台を対象に、今後、ブレーキを非磁性体のディスクのものに交換することとしている。

5.1.2 ブレーキへの温度センサー取り付け

当面、上記のエレベーターのうち、ブレーキスイッチ（アーマチュアの位置を検知し、固定鉄心側に保持されていない場合は電動機の運転をさせないよう構成することにより引き摺り運転を防止）が設置されているものを除く1, 563台に対し、平成28年11月末までに温度センサーを取り付け、異常な温度上昇を検出した場合にエレベーターを停止させることとしており、平成28年10月6日現在、99.9%完了している。

5.1.3 保守点検時の管理徹底

(1) 摩耗粉発生の判定基準の見直し

摩耗粉について、従来は発生量のみにより、分解手入れ又は交換の実施基準を定めていたが、今後は摩耗粉の質（色）を判定対象に加え、空転摩耗の初期段階で分解手入れ又は交換を実施することとした。

(2) トルク調整ボルトX寸法測定方法の周知

保守及び整備技術員に対し、ブレーキ交換手順の再教育を実施した。

(3) パーツセンターに保管されている単体ブレーキのX寸法設定

パーツセンターに保管されている単体ブレーキ（17個）に対して、X寸法の調整を実施した。

(4) ブレーキ交換時及び定期点検時のX寸法記録

従来、ブレーキ交換時及び定期点検（年1回）においてはX寸法の記録を残すこととしていなかったが、今後は記録に残すこととした。

5. 2 他型式の同構造ブレーキについて

事故機と同じような構造のディスク式ブレーキについて、各ブレーキ製造者に照会したところ、9社において現在又は過去にディスクに磁性体の材料を使用したブレーキを製造・出荷していることが判明した。ただし、これらの磁性体ディスクのブレーキのうち、スプラインに非磁性体の材料を使用しているものは、東芝エレベーター

タ（事故機と同型式及び類似型式、並びに 3.2.2 で説明した 1 型式（パッド材質が事故機と異なるもの））以外にはなかった。

また、事故機型式以外では、今回の事故と同じような不具合（サイドプレートから発生した摩耗粉がコイルとアーマチュアとの間に堆積し、ブレーキ引き摺りとなる事象）は、いずれの型式でも発生していないとのことであった。

6 意見

国土交通省は、エレベーターの製造業者に対し、ディスク式（クラッチ式）ブレーキについて、ディスク材料に磁性体を用いる場合は、軸との間の部材に非磁性体を用いるとディスクがサイドプレートに押し付けられることがあり、パッドの材質によってはサイドプレートの摩耗を引き起こすことについて、設計段階にて十分留意するよう周知すること。

国土交通省は、ディスク材料に磁性体を用いたディスク式（クラッチ式）ブレーキについては、定期検査及び保守点検時に、パッド以外の摩耗粉の飛散・堆積有無について点検されるよう、定期検査の判定基準について明確化すること。

国土交通省は、エレベーターの戸開走行運転、突き上げ・突き下げ、重大な部位の損傷などの事象が発生したときは、人身事故にあたらなくても、特定行政庁への報告ができるだけ速やかに行われるよう所有者、管理者に周知するとともに、製造業者、保守業者に協力を促すこと。