

**シティハイツ竹芝エレベーター事故調査のための
追加実験結果分析報告書**

平成20年7月

田中宏技術士事務所

技術士(機械部門、文部科学省登録 19477)

田中 宏

平成 20 年 7 月

港区殿

田中宏技術士事務所代表
技術士(機械部門) 田中 宏

シティハイツ竹芝エレベーター事故調査のための 追加実験結果分析報告書

まえがき

本報告書は「シティハイツ竹芝事故調査に係る 4 号エレベーター追加実験結果分析委託」(20 港契約第 0100247 号)に基づいて作成しました。

本報告書においては、「シティハイツ竹芝事故調査に係る第 4 号機エレベーター実験(追加)委託」(19 港契約第 0100627 号)に基づいて作成された追加実験結果及び本実験の結果(「本実験」とは追加実験の前に港区がタクラム社に委託して実施した実験を言います。以下同じ。)を使用します。

なお、委託の業務内容では、「平成 18 年 6 月 3 日に発生したシティハイツ竹芝エレベーター事故に関して」とありますが、今回の実験に使用したのは事故機に隣接する 4 号機であり、しかも事故機のブレーキ関連部品などは警察に押収されており、代替品を使用して行われた実験結果からの推定となることを予めお断りします。

本報告書の目次は次の通りです。

目 次

第 1	港区の委託業務内容 (20 港契約第 0100247 号)	2
第 2	追加実験結果と分析	4
1	ブレーキライニングの摩耗特性について	4
2	エレベーター負荷特性試験	18
3	巻き上げ機モーターの過負荷に対する制御系の実験	19
4	開扉時のかごの挙動	25
5	ブレーキ装置のアクチュエータのせり	27
6	開扉時のノイズの制御系への影響	30
7	検証結果と提言	32

添付資料

第1 港区の委託業務内容（20 港契約第 0100247 号）

委託業務内容は次の通りである。

「平成18年6月3日に発生したシティハイツ竹芝エレベーター事故に関して、平成19年9月から10月にかけてシティハイツ竹芝の事故機に隣接する第4号機エレベーターを使用して委託により行った追加実験（『シティハイツ竹芝エレベーター事故調査に係る第4号機エレベーター実験（追加）委託（19 港契約第 0100627 号）』）から導き出されたデータ、成果物等を用いて、専門的な見地から分析を行い、分析結果から報告書を取りまとめるものとする。」

したがって、本報告書は追加実験結果に本実験の結果を加え、それらに対する分析を主とするものである。

分析に当り、参考までにタクラム社の報告書の FTA の項の番号を付し、タクラム社の報告書との整合性をとった。

第4号機のエレベーターの所在地及び仕様等は次の通りである。

所在地：東京都港区芝1丁目8番23号「シティハイツ竹芝」

実験機：住宅棟用第4号機エレベーター（事故が発生した第5号機と同じ機械室内に設置されており、従来から不具合が多発していた。）

製造会社：シンドラーエレベーター株式会社

設置年月：1998年4月

エレベーター仕様：

用途：人貨用（兼、非常用）

最大積載量：1850kg（定員28名）

最大速度：105m/min

停止階：25階床(B2,B1,1～23階)

扉：中央開き（間口1000mm、高さ2100mm）

ローピング：2：1（ワイヤロープ φ14×8本）

実験期間：平成19年6月21日～同年10月5日まで。追加実験はこの間の9月10日～10月5日まで。

実験のために準備されたブレーキ部品：13E型ブレーキコイルユニット

ブレーキライニング：新品5セット、既存品1セット、中古品2セット

追加実験の内容とタクラム社報告書内の FTA との関係

ブレーキライニングの摩耗特性について（タクラム社 FTA08-1 に相当）

エレベーター負荷特性試験（タクラム社 FTA に該当項目なし）

インバータの過電流実験（タクラム社 FTA に該当項目なし）

巻き上げ機モーターの過負荷に対する制御系の実験（タクラム社 FTA に該当項目なし）

開扉時のかごの挙動（タクラム社 FTA に該当項目なし）

ブレーキ装置のアクチュエータのせり（タクラム社 FTA に該当項目なし）

開扉時のノイズの制御系への影響（タクラム社 FTA03-1 に相当）

第2 追加実験結果と分析

追加実験結果に必要な応じて本実験の結果を加えて以下の6項目について分析を行う。

- 1 ブレーキライニングの摩耗特性
- 2 エレベーター負荷特性試験
- 3 巻き上げ機モーターの過負荷に対する制御系の実験
- 4 開扉時のかごの挙動
- 5 ブレーキ装置のアクチュエータのせり
- 6 開扉時のノイズの制御系への影響

1 ブレーキライニングの摩耗特性について(タクラム社 FTA08-1 に相当)

本実験では新品のブレーキライニングを使用して摩耗実験を行ったが、追加実験では事故機と同じ時期に製作されたブレーキライニング等を使用して摩耗実験を行った。この報告書では二つの実験の結果をあわせて摩耗特性を分析する。

1-1 摩耗特性の概要

(1) ブレーキ力を喪失するまでのプロセス

エレベーターが停止したとき、電磁コイルへの通電が遮断されることにより、電磁力が無くなり、ライニングがばねによりドラムに押し付けられる。

乗客がかごの中で行き先階のボタンを押した後は、コンピュータに設定されたプログラムにより自動的に運転操作が進行していく。

ドアが閉まり、モーターに通電すると同時に、電磁コイルにも通電して電磁力でブレーキアームを拡張、ライニングがドラムに作用するブレーキ力を開放し、かごは動き出す。

もしも、電磁コイルが短絡していれば、通電したとき電磁力が弱く、ばねによって完全にブレーキアームを開放し切れずに、ライニングがばねによりドラムに押し付けられ、摩擦が発生し、ライニングは摩耗する。

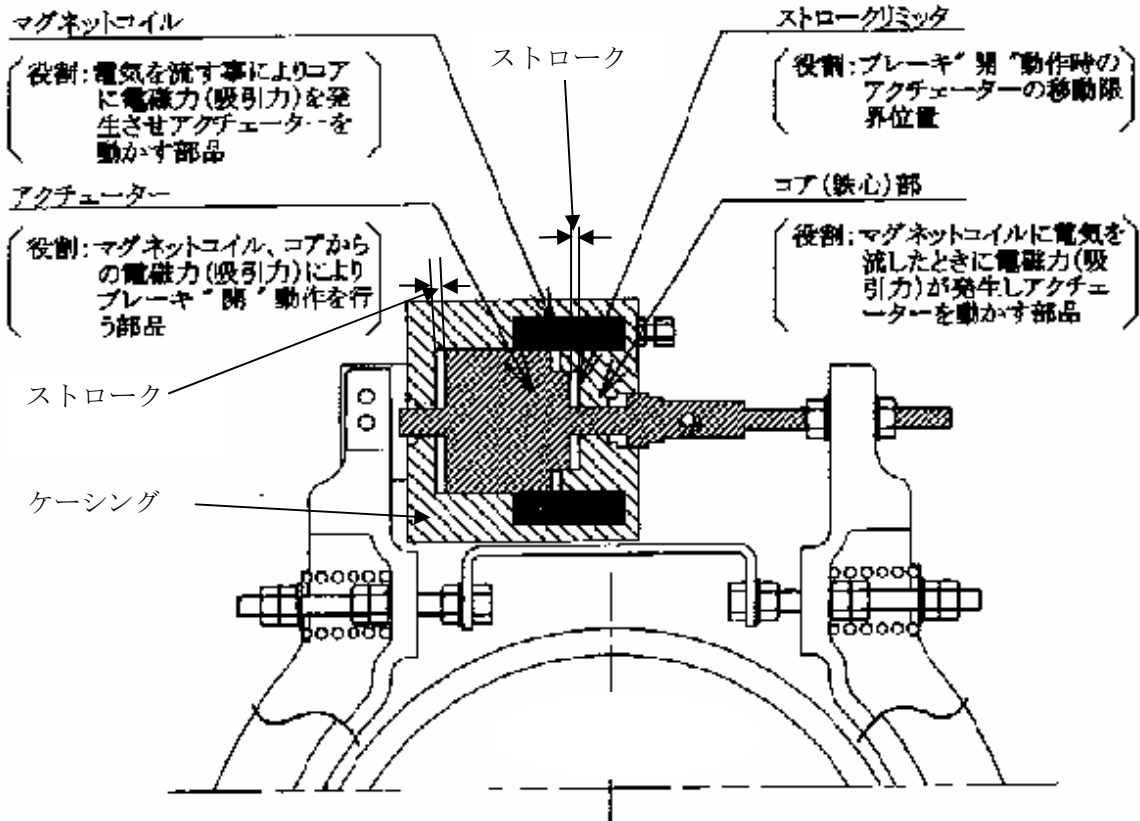
摩擦によりドラムとライニングは発熱し、金属製のドラムが熱膨張を起すために、押し付け力がさらに大きくなることが推測できる。

制御器のプログラムによって、かごが指定の階に近づき信号を受けて減速し、停止し、扉を開く。

このとき、ライニングの摩耗がかなり進み、摩耗量がある値に達していると、プログラムによりかごの停止時にコイルの電流を切ったとき、次頁の図1に示すように、アクチュエータがケーシングに当たってそれ以上進まず、アクチュエータの軸と機械的に接続しているアームはこれ以上前に進めないため、ばねによるブレーキ力が効かず、ドラムが滑走する。

このために、かごは停止維持できずにドアが開いた状態で動き出す。

図 1 ブレーキコイルユニット部分の説明図



注) 図1はブレーキコイルユニットの断面図である。

- ・ ブレーキユニットは左と右のブレーキアームにボルトで取り付けられている。
- ・ ブレーキユニットは鉄製のケーシングの中にエナメル線を巻いたマグネットコイルを装着している。
- ・ ケーシングの中に円柱形の鉄製のアクチュエータが収められている。
- ・ このコイルに通電すると、コア（鉄心）部に磁界が出来てブレーキアームのばね力に抗してアクチュエータを右側に吸引し、ブレーキが開放される。
- ・ コイルの電流がカットされると、ばね力でアクチュエータは左側へ動かされ、ブレーキがかかる。
- ・ アクチュエータの移動範囲はケーシングとの間の隙間だけであり、図1のストロークがこれに相当する。

(2) ブレーキライニングについての知見

ブレーキライニングについての知見を若干述べることにする。

一般に摩擦力を利用しているブレーキでは、円盤（ディスク）を押さえる部材をパッドと言ひ、円筒（ドラム）や車輪を押さえる部材をライニングと言う。

鉄道、自動車、エレベーターなどで使用されているブレーキライニングは、ブレーキをかけている間の走行距離当りの摩耗量を出来るだけ少なくして長持ちさせ、摩擦

係数は適度な値を確保できるように研究されてきた。

歴史的には、木材や鋳鉄などであったが、最近は合成摩擦材が広く使用されている。合成摩擦材は鋳鉄材などと比べて摩耗量が少ない長所を有するが、一方、相手材がつるつるに滑面化して摩擦係数が低下する短所があると言われている。

合成摩擦材の組成としては、結合材として樹脂が、摩擦速度の調整材として鉄粉が、潤滑・摩耗材として黒鉛が、強度保持として石綿が使用されている。製造メーカーによって、これらの配合割合は大体ある傾向を有しているが、特に練り固め成型方法は各社のノウハウであり、秘密を堅持している。

また、合成摩擦材のブレーキライニングは、同一社の製品についても、製作時期によって配合や練り固め成型方法（練り固め時の温度、硬さなど）が異なっているので、ブレーキ特性としての走行距離当たりの摩耗量も異なってくる。

エレベーターのブレーキライニングの使用目的は、元来、電氣的にモーターを停止した後のかごの停止保持をすることであり、いわゆる自動車のパーキングブレーキとしての役割である。しかしながら、本件事故の場合では常時ブレーキライニングが強い力で押し付けられていたとの想定の下で、走行距離当たりの摩耗量を調べる場合は、練り固め成型方法や成分の影響が係っているかも知れない。つまり練り固め成型方法や成分は製作時期によって異なっている可能性が考えられる。

(3) 実験で使用するブレーキライニングと実験方法

ブレーキライニングは事故時に使用していたものが警察に押収されているので、本実験におけるブレーキライニング摩耗実験では、シンドラー社から最近製造された製品を購入して、摩耗実験を行っていた。追加実験では、5号機エレベーターの事故時に使用されていたものと同じ製作時期のブレーキライニングを選定した。

本実験も含め、ブレーキライニングは次のものを使用した。なおライニングは右に2個、左に2個の合わせて4個が1セットである。中古品は1998年製、既存品は2006年製、新品は2007年製である。

- ・ 新品 5セット分(今回の実験用にシンドラー社から購入)
- ・ 既存品 1セット分 (事故後シンドラー社が4号機に取り付けたもの)
- ・ 中古品 2セット分 (事故機と同型式、9年前の同時期に設置されたエレベーターから取り外したもの)

これらのライニングの材料分析を財団法人鉄道総合技術研究所に依頼した結果は添付資料のとおりである。なお財団法人鉄道総合技術研究所は国鉄時代に鉄道技術研究所と呼ばれ、鉄道車両の研究開発をし、安全に大きな影響のあるブレーキについては大型の試験機を有し、長年にわたってブレーキ制御方式、ブレーキ材の研究を行ってきた世界的に権威のある研究所である。

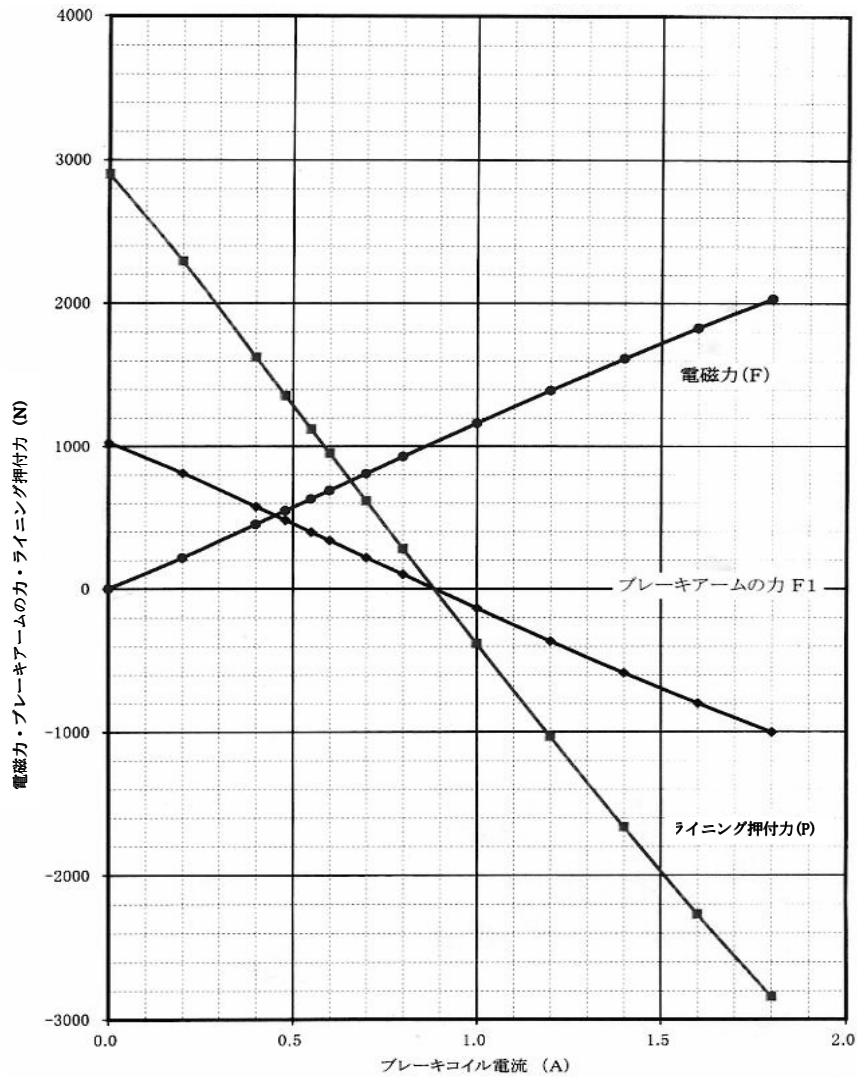
エレベーターの走行中にブレーキアームを広げるコイルの電流値を0.48A及び0.55Aの2通りにして、本実験で得られたものと合わせて（本実験では0.70Aについても行った）、走行距離に対する摩耗量の比較を行った。

運行の走行パターンは本実験と同じものを使用した。

(4)本実験で判明した4号機エレベーターの基本的な事項

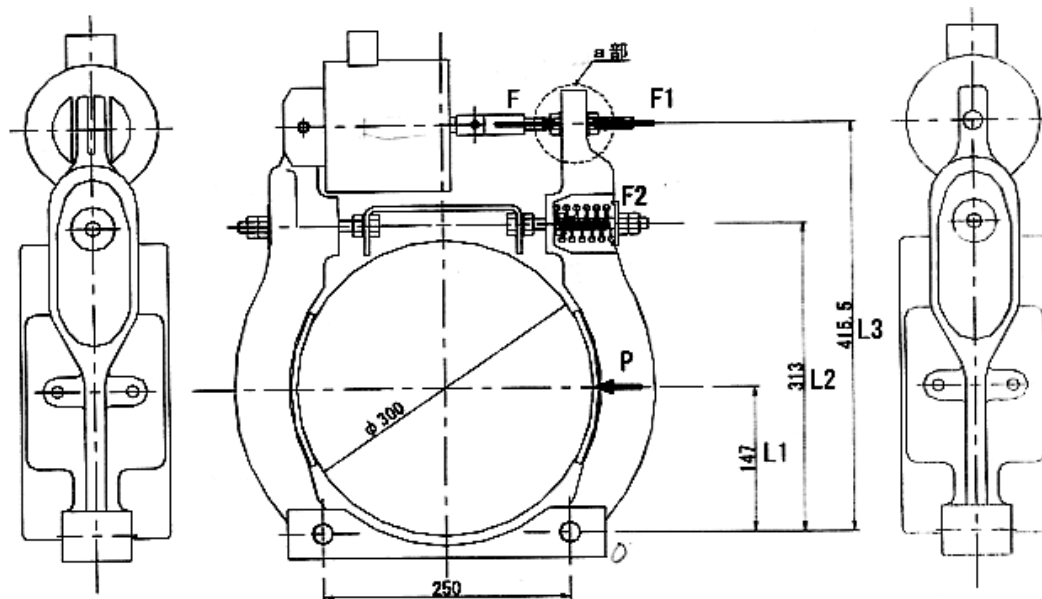
本実験で測定したブレーキコイル電流に対するブレーキコイルの電磁力、ブレーキアームの力、ライニング押付力を図2に示す。

図2



次にこのデータを使用して、ブレーキライニングの押付力を計算で求める。ブレーキユニットの関係図は図3に示す通りである。

図 3



上の図 3 において、記号を次のようにする。

- k : ばね定数=100.2 N/mm
- σ : ばね圧縮量=13.6 mm
- F : ブレーキコイルユニット電磁力 N
- $F1$: ブレーキアームの力 N
- $F2$: ばね力 N
- P : ライニング押付力 N
- $L1$: ブレーキアーム支点からライニング中心までの距離 147 mm
- $L2$: ブレーキアーム支点からばね中心までの距離 313 mm
- $L3$: ブレーキアーム支点からブレーキコイルユニット中心までの距離 415.5 mm

このとき力関係は次のように導かれる。

$$F2 = k \times \sigma = 1363 \text{ N}$$

$$F1 = F2 \frac{L2}{L3} - F = 1027 \text{ N} \dots \text{式(1)}$$

$$P = F1 \frac{L3}{L1} \text{ N} \dots \dots \text{式(2)}$$

式(1)の F にコイル電流に対する電磁力 F の測定値を代入し、式(2)から次のライニング押付力 P の値を得る。

コイル電流 A	F N (測定値から)	P N
0.48	547	1356
0.55	630	1121
0.70	809	616

1-2 摩耗実験結果

ライニングの摩耗量測定結果は、表1のとおり。

表1 摩耗量測定結果

実験 番号	実験日	実験条件									測定結果						
		*1 ラ イニング 種別	走行距 離(m)	スロー ク(mm)	最終ス ローク (mm)	積載荷 重(kg)	ブレーキ 電流(A)	ライニ ング 押し付 け力(N)	*2 ばねセット長 さ(mm)		ライニング摩耗量(mm)						*3 摩耗 量 (mm/km)
											熱時(実験直後)			冷時(実験後熱が冷えたとき)			
											R側	L側	平均	R側	L側	平均	
B12	8月10日	新品	13329.7	3.50	5.00	130	0.55	1121	63.0	63.0	-0.040	0.000	-0.020	-	-0.260	-0.260	0.0195
B15	8月15日	新品	13329.7	3.50	3.80	130	0.70	616	63.0	63.0	-0.140	-0.010	-0.075	-0.100	0.070	-0.015	0.0011
B16	8月17日	新品	12010.0	3.50→ 4.67	6.87	130	0.48	1356	63.0	63.0	-0.410	-0.410	-0.410	-0.470	-0.480	-0.475	0.0396
B17	8月23,24 日	新品	33797.5	3.50	6.70	130	0.55	1121	63.0	63.0	-0.360	-0.390	-0.375	-0.850	-0.850	-0.850	0.0251
追-1	9月 14,18,19 日	中古品	42293.3	3.50	6.70	130	0.55	1121	63.3	63.3	-0.670	-0.240	-0.455	-1.040	-0.370	-0.705	0.0167
追-2	9月21,25 日	中古品	30424.7	3.50	6.64	130	0.48	1356	63.3	63.3	-0.860	-0.620	-0.740	-1.050	-0.520	-0.785	0.0258
追-3	9月28日 10月1日	既存品	28334.7	3.50	6.56	130	0.55	1121	63.3	63.3	-0.480	-0.440	-0.460	-0.590	-0.570	-0.580	0.0205

*1 中古品は1998年製、既存品は2006年製、新品は2007年製である。

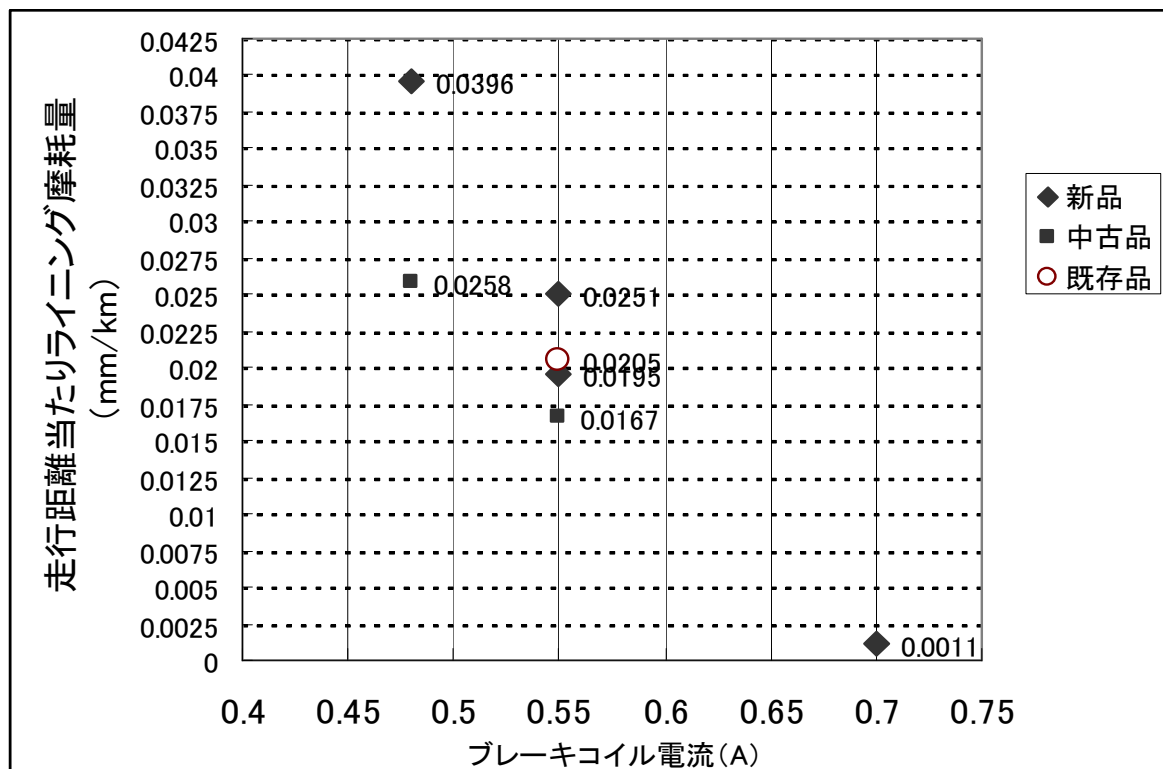
*2 ばねセット長さには、ばね端部ワッシャー(t=1.6)を含むので、ばね圧縮量はばね自由長さ75.0mm+1.6mm-63.0=13.6mm

*3 摩耗量=ダイヤルゲージ変化量R、Lの平均値/走行距離 (mm/km)

測定結果												備考
プレーキトルク [Nm]												
実験前			実験後									
冷時			熱時			冷時(同日冷時)			冷時(翌日)			
上昇側	下降側	平均	上昇側	下降側	平均	上昇側	下降側	平均	上昇側	下降側	平均	
—	—	—	119	108	114	169	98	134	—	—	—	トルク測定時は積載50%
53	44	49	50	53	52	73	48	61	90	63	77	トルク測定時は積載50%
165	403	284	0	0	0	0	0	0	0	0	0	トルク測定時は積載50%,プレーキライニング摩耗により最終冷時プレーキトルク=0
65	270	168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	トルク測定時は積載50%,プレーキライニング摩耗により最終冷時プレーキトルク=0
117	133	125	102	103	103	—	—	—	108	132	120	トルク測定時は積載50%
145	186	166	98	100	99	—	—	—	75	110	93	トルク測定時は積載50%
113	133	123	102	116	109	—	—	—	100	108	104	トルク測定時は積載50%

図4は表1の中でライニング種別の電流値に対する走行距離当たりの摩耗量を示している。

図4 ブレーキコイル電流と走行距離当たりライニング摩耗量



1-2-1 摩耗量測定結果の分析と考察

表1及びこれをグラフにした図4の実験結果についての分析と考察を行う。

- (1) 新品のブレーキライニングを使用し走行距離を同じにした場合の 0.55A と 0.70A での摩耗量の比較 (実験番号 B12 及び B15、即ち 8月10日及び 8月15日)

ブレーキコイル電流が 0.55A の場合はライニング押付力が 1121N、0.70A の場合は 616N に対する摩耗量の比較である。

実験の結果、走行距離当たりの摩耗量は、ブレーキコイル電流 0.55A の場合 0.0195mm/km、0.70A の場合 0.0011mm/km であり、前者が 18 倍も大きい。

- (2) ドラムが滑走するまでの 0.48A と 0.55A の走行距離と時間の比較 (実験番号 B16 及び B17、即ち 8月17日及び 8月23-24日)

ブレーキコイル電流が 0.48A と 0.55A の場合について、ブレーキドラムが滑走するまでの距離と時間を比較する。

[実験番号 B16 について]

ブレーキコイル電流を 0.48A、ストロークを 3.50mm で実験を開始したところ、16 分後に 23 階からの下降時にモーターが停止した。ストロークを 4.67mm に拡大して、1 時間後に実験を再開した。その後、ブレーキライニング温度は最高で 570°C まで上昇したが、実験開始から 8 時間 16 分後、1 階に着床時に機械室でブレーキドラムの滑走が観察された。途中で、1 時間停止していたので、実走行時間は 7 時間 16 分、走行距離 12010.0m、ライニング摩耗量は左右の熱時の平均で 0.410mm であった。リセット時の起動不能のコンピュータ制御及びモーター電圧などは 19 頁の「3 巻き上げ機モーターの過負荷に対する制御系の実験」の過電流実験の図 7-3 を参照されたい。

[実験番号 B17 について]

ブレーキコイル電流 0.55A、ストロークを 3.50mm で実験を開始したが、201 秒後にインバータが「OL(Over Load)」を表示し、モーターが停止した。10 分後にモーター電源を再投入したところ稼動した。実走行時間は、8 月 23 日は 8 時 30 分から 22 時 30 分まで走行して中断した。翌 8 月 24 日は 8 時 00 分から 20 時 01 分まで走行したときにドラムが滑走し、実験を終えた。両日の実走行時間 22 時間 31 分、走行距離 33797.5m、ライニング摩耗量左右の熱時の平均 0.375mm であった。モーター停止時のコンピュータ制御及びモーター電圧などは 23 頁の図 7-4 を参照されたい。

[ブレーキコイル電流の 0.55A と 0.48A の比較]

0.55A と 0.48A とのドラムが滑走するまでの走行距離の比は、前者が後者の 2.8 倍、時間の比は 3 倍強で、いずれも 0.55A の方が大きかった。

0.48A と 0.55A の実験直後、ライニングが熱時の左右の摩耗量の平均値は前者が 0.410mm で後者は 0.375mm で、この差は 0.035mm でほぼ同等であった。

(3) 製作時期による摩耗量の違いの比較

8 月の摩耗実験は、全て 2007 年製の新品を使った実験であった。

9 月の追加実験は、事故時のものと同じ 1998 年製の中古品と事故後に取り付けた 2006 年製の既存品を用いて、製作時期による摩耗量の違いを比較するために行った。

コイル電流 0.55A の場合の摩耗量は、新品が 0.0195mm/km (実験番号: B12)、0.0251 mm/km (実験番号: B17) に対して、中古品は 0.017 mm/km (実験番号: 追一1)、既存品は 0.021 mm/km (実験番号: 追一3) であり、中古品の方が僅かであるが摩耗しにくいことが分かった。

また、コイル電流 0.48A の場合の摩耗量は、新品が 0.0396 mm/km (実験番号: B16) に対して、中古品は 0.026 mm/km (実験番号: 追一2) で、中古品の方がやはり僅かに摩耗しにくいことが分かった。

また、同じ中古品であっても、ブレーキコイル電流が 0.48A の場合と 0.55A の場合では、0.07A 違うだけで、走行距離に対する摩耗量は前者 0.026mm/km が後者

0.017mm/km に対して、約 1.5 倍であることが分かった。

1-2-2 ブレーキライニングの温度測定結果の分析と考察

ブレーキライニングの摩耗実験において、ブレーキライニングの温度測定を行った。この温度測定の中でサーモグラフィによって測定したものについて、ブレーキライニング表面の平均値を表 2 に示す。

表 2

実験番号	実験日	ブレーキライニングの種類	走行距離 m	ブレーキコイル電流 A	ブレーキライニング押付力 N	ブレーキライニング摩耗量 mm/km	ブレーキライニング表面温度 (平均値) °C
B12	8月10日	新品	13329.3	0.55	1121	0.0195	141.1
B15	8月15日	新品	13329.3	0.70	616	0.0011	78.0
B16	8月17日	新品	12010.0	0.48	1356	0.0396	202.7
B17	8月23日	新品	16030.1	0.55	1121	0.0251	152.0
	8月24日		17767.4				212.3
追-1	9月14日	中古品	15364.1	0.55	1121	0.0167	182.6
	9月18日		15060.6				200.1
	9月19日		11868.6				185.8
追-2	9月21日	中古品	15915.7	0.48	1356	0.0258	211.0
	9月25日		14509.0				229.5
追-3	9月28日	既存品	14424.3	0.55	1121	0.0205	182.0
	10月1日		13910.4				230.6

(1) 新品のブレーキライニングで走行距離が同じ場合、ブレーキコイル電流が 0.55A と 0.70A のブレーキライニング表面温度の比較 (実験番号 B12 及び B15)

ブレーキコイル電流 0.55A でのブレーキライニング表面温度の平均値は、0.70A に対してほぼ 2 倍である。

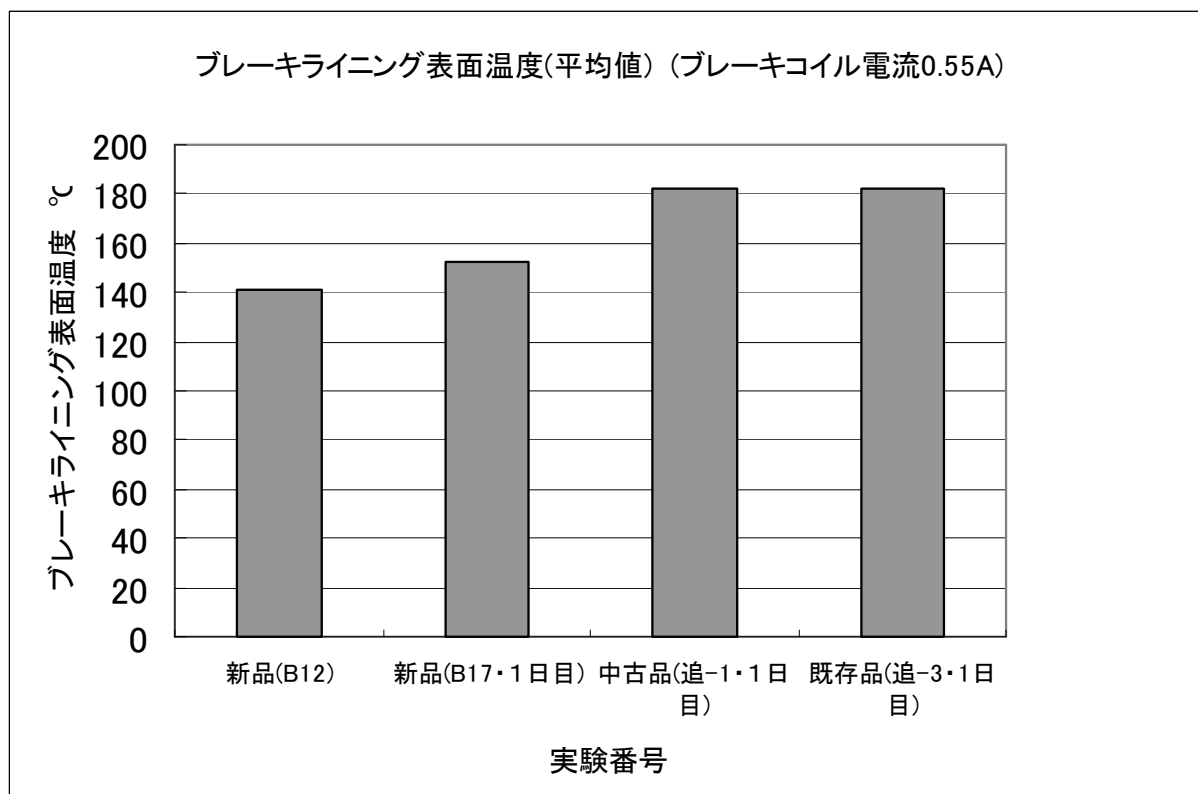
(2) 新品ブレーキライニングでドラムが滑走した場合、0.48A と 0.55A のブレーキライニング表面温度の比較 (実験番号 B16 及び B17)

双方の1日目の比較では、0.55Aの方が0.48Aよりもかなり低い。しかし、B17(ブレーキコイル電流0.55A)の2日目は温度が高まり、B16(ブレーキコイル電流0.48A)よりもはるかに高くなっている。2日目がこのように高くなった理由については、ブレーキライニングの摩耗による当たり面の変化、当たり位置の変化などが考えられるが、詳細については断定することはできない。

(3) 製作時期によるブレーキライニング表面温度の比較

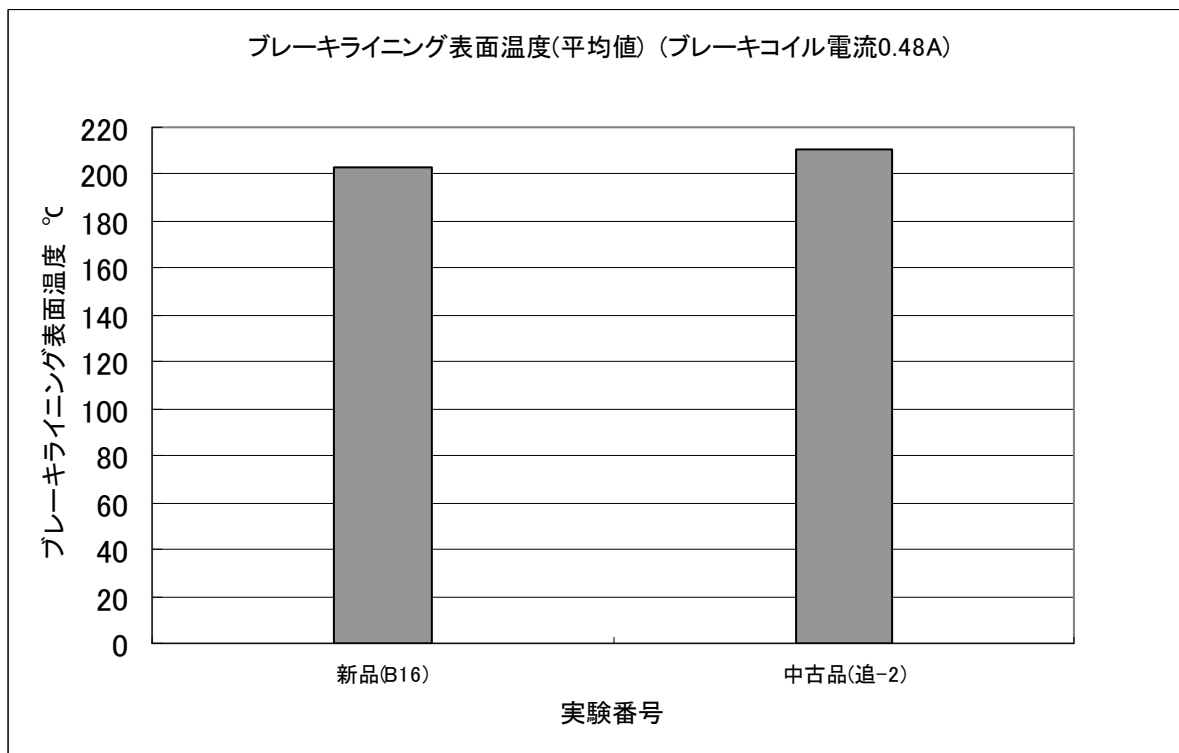
ブレーキコイル電流0.55Aの場合について、新品、中古品、既存品のブレーキライニング表面温度を図5-1に示す。この図から、各実験の1日目の平均値を比較すると、中古品と既存品は新品よりも温度が高くなっている。

図5-1



ブレーキコイル電流 0.48A の場合について、新品、中古品のブレーキライニング表面温度を図 5 - 2 に示す。この図から、平均値の差はほとんどない。

図 5 - 2



16 頁の写真 1 は摩耗実験後のブレーキライニング及び摩耗粉、ブレーキドラムを示す。ブレーキライニングの表面層は炭化している。ドラムの表面は細い筋の線が入り、光沢を持ち、焼けた痕が伺える。

なお、鉄道総研で材料分析した結果を添付資料 1 に示す。材料の素材がどのような影響を及ぼしていたか不明なので、考察は行わない。

添付資料 1 の「表 1 摩擦試験品の概要」の中の試験品 No.1,2 は新品、No.3 は中古品、No.4 は既存品である。

(4) 新品のブレーキユニット

17 頁の写真 2 は分解されたブレーキユニット (新品) の全体 (左からコイル、アクチュエータ、ふたの順に並んでいる)、コイルの接近写真、ケーシングを示したものである。

コイルはエナメル線を巻いたもので、通常はワニス含浸などして絶縁強度を高めているが、そのようなことはしていない。

ケーシングの写真では、内側の右下部分は何らかの原因によって変色しているのが見られる。

写真1 摩耗実験後のブレーキライニング、摩耗粉、ドラム



ブレーキライニングと摩耗粉



ブレーキドラム

写真2 分解された
ブレーキユニット
ト（新品）

写真左から

- ・コイル
- ・アクチュエータ
- ・ケーシングのふた



コイル



ケーシング

（写真右下部分が変色している）

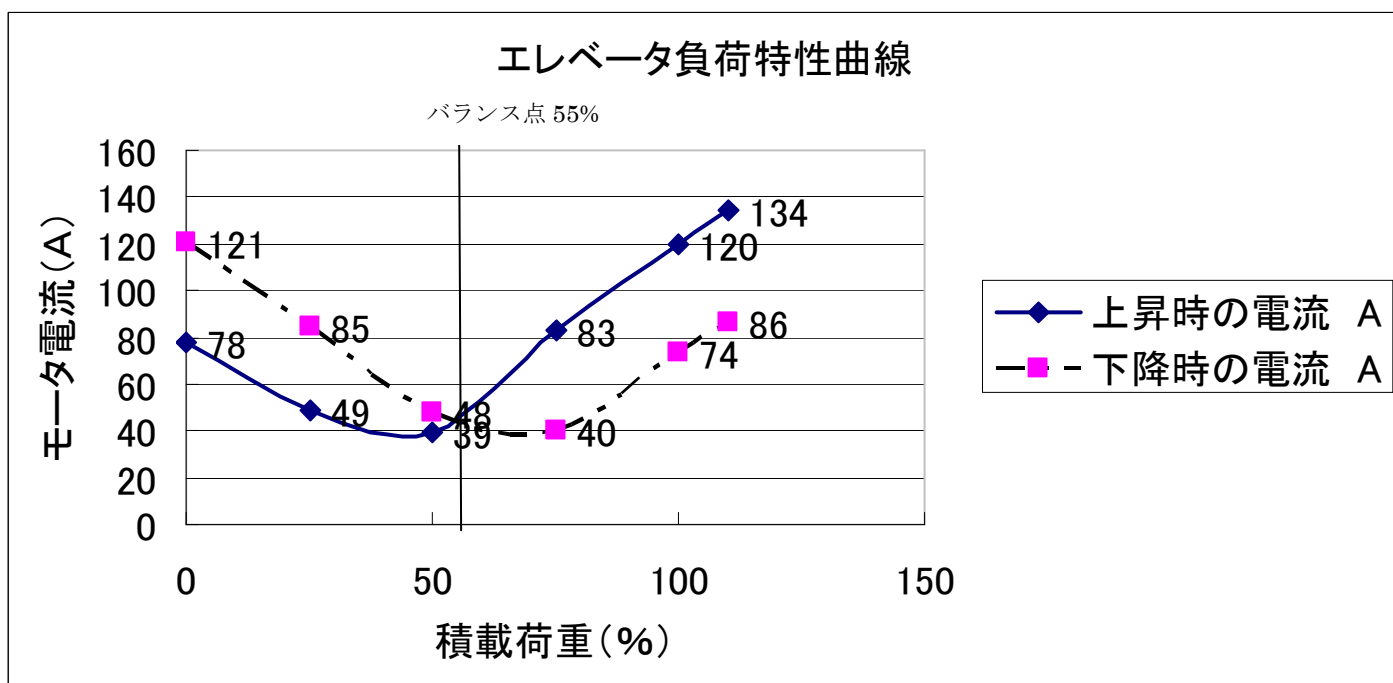


2 エレベーター負荷特性試験

かごとカウンターウエイトとのバランス状態を確認するために、荷重を0から全負荷まで変えて、上昇時、下降時のモーター電流を測定した（実験番号：追—4）。横軸に全負荷に対する荷重割合をとり、縦軸に測定したモーター電流をプロットしたものを下の図6に示す。

この図に示すように、上昇時の実線と下降時の点線は荷重が55%のところで交差していることから、4号機のバランス点は55%であった。かごとカウンターウエイトとのバランス点は一般に45~55%と言われていることから、特に問題のある値ではないと言える。

図6 エレベーター負荷特性曲線



3 巻き上げ機モーターの過負荷に対する制御系の実験

エレベーターの全体システムの中で今回の事故発生を予防することはできなかったか、すなわち巻き上げ機モーターの過負荷を検知してかごを停止することができなかったか、についての実験とその結果について述べる。

(1) 本エレベーターの全体システムにおける安全対策

今回の事故の発生原因の調査において、ブレーキコイルのショートにより走行中にブレーキがかかりブレーキライニングが摩耗したために、エレベーター停止中に停止を維持できなかったことが原因と推定されてきた。このために追加実験においてさらに製作時期の異なるブレーキライニングを用いて、走行距離に対する摩耗量のデータを集めた。

しかし、この追加実験を行う段階において、上記の走行中のブレーキによる巻き上げ機モーターの過負荷を検知し、制御器のコンピュータ・プログラムによってエレベーターを停止できなかったのか、或いはインバータのコンピュータ・プログラムによって停止できなかったのかという疑問が出てきた。

このエレベーターの全体システム構成は、シンドラ社からプログラムソースコードの提出がなく、分析が行われていない以上、現時点では不明である。

エレベーターの運行制御はかご内の行き先ボタン、ドアの外の呼び出しボタンの指示にしたがい、制御器のコンピュータ・プログラムによってなされる。

インバータは制御器の指令に基づき、電源の電力を受けて、インバータ内のコンピュータ・プログラムによって、電圧、電流、周波数をコントロールしてモーターを稼働する。このコンピュータ・プログラムには自身の保護機能を有している。

また、ブレーキコイルは制御器のコンピュータ・プログラムの指示に基づき、ブレーキ動作や開放を行う。

(2) 走行中、ブレーキコイル電流を減らしていったときのエレベーターの停止機能【追加実験5】

走行中にブレーキがかかっていたらモーターの負荷が当然高くなるので、インバータ内のコンピュータがそれを過負荷として感知してモーターの動きを停止させるかどうか、またモーターの温度上昇を感知してモーターの動きを止めるかどうかを調べることにした。

この調べ方として、追加実験5では、次の方法をとった。

エレベーターが稼働中に、積載荷重 110%に相当するようにブレーキコイル電流を減じて、何秒でインバータの過負荷検知機能が働くかを調べたが、働かなかった。そこでさらに積載荷重 120%に相当するブレーキコイル電流に減じたが、インバータはやはり何も動作しなかった。さらにブレーキコイル電流を減じていったとき、インバータ自身の保護機能が働き、制御盤の表示窓の「OL(Over Load)」の表示とともにイ

ンバータは停止した。このとき制御器のコンピュータのプログラムは停止の指令をしていなかった。

この間、巻き上げ機モーターのケーシングは OL 表示以前からかなり温度が高まり手で触れないほどであったが、温度上昇によるインバータの停止機能は作動していなかった。モーターには温度センサーが付いているにもかかわらず、温度上昇による停止機能が作動しなかったのを不思議に思い、機械室備え付けの配線図を調べた。その結果、インバータには温度センサーの情報を受信する回路が設定されていなかったこと及びオプションカードを追加し回路を設定すれば、この機能を使用できることが分かった。

(3) 摩耗実験中に作動した停止機能

本実験及び追加実験中に、制御器のプログラムによる停止処置或いはインバータのプログラムによる停止処置がなされたので、それらについて説明する。

1) 予め強いブレーキをかけておいて起動したときの停止

予め起動時にブレーキコイル電流を下げておいた場合に、巻き上げ機のモーターが起動できるかどうか、制御機のコンピュータのプログラムとインバータの動作の確認実験を 3 回行った。

1 回目は 8 月 14 日、新品ライニング、積載荷重 130kg、下降、ブレーキコイル電流 0.25A のときの実験（実験番号 B13）で、モーター電流は立ち上がっているがブレーキ制動力が大きいためモーターは回転できず、速度が上がらないまま通電時間 10.3 秒後に制御機のプログラムの停止信号によりインバータが停止した。

この状況を図 7-1 に示す。

2 回目は 8 月 14 日、新品ライニング、積載荷重 130kg、下降、ブレーキコイル電流 0.25A のときの実験（実験番号 B14）で、同じくブレーキ制動力が大きいため通電時間 10.2 秒後に制御機のプログラムの停止信号によりインバータが停止した。この状況を図 7-2 に示す。

3 回目は 8 月 17 日、新品ライニング、積載荷重 130kg、下降、ブレーキコイル電流 0.48A のライニング摩耗実験（実験番号 B16）のときに、実験開始後 20 分経過後にモーターが停止してから 10.2 秒後に制御機のプログラムの停止信号によりインバータが停止した。ブレーキドラムの熱膨張によりブレーキ制動力が大きくなったためと推定する。この状況を図 7-3 に示す。

以上の 3 例から、この制御機のプログラムはモーターが約 10 秒停止すればインバータを停止させることが確認された。

2) 予め中程度のブレーキをかけておいて走行させたときの停止

今回のライニングの摩耗実験では、人為的にブレーキをかけながら連続走行を行ったが、実験の途中で2回、インバータの過負荷保護機能が作動して「OL」の表示が出て運転停止した。内容は次の通りである。

1回目は8月23日、新品ライニング、積載荷重130kg、下降、ブレーキコイル電流0.55Aのときに、モーター電流約260Aで、通電時間201秒後にインバータの過負荷保護機能(OL)が作動した(実験番号B17)。ブレーキドラムの熱膨張によりブレーキ制動力が大きくなったためと推定する。

この状況を図7-4に示す。この図でかご速度を見ると、一旦動き出して停止していることが分かる。

2回目は9月28日、追加実験(実験番号追-3)において、既存品ライニング、積載荷重130kg、下降、ブレーキコイル電流0.55Aのときに、モーター電流約260Aで、通電時間205秒後にインバータの過負荷保護機能(OL)が作動した。この状況を図7-5で見ると、電源が投入された後、電圧が立ち上がり、電流も規定値になり、かごも下降を始めた。約7秒後に電圧及び電流が遮断され、それに伴いかごも停止した。約1秒後に電流が自動投入され、電圧は上昇したものの約7秒後に急激に低下し、電流は復帰した状態を続け、かご速度も一旦立ち上がったがゆっくりと低下し停止した。最初に電流を投入してから、205秒後にインバータがOL機能により、完全に停止した。

図 7-1

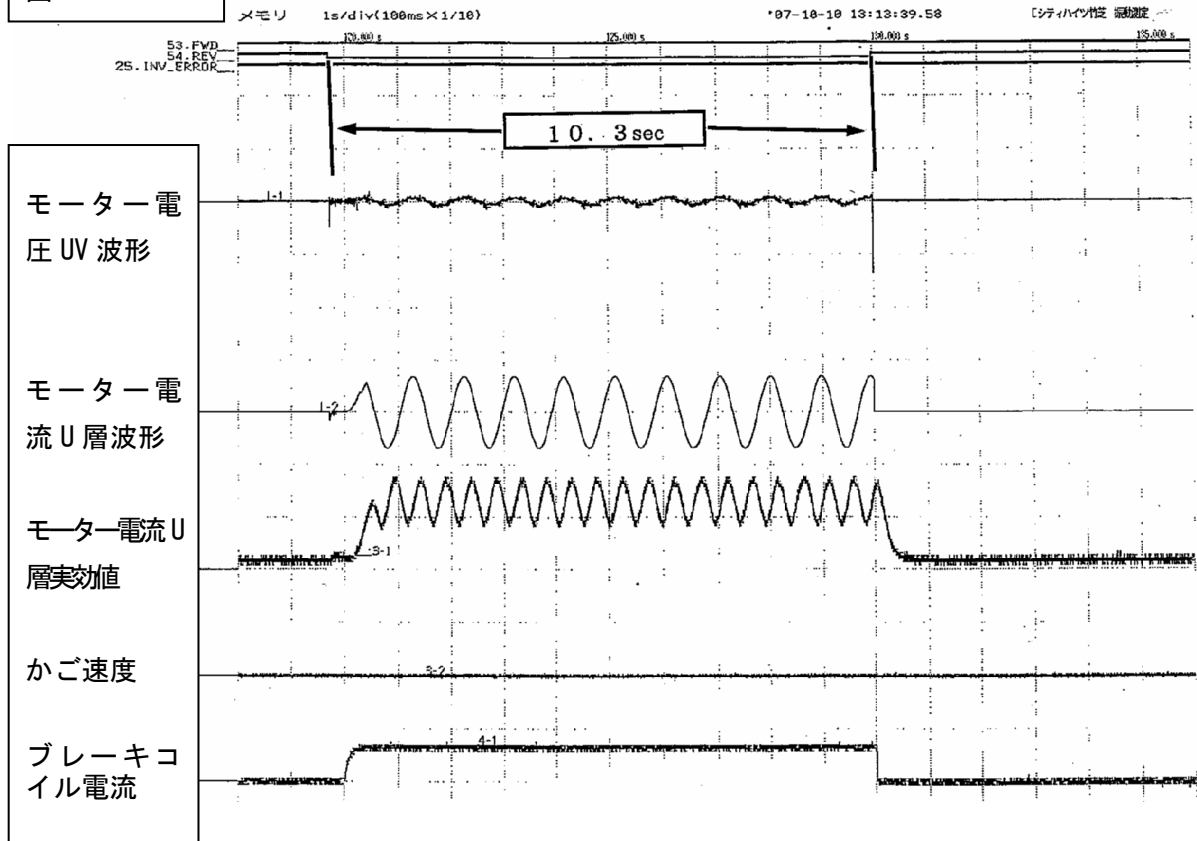


図 7-2

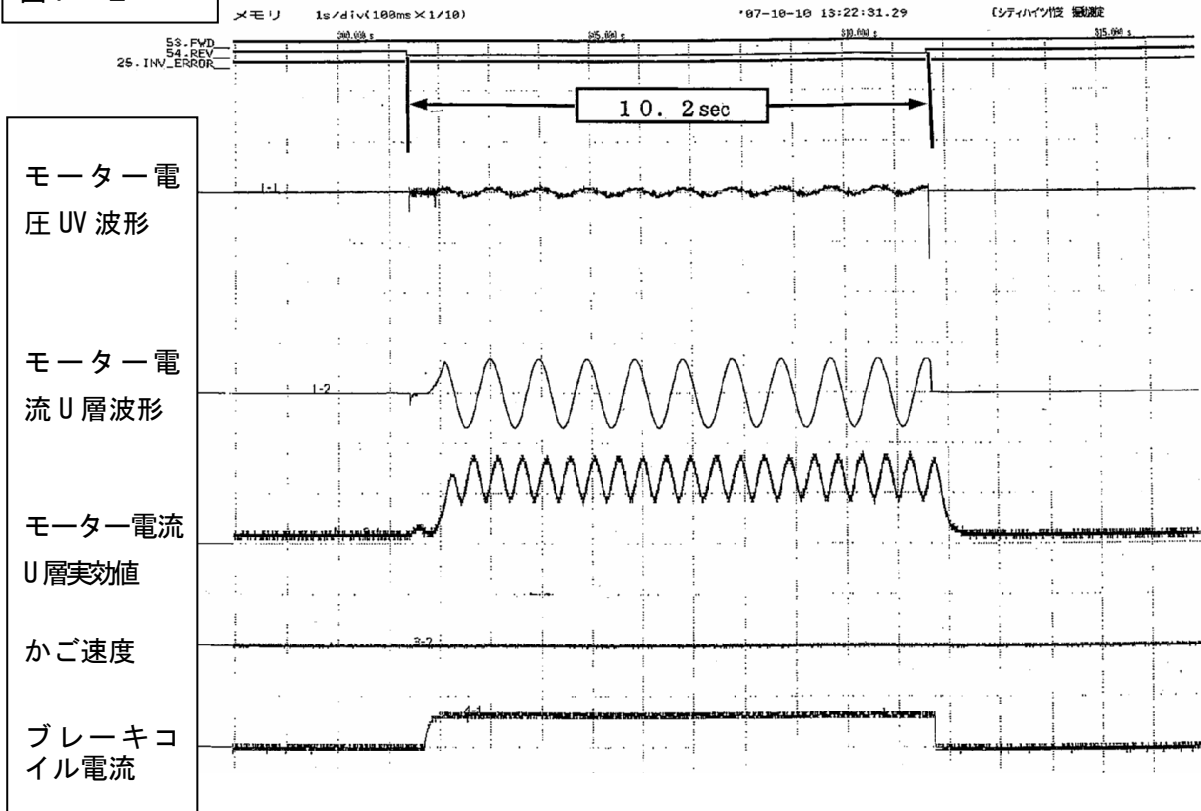


図 7-3

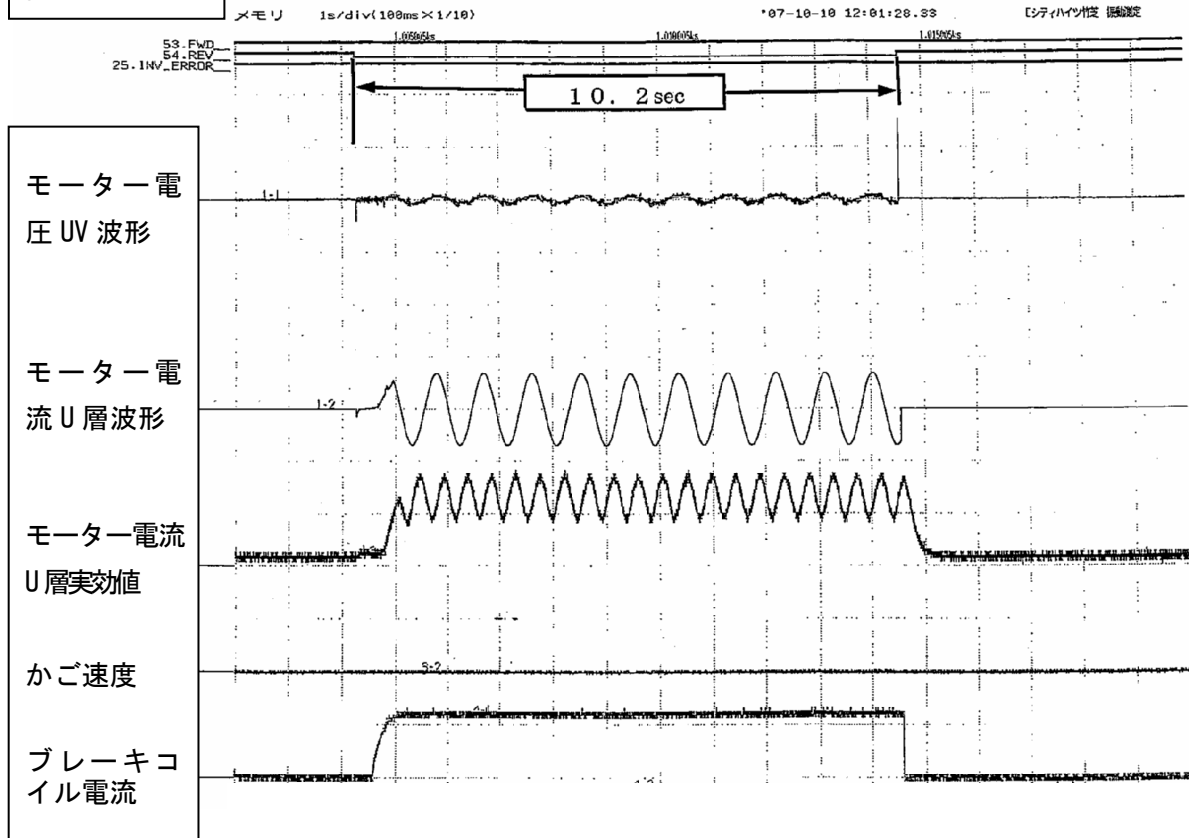


図 7-4

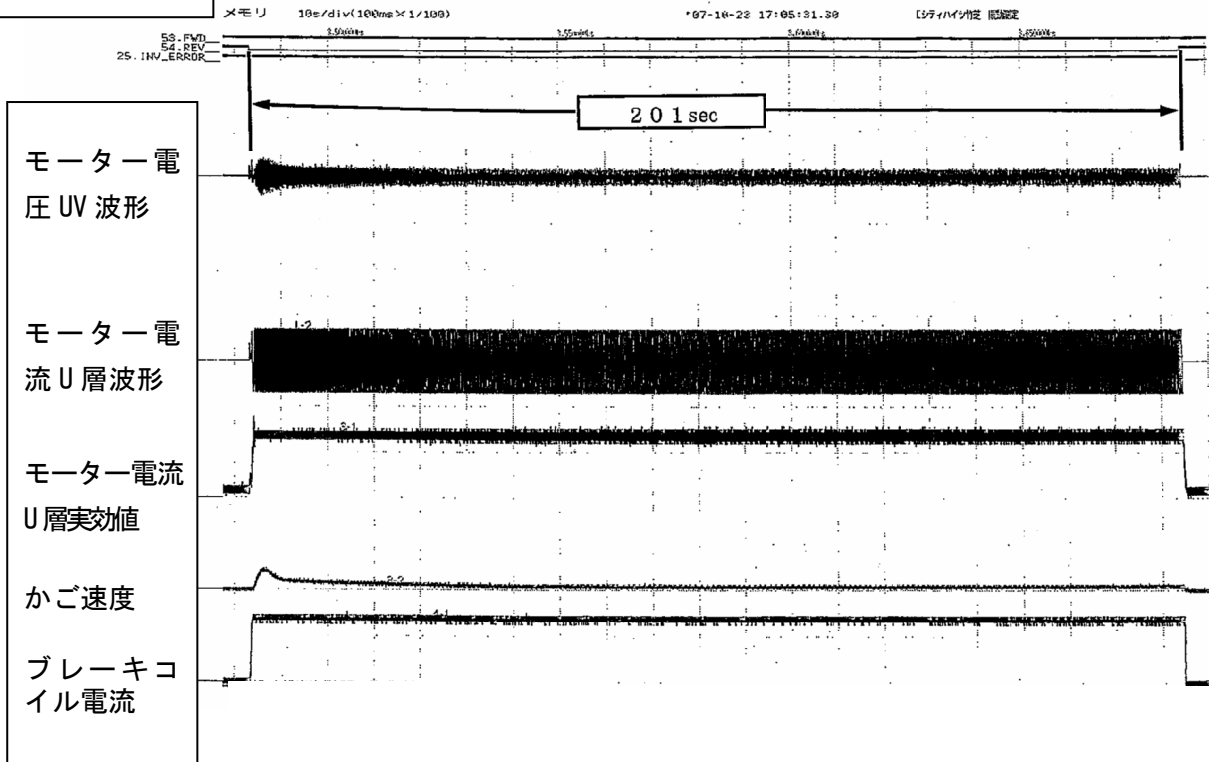
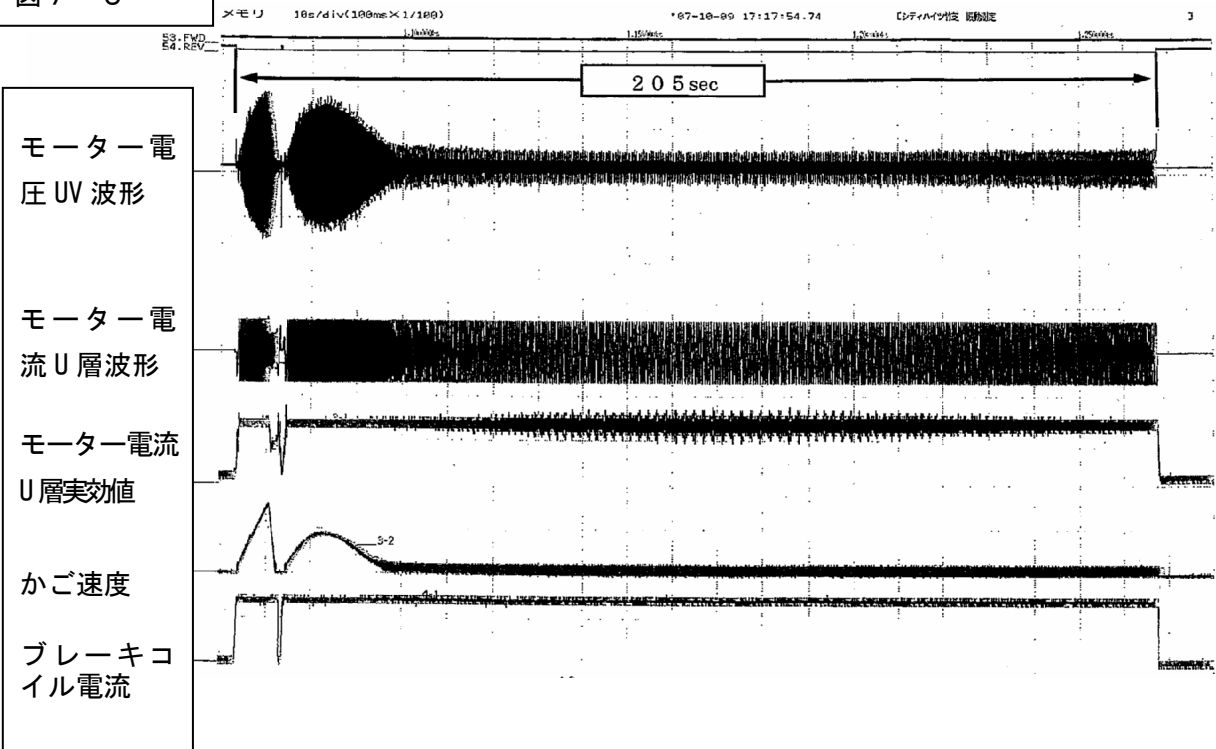


図 7-5



4 開扉時のかごの挙動

正常なときは、かごが階に止まり、扉が開いているときは、コイルの電流が切れて電磁力が 0[N]になり、ばねの力でブレーキライニングをドラムに押し付けて停止を維持する。

ところがブレーキライニングが摩耗してアクチュエータのギャップがなくなった瞬間には、アームのたわみなどで幾分かブレーキ力が効いているので、このときかごの振動などで動き出すことがあるのかを、コイルの電流値で探るのが、この実験の目的である。

温度の影響があるかどうかを確認することとした。

(1) ブレーキドラムの温度が常温時（実験番号：追一6）

ブレーキライニングが摩耗し、停止中のブレーキ力がぎりぎりのときに、かご内の振動でかごが上昇するかどうか確認する。なお、8月9日に5キロの米袋を落下させる実験（実験番号B9）を行った時には、かごの動きはなかった。

[手 段]

ブレーキドラムの温度は常温の 30℃。

かご内には、実験者 60kg+重り 70kg+振動計 5kg の合計 135kg が搭載された。これは事故当時の大人 55kg×2 人+自転車 10kg×2 台+その他 5kg=135kg に相当する。

作業員はかご内で飛び上がって、約 1G の下向きの加速度をかごの床に与える。ブレーキコイル電流は 0.69~0.75A の間を 0.01A ずつ増やしていき、その都度、実験者がかご内で飛び上がって 1G 程度の振動を床に与える。

[結 果]

ブレーキ電流が 0.73A のときかご内を動き回ると、かごはゆっくり上昇した。0.75A に電流を上げたとき、何も行動をとらなくてもかごは自然に上昇した。

(2) ブレーキドラムの温度が高温時（実験番号：追一6）

常時ブレーキをかけた状態で走行して、ブレーキライニングが摩耗し、停止中のブレーキ力が弱っているときに、かご内の振動でかごが上昇するかどうかにより、事故時の現象を再現する。(1)の実験はブレーキドラム温度が常温の 30℃であったが、ブレーキドラムが加熱した状態として 200℃で実験を行った。

[手 段]

ブレーキドラムの温度は 200℃になるように予めブレーキをかけて走行させておいた。

かご内には、実験者 60kg+重り 30kg+米袋 10kg×4 袋+振動計 5kg の合計 135kg が搭載された。これは事故当時の大人 55kg×2 人+自転車 10kg×2 台+その他 5kg=135kg に相当する。

ブレーキコイル電流を 0.74～0.77A の間で 0.01A ずつ増やしていき、その都度、実験者がかご内で米袋を床上に落として行く。

【結果】

表 4

ブレーキ 電流 A	米袋を床に落とす、各 3 回行う				かご内から外へ出す	
	10kg	20kg	30kg	40kg	40kg を外 へ放り出す	実験者が出 て、かご内 を空にする
0.74～0.76	床不動	床不動	床不動	床不動	床不動	床不動
0.76～0.77	床不動	床上昇	床上昇	床上昇	床上昇	床上昇

ブレーキコイル電流が 0.74～0.76A の間では、かごはどのような衝撃を与えても、不動であった。

0.76～0.77A の間では、10kg の米袋を落としただけではかごは動かず、20kg 以上で動いた。

ブレーキドラムの温度が常温より約 170℃高い場合、ブレーキ電流では 0.01A の差でブレーキライニングとブレーキドラムの間に滑りが起き、かごが上昇することが分かった。

ブレーキドラムの温度が 30℃のときは 0.73A で滑って動き出し、200℃のときは 0.76A で滑って動き出している。

本来 0.76A の方が 0.73A よりもブレーキ力は弱いのに、0.73A と同等に強くなっているのは、ドラムでの温度差が 170℃上がっているため、ドラムの膨張の影響が出ていることが推測される。

停止中のかごが動き出す瞬間は非常に静かで、かすかな動きから始まるので、動き出しの瞬間に気がつかない程であった。

5 ブレーキ装置のアクチュエータのせり

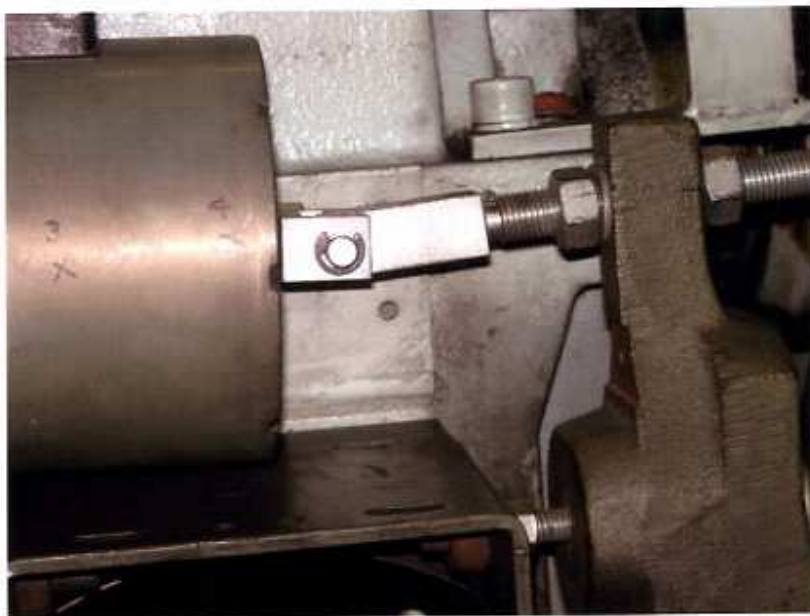
ブレーキ装置のアクチュエータがせりを起こすか否かを確認する。

[目 的]

このエレベーターのブレーキシステムは、かごがインバータの制御により停止したときに、停止した信号を受けて、ブレーキコイルに流れていた電流を遮断して、ブレーキアームについているばねの力でブレーキライニングをブレーキドラムに押し付けるものである。

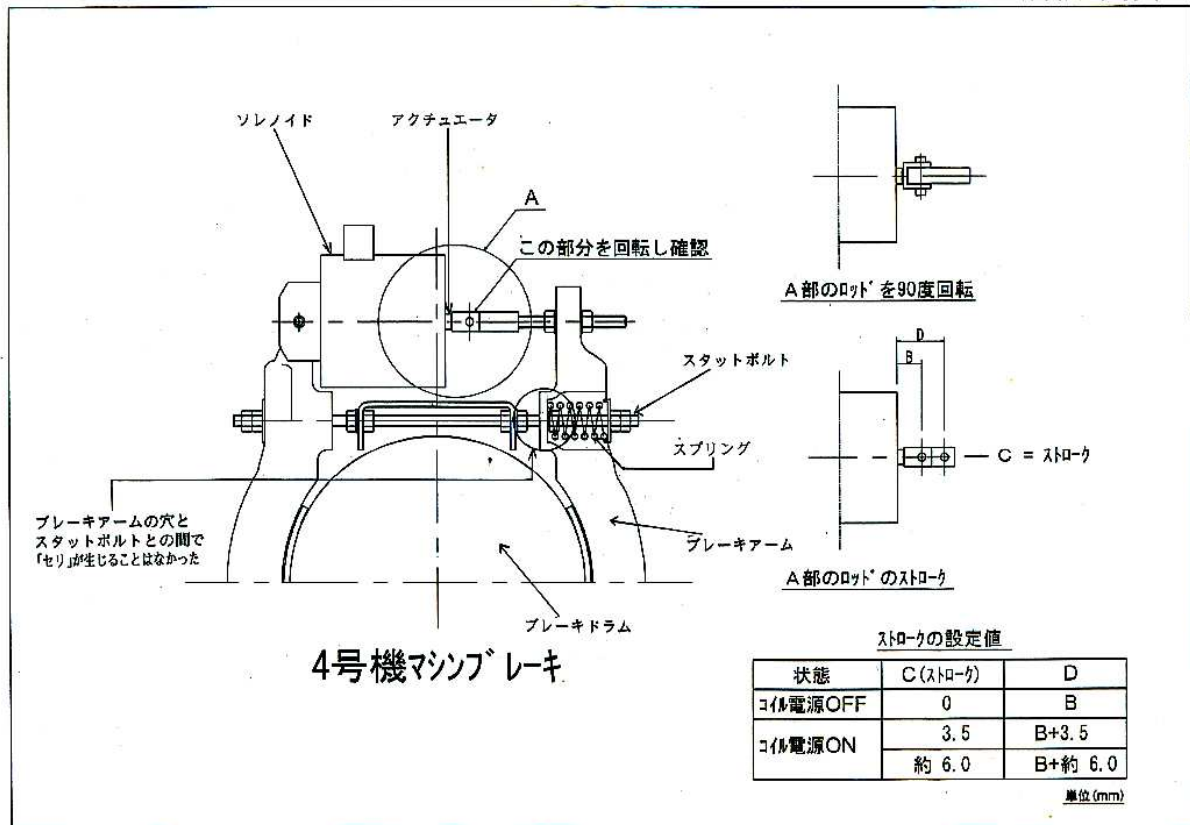
本件エレベーターのブレーキ機構の特徴は、重たいコイルが両ブレーキアームの間に吊り下げられている状態にあり、もしもアームに取り付けているボルトが緩んでいると、コイルの重さで弛んで、ばねがブレーキアームを押すときに、①スタットボルトがブレーキアームの穴に接触して、いわゆるせりの状態を発生するかどうか、②或はソレノイドの中のスリーブとアクチュエータの間でせりが出るかどうか実際にボルトを緩めて確認する（写真3参照）。

写真3 ブレーキ装置のスタッドボルト、ナットを緩めた状態



[手 段]

アクチュエータストロークの設定を基本の 3.5mm に対し 6.0mm まで延ばして、ソレノイド自体の重さでたれ下がるような状態をつくり、①ブレーキアームの穴とのせりの発生、②ソレノイドの中のスリーブとアクチュエータの間でせりが起きるかどうかの確認を行った。次に説明図を示す。



[結 果]

上の図面にブレーキアームのボルトが緩んだときに、コイルが重さで頭を垂れて、スタットボルトがブレーキアームとせるかどうかの確認を行ったが、次の表5に示すようにせりは確認されなかった(実験番号：追一七)。

表 5

アクチュエータストロークの設定	ロッドの角度	結 果
3.5mm	0° (水平) から 15° ずつ傾け 90° (垂直) まで変化させて、せりの発生の確認	せりは確認されず
6.0mm	同 上	せりは確認されず

6 開扉時のノイズの制御系への影響（タケラム社 FTA03-1 に相当）

かごが停止し、扉が開いている状態で、ノイズ印加によりかごが動くか否かを確認する（実験番号：追—8）。

[目的]

建築基準法施行令の第2節昇降機 第129条の10第3項に次の条文がある。

「エレベーターには、前項に定める制動装置のほか、次に掲げる安全装置を設けなければならない。一 かご及び昇降機のすべての出入り口の戸が閉じていなければ、かごを昇降させることができない装置」

本件のエレベーターではブレーキ装置がこれに該当すると思えるが、かごが停止中、扉が開いているときにノイズをかけた場合、どのような現象が起こるか及びかごが動くか否かを実験によって確認する。

本実験における制御盤内でのノイズ印加実験では、エレベーターの扉は閉まった状態で行ったが、今回はかごが停止し、扉が開いている状態で、本実験同様のノイズ印加実験を行った。

[手段]

① ノイズ印加ランプをラック間の BUS（リボンケーブル）に設置した。

かごが上昇しやすいように重りを一切載せず、運転操作は操作者1人（約65kg）が乗り込み、かごを1階に止めておき、主操作盤ボタンの12階と13階を押す。扉が閉まり、かごが上昇し、12階で止まり、扉が開いたとき、乗り場の UP 呼びボタンを押しっぱなしにした。

ノイズ印加は、10V ステップにて印加し、+印加、-印加を交互に行い、+1000V まで印加したとき、動作確認で全く動作しなかった。

制御盤内を調査したところ、CPU基板側のラック単体では動作していると思われた為、CPU側ラックと副操作盤側ラックの中継基板を取り外し、副操作盤側に挿入されていたインバータ I/O 用基板を CPU 側ラックへ移動したところエレベーターの運転が可能になった。

このことから、ノイズ印加によりラック間の中継基板が破損したものと思われる。電磁環境は変化したが、エレベーターの運転が可能となったので、次の実験を行うこととした。

② ノイズ印加ランプを CPU の I/O 中継フラットケーブルから CPU の I/O 入力フラットケーブルに設置した。

①と同様に、かごを1階に止めておき、主操作盤ボタンの12階と13階を押す。扉が閉まり、かごが上昇し、12階で止まり、扉が開いたとき、主操作盤で開きボタンを押しっぱなしにした。

[結 果]

マイナス印加：-140V で、かご内の照明灯が消えた。
エレベーター電源をリセットし、エレベーターを1階に戻し、実験を繰り返した。
プラス印加：+180V にて照明灯が一旦消え、復活した。
+270V にて他階の呼びランプが点灯した。
エレベーター電源をリセットし、エレベーターを1階に戻し、実験を繰り返した。
マイナス印加：-290V にて他階呼びランプが点灯し、消灯し、ドア開閉の電磁開閉器が作動した。
-300V で CPU がリセットした。
エレベーターを1階に戻し、実験を繰り返した。
プラス印加：+270V にて他階の呼びランプが点灯した。
+300V にて他階の呼びランプが点灯し、別の他階の呼びランプが点灯した。
エレベーター電源をリセットし、エレベーターを1階に戻し、実験を繰り返した。
マイナス印加：-290V にて他階の呼びランプが点灯した。
-290V にて CPU リセットした。

かごが上昇しやすいように重りなどは一切のせないで、実験を行ったが、かごがノイズ印加の影響で動く現象は観察されなかった。

[参考資料]

添付資料2 ノイズシールドジャパン株式会社 試験結果報告書

7 検証結果と提言

今回発生したようなエレベーター事故の再発防止のために、検証結果を踏まえた改善提案を行う。

(1) ブレーキコイルユニットの電磁力低下 【第2-1、3】

検証結果：一部で報道されたブレーキコイルのショートを想定し、コイルの電磁力を低下させて行った走行実験において、ブレーキライニングの摩耗が進行し、かごが停止中にブレーキドラムが滑走することを確認した。また、新品のブレーキコイルユニット内部を見分すると、コイルのエナメル線が裸のまま巻かれていたほか、ケーシング内側の一部に変色が見られた。

提言：ブレーキコイルのショートを防ぐための方策の一つとして、エナメル線を樹脂で固めて絶縁性を高めるとともに、ケーシング内部の密封性を高めるなどして故障しにくい構造とする。

(2) ブレーキコイルユニットの電磁力低下時における巻き上げ機モーターの過熱 【第2-1】

検証結果：ブレーキコイルの電磁力を低下させて走行したときに、巻き上げ機モーターは過熱した。モーターには温度センサーが付いているにもかかわらず、インバータには温度センサーの信号が入っていなかった。

提言：インバータの制御回路にモーターの温度情報を取り込み、モーターが過熱したときにモーターの回転を停止させる機能を付与する。

(3) ブレーキライニングの異常摩耗 【第2-1】

検証結果：何らかの原因でブレーキコイルが故障しブレーキコイルの電磁力が低下すると、走行時にブレーキが作用し、ブレーキライニングが異常摩耗する。またアクチュエータのストロークの状態が外部から視認しづらい。

提言：ブレーキライニングの摩耗による粉末の有無やライニングのあたり面の検査を行う。ブレーキライニングの摩耗状態をアクチュエータの動きの位置で検知し、位置の限界値を設定しておき、次のメンテナンスにおいて位置の管理を行う。摩耗の進行に対しては、アクチュエータが限界位置に到達前にリミットスイッチによるコイル電源遮断の方法があり、すでにわが国でもこの方法を採用しているエレベーターメーカーもある。

(4) ブレーキドラム及びブレーキライニングの異常過熱 【第2-1】

検証結果：走行時にブレーキが作用していると、ブレーキドラム及びブレーキライニングが異常過熱する。

提言：ブレーキライニングの中に温度検知センサーを埋め込み、温度の限界値を設定しておき、限界値に達する前に、エレベーターを自動的に停止する。

(5) 扉が開いているときの「かご」の移動 【第2-4】

検証結果：ライニングの摩耗が進みブレーキ力が弱まっている場合、かごが停止中でありながら、扉が開いている状態で「かご」は停止保持機能を喪失し移動する。

提言：扉が開いている状態を現行のリミットスイッチにさらに光センサーを加えた2重系として、制御回路に扉開きの信号を送る。また、ブレーキ系もブレーキドラムを2個並列に持つ方式又はロープを挟み込む方法により停止維持を確実にする。

(6) エレベーター制御器に対するノイズ 【第2-6】

検証結果：強制的にノイズを制御器の近くで与えると、制御器はノイズの影響を受け、エレベーターの走行に異常指令を発する。

提言：制御器の入力信号及び出力信号の配線にノイズ防止器具を取り付けて、ノイズの影響を防止する方法を採用する。4号機に発生した着床階の異常、インジケータ表示と停止階の不一致などは、事故後の平成18年11月25日にシンドラー社がフェライトコア2枚をマイコン基板前の配線に取り付けることによって解消している。フェライトコア2枚のため本実験の連続走行実験では、特記すべき異常は発生しなかった。次頁の写真4にシンドラー社が取り付けたフェライトコアを示す。

エレベーターは、メンテナンス周期の途中でもブレーキコイルのショート、ノイズの影響などにより突発事故が発生する可能性を持っていることから、ブレーキ装置に監視装置を取り付け、アクチュエータのストローク、温度、電流・電圧等の監視情報をメンテナンス会社に少なくとも1日に1回は送信し、日常管理の下に置くなどの対策も必要と考える。

写真4 マイコン基盤前の配線に取り付けたフェライトコア2枚



フェライトコア

添付資料

資料 1. 財団法人鉄道総合技術研究所の分析報告書

資料 2. ノイズシールドジャパン株式会社の試験結果報告書

以 上