

# 東京都江東区内エレベーター事故調査報告書

令和5年7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

# 東京都江東区内エレベーター事故調査報告書

発生日時：平成25年9月9日（月） 16時55分ごろ

発生場所：東京都江東区 倉庫（物流施設）

昇降機等事故調査部会長	藤田	聡
委員	中埜	良昭
委員	青木	義男
委員	鎌田	崇義
委員	河野	守
委員	稲葉	博美
委員	釜池	宏
委員	杉山	美樹
委員	寺田	祐宏
委員	仲	綾子
委員	中川	俊明
委員	中里	眞朗
委員	二瓶	美里
委員	三浦	奈々子
委員	三根	俊介
委員	吉田	可保里

## 目次

1 事故の概要等	.....	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 事故発生時の状況に関する情報		
2.3.1 事故直後のエレベーターの状況に関する情報		
2.3.2 事故機の損傷状況等に関する情報		
2.3.3 ウォームホイール及びセンターホイールの損傷状況に関する情報		
2.4 事故機の使用状況等に関する情報		
2.4.1 事故機の使用状況に関する情報		
2.4.2 事故機の保守及び故障対応に関する情報		
2.5 事故機の巻上機に関する情報		
2.5.1 巻上機の構造に関する情報		
2.5.2 ウォームギヤの構造に関する情報		
2.5.3 ウォームギヤにかかる軸方向力について		
2.5.4 ウォームホイールについて		
2.6 リーマボルトに関する情報		
2.6.1 リーマボルトの形状及び材質に関する情報		
2.6.2 分析機関による破断したリーマボルトの調査結果に関する情報		
2.6.3 製造業者によるリーマボルトの調査結果に関する情報		
2.7 事故機の制御機器の部品に関する情報		
2.8 事故機と同型の巻上機に関する情報		
2.8.1 同型巻上機の点検結果に関する情報		
2.8.2 同型機のリーマボルトの非破壊検査に関する情報		

3 分析	……	25
3.1 リーマボルトの破断に関する分析		
3.1.1 利用状況及び過積載に関する分析		
3.1.2 リーマボルトの破断に至る要因の分析		
3.1.3 リーマボルトにき裂が生じる要因の分析		
3.2 ウォームホイールの傷に関する分析		
3.3 事故発生時の運転状況に関する分析		
3.3.1 ウォームホイール脱落時の運転状況の検証		
3.3.2 ウォームホイールの損傷状況等を踏まえた事故発生時の運転状況の 検証		
4 原因	……	31
5 意見	……	32
6 (参考) 当該事故機の関係者による対応	……	32

## 《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 事故の概要等

## 1.1 事故の概要

発 生 日 時：平成 25 年 9 月 9 日（月） 16 時 55 分ごろ

発 生 場 所：東京都江東区 倉庫（物流施設）

被 害 者：重傷 2 名

概 要：被害者 2 名が 5 階建ての倉庫（物流施設）において 3 階から 1 階へ下りるためエレベーターのかごに乗車したところ、戸が閉まった後にかごが急上昇して昇降路頂部に衝突した。かごが衝突してかごが急停止した際に、かご内の 2 名の身体が浮き上がり、天井部に頭部等を打ちつけ負傷した。

## 1.2 調査の概要

平成 25 年 9 月 10 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、ワーキング委員及び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：東京都江東区

構 造：鉄骨鉄筋コンクリート造・鉄骨造

階 数：地上 5 階

建 物 用 途：倉庫（物流施設）

確 認 済 証 交 付 年 月 日：昭和 63 年 6 月 21 日

検 査 済 証 交 付 年 月 日：平成元年 4 月 27 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

製 造 業 者：三精輸送機株式会社（現三精テクノロジーズ株式会社、以下「三精テクノロジーズ」という。）

製 品 型 式：F-3000-2U-30

用 途：荷物用  
 定格積載量：3,000kg  
 定格速度：30m/分  
 駆動方式：ロープ式（トラクション式）  
 制御方式：交流帰還制御方式  
 操作方式：単式自動方式  
 昇降行程：23.5m  
 停止階数：5箇所停止（1～5階）  
 出入口の大きさ：間口2,800mm×高さ2,500mm  
 出入り口の戸：2枚戸上開き（各階両出口、貫通型）  
 かごの大きさ：間口2,800mm×奥行3,580mm×高さ2,500mm  
 かご質量：3318kg  
 釣合おもり質量：4818kg  
 電動機定格容量：11kW  
 巻上機：ウォームギヤ・TL60型  
 戸開走行保護装置：未設置  
 確認済証交付年月日：平成元年2月13日  
 検査済証交付年月日：平成元年5月22日

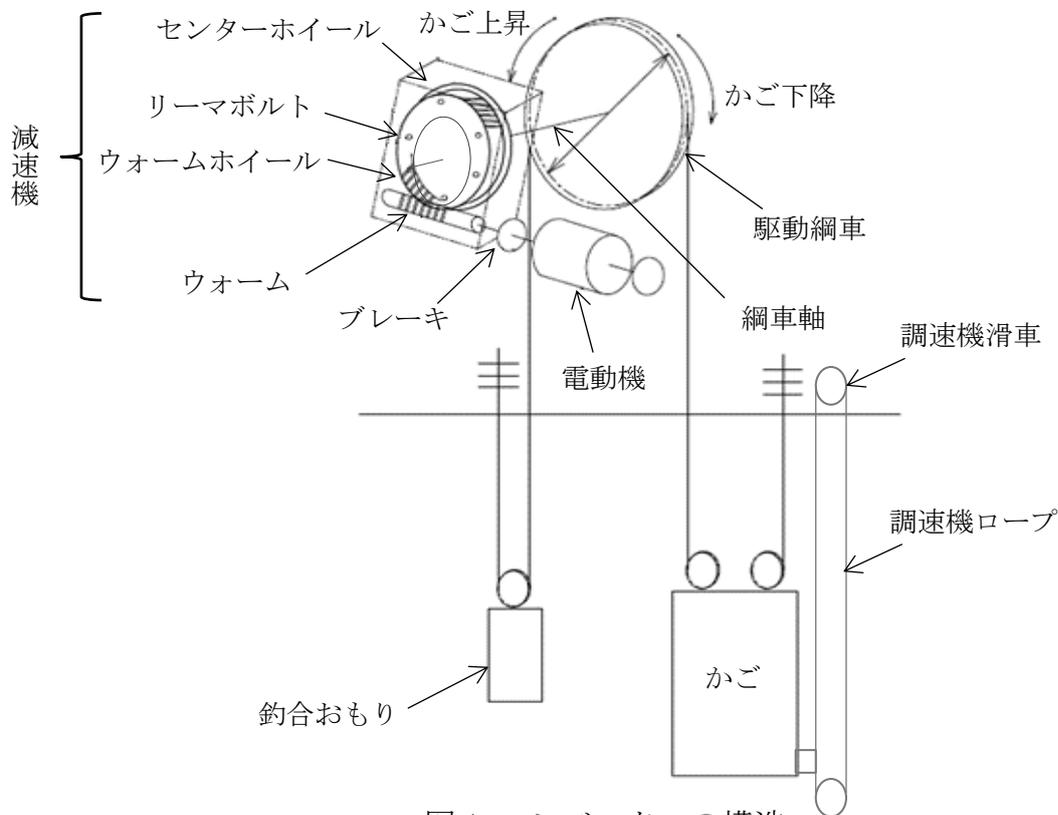


図1 エレベーターの構造

## 2.2.2 事故機の保守に関する情報

保守点検業者：株式会社トヨタビルテクノサービス

(以下「トヨタビルテクノサービス」という。現存しない。)

契約内容：POG 契約（1 か月ごと）

直近の定期検査実施日：平成 24 年 8 月 21 日（指摘事項なし、既存不適格あり※1）

※1 戸開走行保護装置の未設置等

直近の保守点検日：平成 25 年 8 月 29 日（指摘事項なし）

## 2.3 事故発生時の状況に関する情報

### 2.3.1 事故直後のエレベーターの状況に関する情報

- ・被害者 2 名は、3 階から 1 階に下りるために、エレベーターのかごに乗り込み、かご内操作盤の閉ボタンを押してかご戸及び乗場戸を閉めた。その後、かごが急上昇した。なお、行先階登録ボタンを押したかどうかは定かではないとのこと。
- ・かごは 3 階から最上階である 5 階を通過し、昇降路頂部に突き上げ、衝突した。
- ・衝突によりかごが急停止し、かご内の 2 名の身体が慣性でかご床から浮き上がり、かごの天井部に頭部等を打ちつけ負傷した。
- ・その後、かごは自由落下し、非常止め装置が作動して 5 階床上約 200mm の位置で停止した（写真 1）。

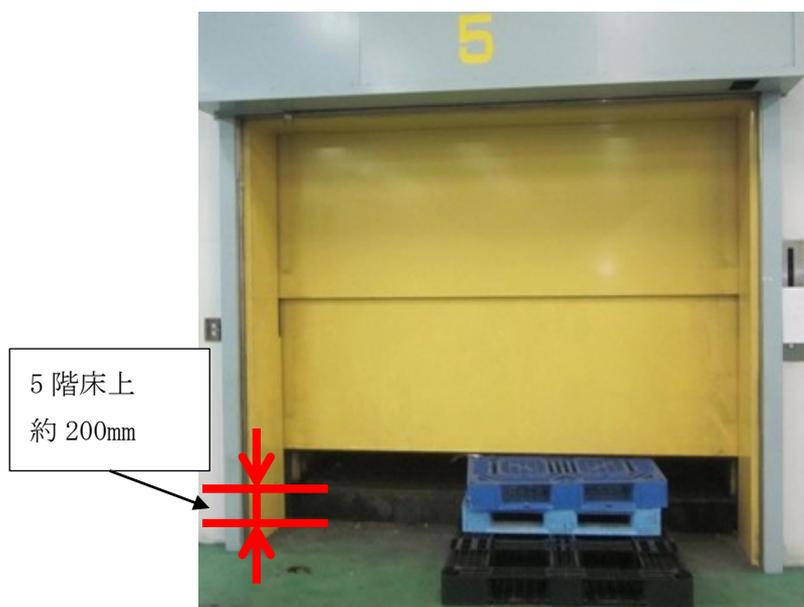


写真 1 5階エレベーター乗り場

### 2.3.2 事故機の損傷状況等に関する情報

事故発生直後の各機器の状況を表1に示す。

表1 事故発生直後の各機器の状況

部位	状況	写真
減速機	深さ 13mm で中間ばめのインロー※ <sup>2</sup> で組み合わされたウォームホイールとセンターホイールを締結していた 6 本のリーマボルト※ <sup>3</sup> が首下部で破断し、ウォームホイールがセンターホイールから脱落していた。 脱落したウォームホイールはウォームに引っ掛かっていた。	2～6
駆動綱車	5本の主索のうち2本が綱車溝から外れていた。	7
ブレーキ	事故機は駆動綱車-ギヤボックス（ウォーム、ウォームホイール及びセンターホイール）-ブレーキドラム-電動機と介しており、ブレーキドラムはブレーキアームにより制動されていた。	8
调速機	调速機ロープは滑車溝から外れていた。過速スイッチ及び索押さえ金具は作動状態であった。	9
昇降路	昇降路頂部に擦り跡があった。	-
	かごの左右に設置されているガイドレールに、非常止め装置による制動時の擦り跡があった。	-
ピット	釣合おもりがばね緩衝器を押しつぶした形で停止していた。	10
	早効き非常止め装置の制動用ローラーの破片と思われる物が散乱していた。	-
かご戸	かご戸の駆動チェーンが外れており、手動でかご戸を開けることができない状態であった。	-
かご内	照明器具が脱落しかけていた。	11
	天井救出口の戸が落下していた。	12
かご上	かご上部鋼材が大きく損傷していた。	13

※<sup>2</sup> 一方が凹形、もう一方が凸形で噛み合う締結構造

※<sup>3</sup> 研磨加工によりボルト軸部の公差を厳密に管理したボルトであり、リーマ仕上げした穴に嵌め込んで使用する。ずれ止めや高度な位置決めができ、軸部のすき間がほとんど存在しないことからボルト軸部でせん断荷重を担う用途に使用される。

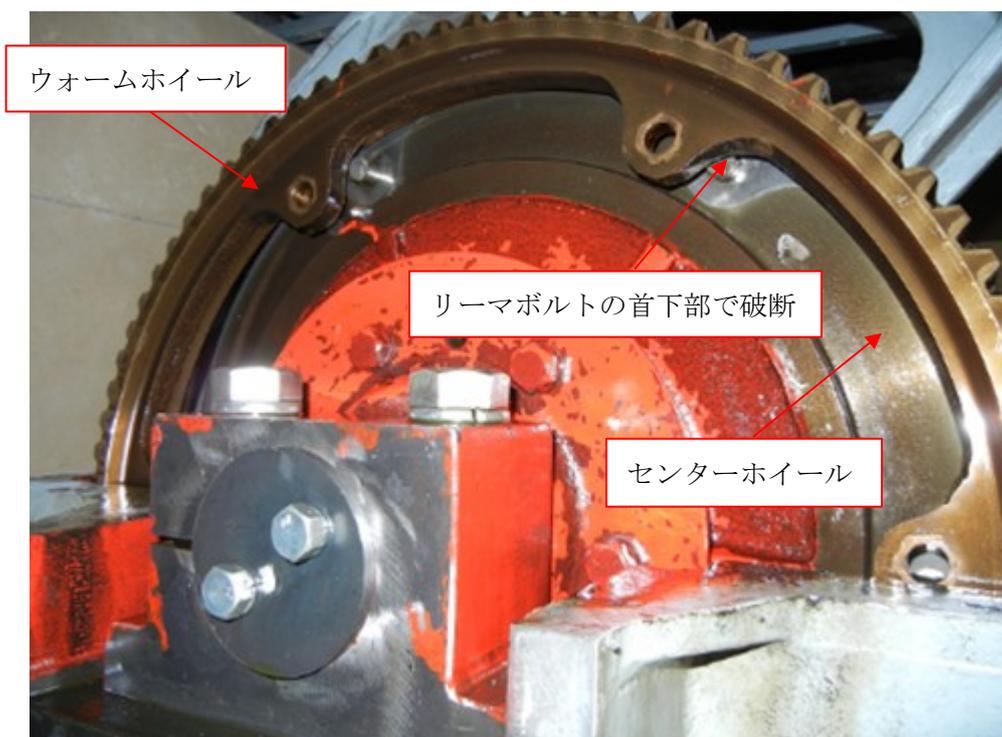


写真2 ウォームホイール正面

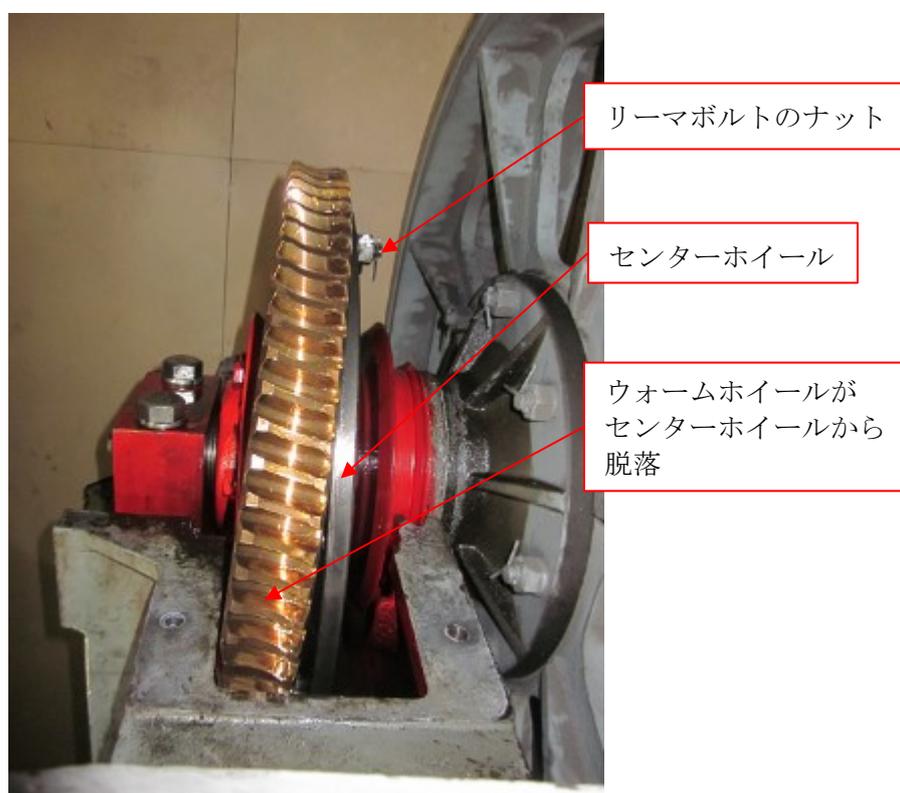


写真3 ウォームホイール側面

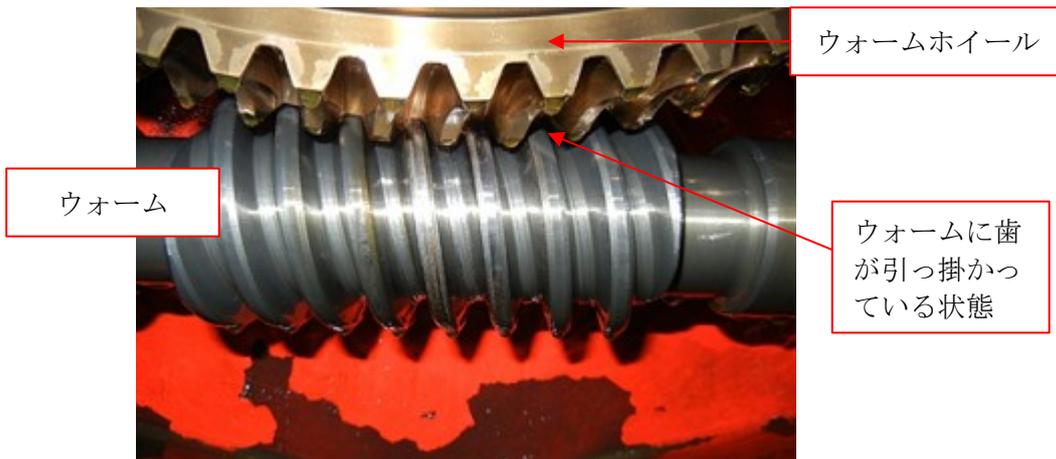


写真4 脱落したウォームホイールとウォームの状態



写真5 (参考) 正常時のウォームホイールとウォームの状態



写真6 破断したリーマボルト (6本中の1本)

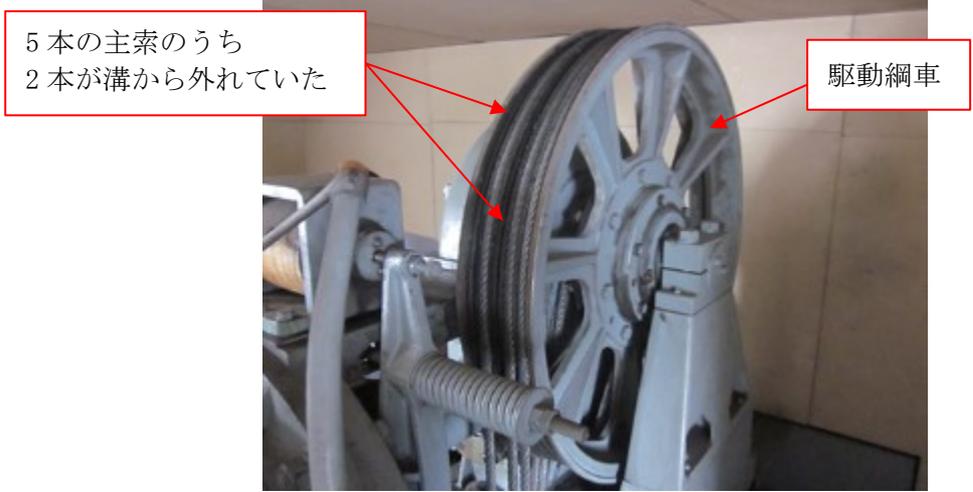


写真7 駆動綱車

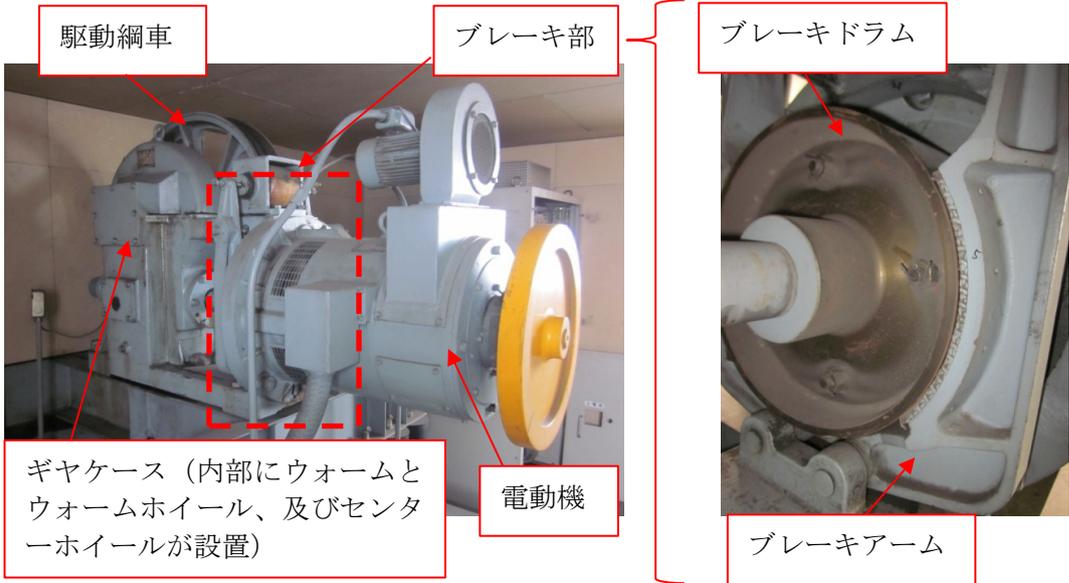


写真8 ブレーキ

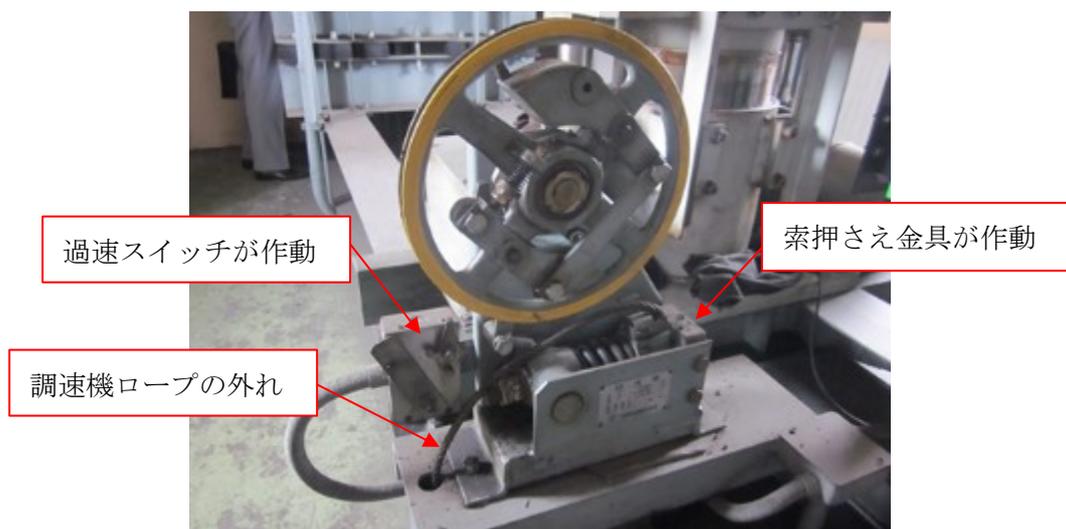


写真 9 调速機



写真 10 釣合おもり側ばね緩衝器



写真 11 かご内



写真 12 落下した天井救出口の戸



写真 13 かご上部

### 2.3.3 ウォームホイール及びセンターホイールの損傷状況に関する情報

製造業者において、事故機の巻上機を分解し、ウォームホイールを取り出して目視による外観確認及び寸法測定を行った（写真 14）。

なお、リーマボルトの頭部と接触する側を正面側（以下「正面側」という。）、センターホイールと接触する側を裏面側（以下「裏面側」という。）とし、リーマボルトを取り付ける穴（以下「リーマ穴部」という。）には No. 1～6 の順に番号が割り振られている。



(a) 正面側

(b) 裏面側

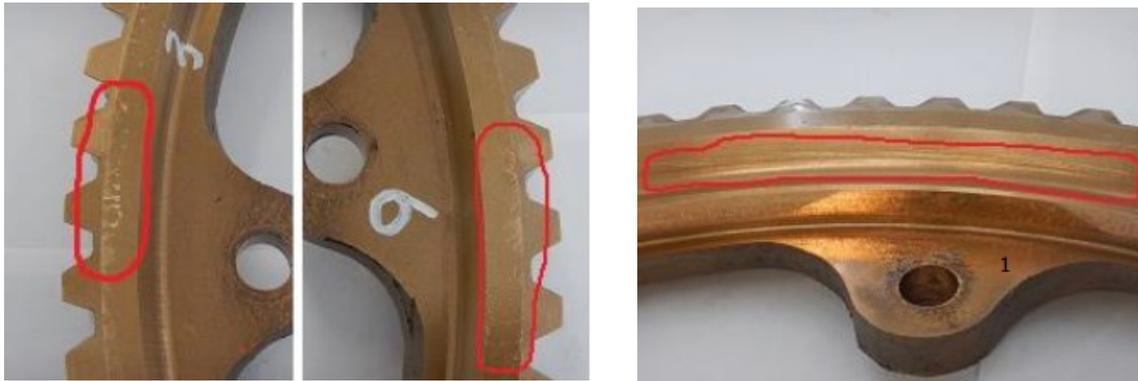
写真 14 ウォームホイールの外観

#### (1) ウォームホイールの外観確認

- ・正面側について、リーマ穴部 No. 3 及び No. 6 付近の円周上の 2 箇所にて擦過痕が見られた（写真 15 (a)）。裏面側について、No. 1 付近の側面円周上の 1 箇所に帯状に擦過痕が見られた（写真 15 (b)）。その他の箇所については目立った傷は見られなかった。比較のために調査した同型機については、傷は見られなかった。
- ・歯面について、リーマ穴部 No. 4 近傍の歯底 8 箇所の角部に、通常の歯車製造工程では付かない傷（角が押しつぶされたような形状）が見られた（写真 16）。また、リーマ穴部 No. 4～5 間を除くほぼ全周において、歯面頂上の一部に欠損痕と片側歯面に擦過痕（圧痕）が見られた。欠損痕と擦過痕は正面側から見て奥側（裏面側）のみに見られ、大きさや形状は一様ではなかった（写真 17）。比較した同型機については、傷や欠損痕は見られなかった。

- ・リーマ穴部について、裏面側の各穴にピット痕<sup>※4</sup>が見られた。特に、リーマ穴部 No. 4 の端部には押し広げられた痕が見られた（写真 18）。同型機については、ピット痕やその他の傷は見られなかった。

※4 過大な接触応力の繰り返しによる剥離損傷により発生する斑点状の痕



(a) 正面側

(b) 裏面側

写真 15 ウォームホイールの円周上の擦過痕

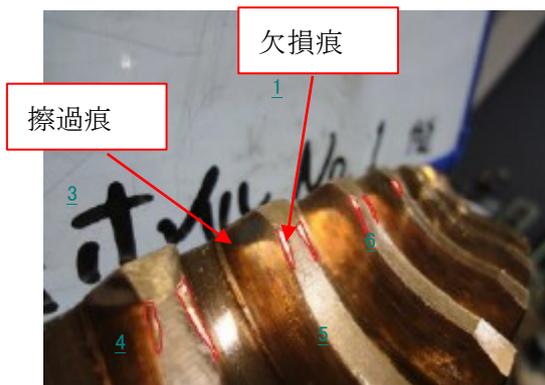


(a) 押し潰され痕



(b) 押し潰され痕の範囲 (正面側)

写真 16 歯底角部の押し潰され痕



(a) 欠損痕と擦過痕



(b) 欠損痕と擦過痕の範囲 (正面側)

写真 17 歯面頂部の欠損痕と擦過痕



(a) 事故機



(b) 同型機 (比較)

写真 18 ウォームホイールのリーマ穴部の外観 (裏面側)



(a) 事故機



(b) 同型機 (比較)

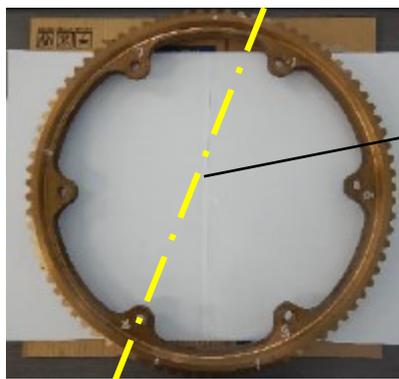
写真 19 センターホイールのリーマ穴部の外観

(2) センターホイールの外観確認

- ・ウォームホイール側の各穴にピッティング痕が見られた（写真 19）。比較した同型機については、ウォームホイール同様、ピッティング痕やその他の傷は見られなかった。

(3) ウォームホイール及びセンターホイールの寸法測定

- ・ウォームホイールの正面側から見て、リーマ穴部 No. 1 近傍と No. 4 を結んだ線を谷とする谷折りの塑性変形が生じていた（写真 20）。ウォームホイールをセンターホイールに装着すると、No. 2～3 付近及び No. 5～6 付近で密着面に最大 0.2mm のすき間ができた。比較した同型機については、このような塑性変形は見られなかった。
- ・ウォームホイール、センターホイールにおける全てのリーマ穴部の内径を測定したところ、穴径設計値（基準値）が  $\phi 14.000\text{mm}$ ～ $\phi 14.027\text{mm}$  に対し、全て基準値を超過しており、その値はウォームホイール側で最大  $\phi 14.305\text{mm}$ 、センターホイール側で最大  $\phi 14.210\text{mm}$  であった。リーマ穴部は楕円形に塑性変形しており、全体的に円周方向の広がりが顕著であった。また、ウォームホイールのリーマ穴部は奥側に向かって、センターホイールのリーマ穴部は表側に向かって、それぞれ広がる形で広がっているものが多かった。



黄線を谷とする谷折りの塑性変形が見られる

写真 20 ウォームホイールの塑性変形の状況

## 2.4 事故機の使用状況等に関する情報

### 2.4.1 事故機の使用状況に関する情報

- ・事故機が設置されている建築物は地上5階建ての倉庫であり、事故機を含めて5台の荷物用エレベーターが設置されている（事故当時、5台全て同型機であった。）。
- ・本建築物は複数の業者が利用しており、それぞれのエレベーターに対し使用することのできる業者が割り当てられている。また、本建築物は事故発生時点で竣工後25年が経過していたが、事故発生までに利用してきた業者は様々であり、所有者自体も竣工当時から変更されていた。
- ・事故発生時に当該事故機を使用していた業者は、事故機を含む3～5号機を使用していた。
- ・事故機には、過荷重検知装置<sup>※5</sup>は設置されていなかった。
- ・事故機は、フォークリフトによる荷物の積み下ろしを行うことを前提としたローディングClass C2<sup>※6</sup>（以下「C2ローディング」という。）仕様とはなっていない。
- ・事故機は、かご内に「乗用禁止」及び「積載荷重3,000kg」の掲示がされていたが、フォークリフト等の使用に関する注意喚起の表示は行っていなかった。

※5 定格積載量の1.1倍を超えた荷重が作用した場合に警報を発し、かつ、出入口の戸の閉鎖を自動的に制止する装置。乗用エレベーター又は寝台用エレベーターにあつては、建築基準法施行令第129条の10第3項第4号のイにおいて、過荷重検知装置の設置を義務付けている。

※6 かご内への荷物の積み下ろし時のみにフォークリフトが乗り込む荷物用エレベーターの積載条件で、かご内への荷物の積み下ろし時に、フォークリフト等がかごに荷重をかけることを想定して、定格積載量の1.5倍の荷重を上限に設計する仕様。建築基準法令においても、同趣旨の規定がある。

### 2.4.2 事故機の保守及び故障対応に関する情報

#### (1) 三精テクノロジーズによる保守期間

三精テクノロジーズによれば、同社の保守期間における状況等は以下のとおりであったとのことである。

- ・使用開始（平成元年5月）から平成10年5月までの約9年間、事故機を含む建築物内の5台の荷物用エレベーター全てについて、製造業者である三精テクノロジーズが保守を実施していた。
- ・事故機について、故障による呼び出し対応や修理対応は約9年間で40件あった。

- かごが停止した不具合でサーマルリレー<sup>※7</sup>の作動が認められたものは2件あり、このうち1件については、かご内にフォークリフトが2台乗っていたことが原因であった。なお、製造業者である同社によると、事故機については、積載荷重が6,760kg超相当の電流が検知された場合にサーマルリレーが作動する設計であったとのことである。
- ドアの変形や光電管の損傷などの事例は18件あった。
- 当時の担当者によれば、事故機はかご両出口（貫通型）であり、かごをフォークリフトの通路として使用していたこともあったのではないかとのことである。

※7 電動機に流れる電流の過大状態を検出し、電源を遮断することで電動機を過負荷による発熱から保護する機構。積載荷重が定格積載量を大きく超過すると電動機に過電流が流れ、この過電流を検出することで電源を遮断する。

## (2) 昭和エレベーター株式会社による保守期間

昭和エレベーター株式会社によれば、同社の保守期間における状況等は以下のとおりであったとのことである。

- 平成10年6月から平成20年2月までの約10年間、事故機を含む建築物内の5台の荷物用エレベーター全てについて保守を実施していた。
- 事故機について、故障による呼び出し対応や修理対応は約10年間で41件あった。
- かごが停止した不具合において、サーマルリレーの作動が認められたものは3件あった。
- ドアの変形や光電管の損傷などの事例は13件あった。
- かごの筋交い（タイロッド）の破損による交換が3件あった。

## (3) トヨタビルテクノサービスによる保守期間

事故発生時に保守を実施していたトヨタビルテクノサービスによれば、同社の保守期間における状況等は以下のとおりであったとのことである。

- 平成20年3月から事故発生時（平成25年9月）までの約5年間、事故機を含む建築物内の5台の荷物用エレベーター全てについて保守を実施していた。
- 事故機について、故障による呼び出し対応や修理対応は約5年間で34件あった。
- かごが停止した不具合において、サーマルリレーの作動が認められたものは1件あった。
- ドアの変形や光電管の損傷などの事例は9件あった。

- ・過積載での使用が確認された場合、管理者及び業者（利用者）に過積載で使わないよう口頭で注意喚起を行っていた。

## 2.5 事故機の巻上機に関する情報

### 2.5.1 巻上機の構造に関する情報

- ・電動機の駆動トルクがブレーキドラムを介してウォームギヤによりウォームからウォームホイールに伝わり、センターホイールを介して綱車軸に伝わり、駆動綱車を回転させる構造である（写真 21）。
- ・ブレーキドラムは両側からブレーキアームで押さえる構造である（図 2）。
- ・本電動機の駆動トルクは、回転子がロックされた時に最大  $320\text{N}\cdot\text{m}$  程度発生する（定格トルクは  $105\text{N}\cdot\text{m}$  である。）。

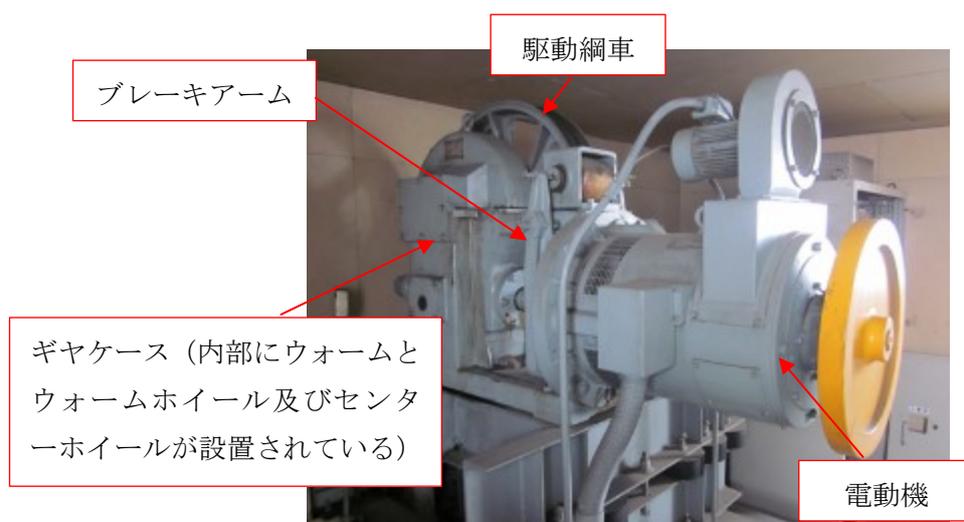


写真 21 事故機の巻上機

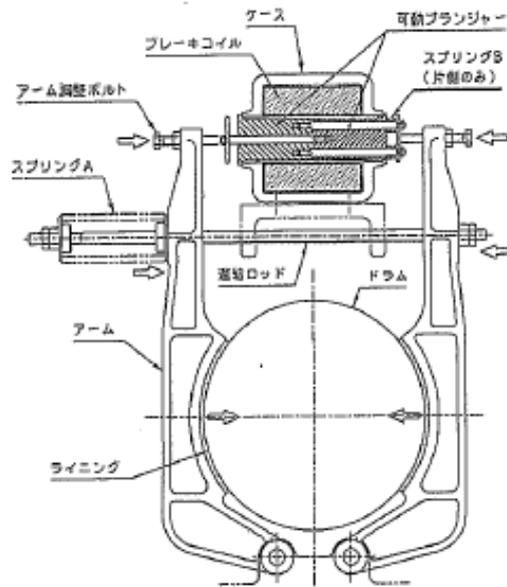


図2 ブレーキ構造

#### 2.5.2 ウォームギヤの構造に関する情報

- ・事故機の巻上機の概略構造及び諸元を図3、図4に示す。
- ・ウォームギヤは、りん青銅製のウォームホイールとねずみ鋳鉄（FC250）製のセンターホイールを6本のリーマボルトで締結する構造となっている。

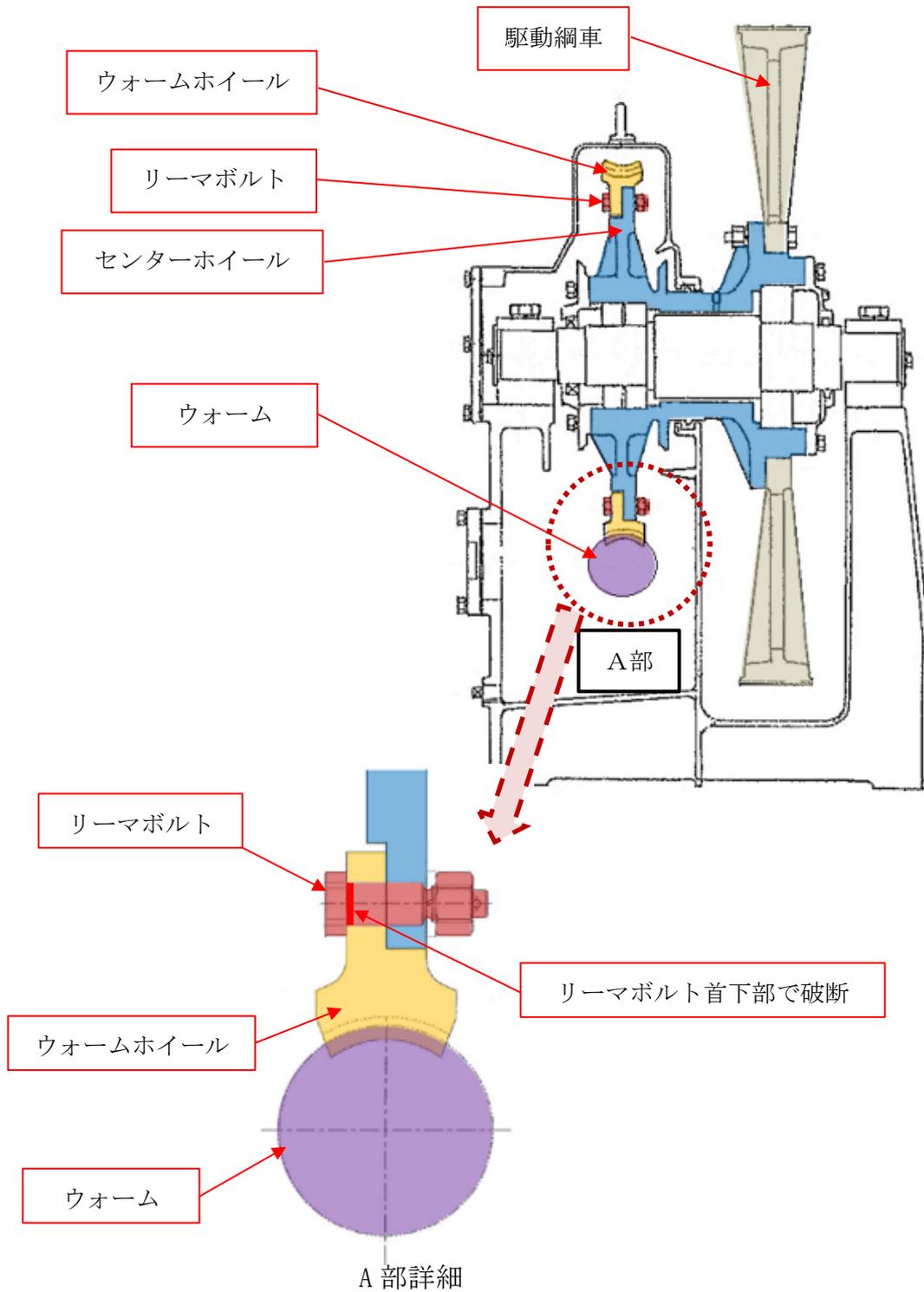


図3 巻上機断面

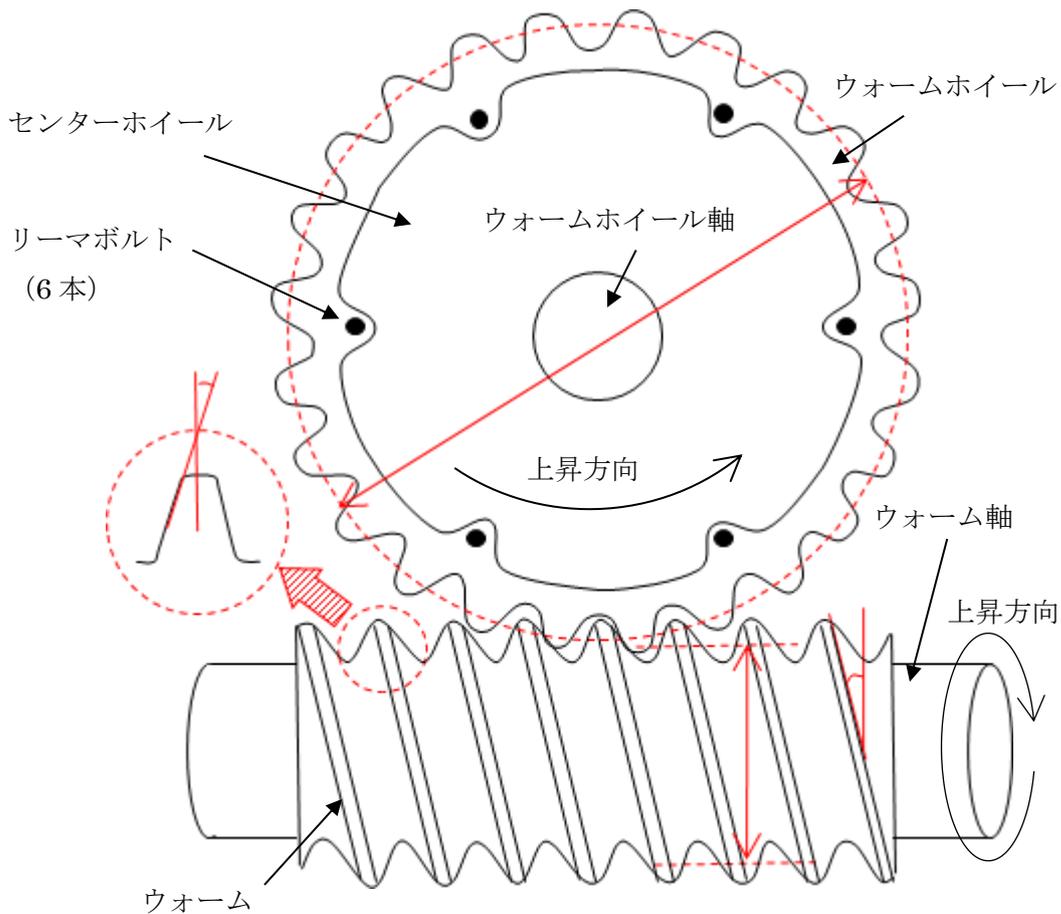


図4 巻上機ウォームギヤ概略図

### 2.5.3 ウォームギヤにかかる軸方向力について

- ウォームギヤは、ウォーム軸とウォームホイール軸が 90 度交差する構造となっており、ウォームギヤが回転する際には、それぞれが接する点(面)に、接線力及び軸方向力がかかる。
- 右ねじれウォームである事故機において、かごの加減速時にウォームとウォームホイールにかかる力の向きを図5に示す。
- リーマボルトに引張応力がかかるのは、ウォームホイール軸方向力  $T_2$  がセンターホイールから離れる方向にかかる時であるため、下降方向加速時又は上昇方向減速時に引張応力がかかることとなる。
- また、この場合、ウォームとの摩擦摺動により生ずるウォームホイールの軸方向力とウォームに近いリーマボルト軸が偏心しているため、リーマボルトの頭部には曲げ応力がかかることとなる。

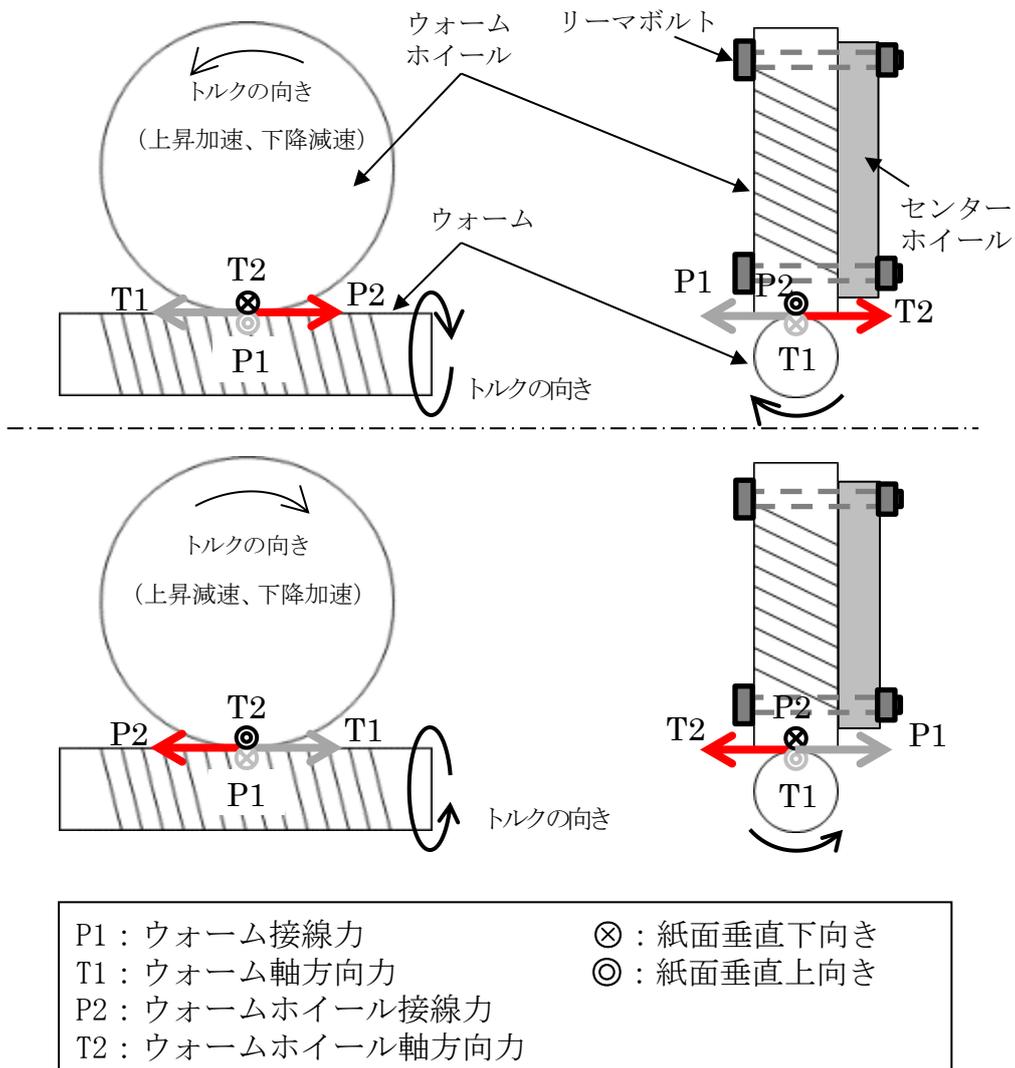


図5 右ねじれウォームギヤのウォーム及びウォームホイールに働く力

#### 2.5.4 ウォームホイールについて

- ・当該機のウォームホイールのリーマボルト穴付近の歯3か所ずつ、それぞれ2点（正面側、裏面側）の歯厚を測定した（図6）。尚、測定箇所はそれぞれ歯先から7mmの位置である。
- ・歯厚測定したところ、正面側の歯の摩耗は均一であったが裏面側（センターホイール嵌め合い側）の歯は正面側より摩耗が進んでおり、かつ均一ではなかった。
- ・No.4穴付近の歯の摩耗が他よりも大きい。A、B、C（図7）それぞれの平均摩耗量と最大摩耗量、バックラッシュ量<sup>※8</sup>は表2の通りである。  
 ※8 製造業者によるとバックラッシュの設計値は0.2mmである。平均摩耗量に0.2mmを加えた値をバックラッシュ量とする。

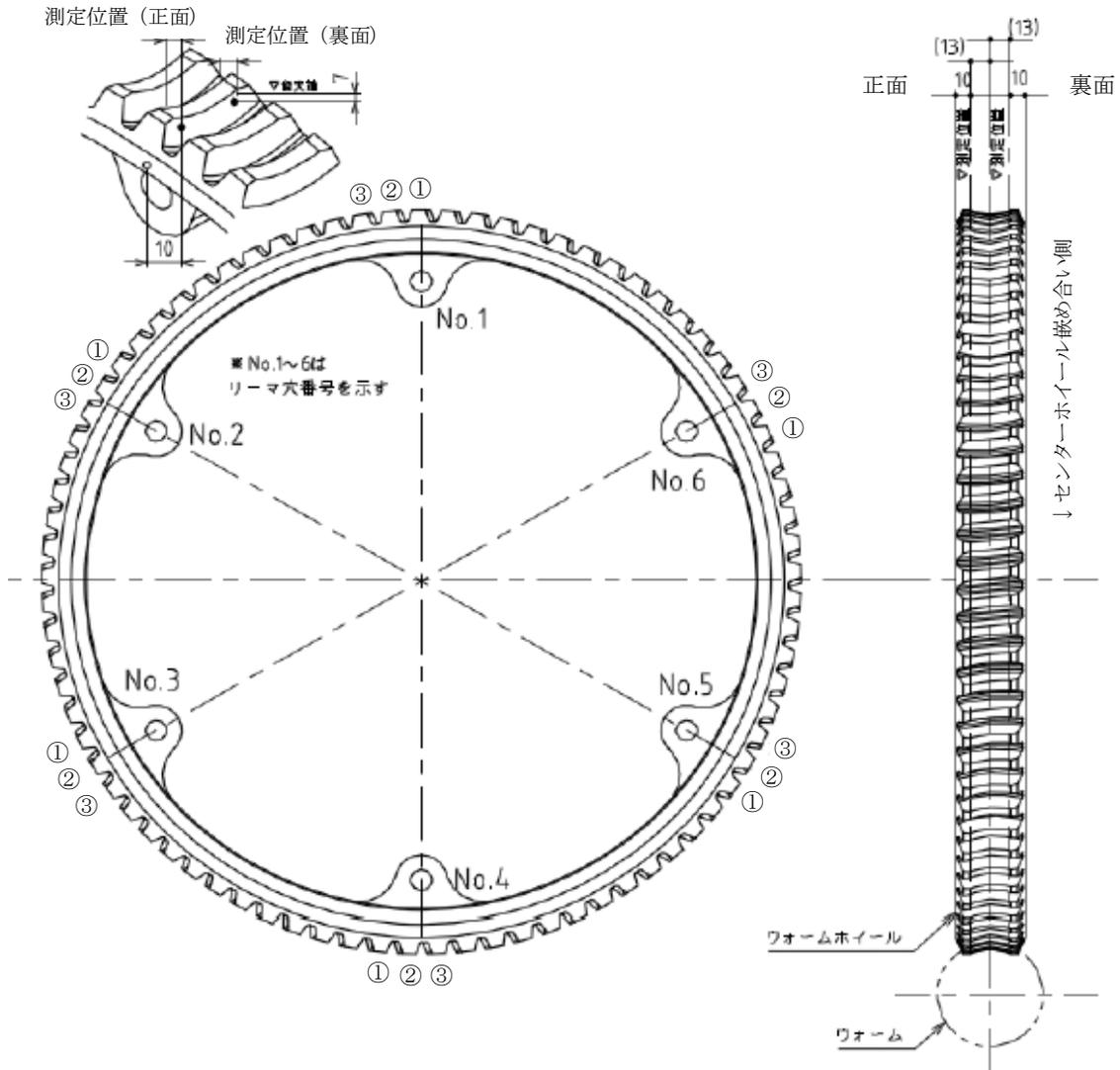


図6 歯厚測定箇所 (全体)

表2 歯の摩耗量とバックラッシュ量

	平均摩耗量 [mm]	最大摩耗量 [mm]	バックラッシュ 量 [mm]
A 寸法	0.90	1.41	1.10
B 寸法	0.82	1.53	1.02
C 寸法	0.61	1.02	0.81

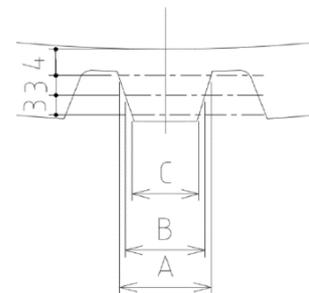


図7 歯厚測定箇所(No.4 穴付近)

## 2.6 リーマボルトに関する情報

### 2.6.1 リーマボルトの形状及び材質に関する情報

- ・製造業者である三精テクノロジーズによれば、設計上のリーマボルトは、M12×46、材質 C52 棒鋼、差し込み軸径 14mm であるとのことである。

### 2.6.2 分析機関による破断したリーマボルトの調査結果に関する情報

破断した 6 本のリーマボルトについて、製造業者が分析機関に依頼して得た調査結果を以下に示す。

#### (1) 成分分析

- ・成分分析の結果、破断したリーマボルトの測定結果は、JIS G 4051:2016（機械構造用炭素鋼鋼材）の S45C 及び S48C の規格値内であり、炭素鋼であると考えられる。

#### (2) 外観観察

- ・6 本のリーマボルトの全てにおいて、破断部は首下部直下で、軸方向に対し垂直に破断していた（写真 22）。
- ・破面のマクロ観察より曲げ応力により破壊が進行した様子が見られた。



写真 22 破断したリーマボルト全景

### (3) 破面の走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察

- 外観観察から最終破断面積が最も小さいと考えられたリーマ穴部 No. 4 のリーマボルト<sup>※9</sup>について、破面の走査型電子顕微鏡 (以下「SEM」という。) 観察を行った (写真 23)。

※9 後にすべてのリーマボルトについて、SEM 観察により最終破断面積を測定した結果、(4)の通り、No. 6 のリーマボルトの最終破断面積が最小であった。

- SEM による破面観察より、表層部には複数の段差が確認されたことから、複数起点があったことを示唆している (写真 24、写真 25)。
- 進展部には疲労破壊時に見られるストライエーション模様が確認された (写真 26、写真 27)。
- 最終破断部は延性破壊時に見られるディンプル模様が確認され、その面積は  $2.86\text{mm}^2$  であった (写真 28)。

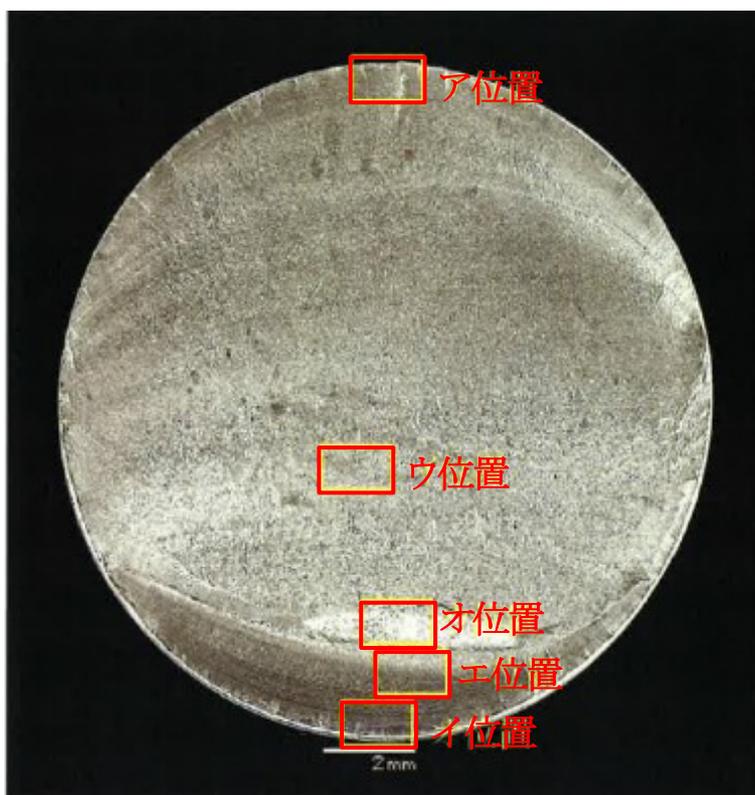


写真 23 破断したリーマボルト断面 (SEM 観察)

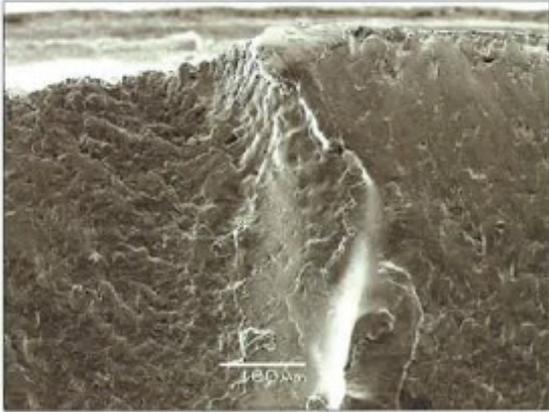


写真 24 表層部（ア位置）拡大

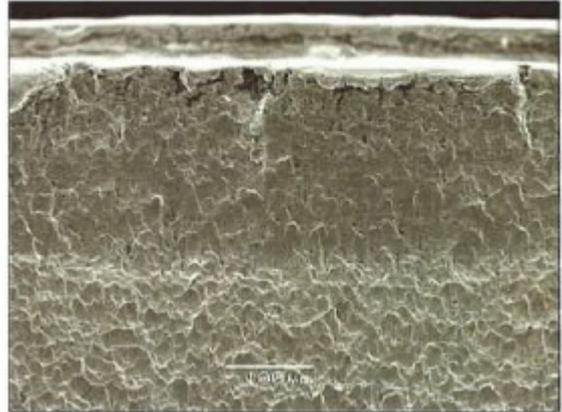


写真 25 表層部（イ位置）拡大

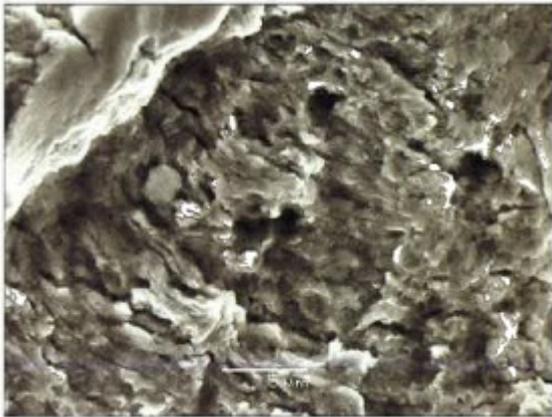


写真 26 進展部（ウ位置）拡大

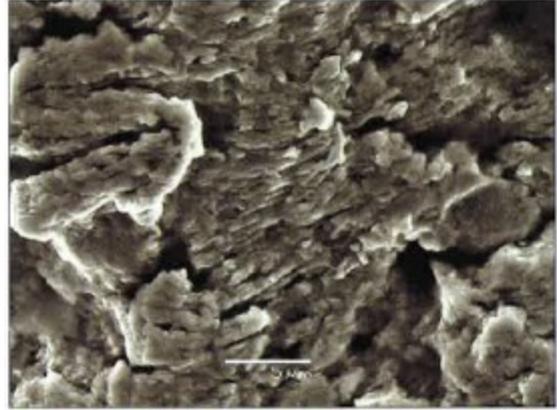


写真 27 進展部（エ位置）拡大

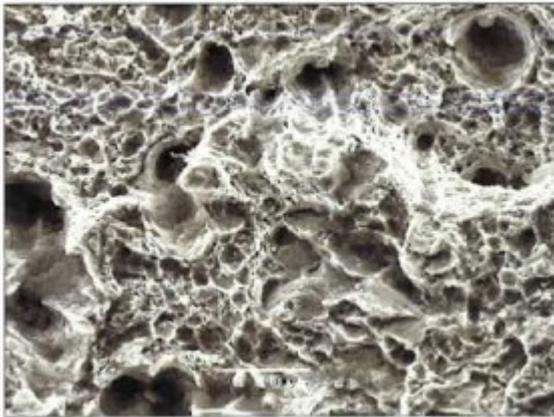


写真 28 最終破断部（オ位置）拡大

#### (4) 最終破断面積

- 破面の SEM 観察により測定した 6 本のリーマボルトの最終破断面積は表 3 の通りである。

表 3 リーマボルトの最終破断面積

ボルト No.	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
最終破断面積	5.29mm <sup>2</sup>	5.41mm <sup>2</sup>	4.95mm <sup>2</sup>	2.86mm <sup>2</sup>	6.38mm <sup>2</sup>	2.11mm <sup>2</sup>

#### (5) 硬さ試験と破断荷重

- (3) で SEM 観察を行ったリーマボルトについて、破面ロックウェル硬さ (HRC) 試験を行ったところ、硬さは平均 23HRC 程度であった。
- SAE J 417 (硬さ換算表) に基づき、硬さを引張強さに換算すると、破断したリーマボルトの引張強さは約 800MPa と推定される。
- 全てのリーマボルトの引張強さが同じと仮定して、表 3 の最終破断面の面積から 6 本のリーマボルトについて破断荷重を算定すると表 4 のようになる。

表 4 リーマボルトの破断荷重 (推定<sup>※10</sup>)

ボルト No.	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
破断荷重	4,232N	4,328N	3,960N	2,288N	5,104N	1,688N

※10 引張強さを 800MPa と仮定して算定

#### 2.6.3 製造業者によるリーマボルトの調査結果に関する情報

- 製造業者において、リーマボルト軸部の外径寸法の測定や外観の観察を行った結果、破断部以外に著しい変形、せん断き裂や傷等もなく、リーマ穴部とリーマボルト直径との著しいすき間はなかったと判断できるとのことであった。

#### 2.7 事故機の制御機器の部品に関する情報

- 製造業者において制御機器の部品について調査したところ、異常箇所はなかった。
- 電磁接触器の製造業者によれば、電磁接触器について塵埃の付着があり、接点のコンタクトポイントへの付着によって接触不良発生の可能性が考えられるとのことであった。

## 2.8 事故機と同型の巻上機に関する情報

### 2.8.1 同型巻上機の点検結果に関する情報

- ・製造業者によると、事故機で使われていた TL60 型巻上機（以下「同型巻上機」という。）を使用したエレベーターは昭和 48 年から平成 7 年の約 23 年間で全国に 125 台設置された。
- ・事故当時、同型巻上機を使用したエレベーターは事故機を除き 96 台存在しており、製造業者において、この 96 台のリーマボルトについて、リーマボルトの頭の不具合（脱落）やねじ緩み（回転しないか）を目視と触診で確認した結果、全て良好な状態であったとのことである。

### 2.8.2 同型機のリーマボルトの非破壊検査に関する情報

- ・製造業者において、事故機が入っていた建物と同様、別の物流施設に荷物用エレベーターとして設置された同型機 4 台のリーマボルトを各機 1 本抽出し、分析機関に依頼して調査を行った結果、割れや傷は認められなかった。

## 3 分析

### 3.1 リーマボルトの破断に関する分析

#### 3.1.1 利用状況及び過積載に関する分析

- ・2.4.1 及び 2.4.2 より、事故機は C2 ローディング仕様とはなっていないが、サーマルリレーの作動状況やドアの変形や光電管の損傷状況などから、荷物の積み下ろしの際にフォークリフトがかご内に乗り込むなど、定格積載量 3,000kg を超える過積載状態でエレベーターが運行されていたと推定される。
- ・2.3.3 の (1) (2) に示したように、事故機のウォームホイール及びセンターホイールについて、リーマ穴部にピッチング痕が見られた一方で、同建築物内の同型機では見られなかったことから、事故機のウォームホイールとセンターホイールにはこれら同型機に比べて大きな接触応力が繰り返し生じていたと推定される。2.5.3 で示したように、かごの加減速時にはウォームホイールには軸方向の荷重が作用することから、事故機においてフォークリフトの乗り降りや過積載状態での運行が繰り返されたことにより、ウォームホイールとセンターホイールの上に押し付け方向に大きな応力がかかったものと考えられる。

### 3.1.2 リーマボルトの破断に至る要因の分析

- 2.6.2の(3)に示したように、リーマボルトの破面における破壊の進展部には、疲労破壊時に見られるストライエーション模様が見られたことから、リーマボルトは事故発生日以前より疲労劣化しており、破断に至ったのは疲労破壊によるものと認められる。
- リーマボルトの破断については、2.6.2に示したように、ウォームホイールとセンターホイールの接触面の位置ではなく、その首下部の位置で生じていたことから、リーマボルトの頭部への曲げ荷重によるものと推定される。
- 2.5.3に示したように、かごの下降方向加速時又は上昇方向減速時に、リーマボルトの頭部には曲げ荷重がかかると推定される。
- 事故機ではフォークリフトを使用した荷物の積み下ろしや過積載があったと認められ、その結果、ウォームホイールに定格トルクを大きく超えるトルクや衝撃的な変動トルクが生じ、ウォーム近傍のリーマボルトの頭部に大きな曲げ荷重が繰り返しかかることで、リーマボルトに金属疲労に至るき裂が入り、き裂の入った部分の応力度が大きくなることで、さらに金属疲労が進行しき裂が順次進展したものと考えられる。
- 2.6.2の(5)より、事故機のリーマボルトが破断に至った際に作用した荷重はそれぞれ1,688Nから5,104Nと推定されることから順次リーマボルトが破断し、事故発生時には5,104Nを超える引張力がボルト頭に作用したことにより、6本全てのリーマボルトが破断したものと考えられる。

### 3.1.3 リーマボルトにき裂が生じる要因の分析

- き裂が生じると考えられる降伏点以上の応力がリーマボルトの首下部に発生するには、ボルト頭部引張力がどの程度必要かを製造業者により有限要素法解析(FEM解析)にて計算を行ったところ、9,800Nの引張力がボルト頭部に作用すると降伏点以上の応力が生じるとのことである(この時に生じるトルクは12,000N・m)。
- フォークリフト等によりかご内積載物を一気に降車した際、瞬間的にかごが浮き上がり釣合おもり側に主索が引っ張られ、駆動綱車にトルクが生じるが、その値は製造業者の計算によると9,443N・mであった。
- 2.5.4に示したように、事故機のウォームホイールの歯の摩耗が確認されたことから、事故機はバックラッシュが大きくなっており、バックラッシュが大きくなった結果、フォークリフト等によって積載物が一気に降車した際に衝撃力<sup>\*11</sup>が作用するようになり、リーマボルトの降伏点以上の応力が発生し、き裂が生じたと考えられる。

※11 製造業者による等価的な実機試験においてはバックラッシュの増大により衝撃トルクは1.73倍以上となっていたことから、これを1.5倍としても12,000N・mを上回るトルクが作用していたものと推定される。

### 3.2 ウォームホイールの傷に関する分析

- ・2.3.3の(1)に示すように、ウォームホイールのリーマ穴部No.4付近の歯底に押し潰された痕が生じている。
- ・通常運転時についてのものであれば、他のリーマ穴部付近にも同様の痕が見られるはずであるが、痕がついているのはNo.4付近のみに限られていること、また、ウォームホイールの奥側の歯底の角部が押し潰されていることから、事故発生時にウォームホイールの歯底がウォームの歯の先端部を乗り越えたときに押し潰されて痕が生じたものと推定される。

### 3.3 事故発生時の運転状況に関する分析

#### 3.3.1 ウォームホイール脱落時の運転状況の検証

- ・ウォームホイール脱落時のかごの運転方向及び加減速の状況は、ウォームホイールにセンターホイールから外れる方向に軸方向の荷重が作用していることから、2.5.3に示すように、かご下降方向加速時またはかご上昇方向減速時のいずれかであると認められる。
- ・2.3.1において被害者は3階から1階に降りようとしていたこと、かごが昇降路頂部に突き上げたこと、2.3.2において過速スイッチが作動状態であったことを踏まえると、事故直前の運転状況から次の①または②のいずれかの時点においてウォームホイールが脱落したものと推定される。

#### ① 通常の下降運転時

被害者によるかご内操作盤の1階呼びに応じてブレーキが開放され、電動機に下降方向の動力が供給され、下降方向に加速したとき。

#### ② 不平衡荷重による上昇時の過速スイッチによるブレーキ作動時

被害者によるかご内操作盤の1階呼びに応じてブレーキが開放されたが、何らかの理由により電動機に動力が供給されず、釣合おもりとかごの荷重差(不平衡荷重)によりかごが上昇方向に加速した結果、過速スイッチが作動、そしてブレーキが作動して減速したとき。

- ・①通常の下降運転時では、残存していたリーマボルトは破断しないこと、また、電動機からウォームに伝えられるトルクではウォームギヤの構造からウォームホイールの歯がウォームを乗り越えられないことから、ウォームホイールは脱落しなかったと考えられる。
- ・一方、②不平衡荷重による上昇時の過速スイッチによるブレーキ作動時には、不平衡荷重によるかごの上昇に関わる高速化した慣性体の運動エネルギーを、ウォームホイールの歯と回転停止するウォームの歯の噛み合いで衝撃的に受け止めることとなるため、ウォームホイールにはセンターホイールから外れる方向に非常に大きな荷重がかかる。
- ・このため、ウォームホイールの脱落は、②不平衡荷重による上昇時の過速スイッチによるブレーキ作動時に生じたものと考えられる。

### 3.3.2 ウォームホイールの損傷状況等を踏まえた事故発生時の運転状況の検証

- ・写真 29 にウォームホイールの損傷状況とかご上昇時における回転方向をまとめたものを示す。

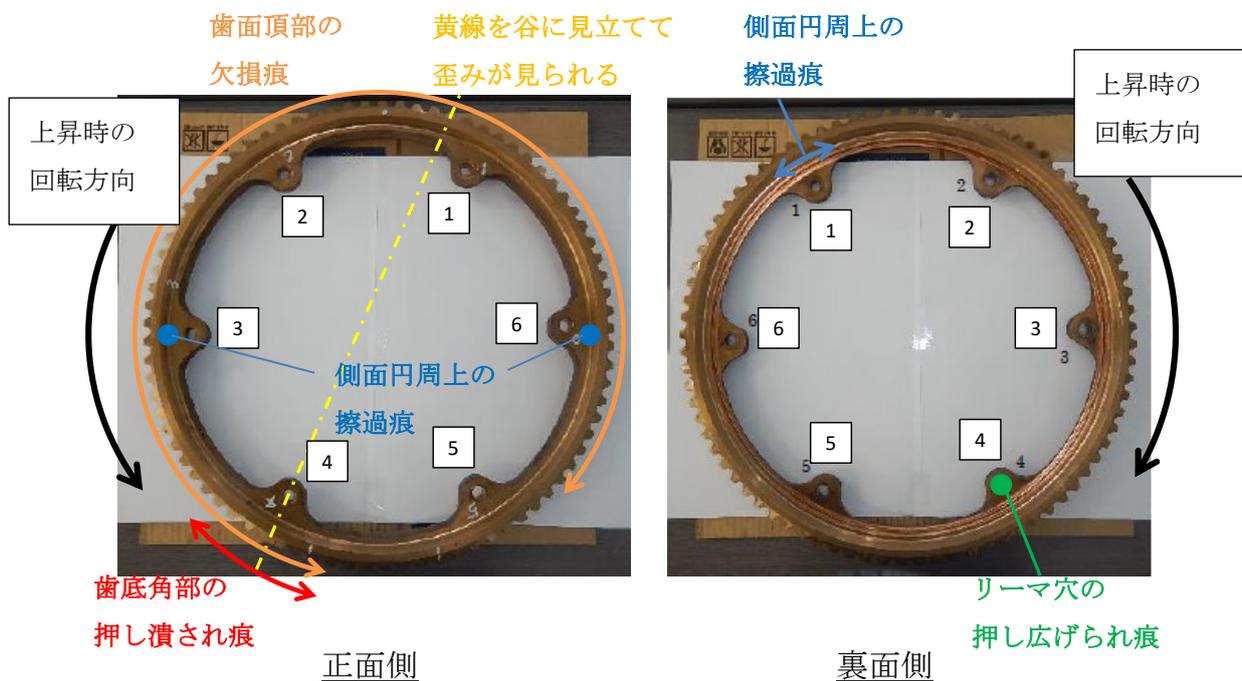


写真 29 ウォームホイールの損傷状況及び回転方向（まとめ）

・事実情報とこれまでの分析及び検証を踏まえ、事故発生時の運転状況と減速機の損傷状況などとの関係を以下に検証する。

- ① 2.4、2.6.2の(3)、3.1.2より、事故発生以前におけるエレベーターへのフォークリフトの乗り入れや過積載での運転により、リーマボルト首下部から疲労破壊が進展していたと推定される。  
ただし、2.6.2の(5)、3.1.3より、通常運転時には全てのリーマボルトが破断している状態ではなかったものと考えられる。
- ② 2.3.1、2.3.2、3.3.1より、被害者がかごに乗車後、不平衡荷重により、かごは上昇方向に非制御走行を開始し、加速したと推定される。かごの上昇速度が調速機の過速スイッチの作動速度に達したところで、過速により電動機の動力が遮断され、ブレーキが作動したと推定される。  
2.7より、非制御走行となったのは、被害者によるかご内操作盤の1階呼びに応じてブレーキが開放されたが、ごみ等の付着による一過性の接点の接触不良などにより電動機に動力が供給されない事象が生じたことによる可能性があると考えられる。
- ③ 3.3.1より、高速走行状態となったかごをブレーキで減速停止させようとしたが、ウォームホイールの慣性力が大きく、かつ、ブレーキの制動トルクが大きいと、ウォームホイールに軸方向の衝撃荷重がかかり、リーマ穴部 No. 4 のリーマボルトの頭部が破断し、ウォームホイールがウォームを乗り越えたものと考えられる。  
2.3.2、3.2より、この際にウォームホイールのリーマ穴部 No. 4 付近の歯がウォームに噛み合っており、乗り越え時に当該付近の歯の奥側の底角部がウォームの歯に押し潰されたものと推定される。  
また、2.3.3、2.6.2の(5)、3.1.3、3.3.1、図8より、ウォームホイールの一部のリーマボルトが残存している状態で、ウォームホイールに大きな荷重がかかり、塑性変形が生じた可能性があると考えられる。
- ④ 2.3.2、3.1.3より、リーマ穴部 No. 4 付近のリーマボルトの頭部が破断し、ウォームホイールがウォームから脱落した後も、ウォームホイールとセンターホイールは残存するリーマボルトにより繋がっていたため、回転を続け、かつ、図8のように歯が部分的に噛み合った状態でウォームを回そうとしたものと考えられる。

- ⑤ 2.3.3、および写真 29 より、ウォームホイールの回転により、残存するリーマボルトの頭部が次々と破断するとともに、リーマ穴部 No. 4 付近から時計回りに No. 5 付近までがウォームホイールがセンターホイールに噛み合っていたため、ウォームと噛み合っていた部分の歯面頂部と歯面に欠損痕と擦過痕がついたものと考えられる。

なお、2.3.3、写真 29、図 8 より、ウォームホイールの歯の底角部の損傷及び歯面等の欠損痕と擦過痕の位置関係からも、リーマボルトの破断が上昇運転の減速時に発生したものと考えられる。

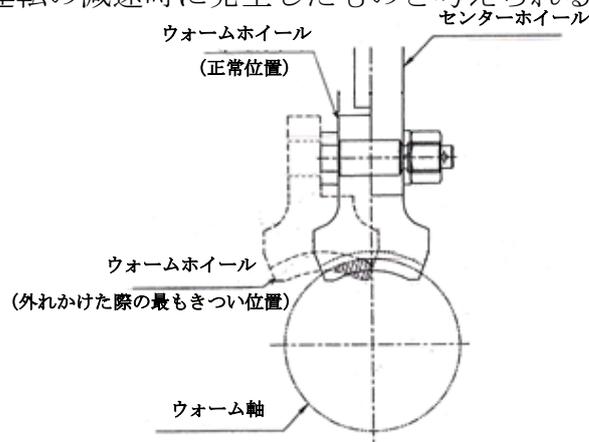


図 8 ウォームホイールのウォーム乗り越え時の歯の状況

- ⑥ 2.3.3、写真 29 より、リーマボルトの頭部が破断し、ウォームホイールがセンターホイールと離れながら回転がずれることにより、ウォームホイールのリーマ穴部の奥側とセンターホイールのリーマ穴部の正面側がリーマボルトの軸部に押し付けられ、リーマ穴部が楕円形に塑性変形したものと考えられる。

- ⑦ 2.3.3、写真 29 より、リーマ穴部 No. 5 付近の歯がウォームにかかる手前で、全てのリーマボルト軸部がリーマ穴部から外れることにより、ウォームホイールとセンターホイールとの嵌合が完全に外れ、センターホイールの回転力がウォームホイールに伝わらなくなり、ウォームホイールが停止したため、歯面頂部の欠損痕がリーマ穴部 No. 4～No. 5 の間につかなかったものと考えられる。

2.3.3、写真 29 より、この際に、ウォームホイールの裏面側 1 箇所（リーマ穴部 No. 1 付近）がセンターホイール端部に、表面側の 2 箇所（リーマ穴部 No. 3 と No. 6 付近）がギヤボックス側壁に擦れることにより、当該部分に擦過痕がついたものと考えられる。

- ⑧ 2.3.1、2.3.2 より、ウォームホイールがセンターホイールから脱落した結果、ブレーキの制動力トルクがセンターホイール及び綱車に伝わらなくなり、不平衡荷重によりかごが上昇し、釣合おもりが下降したと推測される。釣合おもりの底部がばね緩衝器に衝突し、ばね緩衝器を押し潰すとともに、かごが昇降路頂部に衝突したものと認められる。
- ⑨ 2.3.1 より、昇降路頂部に衝突した後、かごが自由落下し、非常止め装置が作動し、5階床上約200mmの位置で停止したと認められる。  
2.3.2 より、非常止め装置を作動させるための调速機の索押さえ金具が作動した際に调速機ロープが脱落したものと推定される。

## 4 原因

本事故は、被害者2名が5階建ての倉庫（物流施設）において3階から1階へ下りるためエレベーターのかごに乗車したところ、戸が閉まった後にかごが急上昇して昇降路頂部に衝突し、かご内の2名の身体がかご床から浮き上がり、天井部に頭部等を打ちつけ負傷したものである。

かごが急上昇したのは、減速機のウォームホイールとセンターホイールを締結していた6本のリーマボルトが首下部で破断したことにより、ウォームホイールがセンターホイールから脱落し、ブレーキの制動力を駆動綱車に伝えられなくなり、不平衡荷重による非制御走行となったものと推定される。

リーマボルトの破断に至ったのは疲労破壊によることが認められた。事故機は歯の摩耗に伴ってバックラッシュが大きくなっており、フォークリフト等により積載物が一気に降車した際にリーマボルトの首下部に衝撃力が生じるようになり、き裂が生じた。このき裂を起点に疲労劣化が進行したと考えられる。そして事故発生時にリーマボルトに残存する強度を超える荷重がかかったことにより破断したと考えられる。

このように事故発生以前にリーマボルトが疲労劣化していた原因としては、事故機がC2ローディング仕様になっていないにも関わらず、フォークリフトを使用した荷物の積み下ろしを行っていたことや、過積載状態で使用したことにより、大きな荷重や短時間に変動する荷重がリーマボルトに繰り返し作用していたことによるものと考えられる。

## 5 意見

- (1) 国土交通省は、フォークリフトの乗り入れが計画されていない荷物用エレベーター（以下「フォークリフト乗り入れ非対応エレベーター」という。）について、製造業者及び保守点検業者に対し、乗場戸への表示がされるようにする等により、定格積載量を遵守すること及びフォークリフトの乗り入れは行わないことを利用者に周知するよう指導すること。
- (2) 国土交通省は、フォークリフト乗り入れ非対応エレベーターのうち、ウォームギヤ式の巻上機を有するものについて、保守点検業者に対し、以下の事項を指導すること。

- ・所有者からの情報把握による利用実態やサーマルリレーの稼働状況等から、過積載やフォークリフトの乗り入れがあると推測されるものについては、定期検査時に加えて保守点検時にもウォームギヤの歯の状況の検査<sup>※12</sup>を確実に実施すること。

※12 昇降機 遊戯施設 定期検査業務基準書 2017年度版参照のこと

- ・上記の点検に際しては、異常音又は異常な振動が認められた場合は、歯の段差及び欠損について目視による確認又は測定を確実に実施すること。

## 6 （参考）当該事故機の関係者による対応

- ・建物所有者は当該事故機を撤去し、フォークリフトを使用した荷物の積み下ろしに対応した別の製造業者のエレベーターへの交換を実施した。その際に、エレベーターのドアに積載量 3,000kg である旨、フォークリフトと荷物を合わせた停止中の最大荷扱い量 4,500kg である旨等の掲示を行った。
- ・製造業者は、同型機を一斉点検し問題のないことを確認した上で、本建築物における事故機以外のもの（4台）及び製造業者が保守を行っておらず、かつフォークリフトを使用していると判明したもの（5台）については、事故後に新しいリーマボルトに交換した。
- ・製造業者から、同型機の所有者に対して適正な利用についての掲示又は注意喚起を行った。