

鉄道重大インシデント調査報告書

I 豊橋鉄道株式会社渥美線豊島駅～神戸駅間における鉄道重大インシデント

(「車両の走行装置、ブレーキ装置、電気装置、連結装置、運転保安設備等に列車の運転の安全に支障を及ぼす故障、損傷、破壊等が生じた事態」に係る鉄道重大インシデント)

II 九州旅客鉄道株式会社大村線彼杵駅～川棚駅間における鉄道重大インシデント

(「車両の走行装置、ブレーキ装置、電気装置、連結装置、運転保安設備等に列車の運転の安全に支障を及ぼす故障、損傷、破壊等が生じた事態」に係る鉄道重大インシデント)

III 長崎電気軌道株式会社大浦支線大浦海岸通り停留場～大浦天主堂下停留場間における鉄道重大インシデント

(「本線路を運転する車両が停止信号を冒進し、他の車両の進路を支障した事態」及び軌道事故等報告規則第2条第7号の「前各号に掲げる事態に準ずる事態」に係る鉄道重大インシデント)

平成22年10月29日

運輸安全委員会

本報告書の調査は、本件鉄道重大インシデントに関し、運輸安全委員会設置法に基づき、運輸安全委員会により、鉄道事故等の防止に寄与することを目的として行われたものであり、本事案の責任を問うために行われたものではない。

運輸安全委員会
委員長 後藤 昇 弘

《参 考》

本報告書本文中に用いる分析の結果を表す用語の取扱いについて

本報告書の本文中「3 分 析」に用いる分析の結果を表す用語は、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」

II 九州旅客鉄道株式会社大村線彼杵駅～川棚駅間における鉄道重大インシデント

(「車両の走行装置、ブレーキ装置、電気装置、連結装置、運転保安設備等に列車の運転の安全に支障を及ぼす故障、損傷、破壊等が生じた事態」に係る鉄道重大インシデント)

鉄道重大インシデント調査報告書

鉄道事業者名：九州旅客鉄道株式会社

インシデント種類：車両障害（鉄道事故等報告規則第4条第1項第8号の「車両の走行装置、ブレーキ装置、電気装置、連結装置、運転保安設備等に列車の運転の安全に支障を及ぼす故障、損傷、破壊等が生じた事態」に係る鉄道重大インシデント）

発生日時：平成21年12月5日 15時32分ごろ

発生場所：長崎県東彼杵郡東彼杵町
大村線 彼杵駅^{そのぎ}～川棚駅間^{かわたな}（単線）
早岐駅^{はいき}起点15k680m付近

平成22年9月27日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長	後藤昇弘
委員	松本陽（部会長）
委員	中川聡子
委員	石川敏行
委員	宮本昌幸
委員	富井規雄

目 次

1	鉄道重大インシデント調査の経過	1
1.1	鉄道重大インシデントの概要	1
1.2	鉄道重大インシデント調査の概要	1
1.2.1	調査組織	1
1.2.2	調査の実施時期	1
1.2.3	原因関係者からの意見聴取	1
2	事実情報	2
2.1	運行の経過	2
2.2	鉄道施設に関する情報	4
2.3	車両に関する情報	4
2.3.1	車両の概要及び検査履歴等に関する情報	4
2.3.2	ドア及び戸閉め機械の構造等に関する情報	6
2.3.3	ドア開閉の仕組み	7
2.3.4	戸閉めスイッチの作動と戸閉め表示灯及び変速機の仕組み	7
2.3.5	接手ねじの強度に関する情報	8
2.3.6	本件車両の運行範囲とドアの開閉頻度	8
2.4	本件ドア及び戸閉め機械に関する調査	8
2.4.1	本件ドアの調査	8
2.4.2	本件戸閉め機械の分解調査	9
2.4.3	破断面の電子顕微鏡による観察	9
2.5	接手ねじに発生する応力の測定	10
2.5.1	通常の実装状態におけるドア開閉時の状況	11
2.5.2	戸閉め機械をL下R上となるように取り付けた場合	12
2.5.3	戸閉め機械をL上R下となるように取り付けた場合	12
2.5.4	ドアに物を挟んだ場合	12
2.5.5	二又のピン取付穴を縦方向に拡大した場合	13
2.5.6	戸吊り金具のピン取付穴の摩耗部分を削正した場合の状況	13
2.6	戸吊り金具のa寸法及びb寸法に関する調査	13
2.6.1	本件ドア以外のa寸法及びb寸法に関する情報	13
2.6.2	定期検査におけるドア及び戸閉め機械の取付作業の状況	15
2.7	本重大インシデントと類似の事象についての情報	16
2.7.1	鹿児島線で発生した事象	16
2.7.2	日南線で発生した事象	16

2.7.3	接手ねじの形状変更について.....	16
2.7.4	ピストン棒の取替実績.....	17
2.8	接手ねじの材料に関する情報.....	17
2.8.1	接手ねじに使用されていた材料.....	17
2.8.2	破断した接手ねじの化学成分.....	18
2.8.3	硫黄快削鋼に関する情報.....	18
2.8.4	硫黄快削鋼の引張試験.....	19
2.8.5	SS400に関する情報.....	19
2.9	金属材料の疲労に関する情報.....	19
2.10	接手ねじが破断するまでの期間に関する情報.....	20
2.11	乗務員に関する情報.....	20
2.12	気象に関する情報.....	20
2.13	戸閉め機械の設計経緯と接手ねじの破断に関する経過.....	20
3	分析.....	21
3.1	走行中にドアが開いた状況に関する分析.....	21
3.2	本件接手ねじの破断等に関する分析.....	22
3.2.1	破断面の様相に関する分析.....	22
3.2.2	材料に関する分析.....	22
3.3	接手ねじに発生する応力の測定結果に関する分析.....	22
3.4	接手ねじに曲げが作用する状況に関する分析.....	23
3.4.1	戸挟みによる曲げの発生.....	23
3.4.2	戸当たり衝撃による曲げの発生.....	24
3.4.3	接手ねじに曲げを作用させる力について.....	25
3.5	接手ねじの強度に関する分析.....	25
3.6	接手ねじの破断に関する分析.....	26
3.6.1	本件戸閉め機械の接手ねじの破断に関する分析.....	26
3.6.2	本重大インシデントと類似の事象における接手ねじの破断に関する分析	27
3.7	接手ねじ破断の再発防止に関する分析.....	27
3.7.1	接手ねじに曲げが作用する状況の防止.....	27
3.7.2	接手ねじの適切な材料の使用.....	28
3.8	戸閉め機械の設計管理等に関する分析.....	28
4	結論.....	29
4.1	分析の要約.....	29
4.2	原因.....	30

5	所見.....	31
6	参考事項.....	31

添付資料

付図 1	大村線等の線路略図.....	32
付図 2	重大インシデント発生現場付近の地形図.....	32
付図 3	本件列車の運転台と戸閉め表示灯の状況.....	33
付図 4	彼杵駅～川棚駅間の線路縦断面図.....	33
付図 5	戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図(1 / 3).....	34
付図 5	戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図(2 / 3).....	35
付図 5	戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図(3 / 3).....	36
付図 6	戸閉め機械と点検口における戸吊り金具と二又の状況.....	37
付図 7	接手ねじの破断面の電子顕微鏡観察(1 / 2).....	38
付図 7	接手ねじの破断面の電子顕微鏡観察(2 / 2).....	39
付図 8	ドア下部に物を挟んだときの状況.....	40
付図 9	接手ねじに発生する応力の測定.....	40
付図 10	接手ねじに発生した応力(1 / 2).....	41
付図 10	接手ねじに発生した応力(2 / 2).....	42
付図 11	接手ねじの応力測定で使用した縦長穴の二又の状況.....	43
付図 12	従来形の接手ねじと改良形の接手ねじの概略図.....	43
付図 13	戸挟みにより接手ねじに曲げを作用させる力の試算.....	44

1 鉄道重大インシデント調査の経過

1.1 鉄道重大インシデントの概要

九州旅客鉄道株式会社の長崎駅発佐世保駅行き2両編成の快速気第3236D列車は、平成21年12月5日(土)、ワンマン運転で大村線彼杵駅～川棚駅間を走行中、列車の運転士が戸閉め表示灯の滅灯を認めたため、直ちに非常ブレーキをかけて停止した。車内を確認したところ、後部車両の進行前寄り右側(前後左右は列車進行方向を基準とする。)の旅客用乗降口の扉が約2cm開いている状況を認めたため、同旅客用乗降口の扉を鎖錠し、連絡を受けて駆けつけた社員が処置を行った後に運転を再開した。同列車には、乗客約40名及び乗務員が乗車していたが、旅客用乗降口の扉が開いたことによる乗客の転落はなかった。

1.2 鉄道重大インシデント調査の概要

1.2.1 調査組織

本件は、鉄道事故等報告規則第4条第1項第8号の「車両の走行装置、ブレーキ装置、電気装置、連結装置、運転保安設備等に列車の運転の安全に支障を及ぼす故障、損傷、破壊等が生じた事態」(車両障害)に該当し、列車の走行中に客室の旅客用乗降口の扉が開いたものであり、運輸安全委員会設置法施行規則第2条第6号の定める特に異例と認められるものとして、平成21年12月7日に通報を受け、調査対象となった。

運輸安全委員会は、同日、本重大インシデントの調査を担当する主管調査官ほか1名の鉄道事故調査官を指名し、平成22年5月10日、1名の鉄道事故調査官を追加指名した。

九州運輸局は、本重大インシデントの調査を支援するため、職員を現場に派遣した。

1.2.2 調査の実施時期

平成21年12月8日	車両調査
平成21年12月9日	口述聴取及び現場調査
平成21年12月10日	損傷部品調査
平成22年1月21日、22日	車両調査

1.2.3 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

2 事実情報

2.1 運行の経過

本重大インシデントに至るまでの経過は、九州旅客鉄道株式会社（以下「同社」という。）の快速気第3236D列車（以下「本件列車」という。）の運転士（以下「本件運転士」という。）及び連絡を受けて本件列車に駆けつけた諫早工務センター^{いさはや}の保線担当の社員（以下「工務センター社員」という。）によれば、概略次のとおりであった。

(1) 本件運転士

本件列車は、長崎駅を定刻（14時19分）に出発した。長崎線では対向列車の待ち合わせのため、若干の遅れが生じたが、本件列車の車両に異常はなかった。諫早駅では右側すべての‘旅客用乗降口の扉’（以下「ドア」という。）を開いて旅客の乗降を行ったが、異常はなかった。諫早駅から大村線に入り、大村駅、竹松駅及び彼杵駅（早岐駅起点19k580m、以下「早岐駅起点」は省略。）においては、左側すべてのドアを開いて旅客の乗降を行ったが異常はなかった。

彼杵駅を定刻（15時25分）よりも約3分遅れて出発した。同駅を出発した後の運転取り扱いについては、まず、変速ハンドル¹を変速とし、主幹制御器²を力行1ノッチから順に4ノッチとして速度50km/hまで加速した後、いったんノッチオフして変速ハンドルを直結にして、再度4ノッチとして加速した。彼杵トンネルに進入する辺り（18k503m）で列車の速度は73km/hとなり、ノッチオフして惰行による運転をしばらく続けた。彼杵トンネルを抜けると半径400mの右カーブと左カーブが連続し、音琴跨線道路橋^{ねごと}（16k333m）を過ぎた辺りで変速ハンドルを直結にして再び力行しようとしたが、主幹制御器を力行4ノッチとしてもエンジンが吹きあがる「ゴーッ」という音がするだけで列車は加速しなかった。いったんノッチオフして変速ハンドルを中立とした後、再び直結にして力行4ノッチとしたが、状況は変わらなかった。運転台の表示灯を確認したところ、変速機が直結に入ったことを知らせる表示灯が点灯せず、戸閉め表示灯³の滅灯を認めたため、直ちに非常ブレーキをかけて列車を停止させた。本件列車が停止したのは、15k680m付近だったと思う。

¹ 「変速ハンドル」は、気動車の変速機を切り替えるハンドルで、本件車両の変速機は、「変速」、「中立」、「直結」がある。

² 「主幹制御器」は、列車を力行する際に扱うハンドルである。

³ 「戸閉め表示灯」は、運転台の計器盤上部に「戸」と表示されたランプで、列車のすべてのドアが閉まっているときに点灯する。（2.3.4(2)及び付図3参照）

その後、車内の状況を確認したところ、後部車両（以下「本件車両」という。）に乗車していた乗客の一人が、「‘前寄り右側のドア’（以下「本件ドア」という。）が開いている」と言うので、そのドアを確認したところ、指が2本入るくらいの隙間ができた状態で開いていた。乗客が、「いつごろから開いていたかは分からないが、転落した乗客はいない」と話していたので、先頭車両の乗務員室に戻り、この状況を自分の所属する乗務員区所の当直助役に報告した。

本件ドアの戸閉め機械⁴が内蔵されている部分のカバーを開け、どのような理由でドアが開いたかについて調べたが、この時点ではよく分からなかった。本件ドアを鎖錠⁵したが、ドアに数cmの隙間ができてしまい、戸閉め表示灯は点灯しなかった。大村線を走行する列車の車両運用等を管理している指令（以下「運用指令」という。）に、非連動スイッチ⁶を扱って、とりあえず川棚駅まで運転してもよいか問い合わせたが、「営業列車における非連動スイッチの使用は不相当」とのことであった。その後、連絡を受けて駆けつけた工務センター社員に、本件ドアの戸閉めスイッチの押軸（2.3.4(1)参照）を押さえ続けてもらうことにより戸閉め表示灯を点灯させ、運用指令より指示を得て運転を再開した。本件列車は川棚駅に定刻よりも約25分遅れて到着し、同駅で乗客を降車させた後、早岐駅まで回送列車として運転し、以降の運行については取りやめとした。

(2) 工務センター社員

当日は自分のほか5名の社員と大村線の線路点検を実施していた。点検は2名1組が3つの班に分かれて行うが、当時、自分の所属する第2班は、小串郷^{おぐしごう}駅から川棚駅間の線路点検を終え、16k200m付近で待機している第3班を業務用自動車を迎えに行く途中、15時40分ごろ、第3班の一人から「第3班が待機している場所から早岐駅方に500mくらい行った所に本件列車が停車している」という電話連絡を受けた。このため、直ちに本件列車に駆けつけたところ、本件運転士がドアの不具合対応をしていた。本件ドアを鎖錠しても戸閉め表示灯が点灯しなかったため、自分が戸閉めスイッチの押軸を押さえ続けることで戸閉め表示灯を点灯させ、本件列車は運転再開となった。

なお、本件の発生時刻は、15時32分ごろであった。

⁴ 「戸閉め機械」は、圧縮空気によりドアを開閉する機械である。（2.3.2及び2.3.3参照）

⁵ 「鎖錠」とは、ドアに鍵をかけることをいう。

⁶ 2.3.4(2)に後述するように、戸閉め表示灯が滅灯している（列車のドアが1箇所でも開いている）ときは、力行しない仕組みとなっているが、「非連動スイッチ」は、この機能を解除する（ドアが開いたままでも力行できる）スイッチである。

(付図1 大村線等の線路略図、付図2 重大インシデント発生現場付近の地形図、付図3 本件列車の運転台と戸閉め表示灯の状況、付図5 戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図 参照)

2.2 鉄道施設に関する情報

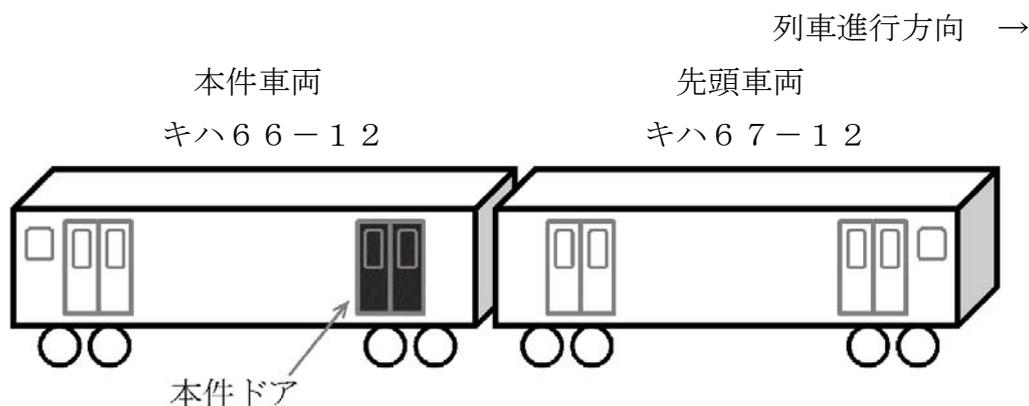
本重大インシデントが発生した大村線は、早岐駅と諫早駅を結ぶ単線非電化（ただし、ハウステンボス駅～早岐駅間は電化）の路線で、彼杵駅～川棚駅間の線路縦断面図は、付図4に示すとおりである。

2.3 車両に関する情報

2.3.1 車両の概要及び検査履歴等に関する情報

(1) 車両の概要

車種	内燃動車（ディーゼルカー）
編成両数	2両
定員	242名（座席定員110名）
記号番号	



(2) 本件ドアの状況

同社によれば、本重大インシデント発生後、本件列車の車両を長崎駅に回送し、同日、同駅構内の車両基地（長崎運輸センター）において本件ドアの調査を実施した。その結果、本件ドアを車内から見た場合の右側のドアにおいて、2.3.2(2)に後述する戸閉め機械の接手ねじが破断していたため、戸閉め機械を取り替えて復旧したとのことであった。

(3) 本件車両の検査等の履歴

本重大インシデント発生の直近の検査等の履歴は、以下に示すとおりであり、これらの検査記録に本件ドアの異常を示す記録はなかった。

新製 昭和50年3月17日

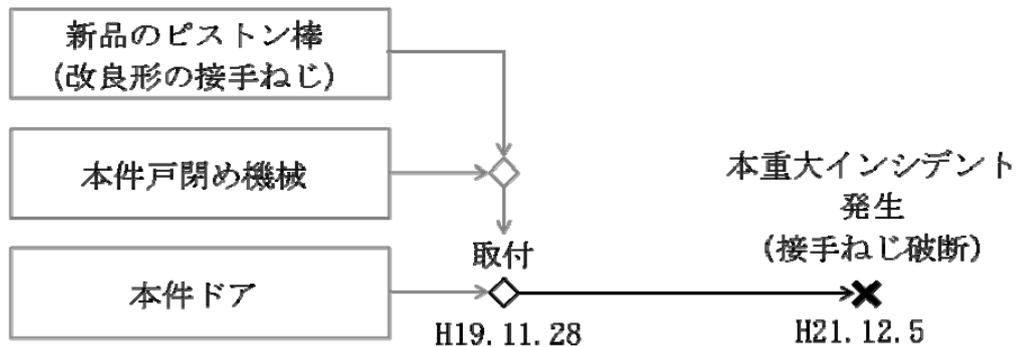
全般検査	平成14年9月13日	小倉工場
重要部検査	平成18年11月17日	小倉工場
交番検査	平成21年11月25日	長崎運輸センター
仕業検査	平成21年12月5日	長崎運輸センター

なお、同社では、全般検査及び重要部検査において、2.3.2に後述するドア及び戸閉め機械を車体から取り外して検査を実施している。

(4) 本件ドアの修繕履歴に関する情報

同社によると、本件ドアは平成19年11月25日にドアが閉まらない不具合が発生し、同28日に戸閉め機械の取替を実施したとのことであった。このとき取り付けられた戸閉め機械（製造年月：昭和53年10月）を、以下「本件戸閉め機械」という。

なお、本件戸閉め機械は、本件ドアに取り付けられる直前の臨時修繕において、新品のピストン棒に取り替えられ、同ピストン棒には2.7.3に後述する改良形の接手ねじが取り付けられていた。



(5) 戸閉め機械についての情報

本件戸閉め機械と同形の戸閉め機械についての情報は、以下のとおりである。

形 式	TK106A
製造初年	昭和41年
使用車両	キハ45形、キハ66・67形、キハ47形
メーカー	A社

なお、同社には、平成21年12月現在、キハ66・67形⁷は30両、キハ47形は106両が在籍している。

⁷ 「キハ66・67形」の30両は、昭和50年2月から3月に新製されている。

2.3.2 ドア及び戸閉め機械の構造等に関する情報

本件車両は、旧日本国有鉄道（以下「旧国鉄」という。）時代に新製され、昭和62年4月に同社に承継されたものである。以下の記述は、同社より提供された旧国鉄車両設計事務所の図面等を参考とした。

(1) ドアの構造

本件車両のドアは、付図5に示すように、戸吊り金具に取り付けられた戸車が車体に敷設された‘上レール’を走行する吊り戸式となっている。ドアの上部には戸閉め機械が設けられ、戸閉め機械とドアは、‘ピストン棒に取り付けられた金具’（以下「二又^{ふたまた}」という。）と戸尻側の戸吊り金具を、2.3.2(3)に後述するピンにより連結する構造となっている。

なお、本報告書においては、車内からドアを見て左側を「L側」、同じく右側を「R側」という。ドアのストロークは、L側及びR側ドアともに550mmであり、ドアの質量は40.6kgである。

(2) 戸閉め機械の構造

戸閉め機械には、ドアを開閉するシリンダ、ピストン棒及び圧縮空気を給排する電磁弁が設けられている。ピストンの直径は36mm、ピストン棒の直径は20mmである。

ピストン棒の先端には、二又を取り付けるねじ付金具（以下「接手ねじ」という。）が取り付けられ⁸、二又を接手ねじにねじ込むことにより、ピストン棒と二又からなる長さを調整する構造となっている。二又は、接手ねじに対して六角ナットで固定されている。

接手ねじのねじ部は直径12mmの並目ねじであり、接手ねじの材料は、旧国鉄車両設計事務所の図面によると、一般構造用圧延鋼材であるSS41（現在は「SS400」と表記するため、以下「SS400」という。）と定められている。

(3) 二又と戸吊り金具のピン取付穴

付図5に示すように、二又には直径10mmの丸穴が、戸尻側の戸吊り金具には縦方向の寸法（以下「a寸法」という。）が20mmの小判形の穴が設けられ、両者の穴を重ね合わせ、直径10mmのピンを貫通することにより、二又と戸吊り金具を連結する構造となっている。

ここで、戸吊り金具のピン取付穴の中心を基準とした場合、二又のピン取付穴の中心との上下方向のずれが±5mm以内であれば、ピンを組み込むことができる。また、このずれが5mmよりも小さく、ピンと戸吊り金具の穴との

⁸ 接手ねじは、ピストン棒に皿リベットのかしめにより取り付けられている。

間に上下方向の隙間があれば、その隙間分戸吊り金具が上下に変位しても上下方向の力としては摩擦力しか伝達しない構造となっている。以下、このずれの寸法を「b寸法」という。

(4) 戸閉め機械の取付ボルト

戸閉め機械は、付図5に示すように、合計8本の取付ボルトで車体に取り付けられている。

(5) 戸車の脱輪防止金具

戸車の‘上レール’からの脱輪を防ぐため、戸車の上部に脱輪防止金具が設けられている。同社では、戸車と脱輪防止金具との隙間を、0.3～2mmとしている。

(付図5 戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図、付図6 戸閉め機械と点検口における戸吊り金具と二又の状況 参照)

2.3.3 ドア開閉の仕組み

車掌スイッチによるドア開閉の仕組みは以下のとおりである。

(1) 開扉

車掌スイッチで開操作を行うと2.3.2(2)に記述した電磁弁が作動し、戸閉め機械のシリンダに元空気だめ⁹からの圧縮空気が供給され、ピストン棒が押し出されることによりドアが開く。

なお、本件車両の元空気だめの圧力は、588～686kPaの範囲となるように調整されている。

(2) 閉扉

車掌スイッチで閉操作を行うと、シリンダには元空気だめからの圧縮空気が開扉時とは逆方向に供給され、ピストン棒を引き寄せることによりドアが閉まる。

2.3.4 戸閉めスイッチの作動と戸閉め表示灯及び変速機の仕組み

(1) 戸閉めスイッチ

戸閉めスイッチは、閉扉の際、付図5に示すように、L側ドアの戸先側の戸吊り金具に取り付けられたこの下部を、R側ドアに取り付けられた補助金具が押すことにより、この上部が戸閉めスイッチの押軸を押し込み、閉扉を検出する仕組みとなっている。これにより、L側ドア又はR側ドアのどちらか一方が開扉した場合でも、戸閉めスイッチが開扉を検出する。

⁹ 「元空気だめ」は、車両の空気ブレーキなどに圧縮空気を供給するための空気だめである。

(2) 戸閉め表示灯と変速機

戸閉めスイッチが閉扉を検出することにより、運転台に設けられた戸閉め表示灯が点灯する。戸閉め表示灯は、列車のドアが1箇所でも開いた場合には滅灯する。

戸閉め表示灯が滅灯しているときは、変速ハンドルを変速又は直結としても、変速機は中立のままとなる（力行しない）仕組みとなっている。

2.3.5 接手ねじの強度に関する情報

A社によれば、ピストン推力により接手ねじに発生する最大の引張応力は、戸閉め機械のシリンダ内に882kPaの空気を供給してドアを閉めたときに7.35MPa（応力集中は考慮されていない）となるとのことであり、この値はA社が基準としたSS400に相当する材料の疲労限度の約110MPaに対して十分小さい、とのことであった。

2.3.6 本件車両の運行範囲とドアの開閉頻度

本件車両は、大村線、長崎線、佐世保線において運行され、1日当たりの走行距離は、平均で340.3kmである。（平成21年12月現在の情報）

本件ドアの1日当たりの開閉回数は、停車駅においてプラットホーム側のすべてのドアを開閉し、左右のドアは均等に扱われるものと想定した場合、平均で約50回程度である。

2.4 本件ドア及び戸閉め機械に関する調査

本件ドアの取付状態や各部の寸法の調査、本件戸閉め機械の接手ねじ以外の部品の調査及び破断した接手ねじの破断面観察を行った。ただし、本件ドアの取付状態や各部の寸法の調査については、本件戸閉め機械は既に取り外されており、別の戸閉め機械が取り付けられている状態で行った。

2.4.1 本件ドアの調査

(1) 外観及び取付状態等

本件ドアの外観に傷などの異常は見られず、2.3.2(1)に記述した上レールや戸車及び下レール等に、異常な摩耗等は認められなかった。

(2) 戸吊り金具のa寸法及びピン取付穴の形状

本件ドアのピンを取り外し、a寸法を測定したところ、L側ドアは20.5mm、R側ドアは20.7mmであった。戸吊り金具のピン取付穴の中心を基準とした場合、R側ドアは0.7mm下方に拡大していた。

付図6(f)に示すように、R側ドアのピン取付穴の一部が、摩耗により戸先方向に1.3mm拡大していた。

なお、ピンの直径は10mmであり、異常は認められなかった。

(3) b寸法の状況

本件戸閉め機械は、2.3.1(2)に記述したように、本重大インシデント発生日に取り外され、本件ドアには別の戸閉め機械が取り付けられていたが、b寸法については、L側ドアは+1.0mm、R側ドアは-5.0mmであった。(閉扉の状態、ピンを取り外した状態で測定した。)

なお、このときの取付状態(以下、「通常取付状態」という。)に対して、戸閉め機械が傾いて取り付けられた場合の影響を把握するため、2.3.2(4)に記述した取付ボルトを緩め、戸閉め機械の‘L側が上、R側が下’(以下「L上R下」という。)となるように取り付けられた場合、戸閉め機械の‘L側が下、R側が上’(以下「L下R上」という。)となるように取り付けられた場合、それぞれの場合についてもb寸法を測定した結果、b寸法は、通常取付状態でのL側:+1.0mm、R側:-5.0mmに対して、それぞれ±1mm程度の範囲内で変化することが確認された。

(4) 手動によるドアの開閉状態

上記(2)の状態、ドアを手動により開閉させたが、異音やがたつきなどの異常は認められなかった。

なお、接手ねじの破断と同様な状況を想定し、R側のみピンを取り外したまま、手でドアを閉めたところ、L側ドアの戸先側の戸吊り金具に取り付けられているばねがてこを介してR側ドアに取り付けられている補助金具を押し出すことにより、R側ドアが約2cmの幅で開く状況が再現した。

(5) 車掌スイッチによるドア開閉状態の確認

上記(2)において取り外したピンを復旧し、車掌スイッチによりドアの開閉操作を繰り返し実施したが、異常は認められなかった。

2.4.2 本件戸閉め機械の分解調査

本件戸閉め機械を分解し、シリンダ、ピストン棒、電磁弁等について調査を実施したが、特に異常は認められなかった。

2.4.3 破断面の電子顕微鏡による観察

破断面の調査に当たり、同社は、福岡県工業技術センターに調査を依頼した。以下については、同社より提供された資料を基に記述した。

本件戸閉め機械のR側の接手ねじは、付図7(a)に示すように、ピストン棒側か

ら数えて1山目のねじの谷部で破断していた。この破断面を走査型電子顕微鏡により観察したところ、以下のような様相が確認された。なお、本報告書では、破断面の円周方向の位置を特定するため、ピストン棒側の破断面について、車体に取り付けた状態における上部を12時、下部を6時とし、他の位置も時計の文字盤と同様に呼ぶこととする。

(1) 11時と1時を結ぶ線の辺りの様相

付図7(d)は、同図(b)におけるイ部を2000倍に拡大した電子顕微鏡写真であり、疲労破壊¹⁰の特徴である縞状の模様が見られた。縞状の模様は、横方向(9時から3時の方向)である。

(2) 10時と2時を結ぶ線の辺りの様相

付図7(f)は、ロ部を2000倍に拡大したものであり、延性破壊¹¹の特徴であるディンプル模様(多数の小さな窪みが見られる)が見られた。

なお、ディンプル模様に見られる粒状の物質について、エネルギー分散型X線分析装置により成分を分析したところ、SS400には含まれないマンガン(Mn)の成分が検出された。詳細については、2.8.2に後述する。

(3) 9時と3時を結ぶ線より下部の様相

付図7(h)、(j)及び(1)は、ハ部、ニ部及びホ部を5000倍に拡大したものであるが、イ部と同様に、疲労破壊の特徴である縞状の模様が見られた。

2.5 接手ねじに発生する応力の測定

本件ドアR側の接手ねじに電気抵抗ひずみゲージ¹²(以下「ひずみゲージ」という。)を貼り付け、ドアの開閉に伴い接手ねじに発生する応力を測定した。ひずみゲージは、破断部であるねじの谷部に貼り付けることが困難なため、付図9(a)及び(b)に示すように、接手ねじの12時及び6時のねじ部の近傍に貼り付けた。2.4.3に記述した調査結果の分析(3.2に後述)から、接手ねじの破断は、接手ねじに上下方向に作用する力による曲げが作用したことによるものと考え、曲げによる応力のみを検出し、軸方向の引張り、圧縮の応力は検出しないようにした。以下に記述する計測値は、ひずみゲージを貼り付けた6時の付近に発生する曲げによる応力値であり、正の値であれば引張り、負の値であれば圧縮である。また、別途実施したCAE(Computer Aided

¹⁰ 「疲労破壊」とは、応力が繰り返される状況下において、き裂が進展し破壊することをいう。

¹¹ 「延性破壊」とは、破断までに材料の著しい伸びや絞りを伴う破壊である。

¹² 「電気抵抗ひずみゲージ」は、抵抗体を測定しようとする物体の表面に貼り付け、物体の変形に追従して変化する抵抗値を計測器により測定することでひずみを測定するものである。本報告書では測定されたひずみに縦弾性係数(鉄鋼材料の場合206GPa)を乗じて応力値としている。

Engineering) 解析¹³により、ひずみゲージの貼り付け位置に対するねじの谷部の破断部分の応力は、‘ひずみゲージ貼り付け位置の応力に2.8を乗じた値’（以下「換算値」という。）程度となることが示された。

なお、この測定は、同社及びA社の協力を得て実施し、2.4.1(3)に記述した調査と同条件（本件ドアに別の戸閉め機械が取り付けられた状態）で実施した。

2.5.1 通常の間付状態におけるドア開閉時の状況

(1) ドアを開いたとき

車掌スイッチによりドアを開くと、ドアが開いた状態における‘一定の大ききで発生している応力’（以下「定常応力」という。）は、+7.7MPa（換算値は+21.6MPa）であり、ドア開閉を3回繰り返したが、同程度であった。

(2) ドアを閉めたとき

車掌スイッチによりドアを閉めると、‘ドアが閉まるときの衝撃’（以下「戸当たり衝撃」という。）と同時に、瞬間的に大きな応力変動¹⁴が計測された。ドア開閉を3回実施したときの‘戸当たり衝撃による最大値と最小値から求めた応力振幅¹⁵’（以下「戸当たり衝撃時の応力振幅」という。）は、表1に示すとおりである。

表1 戸当たり衝撃時の応力振幅（6時の位置の値）

	計測値		戸当たり衝撃時の応力振幅	
	最大値	最小値	計測値	換算値
1回目	+107.6MPa	-74.3MPa	91.0MPa	254.7MPa
2回目	+61.5MPa	-82.0MPa	71.8MPa	200.9MPa
3回目	+87.1MPa	-61.5MPa	74.3MPa	208.0MPa
平均			79.0MPa	221.2MPa

なお、戸当たり衝撃後のドアが閉まった状態における定常応力は、+1.3~+4.1MPa（換算値は+3.6~+11.5MPa）であった。

（付図10 接手ねじに発生した応力（1/2）(a) 参照）

¹³ 「CAE解析」とは、設計しようとする構造物の強度等を、電子計算機上に設定したモデルにより解析することである。

¹⁴ 「応力変動」とは、応力値が振動的に変化している状態のことをいう。

¹⁵ ここで、「応力振幅」は、応力変動しているときの振れ幅のことであり、このときの応力値の最大値から最小値を引いた値の2分の1とした。

2.5.2 戸閉め機械をL下R上となるように取り付けた場合

2.4.1(3)に記述したように、戸閉め機械の取付状態により、b寸法が±1mm程度の範囲内で変化することが確認されたことから、取付状態の変化による接手ねじに発生する応力への影響を確認するため、以下のような調査を実施した。(2.5.3に記述した調査も同様)

(1) ドアを開いた状態における状況

2.5.1(1)と同様に、大きな定常応力は計測されなかった。

(2) ドアを閉めたときの状況

戸当たり衝撃時の応力振幅は、66MPa（換算値は184.8MPa）であり、ドアが閉まった状態における定常応力は−51.3MPa（換算値は−143.6MPa）であった。

(付図10 接手ねじに発生した応力(1/2)(b) 参照)

2.5.3 戸閉め機械をL上R下となるように取り付けた場合

(1) ドアを開いた状態における状況

2.5.1(1)と同様に、大きな応力は計測されなかった。

(2) ドアを閉めたときの状況

戸当たり衝撃時の応力振幅は、70.5MPa（換算値は197.4MPa）であり、ドアが閉まった状態における定常応力は+25.6MPa（換算値は+71.7MPa）であった。

(付図10 接手ねじに発生した応力(1/2)(c) 参照)

2.5.4 ドアに物を挟んだ場合

‘ドアが閉まる際に物を挟んだ状態’（以下「戸挟み」という。）において、以下の状況が確認された。なお、挟んだ物としては、‘高さ40mm、厚さ25mmの板’（以下「羽子板」という。）を使用した。

(1) ドアの上部に羽子板を挟んだ場合

戸当たり衝撃による応力変動が計測されたが、ドアが閉まった状態においては、大きな定常応力は計測されなかった。

(付図10 接手ねじに発生した応力(1/2)(d) 参照)

(2) ドアの中央部に羽子板を挟んだ場合

戸当たり衝撃による応力変動は計測されなかったが、ドアが閉まった状態における定常応力は+148.6MPa（換算値は+416.1MPa）であった。

(付図10 接手ねじに発生した応力(2/2)(e) 参照)

(3) ドアの下部に羽子板を挟んだ場合

戸当たり衝撃による応力変動は計測されなかったが、ドアが閉まった状態における定常応力は+179.3MPa（換算値は+502.0MPa）で、今回の測定において最も大きな値が計測された。

（付図8 ドア下部に物を挟んだときの状況、付図10 接手ねじに発生した応力（2/2）(f) 参照）

2.5.5 二又のピン取付穴を縦方向に拡大した場合

2.5.4(2)及び(3)において計測された大きな応力は、付図8に示すように、戸挟みにより戸尻側の戸吊り金具が上昇し、二又が押し上げられたことによるものと考え、戸吊り金具が上昇しても二又が押し上げられないようにするため、付図11に示すように、‘ピン取付穴を縦方向に拡大した試験用の二又’（以下「縦長穴の二又」という。）を用い、2.5.1と同条件で試験を実施した。その結果、以下の状況が確認された。

(1) ドアを閉めたときの状況

戸当たり衝撃時の応力振幅は、10.3MPa（換算値は28.8MPa）であり、2.5.1(2)に比べ7分の1以下に低減した。

（付図10 接手ねじに発生した応力（2/2）(g) 参照）

(2) 戸挟みにおける状況

羽子板を、ドアの上部、中央部、下部に挟んだいずれの場合においても、2.5.4のような大きな応力は計測されなかった。

（付図10 接手ねじに発生した応力（2/2）(h) 参照）

2.5.6 戸吊り金具のピン取付穴の摩耗部分を削正した場合の状況

2.4.1(2)に記述したように、本件ドアR側の戸吊り金具のピン取付穴の一部は、摩耗により1.3mm拡大していた。（付図6(f)参照）2.5.2(2)に記述したように、戸閉め機械の取付状態をL下R上とした場合において圧縮の応力が計測されたのは、この部分にピンが入り込んだことによるものと考え、同部分を削正し、全体が11.3mmとなるようにした後、2.5.1と同様な試験を実施した。その結果、戸当たり衝撃時の応力振幅は、28.2MPa（換算値は79.0MPa）であった。

（付図10 接手ねじに発生した応力（2/2）(i) 参照）

2.6 戸吊り金具のa寸法及びb寸法に関する調査

2.6.1 本件ドア以外のa寸法及びb寸法に関する情報

2.5に記述した調査結果から、b寸法が-5mmなど、ピンが戸吊り金具ピン取付

穴の下方に位置する場合、ドアの下部に戸挟みが発生すると、戸尻側の戸吊り金具が上昇し、ピンとともに二又が押し上げられ、接手ねじに曲げが作用する状況が確認された。このような状況が、本件ドア以外にもあるかを確認するため、本件車両と同一形式であるキハ66・67形車両のa寸法及びb寸法の実態を調査した。なお、ここでは、キハ67-1、キハ66-1からなる編成を「No.1編成」とし、キハ67-1を「No.1-1」、キハ66-1を「No.1-2」とする。キハ67-2、キハ66-2以降についても同様とする。

(1) 戸挟みにより接手ねじに曲げが作用する可能性のあるドア

調査した120箇所のドアのうち、戸挟みにより接手ねじに曲げが作用する可能性のあるドアが、以下に示す3箇所にあった。

編成、車両	部位	a寸法	ドアが閉まった状態のb寸法
No.2-2	4L	20.0mm	-4.0mm
No.10-1	4R	20.0mm	-5.0mm
No.13-1	3R	21.0mm	-5.0mm

(2) その他のドアのa寸法の状況

2.3.2(3)に記述したように、旧国鉄車両設計事務所の図面によれば、a寸法は20mmであるが、表2に示すとおり、24mmを超えているものが複数あり、その大半はNo.5～No.8編成に分布していた。なお、No.5～8編成を製造した車両メーカーに問い合わせたが、a寸法を変更した経緯等についての情報は得られなかった。

表2 キハ66・67形車両のa寸法の分布

編成	a 寸法 [mm] の範囲					
	～19.9	20.0～21.9	22.0～23.9	24.0～25.9	26.0～27.9	28.0～
No. 1		1 2	3	1		
No. 2		1 6				
No. 3		1 5	1			
No. 4		1 4		1		1
No. 5		1		1 3	2	
No. 6		1	1	1 1	1	2
No. 7			1	1 0	5	
No. 8			2	1 2	1	1
No. 9	6	7		3		
No. 1 0		1 3	3			
No. 1 1		1 4		1	1	
No. 1 2		1 5		1		
No. 1 3	1	1 5				
No. 1 4		1 4	1	1		
No. 1 5		1 4		2		

2.6.2 定期検査におけるドア及び戸閉め機械の取付作業の状況

2.3.1(3)に記述した全般検査及び重要部検査におけるドア及び戸閉め機械の検査等は、同社の協力会社が実施しており、その担当者によれば概略以下のとおりである。

(1) 戸閉め機械の検査修繕について

戸閉め機械は車体から取り外して分解検査を行い、ピストン棒については傷や変形等がないか検査を実施し、不良と認められたものは新品に取り替える。検査が完了した戸閉め機械は、取り外したドアと同じ部位に取り付ける。ただし、臨時修繕では、他の部位に取り付けることがある。

戸閉め機械の取付作業において、取付ボルトを締め込む際、二又と戸吊り金具のピン取付穴が一致するように細心の注意を払っているが、まれにピン取付穴が一致しない場合があり、このような場合は、戸閉め機械を他のドアのものと振り替えると一致することがある。戸吊り金具のピン取付穴を丸形のヤスリ等で拡大した経験はない。

(2) ドアの検査修繕について

ドアについては、戸閉め機械を取り外した後、車体から取り外して検査を

行う。上記(1)と同様に、取り外したドアは同じ部位に取り付けるので、他の部位に振り替わることはない。

なお、同社によれば、本件ドアの戸車及び上レールは、本件車両の新製(2.3.1(3)参照)から本重大インシデント発生に至るまで、取替の実績はないとのことであった。

2.7 本重大インシデントと類似の事象についての情報

同社によれば、過去にTK106A形戸閉め機械が用いられている車両において、接手ねじが破断する事象が2件発生していた。これらの事象は、列車が駅に停車中、旅客の乗降終了後にドアが閉まらなかったものであるが、以下の記述は、同社より提供された資料を参考とした。

2.7.1 鹿児島線で発生した事象

平成16年4月、同社の鹿児島線の駅において、2両編成の普通列車が旅客の乗降終了後、ドアを閉めたが戸閉め表示灯が点灯しなかった。列車の運転士が確認したところ、先頭車両(キハ47-9126、以下「9126号」という。)の前寄り右側のドア(プラットフォーム側)が約2cm開いたままとなっており、その後の同社の調査で、当該ドアL側の接手ねじの破断によるものであることが分かった。

9126号は、昭和55年に新製され、直近の全般検査は、平成14年9月に実施されており、この事象に至るまでの当該ドアの臨時修繕の履歴はなかった。また、発生当時のa寸法及びb寸法についての情報は、得られなかった。

2.7.2 日南線で発生した事象

平成16年5月、同社の日南線の駅において、2両編成の普通列車が、旅客の乗降終了後、ドアを閉めたが戸閉め表示灯が点灯しなかった。列車の運転士が確認したところ、後部車両(キハ47-1056、以下「1056号」という。)の前寄り右側のドア(プラットフォーム側)が約2cm開いたままとなっており、その後の同社の調査で、当該ドアR側の接手ねじの破断によるものであることが分かった。

1056号は、昭和54年に新製され、この事象に至る直近の重要部検査は、平成14年12月に実施されているが、この事象に至るまでの当該ドアの臨時修繕の履歴や、発生当時のa寸法及びb寸法についての情報は、得られなかった。

2.7.3 接手ねじの形状変更について

同社によれば、2.7.1及び2.7.2に記述した2件の事象について、平成16年当時、接手ねじの破断面について光学顕微鏡により観察したところ、いずれも疲労破

壊の様相が見られたとのことであった。また、同社の保有する他の車両の接手ねじの状態を調べたところ、接手ねじの形状が2種類あることが判明したため、同社がA社に問い合わせたところ、以下の情報が得られたとのことであった。

- (1) 平成10年ごろ、接手ねじが破断する同様な事象が、他の鉄道事業者（以下「B社」という。）においても発生していた。
- (2) B社及びA社が接手ねじの改良について検討した結果、付図12(b)に示す形状に変更することとし、A社は、平成10年9月に自社の図面を改訂した。

以下の記述においては、変更後の接手ねじ（付図12(b)）を、「改良形の接手ねじ」といい、それ以前に使用されていた接手ねじ（付図12(a)）を「従来形の接手ねじ」という。

同社は、上記のような状況に鑑み、平成16年7月、キハ40形、キハ47形及びキハ66・67形の170両の車両について、改良形の接手ねじが取り付けられているピストン棒に取り替えることとし、本重大インシデント発生時点においては、すべての取替が完了していた。

2.7.4 ピストン棒の取替実績

2.6.2(1)に記述したように、戸閉め機械の検査修繕において不良と認められたピストン棒は新品に取り替えられるが、同社によると、平成11年から5年間のTK106A形戸閉め機械のピストン棒の取替実績は、合計80本であった。

また、2.7.3に記述したB社において発生した事象について、B社によれば、平成10年に従来型の接手ねじが破断する事象が2件発生し、これらはいずれもTK106A形戸閉め機械が用いられているキハ47形車両であったとのことであった。

2.8 接手ねじの材料に関する情報

2.8.1 接手ねじに使用されていた材料

2.3.2(2)に記述したように、接手ねじの材料は、旧国鉄車両設計事務所の図面によるとSS400と定められているが、本重大インシデント発生後、A社が調べたところ、平成元年以降に製造されたピストン棒の接手ねじは、2.8.3に後述する硫黄快削鋼のSUM23に相当する材料が用いられていることが分かった。このことについて、A社より以下のような情報が得られた。

- (1) TK106A形戸閉め機械は、昭和41年より製造を開始し、旧国鉄の気動車用の戸閉め機械として納入してきた。
- (2) 接手ねじの製造は、平成元年より請負業者であるC社に委託し、A社の工

場においてピストン棒の組立てを行っている。

- (3) 硫黄快削鋼の使用についてC社は、平成元年当時、S S 4 0 0の磨き丸棒が鉄鋼材料の市場に存在しなかったことから、強度上遜色のない材料の中で加工が容易であるため使用したと回答している。
- (4) A社としては、戸閉め機械の使用環境において、接手ねじに曲げが作用する状況はないものと思っていた。本重大インシデント発生後、戸吊り金具のピン取付穴の形状など、戸閉め機械の使用環境が初めて分かった。

2.8.2 破断した接手ねじの化学成分

破断した接手ねじの化学成分を調査したところ、J I S G 4 8 0 4「硫黄及び硫黄複合快削鋼鋼材」に規定されているS U M 2 3 Lと同等の成分が検出された。

表3 破断した接手ねじとS U M 2 3 Lの化学成分比較

	破断した接手ねじの 化学成分調査結果	S U M 2 3 Lの化学成分
炭素 (C)	0.07%	0.09%以下
マンガン (Mn)	1.02%	0.75～1.05%
リン (P)	0.073%	0.04～0.09%
硫黄 (S)	0.29%	0.26～0.35%
鉛 (Pb)	0.12%	0.30%以下

なお、2.7.1に記述した9126号及び2.7.2に記述した1056号の接手ねじの材料についての情報は、得られなかった。

2.8.3 硫黄快削鋼に関する情報

金属材料に関する複数の文献¹⁶の記述をまとめると、硫黄快削鋼については概略次のとおりである。

硫黄快削鋼は、鋼に炭素のほか、硫黄 (S)、マンガン (Mn) 及び微量のリン (P) を添加したもので、硫黄の比率は0.1～0.35%程度である。硫黄とマンガンが化合したマンガンサルファイト (MnS) が切削加工時の被削性を向上させ、仕上げ面がきれいに仕上がるほか、切り屑の破砕性が良いなどの特長がある。マンガンサルファイトは、高温の状態では粘性があり、棒鋼のような加工材

¹⁶ 武井英雄著「金属材料学」(理工学社、1977年)、高橋昇・朝田千秋・湯川夏夫 共著「金属材料学」(森北出版、1989年)、「特殊鋼ガイド」(特殊鋼倶楽部、1979年)、「特殊鋼ハンドブック」(大同特殊鋼株式会社、2008年)

においては、加工方向に伸びて存在しているため、材料には異方性が生じ、特に加工方向と直角方向の機械的性質が低下する。また、マンガンサルファイトなどの非金属介在物は、疲労破壊の起点となることがあるため、疲労強度を低下させる。このため、硫黄の比率の高いS U M 2 3 Lのような硫黄快削鋼は、強さや靱性¹⁷をあまり必要としないところに用いる。

なお、J I Sには規定されていないが、一般の構造用炭素鋼などに少量（0.1%程度以下）の硫黄を添加して機械的性質と被削性を両立させた鋼種も製造されているが、これらの鋼材においても、硫黄の含有率が高くなると疲労限度、延性、衝撃値等が低下する傾向があることが知られている。

2.8.4 硫黄快削鋼の引張試験

本重大インシデント発生後、A社は、破断した接手ねじと同一の材料から試験片を製作し、引張試験を実施した。その結果、試験片の引張強さは、580MPa、伸びは19.2%であることが確認されたとのことであった。

2.8.5 S S 4 0 0に関する情報

S S 4 0 0の化学成分及び機械的性質は、J I S G 3 1 0 1に、以下のとおり規定されている。

炭素 (C)	(規定せず)
マンガン (Mn)	(規定せず)
リン (P)	0.050%以下
硫黄 (S)	0.050%以下
引張強さ	400～510MPa
降伏点	235MPa以上
伸び	20%以上（直径25mm以下の棒鋼（2号試験片）の場合）

2.9 金属材料の疲労に関する情報

材料力学に関する文献¹⁸によれば、金属材料の疲労について、概略すると以下のよう記述されている。

金属材料の破壊には、静的な荷重によって生ずる「静的破壊」、繰り返し荷重によって生ずる「疲労破壊」などがある。静的破壊は、静的な力を負荷し続けたときに破壊する現象であり、力を引張方向に負荷し続けて破壊させる場合の最大応力を

¹⁷ 「靱性」とは、材料の粘り強さであり、衝撃による破壊されにくさをいう。

¹⁸ 日本機械学会編「機械工学便覧 α・基礎編、α3編」（2007年）

「引張強さ」というが、疲労破壊は、引張強さよりも小さな応力の繰り返しによって破壊が起こる現象である。材料の「疲労強度」は繰り返し応力を負荷したときに破壊を生じるまでの繰り返し数で表され、応力の振幅が小さくなると破壊を生じるまでの繰り返し数は増加するが、炭素鋼などの鉄鋼材料では、応力の振幅がある限度値以下であれば、繰り返し数に関わらず材料の破壊は起こらないことが知られており、この限度値を「疲労限度」という。炭素鋼などの一般構造用の鉄鋼材料の疲労限度は、引張強度に対し、ほぼ2分の1の関係にあることが知られており、疲労限度を見積もる場合、引張強度の約半分とすることも多いようである。

2.1.0 接手ねじが破断するまでの期間に関する情報

2.8.2 に記述したように、硫黄快削鋼と同等の成分が検出された本件戸閉め機械の破断した接手ねじは、2.3.1(4)に記述したように、本件ドアに取り付けられてから約2年が経過していた。

一方、接手ねじの材料に図面指定どおりのSS400を使用し、戸当たり衝撃の際に付図10(a)のような応力変動が発生する場合の疲労寿命について、一般的な手法により試算した。破壊確率が50%のS-N線図¹⁹を用いて試算した場合には約60年、仮に破壊確率を2.3%²⁰とした場合でも約3年となり、接手ねじに初期のき裂が発生するまでの期間は、上記の取付後の経過年数である約2年より長くなるという結果を得た。

2.1.1 乗務員に関する情報

本件運転士 男性 47歳

甲種内燃車運転免許

平成6年10月20日

2.1.2 気象に関する情報

当日の現場付近の天気 曇り

2.1.3 戸閉め機械の設計経緯と接手ねじの破断に関する経過

TK106A形戸閉め機械の使用の経過と接手ねじの破断に至る経過について、2.3～2.8に記述した内容を要約すると概略以下のとおりである。

昭和41年 TK106A形戸閉め機械の製造開始。

昭和50年3月 本件車両の新製。

¹⁹ 中村宏・恒成利康・堀川武・岡崎章三 共著「機械の疲労寿命設計」(養賢堂、1983年)

²⁰ 「破壊確率2.3%」とは、全体の2.3%の供試体でき裂が生じることを指し、「2.3%」は、正規分布において平均からのずれが標準偏差の2倍の範囲を外れる確率の半分に対応する。

昭和62年 4 月 平成 元 年	旧国鉄の分割民営化により本件車両は同社に承継される。 A社は、接手ねじの製造をC社に委託した。このときから材料がSS400から硫黄快削鋼に切り替えられた。
平成10年	他の鉄道事業者であるB社において、接手ねじが破断する事象が発生した。
平成10年 9 月	B社及びA社が検討した結果、改良形の接手ねじに形状を変更した。(A社の図面を改訂)
平成16年	同社において、接手ねじが破断する事象が2件発生した。
平成16年 7 月	同社は、本件車両を含む170両の車両について、改良形の接手ねじが取り付けられているピストン棒にすべて取り替えることとした。
平成19年11月	本件ドアにおいてドアが閉まらない事象が発生し、本件戸閉め機械が取り付けられた。(改良形の接手ねじ(新品))
平成21年12月	本件ドアR側の接手ねじが破断した。(本重大インシデント発生) 本重大インシデントに係る調査において、接手ねじに硫黄快削鋼であるSUM23に相当する材料が使用されていることが分かった。

3 分 析

3.1 走行中にドアが開いた状況に関する分析

2.1(1)に記述したように、本件運転士は、

- (1) 彼杵駅を出発後、主幹制御器を力行として加速し、彼杵トンネルに進入する辺り(18k503m)でノッチオフして惰行による運転をしばらく続けた、
- (2) 音琴跨線道路橋(16k333m)を過ぎた辺りで再び力行しようとしたが加速せず、戸閉め表示灯の滅灯を認めた、
- (3) 列車を停止させた後、本件ドアは、指が2本入るくらいの隙間ができた状態で開いていた

と口述している。このことと、2.3.4(2)に記述した、戸閉め表示灯と列車の力行に関する仕組みから、本件ドアは、本件列車が惰行で走行した18k503mから16k333mの間で開いたものと考えられる。

なお、開扉の状態は、2.3.1(2)に記述したように、本件ドアR側のピストン棒の接手ねじが破断していたことから、R側のドアを閉める力が作用しなくなったため、R

側のドアのみが開いていたものと推定される。

3.2 本件接手ねじの破断等に関する分析

3.2.1 破断面の様相に関する分析

2.4.3 に記述した破断面の電子顕微鏡による観察から、破断面の様相に関して以下のように分析できる。

- (1) 10時と2時を結ぶ線の辺りに延性破壊の特徴であるディンプル模様が見られることから、接手ねじの破断に至る経過において、この部分が最後まで残り、接手ねじに作用した引張力に負けて破断したものと考えられる。
- (2) 10時と2時を結ぶ線を挟んだ上下の領域に、それぞれ疲労破壊の特徴である縞状の模様が見られることから、これらの領域では、疲労破壊によりき裂が進展したものと考えられる。また、この縞状の模様が横方向であることから、き裂の進展はこれと直角の方向、つまり上下方向に進展したと考えられ、それぞれ6時の位置付近と12時の位置付近から10時と2時を結ぶ線の方へ進展したと考えられる。
- (3) (1)(2)より、き裂は6時の位置付近と12時の位置付近で発生したものと考えられるが、最終的に破断した延性破壊領域が12時の位置側に寄っていることから、6時の位置付近でのき裂発生の方が早かった可能性と、6時の位置付近からのき裂の進展速度の方が速かった可能性が考えられる。

以上のことから、破断面には上下方向の力による曲げが作用したことでき裂が発生・進展し破断に至ったと考えられるが、6時の位置付近から最終破断部までのき裂の進展領域のひろがため、上向きの力による曲げの影響が大きかった可能性が考えられる。

3.2.2 材料に関する分析

2.8.2 に記述したように、破断した接手ねじから硫黄快削鋼と同等の成分が検出されたこと、2.8.1 に記述したように、平成元年以降に製造されたピストン棒の接手ねじは、硫黄快削鋼が用いられているとのことから、本件戸閉め機械の接手ねじは、旧国鉄車両設計事務所の図面の指定とは異なる硫黄快削鋼が用いられていたと推定される。

3.3 接手ねじに発生する応力の測定結果に関する分析

2.5 に記述した接手ねじの6時の付近に発生する応力の測定結果から、以下の事実が確認された。

- (1) ドアが閉じるときの戸当たり衝撃と同時に、瞬間的に応力変動が発生する。

- (2) 応力変動時に発生する応力の著大値は、戸閉め機械をL下R上となるように取り付けた場合の計測値を除き、ほとんどの場合においてマイナス側（圧縮）よりもプラス側（引張り）の方が大であり、戸閉め機械をL上R下となるように取り付けた場合においては、この傾向が顕著である。
- (3) 閉扉状態における定常応力は、戸閉め機械をL下R上となるように取り付けた場合にはマイナス側、L上R下の場合にはプラス側となっている。
- (4) 戸挟みにおいては、ドアの下部に羽子板を挟んだ場合には大きな応力変動は伴わないが大きな定常応力が発生し、ドアの上部に羽子板を挟んだ場合は、応力変動は発生するが大きな定常応力は発生しない。
- (5) 縦長穴の二又を用いると、上記(1)のような大きな応力変動は発生せず、ドアの下部に羽子板を挟んだ場合においても上記(4)のような大きな定常応力は発生しない。
- (6) 戸吊り金具のピン取付穴の摩耗部分を削正すると、上記(1)のような大きな応力変動は発生しない。
- (7) いずれの条件による測定においても、ドアが開いた状態では、大きな応力は発生しない。

上記(1)～(7)に記述した事実から、戸挟みがあった場合などの閉扉状態では大きな定常応力が発生し、ドアを閉める際の戸当たり衝撃時には大きな応力変動が発生していると考えられる。また、上記(5)及び(6)に記述した事実から、応力の発生には二又、ピン、戸吊り金具のピン取付穴、の位置関係や形状も関与していると考えられる。

今回の測定では、接手ねじに作用する曲げにより発生する応力を測定していることから、上記の応力が発生しているときには、接手ねじに曲げが作用していると考えられる。

なお、2.5に記述した測定結果は、本件戸閉め機械とは別の戸閉め機械が取り付けられた状態によるものであるが、上記の調査結果は、本件調査における分析において、接手ねじに発生する応力を把握する上で参考となるものであると考えられる。

3.4 接手ねじに曲げが作用する状況に関する分析

3.4.1 戸挟みによる曲げの発生

3.3(4)に記述したように、ドアの下部で戸挟みがあった場合の閉扉状態において、大きな定常応力が発生することが確認された。

本件ドアのR側は、2.4.1(2)及び(3)に記述したように、a寸法は20.7mmで下方に0.7mm拡大しており、ドアを閉めた状態におけるb寸法は、-5mmであった。

このとき、ピンと戸吊り金具ピン取付穴の下部には0.7mmの隙間があると考えられるが、戸挟みにより戸尻側の戸吊り金具が0.7mm以上に上昇すると、付図8に示すように、二又が押し上げられ、接手ねじに曲げが作用する状況があると考えられる。

よって、付図8や付図5(c)に示すように、ピンと戸吊り金具ピン取付穴の下部との隙間が小さい状況でドアの下部に戸挟みがあった場合には、物を挟んだ状態でドアを閉める力が作用することによってドアが傾き、ドアが傾くことで戸吊り金具が上昇し、戸吊り金具によってピンを介して二又が押し上げられることにより、ドアが閉まっている間は接手ねじに曲げが作用し続ける状況が発生すると考えられる。

なお、戸吊り金具の上昇は、2.3.2(5)に記述した脱輪防止金具により、2mm以下に抑えられるものと考えられる。

3.4.2 戸当たり衝撃による曲げの発生

3.3に記述したように、戸当たり衝撃時には大きな応力変動が発生することが確認された。このときの接手ねじに曲げが作用する状況としては、以下のことが考えられる。

(1) 3.3(1)に記述したように、ドアが閉じるときの戸当たり衝撃と同時に瞬間的に大きな応力変動が発生する事実が確認されたが、このことは、3.3(2)及び(5)に記述した事実から、通常の開扉においても戸挟みの場合と同様に、戸当たり衝撃と同時にドアが振動することで戸尻側の戸吊り金具が瞬間的に上昇する状況が発生することが考えられる。このような状況でも、3.4.1に記述したのと同様に、ピンが戸吊り金具ピン取付穴の下方に位置する場合には、ピンを介して二又が上方に押し上げられることにより接手ねじに曲げが発生している可能性があると考えられる。

(2) 3.3(6)に記述したように、戸吊り金具ピン取付穴の摩耗部分を削正すると、大きな応力変動は発生しない事実が確認されたことから、応力変動の発生には戸吊り金具ピン取付穴の摩耗が関与している可能性が考えられる。付図5(d)に示すように、穴の一部が摩耗している場合には、ピンが摩耗した凹部に引き込まれるため、ピンを介して二又が上下方向に変位させられることにより接手ねじに曲げが発生している可能性があると考えられる。

すなわち、戸当たり衝撃により接手ねじに曲げが発生するのは、上記(1)及び(2)のような状況や、これらの状況が複合している場合と考えられる。

また、応力変動が発生していることについては、戸当たり衝撃時にドアが振動することによって戸吊り金具がピンを上下させるためと考えられる。

3.4.3 接手ねじに曲げを作用させる力について

3.4.1、3.4.2に記述したように、接手ねじに曲げを作用させる力は、ピンに作用する上下方向の力であると考えられる。

3.4.1に記述したような状況で戸挟みが発生した場合について、2.3.2及び2.3.3に記述した情報から、ドアを閉めた状態におけるピストンの推力を求め、ピンに作用する上向きの力を試算した。試算過程は、付図13に示すとおりである。この結果、ドアの下部に戸挟みが発生した場合のピンに作用する上向きの力は、例えばピストン棒の推力を基準とすると、その2.75倍となることが確認された。

2.3.2(3)に記述したように、ピンと戸吊り金具の穴との間に上下方向の隙間がある場合、ピンに作用する上下方向の力は摩擦力のみであるが、この摩擦力は摩擦係数を0.3と仮定するとピストン棒の推力の0.3倍となる。

3.4.2に記述したように、戸吊り金具ピン取付穴が摩耗している場合、凹部にピンが引き込まれること、さらにこの状態でドアが振動することでピンが上下に変位させられる。このときピンに作用する上下方向の力は、穴の摩耗形状やドアの振動の仕方に依存するので定量的に表すことは困難であるが、戸吊り金具とピンとの間で滑りが生じにくい状態で変位させられることから、上記の摩擦力よりは大きいと考えられる。

以上のことから、戸挟みが発生した場合や戸吊り金具ピン取付穴が摩耗している場合には、比較的大きな‘接手ねじに曲げを作用させる力’が作用する可能性があると考えられる。

3.5 接手ねじの強度に関する分析

2.3.5に記述したように、A社では接手ねじに作用する力として、ピストン推力による軸方向の力のみが想定されていたが、3.3に記述したように、実際には接手ねじには想定されていなかった曲げが作用していたと考えられる。その結果、2.5に記述したように、6時の位置に発生する戸当たり衝撃時の応力振幅は換算値で200～250MPa、戸挟みを想定した場合の定常応力は換算値で約500MPa、となり、前者はSS400の降伏点、後者はSS400の引張強さと比較してもそれぞれ同等以上の値となっている。一般に機械部品に発生する応力の許容値は、その発生頻度、使用条件及び使用期間などを考慮して決定されるべきものであるが、上述の測定された応力値は、ドア部品のような繰り返し荷重が作用する部品に発生する応力値としては過大であると考えられる。

以上のことから、本件戸閉め機械の接手ねじは、ねじ部に想定されていなかった曲げが作用していたことにより、結果的に強度不足となっていたため、破断に至ったと考えられる。

また、本件戸閉め機械の接手ねじの材料として使用されていた硫黄快削鋼は、2.8.4 に記述したように引張強さは図面指定の材料であるSS400と同等以上であったが、2.8.3 に記述したように鋼中に含まれる非金属介在物の影響により一般の構造用鋼よりも疲労強度は低いと考えられること、及び2.10に記述した試算結果からSS400を使用していた場合よりも破断するまでの期間が短かった可能性があると考えられることなどから、構造用鋼であるSS400よりも疲労強度が低い可能性が考えられる。したがって、接手ねじの材料として硫黄快削鋼を使用していたことが、上記の強度不足となっていた状況においてき裂の発生や進展に関与した可能性もあると考えられる。しかし、一般的に硫黄快削鋼は強度が求められる部材として使用することを想定していないため、一般の構造用鋼では示されている疲労強度に関する数値データが硫黄快削鋼では示されていないことから、関与の度合いを定量的に明らかにすることはできなかった。

3.6 接手ねじの破断に関する分析

3.6.1 本件戸閉め機械の接手ねじの破断に関する分析

3.2～3.5に記述した分析から、本件戸閉め機械の接手ねじの破断は、

- (1) 本件ドアR側のa寸法及びb寸法の関係から、ドアを閉めた状態において、ピンが戸吊り金具ピン取付穴の下方に位置していた可能性があり、このような状況において、ドアの下部に戸挟みが発生すると、戸吊り金具が上昇し二又を押し上げる力が発生すること、
 - (2) (1)に記述したピンと戸吊り金具ピン取付穴の位置関係において、戸挟みがない通常の閉扉の際にも、戸当たり衝撃によってドアが振動することで戸吊り金具が上昇し二又を押し上げる力が発生すること、
 - (3) 本件ドアR側の戸吊り金具ピン取付穴の一部が摩耗により戸先側に1.3mm拡大していたが、このような状況において、ドアを閉める際にピンが摩耗した凹部にはまり込むと、接手ねじに曲げが作用する状況が発生すること
- などの要因が複合し、想定されていなかった曲げが接手ねじに作用して大きな応力が発生したこと、特に(2)、(3)の要因と戸当たり衝撃時のドアの振動とが複合することで想定されていなかった大きな応力変動が生じたことにより発生したものと考えられる。

3.3に記述したように、戸当たり衝撃時には200～250MPaの応力が繰り返し発生すること、2.9に記述したように、疲労破壊は引張強度よりも小さな応力の繰り返しによって起こる現象であることなどから、接手ねじの破断には戸当たり衝撃時に繰り返し発生する応力が大きく関与した可能性があると考えられる。また、3.5に記述したように、接手ねじの材料に、疲労強度が図面指定の材料であ

るSS400より低い可能性のある硫黄快削鋼が用いられていたことも接手ねじの破断に関与した可能性も考えられるが、関与の度合いを明らかにすることはできなかった。

一方、3.3に記述したように、戸挟みがあった場合には約500MPaの定常応力が発生したが、この応力値は材料の引張強さに相当する値であることから、初期のき裂発生に関与した可能性も考えられるが、戸挟みの履歴などを把握することは困難であり、関与の度合いを明らかにすることはできなかった。

3.6.2 本重大インシデントと類似の事象における接手ねじの破断に関する分析

2.7.1及び2.7.2に記述したように、同社においては平成16年に、接手ねじが破断する事象が2件発生した。これらは、発生当時のa寸法やb寸法についての情報及び接手ねじの材料についての情報が得られなかったことから、接手ねじが破断した原因については、明らかにすることはできなかった。しかしながら、

- (1) 9126号及び1056号は、2.3.1(5)に記述したように、本件車両の戸閉め機械と同一の戸閉め機械が用いられていること、
- (2) 2.7.3に記述したように、破断面に疲労破壊の様相が見られたとのことから、類似の事象2件は、本重大インシデントにおける接手ねじの破断と同様な要因によるものであった可能性もあると考えられる。

3.7 接手ねじ破断の再発防止に関する分析

本件戸閉め機械の接手ねじの破断は、3.6.1に記述した要因の複合により発生したものと考えられることから、接手ねじ破断の再発防止のためには、以下の措置が有効であると考えられる。

3.7.1 接手ねじに曲げが作用する状況の防止

(1) 戸挟みを想定したb寸法の確保

3.4.1に記述したように、b寸法が-5mm程度になっているなど、ピンと戸吊り金具ピン取付穴の下部との隙間が小さい状況になっている場合、ドアの下部に戸挟みが発生すると、接手ねじに大きな曲げが作用するものと考えられるが、戸吊り金具の上昇は、脱輪防止金具により2mm以下に抑えられるものと考えられる。したがって、接手ねじに曲げが作用しないようにするには、戸閉め機械の取付作業の際、戸挟みを想定し、戸吊り金具が脱輪防止金具との隙間分まで上昇しても二又を押し上げることはないようなb寸法の管理が必要であると考えられる。

(2) 戸吊り金具のピン取付穴の改良

2.4.1(3)に記述したように、戸閉め機械をL上R下又はL下R上となるように取り付けた場合のb寸法は、±1mm程度の範囲内で変化することが確認されたが、このような取付調整を実施したとしても、上記(1)に記述したb寸法の管理が困難な場合もあると考えられる。

2.6.1(2)に記述したように、本件車両と同一形式であるキハ66・67形車両のa寸法が24mmを超えているものが複数あり、その大半がNo.5～No.8編成に分布していた。この理由やいつの時点で寸法を変更したかなどの経緯についての情報は得られなかったが、2.6.2に記述した検査修繕の際に穴を拡大した経験はないとの情報も踏まえて考慮すると、No.5～8編成の戸吊り金具は、旧国鉄時代も含めた過去に、何らかの理由でa寸法を拡大した経緯があった可能性もあると考えられる。したがって、戸挟みにより戸吊り金具が上昇し、二又の上昇が避けられないドアについては、戸吊り金具のピン取付穴を下方に拡大する措置も有効であると考えられる。

(3) ピン取付穴の適切な修繕

3.4.2(2)に記述したように、戸当たり衝撃と同時に発生する応力変動は、戸吊り金具ピン取付穴の摩耗部分が関与していると考えられることから、このような状況を防ぐには、ピン取付穴の摩耗部分を平滑にするなど、適切な修繕が必要であると考えられる。

3.7.2 接手ねじの適切な材料の使用

3.5に記述したように、接手ねじに硫黄快削鋼を用いたことが、接手ねじの破断に関与した可能性もあると考えられることから、接手ねじの製造に当たっては、作用する力や使用する期間などを考慮し、適切な材料を用いるべきであると考えられる。

3.8 戸閉め機械の設計管理等に関する分析

2.8.1及び2.13に記述したように、平成元年以降にA社から出荷されたピストン棒の接手ねじに硫黄快削鋼が用いられていることが、20年後に発生した本重大インシデントに係る調査において初めて判明した。しかし、同社等において、2.7.1及び2.7.2に記述した類似の事象が発生したときに、接手ねじが図面どおりのものであるかの確認のために、2.4.3及び2.8.2に記述したような材料に着目した調査が行われていたならば、接手ねじに硫黄快削鋼が用いられていること、及び硫黄快削鋼の問題点に早い段階で気付くことができた可能性があると考えられる。さらに、2.3.5に記述したように、当初想定されていたピストン推力により接手ねじに発生する応力は疲労限度に対して十分小さいことに着目していれば、接手ねじに想定されていなかった

曲げが作用していることにも早い段階で気付くことができた可能性があると考えられる。したがって、部品の破損等が生じた場合には、図面や設計条件との乖離がないかどうかに着目して調査を行うことが重要であると考えられる。

2.8.1(4)に記述したように、戸閉め機械を製造したA社は、本重大インシデント発生後、戸吊り金具のピン取付穴の状況など、戸閉め機械の使用されている環境が初めて分かったとのことであるが、接手ねじの製造を行ったC社においても、平成元年当時、接手ねじが使用される環境について、十分な情報を得ていなかった可能性があると考えられる。したがって、今後、戸閉め機械などの重要な装置を製造するメーカーは、車両における装置の使用環境についての理解を深めたうえで設計・製造を行うことが望まれる。また、図面の指定と異なる材料を使用する事情が生じた場合には、当該鉄道事業者はその材料を用いる場合のメリット、デメリットを適切に伝えるとともに、疲労破壊等が生ずることのないように、十分な検証を行う必要があると考えられる。

2.7.3に記述したように、同社は、他の鉄道事業者であるB社において、平成10年に接手ねじが破断する事象が発生していたこと及び改良形の接手ねじに図面改訂されていたことを、平成16年に認識したものと考えられるが、今後、本件車両のように、旧国鉄からの承継車両において同様な事象が発生した場合は、各鉄道事業者は同形式の車両を保有する他の鉄道事業者にも情報を提供し、類似の事象の再発防止に努めることが必要である。また、承継車両の部品等の図面を改訂した場合には、その経緯についての情報も含め、関係する鉄道事業者間の共有認識とすべきであると考えられる。

4 結 論

4.1 分析の要約

3.1～3.8に記述した分析を要約すると、それぞれ概略以下のとおりである。

- (1) 本件運転士の口述及び戸閉め表示灯と列車の力行に関する仕組みから、本件ドアは、接手ねじの破断によりドアを閉める力が作用しなくなったため、本件列車が惰行で走行中に開いたものと考えられる。
- (2) 接手ねじの破断面の様相から、接手ねじに上下方向の力による曲げが作用したことにより疲労破壊したと考えられる。また、材料の成分調査の結果、材料には図面指定とは異なる硫黄快削鋼が用いられていたと推定される。
- (3) 接手ねじの応力測定の結果、ドアが閉じるときの衝撃や戸挟みにおいて、接手ねじに曲げが作用し、ねじ部に大きな応力が発生するものと考えられる。

- (4) 接手ねじに曲げが作用する状況は、
- ① 戸挟みなどにより戸尻側の戸吊り金具が二又を押し上げる可能性があること、
 - ② 戸当たり衝撃の際に、戸吊り金具の穴の摩耗部分にピンがはまり込むことなどと、戸当たり衝撃によりドアが振動することなどが複合し、二又を上下方向に変位させる可能性があることにより発生すると考えられる。
- (5) 想定されていなかった曲げが作用したことにより、結果的に接手ねじは強度不足となっていたものと考えられる。また材料に疲労強度が図面指定の材料であるSS400より低い可能性のある硫黄快削鋼を使用していたことがき裂の発生や破断に関与した可能性も考えられる。
- (6) 接手ねじの破断は、戸当たり衝撃の際に、接手ねじに想定されていなかった曲げが繰り返し作用したことが大きく関与したと考えられる。また、本重大インシデント以前に発生した2件の破断も同様であった可能性があると考えられる。
- (7) 再発防止のためには、(4)のような状況にならないように、部品相互の寸法管理、取付時の適切な調整及び摩耗部分の修繕が必要であると考えられる。
- (8) 戸閉め機械など重要な装置を製造するメーカーは、車両における装置の使用環境についての理解を深めることが望まれ、また鉄道事業者は、本重大インシデントのような事象が発生した場合、他の鉄道事業者にも情報を提供し、類似の事象の再発防止に努めることが必要である。

4.2 原因

本重大インシデントは、本件ドアの戸閉め機械のピストン棒の接手ねじが破断したことにより、ドアを閉める力が作用しなくなったため、本件列車が走行中に開扉したものと考えられる。

接手ねじの破断は、破断面の状況から疲労破壊によるものと考えられるが、ドアが閉まる際に想定されていなかった曲げが繰り返し接手ねじに作用したため、接手ねじが強度不足となっていたことによるものと考えられる。また、接手ねじの材料に、疲労強度が図面指定の材料であるSS400より低い可能性がある硫黄快削鋼を用いたことが関与した可能性も考えられる。

想定されていなかった曲げが接手ねじに作用したのは、戸閉め機械とドアの戸吊り金具をつなぐピンが戸吊り金具の穴の下端と隙間が少ない位置関係にあった可能性があることと、戸吊り金具の穴が摩耗により変形していたこととが複合して、接手ねじの端部に上下方向の力が作用したためと考えられる。

5 所 見

- (1) 本重大インシデントは、ピンと戸吊り金具のピン取付穴の下端との隙間が少ない位置関係にあった可能性があることや戸吊り金具ピン取付穴の摩耗などにより、戸挟みや戸閉めに際し、戸閉め機械の接手ねじに当初想定されていなかった曲げが作用する状況となったために発生したと考えられる。したがって、本件ドアと類似構造のドアについては、このような想定されていなかった曲げが作用しないように、部品の摩耗等に関する保守・管理を適切に行うことが必要である。また、今後は設計時において、戸挟みや部品の摩耗などを考慮しておくことが望ましい。
- (2) 本重大インシデントと同様の接手ねじの破断が、他の鉄道事業者で平成10年に発生していたが、同社がこの事例を認識したのは平成16年であったと考えられる。接手ねじの破断のように、ドアを閉める力が作用しなくなるような不具合が走行中に発生すると、ドアが開き、乗客の転落事故につながる可能性がある。したがって、このような事故の原因となり得る不具合情報は、類似構造のドアを有する他の鉄道事業者での再発防止にも役立てるべきと考えられるので、発生の都度、鉄道事業者間及び鉄道事業者と戸閉め機械メーカー間で展開・共有される必要がある。
- (3) 本重大インシデントの発生については、接手ねじの材料に、図面指示とは異なる材料が使用されていたことが関与した可能性があると考えられるが、図面指示とは異なる材料が使用されていたことは、本重大インシデント発生後の調査において初めて判明した。したがって、同社は、戸閉め機械メーカーに対して、図面記載事項のとおりには製作できない事情が生じた場合には、変更による影響を明確にして不具合等が生ずることのないように、十分な検証を行い報告するように指導することが必要である。

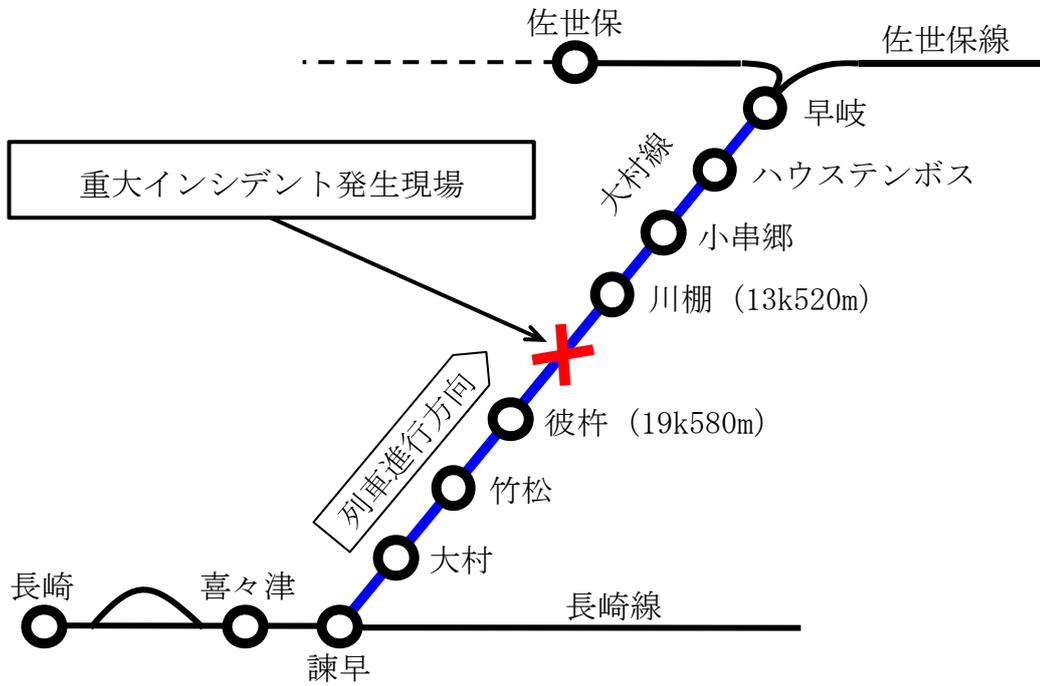
6 参考事項

本重大インシデント発生後、同社は再発防止策として以下の措置を講じた。

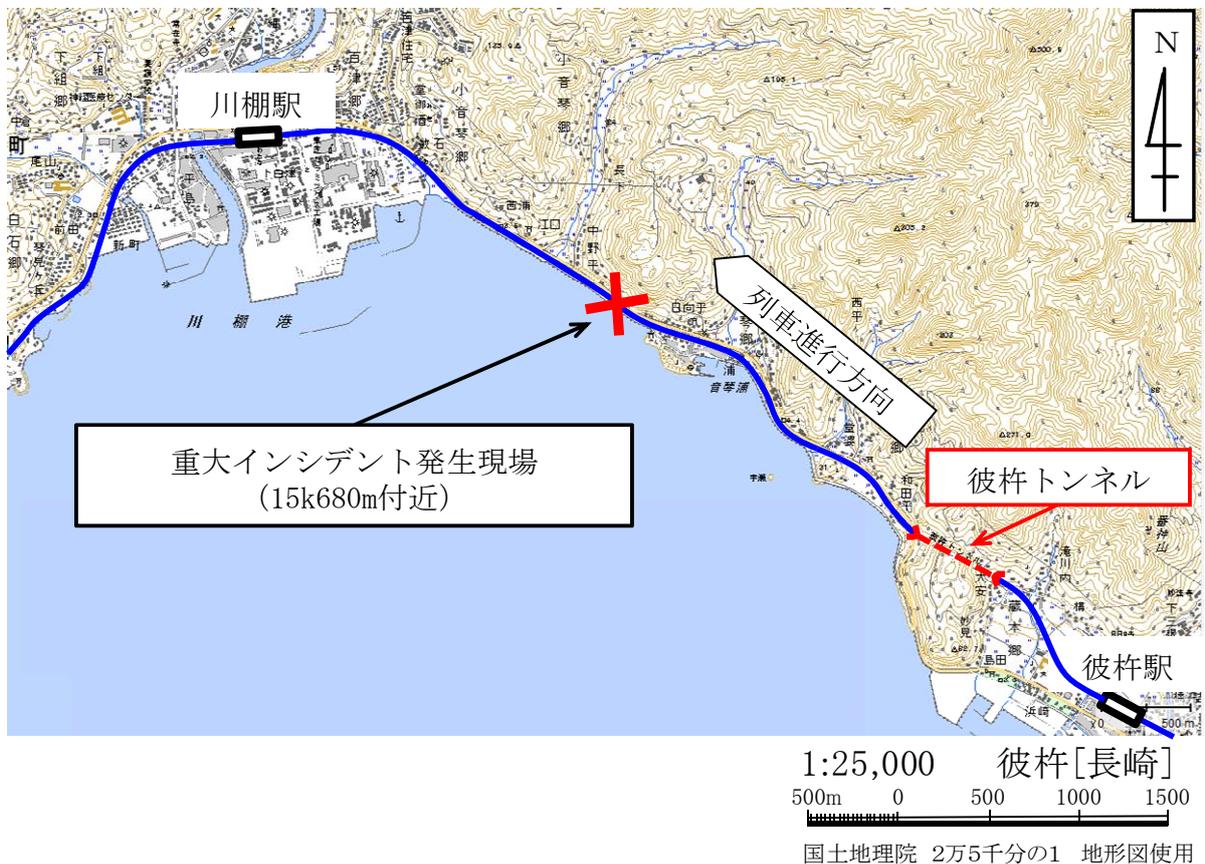
- (1) 本件車両と同様の戸閉め機械が用いられている車両（キハ66・67形、キハ40形及びキハ47形車両の計170両）について、戸閉め機械の接手ねじを中心に状態を点検し、異常のないことを確認した。
- (2) 2.6.1(1)に記述した、戸挟みにより接手ねじに曲げが作用する可能性のあるドアについて入念な点検を実施し、ピンと戸吊り金具のピン取付穴の下端との隙間を確保するように処置を行った。

付図1 大村線等の線路略図

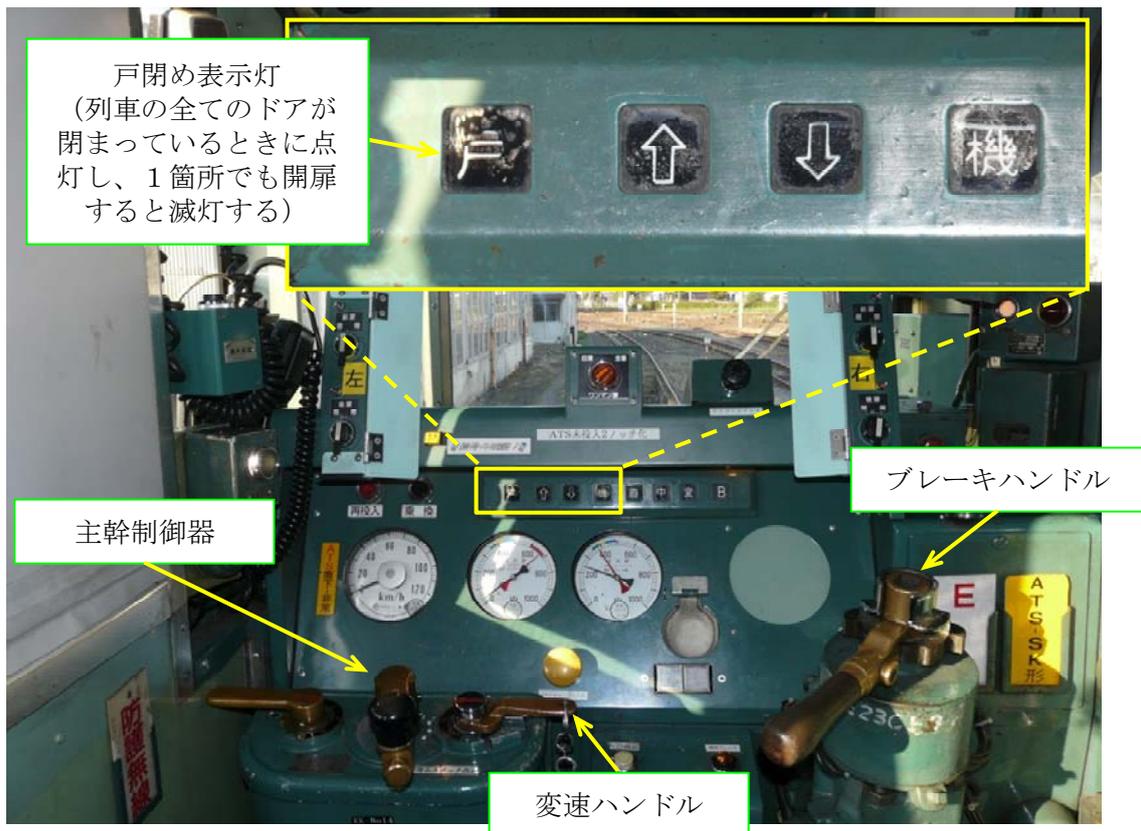
大村線 早岐駅～諫早間 47.6 km (単線)



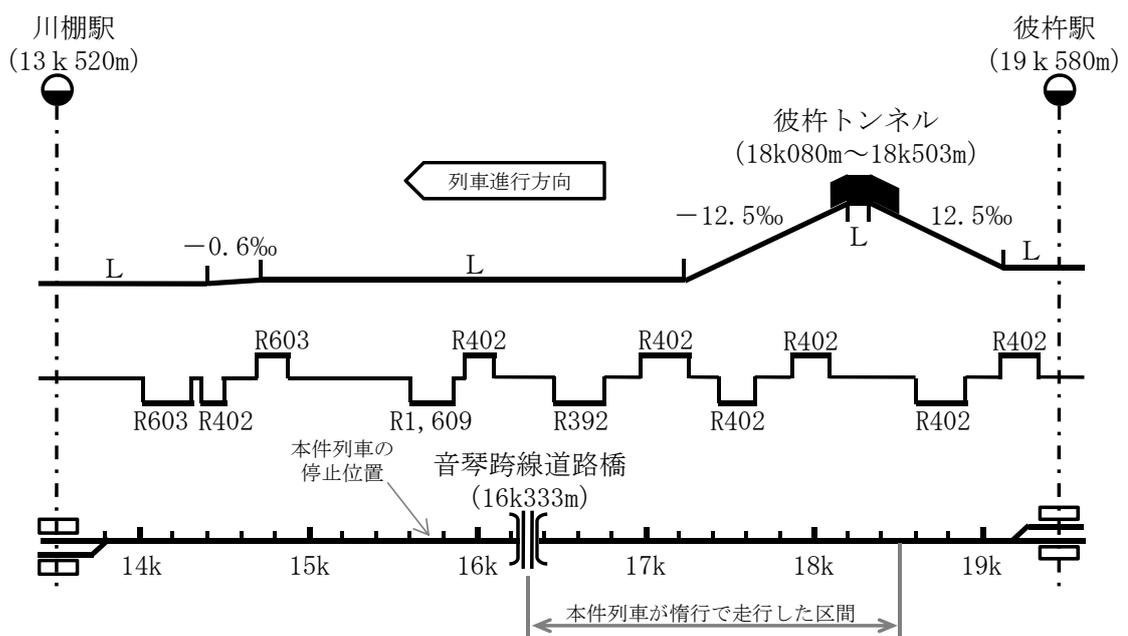
付図2 重大インシデント発生現場付近の地形図



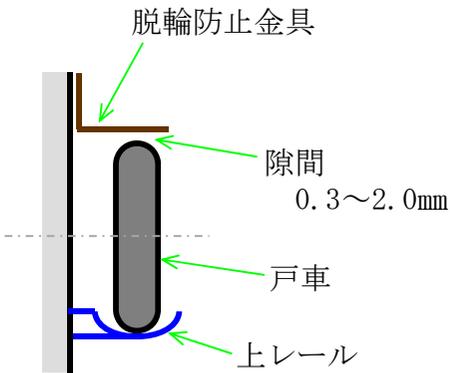
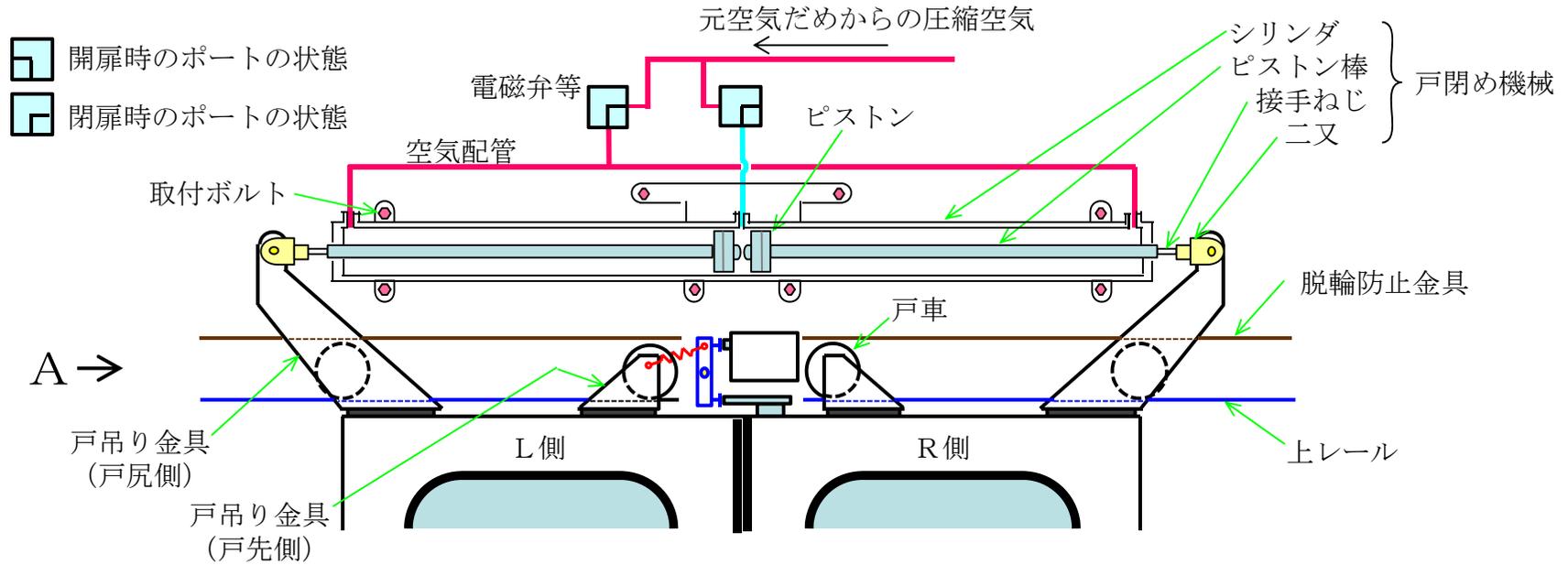
付図3 本件列車の運転台と戸閉め表示灯の状況



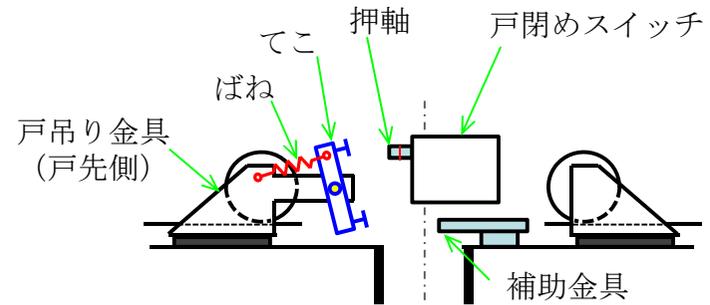
付図4 彼杵駅～川棚駅間の線路縦断面図



付図5 戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図 (1 / 3)

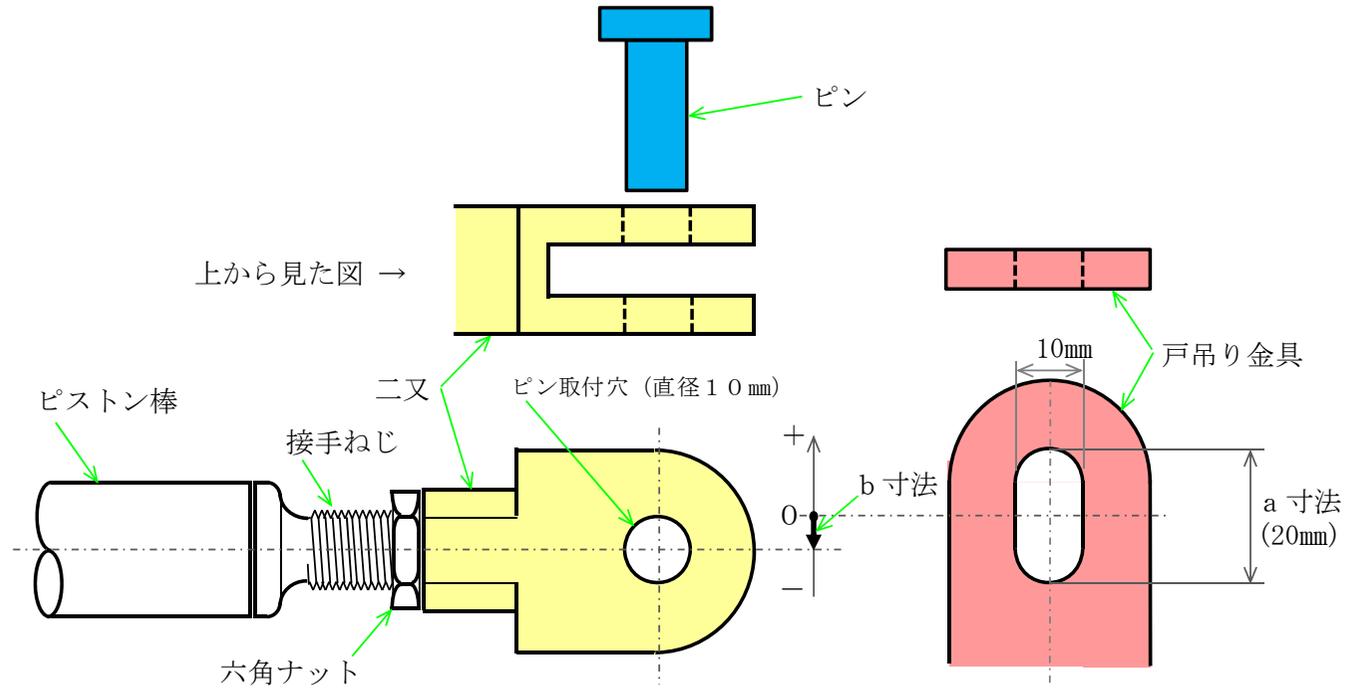


Aから見た図

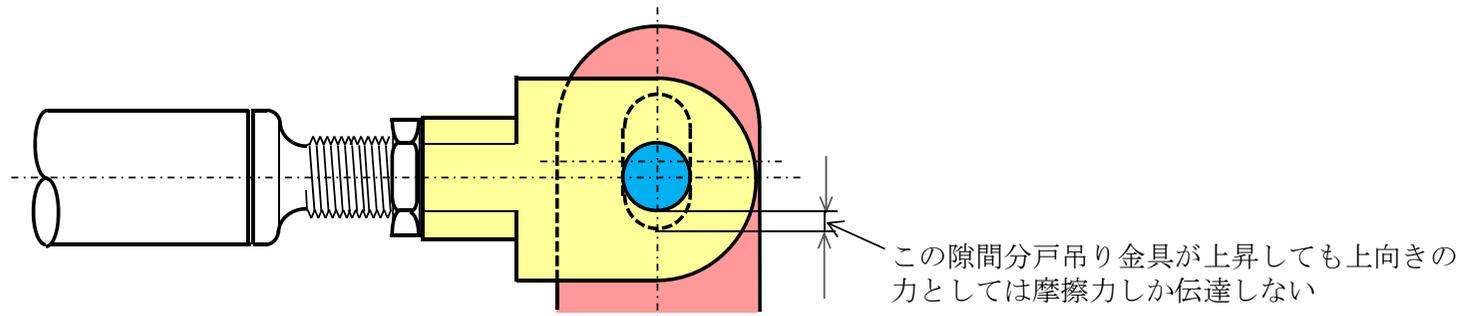


開扉時の戸閉めスイッチの状態

付図5 戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図 (2 / 3)

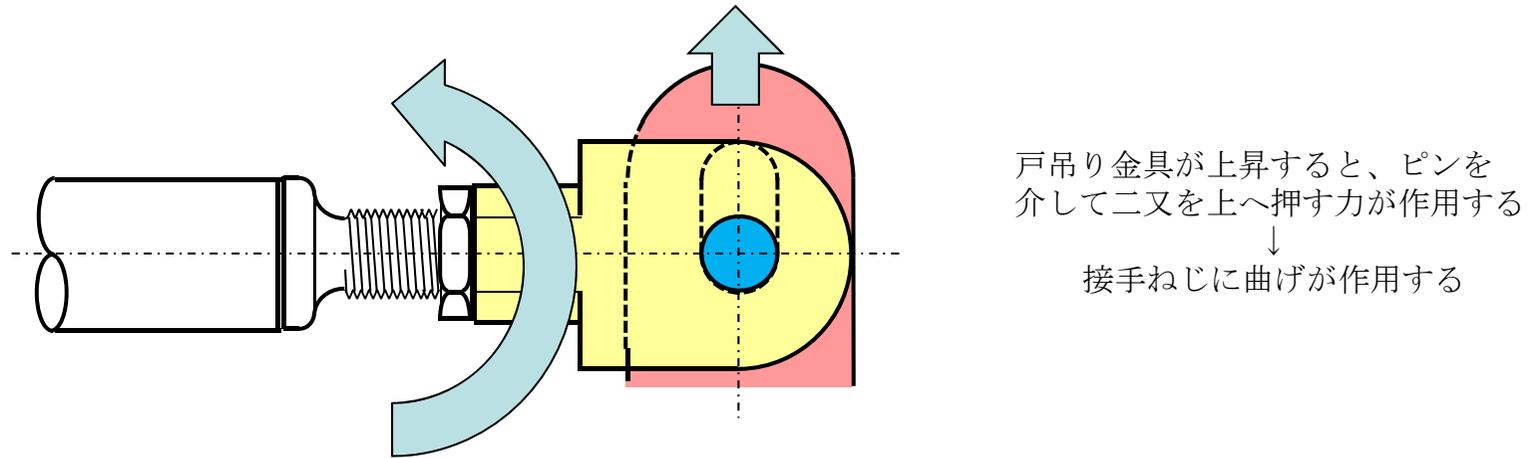


(a) 戸閉め機械と戸吊り金具接続部の部品構成

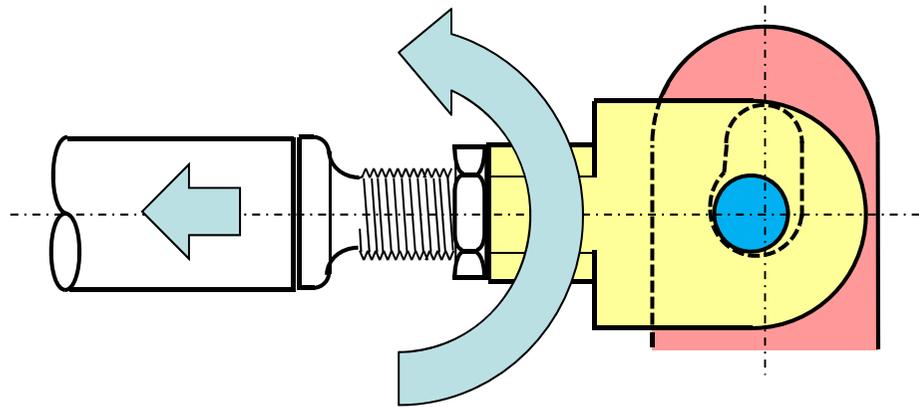


(b) 戸閉め機械と戸吊り金具をピンにより接続した状態

付図5 戸閉め機械と戸吊り金具等の概略図 (3 / 3)



(c) ピンと戸吊り金具の長穴の下端との隙間が小さい場合



付図6 戸閉め機械と点検口における戸吊り金具と二又の状況



(a) 本件ドア



(b) ドア上部の戸閉め機械



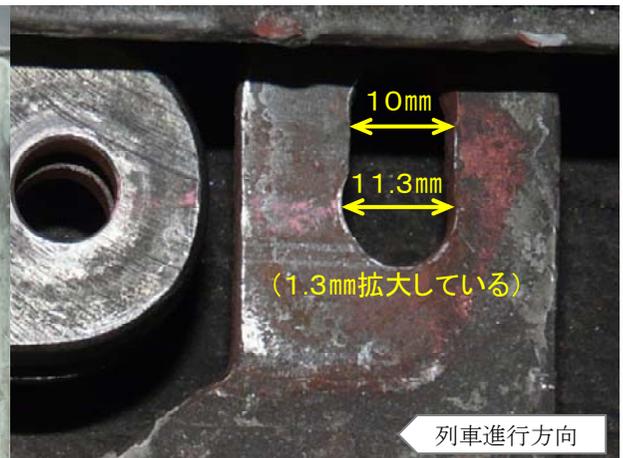
(c) 点検口の状況



(d) R側ドアの二又と戸吊り金具



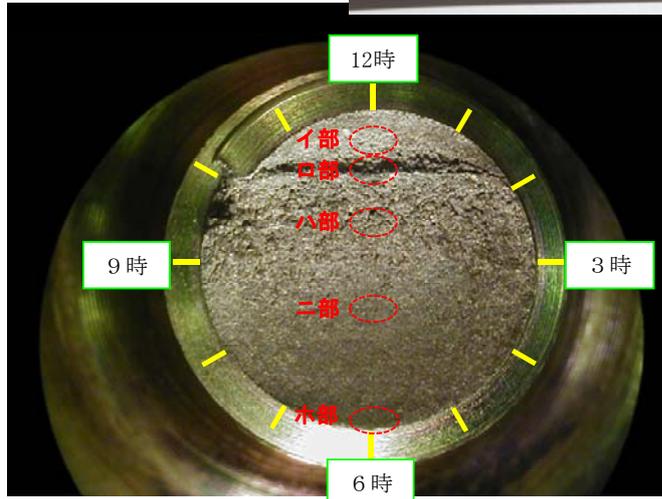
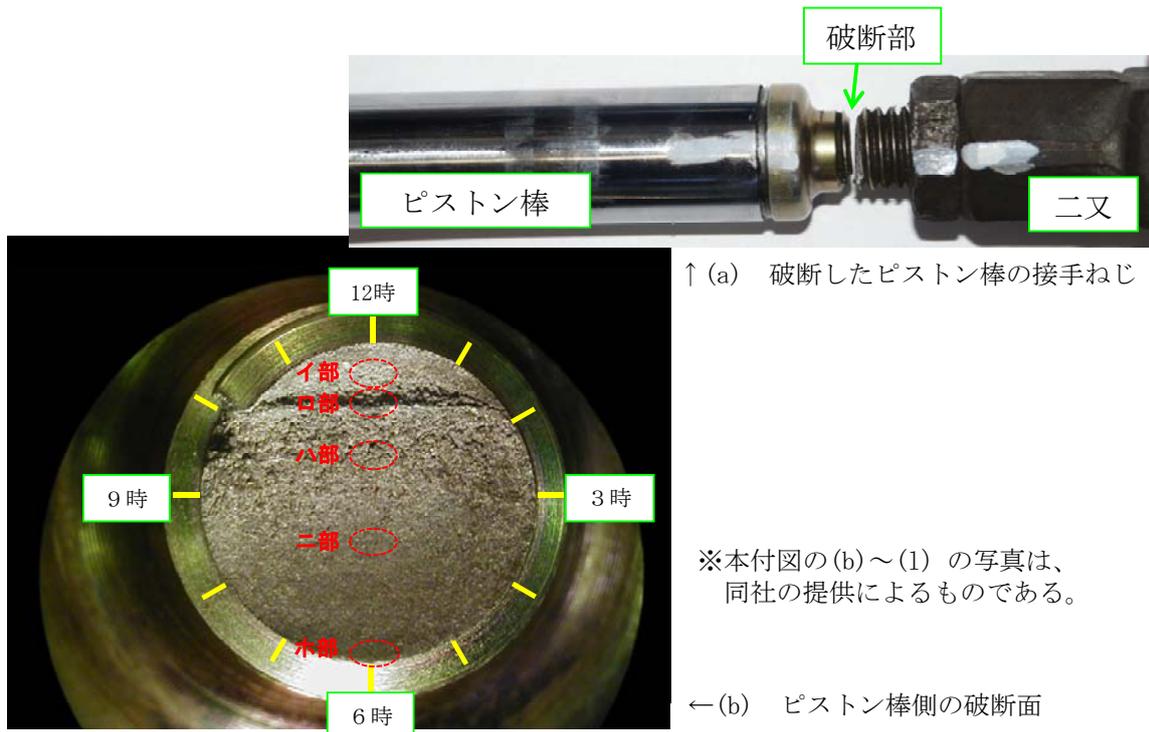
(e) ピンを取り外した状態



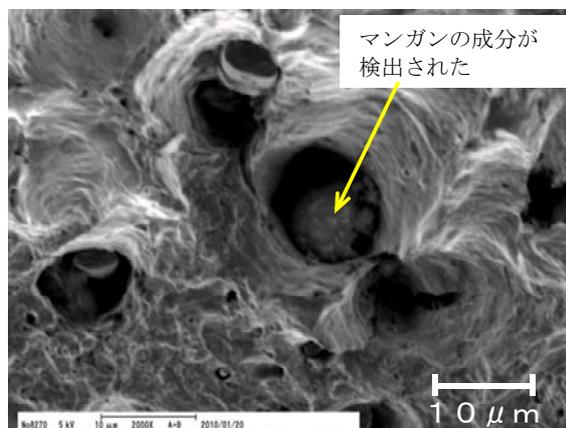
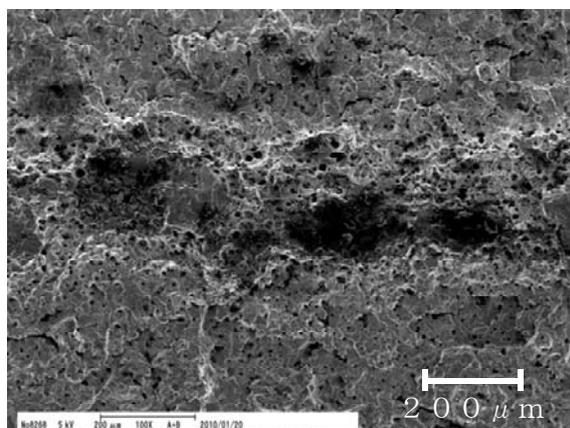
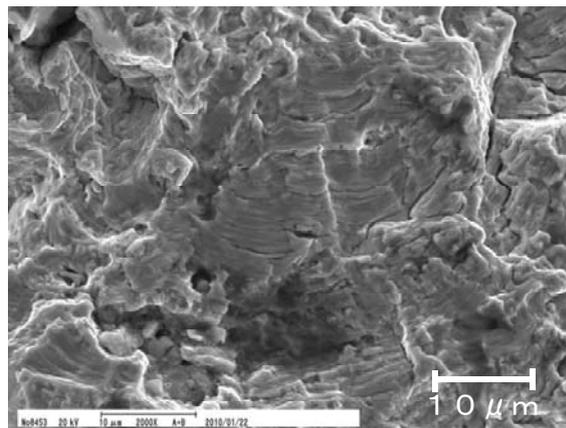
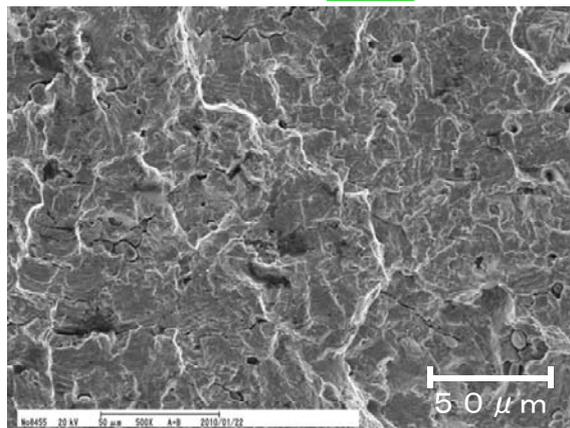
(f) ピン取付穴の摩耗の状況

本付図の写真は、いずれも車内から見た状況である。

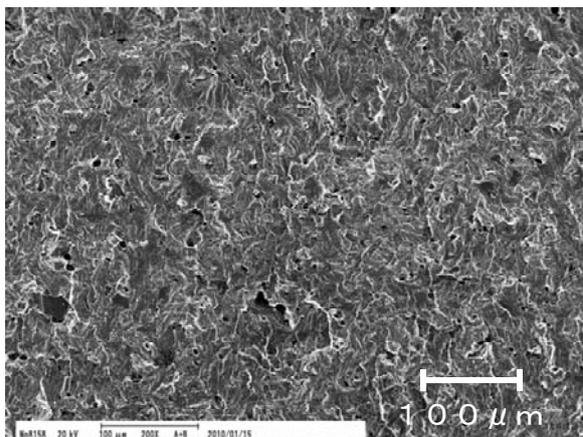
付図7 接手ねじの破断面の電子顕微鏡観察 (1 / 2)



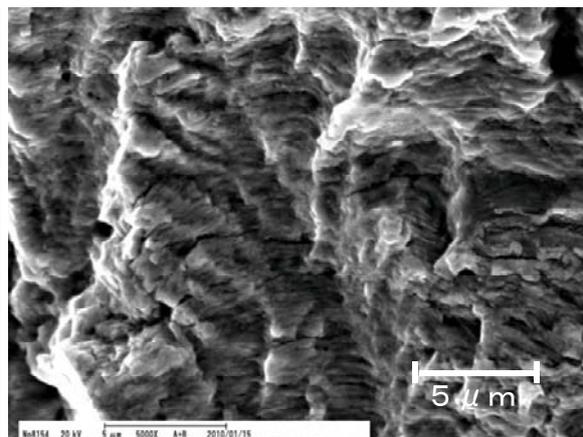
※本付図の(b)～(1)の写真は、同社の提供によるものである。



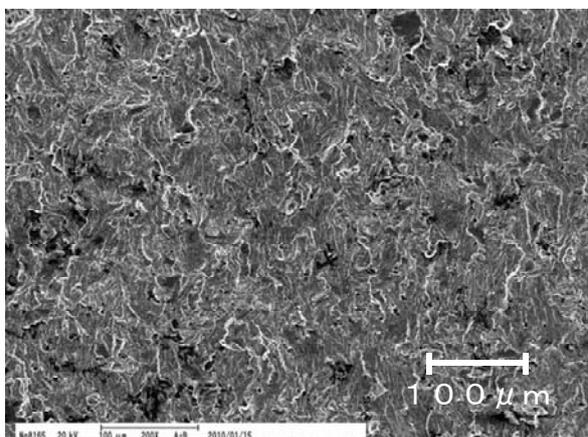
付図7 接手ねじの破断面の電子顕微鏡観察 (2 / 2)



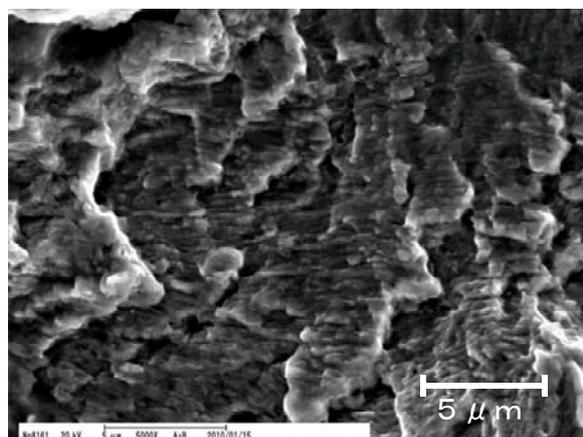
(g) ハ部の状況 二次電子像 (200倍)



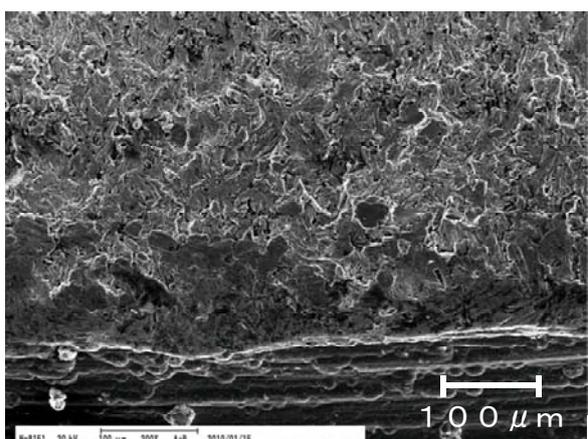
(h) ハ部の状況 二次電子像 (5000倍)



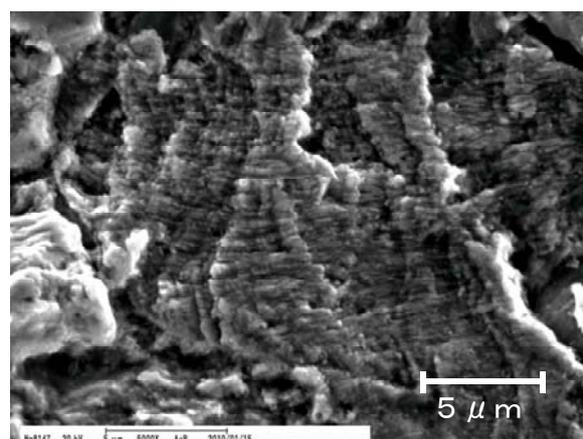
(i) ニ部の状況 二次電子像 (200倍)



(j) ニ部の状況 二次電子像 (5000倍)

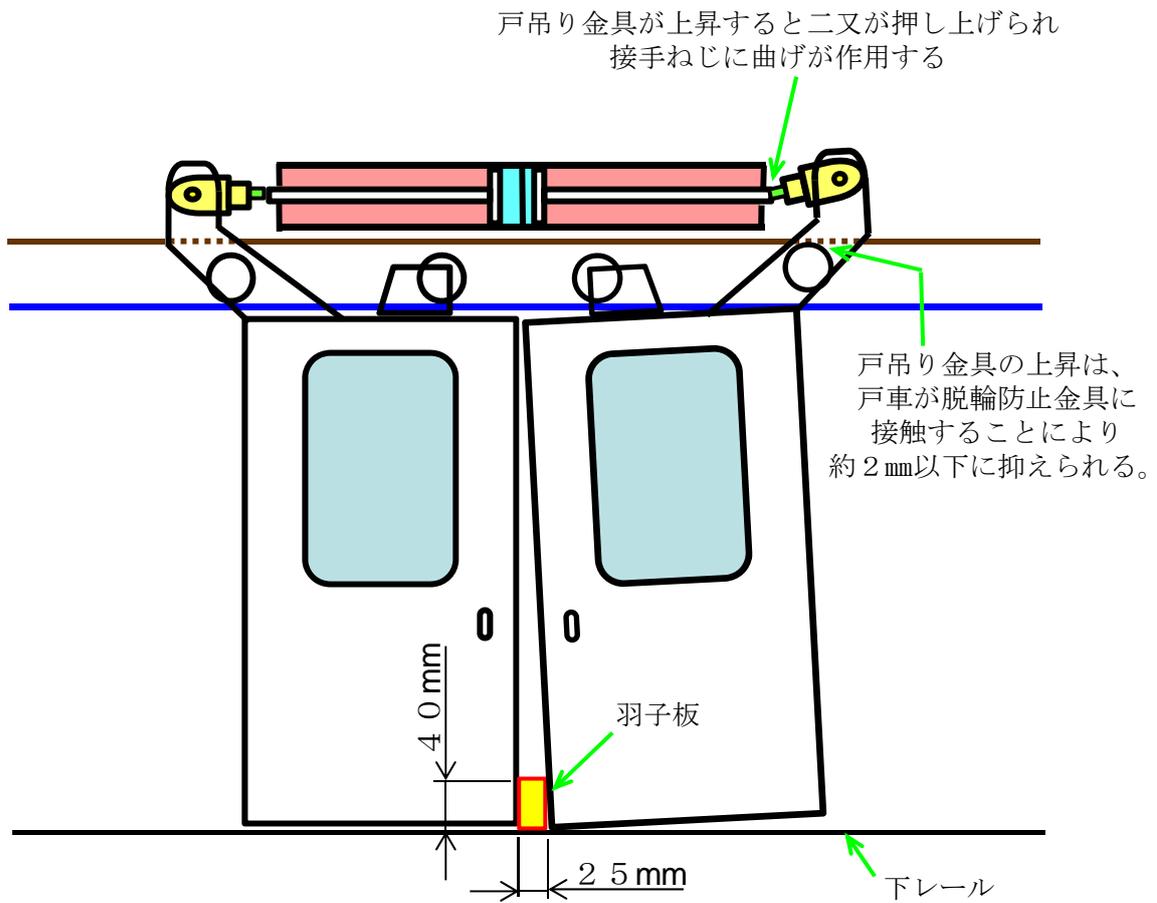


(k) ホ部の状況 二次電子像 (200倍)



(l) ホ部の状況 二次電子像 (5000倍)

付図8 ドア下部に物を挟んだときの状況

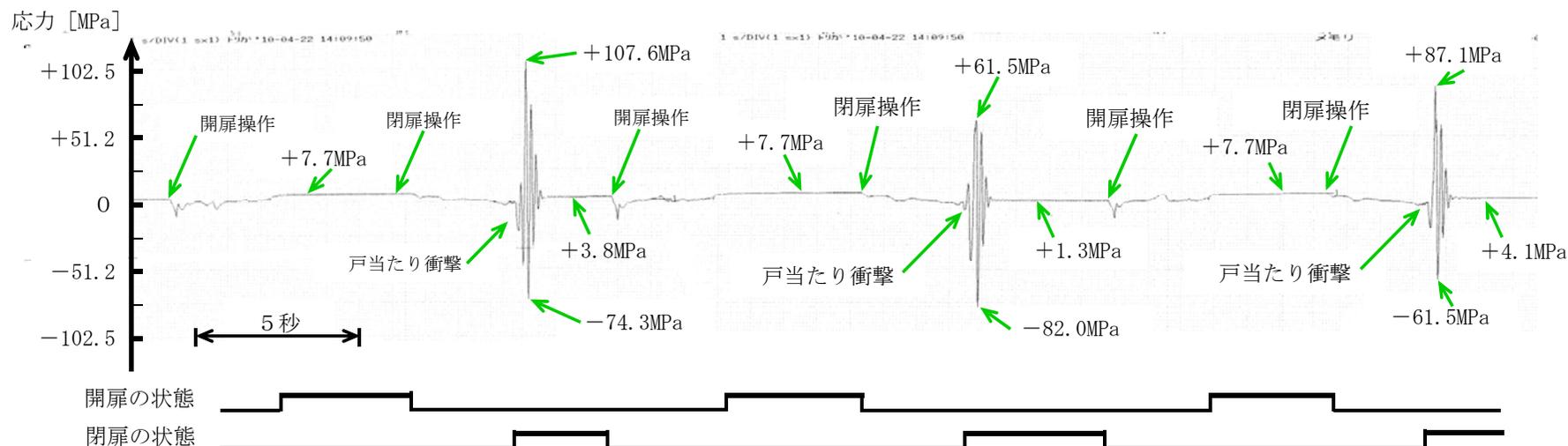


付図9 接手ねじに発生する応力の測定

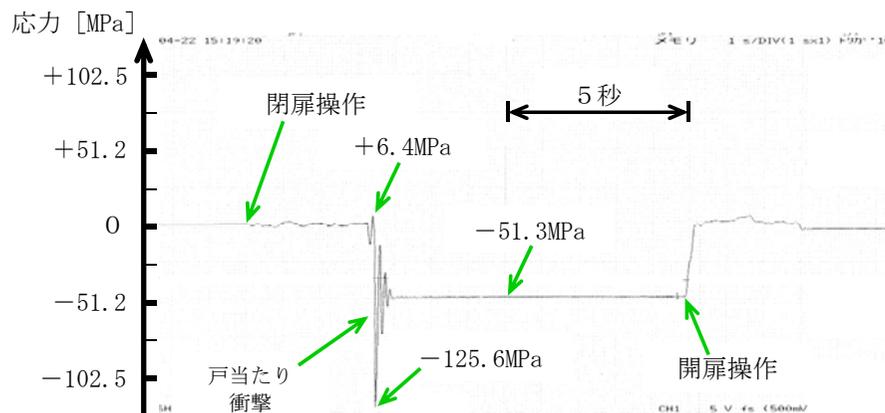


上図のようにひずみゲージを貼り、引張りと圧縮を相殺し、曲げによる応力のみを測定した。

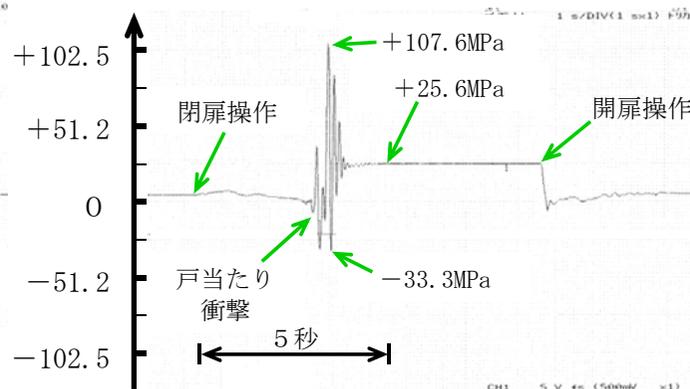
付図10 接手ねじに発生した応力 (1/2)



(a) 通常のドア開閉における状況

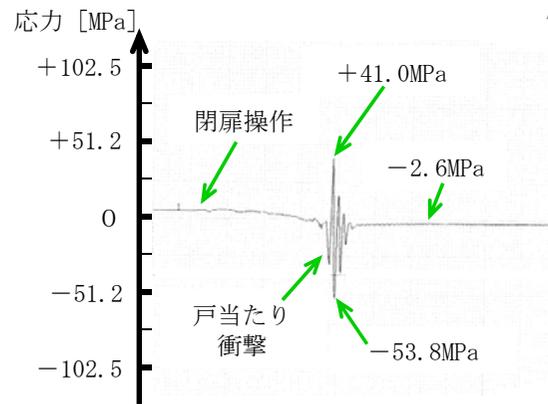


(b) 戸閉め機械をL下R上となるように取り付けた場合

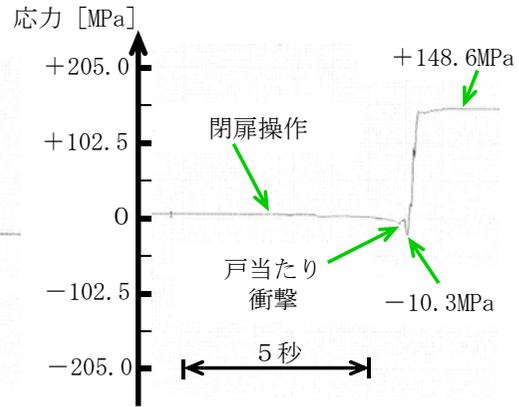


(c) 戸閉め機械をL上R下となるように取り付けた場合

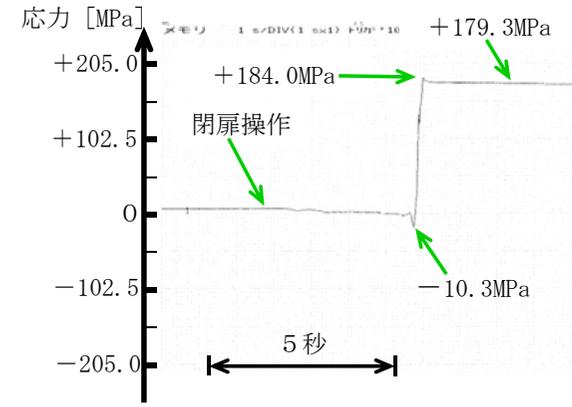
付図10 接手ねじに発生した応力 (2/2)



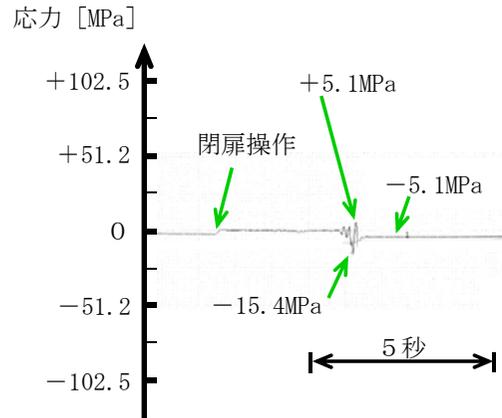
(d) ドアの上部に羽子板を挟んだ場合



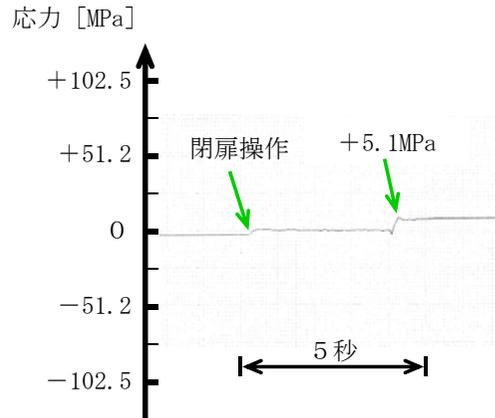
(e) ドアの中央部に羽子板を挟んだ場合



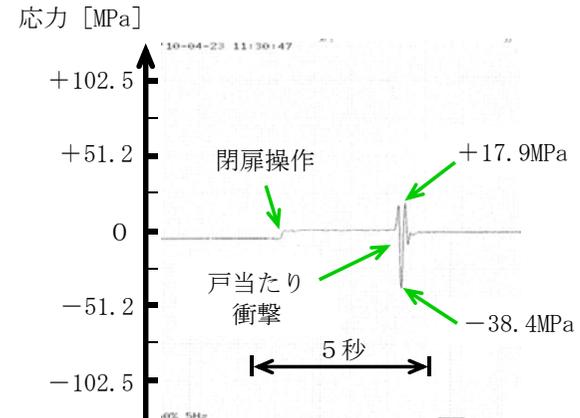
(f) ドアの下部に羽子板を挟んだ場合



(g) 縦長穴の二又を用い、ドアを閉扉した場合



(h) 縦長穴の二又を用い、ドアの下部に羽子板を挟んだ場合

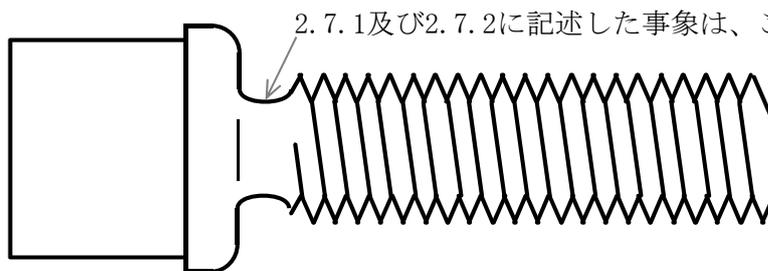


(i) 戸吊り金具を削正し、ドア開閉を実施した場合

付図 1 1 接手ねじの応力測定で使用した縦長穴の二又の状況

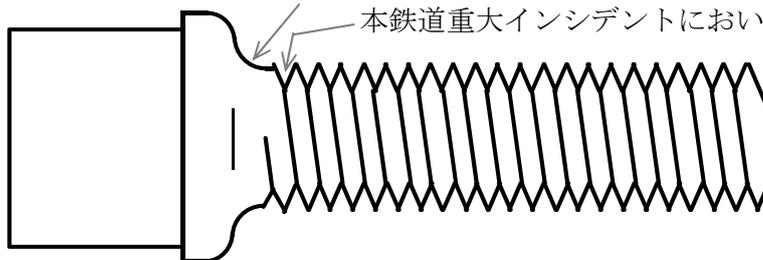


付図 1 2 従来形の接手ねじと改良形の接手ねじの概略図



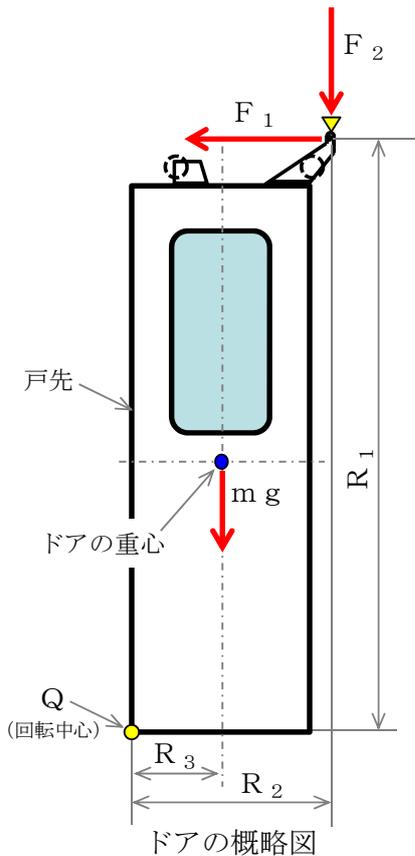
(a) 従来形の接手ねじ

この部分の形状を変更



(b) 改良形の接手ねじ

付図 1 3 戸挟みにより接手ねじに曲げを作用させる力の試算



(寸法等の情報)

$$R_1 = 2222 \text{ mm}$$

$$R_2 = 710 \text{ mm}$$

$$R_3 = 323 \text{ mm}$$

$$\text{ドアの質量} : m = 40.6 \text{ kg}$$

ドアの下部で戸挟みが発生した場合に、接手ねじに曲げを作用させる上向きの力の試算を行った。

2.3.2及び2.3.3に記述した情報から、元空気だめ圧力が最大のときの閉扉の状態におけるピストン棒の推力を F_1 とすると、以下のとおり求められる。

シリンダ径 : 36 mm

ピストン棒径 : 20 mm

最大元空気だめ圧力 : 686 kPa

シリンダの断面積 : A_1

閉扉時のピストンの有効断面積 : A_2

$$A_1 = (36 / 2)^2 \pi = 1,018 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_2 = A_1 - (20 / 2)^2 \pi = 704 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$F_1 = A_2 P = 483 \text{ [N]} \quad (49.3 \text{ kgf})$$

戸挟みは、戸先の下端 (点Qの位置) に物を挟んだと仮定する。戸挟みにより点Qを中心にドアが回転しようとするが、戸吊り金具のピンによりドアが拘束されているものと仮定すると、戸吊り金具が上昇しようとする力に対する抗力 F_2 は、以下のように求められる。

$$F_2 = \frac{F_1 R_1 - m g R_3}{R_2} = 1,330 \text{ [N]} \quad (136 \text{ kgf})$$

この F_2 と同じ大きさの力がピンには上向きに作用し、接手ねじに曲げを作用させる。この値は、例えばピストン棒の推力 483 N を基準とすると、2.75 倍である。

(上記の F_2 は、戸挟みが戸先の下端部で発生したと仮定していること、戸先の上部は相手側のドアの戸先とは当たらない仮定であること、戸車も脱輪防止金具とは当たらない仮定であること、などから、発生しうる最大値であると考えられる。)