

RI2013-2

鉄道重大インシデント調査報告書

天竜浜名湖鉄道株式会社天竜浜名湖線浜松大学前駅～都田駅間における鉄道重大インシデント

車両障害（「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）

平成25年11月29日

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」

天竜浜名湖鉄道株式会社天竜浜名湖線浜松大学前駅～都田
駅間における鉄道重大インシデント

車両障害（「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：天竜浜名湖鉄道株式会社

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23年8月9日 9時30分ごろ

発生場所：静岡県浜松市

てんりゅうはまなこ
天竜浜名湖線 みよこだ
浜松大学前駅～都田駅間（単線）
かけがわ
掛川駅起点37k800m付近

平成25年11月11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	小豆澤照男
委員	石川敏行
委員	富井規雄
委員	岡村美好

要旨

<概要>

天竜浜名湖鉄道株式会社の天竜浜名湖線^{しんじょはら}新所原駅発掛川駅行き1両編成の上り第122列車（ワンマン）は、平成23年8月9日、都田駅に停車するためのブレーキ扱い中、列車右側の前部旅客用乗降口のドアが開いたため、列車の運転士は直ちにブレーキハンドルを操作して列車を停止させた。停車後、確認したところ、当該ドアは全開しており、右側後部の旅客用乗降口からは、乗客が乗り込んで来ていた。その後、運転指令の指示で旅客用乗降口の鎖錠を行った状態で運転を継続し、^{てんりゅうふたまた}天竜二俣駅で車両を交換した。

なお、列車には、乗客数十名が乗車していたが転落等による負傷者はいなかった。

<原因>

本重大インシデントは、列車のドア開閉を行う電気回路の中に、走行中にドアが開くことを防止する機能を持つ戸閉保安回路を迂回する形で回路が増設されており、制御装置（P L C）の動作不良によって当該ドアの開閉を行うドア電磁弁へ電源が供給され、さらに電源線にある半導体リレーの不具合により出力が導通（オン）状態となって、ドア電磁弁に電流が流れてドアが開いたことにより発生したものと考えられる。

なお、制御装置（P L C）の動作不良に関しては振動等が関与した可能性が考えられるもののその原因を明らかにすることはできなかった。また、半導体リレーの不具合が発生したことについても、その原因を明らかにすることはできなかった。

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

天竜浜名湖鉄道株式会社の天竜浜名湖線新所原駅発掛川駅行き1両編成の上り第122列車（ワンマン）は、平成23年8月9日（火）、都田駅に停車するためのブレーキ扱い中、列車右側（前後左右は列車の進行方向を基準とする。）の前部旅客用乗降口のドアが開いたため、列車の運転士は直ちにブレーキハンドルを操作して列車を停止させた。停車後、確認したところ、右側前部の旅客用乗降口のドアは全開しており、右側後部の旅客用乗降口からは、乗客が乗り込んで来ていた。その後、運転指令の指示で旅客用乗降口の鎖錠を行った状態で運転を継続し、天竜二俣駅で車両を交換した。

なお、列車には、乗客数十名が乗車していたが転落等による負傷者はいなかった。

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、列車の走行中に客室の旅客用乗降口のドアが開いた事態であり、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、運輸安全委員会設置法施行規則第2条第6号に定める特に異例と認められるものとして、調査対象とした。

運輸安全委員会は、平成23年8月9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た。

中部運輸局は、本重大インシデント調査の支援のため、職員を現場に派遣した。

1.2.2 調査の実施時期

平成23年8月9日及び10日	現地調査、車両調査及び口述聴取
平成23年9月5日及び6日	同形式車両を使用した環境測定試験
平成24年9月4日～7日	現車走行・定置試験、分解調査

1.2.3 事実情報の提供

平成23年8月29日、その時点までの事実調査結果に基づき、国土交通省鉄道局に対して事実情報の提供を行った。

1.2.4 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

2.1.1 運転士等の口述

本重大インシデントに至るまでの経過は、天竜浜名湖鉄道株式会社（以下「同社」という。）の天竜浜名湖線新所原駅発掛川駅行き第122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。）及び運転指令（以下「本件運転指令」という。）の口述によれば、概略次のとおりであった。

(1) 本件運転士

本重大インシデント当日は天竜二俣駅に留置されていた本件列車となる車両（以下「本件車両」という。）の出区点検を行ってから第305列車として新所原駅まで運転したが、この間、車両には全く異常はなかった。

その後、新所原駅で折り返し列車となり、定刻（8時34分）に駅を出発し、都田駅に到着する直前においても遅れ等はなかった。

駅に近づく際は、ホームの状況等を確認しており、このときもホーム上に結構旅客がいるのが分かった。都田駅到着の手前でブレーキを扱って減速を始めたときに右側の方で何か摩擦音が聞こえたので、その方向を見てみると、前部右側ドア（以下「本件ドア」という。）がほとんど開ききったぐらいの状態であったので、追加のブレーキ操作をした。

停車するのと同様くらいに、右側後部ドアから乗り込んで来た乗客がいたので、右側後部ドアも開いているのだと思った。

前駅でもドアを通常使用する自動扱いとして開けていたため、都田駅でもドアは通常の自動扱いであった。なお、本重大インシデント発生直後に、念のためドアのモードを確認したところ、「自動」と設定されていた。

その後、本件車両に不具合が発生したこと、ドア付近の方は気を付けてくださいということ、着席してくださいということの車内放送を行い、全員が着席したのを確認してから車内の確認を始めると、運転台の右側ドア開指令ボタンの赤いランプ（付図4参照）が点いていた。そのボタンを押してみると、通常は鳴らないはずのチャイム（「ピンポン」という音）が鳴った。

その後、右側ドア閉指令ボタンを押すと、通常どおりチャイム鳴動の後に右側ドアが閉まり、さらに、右側ドア開指令ボタンを押すと、通常どおりチャイム鳴動の後に右側ドアが開いた。

状況確認後、本件運転指令へ報告したところ、本件列車を現在の停止位置から動かさないようにという指示があったのでそれに従った。待っている間PLC用運転台モニタ（PLCについては2.2.3.3で後述する）で故障発生

状況やその履歴についても確認してみたが、異常等は記録されていなかった。

その後、本件運転指令からドアの鎖錠をした上で運転を続けること、乗降は乗務員室扉から行うことという内容の指示があったため、車内放送でその旨を乗客に案内してから鎖錠作業に入った。

まず運転台の右側ドア閉指令ボタンを押してから、一つのドアの鎖錠を行い、確認するためにコック^{*1}を扱ってドアの密着を緩めると、通常は鳴らないはずのチャイムが鳴った。鎖錠されていることを確認して、そのドアのコックを扱い（ドアに空気を込め）、再びドアを密着させたときには、チャイムは鳴らなかった。別のドアで同様に作業を行うと、また同じようにチャイムが鳴った。

ドアの鎖錠が終わったことを本件運転指令に報告し、運転を再開した。

本重大インシデント発生時には、本件ドアは通常ドアが開く際に鳴るはずのチャイムが鳴らず、摩擦音が聞こえてから開くまでの時間は、正常動作時と同じくらいの時間であるように感じた。またドアコックを扱った際にエアが抜ける音もしていなかった。

なお、本重大インシデント発生時は、着席して運転していたので、右手はブレーキ弁、左手はノッチハンドルに添えており、また、衣類など身に付けたものや、携行品、運転ダイヤ等が運転台盤面上の各種スイッチ類等に触れるようなことはなかった。同様に、本件列車後部にある運転台については、運転室に乗客が立ち入ったり、身を乗り入れたりして、各装置に触れることがないように、運転室の仕切り用の料金箱を固定するとともに、仕切りアクリルパネルも閉じた状態にしてから運転していた。

また、駅停車時に開いていたドアが勝手に閉まってしまったことや、放送ができないということも経験しているが、その際はPLC用運転台モニタにエラーが発生したことを示す文字が表示されていた。いずれの場合も、エラーは運転席の後ろにあるPLCの筐体^{きょうたい}に強い衝撃が加わるような状態のときであった。

本件ドアが開いた時の本件列車の速度は25km/h程度であったと思う。

(2) 本件運転指令

列車無線が入った時に、時計を見ると9時31分ごろであった。

指令を呼び出す際の本件運転士の声の様子が通常とは違っており、何か異常が発生したのだと感じたため、何が発生したのかと尋ねると、「走行中にもかかわらず、ドアが開いた」という報告があったので、まず列車を停車さ

*1 圧縮空気を抜いてドアを手動で開閉するためのコックが、ドア部に設けられている。

せて動かさないようにとの指示を行った。

その後、ドア関係の点検を指示したが、本件列車の運転台にあるPLC用運転台モニタにエラー表示は一切出ていなかったほか、関係するスイッチ類の位置も正常であり、また、戸閉のパイロットランプは、消灯していたとの報告があった。

関係者で対応を検討して、関係するドアを鎖錠して運転を継続することと、旅客扱いはホームに面した運転台の乗務員室扉を使って乗降させることと、運転を行う際には、ドアには注意して運転するようにという指示を行った。

本件列車は都田駅に約9分停車して出発した。

本重大インシデント発生直後、本件列車は、所定の停止位置の約3m手前（掛川駅起点37k762m付近。以下「掛川駅起点」は省略。）で停車した。なお、本重大インシデントの発生場所は37k800m付近であり、発生時刻は9時30分ごろと思われる。

（付図1 天竜浜名湖線路線図、付図2 本重大インシデント現場付近地形図、付図3 本件ドアの本件車両内位置図、付図4 PLC装置とPLC用運転台モニタの設置場所、付図6 本件ドア概略図 参照）

2.1.2 運転状況の記録

本件列車には、運転状況記録装置は設置されていない。

2.2 鉄道施設及び車両等に関する情報

2.2.1 鉄道重大インシデント発生現場

本重大インシデントが発生した浜松大学前駅～都田駅間（約1.4km）は、都田駅に向かって10%～20%の上り勾配で左右に半径250m及び300mの曲線がある。都田駅の近傍は1%の上り勾配で、直線となっている。

都田駅のホームは長さ約80m（37k700m～37k780m）であり、本重大インシデント発生時の本件列車の停止位置は37k762m付近であった。

2.2.2 鉄道施設

天竜浜名湖線は、掛川駅～新所原駅間を結ぶ営業キロ67.7km、駅数が38駅の全線単線の非電化路線である。

2.2.3 車両

2.2.3.1 概要

車 種 内燃動車（ディーゼルカー）

編成両数 1両
編成定員 120名（座席定員52名）
記号番号



車両形式TH2100形

備 考 ワンマン運転対応。株式会社新潟鐵工所*2（以下、継承会社を「車両メーカー」という。）製。新潟鐵工所として最初にPLCで各装置を制御する方式を採用した形式の車両である。

2.2.3.2 検査歴

新 製 平成15年11月
重要部検査 平成20年10月14日
月 検 査 平成23年7月14日
列車検査 平成23年8月6日
検査の記録に、異常は認められなかった。

2.2.3.3 ドア開閉制御装置

本件列車のドアは圧縮空気を利用して開閉しており、この圧縮空気の流れを制御するためドアの上部に設置されている電磁弁（以下「ドア電磁弁」という。）は、電流が流れたときだけドアを開けるようになっている。

(1) ドアの開閉を制御する装置の概要

同社のTH2100形車両の戸閉回路は、一般的な鉄道車両に使用されている戸閉回路（電源、戸閉保安回路のリレー、2つの機械式リレー及びドア電磁弁で構成される回路。以下「基本的な戸閉回路」という。）に、ドアの開閉時機やドア開閉時のチャイムの鳴動などを制御するためのプログラマブル（ロジック）コントローラ*3（略称「PLC」という。）を付加している。

運転台に設けられているドア開指令ボタン、ドア閉指令ボタンを操作すると、ドア開、又は、ドア閉の指令が引き通し線を通してドアに送られるのと同時に、ドア開閉指令ボタンの操作情報が運転室の後部に設けられている

*2 株式会社新潟鐵工所は、平成15年に解散しており、その事業のうち本件に関する部分は、新潟トランス株式会社へ継承されている。

*3 PLCとは、あらかじめ決められた制御手順に従って機械やリレーなどを制御する装置であり、マイコンのプログラムを変えることにより、その制御内容や手順を容易に変更することが可能な装置である。

PLCに取り込まれる。

その情報に応じて、PLCから車両内の通信線を通して、個別のドアに設けられている省配線端末器（PLCからの命令を解釈し、それに従って各チャンネルに入出力する信号を制御するPLCの付属装置）に命令が送られ、ドアの開閉時機や、ドア開閉時のチャイムの鳴動を制御するようになっている。

なお、この省配線端末器は、通信線上を流れるデータのうち自ユニットに関係あるもののみを選択的に受信して、出力信号あるいは入力信号を制御する。

付図5に示した本件ドアの開閉制御システムは、PLCの制御が関わってこない状態であれば、基本的な戸閉回路と同様である。

本件車両の形式においては、PLCによって、ドア開指令ボタン又はドア閉指令ボタンの操作後、また、旅客用ドア開きボタン又は旅客用ドア閉じボタンの操作後に、ドア開閉の動作の遅れを自由に制御することが可能となっており、ドア開閉指令ボタン操作後にチャイムの鳴動及びランプ^{*4}の制御を行って、旅客にドアが開閉することを知らせようになっている。

また、運転台にあるPLC用運転台モニターでPLCの設定や動作状態をモニターできるようになっている。

その制御の詳細は次の①及び②のとおりである。

① 開扉抑止^{かいひ}

開扉抑止とは、乗務員がドアを開けようとした場合に、一旦PLCが開扉を抑止し、チャイムの鳴動及びランプを点灯させた後に開扉する機能である。

PLCから開扉抑止命令が出力されると、車両内の通信線を経由して各ドアの上部に設置されている省配線端末器に伝わり、省配線端末器から半導体リレーに制御信号が送られる（付図5中の赤色点線（i））。この半導体リレーは、b接点^{*5}（常時、導通（オン）状態で、制御信号が入力されると非導通（オフ）状態になる。）であり、制御信号が入力されると電流が遮断されるため、ドア電磁弁に電気が供給されなくなり、ドアが開かなくなる。

② 閉扉抑止^{へいひ}

^{*4} ランプとは、本報告書では、旅客用乗降口の上部に設けられた20Wのランプで、乗降口の踏み段周辺を照らすことができるようになっている照明をいい、同社では踏段灯（ふみだんとう）と呼んでいる。

^{*5} b接点は、リレーの接点構成の一つであり、通常（制御信号が入力されない状態）は接点が閉じていてオン状態にあり、制御信号が入力されると接点が開いてオフ状態になる。なお、半導体リレーにおいては、機械的な接点はなく、制御信号を入力するか否かで導通（オン）・非導通（オフ）を制御する。

閉扉抑止とは、乗務員がドアを閉めようとした場合に、一旦P L Cが閉扉を抑止し、チャイムを鳴動させた後に閉扉する機能である。

P L Cから閉扉抑止命令が出力されると、車両内の通信線を経由して省配線端末器に伝わり、省配線端末器によって電源線から得た電気が、戸閉保安回路を経由せずに、ドア電磁弁へつながる回路に供給される（付図5の緑色線）ので、ドア開指令により戸閉保安回路を経由してくる本来の電源の供給が絶たれても、ドアが開いている場合は、その状態が継続される。なお、ドアが閉まっている場合には、開くことになる。

この場合、b接点で動作する半導体リレーに制御信号が入力されていないければ、ドア電磁弁に電気が供給されて、ドアが開く状態が継続される（閉まっていた場合は、開く）。

本件車両より前に製作した同形式車両では、ドア閉時のチャイム鳴動と同時にドアが閉じて旅客が降車するときにドアに挟まれかけたことがあったため、対策として同社が車両メーカーにチャイム鳴動後閉扉動作をさせることを相談したところ、車両メーカーから同社へ閉扉抑止回路の提案があり、同社はその提案を承諾し、改造を実施した。車両メーカーでは本件車両以降製造した車両に同様の改造を実施している。

(2) 本件車両のドア付属装置等の概要

① 自動と半自動のモード

列車のドアを運転台で「自動」のモードにする（P L C用運転台モニタ（付図4参照）がタッチパネルになっており、これにより、「自動」と「半自動」の切換えを行う。）と、車両の左右にあるドアのうち乗務員が押した指令ボタンに対応するドアが一斉に開閉するが、「半自動」のモードに変更すると、乗務員が押したドア開指令ボタンの側のドアについて、各々のドア付近の車両内外に設けられた旅客用ドア開きボタン、旅客用ドア閉じボタンを旅客が扱うことで、その情報が省配線端末器を通じてP L Cに一旦送られ、その制御に従ってドアが開閉される。

なお、「半自動」のモードでは、旅客が旅客用ドア開きボタンを押さない限り全てのドアが閉じている。

② 開閉時のチャイム及びランプ

ドアが開閉する際、チャイムが鳴動し、ドア上部のランプが点灯することで、旅客にこれを知らせようになっている。

(付図4 P L C装置とP L C用運転台モニタの設置場所、付図5 ドア開閉関係システム概念（本件ドア関係）、付図6 本件ドア概略図 参照)

2.2.3.4 戸閉保安回路

鉄道車両では、走行中にドアが開くのを防止するために、列車速度が5 km/h以上になると、ドアを開くための電源を遮断する機械式リレーにより構成される「戸閉保安回路」が、設備されている。

同社のTH2100形車両は、当初、「基本的な戸閉回路」が採用されており、戸閉保安回路によって列車速度が5 km/h以上になると電気を遮断する構造となっていたが、本件車両（TH2111号車）の戸閉回路においては、付図5に示す緑色線のように戸閉保安回路を迂回してドア電磁弁に電流を流す配線となっていたため、列車の速度が5 km/hを超えていた場合でもPLCのドアを開く制御が働くと、ドアが開くようになっていた。

なお、車両メーカーによれば、本件車両と同形式（TH2100形）以外の車両については、付図5のように戸閉保安回路を迂回させた回路は設けていないとのことであった。

2.2.3.5 戸閉保安回路の設計時の考え方について

車両メーカーによれば、5 km/h 検知による戸閉保安回路として、“ハードウェアによるもの”と、“ソフトウェアによるもの”を設けていたとのことである。

このとき、あくまでもハードウェアによる保安が基本であるが、ソフトウェアによる対策を併せてとることで、より強固に保安を確保できると考えて、このような設計にしたとのことであった。

2.2.3.6 閉扉抑止回路の追加配線工事について

車両メーカーによれば、改造における配線作業を容易にするため、戸閉保安回路を迂回する形とし、その際、保安上の安全性を改造前と同等とするために戸閉保安回路と同様に、5 km/h 以上で半導体リレーの出力が非導通（オフ）となる回路をPLC制御で行うこととしたとのことである。

これにより、開扉防止に対して「戸閉保安装置」若しくは「走行速度が5 km/h以上になると5 km/h 以上で半導体リレーの出力が非導通（オフ）となるPLC制御回路」によって、保安上の安全性が確保されていると車両メーカーは考えていたとのことである。また、検図においては、上記設計思想どおりの機能・図面となっているかを確認していたが、設計思想が保安度を十分に確保しているかについては、検証が行われていなかったとのことである。

2.3 乗務員等に関する情報

本件運転士 男性 40歳

2.4 気象等に関する情報

本重大インシデント発生時の現場近くの天気は晴れであった。

2.5 事実を認定するための調査及び試験

2.5.1 本件ドアの作動状況等の調査

本重大インシデント発生後、同社の車両基地で本件車両の調査を行った結果、ドアレール部及びドア下端部ガイドレール部の変形、(手動での開閉)動作時の振動・異音等の有無、他部位との接触状態等を確認したが、異常は認められなかった。

また、本件ドアの開閉確認を行ったが、動作や開閉に伴う異常な振動、音等は認められなかった。

2.5.2 本件ドアの戸閉装置、関係回路の調査

(1) ドア関係の電気配線

① 通信線

車両メーカーによれば、定置試験及び走行試験時に通信線の電圧波形を観測した結果、通信線に影響を及ぼすようなノイズの重畳は確認されなかったとのことである。

② 戸閉指令線、戸開指令線

車両メーカーによれば、常用ブレーキの操作、冷房の操作などによって、戸閉指令線(引き通し線)と本件ドアのドア電磁弁の制御線に最大4V程度のパルス状の電圧が生じたが、機械式リレーが動作する電圧に至っていないため、戸閉回路への影響はなかったとのことである。

③ 省配線端末器関係

閉扉抑止回路で用いられる省配線端末器は、PLCから制御を受けているため、省配線端末器を制御する関係回路と省配線端末器に制御される関係回路の設計図面は、それぞれ「列車情報回路ツナギ(2/2)」図(付図7b)と「補助回路ツナギ」図(付図7a)のようになっており、本件車両の省配線端末器に制御される“ドアのランプ”や閉扉抑止回路については「補助回路ツナギ」図(付図7a)に記載されている。

しかしながら、車両メーカーが作成した戸閉制御関係の電気回路図のうち、閉扉抑止回路に関わる部分の設計図「補助回路ツナギ」(付図7a)には、2.2.3.3(1)②に記述した戸閉保安回路を迂回する閉扉抑止回路は記

載されていないが、回路中のリレー素子のオンオフを制御するための省配線端末器関係の配線図「列車情報回路ツナギ(2/2)」(付図7b)には、戸閉保安回路を迂回する閉扉抑止回路が記載されており、回路図間で整合がとれていない状態であった。

なお、本件車両に関しては、「列車情報回路ツナギ(2/2)」図のとおり配線工事が施工されて同社に納車されていた。

また、本件車両より前に納車された同形式車両については、同社にて「列車情報回路ツナギ(2/2)」図のとおり配線変更工事が施工されていた。

この改造を行った車両を鉄道事業の用に供する際、同社では鉄道事業法(昭和61年12月4日法律第92号)第13条第2項本文に「鉄道運送事業者は、確認を受けた車両について、その構造又は装置を変更してこれを当該鉄道事業の用に供しようとするときは、国土交通大臣の確認を受けなければならない。」と定められた手続を行っていなかった。

鉄道事業法(抜粋)

(車両の確認)

第13条

第1項(略)

2 鉄道運送事業者は、(略)確認を受けた車両について、その構造又は装置を変更してこれを当該鉄道事業の用に供しようとするときは、(略)国土交通大臣の確認を受けなければならない。

(ただし書き略)

第3項(略)

(2) PLCプログラム

車両メーカーによれば、本件車両のPLCに組み込まれたプログラムの内容を再確認したところ特段問題となる箇所は認められなかったとのことである。

(3) PLC

PLCは電源やCPUなどの各種ユニットをマザーボードに取り付ける形で構成されている。

車両メーカーと本件車両に搭載されているPLCのメーカー(以下「PLCのメーカー」という。)によれば、本件車両のPLCを使用して再現試験等を行ったところ、外観上、一部のユニットのケース割れと端子台の傾きが確

認されており、また、CPUがこのユニットを正常に認識しない現象を確認したとのことであった。

さらに、マザーボードに組み込んだ状態のCPUユニットに振動を加えると、幾つかの異常な状態（^{アイオー}I/O照合エラーやALARMが表示される状態）が発生する事象が確認されたとのことである。

また、PLCのメーカーが保有しているユニット及びマザーボードと本件車両に使用されているものを入れ換える等の五つの組合せについての動作を確認した結果、上記の異常現象が発生することが確認され、PLCのメーカーではマザーボードに不具合の原因が存在している可能性があると考えているとのことであった。

PLCのメーカーによれば、マザーボードのバスラインに異常があり、通信ユニットから異常な信号及びデータを読み込んだために、CPUが正常に演算を実行することができなくなり、異常なデータがレジスタ上に上書きされたものと推察しているとのことである。

PLCのメーカーでは、これらの異常については、原因となる故障部位の特定には至らなかったとのことである。

(4) 省配線端末器

PLCのメーカーによれば、本件ドア部の省配線端末器について、通信信号の波形、出力動作、顕微鏡による内部確認、動作エージング、加熱及び冷却による調査を行ったところ、異常は認められなかったとのことである。

(5) 半導体リレー

半導体リレーのメーカーによれば、本件ドアに使用されている半導体リレーの調査を行ったところ、半導体リレーの入力側プリント基板で、チップ抵抗を取り付けているはんだ表面とチップ抵抗電極部の表面に荒れ（凹凸）並びにはんだ表面にクラックと変色があることを確認した。なお、これらの箇所成分分析を行ったところ、塩素、硫黄などの腐食性物質は検出されなかったことから、金属表面の荒れ並びにはんだ表面のクラック及び変色を誘発するような因子の検出・特定には至らなかったとのことである。

さらに、半導体リレーについては、電気特性・X線透視調査において異常は見られなかったことから、はんだで接合されているチップ抵抗のはんだ部のクラックによって入力回路が制御信号が入力されていない状態となったため、半導体リレー出力が導通（オン）状態になって不具合が発生したと考えているとのことである。

比較のために、本件車両の本件ドア以外から3扉分、同社の本件車両と同一時期に生産したTH2100形車両のドアから4扉分と、同社の本件車両

と生産時期が異なるTH2100形車両のドアから4扉分の部品を取り外して調査を行ったところ、本件車両の本件ドア以外の3扉分において、4接点のチップ抵抗はんだ部のクラックとはんだ面の変色が認められた。

なお、半導体リレーのメーカーによれば、過去に同様な不具合はなかったとのことである。

(6) 機械式リレー類

機械式リレーのメーカーによれば、本件ドアの戸閉保安回路で電流を遮断するリレー、本件ドア側開指令で動作するリレー、本件ドア側閉指令で動作するリレー及び本件ドアが開く状態を自己保持するときに用いられるリレーの特性（動作・復帰電圧、動作・復帰時間、接触抵抗）を測定したところ、リレーの動作及び導通に異常はなく、全て規格値を満足していたとのことである。

また、機械式リレーのメーカーでは、外観、カバーを外して内部点検を行った結果、動作異常に結び付く異物や有害な破損等の異常は認められなかった。また、リレーの接点面の点検の結果においても、明確な電流開閉痕跡及び接触不良に結び付く異物の付着は認められなかった。その他の内部部品に動作不良及び接触不良に結び付く異物は認められなかったとのことである。

(7) ドアエンジン関係（ドア電磁弁付）

本件ドアを開閉するドアエンジンのメーカーによれば、本件ドアのドアエンジンを調査したところ、各部の寸法はメーカーが定めた規格値に全て収まっており、漏えい試験、動作試験（各種状態の圧力関係測定、寸法測定、無気圧抵抗等の測定）、関係部位の浸透探傷試験、繰り返し動作試験や分解しての^{オー}リング・パッキン類を確認する調査、最低作動電圧・圧力測定、耐圧試験を行ったが、本体及び動作に異常は認められなかったとのことである。

(8) 振動・温度環境

PLCの筐体と床面に加速度計を取り付けた同形式車両を使用して、振動・温度環境の測定を行ったところ、次のような結果であった。

列車走行中にPLC筐体が受ける振動について、最大値は、上下方向に0.70G、前後方向0.59G、左右方向0.30Gであり、床面の振動は上下方向に0.65G、床面左右方向に0.33Gが観測された。車両メーカーによれば、PLCに適用される振動耐久試験の加速度複振幅は1.0G以下であり、実際の使用環境がその加速度以下であるため問題がないとのことであった。また、同社のPLCを搭載している本件車両と別の車両で、運転座席を折り畳む際の振動をやや強く与えることを数回ずつ試みたところ、

PLC筐体には、片側の運転席では最大2.34G、また、もう片側の運転席では最大2.53Gが短時間であるが測定されたとのことであった。

また、温度環境について、実運用中の同形式車両を用い、本件ドア位置における客室内の戸閉装置の電子回路、PLC、車体下部装架機器類及び車体下方の外気温（先頭と後部の2箇所）等の長期温度測定を行った。その後、本件車両を用いて同様に1行路の温度測定を行ったが、車両メーカーによれば、いずれの測定においても、PLCの仕様上の温度範囲である-5℃～55℃の範囲を超えた温度が測定されることはなかったとのことであった。

2.5.3 ドア関連空気回路

本件車両の本件ドアと同じ側後部ドアの空気回路の配管に圧力計を取り付け、ドア電磁弁の入力信号の状況も観測できるようにしてドア開閉操作を行い、ドア部における圧力復帰状況等を観測したが異常は認められなかった。また、ドア部の配管を分解して配管内を目視で調査したが、塵・汚れ等はなく、異常も認められなかった。

2.5.4 本重大インシデント後の異常動作の再現について

(1) 車両保全留置時の異常発生

保全留置時に同社が行った本件車両の機能等維持のための作業（平成24年8月1日実施）において、同社が半自動モードに設定した状態で本件車両のドアの開閉操作を行ったところ、操作どおりにドアが開閉しない事象が発生したこと、また、同社がPLC用運転台モニタを確認したところ故障履歴等は残っておらず、CPU側にも異常の記録は残っていなかった旨の報告が同社からあり、その概要は次のとおりであった。

まず、運転台にて半自動モードに設定して右側ドア開指令ボタンを押した。その後、本件ドアの車外旅客用ドア開きボタンを押して正常に開動作することを確認した後、以下の扱いで異常が認められた。

- ① 本件ドアの旅客用ドア閉じボタンを押したが、チャイムが鳴動せずにその約30秒後にドアが閉じた（チャイム音無し）。
- ② 再度運転台で右側ドア開指令ボタンを押したところ、チャイムが鳴動せずに本件ドアが開いた。なお、他のドア（3箇所）は開いていない。
- ③ 運転台にて右側ドア閉指令ボタンを押してドアを閉めた後（チャイム音無し）、もう一度②の操作をしてみたところ、同じ現象が発生した。その後、右側ドア閉指令ボタン及び旅客用ドア閉じボタンを押したところ、チャイム音のみが鳴り、約120秒経過後にチャイムが鳴動せずにドアが

閉じ、その後正常に戻った。

(2) 現車調査時の異常発生

運輸安全委員会が平成24年9月7日に実施した3回目の現地調査において、停車中の本件車両において、自動モードで運転席の左側用ドア開指令ボタンを押したところ、反対側の本件ドア（右側）が通常どおりチャイム音の後に閉じた状態となり、続いて本件ドアの戸閉保安回路と電源の間にある配線用遮断器を「断」にしたところ、本件ドアが開いた状態を続ける事象を確認した。具体的には、配線用遮断器を順に「断」にしていき、照明回路（20W×4つ）の配線用遮断器を落としたあと、右側ドアの戸閉保安回路と電源の間にある配線用遮断器を「断」にした時点で本件ドアが閉まった。このことから、左側ドアを開ける状態で右側である本件ドアが開いたのは、左側ドア戸閉抑止の制御回路に電気が流れ、その電気が本件ドアの閉扉抑止回路を通して本件ドアのドア電磁弁に電気が流れて、本件ドアが開いていたと考えられる。

3 分析

3.1 走行中のドアの開閉に関する分析

2.5.4(1)及び(2)に記述したように、本重大インシデント発生後、ドアの開閉動作が正常に行われない事象が複数回確認されており、そのうち2.5.4(2)に記述した事象については、本件車両が停止している状態で基本的な戸閉回路を遮断したにもかかわらずドアが開く事象が確認されていることから、本件列車が都田駅へ進入する際の本重大インシデント発生時にも、類似のドア開閉制御に関わる異常な事象が発生していた可能性があると考えられる。

3.2 戸閉保安回路の作動状況に関する分析

本件ドアが開いた状況については、2.1.1(1)で記述したように本件運転士が、本件列車のドアが開いた時の速度は25km/hであったと口述していること、また、戸閉保安回路で用いられている機械式リレーについては2.5.2(6)で記述したように異常等が認められていないことから、基本的な戸閉回路に異常はなく、2.2.3.4に記述した戸閉保安回路を迂回してドア電磁弁を制御（励磁）する回路が構成されたため、戸閉保安回路によって走行中にドアが開くことを防止する機能が働かなくなったものと考えられる。

3.3 設計に関する分析

2.2.3.5 に記述したように、車両メーカーによると、“戸閉保安装置”若しくは“半導体リレー（DCAR）が5km/h以上でオープンとなるPLC制御回路”で保安上の安全性を確保していると考えていたとしている。

これらの関係については、2.2.3.5 に記述したように、ハードウェアによる保安が基本であるが、ソフトウェアによる保安を追加することにより、より強固になるだろうという考えであったとのことである。

しかしながら、実際は、2.2.3.3(1)②に記述したように、閉扉抑止制御が行われた場合には、戸閉保安装置の回路を迂回して電源が供給されるため、戸閉保安装置の機能が働かなくなり、PLCのソフトウェアによる保安のみになるため、PLCの誤動作に対しては安全を確保できないというフェールセーフ性が考慮されていない構造となったものと考えられる。

3.4 図面管理等に関する分析

(1) 図面における設計思想の確認について

2.2.3.5 に記述したように、戸閉保安装置については、車両メーカーはあくまでもハードウェアである戸閉保安回路による保安が基本であるとしているが、2.2.3.3(1)②に記述したように、省配線端末器によって電源線から得た電気が戸閉保安回路を経由せずにドア電磁弁へつながる回路に供給される回路となっていることから、ハードウェアによる保安が確保できていなかった。

しかしながら、実際の設計を行う際に、2.5.2(1)③に記述した車両メーカーが作成した戸閉制御関係が表されている「補助回路ツナギ」図（付図7a参照）に閉扉抑止回路を作図していれば、戸閉保安回路を迂回していることが判断できるため、2.2.3.5 に記述したハードウェアでの保安が基本であるという設計思想から外れていたことが認識できたと考えられる。

(2) 図面間の整合性の確認について

2.2.3.4 に記述したように、本件車両と同形式車両（本件車両以前に製作した車両については、2.5.2 に記述したように同社で配線変更工事を実施。）には、戸閉保安回路を迂回して閉扉抑止を実現する回路が設けられており、これは‘実配線作業を指示する「列車情報回路ツナギ（2/2）」図’（以下「実配線図」という。）に従って配線したものである。

しかし、2.5.2(1)に記述したように、車両メーカーで設計図面として使用されていた「補助回路ツナギ」図には、2.2.3.3(1)②に記述した戸閉保安回路を迂回する閉扉抑止回路は記載されていなかった。

このように、設計図面には記載されていない配線が、実配線図には記載され

るという不整合が生じており、実配線図を作成する際、関係する設計図面と実配線図の照合が確実に行われていれば、不整合に気が付いたものと考えられる。

3.5 原因に関する分析

3.5.1 原因の絞り込みについて

(1) 外的要因

外的要因としての第三者による開扉操作の可能性については、本件運転士の2.1.1(1)の口述でドア付近に不審者等を見たとは述べていないこと、及び、後方運転台がある運転室については関係者以外侵入できないようにしたと述べていることから外的要因が原因ではないと考えられる。

(2) 誤操作等

2.1.1(1)で本件運転士が、本重大インシデント発生時は、着席して運転していたので、右手はブレーキ弁、左手はノッチハンドルに添えており、また、衣類など身に付けたものや、携行品、運転ダイヤ等が運転台盤面上の各種スイッチ類等に触れるようなことはなかった旨を口述していることから誤操作などが原因ではないと考えられる。

(3) 電気回路

電気関係については2.5.2に記述したように、ドア関係の電気配線、通信線に異常は認められておらず、また、制御関係の基本的な戸閉回路がハードウェアで組み立てられており、この制御回路で用いられる回路・素子に異常がない場合、電気の瞬断やノイズ等の割り込みなどが入ったとしても、ドアが開き、それを継続する可能性は低くそのようなことが起こった場合に残る接点の溶損や部品の破損・変形などの痕跡も認められていなかった。

一方、2.5.2(3)に記述したように、本件車両ドア制御のPLCに異常が発生していること及び、2.5.2(5)に記述したように、本件車両の半導体リレーの出力が導通（オン）状態になるという不具合が発生していることが確認されている。

(4) 空気回路

空気回路関係については、2.5.2(7)及び2.5.3に記述したように、異常は認められていないため、空気回路は原因ではないと考えられる。

(5) 機械機構

2.5.1に記述した本件ドア機構関係及び2.5.2(7)に記述したように、ドア駆動系についても、異常は認められていないため、これらが原因ではないと考えられる。

以上のことから、本重大インシデントでは、基本的な戸閉回路、それが制御する

ドア開閉用の空気回路及び機器以外の、P L C、省配線端末器及びそれらに制御される部品、回路等に原因がある可能性が高いと考えられる。

3.5.2 発生原因に関する分析について

3.5.1 に記述したように、本重大インシデントは、P L C、省配線端末器及びそれらによって制御される部品、回路等に原因がある可能性が高いと考えられるが、付図5の回路において、基本的な戸閉回路以外の動作で、ドアが開く可能性があるのは、2.2.3.3(1)②に記述したP L Cが閉扉抑止の制御を行う場合で

- (1) 戸閉保安回路を迂回する回路から半導体リレーに電気が供給され、
- (2) 半導体リレーの出力が導通（オン）状態になる、

という状況が同時に発生した場合だけであると考えられる。

ここで、省配線端末器については、P L Cのメーカー調査において何ら異常が認められていないため、原因につながる可能性は低いと考えられる。

一方、P L Cについては、半自動モードの状態では運転台のドア開指令ボタンを押しても、旅客用ドア開きボタン（車内・外のいずれか片方）が押されない限り、P L Cから当該ドアに開扉指令は出ないはずであるが、2.5.4(1)②で記述したように、チャイムが鳴動せずに本件ドアが開くという誤動作をしたことが確認されている。

したがって、2.5.2(4)に記述したように、本件ドアの省配線端末器の動作に異常が確認できなかったことを考慮すると、P L Cに異常が発生した可能性が高いと考えられる。

この場合、「(1)と(2)の両方ともP L C異常が原因」の場合と、「(1)がP L C異常が原因で、(2)が半導体リレーの不具合が原因」の場合の二通りが考えられる。しかしながら、「(1)と(2)の両方ともP L C異常が原因」については、2.1.1(1)に記述したように、本件運転士は、常用ブレーキ、力行ノッチ等の制御時には、異常を感じていないため、異常動作の発生割合は低く、特定の操作を行った場合等や、更に複数の条件が重なった場合にだけ発生する可能性があると考えられる。

このため、P L C異常が原因で「(1)戸閉保安回路の迂回路から電気が供給され」、半導体リレーの不具合が原因で「(2)の半導体リレーの出力が導通（オン）状態になった」可能性が高いと考えられる。

このとき、2.5.2(3)に記述したように、P L C異常については、マザーボードのバスラインに異常があり、通信ユニットから異常な信号及びデータを読み込んだために、C P Uが正常に演算を実行することができなくなり異常なデータがレジスタ上に上書きされたものと推察されるが、P L Cの異常が発生する部位及び発生する原因については、明らかにすることはできなかった。

なお、このことに2.1.1(1)及び2.5.2(8)に記述した運転座席の折り畳みによる

振動が関与していた可能性は否定できないと考えられる。半導体リレーの部品の不具合についても、2.5.2(5)に記述したように、はんだ接合部の不具合に起因する可能性も考えられるがその原因となる部位や機構の詳細については、明らかにすることはできなかった。

また、2.1.1(1)に記述した本件運転士の口述によれば、右側後部ドアも開いていた可能性が考えられるが、右側の前後のドアの戸閉抑止回路は構造が同一（付図7a 参照）であり、2.5.2(5)で記述したように半導体リレーに同様の不具合があったことから、右側後部ドアについても同様の事象が発生したものと推定される。

（付図5 ドア開閉関係システム概念（本件ドア関係） 参照）

3.5.3 安全性確保を考慮した電子機器の設計に関する分析

近年、鉄道車両においても、P L C等の電子機器が用いられるようになってきている。電子機器の使用に際しては、電子部品や接点等の経年劣化や、設置環境による腐食・断線・短絡等に起因する誤動作の可能性も考慮する必要がある。また、制御装置等を車両に搭載する場合には、制御装置に振動が加わらないように、取付場所や取付方法に十分配慮する必要がある。

さらに、旅客の安全に直接・間接に関わる旅客用ドアの開閉制御装置などに電子機器を使用する場合には、使用環境をも考慮し、機器等の故障が発生した場合にあってもシステム全体としての安全性が確保されるようフェールセーフ性を考慮した周辺回路やソフトウェアなどの設計を行うとともに、設計・製作・取付け・保守などの各ステップに関わる技術者に対して、安全性を確実に確保するという設計思想を徹底する必要がある。

以上のような配慮が十分になされていれば、本重大インシデントは発生しなかったものと考えられる。

4 原因

本重大インシデントは、本件列車のドア開閉を行う電気回路の中に、走行中にドアが開くことを防止する機能を持つ戸閉保安回路を迂回する形で回路が増設されていたため、走行中に発生した制御装置（P L C）の動作不良によって本件ドアの開閉を行うドア電磁弁へ迂回回路を経由して電源が供給され、さらに電源線にある半導体リレーの不具合により出力が導通（オン）状態となって、本件ドアのドア電磁弁に電流が流れて動作しドアが開いたことにより発生したものと考えられる。

なお、制御装置（P L C）の動作不良に関しては振動等が関与した可能性が考えら

れるもののその原因を明らかにすることはできなかった。また、半導体リレーに不具合が発生したことについても、その原因を明らかにすることはできなかった。

5 再発防止策

5.1 必要と考えられる再発防止策

本重大インシデントは、旅客の安全に直接・間接に関わる旅客用ドアの開閉制御装置に新しい機能を付加する際に、設計段階での安全性に対する配慮や設計図面の確認が十分尽くされていなかったため発生したものと考えられる。そのため、同社及び車両メーカーは、設計を行う際は、設計思想の段階からフェールセーフ性を考慮して安全性が確保されていることを十分に検証し、設計図面を確実に管理するとともに、車両の製作等の際には、車両の設計図面と実配線図との確認を徹底し、図面間の整合性をとるようにすべきである。

また、制御装置等を車両に搭載する場合には、制御装置に振動が加わらないように、取付場所や取付方法に十分配慮する必要がある。

5.2 重大インシデント後に同社が講じた措置

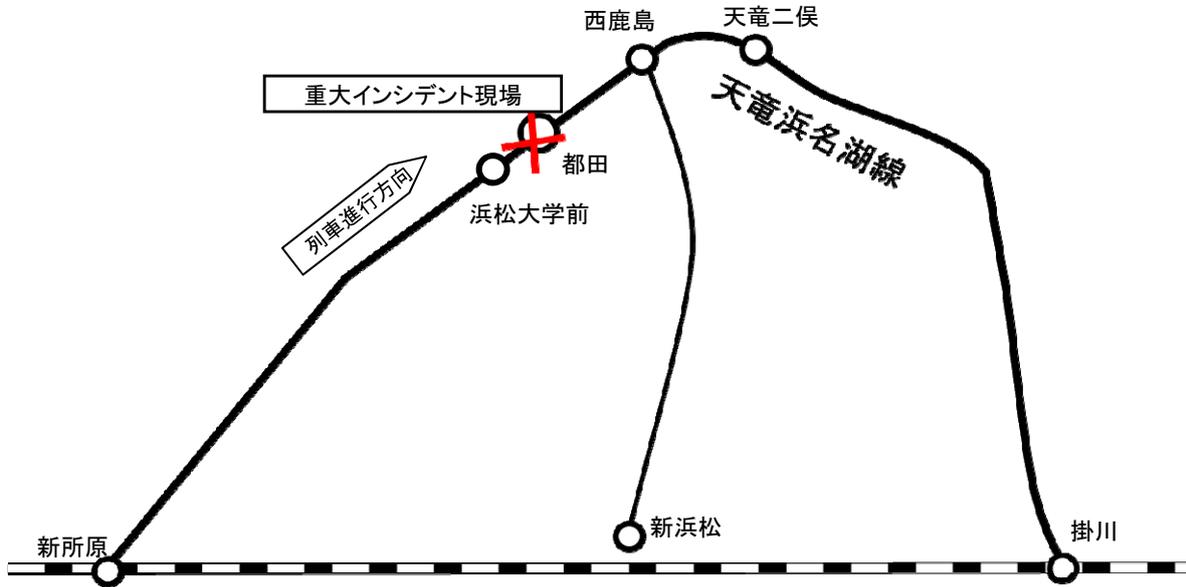
- (1) 本件車両の P L C と関係する省配線端末器を交換した。
- (2) 同形式車両の P L C を振動が軽減される位置に移設した。
- (3) 戸閉保安回路を迂回して電気を供給していた配線の一部を撤去した。

5.3 国土交通省の講じた措置

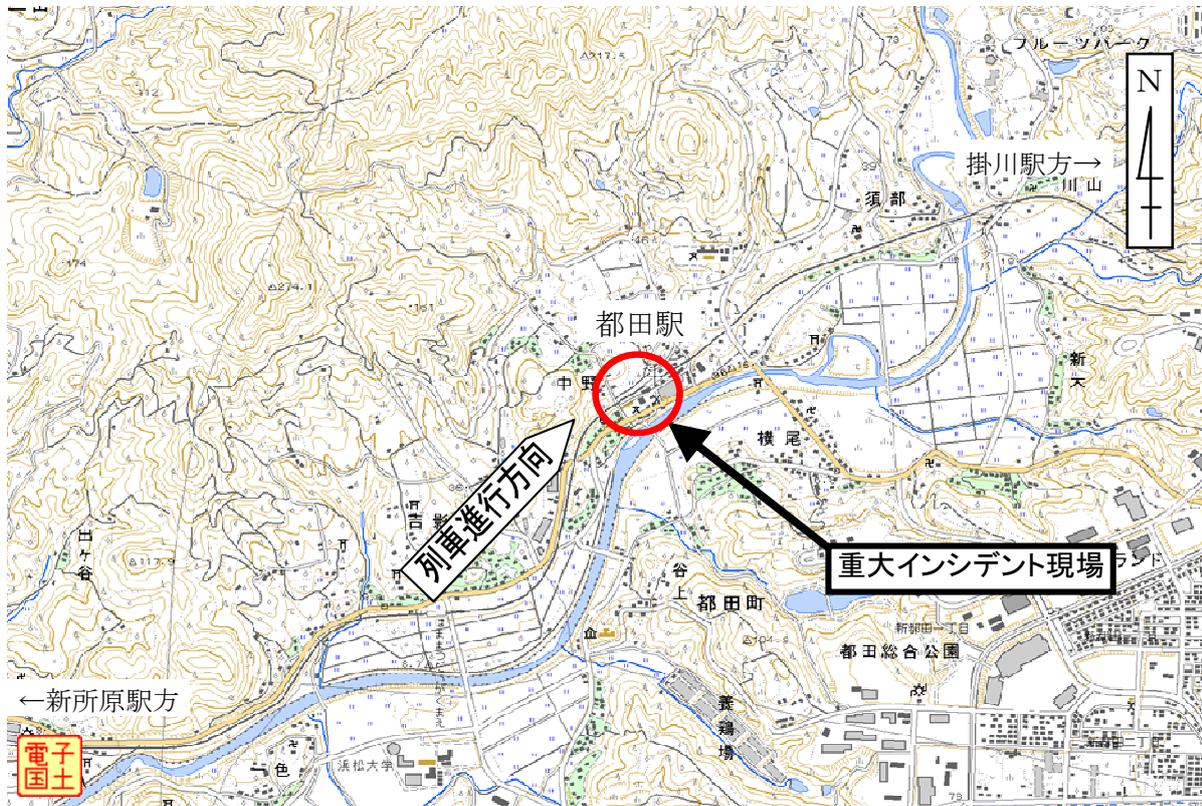
本重大インシデントにおいては、調査の過程で明らかになった事実情報として、平成23年8月29日に、ドア開きのインシデントが発生した車両の補助回路（ドア開閉の関係）の図面が、運輸局に申請されていたものと異なっていたことが判明したこと、及び補足として、車両の補助回路が戸閉保安回路を迂回してドアを開けることができるようになっていたことを付け加えて、国土交通省鉄道局に対して当委員会から情報提供をしたところ、平成23年9月1日付けで文書により各地方運輸局を通じて鉄軌道事業者へ注意喚起が行われた。

付図1 天竜浜名湖線路線図

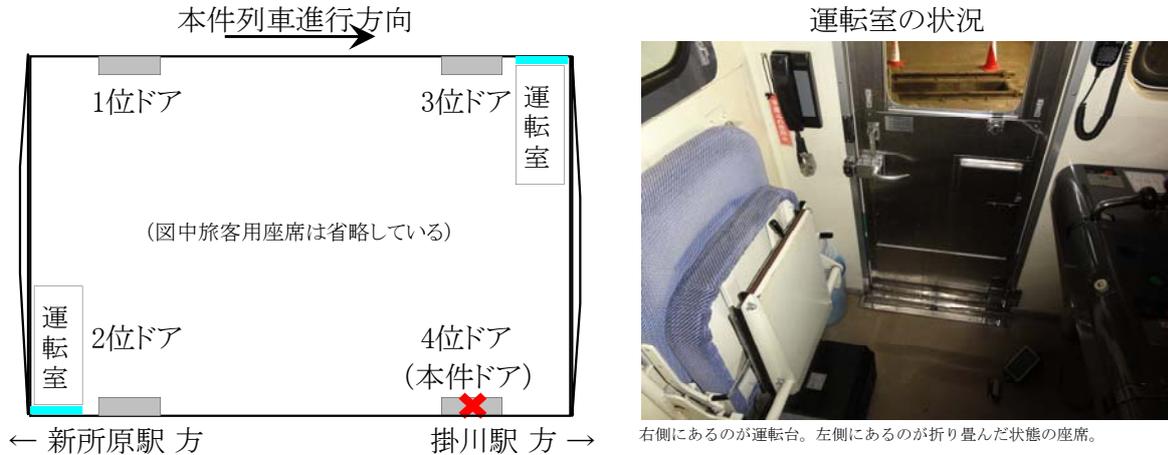
天竜浜名湖線 新所原駅～掛川駅 67.7 km (単線)



付図2 本重大インシデント現場付近地形図



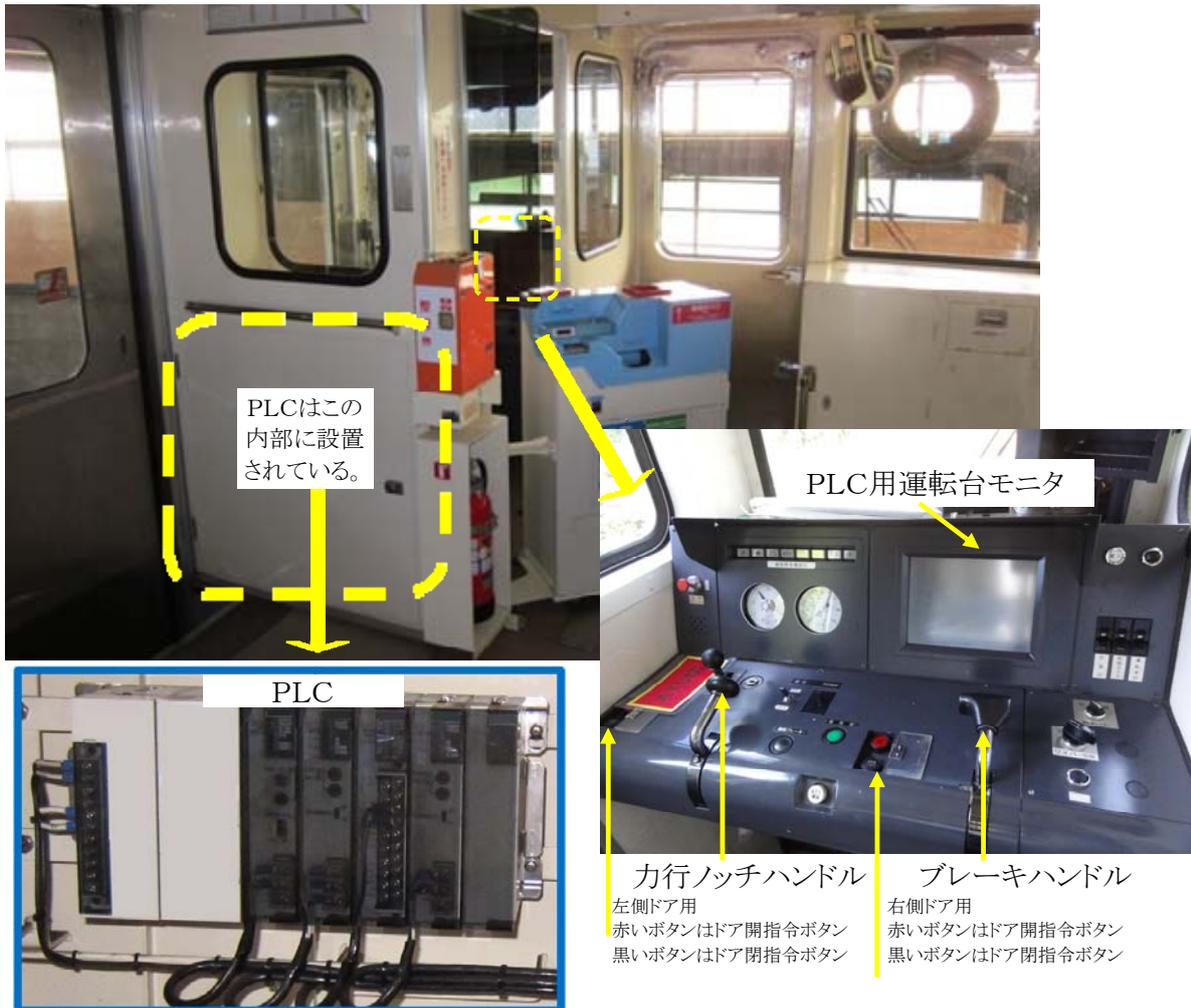
付図3 本件ドアの本件車両内位置図



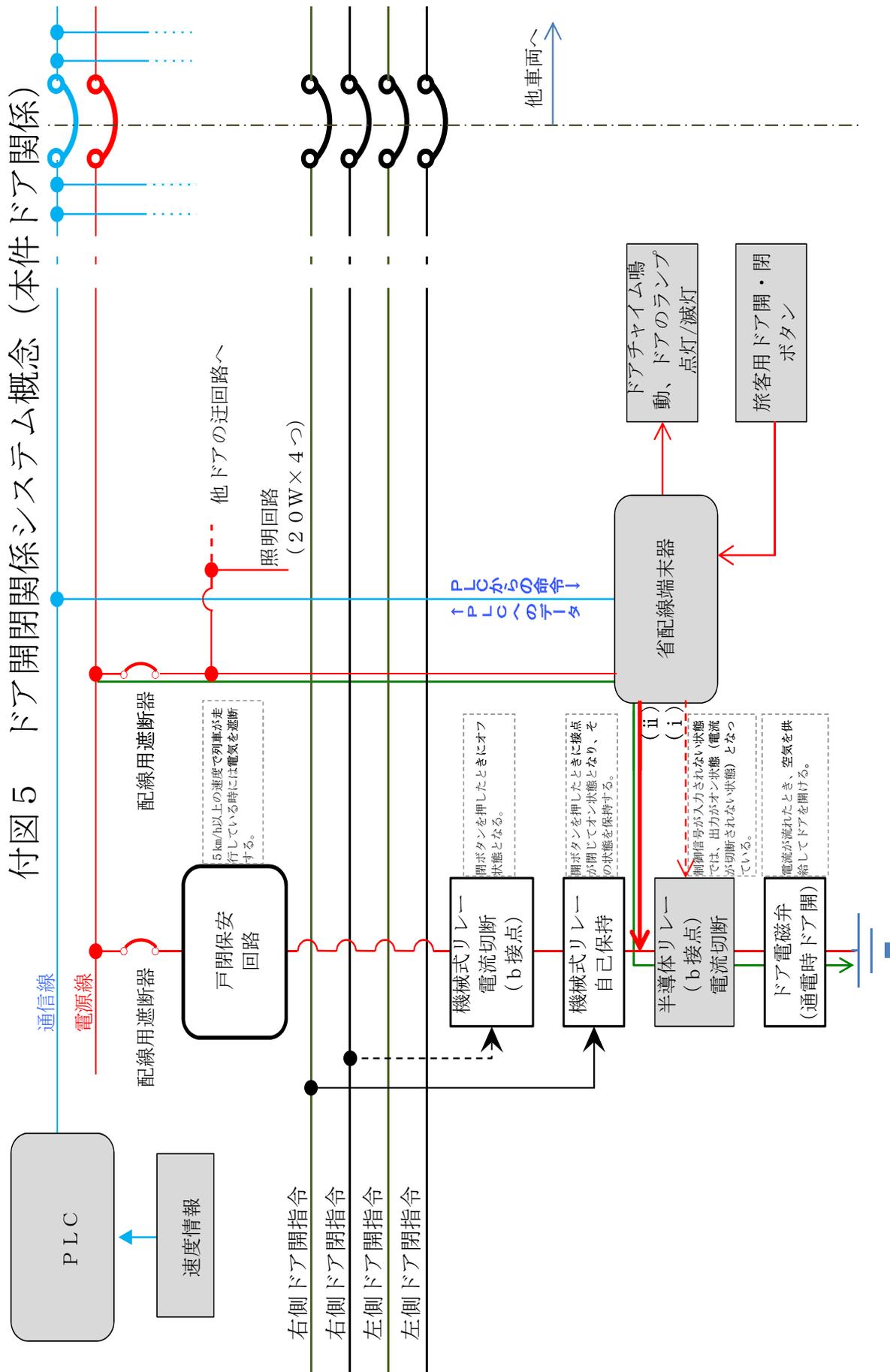
凡例: **X** 本件ドア(開扉したドア)を示す
— 乗務員室扉(手動扉)

2位ドア、4位ドアがそれぞれDMV2、DMV4(付図7a参照) のドア
 用電磁弁で開閉する。

付図4 PLC装置とPLC用運転台モニタの設置場所



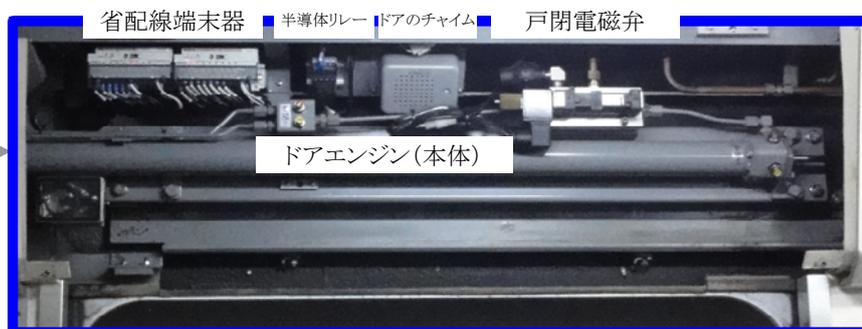
付図5 ドア開閉関係システム概念 (本件ドア関係)



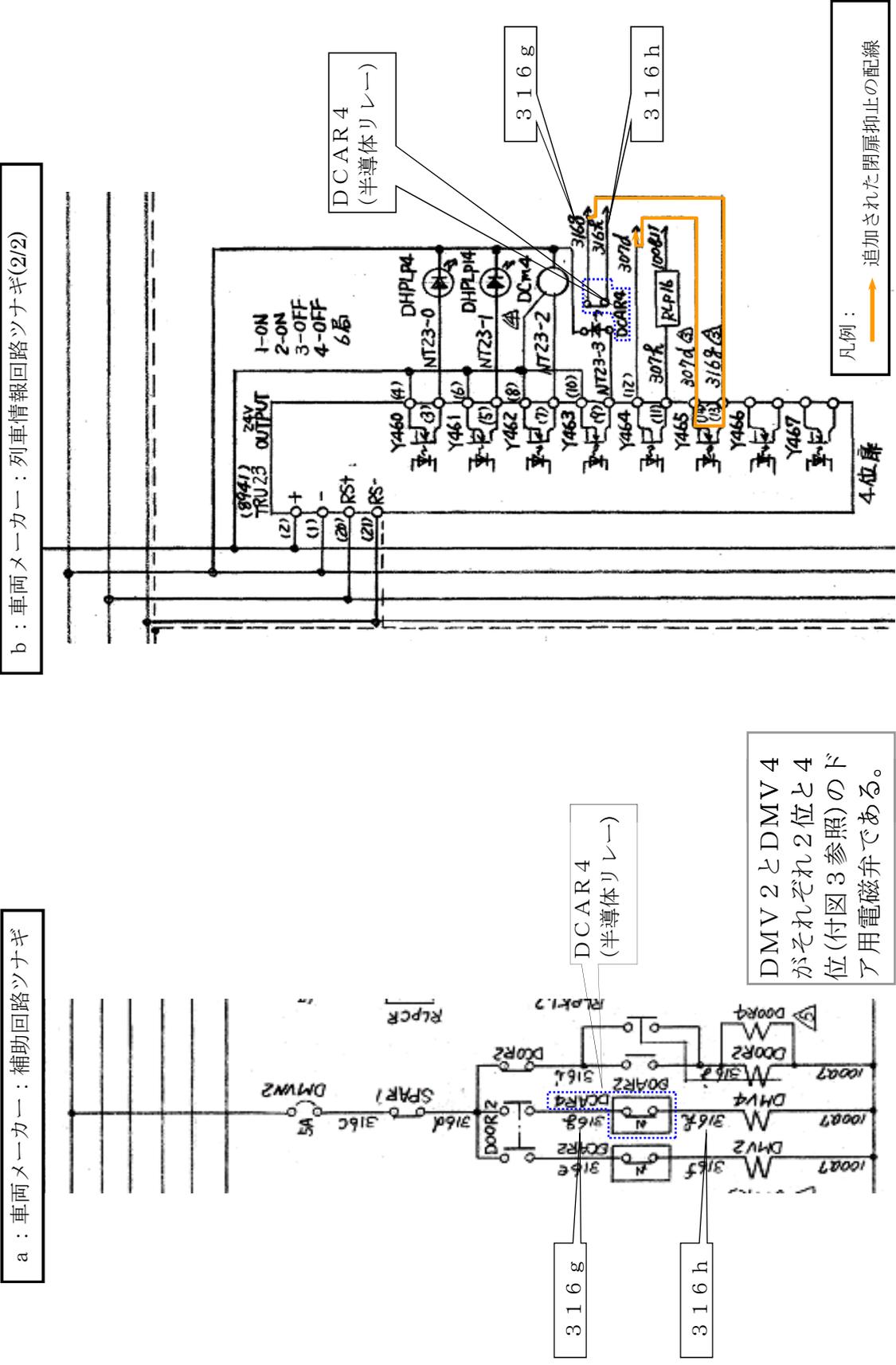
付図6 本件ドア概略図



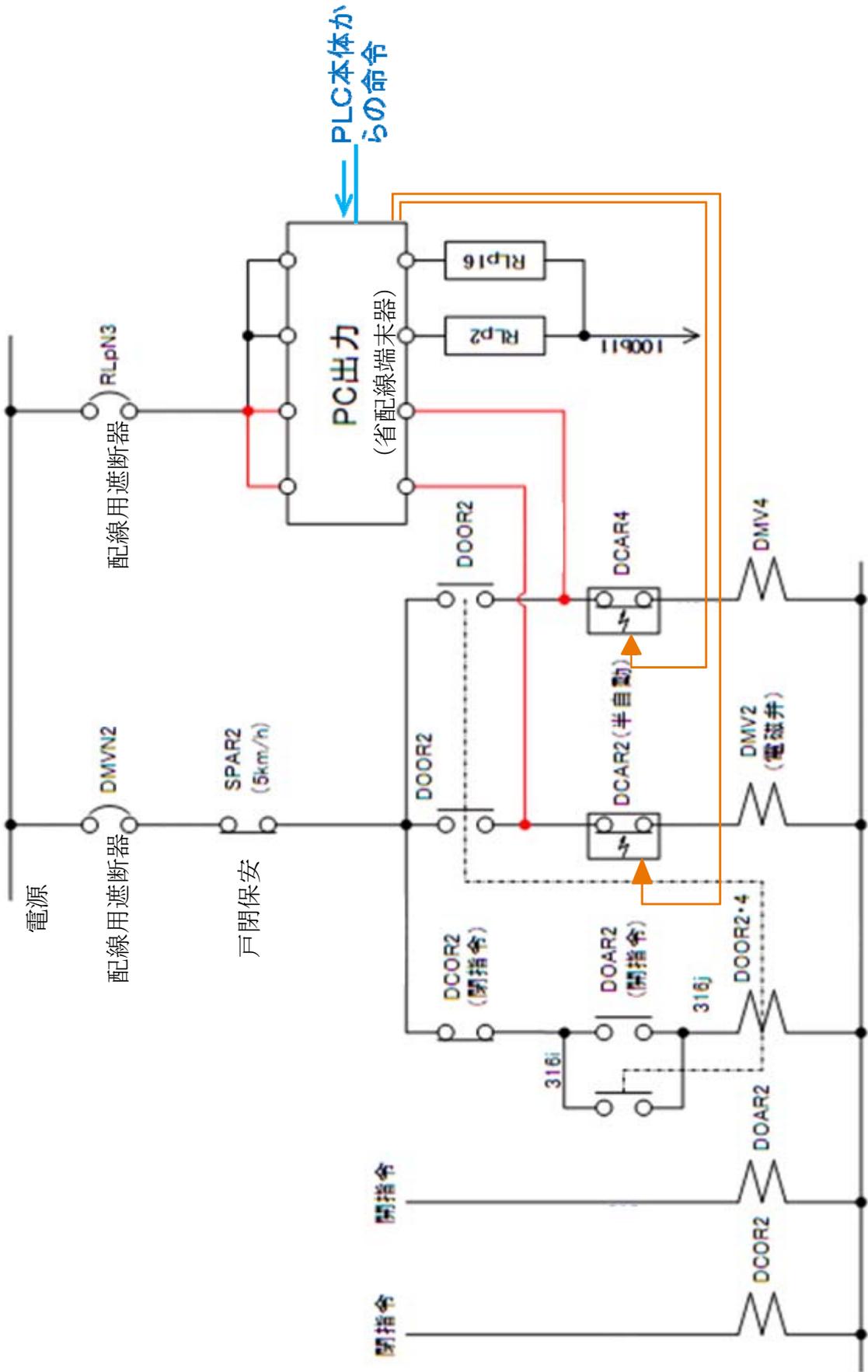
鴨居上部
内拡大



付図7 車両メーカー保管図面の間の不整合



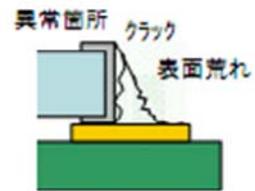
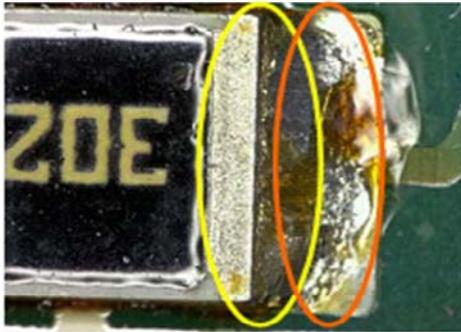
参考 本件ドア回路略図 (補助回路図より)



参考 異常が認められた箇所

○半導体リレー

内部のプリント基板で抵抗をはんだ付けしている箇所



はんだ接合部にクラックあり(黄色囲み部)
※又、はんだ面変色(橙囲み部)