

鉄道人身障害事故調査の経過報告について

令和2年2月27日
国土交通省 運輸安全委員会

令和元年6月1日、株式会社横浜シーサイドラインの金沢シーサイドラインにおいて発生した鉄道人身障害事故について、当委員会は事故発生以来、鋭意調査を進めてきたところであるが、今後、一層の事実調査及び分析を進めるため、最終的に報告書を取りまとめるまでには、なお時間を要すると見込まれるところである。

このため、同種の事故の発生を防止する観点から、現在までに判明した本事故の概要、事故調査の経過、断線・逆走に関する分析及び断線・本路線の車両における逆走の防止等の事項について報告し、公表することとした。

なお、本経過報告の内容については、今後、更に新しい情報や状況が判明した場合、変更することがあり得る。

目 次

1	鉄道人身障害事故の概要.....	4
2	鉄道人身障害事故調査の概要.....	5
3	主な事実情報.....	5
3.1	車両の概要.....	6
3.1.1	主な諸元.....	6
3.1.2	本路線の運行システムの概要.....	6
3.2	事故後の車両状態等.....	9
3.3	断線の状況等.....	10
3.3.1	断線したF線等の状況.....	10
3.3.2	本機器室内の配線の状況.....	11
3.4	車両製造時の配線作業等.....	13
3.4.1	配線作業について.....	13
3.4.2	配線作業後の確認について.....	14
3.4.3	車両完成時の検査について.....	14
3.5	定期検査等.....	14
3.5.1	本件車両の検査履歴等.....	14
3.5.2	車両の改造履歴.....	15
3.6	断線に関する検証試験等.....	15
3.6.1	ケーブル束の配線作業状況の確認.....	15
3.6.2	F線の断線部及びケーブル束の調査.....	16
3.6.3	地絡の再現試験.....	16
3.6.4	ケーブル束に加わる荷重の測定.....	18
3.6.5	制御遮断器の遮断動作に関する調査.....	19
3.6.6	電線の振動試験.....	19
3.7	逆走の発生に関する調査.....	21
3.7.1	進行方向設定について.....	21
3.7.2	モーター制御装置について.....	22
3.7.3	後退検知機能.....	22
3.7.4	本路線の車両の設計について.....	23
3.8	逆走に関する検証試験.....	23
3.9	他の新交通システムにおける進行方向の設定方法について.....	24
3.10	本事故後に国土交通省により講じられた措置.....	24
4	分 析.....	25

4.1	断線に関する分析.....	25
4.1.1	断線に至る経過の分析.....	25
4.1.2	本機器室の配線状況の分析.....	25
4.1.3	車両製造時の配線作業等の分析.....	26
4.1.4	定期検査等に関する分析.....	26
4.1.5	制御遮断器の遮断動作に関する分析.....	27
4.1.6	使用電線及び保護に関する分析.....	28
4.1.7	断線の発生原因.....	28
4.2	逆走の発生に関する分析.....	29
4.2.1	本事故の発生状況に関する分析.....	29
4.2.2	進行方向設定に関する分析.....	30
4.2.3	モーター制御装置に関する分析.....	30
4.2.4	後退検知機能に関する分析.....	31
4.2.5	車両設計に関する分析.....	31
4.2.6	逆走の発生原因.....	32
5	再発防止策.....	32
5.1	断線の防止.....	32
5.2	本路線の車両における逆走の防止.....	33
5.3	本事故後に車両メーカーが講じた断線の再発防止策.....	33
5.4	本事故後に同社が講じた逆走の再発防止策.....	33

株式会社横浜シーサイドライン金沢シーサイドラインにおいて発生した
鉄道人身障害事故調査について（経過報告）

1 鉄道人身障害事故の概要

株式会社横浜シーサイドライン（以下「同社」という。）の金沢シーサイドライン（新杉田駅～金沢八景駅間 10.8km（複線）。以下「本路線」という。）新杉田駅発並木中央駅行き 5両編成の下り第2009B列車（以下「本件列車」という。）は、令和元年6月1日（土）、始発の新杉田駅を定刻（20時15分）に出発した。本路線は無人の自動運行システムで運行され、本件列車は本来の進行方向である下りと反対方向の上りに起動して線路終端部の車止めに速度約25km/hで衝突し、車体、連結器等が損傷した。

本件列車には乗客25名が乗車しており、そのうち17名が負傷した。

（図1 金沢シーサイドラインの路線図 参照）

- (1) 軌道経営者名：株式会社横浜シーサイドライン
- (2) 事故種類：鉄道人身障害事故（運輸安全委員会設置法施行規則（平成13年国土交通省令第124号）第1条第3号に定める「特に異例と認められるもの」）
- (3) 発生日：令和元年6月1日
- (4) 発生場所：神奈川県横浜市 金沢シーサイドライン 新杉田駅構内



※この図は、国土地理院の地理院地図（電子国土Web）を使用して作成

図1 金沢シーサイドラインの路線図

2 鉄道人身障害事故調査の概要

本事故は、軌道事故等報告規則（昭和62年運輸省・建設省令告示第1号）第6条の規定により準用する鉄道事故等報告規則（昭和62年運輸省令第8号）第3条第1項第6号に規定する鉄道人身障害事故に該当し、かつ、無人で自動運転^{*1}を行う列車が本来の進行方向とは反対の方向に進行（以下「逆走」という。）したものであることから、運輸安全委員会は、運輸安全委員会設置法施行規則（平成13年国土交通省令第124号）第1条第3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、令和元年6月1日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか3名の鉄道事故調査官を指名した。その後、令和元年6月14日に1名の鉄道事故調査官を追加指名した。

また、委員を事故現場等に派遣した。

関東運輸局は、本事故調査支援のため、職員を事故現場等に派遣した。

令和元年6月14日、その時点までの調査結果に基づき、国土交通省鉄道局に対して、列車の進行方向を伝える指令線の断線、機器の動作記録、モーター制御装置の仕様等に関する情報提供を行った。

本事故調査に際し、一般社団法人電線総合技術センター（以下「電線の技術専門機関」という。）に、指令線の電線が断線に至ったメカニズム等についての分析を委託した。

また、本事故は自動運転システムが関与した可能性が考えられることから、令和元年9月9日に本事故調査に従事する専門委員を任命し、調査するべき専門分野として自動運転システム及び安全性検証方法に関する分析を指定した。

3 主な事実情報

本事故に関し、これまでの調査により判明した主な事実情報及び現時点での分析結果は、次のとおりである。

*1 ここでいう「自動運転」とは、列車操縦作業の一部又は全部を自動化した列車の運転制御をいう。ATC（脚注5参照）の防護下で、列車操縦作業である出発、速度制御、駅停車（定位置停止制御）、緊急時のブレーキなどの一部又は全部を自動化したものをいう。

3.1 車両*2の概要

3.1.1 主な諸元

本件列車の編成を図2に示す。車両の主な諸元は次のとおりである。本件列車の1両目（以下、車両は金沢八景駅方の前から数え、前後左右は金沢八景駅方を向いた状態を基準とする。）を「本件車両」という。

車種	直流電車（直流750V）
車両形式	2000型
編成両数	5両
本件車両の新製年月	平成25年3月
本件車両の累積走行距離	約52.2万km（運用開始から本事故発生まで）



図2 本件列車の編成

3.1.2 本路線の運行システムの概要

本路線は、地上と車上の装置間で情報を相互に伝送し走行する、無人の自動運転を基本とする。

図3及び図4に示すように、司令所にある列車集中制御中央装置*3、ATO地上装置*4、各駅のATC地上装置*5などが列車の運転制御指令と運行の監視を行っている。列車が各駅に停止している間に、駅に設置されている駅ATO地上装置*6と車両の

*2 本報告書では、「車両」は車体、走り装置などで構成される構造体を、「列車」は列車番号が付けられて本線を走行している編成車両をいうこととする。

*3 「列車集中制御中央装置」とは、各駅の転てつ器及び信号取扱機能を、一箇所に集中して自動で遠隔制御する装置をいう。

*4 本路線の「ATO地上装置」は、駅出発制御、定速運転制御、駅定位置停止制御などを自動的に行う。なお、「ATO」とは、Automatic Train Operationの略で、発車制御、定時運転制御、定位置停止制御などを自動で行うシステムのことをいう。

*5 本路線の「ATC地上装置」は、地上に敷設された閉そく区間毎の列車検知用軌道回路ループに、許容速度に対応した変調信号電流を重畳した高周波信号電流を流す装置をいう。なお、「ATC」とは、Automatic Train Controlの略で、地上からの信号情報により自動的にブレーキをかけたり、制限速度以下になればブレーキを緩めたりする装置のことをいう。

*6 本路線の「駅ATO地上装置」は、自動運転における駅部の制御、司令所と全線の列車との間で情報の授受、運転司令所と各駅の駅設備機器との間で情報の授受を行う。

駅A T O車上装置*7との間で進行方向の設定や車両の扉制御などの情報を伝送し、駅を出発した後は車両のA T O車上装置*8が作成する走行パターンに従い走行する。走行中、車両のA T C車上装置*9などが速度超過などを監視し、異常時に減速あるいは停止するようになっている。

列車が自動運転で運行される場合、折り返し駅である新杉田駅又は金沢八景駅においては、列車が停車中に駅A T O地上装置は車両の定点域*10停止状態や出発進路の開通などを確認した後、車両の駅A T O車上装置に前進指令又は後進指令（以下「進行方向指令」という。）を出力する（図4の①）。

駅A T O車上装置は、駅A T O地上装置からの進行方向指令を受け、下り走行の場合は編成内に引き通されている194E線を、上り走行の場合は195E線を加圧する*11（同②）。1両目及び5両目に搭載されている先頭継電器盤*12は、194E線が加圧状態の時は本件車両を先頭車両に、195E線が加圧状態の時は5両目を先頭車両に設定し、さらに下り走行の場合は194G線とF線を、上り走行の場合は195G線とR線を加圧する（同③、④）。

駅A T O車上装置は、194G線又は195G線が加圧状態となっていることにより、車両側の進行方向の設定が完了したことを認識し、地上の駅A T O地上装置に前進状態又は後進状態の信号（以下「進行方向状態」という。）を送信する（同⑤）。

また、F線とR線は、モーター制御装置等に列車の進行方向を伝える指令線であり、直流電源引通し線*13から1両目と5両目にある配線用遮断器（以下「制御遮断器」という。）及び先頭継電器盤を介して編成内に引き通され、1両目、3両目、5両目に搭載されているモーター制御装置に入力される。なお、下り走行中のF線又は上り走行中のR線の加圧状態は、先頭継電器盤によって保持され、次の折り返し駅において駅A T O地上装置からの進行方向指令の信号が切り替わると、駅A T O

*7 本路線の「駅A T O車上装置」は、地上からの自動運転を行うための情報を受信し、車上の制御回路や装置に情報を与えるとともに、車両状態、故障等の情報を地上へ送信する。

*8 本路線の車両の「A T O車上装置」は、許容速度、駅部での制御指令、地点情報、制御指令等、地上からの制御情報に基づき、列車を自動的に駅間走行制御し、駅の定位置に停止制御するよう適切なノッチ等を出力する。

*9 本路線の車両の「A T C車上装置」は、閉そく区間用軌道回路ループに流れている高周波信号電流をアンテナで受信し、この信号出力と主電動機に取り付けられている速度発電機の出力を比較し、列車が制限速度以上で走行している場合、列車速度を自動的に制御又は停止させる装置をいう。

*10 本路線の「定点域」とは、駅のホームドアの開閉制御が可能な範囲のことをいう。

*11 ここでいう「加圧する」とは、駅A T O車上装置内で、直流100Vが印加している電線と194E線や195E線を接続し、これらの指令線に直流100Vの電圧を印加することをいう。

*12 本路線の車両の「先頭継電器盤」は、両先頭車両に設置され、進行方向、自動・手動運転の切替え、インチング走行等に関する継電器等で構成される装置のことをいう。なお、「インチング走行」とは、駅停止時に何らかの理由で定位置より前方又は後方に停止した場合、自動運転で走行し再度停止位置合わせを行う走行のことをいう。

*13 ここでいう「直流電源引通し線」とは、2両目と4両目の蓄電池から出力される直流100Vを編成全体に引通している電源供給用の電線のことをいう。

車上装置は194E線と195E線への加圧を逆にし、それによりF線及びR線の加圧状態が反転する。駅において、発車時刻になり駅ATO地上装置は、車両の側扉及びホームドアが閉状態となると、駅ATO車上装置に出発指令を出力し（同⑥）、列車が走行を開始する。

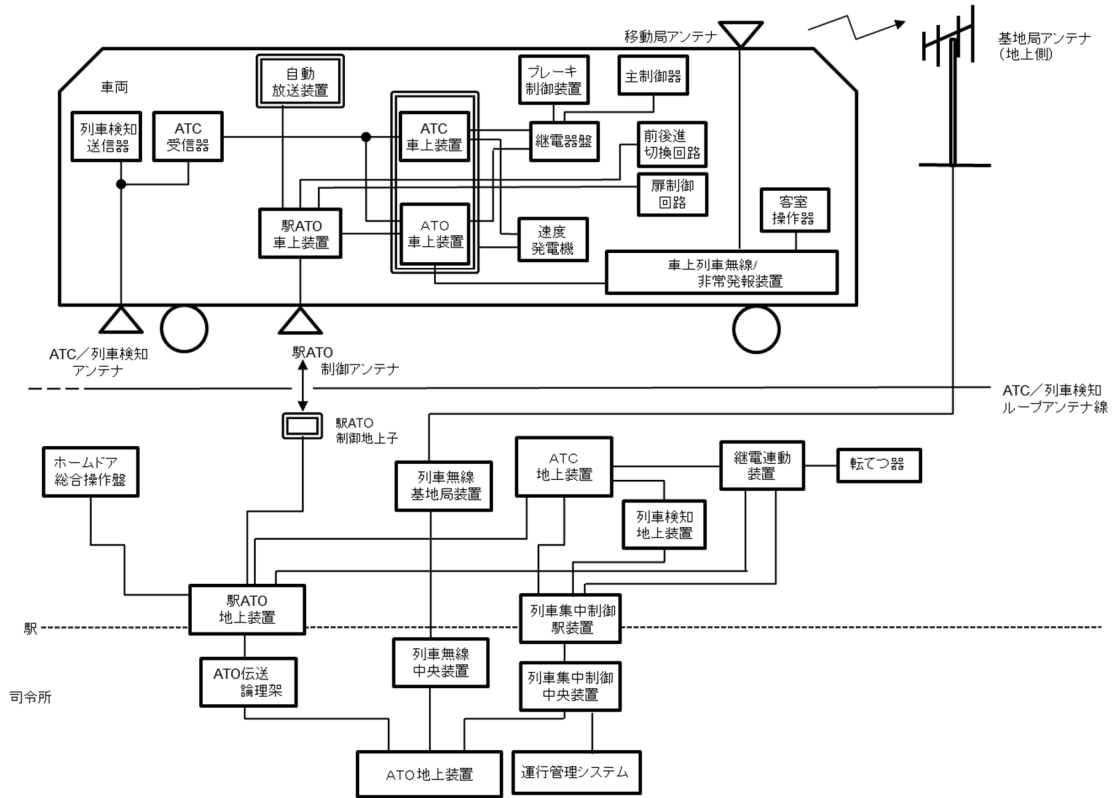
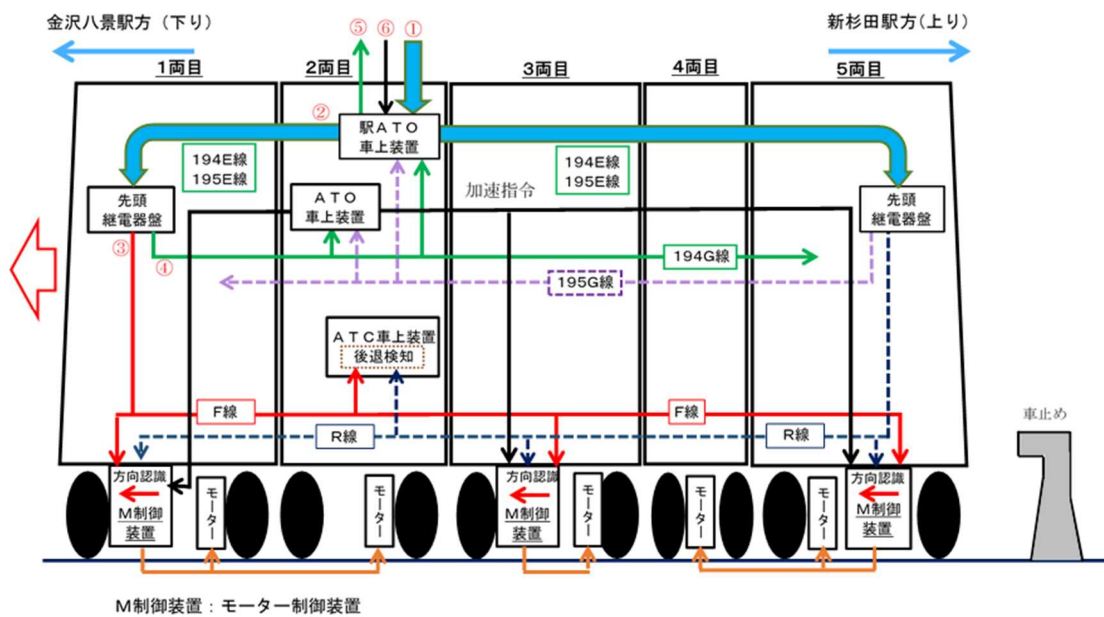


図3 本路線の地上及び車上システムの構成



M制御装置：モーター制御装置

図4 進行方向切替え時（下り）の車上システムの制御の流れ

3.2 事故後の車両状態等

本事故発生直後の本件列車は以下の状態であった。

- (1) 本件車両の前部標識灯が点灯。
- (2) 5両目の後部標識灯が点灯。
- (3) 本件車両及び5両目の制御遮断器は「入」状態。
- (4) 本件車両から5両目までのF線とR線が共に無加圧状態の0V。

また、‘本件車両の客室の後部左側の機器室’（以下「本機器室」という。）内でF線が断線し、断線部の片側は、車体床板近くに取り付けられた妻構え^{*14}の部材（以下「妻土台^{*15}」という。）に溶着していた。（図5 本件車両のF線の経路と断線箇所 参照）

なお、車上の運転状況記録装置には、本件列車の2列車前の1905列車の幸浦駅～産業振興センター駅間において、F線が加圧状態から無加圧状態に変化したことが記録されていた。

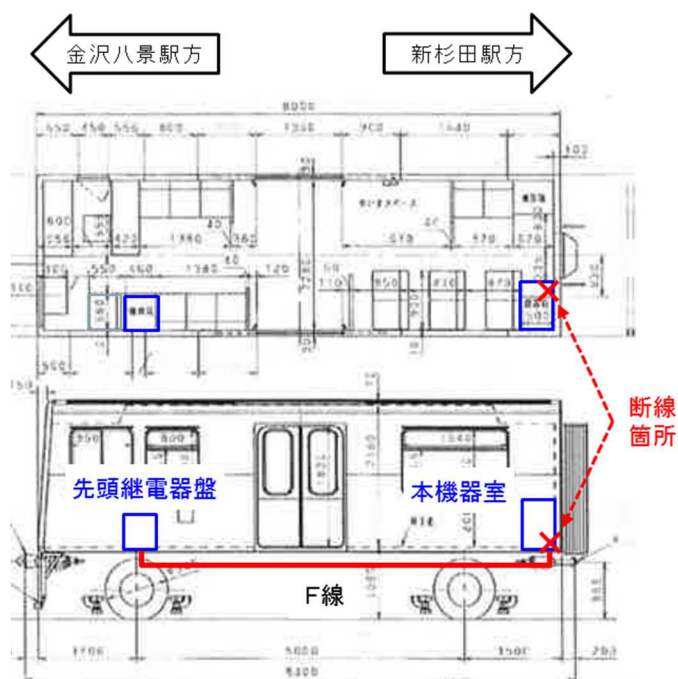


図5 本件車両のF線の経路と断線箇所

*14 「妻構え」とは、車体の妻の構造のことをいう。なお、「妻」とは車体構体の一部で、一般に、屋根と台枠（車体の土台となる骨組）とを結んで、車体の両端を構成する部分のことをいう。

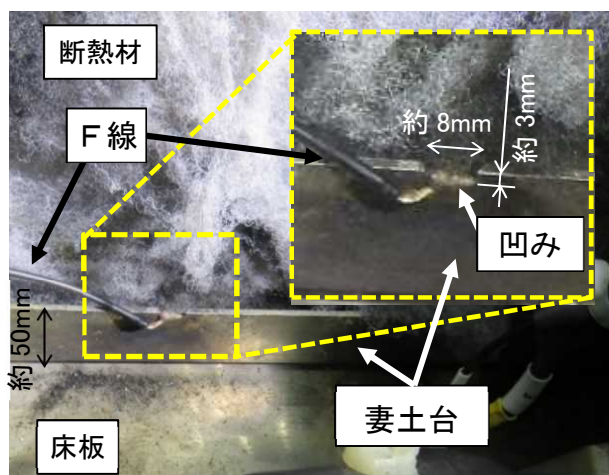
*15 「妻土台」とは、妻構えを構成する部材のうち、垂直の部材（妻柱）を支える最下部にあるまくらぎ方向の水平部材のことをいう。

3.3 断線の状況等

3.3.1 断線したF線等の状況

F線は、先頭継電器盤から、床下を經由し、本機器室の床板にある配線穴から床上に立ち上がり、本機器室の通路側に設置されている低圧端子台に接続されるものであるが、本機器室内の妻土台の上部で断線し、低圧端子台に接続される側の電線が妻土台に溶着していた。一方、先頭側に接続される側の電線の先端部はやや丸みを帯びた状態となっていた。なお、断線した先頭側の電線は制御遮断器盤や先頭継電器盤に接続する側であり、溶着した低圧端子台側の電線はモーター制御装置や2両目に接続する側である。

また、妻土台の溶着部は幅約8mm、深さ約3mmで凹んでおり、その周辺の部材の両面には黒い物質が付着していた。



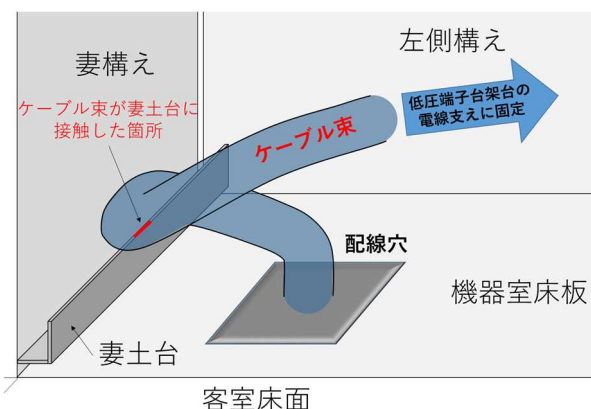
車体の部材への溶着状況
(低圧端子台側電線)



本断線状況 (先頭側電線)



溶着位置近傍のケーブル束の状況



本機器室内のケーブル束の状況

図6 断線部近傍の状況

さらに、妻土台の最も近くに配線されていたケーブル束^{*16}の溶着位置近傍にあった箇所には、黒い物質が付着し、一番外側のケーブルは被覆が破れていた。(図6 断線部近傍の状況 参照)

F線の電線は、標準仕様の電線より軽量化仕様の電線が使用されていた。同社によると、本路線はゴムタイヤの車両のため、軌道等の構造物の負荷荷重、乗車定員、ゴムタイヤの耐久性などの観点から車両を軽量化する必要があり、一部に標準仕様の電線より約20%軽い軽量化仕様の電線を採用したとのことである。表1に使用電線の特性を示す。

表1 使用電線の特性

絶縁体材質	ふっ素樹脂 ETFE (ETFE: Ethylene Tetra Fluoro Ethylene)
絶縁体厚さ (公称値)	0.4 mm
概算質量	1.6 kg/km
絶縁抵抗	32,000 MΩ・km
カットスルー特性 ^{*17}	120～137 N
摩耗特性 ^{*18}	767～975回

3.3.2 本機器室内の配線の状況

本路線の車両は、車両長8mで、本機器室には30ℓの元空気タンク^{*19}2本や通路側に低圧端子台が設置されている。

この本機器室の配線穴を經由し床上に立ち上げられている総数約340本の電線及びケーブル(以下「電線等」という。)は、配線穴近傍で接続先ごとに振り分けられている。そのうち、本機器室の妻構え近傍を經由し通路側に配線された電線等は、それぞれ保護材と結束バンドにより4つのケーブル束にまとめられ、縦に積み重ねて結束され全体が大きなケーブル束となり、低圧端子台を取り付ける架台(以下「低圧端子台架台」という。)の電線支えに固定されている。なお、F線は4つのケーブル束のうち、一番下のケーブル束に入っていた。(図7 本機器室内の機器配置とケーブル束の配線経路、図8 本機器室内の状況(調査時) 参照)

*16 本報告書では、「電線」は単芯の線のことを、「ケーブル」は多芯の線のことを、「電線等」は電線及びケーブルのことを、「ケーブル束」は複数の電線等を束ねたものをいう。

*17 「カットスルー特性」とは、電線の外傷摩耗特性の一つで、エッジ部強圧に対する耐性のことをいう。電線に90°シャープエッジの治具を5mm/1分で加えた時の短絡時の荷重で求める。

*18 「摩耗特性」とは、電線の外傷摩耗特性の一つで、ぎ装配線時の金属エッジ部への摩耗耐性のことをいう。電線に、シャープエッジの部材を2ポンド(907g)で押しつけながら往復動作し、短絡するまでの回数で求める。

*19 「元空気タンク」とは、空気圧回路上で、全ての空気圧機器に供給するための圧縮空気を蓄えるための空気タンクのことをいう。

なお、図8は、F線の経路を調査するために、低圧端子台に接続していた電線等を外し、一番下のケーブル束の結束を解いた状態である。

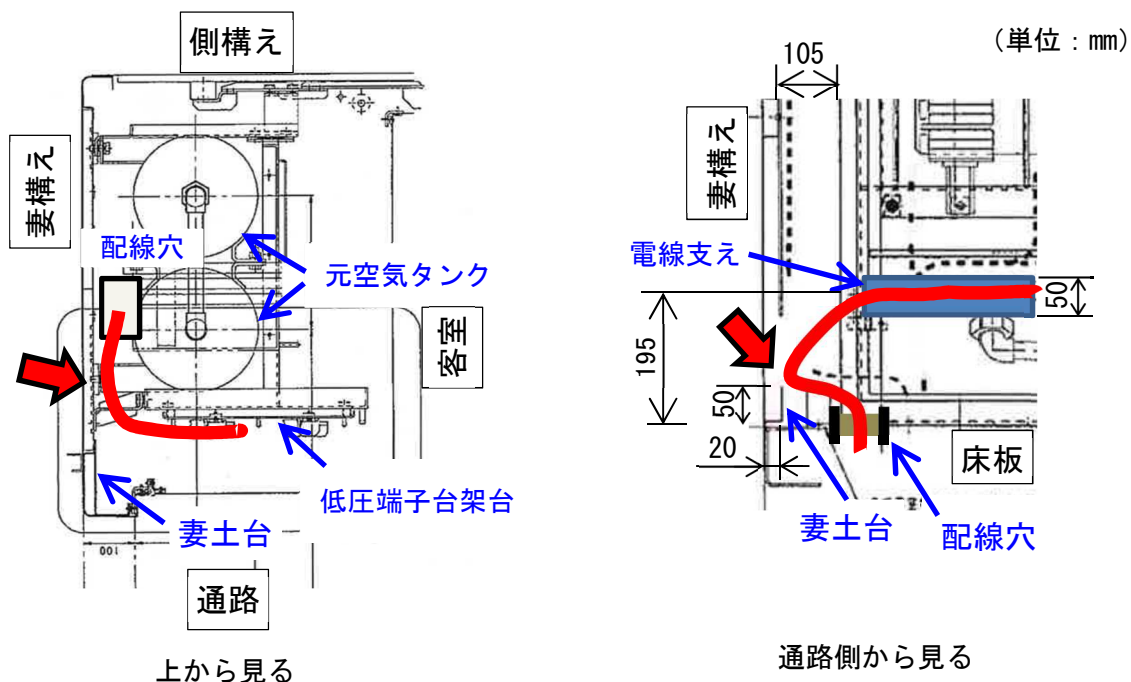


図7 本機器室内の機器配置とケーブル束の配線経路



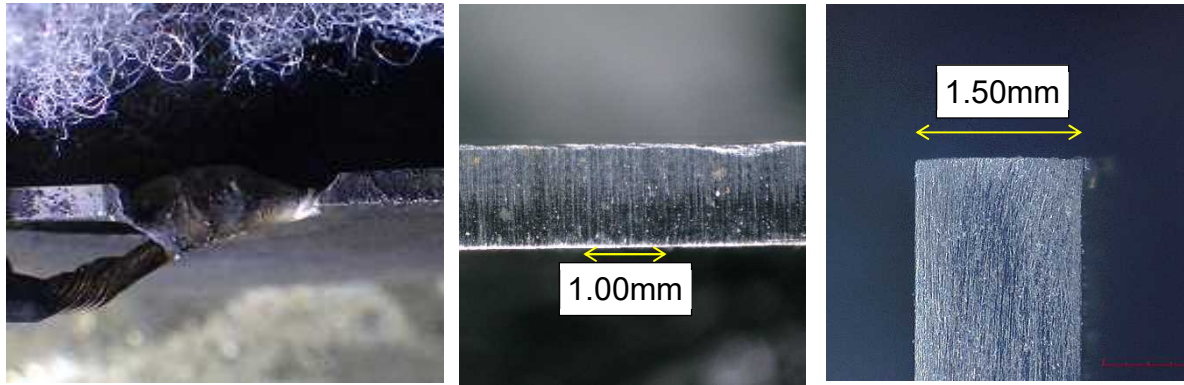
通路側から見た配線状況
(○印のケーブル束の裏側で断線)



元空気タンク、低圧端子台架台を
外した状態

図8 本機器室内の状況 (調査時)

妻土台は板厚が1.5mmのステンレス板で、本機器室では上面が床上から約50mm、妻構えから約20mm内側に離れて取り付けられている。妻土台の上面はレーザー切断された角形の形状であり、表面には妻構えの内面に貼られている断熱材用の接着材が付着していた。角部はほぼ直角で、面取りや研磨仕上げはされておらず、手で触るとざらざらした状態であった。なお、上面に電線等への傷つき防止用の保護材は取り付けられていなかった。(図9 妻土台の上面部形状 参照)



F線の溶着部近傍

顕微鏡写真（表面洗浄状態）

断面形状

図9 妻土台の上面部形状

3.4 車両製造時の配線作業等

3.4.1 配線作業について

車両メーカーは、本機器室内の配線について「妻配線要領」を作成し、配線穴から低圧端子台までの経路を示している。

車両メーカーによると、本機器室内の配線作業手順は次のとおりである。

- (1) 配線穴より立ち上がっている電線等を経路別に振り分け、さらに経路別に電線等を整理して結束し、ケーブル束としてまとめる。
- (2) 元空気タンク、低圧端子台架台、低圧端子台本体等を取り付ける。
- (3) (1)のケーブル束を通路側の低圧端子台架台の電線支えに最終的に固定し、その後に各電線等を低圧端子台などに接続する。

配線作業におけるケーブル束の経路やまとめ方などは、基本的に担当の作業者に委ねられているが、本ケーブル束のような箇所では、経路を確定した後に予備的に結束し、さらに保護材と結束バンドで締めるなど2段階で結束するとのことであった。

配線作業においては、電線等と車両の部材等が接触しないよう離隔をとるようにし、接触する可能性がある場合は、電線側又は車両の部材側あるいは両側に保護材を取り付けることを基本としているとのことであった。

また、車両ごとに「ぎ装^{*20}処理要領書」が作成され、運転室、室内、天井の「骨当たり部保護」の処理要領として「ビニルホース、自在ブッシュ」が記載されていた。

なお、車両メーカーによると、これらのぎ装処理要領書や妻配線要領は、狭隘部の配線保護など一般的な注意点及び大まかな指示を記載するものであり、配線作業

*20 「ぎ装」とは、車両に取り付けられる各種機器、配線、配管あるいは、製造工程でそれらを取り付ける工程のことをいう。

を行う上での個別の注意喚起を行うものではなかった、とのことである。

3.4.2 配線作業後の確認について

車両メーカーは車種ごとに配線作業後の確認のためチェックシートを作成し、配線作業者は1両ごとに、作業後の確認結果を記入している。

このチェックシートでは

- ・要領書及び車種・種別に間違いがないこと
- ・釘鉋類の緩みがないこと（低圧端子台締付け・取付け）
- ・結線部に3点チェック*21があること
- ・要領書に読合わせのレ点チェックが記入されていること
- ・ワゴ低圧端子台*22の芯線のはみ出し・ヒゲ線・電線の抜けがないこと

について、作業者と確認者がそれぞれ作業の結果を記録し、班長の審査の後、係長が承認及び保管することになっている。

本件車両のチェックシートを確認したところ、これらのチェック項目に全て○印が記され、問題はなかった。なお、車両の部材への接触や電線等の保護に関するチェック項目はなかった。

3.4.3 車両完成時の検査について

車両完成時の検査は、配線作業とは別の部署が実施している。「完成車両検査項目チェック表」を確認したところ、配線状況の確認項目はなかった。

車両メーカーによると、配線状況の確認項目がないのは、当該チェック表の「機能試験準備通電前点検」で行う「導通試験」が配線確認を兼ねているため、とのことであった。また、本機器室では、配線作業後に車両完成まで、配線状況等を検査する機会はないとのことであった。

3.5 定期検査等

3.5.1 本件車両の検査履歴等

同社の車両の定期検査については、同社が関東運輸局に届け出ている「車両整備心得」に定められている。本事故直近の本件車両の検査等の実施日は、表2のとおりである。

*21 ここでいう「3点チェック」とは、圧着端子の取付け状態、線番号と端子番号の照合、ビスの締付け状態の3つを確認しチェックマークを付けることをいう。

*22 「ワゴ低圧端子台」とは、ドイツのWAGO kontakttechnik社製のスプリング式低圧端子台をいう。

表2 本件車両の検査等の検査周期及び実施日

検査等の種類	検査周期	実施日
新製時検査	—	平成25年3月22日
重要部検査	4年	平成29年3月30日
月検査	3月を越えない期間ごと	令和元年5月21日
列車検査	3日を越えない期間ごと	令和元年5月30日
全般検査	8年	未実施 (令和3年3月までに実施予定であった)

同車両整備心得には検査の種類ごとに区分が定められ、配線関係の検査は、月検査、重要部検査、全般検査の「一般電気装置」の「継電器・電磁弁・配線等」で実施され、検査項目は「電線、接続箱、その他付属部品の損傷及び取付状態」と主に目視検査を行うことになっている。

重要部検査及び全般検査では、検査項目に「絶縁特性」が加わり、検査方法は「絶縁抵抗試験及び絶縁耐圧試験」となっている。さらに、重要部検査及び全般検査では、総合検査を行うこととされており、その検査項目は「制御回路の機器の制御及び保護機能」であり、検査方法は「測定」となっている。

本件車両の月検査及び重要部検査の結果を確認したところ、「損傷及び取付状態」について「良好」の記録があった。さらに、重要部検査では、直流電源引通し線と車体間の絶縁抵抗測定及び絶縁耐圧試験を実施しており、その結果の記録に問題は認められなかった。

また、総合検査の「制御回路の機器の制御及び保護機能」において、F線を使用する制御及び機能に問題がないことが確認されていた。

3.5.2 車両の改造履歴

本件車両の改造履歴を確認した結果、本機器室に関する改造履歴はなかった。

3.6 断線に関する検証試験等

3.6.1 ケーブル束の配線作業状況の確認

本機器室において、ケーブル束を配線穴から低圧端子台架台の電線支えに固定する配線作業の状況を調査した。その結果、ケーブル束を低圧端子台架台の外側を通す場合、ケーブル束全体が妻構えに近づきやすい状況であった。また、低圧端子台架台の電線支えは、図7に示したように、中心が床板から195mmの高さにある。

そのため、ケーブル束全体を持ち上げつつ電線支えに固定しないと、ケーブル束の下端付近が妻土台の上面に接する状態となった。

さらに、このケーブル束の配線作業を行うにあたり、妻土台はケーブル束の背面にあるため、配線作業者の作業位置から妻土台が見えない状況であったことや、3.3.2に記述した妻構えに貼られた断熱材により、妻土台が妻構えより内側に立っている状態が把握しにくいことを確認した。

3.6.2 F線の断線部及びケーブル束の調査

F線の断線部及びケーブル束について、電線の技術専門機関において調査を行った。その結果、ケーブル束には107本の電線等が入っており、その中には断線したF線以外にも絶縁体に斜めに傷がついているケーブルが確認された。金属等に接触し車両の振動により上下左右に擦れると、絶縁体の摩耗が進み、最終的には導体が露出して短絡や地絡が発生する可能性が考えられる。

また、F線が溶着した妻土台の表面分析を行った結果、溶着部の表面はステンレスと銅の合金となっていた。ステンレスの融点は1,400度以上であることから、短絡時にそのような高温となったことが確認された。(図10 他のケーブルの傷、図11 溶着部の表面分析箇所(○印) 参照)



図10 他のケーブルの傷



図11 溶着部の表面分析箇所(○印)

3.6.3 地絡^{*23}の再現試験

3.3.1に記述したF線の断線状況から、直流電源引通し線の100Vの電源が、F線を通り、妻土台に地絡した可能性が考えられた。そこで、本件車両とは別の編成の車両を用い、直流100Vが印加した仮設の電線を車両に取り付けた部材に地絡

*23 ここでいう「地絡」とは、蓄電池の直流100Vが印加している直流電源引通し線が、アースである車体に負荷を介さず直接接触することをいう。

させ、断線時の状況を把握するための再現試験を実施した。

本再現試験では、F線と同種の電線（以下「仮設電線」という。）を、1両目と5両目に仮設した制御遮断器と同種の遮断器（以下「仮設遮断器」という。）と継電器（以下「仮設継電器」という。）を介して配線し、それぞれの仮設遮断器と地絡地点近傍の3箇所で電流を測定した。（図12 地絡の再現試験の接続図 参照）

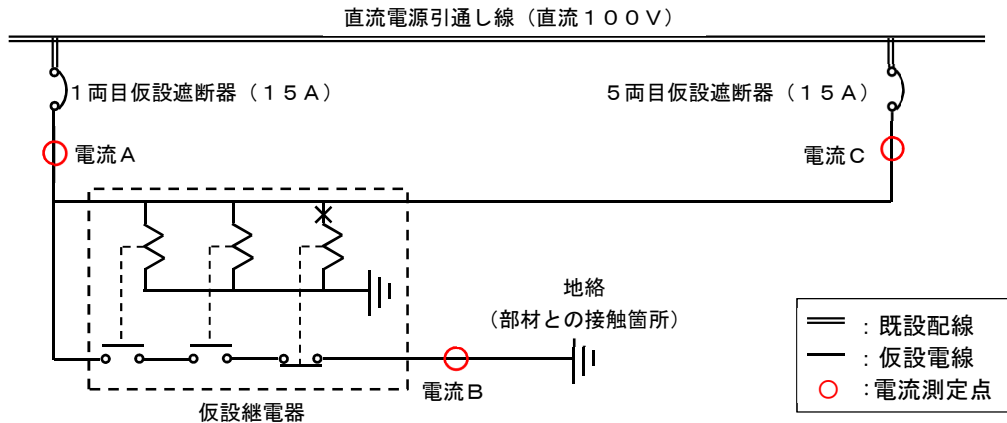
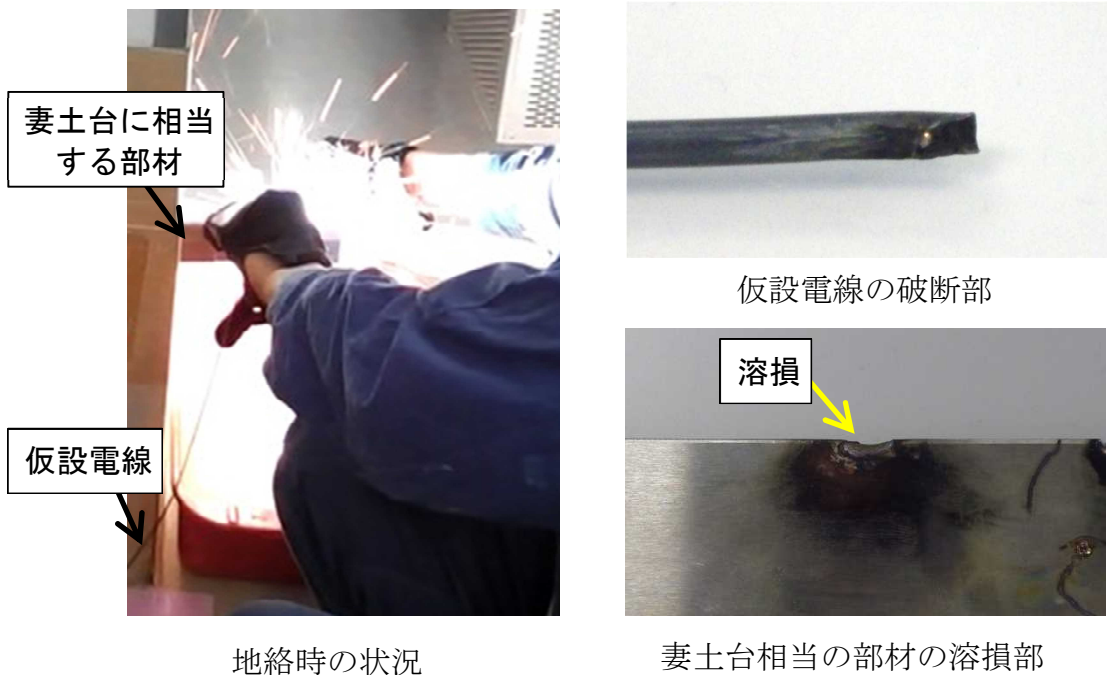


図12 地絡の再現試験の接続図

妻土台と同一の材質及び板厚の部材を構体に固定し、これに絶縁体を傷つけた仮設電線を接触させたところ、スパークが発生し仮設電線が破断した。破断した仮設電線は、本件車両におけるF線と同様に先端部がやや変色し、かつ、妻土台に相当する部材は仮設電線との接触部が溶損した。（図13 地絡の再現試験の状況 参照）



地絡時の状況

妻土台相当の部材の溶損部

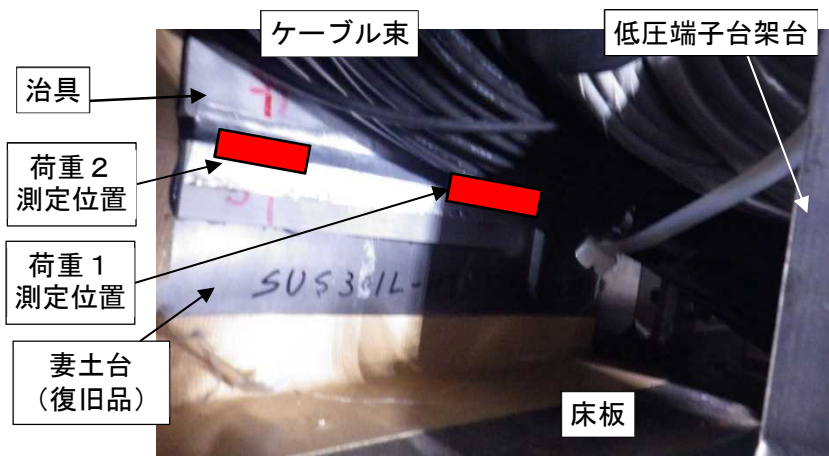
図13 地絡の再現試験の状況

3.6.4 ケーブル束に加わる荷重の測定

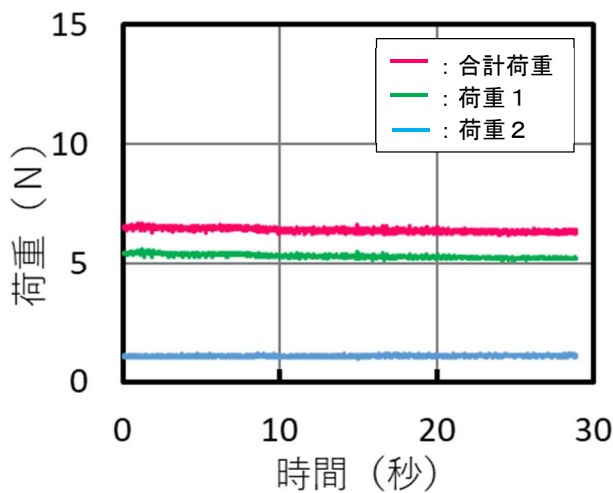
3.6.1に記述したように、本機器室内のケーブル束は、低圧端子台架台の電線支えの固定状態によっては、下端が妻土台に接することが確認されたことから、ケーブル束に加わる荷重を、治具を介して2箇所で測定した。

その結果、ケーブル束に加わる荷重は、ケーブル束を低圧端子台架台の電線支えに固定する高さや状態により変化し、固定を極力再現した状態で約6.4 N、電線支えの固定を一部外して極力ケーブル束を妻土台に乗せた状態においても約12 Nであった。なお、ケーブル束を固定する高さが高い場合、荷重は0 Nになった。

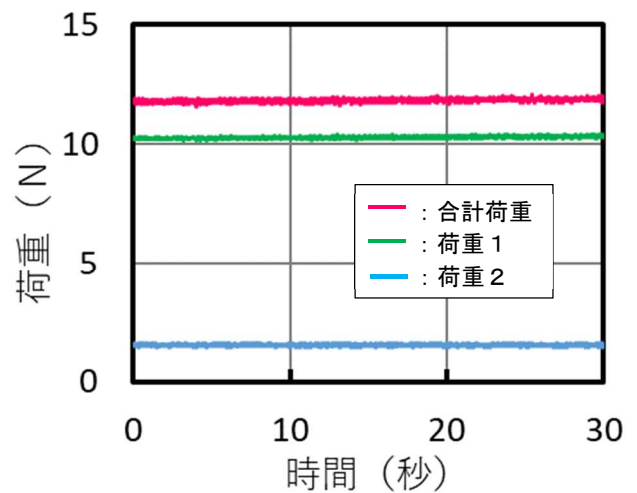
(図14 ケーブル束の荷重測定 参照)



荷重測定の状態



ケーブル束の固定を再現した状態



ケーブル束の固定を一部外した状態

荷重測定結果

図14 ケーブル束の荷重測定

3.6.5 制御遮断器の遮断動作に関する調査

3.1.2に記述したように、F線は直流電源引通し線から、定格電流15Aの制御遮断器及び先頭継電器盤を介して接続されている。本事故時に本件車両と5両目の制御遮断器は「入」状態のままであり、遮断動作をしていなかった。

制御遮断器の負荷側には、F線やR線などの制御回路のほか、編成内の3台のモーター制御装置の電源線が接続されている。制御遮断器の標準定格電流は、一方の制御遮断器が「切」状態になった場合においても、他方の制御遮断器により電源が供給される。制御遮断器は、モーター制御装置の制御電源の定格3.5A、F線等の制御回路の電流（約1A）を考慮し、 $3.5\text{A} \times 3\text{台} + 1\text{A} = 11.5\text{A}$ で定格電流15Aが選定されていた。

3.6.3に記述した地絡の再現試験では絶縁体を傷つけた仮設電線を地絡させており、その場合は1両目、5両目の仮設遮断器は「入」状態のまま遮断動作をしなかった。地絡地点に流れた電流Bは最大100A、1両目の仮設遮断器に流れた電流Aは最大84A、5両目の仮設遮断器に流れた電流Cは最大15Aであり、いずれも通電時間は0.27秒であった。（図15 地絡電流の測定結果 参照）

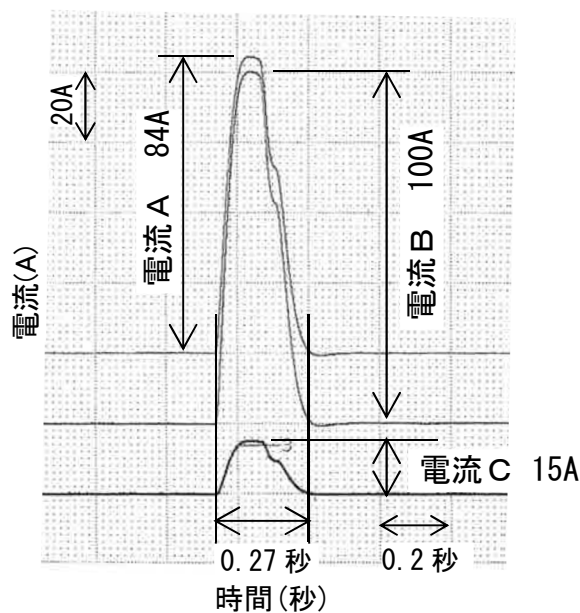


図15 地絡電流の測定結果

3.6.6 電線の振動試験

本件車両の使用電線における妻土台に対する耐摩耗性及び車両部材への保護材の効果을明らかにするため、電線の技術専門機関に委託し電線の振動試験を実施した。この振動試験においては、使用電線を、妻土台と同じ材質及び板厚の材料で製作した治具の端面に当て、荷重を負荷しながら振動試験機で全体を加振した。治具は、

端部が妻土台の上面と極力同じ状態となるよう、レーザーで切断した。また、車両部材への保護材の効果を検証するために、治具に樹脂製の保護材を取り付けた状態についても実施した。

走行中の車両では上下・左右・前後の3方向の振動が電線に作用するが、本試験で用いた振動試験機は上下方向のみ加振できることから、治具全体を45度傾け、荷重及び振動が斜めに作用するようにした。

加振に用いた振動データは、同社が全般検査の試運転で測定した本機器室近くの床板の振動加速度データを用いて作成し、荷重は3.6.4で測定した荷重を参考に、鉛直方向に7Nと14Nとした。(図16 振動試験の状況 参照)

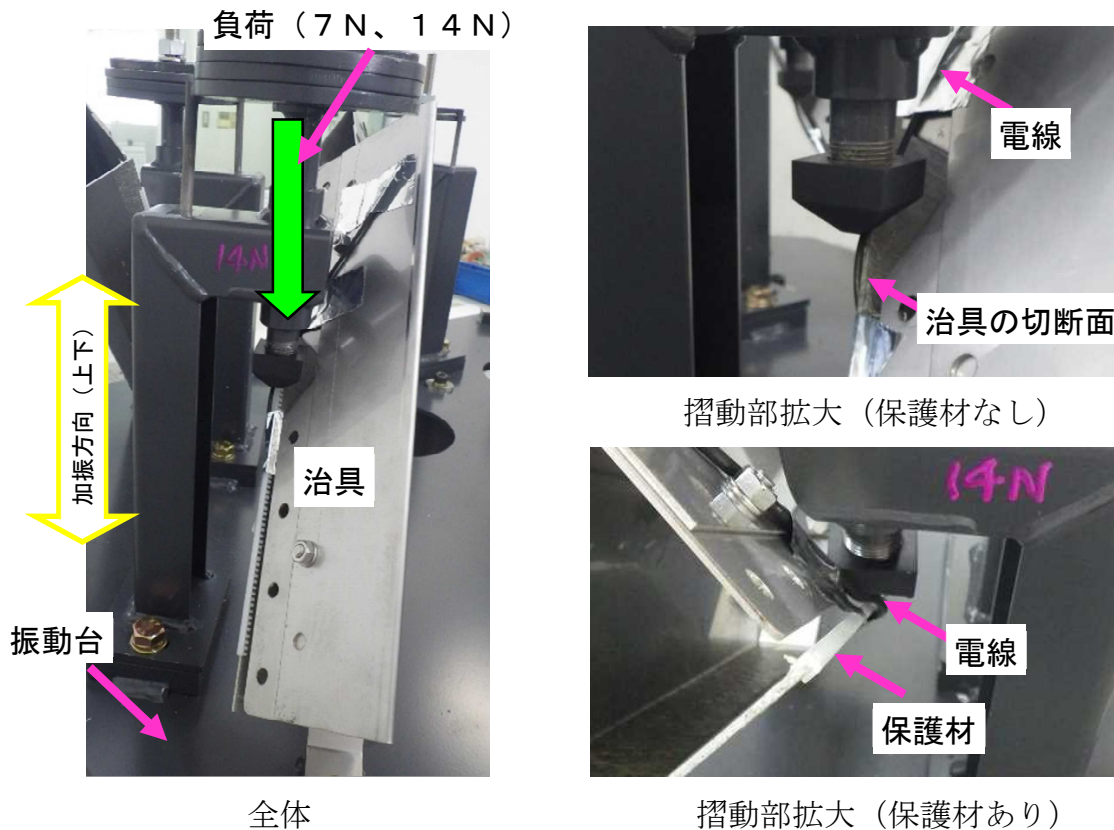


図16 振動試験の状況

5日間、14日間加振した後に、電線の絶縁体の最大傷深さを測定した結果、本試験条件において、主に次のような結果が得られた。

- ・ 負荷荷重7N、14N共に、いずれも絶縁体に傷がつくことを確認した。
- ・ 14日間の加振で絶縁体の厚さが10%以上減少した。
- ・ 使用電線では、治具に樹脂製の保護材を取り付けた場合においても絶縁体は無傷ではなく、絶縁体の最大傷深さは保護材を付けなかった場合とほぼ同じであった。

(図17 振動試験による使用電線の最大傷深さ 参照)

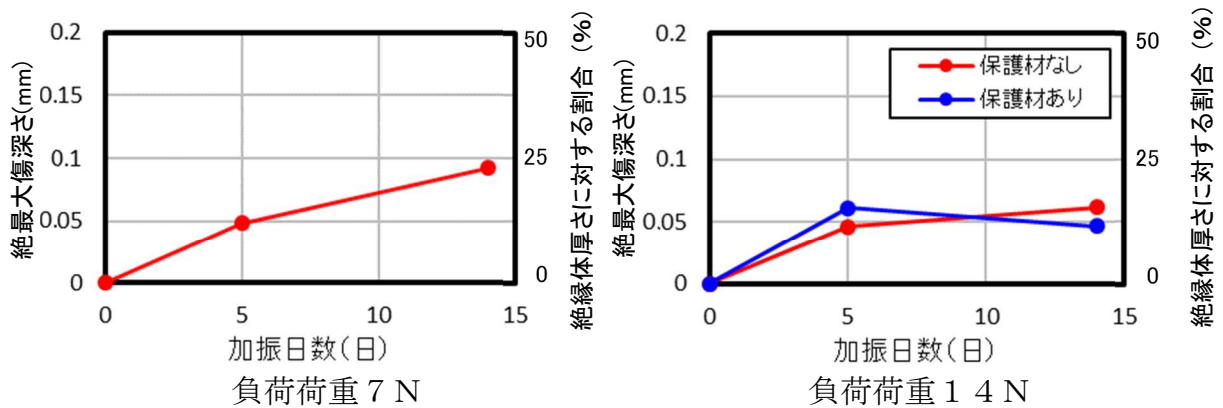


図 1 7 振動試験による使用電線の最大傷深さ

3. 7 逆走の発生に関する調査

3. 7. 1 進行方向設定について

3. 1. 2に記述したように、車両が折り返し駅で停車中に、駅A T O地上装置から進行方向指令を受信し、車両で進行方向が反対側に設定されると、駅A T O車上装置は、車両の進行方向状態を駅A T O地上装置へ送信し、駅A T O地上装置が進行方向指令と進行方向状態を照合する。

車両メーカーによると、駅A T O車上装置は、駅A T O地上装置へ車両の進行方向状態として、当初はF線及びR線の加圧状態を送信することとしていたが、同社、車両メーカー、装置メーカーによる設計会議等において、1 9 4 G線及び1 9 5 G線の加圧状態を送信するように変更した。これは、駅停止時にバックインチング走行^{*24}等を行う場合、駅A T O地上装置との進行方向情報の不一致によるエラーの発生を避けるよう、先頭継電器盤の回路は1 9 4 G線及び1 9 5 G線の加圧状態は変えずに、F線及びR線の加圧状態のみを入れ替え、列車が後方に走行するようモーター制御装置にモーターを駆動させるため、とのことである。

本事故時の地上及び車上の装置が記録したデータを確認したところ、本件列車の走行開始前に異常を示す記録はなかった。

このことから、駅A T O地上装置は、駅A T O車上装置から送信された進行方向状態により、F線が無加圧にもかかわらず、車両の進行方向が正常に設定されたと認識した。

*24 ここでいう「バックインチング走行」とは、インチング走行のうち、駅停止時に何らかの理由で定位置より前方に停止した場合、自動運転で後進走行し再度停止位置合わせを行う走行のことをいう。

3.7.2 モーター制御装置について

モーター制御装置は、F線とR線の加圧状態を列車の進行方向として認識し、モーターの駆動方向を制御している。列車の運行中は、通常F線又はR線のいずれか一方が加圧状態となっているが、F線とR線共に無加圧となった場合は、モーター制御装置内のメモリ機能によって、以前の進行方向の状態を維持する仕様となっている。なお、何らかの理由でF線及びR線の両線が加圧状態となった場合は、車両は保護動作によって力行^{りきこう}しない。(表3 F線とR線の加圧状態とモーター制御装置の進行方向の認識の関係 参照)

表3 F線とR線の加圧状態とモーター制御装置の進行方向の認識の関係

F線の状態	R線の状態	モーター制御装置の進行方向の認識
無加圧	無加圧	以前の状態を維持して認識
加圧	無加圧	新杉田駅 → 金沢八景駅(下り方向)に設定
無加圧	加圧	金沢八景駅 → 新杉田駅(上り方向)に設定
加圧	加圧	(保護動作)

本路線の車両では、本機器室内でF線又はR線が断線すると、本件車両、3両目及び5両目に搭載されているモーター制御装置全てがF線、R線共に無加圧状態となる。このとき、モーター制御装置内のメモリ機能はそれまでの進行方向を維持するため、F線、R線が共に無加圧状態で折り返して運転する場合、モーター制御装置は進行方向の認識が切り替わらず、ATO車上装置からの力行信号を受信することにより、全てのモーターが本来の進行方向とは逆の方向に駆動する。

3.7.3 後退検知機能

ATC車上装置の装置メーカーによると、本路線の車両の後退検知機能はATC車上装置の一つの機能である。この後退検知機能が動作する条件は、次のとおりである。

- (1) F線またはR線の加圧状態による進行方向信号の入力があり、かつ位相検知^{*25}があること
- (2) 速度が3～20km/hであること
- (3) (1)と(2)の条件が1秒以上継続すること

後退検知機能は、上記の(1)から(3)までの全ての条件が同時に成立し、車両が設定されている進行方向と逆方向に走行した場合に後退したと判断して非常ブレーキを動作させるが、本事故時は本来加圧状態であるべきF線が断線し、(1)の条件が成

*25 ここでいう「位相検知」とは、速度発電機からの、2つの正弦波信号の位相差の信号を検出することをいう。この信号により車輪の回転速度と方向を検出する。

立しなかったため、後退検知機能が動作しなかった。

A T C 車 上 装 置 の 装 置 メ ー カ ー に よ る と 、 本 件 車 両 の 後 退 検 知 機 能 は 、 車 両 が 上 り 勾 配 で 停 止 し 緩 や か に 後 退 し た 場 合 な ど を 想 定 し て お り 、 進 行 方 向 等 の 情 報 が 正 し く A T C 車 上 装 置 に 入 力 さ れ る こ と を 前 提 と し て い る た め 、 進 行 方 向 が 不 明 な 状 態 で は 動 作 し な い と の こ と で あ っ た 。

3.7.4 本路線の車両の設計について

本路線は平成元年に開業し、別の車両メーカーにより設計及び製作された1000型車両が導入された。開業当時、この車両は有人の手動運転方式で運行され、その後に無人の自動運転化の改造を行い、平成4年に自動運転による運行を開始した。なお、モーター制御装置はチョッパ制御^{*26}装置であった。

平成20年から、車両メーカーが変わり新形式車両の検討が始まり、平成23年に現在運行中の2000型車両が導入された。この車両は無人の自動運転が可能な車両であり、モーター制御装置はV V V F 制御^{*27}装置が採用された。

車両メーカーによれば、2000型車両は、1000型車両や普通鉄道車両の実績に基づいて設計を行った、とのことである。制御回路などは1000型車両を参考にしており、その理由の一つは1000型車両の進行方向の設定などには大きな不具合がなかったためであった。同社、車両メーカー及び各装置メーカーは随時設計会議を開催し、設計内容の確認が行われた。

設計会議等の記録を確認した結果、指令線の断線等のハザードについて、一部の制御回路については検討及び対策がなされていたが、進行方向の指令線の異常に関して検討された記録はなかった。

同社、車両メーカー、装置メーカーのいずれの関係者も今回のような「逆走」という事象の発生については想定していなかったと口述しており、車両に発生する可能性があるハザードの分析と対策に関し、網羅的な検討が行われていなかった。

3.8 逆走に関する検証試験

F 線 が 断 線 し た 際 の 車 両 の 進 行 方 向 の 設 定 の 状 況 等 を 確 認 す る た め に 、 同 社 の 試 験 線 において、本件車両とは別の車両を使用し、事故時の逆走の事象に関する再現試験を実施した。再現試験の主な手順は次のとおりである。

(1) 自動運転で上り方向に走行し停止

*26 「チョッパ制御」とは、直流電圧・電流をスイッチング素子で高速にオン・オフすることで、平均として所定の電圧・電流を得る制御方法をいう。

*27 「V V V F 制御」とは、Variable Voltage Variable Frequency の略で、直流電力から交流電力に変換するインバータ装置の出力電圧と周波数を変えることにより、交流電動機の制御を行う方式のことをいう。

- (2) 本機器室の低圧端子台でF線を断線
- (3) 下り方向の走行に設定
- (4) 自動運転で出発

その結果、車両は(3)で下り方向の走行に設定されていたにもかかわらず、上り方向に起動した。これにより、F線が断線すると設定されている進行方向と逆方向に走行する事象が発生することを確認した。

3.9 他の新交通システムにおける進行方向の設定方法について

国土交通省鉄道局が開催した第3回「無人で自動運転を行う鉄軌道の事故防止に関する検討会」の資料、並びに運輸安全委員会による他の新交通システムを運行している事業者（6社）に対する聞き取り調査によると、上記事業者の各路線は、地上及び車上の装置において、地上からの進行方向指令、モーター制御装置の進行方向の認識、ATC装置の認識方向について複数を照合し、不一致の場合走行しないシステムとなっていた。しかし、本路線では他の6社と異なり、地上からの進行方向指令とモーター制御装置への指令信号を照合する仕様になっていなかった。

3.10 本事故後に国土交通省により講じられた措置

- (1) 令和元年6月2日、同社に対し、鉄道の安全輸送の確保について、原因究明と再発防止対策を指示した。
- (2) 令和元年6月2日、全国の鉄軌道事業者に対して国鉄技第18号、国鉄施第25号、国鉄安第8号「株式会社横浜シーサイドラインの金沢シーサイドラインで発生した鉄道人身障害事故について」及び案内軌条式鉄道事業者に対して事務連絡「金沢シーサイドラインで発生した鉄道人身障害事故について（情報提供）」を発出し、事故概要を周知するとともに、引き続き、鉄軌道の安全・安定輸送の確保に務めるよう指示した。
- (3) 令和元年6月3日、全国の鉄軌道事業者に対して国鉄技第19号、国鉄施第30号、国鉄安第9号「株式会社横浜シーサイドラインの金沢シーサイドラインで発生した鉄道人身障害事故について」を発出し、同社から報告のあった調査状況を周知するとともに、無人の自動運転を行っている6事業者に対し、原因が究明されるまでの間は、特に折り返し駅での列車の運行に十分注意するよう指示した。
- (4) 令和元年6月3日夕方から4日早朝にかけて、金沢シーサイドラインの手動運転による運転再開のために実施した確認試験に鉄道局及び関東運輸局が立ち会った。

- (5) 令和元年6月6日、無人の自動運転を行っている7事業者を集め、本事故の情報共有や事故防止に関する意見交換等を実施した。
- (6) 令和元年6月14日、「無人で自動運転を行う鉄軌道の事故防止に関する検討会」を設置し、第1回検討会を開催した。本検討会において、同種事故の再発防止に向けて、関係者間で情報共有や再発防止対策の検討等を進めた。(計3回開催)
- (7) 令和元年7月19日、同検討会において、中間とりまとめを公表した^{*28}。
- (8) 令和元年8月23日夜間から24日早朝及び、8月30日夜間から31日早朝にかけて、金沢シーサイドラインの再発防止対策施工後の自動運転再開のために実施した確認試験に鉄道局及び関東運輸局が立ち会った。

4 分析

4.1 断線に関する分析

4.1.1 断線に至る経過の分析

3.2～3.6の調査の結果、F線は車両製造時から妻土台の上面に接触した状態であったと考えられる。妻土台の上面はレーザーで切断されたほぼ直角の断面であったことなどから、車両の走行中の振動により絶縁体が徐々に摩耗し、本件列車の2列車前の下り走行中に妻土台に地絡したと推定される。また、F線が地絡した際に妻土台との接触部で発生した高熱によって短時間で先頭側に接続する側の電線が断線し、低圧端子台に接続する側の電線が妻土台へ溶着したものと推定される。

4.1.2 本機器室の配線状況の分析

3.3.2に記述したように、本路線の車両は床下機器の搭載スペースが小さいため、床上の本機器室内に元空気タンクなどを設置せざるを得ず、その中でF線を含むケーブル束は、床板の配線穴から元空気タンク及び低圧端子台架台の外側を通すため、妻構え近傍を經由し通路側に向けて配線されていた。

このため、3.6.1に記述したように、F線が入っていたケーブル束は妻土台に近づいたと考えられる。さらに、ケーブル束を低圧端子台架台の電線支えに固定する状態によって妻土台への接触状態が変わることが確認された。

*28 「無人で自動運転を行う鉄軌道の事故防止に関する検討会」中間とりまとめ（国土交通省、令和元年、<http://www.mlit.go.jp/common/001300038.pdf>）

これらのことから、本件車両ではケーブル束の固定高さが低かった等により、最終的にケーブル束の最も外側又はその近傍にあったF線が妻土台と接触したと考えられる。

また、ケーブル束内のF線の状態について、3.4.1に記述した車両メーカーの作業手順や、他の車両の同じケーブル束の配線状況等を調査した結果、F線は他の電線等と共に結束されており、ケーブル束全体が妻土台に接していたと推定される。

4.1.3 車両製造時の配線作業等の分析

3.4.1に記述したように、配線作業において、通常は電線等と車両部材が接触しないよう注意するものの、3.6.1に記述したように、このケーブル束の配線作業では作業員からケーブル束に隠れて妻土台が見えないことなどから、ケーブル束が妻土台に接触することに対する意識が不足した可能性が考えられる。また、車両メーカーは車種ごとにぎ装処理要領書や妻配線要領を作成していたが、一般的な注意点及び大まかな指示が記載され、本機器室の妻土台への接触など、配線作業を行う上での個別の注意喚起の記載はなかった。

その結果、3.4.1(1)のケーブル束をまとめる作業において、ケーブル束や妻土台への保護材の取付けが不足し、さらに(3)のケーブル束の最終的な固定作業においても、ケーブル束が妻土台に接触した状態に気づけなかったと考えられる。

3.4.2に記述したように、本機器室内の配線状態については、配線作業後に検査担当部署により検査されず、かつ車両完成後は容易に確認できない状態となっていた。そのため、ケーブル束と妻土台の接触状態を発見することができなかったと考えられる。なお、本ケーブル束の配線状態は、目視のほか、触診や鏡あるいはファイバースコープなどを用いると確認できるため、作業後に検査されていれば妻土台への接触について発見されていた可能性があったと考えられる。

4.1.4 定期検査等に関する分析

3.5.1に記述したように、本件車両の電線等の検査は、目視検査のほか、絶縁抵抗測定、絶縁耐圧試験などで行われていた。

一般的に鉄道車両において、車両内の電線量の多さから個別の電線等の検査は行わず、検査の最後に行う各機器の動作確認等で確認することがある。また、絶縁抵抗測定や絶縁耐圧試験は、電線等に高電圧を印加することから、電源引通し線を独立状態にして検査する。

個別の電線状態を検査するためには、多くの結線部分を外す必要があり、機器の不具合を誘発する懸念があることなどを考慮すると、定期検査によりF線の断線を発見あるいは予見することは困難であったと考えられる。

4.1.5 制御遮断器の遮断動作に関する分析

3.6.3に記述した地絡の再現試験では、仮設電線を1両目と5両目に仮設遮断器に接続し、地絡時の電流を測定した。本件車両の制御遮断器には、制御回路とモーター制御装置の制御電源に流れる定常分に加え、3.6.5に記述した電流Aと同等の電流が更に流れたと推定される。定常分の電流は約5.6A、電流Aの実効値は約59.4Aであるため、制御遮断器に流れた電流65Aは遮断器の定格電流15Aに対し約433%であったと考えられる。通電時間は0.27秒であるから、図18よりほぼ遮断しない領域であった。

一般的に、遮断器は接続している電気回路の入り切りや、過電流が一定時間継続して流れた時に、遮断動作することによって電線等や機器の損傷等を防止する機器として設置されるものであり、本路線の車両では、前後進回路に非常ブレーキに関わる回路が含まれている。本件車両の制御遮断器は指令線等の制御回路（約1A）と合わせ、モーター制御装置の制御電源（約10.5A）を供給することができる定格電流であった。従って、本事故のF線の地絡のような電流特性では遮断動作しなかったと考えられる。

仮にF線やR線などの前後進回路の指令線のみが定格電流5Aの制御遮断器に接続されていた場合、いずれかの指令線が地絡すると、図18において制御遮断器の定格電流に対し約1,300%の電流が流れることになり、制御遮断器が遮断動作する可能性が高い。制御遮断器が遮断動作すると、列車は非常ブレーキが動作し走行不能となるため、本事故は発生しなかったと考えられる。(図18 制御遮断器の動作特性 参照)

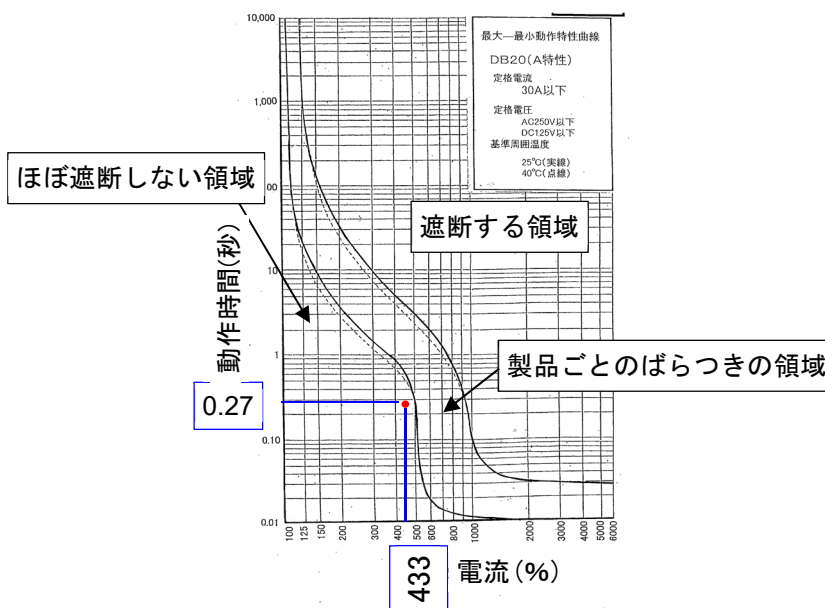


図18 制御遮断器の動作特性

4.1.6 使用電線及び保護に関する分析

3.6.6の試験結果から、使用電線は、一定の荷重が加わった状態で車両の部材に接触すると、車両の走行中の振動により絶縁体に傷がつく可能性があることが確認された。また、車両の部材に保護材を取り付けた場合においても無傷ではなく、絶縁体の最大傷深さは保護材を取り付けない場合とほぼ同じであった。したがって、車両部材側に保護材を取り付けるだけでは電線等に絶縁体の摩耗を完全に防ぐことはできない場合があることから、電線等が車両の部材等に接触する可能性がある場合には、電線等側の保護を併せて行う必要があると考えられる。

4.1.7 断線の発生原因

3.3.2及び4.1.2に記述したように、本件車両では本機器室内において、F線を含むケーブル束は床板の配線穴から妻構え近傍を經由し通路側の低压端子台架台の外側を通り、低压端子台に向けて配線されていた。妻土台に接近したケーブル束の低压端子台架台の電線支えに固定する高さが低かった等により、妻土台と接触していたと考えられる。

本件車両のF線はケーブル束の最も外側又はその近傍にあり、車両の走行中の振動により妻土台の上面との摩擦で絶縁体が徐々に摩耗し、3.3.1に記述したように、本件列車の2列車前の下り走行中に妻土台に地絡したと推定される。地絡した際にF線と妻土台の接触部の抵抗により高熱が発生し、短時間で断線及び妻土台への溶着に至ったと推定される。

3.4.1に記述したように、本配線作業を行うにあたり、車両メーカーは車種ごとにぎ装処理要領書や妻配線要領等を作成していたが、妻土台への接触など、個別の注意喚起の記載はなかった。また、作業員からケーブル束が妻土台に最も近づく箇所がほとんど見えないことなどから、作業員のケーブル束が妻土台に接触することについての意識が不足し、ケーブル束や妻土台への保護材の取付けが十分に行われず、さらにケーブル束の最終的な固定作業においても、ケーブル束が妻土台に接触した状態に気づけなかった可能性が考えられる。

3.4.2に記述したように、本機器室内の配線状態については、配線作業後に検査担当部署により検査される機会がなく、かつ車両完成後は見ることはできない状態となっていた。そのため、ケーブル束の接触状態を発見することができなかったものと考えられる。

なお、3.6.5に記述したように、F線が接続されている制御遮断器は、指令線等の制御回路と合わせ、モーター制御装置の制御電源を供給することができる定格電流であったために、本事故のように指令線などの制御回路の絶縁体が摩耗し地絡した場合に遮断動作しなかったと考えられる。制御回路とモーター制御装置の制御電

源の定格電流の大きさが異なることから、指令線の制御回路とモーター制御装置の電源線のように定格電流が大きく異なる場合は、遮断器を可能な範囲で分け異常時に適切に遮断動作できるようにすることが望ましい。

4.2 逆走の発生に関する分析

4.2.1 本事故の発生状況に関する分析

本事故において、F線の断線により次のように状況が推移したと考えられる。

- (1) 駅ATO地上装置から下りの進行方向指令を受けた駅ATO車上装置は、194G線が加圧状態になったことから、駅ATO地上装置からの指令どおりに列車の進行方向が下りに設定されたとして、駅ATO地上装置に車両の進行方向状態を送信した。その結果、駅ATO地上装置は地上と車上の進行方向の設定が一致したと判断した。
- (2) F線の断線でF線及びR線が共に無加圧となったことから、モーター制御装置は、内部のメモリ機能が以前の進行方向を維持したままであったために進行方向を上りと認識し、その状態でATO車上装置から力行信号を受信し、列車は本来とは逆の進行方向である上り方向に起動した。
- (3) (2)によって列車は逆方向に起動したが、ATC車上装置にある後退検知機能は、3.7.3に記述したように、F線の断線によってF線及びR線が共に無加圧であったことから動作しなかった。

(図19 本事故時の信号の流れ及び各装置における認識 参照)

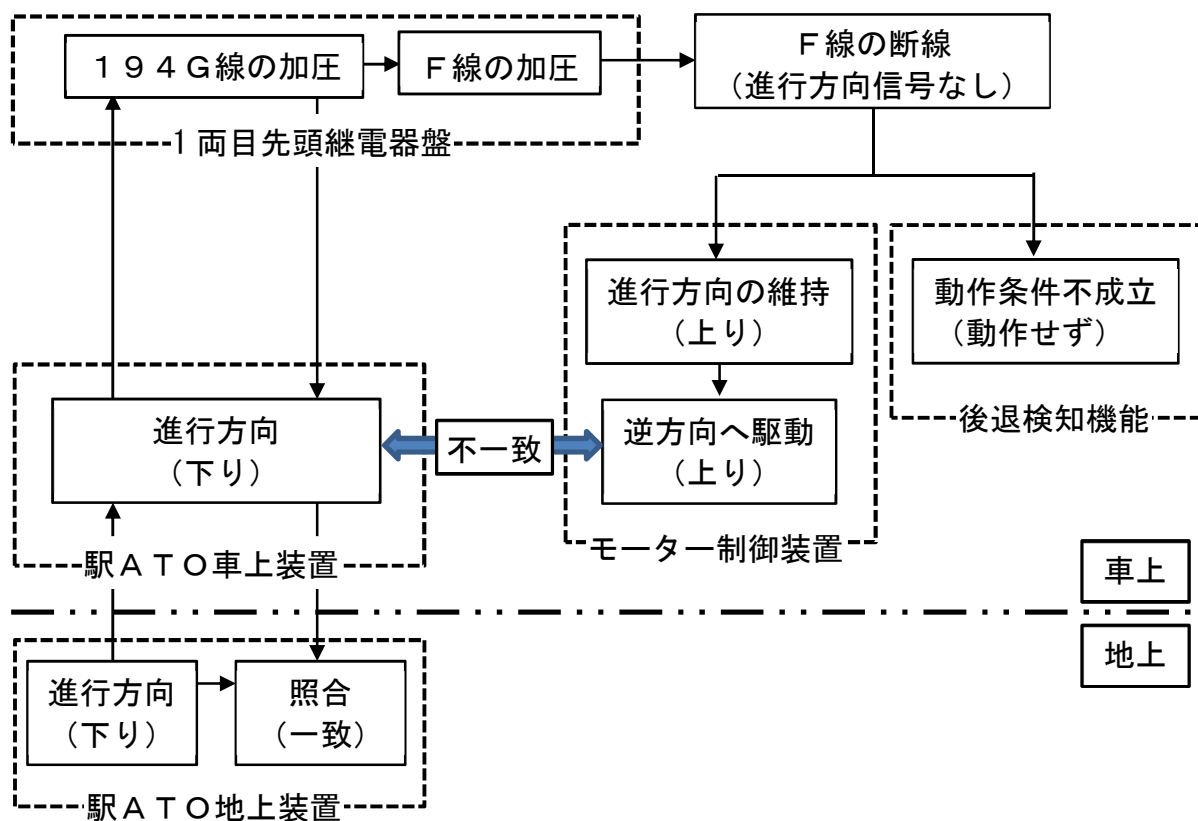


図19 本事故時の信号の流れ及び各装置における認識

4.2.2 進行方向設定に関する分析

3.7.1に記述したように、本事故時は駅ATO地上装置、駅ATO車上装置、モーター制御装置、ATC車上装置等の地上及び車両の各機器は、全て仕様どおりに機能していた。

しかし、本路線の車両においては、194G線、195G線の加圧状態を進行方向状態として地上に送信しているのに対し、一方でモーター制御装置には進行方向の別の指令線であるF線、R線が用いられていた。そのため、駅ATO車上装置からモーター制御装置までの信号伝送経路中に異常が発生すると、モーター制御装置内のメモリが進行方向を維持するため、駅ATO車上装置が地上に送信する進行方向状態と、実際に列車が走行する進行方向が異なる事象が発生すると考えられる。

4.2.3 モーター制御装置に関する分析

本路線の車両のモーター制御装置内には進行方向を記憶するためのメモリ機能があり、進行方向のF線及びR線が共に無加圧の場合、以前の状態を維持する仕様となっていた。

本事故では、F線の断線が本機器室で発生したため、本件車両、3両目、5両目に搭載されていた全てのモーター制御装置は、F線及びR線が共に無加圧となった

ことから、それぞれの装置内のメモリ機能が維持していた上り方向を進行方向と認識し、力行指令が入力した時点で全車両のモーターが本来の進行方向と逆の上り方向に駆動したものと推定される。

3.1.2に記述したように、本路線においてF線及びR線の加圧状態は、折り返し駅で地上から進行方向を転換する信号を受信するまで、車上の先頭継電器盤で保持されている。このため、モーター制御装置内にメモリ機能はなくても問題ないものと考えられる。

なお、同社の1000型車両では、モーター制御装置内に進行方向を記憶する機能がなかったため、本路線において逆走する事象は2000型車両のみで発生する事象であったと推定される。

4.2.4 後退検知機能に関する分析

3.7.3に記述したように、本件車両において後退検知機能は、進行方向のF線及びR線が共に無加圧であったことから動作せず、本来の進行方向と逆の進行方向に車両が起動したにもかかわらず、停止させることができなかった。本路線の車両には、本事故のような逆走の事象を直ちに検知し、停止できるようになっていなかったといえる。

4.2.5 車両設計に関する分析

3.7.4に記述したように、2000型車両の設計において、制御回路などは過去に大きな不具合が発生していなかった1000型車両や普通鉄道車両を参考にし、また、一部の搭載機器については変更を行った。その際に、新たな機器には普通鉄道車両や他の新交通システムなどで実績のある機器を採用した。

しかしながら、進行方向設定などにおいて、制御回路の異常発生時におけるモーター制御装置内のメモリ機能の有無の影響や、無人の運行システムでは列車に異常が発生した場合に、乗務員により対処できないことを想定した検討が不足していたものと考えられる。また、ハザードの分析と対策の検討が十分に行われていなかったと考えられる。鉄道車両の電線等の断線は、想定し得るハザードと考えられるが、2000型車両の設計会議などで指令線のトラブルに関し検討したことはほとんどなかった。

車両に発生する可能性のあるハザードについて網羅的な検討が行われていなかったことから、4.2.2に記述したように、進行方向の指令線が断線すると、車両において設定した進行方向とモーター制御装置が駆動する進行方向が異なる可能性や、車両が本事故のように「逆走」という事象の可能性を想定するに至らなかったと考えられる。

4.2.6 逆走の発生原因

本事故において、車両の駅ATO車上装置は、車両の進行方向が下りに設定されたと認識し、進行方向状態を地上の駅ATO地上装置に送信した。その結果、駅ATO地上装置は進行方向の設定が下り走行で一致していると判断した。一方で本件車両では、F線が断線したことにより、モーター制御装置は進行方向のF線及びR線が共に無加圧となったため、内部のメモリ機能により進行方向を以前の状態で維持し、力行信号を受信した時点で逆の上り方向に駆動し車止めに衝突したものと推定される。なお、後退検知機能はF線の断線でF線及びR線が共に無加圧で進行方向が不明となったために動作条件が成立しなかったことから動作しなかったと認められる。

2000型車両の設計にあたり、制御回路などはそれまでに大きな不具合が発生していなかった1000型車両や普通鉄道車両を参考にし、また、他の路線の車両で実績のある機器を採用したが、その際に制御回路の異常発生時におけるモーター制御装置内のメモリ機能の有無の影響や、無人の運行システムでは列車に異常が発生した場合に、乗務員により対処できないことを想定した検討が不足していたものと考えられる。

また、車両に発生する可能性があるハザードの分析と対策に関する網羅的な検討が十分に行われていなかったことなどから、実際の走行方向と異なり逆走する可能性について認識できなかった可能性が考えられる。

5 再発防止策

5.1 断線の防止

車両メーカーは、配線作業において、電線等の配置や固定方法等を検討し、電線等と車両部材との間に十分な離隔をとる必要がある。その際、電線等と車両部材が接触するおそれのある箇所には適切に保護材を取り付けるよう、配線作業の要領書や図面などにより、作業員への個別の注意喚起を行うことが重要である。さらに、完成後に配線状態の十分な検査が難しくなる箇所については、製造途中においても検査を実施する必要がある。

5.2 本路線の車両における逆走の防止

本路線の車両において、本事故のような逆走を防止するために、次の対策が必要と考える。

- (1) 地上へ送信する車両の進行方向状態の情報は、車両のモーター制御装置に入力される指令線の状態を用いる必要がある。さらに、編成途中における信号の伝送経路に異常が発生したことを想定したシステムであることが望ましい。
- (2) モーター制御装置は、上り又は下りの進行方向が設定されている場合のみモーターを駆動するものとし、進行方向が不定の場合には、力行信号を受信しても力行しない仕様とする必要がある。
- (3) 無人の自動運転システムであることから、列車が設定されている進行方向と逆方向に走行した場合だけでなく、進行方向がない状態でも車輪の回転を検知したときには直ちに停止させる必要がある。

5.3 本事故後に車両メーカーが講じた断線の再発防止策

本事故後に車両メーカーは、配線の車両の部材への接触の有無や保護材の取付けの確認項目を追加するなど、配線作業に用いるチェックシートの内容の見直しや従事員への教育指導の徹底などを行った。

5.4 本事故後に同社が講じた逆走の再発防止策

本事故後に同社が講じた逆走の再発防止策は次のとおりである。

- (1) ATO車上装置の出発条件リレーの動作条件に、F線とR線加圧状態を検知するリレーの接点を入れる回路変更をした。また、地上側において車両の進行方向の認識を正確に把握するため、駅ATO車上装置を介して地上側へ進行方向状態を戻す指令線を、これまでの先頭車両を認識する指令線（194G、195G）から、F線とR線に変更するとともに、そのF線とR線も編成中のループ回路として、その情報を末端側から取得するようにした。
- (2) モーター制御装置について、F線又はR線のいずれかが加圧状態であるときのみ、力行及び回生ブレーキ制御を行うようソフトを変更した。
- (3) ATC車上装置の後退検知機能について、進行方向の指令線であるF線及びR線が断線等により、共に無加圧となった状態で車両の走行を検知したとき、非常ブレーキが動作するようにソフトウェアを変更した。
- (4) 進行方向指令回路の更なる信頼性の向上のため、停止位置後方修正リレーを廃止した。