

事故調査事例

懸垂式モノレールの列車に異常な力行(りっこう)が発生したため、ホームで停止せず、
出発信号機を冒進して、進路の開通していない分岐器に衝突した事例

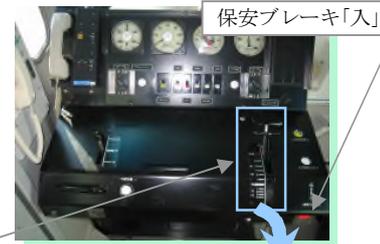
鉄道

概要：本件列車(3両編成/下り普通)は、平成20年2月24日、A駅を定刻に出発した。A駅を出発後、運転士がワンハンドルマスコン(右図参照)を力行位置としていないにもかかわらず力行し、B駅進入時にブレーキ力不足の状態となり、運転士は非常ブレーキ及び保安ブレーキを使用したが生所定位置に停止せず、停止信号を現示していたB駅の下り出発信号機を冒進した。本件列車は、その先の分岐器に衝突し、接近していた対向列車の進路を支障して停止した。

一方、B駅で本件列車とすれ違う予定であった対向列車の運転士は、B駅の約60m手前で本件列車がB駅の下り出発信号機を冒進してくるのを認めたため、非常ブレーキを使用し、本件列車の約19m手前で停止した。

本件列車の車両及び分岐器等の施設に物損が生じたが、双方の列車の乗客及び乗務員に死傷者はなかった。

本事故後の運転台(先頭車両)

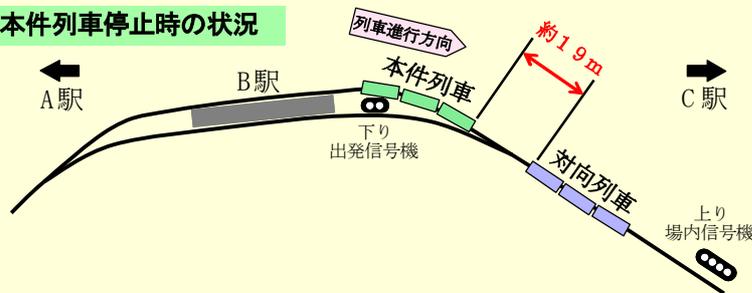


ワンハンドルマスコン
「非常ブレーキ」位置



「ワンハンドルマスコン」とは、列車の加減速を制御する主幹制御器とブレーキハンドルを一つのハンドルで操作可能にしたものをいう。

本件列車停止時の状況



「異常な力行」の発生

本事故では、本件列車がA駅を出発した直後に、運転士のマスコン操作によらない「異常な力行」が発生したものと考えられます。

本報告書では、車両調査等の結果から、「異常な力行」の原因として、本件編成に次の2種類の事象が発生した可能性をあげ、これらについて次ページに示す詳細な検討を行いました。

可能性① 「混触等による力行指令」

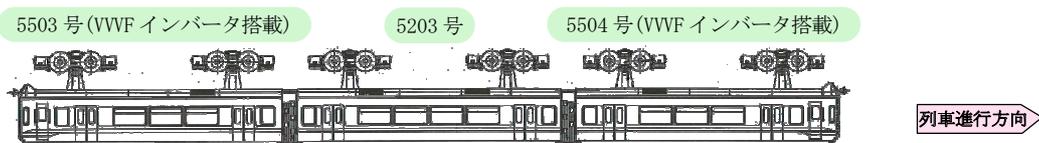
- 運転台マスコン内部などで通電部が露出している端子があり、これらの周辺にアルミの切粉、未使用のビス及び素線等が相当数あったこと
- マスコン内部などで力行指令線に直流100V加圧線を押し付けたところ、本件編成の2台のVVVFインバータが2台とも指令を認識したこと

可能性② 「5504号のVVVFインバータのマスコン指令認識不能」

- 本件編成の構内試運転において5504号のVVVFインバータのみがマスコン指令を受け付けない状態が複数回発生したこと

本件編成の主回路及び制御回路

「VVVFインバータ」とは、電圧、周波数を変化させて、電動機の回転数やトルクを制御する装置をいう。



- ・ 主回路は、直流1,500VをVVVFインバータにより3相交流に変換し、主電動機(3相誘導電動機)を駆動する方式
- ・ 3両編成全車が電動車で、走行用に12台の主電動機を搭載
- ・ VVVFインバータは、本件列車の1両目である5504号と3両目である5503号に搭載され、それぞれ自車の主電動機4台と中間車である5203号の主電動機2台の計6台を制御
- ・ 制御回路は、マスコンからの力行指令(所定の指令線を加圧)をソフトウェア(P4※4参照)により処理してトルク指令を出し、力行ノッチに応じたトルクを発生させる

「異常な力行」の原因についての検討

「異常な力行」の原因について検討するにあたり、本件編成には運転状況を記録する装置が搭載されていなかったため、本事故時の走行状態（B 駅通過時）を本件編成の走行性能や納入時試運転の結果などから推定し、これを B 駅通過時の走行状態を客観的に示す同駅設置の監視カメラ映像の分析結果と比較しています。比較検討の結果、「異常な力行」は、「5504 号の VVVF インバータのマスコン指令認識不能」によるものであることが推定されました。

B 駅通過時の走行状態（減速度）

走行性能や納入時試運転の結果などから...

「混触等による力行指令」が発生した場合の減速度

→2 台の VVVF インバータからトルク指令

-0.3(減速) ~ +2.2(加速) km/h/s

※なお、「混触等による力行指令」を想定して、事故後に実施した走行試験において、平均減速度は+0.6km/h/s(加速)であり、上記減速度の範囲内であった。

「5504 号の VVVF インバータのマスコン指令認識不能」が発生した場合の減速度

→1 台の VVVF インバータからトルク指令

-2.3 ~ -0.4km/h/s(減速)

※なお、「5504 号の VVVF インバータのマスコン指令認識不能」を想定して、事故後に実施した走行試験において、平均減速度は-1.2km/h/s(減速)であり、上記減速度の範囲内であった。

整合性なし

整合性あり

(B 駅監視カメラの映像分析)

- ①本件列車の先頭部が B 駅中心を通過したときの速度 約 27km/h
- ②本件列車の最後部が B 駅ホーム端部を通過したときの速度 約 17km/h

①、②から算定した減速度 -1.0km/h/s(減速)

※上記減速度に基づき、B 駅ホームを含んだ軌道回路での本件列車の在線時間を計算したところ約 14 秒となり、連動装置に記録された同区間の在線時間とも整合した。

客観的情報 (B 駅監視カメラ映像) から...

また、「5504 号の VVVF インバータのマスコン指令認識不能」が発生した場合に、本件列車の B 駅通過時の走行状態 (B 駅監視カメラ映像) と A 駅~B 駅間の軌道回路在線時間 (連動装置の記録) との間に整合性のある走行が可能であるかについて分析を行っています。具体的には、連動装置の記録などから上記走行を可能にするための条件、「C/DFT 区間に約 100 秒在線し、かつ、C/DFT 区間の終端である 4k554m 地点を速度約 43km/h で走行」を求め、マスコン操作の有無の違いによる走行シミュレーションにおいて、これらの条件を満たす走行が可能であるかについて分析しています。

A 駅~B 駅間の軌道回路

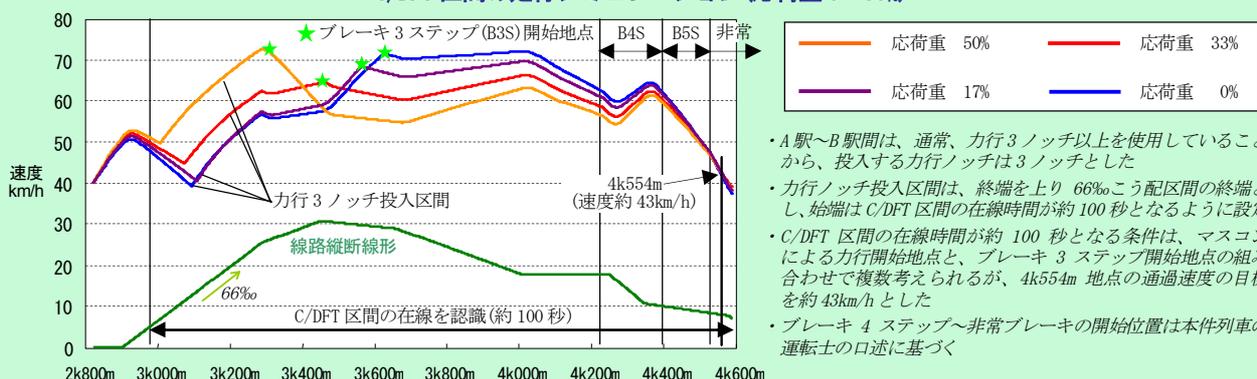


シミュレーションの結果、A 駅出発時以外はマスコンによる力行操作を行わなかった場合(※1)は、上記条件を満たす走行はできず、一方、C/DFT 区間の上りこう配区間の一部でマスコンによる力行操作を行ったとすれば、5504 号の応荷重制御(※2)が認識した乗車率が 0%~50%の場合(下図参照)、上記条件を満たし、運転士及び車掌の口述の概略にも沿った走行が可能となりました。

※1 運転士の口述によれば、出発時以外にマスコン操作による力行は行っていない。

※2 本件編成のブレーキ制御装置及び VVVF インバータは、乗車率が 0~250%の範囲で変動しても一定の加減速性能が得られるように応荷重制御を行っており、各車両に取り付けられている空気ばねの圧力を各車のブレーキ制御装置で認識し、その結果をもとにブレーキの圧力を調整するとともに、電圧信号に変換して VVVF インバータに送り、力行時の加速度を調整する。

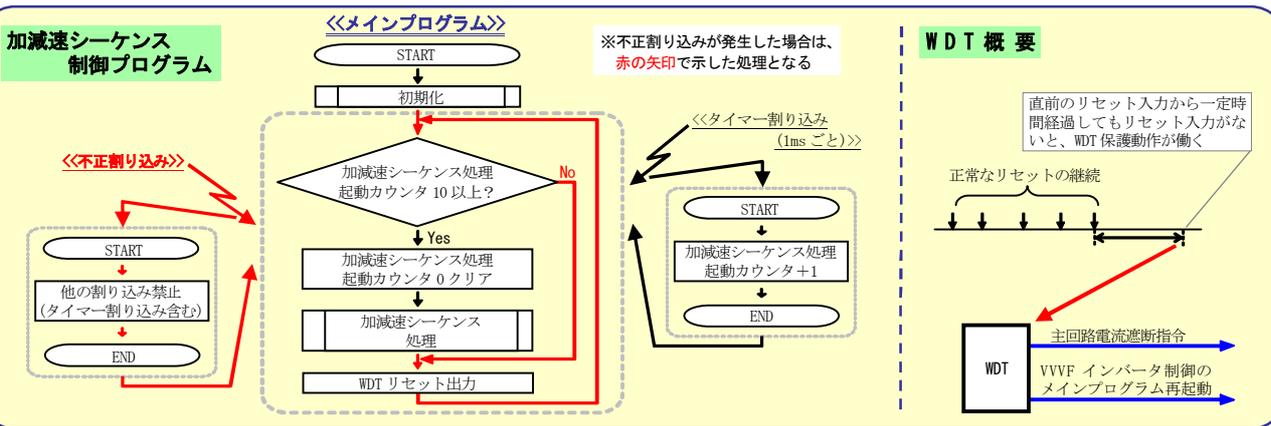
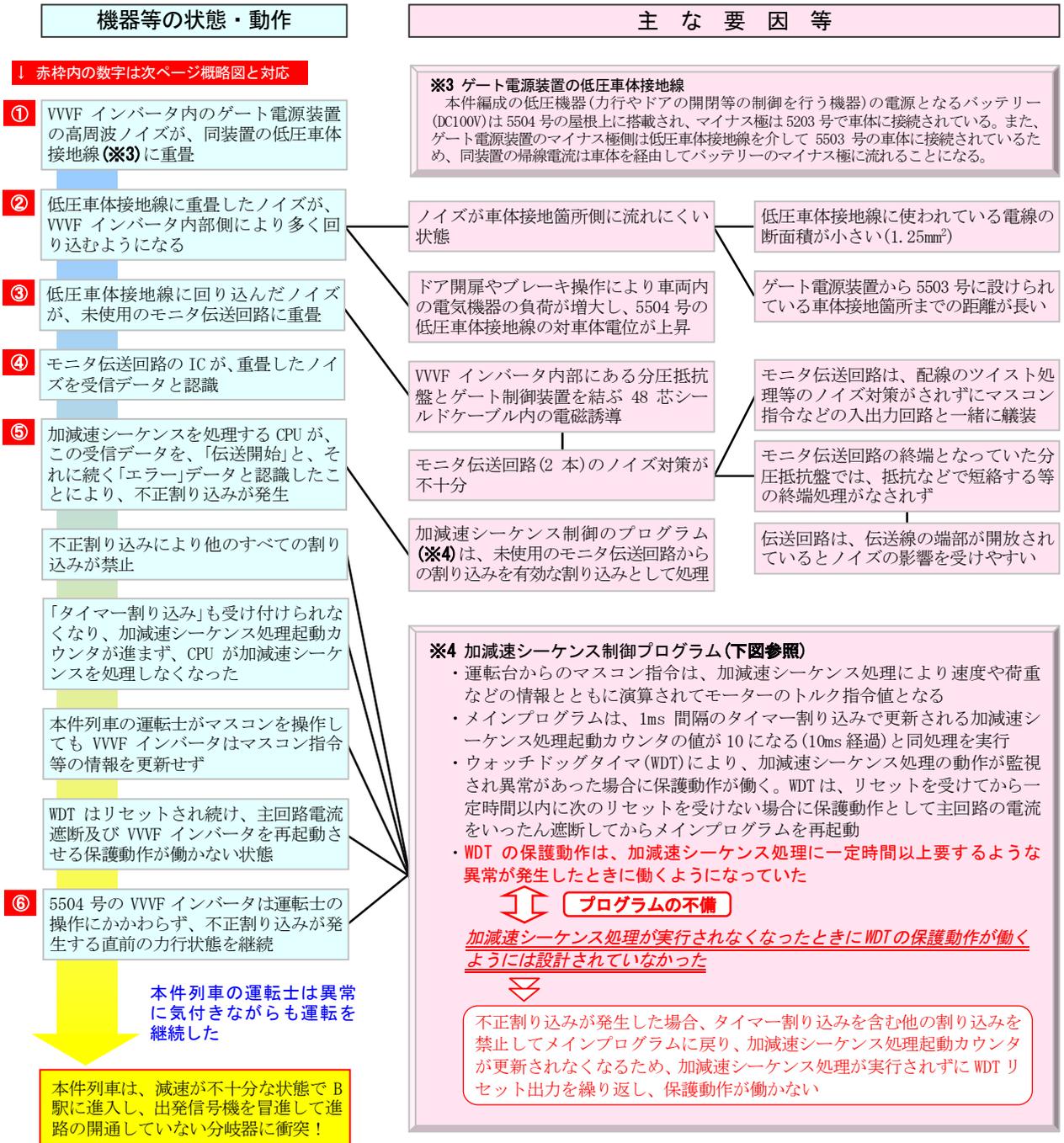
C/DFT 区間の走行シミュレーション (応荷重 0~50%)



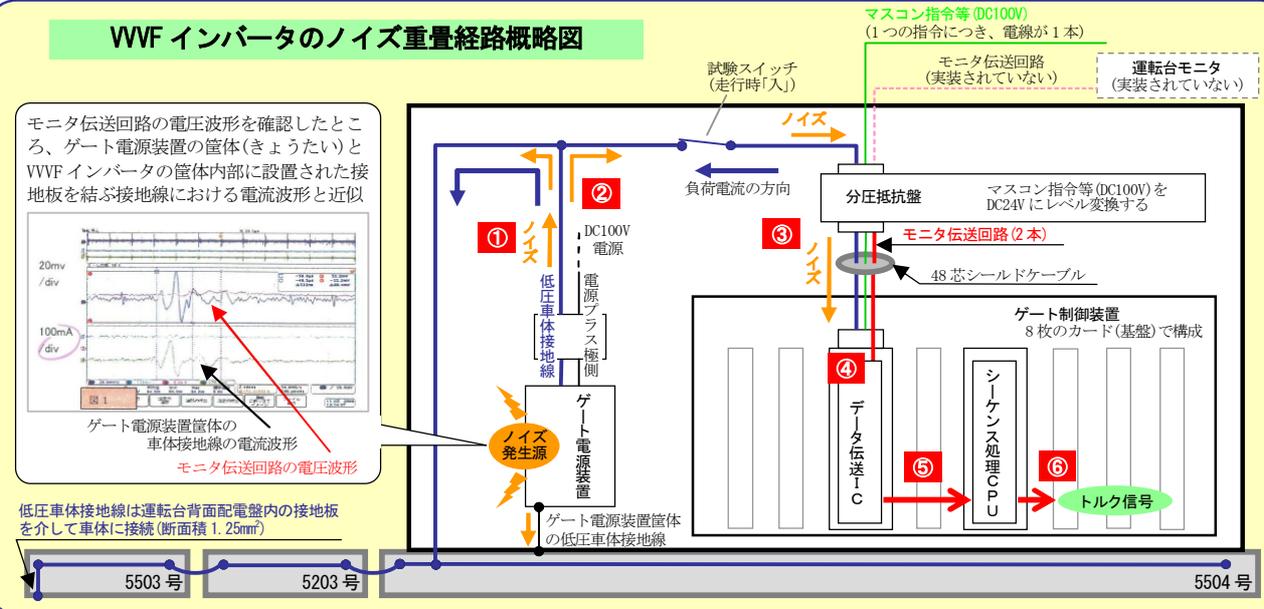
5504 号の VVVF インバータの異常動作に関する分析

本報告書では、「5504 号の VVVF インバータのマスコン指令認識不能」は、車両調査等の結果から、以下のよ
うなメカニズムで発生したものと考えられるとしています。

「5504 号の VVVF インバータのマスコン指令認識不能」の発生メカニズム



VVVF インバータのノイズ重量経路概略図



再発防止のための具体的対策

当委員会は、本事故調査の結果から、国土交通大臣に対して、運輸安全委員会設置法第28条の規定に基づき、次のとおり意見を述べました。

意見

- VVVFインバータ搭載車等、加減速制御にソフトウェアを使用する鉄道車両においては、ソフトウェアの処理異常によって、車両が運転士のマスコン操作に反して力行を継続した場合、車両に異音や異臭などの兆候がみられないため、運転士が異常に気付くのが遅れる可能性が考えられる。したがって、本事故事例を運転士に周知し、列車の異常な力行やブレーキ力低下を認めた場合は直ちに列車を停止させることを再徹底すべきである。

なお、列車を直ちに停止させる方法については、運転士が緊急時に行えるものであるとともに、ソフトウェアの処理異常により不正な力行が発生した場合においてもブレーキ力を確保するために、ソフトウェアの処理異常が発生した場合に確実に主回路を遮断できる方法を周知すべきである。
- 鉄道事業者、車両メーカー及び鉄道用の電気機器メーカーは、鉄道車両のノイズによる誤動作の問題に対して、VVVFインバータ等パワーエレクトロニクス機器や電子機器等に関する誤動作等の情報を互いに共有し、故障防止のノウハウの蓄積をすべきである。また、パワーエレクトロニクス機器や電子機器等を使用した車両の接地及び配線繊装のあり方等、車両内の電磁両立性(EMC)の問題に関する総合的な検討を実施すべきである。
- 列車の加減速を制御する装置、ブレーキ制御装置、保安装置等の運転保安上重要な装置において、その制御をソフトウェアにより行う場合、処理に異常があったときに、ウォッチドッグタイマ等の安全確保に重要な役割を果たす機能が確実に発揮されるよう、設計時に十分な配慮を行うべきである。
- VVVFインバータ搭載車等、加減速シーケンスがソフトウェアによって処理される車両においては、ソフトウェアの処理異常や電子部品の一時的な不具合による故障が発生した場合、リセット扱い等により不具合の痕跡を残さずに容易に復帰することが多いことから、現象が再現しない場合、故障原因の究明が困難になる可能性があると考えられる。

このような故障に対する原因究明のレベルを向上させるため、加減速シーケンスがソフトウェアによって処理される車両においては、運転士の操作と対応する車両の挙動を別個の機器で記録する機能を持たせることを検討すべきである。

本事例の調査報告書は当委員会ホームページで公表しております。(平成21年6月26日公表)

<http://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/railway/report/RA09-6-1.pdf>

事故防止分析官の

ひとこと

本報告書では、最近の鉄道車両について「インバータ等の電磁ノイズが発生しやすいパワーエレクトロニクス機器と、伝送回路等の電磁ノイズの影響を受けやすい電子機器の採用がともに増加する現状にある」としており、今後、鉄道車両内における電磁両立性(EMC)の確保はより重要性を増していくものと考えられます。

国土交通省は、委員会の意見を受けて、その対応を鉄軌道事業者・関係団体に通達(※)しており、この中にはEMCに関する対応も含まれています。EMCの問題に対しては、その設計・製造に携わる関係者が一体となって総合的に取り組む必要があり、本報告書及び上記通達をもとに具体的対策が講じられることが望まれます。

※国土交通省HP参照 http://www.mlit.go.jp/report/press/tetsudo07_hh_000018.html