

関門鉄道トンネルをめぐる電気技術史 —変電所の変遷と西日本大水害時の列車脱出事件— 加島 篤

History of Electrical Technology on the Kanmon Railway Tunnel:
Technologic Transition of the Substations and the Case of Train Escaping in 1953 Nishi-Nippon Flood Disaster
Atsushi KAJIMA

Keywords: history of electrical technology, Kanmon railway tunnel, railway substation, mercury rectifier

1. はじめに

前報¹⁾では、関門鉄道トンネル（以下、関門トンネル）の初期電気設備の特徴や、昭和28年（1953年）の集中豪雨によるトンネル水没、また浸水したトンネルからの旅客列車脱出事件について電気工学の視点から検討を行った。その中で、下関と門司の鉄道変電所が、直流電化区間の饋電設備に加えて、トンネル内の排水、照明、信号等に電力を供給する配電設備を備え、戦中戦後の不安定な電力事情の中で、物流の要である関門トンネルを懸命に支え続けたことを解説した。また、戦時下の資材不足の中、最重要の兵站路線であるトンネルを維持するために最新の電気技術が投入され、非常時のバックアップシステムも充実していたことを示した。西日本大水害時のトンネル浸水では、水没までの各排水ポンプの動向を整理すると共に、ポンプの排水能力に対する過信が事態を悪化させた可能性を指摘した。更に、327列車の脱出事件では、様々な資料を基に脱出過程を検証し、機関士の決断と卓越した技量によって多くの人命が救われた事実を再確認した。

今回の報告では、新たに入手した資料を分析して、電気技術史の観点から変電区の各種電気設備について考察すると共に、終戦間際に秘密裏に建設された彦島地下変電所に関する調査結果を報告する。また327列車については、関係者の証言を含む新たな情報や電気機関車の構造をもとに、列車の運行記録や脱出過程を再検討し、脱出時の電气的リスクの分析を交えて事件の真相を探る。

参考文献の中で、開通から九州交流電化に至る関門トンネルの電気技術の変遷を記録した「関門トンネル電気関係25年史²⁾」と、列車脱出事件を報じる当時の朝日新聞朝刊記事³⁾からは、多くの引用をさせて頂いた。また引用した図については、オリジナルを基本として新たな情報を書き加えた。

2. 関門鉄道用変電区の歴史

2.1 設置から無人化まで

現在、ほとんどの鉄道変電所は無人化され遠方制御装置を用いた集中制御が行われている。しかし、テレメータリング技術が発達する昭和30年代までは、機器の運転監視や保守、運転記録の作成のため運転員の常駐が必要であった。関門連絡線用の直流変電所として設置された下関・門司の両変電所でも、「1変電所1区」として区長以下約20名の職員が配属され、交替制勤務を行っていた²⁾。

当初、下関変電区は広島鉄道管理局、門司変電区は門司鉄道管理局に所属していたため、同一饋電区間にもかかわらず電力の

供給や指令の運用に不便があったという。その後、国鉄機構改革によって1950年8月下関変電区は門鉄に移管された。1961年、山陽本線・鹿児島本線の電化に伴い両変電区は無人化の上統合され、門司港—久留米間に新設された折尾・古賀・二日市の3変電所と小倉・東郷・箱崎の3饋電区分所、八幡・海老津・雑餉隈・田代の4饋電補助区分所に旧・戸畑変電区を加えた新・門司変電区が発足した^{2,4)}。また、これらの変電所・饋電区分所・饋電補助区分所は、門司の電気制御所から一括遠方制御されることになった⁴⁾。

下記の年表^{2,5)}は、新設から無人化までの両変電区の歩みと変電設備の移り変わりをまとめたものである。

1942年6月	下関・門司両変電区設置。 彦島変電所—下関変電区間、大里変電所—門司変電区間に22kV受電用特高ケーブル、下関変電区—門司変電区間に連絡用22kV特高ケーブルを敷設。 富士電機製2000kW水冷水銀整流器、2700kVA整流器用変圧器各2台ずつにより営業運転開始。
1944年5月	両変電区に2000kW水冷水銀整流器各1台増設。
同年7月	砂津変電所—門司変電区間22kV特高ケーブル新設。
1945年	第1回電車線路加圧極性変換試験。
1946年3月	彦島地下変電所竣工。両変電区より水銀整流器、高配変圧器を1台ずつ搬入。
同年10月	地下変電所の機器を両変電所に復元。
1948年2月	門司変電区50Hzから60Hzに周波数変換。大里変電所—門司変電区間の送電線60Hz化。 第2回電車線路加圧極性変換試験。
同年6月	第2回電車線路加圧極性変換試験。
1949年1月	両変電区の水銀整流器各1台を藤枝・磐田変電所に移設。
1951年1月	砂津変電所—門司変電区間の送電線60Hz化。
同年8月	強制排流装置の試験実施。
1953年6月	関門トンネル水没。
1954年3月	強制排流装置の新設。
1957年2月	門司変電区に富士電機製2000kW空冷封じ切り水銀整流器、2700kVA整流器用変圧器各1台増設。
1960年6月	山陽本線西宇部—厚狭間直流電化。
1961年	下関変電区、水冷水銀整流器2台を廃止し富士電機製3000kWシリコン整流器2台に交換。 門司変電区、水冷水銀整流器2台を廃止し交流饋電用単相変圧器（三菱電機製3000kVA）1台を設置。
1961年6月	山陽本線小郡—西宇部間、厚狭—幡生間直流電化、鹿児島本線門司港—久留米間交流電化。
同年12月	両変電所無人化。

2.2 関門の電力事情と電力ケーブルの敷設

上り線開通時（1945年）の関門トンネルの電力系統図を図1に示

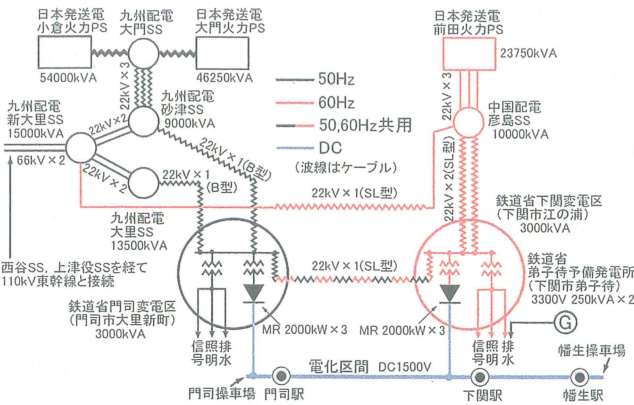


図1 関門トンネルの電力系統図(1945年頃)^{2,6)}

す^{2,6,7)}。前報で述べたように、戦後北九州地区が50Hzから60Hzに周波数変換するまで両変電区の電源周波数は異なっていた。また、電力会社からの受電には、架空送電線ではなく設置費の高む電力ケーブルが用いられている。要塞地帯に位置する関門トンネルの建設には軍の意向が最大限に反映されており、空襲や破壊工作の被害を受けにくい地中埋設のケーブルが採用されたと考えられる。

下り線開通時、下関変電区は中国配電彦島変電所より22kV 2回線、門司変電区は九州配電大里変電所より22kV 1回線の特高ケーブルで受電していた。また、両変電区の連絡用として、22kV 1回線の特高ケーブルが下り線トンネル内に敷設されていた。これは、下関方の電源が前田火力のみと脆弱なため、非常時の電源確保が目的であった²⁾。更に、上り線開通に合わせて九州配電砂津変電所から門司変電区へ22kV 1回線の特高ケーブルが新設された。これも、門司方の電源強化と負荷増加への対応が目的と考えられる。

第二次世界大戦末期に九州の電力事情が逼迫すると、中国系60Hz電力をトンネル経由で北九州地区に送電する措置が講じられた。1945年5月、日本発送電は中国配電彦島変電所と九州配電新大里変電所間に22kV送電線1回線を新設^{2,7)}。22kV特高ケーブルが下関方堅坑から門司方第2堅坑間の上り線トンネル内に敷設された。1945年12月、110kV関門幹線(関門海峡を渡る架空送電線)が完成すると、役目を終えたケーブルは間もなく撤去された^{2,5)}。

図1に示すように、関門地区の特高ケーブルにはB型(ベルトケーブル, belted cable)とSL型(遮蔽型鉛被ケーブル, separated leaded cable)の2種類⁸⁾が敷設されている。門司方の大里門鉄線・砂津門鉄線に使われたB型は、東京の関東配電淀橋変電所-大久保変電区間の古いケーブルを転用したもので、一方、下関変電区を受電線、変電区間の連絡線、日本発送電の関門連絡線は全て新品のSL型が用いられた²⁾。日本の電線製造の歴史を紐解くと、22kV級3芯のB型ケーブルの製作が始まったのが1916年、一方B型に比べ絶縁が良好で油抜けも起こりにくいSL型の製造開始は1927年である^{9,10)}。過酷な環境の海底トンネルを走る特高ケーブルに、耐久性の高い新型ケーブルが採用されたことが分かる。

その後ケーブルの老朽化により、1954年に砂津門鉄線が架空送電線に、1964年に大里門鉄線がGF型(gas filled cable)ケーブルに変更された。故障に加え電力事情の安定により不要設備となっていた変電区間の連絡用ケーブルも、1965年に撤去されている²⁾。

2.3 時代に翻弄された饋電設備

ここでは、先に示した両変電区の年表から、直流饋電設備の変遷に焦点を当て解説する。図2は、各年度の下関・門司両変電区の合計直流饋電出力(積算電力量)²⁾と、各暦年末における門司機関区所属のEF10形機関車の両数¹³⁾をグラフ化したものである。

下り線開通時、各変電区には主変成機器として富士電機製水銀整流器が2台ずつ配置された^{11,12)}。写真1は、富士電機川崎工場での完成記念写真と推定される。図2に示す饋電出力も年々増加し、11月に複線運転が開始された1944年には10000MWhに迫っている。これは、機雷による海上封鎖の影響で、石炭等の貨物輸送が関門トンネルに集中した結果と考えられる。同年、負荷増に対応するため両変電区に水銀整流器1台ずつが増備された。また、この時期門司機関区のEF10も、当初の15両から25両に増強されている。

戦争末期に空襲が激化すると、関門トンネルの防空性能を強化するため、下関市彦島に地下変電所が建設され、両変電区から水銀整流器1台ずつが移設された。終戦後間もなく地下変電所は廃止され、水銀整流器や変圧器は元の変電区に復元された。

終戦の年、饋電出力は7000MWh台に急落。戦後も不景気による貨物輸送の減少でその値は低迷している。1948年に実施された門司変電区の周波数変換工事では、整流器用変圧器の定格が、2700kVA(50Hz)から2000kVA(60Hz)に変更されている⁴⁾。これは変圧器の交換か改造を意味すると考えられるが、定格容量の減少は饋電設備に余剰が生じたことを暗示している。更に、変圧器の更新が2台に留まっていることから、3台の水銀整流器のうち1台が予備機に回ったことが分かる。これを裏付けるように、1949年には下関・門司両変電区の水銀整流器が1台ずつ削減され、東海道本線電化のため静岡県内の藤枝変電所と磐田変電所に移送された²⁾。また、

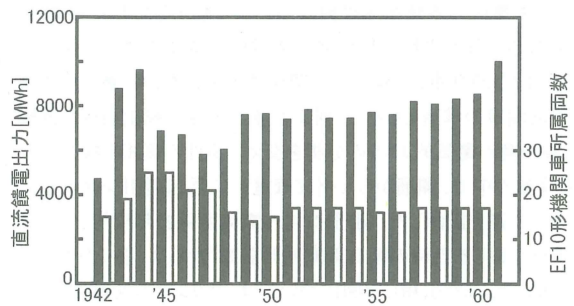


図2 下関・門司両変電区の直流饋電出力(■)と門司機関区所属のEF10形機関車両数(□)の推移

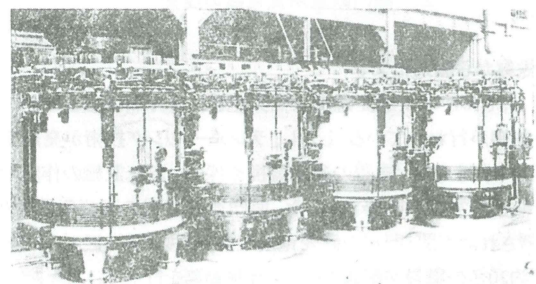


写真1 関門鉄道用鉄製水銀整流器⁹⁾

門司機関区のEF10も転属が相次ぎ、14両にまで減少している。

1950年、朝鮮戦争が勃発し、特需を契機に日本経済は息を吹き返した。饋電出力も堅調に推移し、50年代後半には緩やかな増加傾向が見られる。しかし、高度経済成長に入っても饋電出力は戦時中の水準に及ばず、この間EF10の両数も16~17両で推移している。これは、物流のバイパスとなる関門国道トンネルの開通(1958年3月)など、貨物輸送の形態に変化が生じたためと考えられる。

1961年6月、山陽本線小郡一下関間の直流電化と鹿児島本線門司港一久留米間の交流電化が完成した。交直流機のEF30形が関門トンネルに登場し、EF10は17両全機が門司機関区に後にした¹³⁾。また、新・門司変電区に統合された下関変電所では整流器の近代化と出力増強が図られ、門司変電所では直流饋電設備の縮小と交流饋電設備の新設が行われた。同年度の直流饋電出力は、初めて10000MWhを越えている。これは、下関変電所が関門トンネル負荷の大部分に加えて、新たに山陽本線の負荷を新設の小月変電所(水銀整流器1500V 3000kW×1)と分担した結果である^{2,4)}。一方、門司変電所の直流饋電設備は、トンネル下り線門司方上り勾配におけるピーク電流のみを負担し、下関変電所との分担比率は約1:10となった。その背景には、1961年3月の九州電力の電気料金改定¹⁴⁾による約30%の大幅な値上げがあったと伝えられている²⁾。設置以来、常に双子のような存在であった両変電区が、明確な役割分担を求められた時期であった。

2.4 整流器の技術革新

変電区の年表からは、直流饋電用主変成機器の技術革新の軌跡を読み取ることができる。関門トンネル建設当時、鉄道変電所の主変成機器は回転変流機が主流であった。高効率で保守も容易な水銀変流器は実用化から日が浅く、逆弧(backfire)の防止や高調波障害の抑制など技術的課題も多いため、鉄道省でも数カ所(京浜線大井町変電所や山手線神田変電所、東海道本線神戸変電所、信越本線熊ノ平変電所など)の導入に留まっていた^{2,10)}。関門の変電所で水銀整流器が採用された理由として、①50/60Hzの境界に位置するため緊急時の電源周波数変更が必要で、同期速度で回転する回転変流機では対応できないこと、②水銀整流器の信頼性が急速に向上したこと、の2点が挙げられる。

1961年、当初導入された排気型水冷式鉄製水銀整流器は老朽化のため全廃された。このため、門司変電区では1957年に真空ポンプや冷却水循環装置が不用な空冷封じ切り型水銀整流器が先行導入され、下関変電区では1961年に水銀整流器からシリコン整流器に交換された。何れも保守が容易な機種で、変電所無人化への布石と考えられる。また、この時期は順変換装置の主役が水銀整流器から大容量シリコン整流器に交代する端境期に当たっていた。1958年、国鉄は直流変電所主器へのシリコン整流器の採用に踏み切ったが¹⁵⁾、山陽本線電化で新設された小野田変電所(1960年6月)と小月変電所(1961年6月)には、従来どおり水銀整流器(1500V 3000kW×1)が設置された⁴⁾。しかしその数年後、広島以西貨物電化開始のため小月一下関間に新設された一の宮変電所(1964年7月)には、計画段階の水銀整流器に代えてシリコン整流器(1500V 3000kW×1)が採用されている^{2,4)}。

1961年、交流電化された鹿児島本線に新型の旅客用交流電気

機関車ED72形が登場し、翌年には貨物用のED73形(列車暖房用の蒸気発生器を省略したタイプ)も配属された¹⁶⁾。両形式とも、主変圧器の高圧タップ切換と水銀整流器(風冷式イグナイトロン 900V 1836kW¹⁷⁾)の格子位相制御を組み合わせた主電動機の連続制御・定電圧制御により、優れた再粘着性能を発揮していた。しかし、イグナイトロンは温度調節に手間がかかり、振動や衝撃電圧による故障も多く短寿命であった¹⁸⁾。その後、牽引定数の引き下げで粘着性能に余剰が生じ、水銀整流器の位相制御が不要となったED72とED73は、1969年以降、保守の容易なシリコン整流器に改造された¹⁶⁾。一方、1960年に開発された関門トンネル専用のEF30形交直流電気機関車¹⁶⁾は、トンネルなど負荷条件の厳しい直流区間に比べ、平坦な交流区間は約1/5の部分出力で牽引可能なため、当初からシリコン整流器(1500V 450kW¹⁷⁾)を採用していた。また、小郡一久留米間の直行運転用に導入された421系交直流電車(モハ420形)^{19,20)}にも、シリコン整流器(1350V 810kW¹⁷⁾)が搭載されていた。車両用・変電所用を問わず、小型で高効率・高信頼性の電力用半導体の台頭は、効率と省力化を求める時代の要請に応えるものであった。

2.5 軌条電蝕防止技術の発展

関門トンネルの軌条(レール)は、漏水により常に塩水に曝されている。そのため電気車の運転電流の一部が大地側に漏洩しやすく、軌条対地電圧が正となる区間では、電気化学的作用により軌条や取付金具から金属イオンが溶け出す電蝕(galvanic corrosion)が発生する²¹⁾。その解決策を探るため戦中戦後の2回、電車線(架線)と軌条間にかかる直流1500Vの極性(通常は架線側+, 軌条側-)を反転する大掛かりな極性変換試験が実施された^{2,22)}。しかし、十分な費用対効果が確認できなかったと伝えられている。

1954年、軌条を電蝕から守る切り札として弟子待予備発電所内に強制排流器(forced drainage)が設置された²⁾。これは外部電源法と呼ばれ、直流電化区間に並行する埋設管や、岸壁用鋼夾板や棧橋など港湾施設の電気防蝕に用いられる^{23,24)}。強制排流による軌条防蝕の原理を図3に示す。海岸の接地点からトンネル内の軌条に向かって防蝕電流(protective current)を流し、軌条からの漏洩電流を相殺する。その結果、軌条対地電圧が負となり電蝕が防止される。実際は海岸に打設したシートパイルを陽極、トンネル中央部の軌条(信号回路に影響を与えぬようインピーダンスボンドの中点を利用)を陰極として、水銀整流器式の直流電源(100V 150kW)が接続されていた²⁾。また、強制排流によって、トンネル内に敷設された送電用特高ケーブルや通信・信号ケーブルが電蝕を起こす可能性があるため、各ケーブルの鉛被(金属被覆)と軌条の間に、セレン整流器を用いた選択排流器(polarized drainage)が複数接続された²⁾。

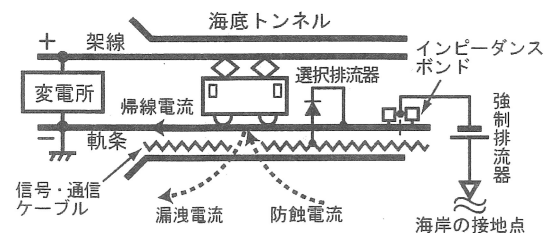


図3 強制排流器による軌条電蝕防止

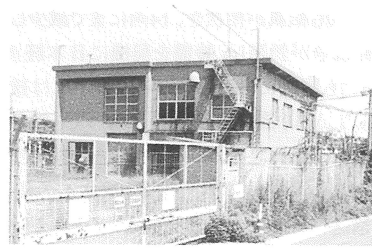
2. 6 関門鉄道変電所の構造と機器配置

下関変電区を例に、当時の鉄道変電所の構造を調べてみる。同変電区は、関門トンネル下関方入口近くの山陽本線沿線(現・下関市彦島江の浦町1丁目)に設置されている。新設時の機器配置を図4に示す²⁾。図には屋外特高設備と変電所建屋1階が描かれている。省略した2階部分には、配電盤室、饋電用開閉器室、高压配電室が置かれ、水銀整流器上部は吹き抜けとなっていた。また上り線開通に合わせて、構内に水銀整流器と整流器用変圧器各1台を増備する空間も確保されている。下関変電区は用地に恵まれたことから、当時の鉄道省標準方式に近い構造が採用されたという。一方、海を挟んで設置された門司変電区は門司駅構内にあり、用地の制約から受電用特高設備を建屋内に収めた屋内変電所となっている。

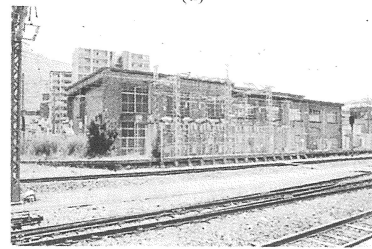
下関変電区は、約500m西方の中国配電彦島変電所より22kV SL型ケーブル2回線を受電していた。図4に示すように、断路器DS、可熔器(電力ヒューズ)PF、油入遮断器OCB、変流器CT、限流リアクトルFCL等の一般的な特高受電設備に続いて、相関リアクトル付の整流器用変圧器¹⁾(22kV/1380V 2700kVA×2)と、トンネルに排水・照明・信号用の電力を供給する高压配電用変圧器(22kV/3300V 1000kVA×3)が並んでいる。整流器用変圧器で3相交流を12相に変換し、12陽極格子付水冷式排気型鉄製水銀整流器(1500V 2000kW×2)によって直流1500Vに変換する。そして、正極母線から饋電用直流高速度遮断器HSCB(制御機器番号54F)と濾波器(高調波フィルター)を通り、トンネル内の饋電線4回線に供給される。

当時の変電所は、遮断器の投入・引外し用ソレノイドの駆動や配電盤操作用電源、および停電時の非常用電源として鉛蓄電池を累積した直流電源(DC110Vまたは220V)を用いていた²⁵⁾。また、据置用蓄電池の主流はTudor式²⁶⁾(純鉛製の陽極板全面を細い簾状の格子に加工してPbO₂薄層を化成する方式)であったが、開放型電槽のため充電時に水素ガスや硫酸ミストが発生し、電気火花による爆発や機器の腐蝕を避けるため、床に耐酸被覆を施した専用の蓄電池室^{25,27)}が不可欠であった(図4参照)。防爆・酸霧除去機能を備え、大容量で保守も容易な密閉型ペースト式蓄電池(Pb-Sb合金の格子に希硫酸で練った亜酸化鉛粉を充填し化成した陽極板を持つ方式)が日本で実用化されたのは1951年である²⁷⁾。下関・門司両変電区も、無人化の過程で据置用蓄電池を密閉型に交換している²⁾。

初期の水銀整流器では、器槽や電極、排気用水銀拡散ポンプの冷却に毎分20~30ℓの冷却水が必要で、腐食防止のため水質にも



(a)



(b)

写真2 現在の関門トンネル用変電所 (a:下関変電所, b:門司変電所)

充分留意する必要があった。関門地区は地下水源に乏しいため、循環水冷方式が採用された²⁾。図4には、冷却水の循環ポンプや熱交換を行う再冷却器も見られる。しかし、再冷却用の水の確保も困難を極め、結局門司変電区ではどぶ川の近くに掘られた伏流溝から、下関変電区では海面より低い伏流井戸から水を汲み上げていた。特に、再冷却に海水を用いた下関変電区のシステムは、良好な運転実績が学会等からも高く評価されたと伝えられている。

写真2は、九州旅客鉄道株式会社が所有する現在の下関・門司両変電所である。変電所建屋は設置当時のもので、竣工から65年が経過している。無人化のため、構内の機器はJR九州博多電力指令から遠隔操作されているという。

2. 7 短絡消弧式の饋電制御

前報でも触れたように、関門の変電区では水銀整流器の格子制御によって、短絡事故発生時に水銀整流器の消弧と再起動を自動で行うシステムを採用していた^{11,12)}。その接続図を図5に示す。

通常運転では、格子変圧器が各制御格子に正電圧を与えて水銀整流器が点弧し整流が行われる。直流側に短絡が生じると整流器用変圧器に過電流が流れるが、これを変流器で検出して、乾式

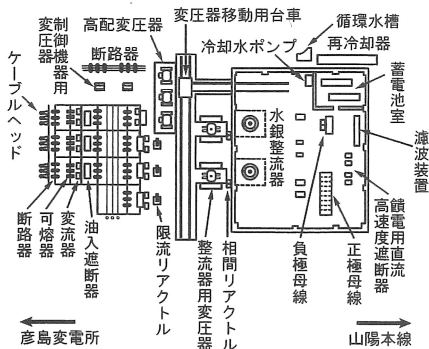


図4 新設当時の下関変電区機器配置図²⁾

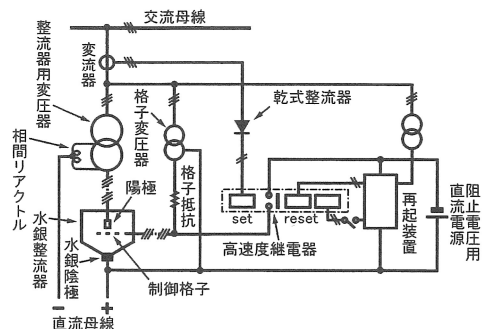


図5 電気鉄道用格子制御回路¹²⁾

整流器(亜酸化銅等の金属整流器)を通して高速度継電器(ラッチングリレーの一種)をsetする。すると、制御格子に負電圧が印加され、15ms程度で水銀アークが消失する。また、再起装置の働きにより、消弧から約0.3秒後に高速度継電器は自動的にresetされ、水銀整流器は運転状態に復帰する。一時的に饋電を停止することで短絡の原因が除去されれば、饋電用高速度遮断器が動作せず運転の永続性が保たれる。

一方、短絡が継続する場合は、水銀整流器が消弧と自動再起動作を繰り返してしまふ。そこで整流器を保護するため、高速度継電器の補助コイルに通電してreset状態を保持し、短絡電流による饋電用高速度遮断器の開放を促す。

この饋電制御は、1937年の静岡電気鉄道清水変電所を皮切りに各地の鉄道変電所に導入され¹²⁾、格子制御の有用性を実証した。その後、点弧角制御による整流回路の電圧調整や静止レオナードによる直流電動機速度制御、水銀インバータによる電力回生など格子付水銀整流器の電力応用技術が一斉に開花することになる。

2.8 彦島地下変電所

第二次世界大戦末期、連合軍の空襲が激化すると関門トンネルの防空対策が急務となった。1944年、変電設備の被災による饋電停止を想定し、トンネル内で蒸気機関車(D51)による牽引試験が行われた²⁸⁾。更に、下関市彦島で地下変電所の建設が開始された。

饋電出力4000kWの彦島地下変電所は、下関市彦島江向町(現・彦島江の浦町1丁目)に聳える標高45mの小山の内部に建設された。資料^{29,30)}と現地調査を基に推定した変電所地下壕の構造を図6に示す。地下壕は下関変電区の西南西に位置し、L字型の本坑(南北35.5m, 東西62m, 幅6m, 高さ5.6m)と連絡用斜坑(長さ48m, 幅2.5m, 高さ3.8m)の2本のトンネルで構成されている。内部はコンクリート巻の堅牢な構造で、変電設備は本坑の東西部分に設置されていた。また、急傾斜の斜坑による煙突効果(chimney effect)で、変電所内の換気や排熱を行う仕組みであったと考えられる。

第二次大戦中、日本各地では軍事施設や発電所の建設現場、工場、炭鉱、金属鉱山等で、強制連行された朝鮮人が過酷な労働に従事させられた。関門トンネルと同様に、彦島地下変電所の建設工事でもその可能性が指摘されている^{30,31)}。

この地下変電所には、下関・門司の両変電区から水銀整流器、整流器用変圧器、高圧配電用変圧器等の主要機器が2台ずつ移

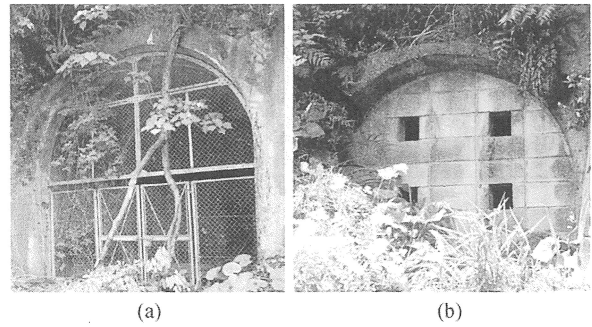


写真3 彦島地下変電所入口 (a:本坑入口, b:斜坑入口)

設されたが、完成したのは終戦後の1946年3月であった。関係者の証言によると、完成後約20日間だけ饋電したが、高湿度のため電気設備の運転保守には苦勞が多かったという²⁾。同年10月地下変電所は廃止され、撤去された機器類は元の変電区に還元された。空襲対策である地下発電所の建設工事が終戦後も継続された背景には、負荷増に備え並列饋電(parallel feeding)を行う第三の変電所として、現地で運用する構想があったのかもしれない。

今回、地下変電所跡の現地調査を行い、下関市立彦島保健センター付近に本坑入口、下関変電所を見下ろす山の中腹に斜坑入口が、共に閉鎖された状態で現存することを確認した(写真3参照)。本坑入口は水銀整流器や変圧器など大型の機器を搬入するため大きな断面を持つが、連絡通路である斜坑入口は比較的小さい。住民の方々の証言によれば、斜坑内部には昇降用の鉄梯子があり、入口付近にはかつてコンクリート製の水槽があったという。斜坑が開く崖の上にコンクリート壁を持つ建物の残骸があり、その内部は2室に別れている。

ここで、地下壕の位置や形状を基に地下変電所の構造と機器配置を推定する。地下変電所の西方300mに位置する中国配電彦島変電所からの受電線(22kV)は本坑入口から引き込まれ、遮断器など特高設備を経て水銀整流器用変圧器と高圧配電用変圧器に接続されていた。また、本坑内部には水銀整流器と付属の冷却水ポンプや再冷却器が設置され、斜坑内に敷設された配管を通じて外部の循環水槽と接続されていた。高さ3.8mの斜坑の天井部分にはDC1500VとAC3300Vの高圧線が走り、斜坑入口上部の建物に導かれていた。トンネル入口を見下ろすこの建物には高速度遮断器を納めた饋電用開閉室と高圧配電室があり、ここから饋電線と動力線がトンネル入口に向かって延びていた。下関・門司の両変電区が破壊された場合、トンネルを維持し物流を確保する重要な役割を地下変電所が担っていたことが分かる。

3. 西日本水害時の列車脱出事件

3.1 快挙を讀める新聞報道

1953年(昭和28年)6月28日、北部九州を襲った集中豪雨によって関門トンネルは水没し、以後15日間に亘り本州と九州を結ぶ物流の大動脈が途絶した³²⁾。昼夜を分かたぬ懸命な排水作業の結果、7月14日未明に下り線が開通し、水害からの復旧の象徴として新聞各紙の紙面を飾った。その2日後、タイミングを図っていたかのように、水没直前のトンネルから間一髪脱出に成功した下り327列車

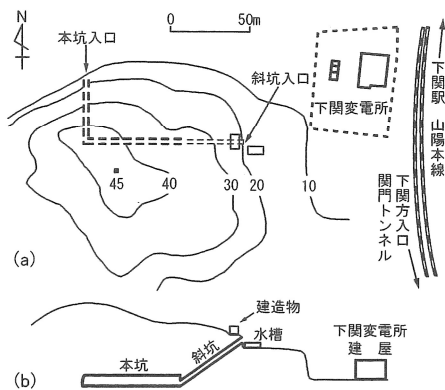


図6 彦島地下変電所の構造 (a:平面図, b:側面図)



写真4 列車脱出事件を報じる新聞記事³⁾

を取り上げた記事²⁾が朝日新聞に掲載された(写真4参照)。「乗客八百名かくて救われる 沈着、機関士の機転 327列車水没の関門トンネル突破」という華々しい見出しと共に、列車の緊急停車から脱出までの過程を詳細に解説している。新聞紙上や国会の場でトンネル水没の責任を厳しく問われた国鉄にとって、機転と卓越した技量で大勢の乗客の命を救った乗務員の活躍は、何よりの明るい話題であったろう。記事に添えられた、石井英一門鉄局長の次のようなコメントがそれを物語っている。

「トンネルが開通するまで私はあらゆる点で幸運に恵まれた。がこの三二七列車の助かったのが一番うれしかった。八百人余の乗客にもしものことがあっていたら私は生きていないだろう。」

ここで、327列車に関連した新聞記事の日付と主な内容を示す。何れも朝日新聞西部本社版に掲載されたもので、以下「新聞記事a～c」と略す。

- 6月28日付夕刊³³⁾ 列車脱出の一報 (新聞記事a)
- 7月 5日付朝刊³⁴⁾ 列車脱出に関する国鉄幹部のコメント (新聞記事b)
- 7月16日付夕刊³⁵⁾ 事件の顛末、脱出過程、関係者の証言 (新聞記事c)

前報で解説したように、327列車の脱出事件には未だ多くの謎が残されている。2006年秋に北九州市門司区の九州鉄道記念館で開催された関門トンネルの企画展³⁵⁾や、2007年に出版された鉄道関係の書籍³⁶⁾や雑誌³⁷⁾でも327列車の脱出事件が取り上げられたが、当日の運行記録や脱出過程に関する記述はまちまちであった。そこで、新たに得られた情報を精査し、電気工学的考察を交えながら列車脱出事件の真相究明を試みる。

3.2 トンネルへの浸水と列車運行

1953年6月28日朝、門司市大里(現・北九州市門司区大里)では、降り続く雨の中、門司鉄道病院(現・JR九州病院)の起工式が挙行された³⁸⁾。午前11時、猛烈な豪雨に耐えきれず門司駅を見下ろす戸ノ上山山麓で土砂崩れが発生。土砂は河川を堰き止め、溢れた濁水が海側の鹿児島本線に殺到した。門司駅構内の水位は一挙に上昇し、関門トンネル門司方の堀割(オープンカット)区間では、第13号架線鉄柱付近の防水壁切欠部分から架線をかすめるように大量の濁水が噴出し始めた^{32,39)}。11時0分頃、巡回中の門司保線区線工副長 八津川芳行氏がこれを発見。門司方出口の真上に建つトンネル警備担当の公安職員派出所に通報したと考えられる。

11時2分、同派出所から門司駅上り運転室に、上り6列車(門司特

発京都行の特急かもめ)の発車中止を要請する電話が入った³²⁾。門司駅では直ちにかもめの発車を抑え、下関駅に下り列車の発車中止を要請した³⁸⁾。しかし、EF10形電気機関車が牽引する岩国発佐世保行の下り327列車(乗務員は、門司機関区の宮原静義機関士と岡雅通機関助士、広島車掌区の松村四十見車掌)は既に発車した後であった。鉄道公安官(小倉鉄道公安室の実松和男氏と平島信義氏)は鉄梯子を伝って堀割内に降りると、列車を止めるため下り線トンネル内へと走った³²⁾。327列車はトンネル出口付近で緊急停止し、危うく難を逃れた。そして関係者が固唾を飲んで見守る中、機関士の機転と巧みな運転によって列車は見事に落水箇所を突破し、無事門司駅に到着した。11時30分、大量の濁水が防水壁を乗り越え一気に堀割内に流入し始めた³²⁾。そして12時45分、奮闘も叶わず全ての排水ポンプが停止し、関門トンネルは上下線とも水没した。

トンネル浸水に先立つ10時40分に鹿児島本線門司一小倉間が不通となり、門司駅では下り37列車(東京発長崎行 急行雲仙)が運行打切となっていた。これに下り327列車と特急かもめが加わり、駅構内は約2000人の乗客で溢れ³²⁾、急遽かもめの食堂車を使った炊き出しが行われたという⁴⁰⁾。また、11時50分には327列車の後続・大阪発水俣行下り217列車の通過直後に山陽本線長府一長門ノ宮間で土砂崩れが発生し、同列車は下関駅に閉じ込められた⁴⁰⁾。

3.3 327列車の運行記録

327列車の事件当日の下関発車時刻については、10時57分と11時24分の2つの説が存在する。前者の根拠は、新聞記事cの「三二七列車が下関を発車したのは定刻に三分遅れた午前十時五十七分」という記述である。事件発生から間もない時期に書かれ、機関士に直接取材した記事のため、極めて確度の高い情報と考えられる。一方、後者の説は国鉄九州総局が1972年に発行した関門トンネル30周年のリーフレット⁴²⁾に記述があり、その後発行された鉄道雑誌の多くがこの発車時刻を踏襲している。

前報でも述べたように、327列車の下関発車は10時54分が定刻⁴¹⁾で、28日の同時時間帯には山陽本線に不通箇所は発生しておらず、豪雨による大幅な遅延は考えにくい。後続の下り217列車もほぼ定刻に下関駅に到着している。また、国鉄の水害記録³²⁾やトンネル水没当日に発行された新聞記事aでは327列車の門司到着は11時20分頃とされている。更に、同水害記録や土木学会の水害調査報告書³⁹⁾、北九州市発行の水害写真集⁴³⁾によると、門司方堀割区間の防水壁を越えてトンネルへの大規模な浸水が始まったのは11時30分頃となっている。

新聞記事bの中で井沢克己国鉄西部総支配人は、「327列車の到着と、特急「かもめ」の発車のわずかな間に浸水した」と語っている。また、国鉄の水害記録の中で門鉄運転部列車課長 宮崎親之氏は、「運転指令は門司駅から327列車の到着が遅れているとの連絡を受け、同列車の安全を確認した上で上りかもめを発車させる予定であったが、到着した327列車の機関士や保線区員を電話に呼び出し、トンネルが危険な状態にあることを確認してかもめの発車を止めた」と証言している。同水害記録によれば、前日の27日の下りかもめが鹿児島本線の不通により門司打切となったため、当日の上りかもめは門司特発で11時25分(定刻は11時16分⁴¹⁾)の発車予定であった。

旅客列車がトンネル通過に要する時間は約10分で、下関を10時

57分に発車したとする説では、11時7分頃にトンネル門司方出口に達し、緊急停車や落水箇所への通過に要した時間を加えても、11時20分頃の門司駅到着は十分可能である。また、同列車の到着後に25分発上りかもめの発車を中止したとする証言とも符合する。一方、下関発を11時24分とする説では、門司方出口への到達時刻は11時34分頃となり、列車はトンネル内を走行中に大量の濁水に遭遇してしまう。よって、327列車の下関発車時刻は10時57分と結論される。

しかし、新聞記事cに記された運行記録もまた問題を抱えている。「急停車。午前十一時八分。(中略) 息づまるような停車十六分間、同機関士はハンドルを動かした。(中略) 門司駅四番ホームに十一時十七分無事すべりこんだ。」

11時8分に停車急車した列車が16分後に現場を離れたのであれば、門司到着は11時24分過ぎとなるはずで、11時17分の門司駅到着は不可能である。乗務員に取材した記者の聴き取りミスと考えられる。

ここで、16分を緊急停車から門司駅到着までの時間に、11時17分を列車が脱出を開始した時刻に読み替えてみる。すると、現場での停車時間は9分間となり、「ジリジリと10分余りが経過した。機関士2人はついに意を決して(後略)」という北九州市発行の水害写真集の記述と符合する。また、列車の門司到着は11時24分となり、同列車が11時20頃門司駅に到着し、その直後に上りかもめの発車が中止され、間もなくトンネル内への大規模な浸水が始まったとする一連の記録とも一致する。国鉄九州総局発行のリーフレットは、門司到着時刻と下関発車時刻を取り違えて書かれたのかもしれない。

以上整理すると、今回複数の資料を基に推定した水害当日の下り327列車の運行は、10:57下関駅発車 11:08緊急停止 11:17脱出開始 11:24門司駅到着 となり、トンネル出口での停車時間は9分、トンネルからの脱出に要した時間は7分となる。

3.4 門司方出口での緊急停車

新聞記事cは、列車が緊急停止した経緯を次のように記している。「雨は激しかったがトンネル内は異常なかった。信号も青。ただ最低部付近で線路内のみぞを流れる水がいつもより多かった。門司側出口百メートル付近に差ししかかり九州の光が出口から丸く見え出したとき宮原機関士は前方に白色信号(危険信号)を認めた。と同時にパンタグラフが水を被ってパツと発火した。急停車。」閉塞信号が進行(緑)を現示していたと、機関士は証言している。では、列車を急停車させた白色の危険信号とは何だったのか。

国鉄の水害記録には、トンネル内の信号機配置図²⁾が掲載されている。そこには、有色ランプの閉塞信号機以外の信号設備は見当たらない。また、復旧工事では、閉塞信号機と識別灯(信号機番号の表示灯)の全てが交換されたが、他の信号機に関する記述は見られない。白色灯を有する中継信号機(信号見通しの悪い区間で閉塞信号の現示を中継する信号機)の設置も、鹿児島本線電化後となる1962年以降である³⁾。よって、327列車に危険を知らせた白色信号は、鉄道公安官が振る懐中電灯の光であった可能性が高い。列車がトンネル出口で停車せず落水箇所へ冒進した場合は、大きな事故に発展するおそれもあった。保線区員と鉄道公安官の機敏な行動が、327列車を最初の危機から救ったのである。

緊急停車の直前にパンタグラフが水を被ってスパークしたという記事は、停車の際に少なくとも機関車の前部がトンネル外に出たこ

とを暗示している。しかし、北九州市発行の水害写真集⁴⁾には、「EF10の機関士と機関助士は滝のように落下する濁水に気付き、トンネル出口の手前70m付近で列車を急停止させた」と、より具体的な記述がある。よって、停車前のスパークは記者の聴き取りミスで、機関車の停車位置はトンネル内内であったと考えられる。

新聞記事cは緊急停車後の様子を次のように伝えている。「保線区に連絡に出した機関助士は途中転倒、全身ズブぬれ。車掌も心配してかけつける。やがて乗客が騒ぎ出した。」一方、水害直後の7月8日に開催された衆議院運輸委員会⁴⁾では、国鉄の江藤智施設局長が327列車の脱出に関し、次のような答弁を行っている。

「十一時四分に門司に着きます三二七列車という列車があるのでございます(中略) 従って非常な豪雨であって、そこを汽車を上げることが危険であるかどうかということを心配いたしまして、公安官が一時隧道の中でその列車をとめておるのでございます。そして門鉄の局長に、これをとめておるが、どうしようかということで、指示を受けに参ったのであります。局長は、とにかく非常な豪雨であるし、やはり浸水を心配いたしまして、何はともあれ三二七列車を動かせということで(後略)」

以上の記録から、鉄道公安官は危険信号を出して列車を止め、公安派出所から電話で門鉄局指令室に判断を仰ぎ、機関助士を通じて強行突破の指令を機関士に伝達したと考えられる。前節で推定した列車の運行記録では、この間に約9分が経過したことになる。

3.5 トンネル内への列車退行

3.3節では、緊急停車した327列車が再び発車して門司駅に到着するまで、約7分が経過したと推定された。この間、機関士は何を考え、どのように機関車を操作したのであろうか。

新聞記事cにある、集電装置のスパークによる緊急停車が事実とすれば、強行突破の指令を受けた機関士が、列車をトンネルから出して落水箇所へ接近した時点でスパークが生じ、再び停車に追い込まれた可能性がある。その時、水を被って火を噴いた前部パンタグラフを下げたことで、前後のパンタグラフを昇降させて危険箇所を惰行で突破するアイデアが、機関士の頭に閃いたのかもしれない。

勾配区間にある落水箇所を惰行で通過するには十分な速度と助走距離が必要となる。国鉄の水害記録や国鉄九州総局発行のリーフレット、国鉄施設局土木課監修の「鉄路の闘い100年」⁴⁾など複数の記録には、327列車が一旦トンネル内に退行したという記述がある。国鉄の水害記録によれば、10:50の時点で門司方の堀割区間では枕木まで水に浸かっている。新聞記事cにも、「もうその時は出口には幕を覆せたように濁水が流れ落ちていた。(中略) そのうち線路が水で見えなくなり始めた。」という記述がある。更に、水害当日に発行された新聞記事aにも、「機関車の電池すれすれまで水に浸かった」と記されている。この電池は機関車ものではなく、客車の床下にある電池箱(照明用蓄電池を収めた箱)と推定されるが、脱出の際に堀割区間の軌条が冠水していたことを示している。

元来、関門トンネルでは海水の漏水で濡れた軌条で空転や滑走が頻発し、機関車は死重を搭載し大量の砂を撒きながら走行していた²⁾。更に、下り線の門司方出口や堀割区間は20パーミルの勾配で、EF10単機で400t近い列車を引き出すことは容易ではなく、冠水

した軌条では粘着力の低下により空転を起こす危険性も高くなる。また、水害時に門司方堀割区間を写した写真を分析すると、架線鉄柱の位置や架線の高さ、濁水の噴出状況などから、問題の落水箇所はトンネル出口から数十m以内の距離にあったと推定される。よって、機関士は起動時の空転を防ぎ十分な助走距離を確保するため、敢えて列車をトンネル内に戻す決断を下したと考えられる。

1945年2月1日にトンネル内で発生した貨物列車同士の衝突事故では、石炭を満載した列車が上り線トンネル出口で息切れして停止し、引き出しも失敗してトンネル底部まで引き返す途中に、乗務員と保線区員の連絡不足と安全確認の不徹底により、閉塞信号で停車中の後続列車に衝突し、EF10の前面を大破してしまった^{28,47)}。327列車の場合は、公安官からの電話により門鉄の運転指令が現場の状況を把握しており、また後続の列車もなかったため、脱出の指令を受けた機関士は、躊躇なく列車を退行できたと推測される。

その一方で、列車の退行は意図されたものではなく、落水箇所に向かって前進を始めた直後に空転を起こし、そのままズルズルとトンネル内に下がってしまったのではないかという穿った見方もある。

3.6 落水箇所での走行とパンタグラフ操作

新聞記事cには、列車の脱出過程が克明に描かれている。「電気機関車の前部パンタグラフを下し後部パンタから誘電しながら水の流れ落ちる場所より先の方に前部パンタが位置するところまで進んで一たん停車、次には後部パンタを下し前部パンタで一気に通り返す(後略)」

つまり、EF10は前部パンタグラフを下げて徐行で落水箇所に接近し、一旦停止して前後のパンタグラフ切り換え脱出したというのである。記者は、脱出方法が2つのパンタグラフの間隔を利用した離れ技であることを強調し、機関士の機転と冷静沈着な運転を賞賛している。

一方、国鉄の水害記録では、関門トンネルの警備に当たっていた鉄道公安官が列車脱出の過程を次のように証言している。

「山津波の流れが本トンネル第13号鉄柱のすき間から下り線中央部に奔流中、進行中の327レを感電の危険から救うため、停車手配をとり関係区員と協議の結果、一旦退行させて速度をつけて発進、水のかるるところをパンタグラフを下げて、だ力運転、再びパンタグラフを上げて危機を脱した。」

また、列車脱出を目撃した保線区員の石川順士氏は「鉄路の闘い100年」の中で、「緊急停車していた機関車が一旦トンネル内に退行し、前部パンタグラフを下げた状態で勢いをつけて上がってくると、落水箇所直前で後部パンタグラフも下げて惰行で通過し、直後に前部パンタグラフを上げて門司駅に向かった」と証言している⁴⁸⁾。同様の記述は国鉄の水害記録や国鉄九州総局発行のリーフレットにも見られ、衆議院運輸委員会での国鉄側答弁にも、「パンタグラフを下げて惰行運転で上がってきた」と記されている。

勾配区間の冠水した軌条では、起動時に空転を起こす危険性が極めて高い。よって、EF10は落水箇所ですぐ停車せず惰行で通過し、パンタグラフの昇降も走行中に行ったと考えるのが自然である。新聞記事cでは落水箇所もトンネル出口に変更されており、記者は読者の理解を優先して脱出過程を簡略化したのかも知れない。

前報¹⁾で解説したように、EF10形等の旧型直流電機では回り弁⁴⁹⁾を用いた空気圧によるパンタグラフの遠方制御が行われていた。写

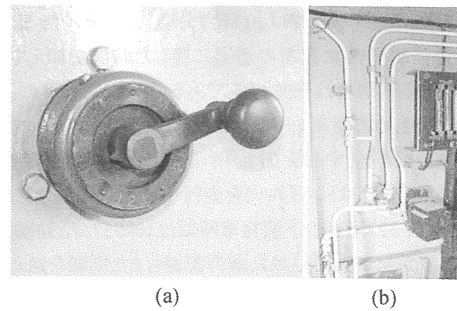


写真5 回り弁式パンタグラフ弁 (a: 操作面, b: 空気配管)

真5は九州鉄道記念館に保存されているEF1035号機の回り弁で、運転室と機械室を仕切る隔壁に取り付けられている。操作は運転室側から行い、機械室側の空気配管が前後のパンタグラフや後部運転室の回り弁、空気溜へと伸びている(図7参照)。回り弁は、マスコンとブレーキ弁を握った機関士の背後に位置するため、脱出時の操作は機関助士が行ったはずである。

「2下げ!」、「1上げ!」。パンタグラフの昇降を指示する宮原機関士の怒号が響く中、必死に回り弁のハンドルを回す岡機関助士の姿を想像するとき、2人の絶妙な連携プレーが列車の危機を救ったことに改めて気付かされる。

3.7 脱出を可能にしたもの

水害時に門司方堀割区間を写した報道写真¹⁾からは、土砂を含んだ雨水が堰堤と化した防水壁を一気に溢流する光景や、架線鉄塔取付部から噴出した水流が放物線を描き、架線をかすめて水没した軌道に降り注ぐ様子が確認できる。よって、落水箇所を通過する電気機関車は、屋根に大量の濁水を浴びたことが想像できる。

新聞記事bの中で井沢西部総支配人は、「豪雨の中を列車はショートしてパンタグラフから火をふきながら無理に押し上がった」と語っている。衆議院運輸委員会会議録や新聞記事cにも、パンタグラフが水を被ってスパークしたことが記されている。これは、走行中の電気車に見られるパンタグラフの離線によるスパークとは異なり、架線地絡による激しいアーク放電だったと考えられる。

新聞記事cでは、機関車がパンタグラフを上げたまま落水箇所に突入した場合の危険性を、「電気がショートして機関車が焼けるか、架線が焼き切れるか、変電所が故障して停電するかの三つ」と具体

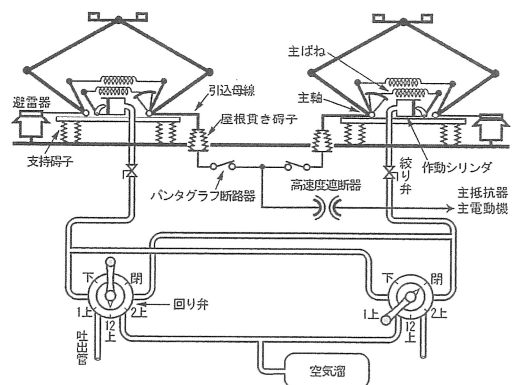


図7 集電装置とパンタグラフ作動機構^{1,48)}

的に示している。はたして、実際の脱出ではどのような電气的リスクが存在したのだろうか。

図7は、集電装置と周辺の電気回路を示している。架線に接触した状態で大量の注水を受けると、水流によってパンタグラフと車体の間が直接短絡されるか、パンタグラフの支持碍子や屋根貫き碍子(引込母線用ブッシング碍子)が絶縁破壊を起こして、架線から鋼製の車体へ短絡電流が流れる。その結果、パンタグラフの炭素製スリ板やアルミ合金製の枠、引込母線等が焼損・溶断するか、発生するアークで車体が損傷するおそれもある。新聞記事cでは、327列車の機関士も「機関車が焼けることを覚悟した」と証言している。当時の国鉄マンの脳裏には、2年前の1951年4月、京浜線桜木町駅構内で発生した架線地絡による電車火災(焼死者109名、重軽傷者92名を出した桜木町事故⁴⁹⁾)のことが浮かんでいたのかも知れない。

パンタグラフと主回路の間にはナイフスイッチ型の断路器⁵⁰⁾が挿入されている。落水箇所を通過する際、機関士が断路器の開閉を行う時間的余裕はなく、前後のパンタグラフは同電位であったと推測される。よって、力行運転で接近した場合は下げ位置にあるパンタグラフにも高圧がかかり、濁水を浴びて地絡する危険性がある。また、集電装置や絶縁碍子が浴びる濁水の量を抑えるためにも、落水箇所を短時間で通過することが望ましい。新聞記事cが報じたように、力行で接近し一旦停止してパンタグラフを切り換える方法では、機関車の屋根に大量の濁水が降り注ぎ地絡の危険性が著しく増大する。機関士が、現場を惰行で通過し走行中にパンタグラフを昇降させたことは、架線地絡を回避する最善の策であったと考えられる。

次に懸念されるのは架線の溶断である。終戦直後の1946年には、門司方堀割区間の下り線で信号外停車したEF10の起動電流によって架線が切れ、列車が立ち往生する事故が発生している²⁾。その結果、同区間の架線はトンネル内部と同様に、吊架線(messenger wire)に2条のトロリー線を懸架させた単鏈複線式²¹⁾(simple catenary double trolley)に変更された。この強化されたトロリー線が地絡による激しいスパークに耐えて、列車の脱出を陰で支えたことになる。

新聞記事cが3点目のリスクとして挙げた変電所の故障による停電は、変電区の饋電用高速度遮断器のトリップによる饋電停止を意味している。327列車の場合も、地絡によって約1km離れた門司変電区の高速度遮断器に整定値を越える事故電流が流れ、遮断器が開放される可能性があったと考えられる。また、並列饋電を行う下関変電区内の高速度遮断器が同時に開放された場合は、架線溶断と同様に列車は現場から動けなくなり、間もなく始まった大規模な浸水に、なすすべもなく呑み込まれていったと想像される。

一方、現場から4km離れた下関変電区の高速度遮断器が、電線路のインピーダンスの影響から事故電流を検出できず開放されなかった場合は、落水箇所の架線は活きたままとり地絡によるアークが持続して架線の溶断や集電装置の焼損が発生するおそれがあった。桜木町事故でも、事故現場に近い横浜変電区の高速度遮断器は即座に開放したものの、並列饋電を行う川崎変電区鶴見饋電室の遮断器が動作せず、5分間流れ続けた地絡電流が火災発生の原因となっている⁵¹⁾。結局、327列車の場合は両変電区の高速度遮断器がどのように動作しても、列車脱出の障害となった可能性がある。

実際には、下関・門司両変電区の高速度遮断器が動作したという記録は残っていない。これは、2.7節で解説した短絡消弧式饋電制

御が機能した結果とも考えられる。地絡発生の瞬間に水銀整流器のアークを消して饋電を止め1秒以内に自動的に復帰するこの饋電制御によって、パンタグラフ周辺に発生した単発的なスパークが持続放電に進展せず、架線や集電装置の焼損・溶断が回避され、同時に変電区の高速度遮断器の開放も免れたため、列車はトンネルから無事脱出できたのかも知れない。

関門の変電区が無人化された1961年、電流変化から運転電流と故障電流を弁別して地絡を高感度で検出する故障選択継電器(fault detection relay, 制御機器番号50F)と、故障時に並列饋電区間にある変電所群の全ての遮断器を開放する連絡遮断装置(interlinked breaking equipment)が導入された²⁾。現在、327列車と同じ状況が発生しても、変電所の故障選択継電器が架線地絡を検出し、連絡遮断装置が饋電用高速度遮断器を瞬時に開放するため、列車は落水箇所まで停止して救援のディーゼル機関車の出動を待つことになる。トンネルの防水対策が強化された現代では、電気機関車や電車がパンタグラフから火を吹きながら落水箇所を突破することなど、初めから想定されていないのである。

4. 終わりに

今回の報告では、関門鉄道トンネルの開通から山陽本線・鹿児島本線電化まで、下関・門司両変電所の移り変わりを解説した。また、1953年の西日本大水害の際に水没直前のトンネルから脱出した下り327列車について、新たな資料を基に電気工学の観点から脱出過程を再検討した。

地域の電力事情と電力ケーブルの敷設・撤去、輸送量の推移と饋電設備の増設・削減、水銀整流器からシリコン整流器へ連なる主変成機器の技術革新、そして軌条の電蝕を防止する様々な試みなど、変電所の電気設備の変遷は戦中戦後の時代背景と電気工学の進歩を色濃く反映している。

また、建設時の下関変電所の構造図から、自動化以前の国鉄直流変電所の機器配置と、保守管理に従事した変電区員の苦勞を知ることができた。更に、防空上の理由から戦時中に急造された彦島地下変電所については、現存する地下壕の構造を明らかにすると共に、機器の配置や受電線、饋電線、動力線の経路を推定し地下変電所の全体像を示した。

327列車については脱出事件の真相を探るため、水害当時の新聞など新たな資料を分析し、列車の運行記録や脱出過程の推定、脱出時の電气的リスク等の詳細な検討を行った。そして、機関士の機転と卓抜した運転技術に加えて、変電所の饋電制御システムが列車脱出成功の要因の一つである可能性を示した。

2007年3月18日のダイヤ改正では、幡生操車場—門司貨物ターミナル間の貨物輸送にJR貨物のEH500形交流直流電気機関車6両が投入され⁵²⁾、関門の鉄道輸送は新時代を迎えた。同機は2車体4台車8軸駆動、VVVFインバータ制御の大型機関車で、26両編成の1300tコンテナ列車を牽引している。スイッチング素子に高耐压IGBTを用いたPWM電圧形のコンバータとインバータを搭載し⁵³⁾、三相かご形誘導電動機をベクトル制御して迅速な空転再粘着制御を実現している^{54,55)}。戦前に開発された旧型直流機EF10形がシリコン整流器を搭載したEF30形交流直流機関車に主役の座を譲り、同じ

くシリコン整流器を積んだ421系交流電車山陽と北九州を結ぶ直通運転を開始した1961年と比較すると、電力用半導体と電動機制御技術の進歩には隔世の感がある。

1941年、最新型の格子付水銀整流器の導入から始まった関門トンネルの電気技術史は、物流の大動脈の維持と発展を見据えた地上設備の更新と、スピードと効率化を目指した高性能車両導入の歴史でもあった。下り線開通から65年を迎えた関門トンネルは、建設当初の面影を残す下関・門司の両変電所と共に、多くの鉄道マンの地道な努力に支えられて戦中戦後の激動の時代を生き抜き、今また新顔の機関車たちの活躍を静かに見守っている。

謝辞 新旧電気機関車の構造や特性、327列車の脱出過程について多くの助言を頂いた、本校電気工学科OBで日本貨物鉄道(株)東海支社運輸車両課担当課長 中山 昇氏に感謝致します。また、関門トンネルの電気関係および327列車関連の資料の入手に多大な御協力を頂いたレトロパーク門司港施設管理課長 藤村裕彰氏と九州鉄道記念館館長代理 宇都宮照信氏に感謝致します。

彦島地下変電所跡の地下壕に関する文書の開示にご尽力頂いた山口県土木建築部都市計画課の銭谷氏と、地下壕の内部や周辺に関する情報を提供して頂いた西末様、また新聞資料の探索に御協力頂いた北九州市立門司図書館の司書の皆様、新聞記事からの引用に関して助言を頂いた朝日新聞社知的財産センターのスタッフの方々にも感謝致します。

文 献

- 加島 篤:昭和28年西日本大水害で水没した関門鉄道トンネルについての電気工学的考察—初期の電気設備と列車脱出事件—, 北九州工業高等専門学校研究報告, 40, p.29 (2007)
- 関門トンネル電気関係25年史 門司鉄道管理局電気部 (1967)
- 「乗客八百名かくて救わる」(朝日新聞社, 1953年7月16日付西部本社版夕刊)
- 松久恒三:鹿児島本線及び山陽本線の電化工事概要, 鉄道ピクトリアルNo.119(電気車研究会・鉄道図書刊行会, 1965)
- 九州周波数統一史 九州周波数統一協議会発行(1961)
- 関門隧道 運輸省下関地方施設部編 (土木学会, 1949)
- 中国地方電気事業史 中国地方電気事業史編集委員会編 (中国電力, 1974)
- 送配電工学(改訂版) 電気学会大学講座(電気学会, 1967)
- 前川幸一郎:送配電ノート OHM文庫32(オーム社, 1953)
- 佐野清五郎:ケーブル工事の実際(改訂増補版) (オーム社, 1960)
- 奥田孝治:大容量格子制御水銀整流器の発達, 改訂 水銀整流器講習録 電気協会関東支部発行(1943)
- 富士電機社史1923-1956 富士電機製造株式会社発行(1957)
- 谷口良忠:関門時代のEF10形、鉄道ファンNo.142(交友社, 1973)
- 九州電力三十年史 九州電力株式会社発行(1982)
- 富士電機社史Ⅱ1957-1973 富士電機製造株式会社発行(1974)
- 佐藤芳彦:交流・交直流電気機関車の系譜, 鉄道ジャーナルNo.162(鉄道ジャーナル社, 1980)
- 川添雄司:交流電気車両要論, (電気車研究会, 1971)
- 杉田 肇:交流機関車発達概史, 鉄道ピクトリアルNo.222(電気車研究会・鉄道図書刊行会, 1969)
- 村上 勉:南福岡電車区, 鉄道ピクトリアルNo.119(電気車研究会・鉄道図書刊行会, 1961)
- 大塚 孝:421・423系電車 運転の歩み, 鉄道ピクトリアルNo.453(電気車研究会・鉄道図書刊行会, 1985)
- 稲田金次郎:電気鉄道 共立全書17(共立出版, 1952)
- 丹沢貞吾:関門電化と運転従事員の養成, 鉄道ピクトリアルNo.324 (電気車研究会・鉄道図書刊行会, 1976)
- 中川雅央:電気防食法の実際(地人書館, 1967)
- 藤井哲雄:初歩から学ぶ防錆の化学(工業調査会, 2001)
- 伊藤義太郎:自家用変電所の施設と保守 OHM文庫39(オーム社, 1953)
- 日本電池100年 日本電池株式会社発行(1995)
- 山岡景範:据置用蓄電池取扱の実際 改訂新版 OHM文庫6(オーム社, 1962)
- 門司機関区OB生:関門の思い出, 鉄道ファンNo.260(交友社, 1982)
- 都市内防空壕等の実態調査について, 山口県(1979)
- 続・朝鮮人強制連行調査の記録—山口編中間報告—, 山口県朝鮮人強制連行調査団発行(1995)
- 朝鮮人強制連行調査の記録—中国編—, 朝鮮人強制連行真相調査団編 (柏書房, 2001)
- 昭和28年西日本水害記録 日本国有鉄道西部総支配人発行(1954)
- 「北九州各市に濁流うず巻く 関門トンネル不通」(朝日新聞社, 1953年6月28日付西部本社版夕刊)
- 「関門トンネルはいつ開通する」(朝日新聞社, 1953年7月5日付西部本社版朝刊)
- 九州鉄道記念館企画展「関門トンネルと北九州展」(2006年10月2日～同年11月27日開催)
- 九州鉄道の記憶Ⅴ 宇都宮照信編(西日本新聞社, 2007)
- SL甲組の肖像—門司機関区—, レイルマガジンNo.285(ネコパブリッシング, 2007)
- 鶴我武雄:関門トンネル水没, 復刻版 さらば日本国有鉄道(世界文化社, 2006)
- 昭和28年西日本水害調査報告書, 土木学会西部支部発行(1957)
- 「北九州に更に惨禍 山陽本線もズタズタ」(毎日新聞社, 1953年6月28日付西部本社版夕刊)
- 時刻表(復刻版) 中国九州篇 28年6月15日改訂号 鉄道弘済会 (交通新聞社, 2003)
- 30周年を迎えた関門トンネル, 日本国有鉄道九州総局発行(1972)
- 昭和28年 北九州市大水害写真集 北九州市発行(1978)
- 国会会議録 第016回国会 衆議院運輸委員会11号(1953)
- 石川順士:関門トンネルの水没, 鉄道の闘い100年 国鉄防災100年史編纂会編(山海堂, 1972)
- 栗田松士:関門の電気機関車, 鉄道ピクトリアルNo.94(電気車研究会・鉄道図書刊行会, 1965)
- 杉田 肇:EF10・EF11・EF12・EF14形30年の動き, 鉄道ピクトリアルNo.178(電気車研究会・鉄道図書刊行会, 1965)
- 図解新形直流電気機関車(EF65形・EF64形) 国鉄電気機関車研究会 (交友社, 1965)
- 佐々木富泰, 網谷りょういち:続 事故の鉄道史(日本経済評論社, 1995)
- 橋本新助:電気機関車 岩波全書98(岩波書店, 1940)
- 国会会議録 第010回国会 行政監察特別委員会 第9号(1951)
- 関門に金太郎参上 パワフルな体軀を見せつけるEH500, 鉄道ジャーナルNo.490(鉄道ジャーナル社, 2007)
- 山本城二, 櫻井公男, 長瀬光範:近代的な物流を支える機関車及び貨物電車システム, 東芝レビュー, 61, No.9, p.15 (2006)
- 長瀬光範, 沼崎光浩:モーターシフトを支える機関車・貨物輸送システム, 東芝レビュー, 58, No.9, p.26 (2003)
- 飯田秀樹, 加我 敦:インバータ制御電車概論(電気車研究会, 2003)

(2007年10月12日 受理)