

昭和36年の国鉄鹿児島本線交流電化をめぐる電気技術史

加島 篤

History of Electrical Technology on AC Electrification of Japanese National Railways Kagoshima Line in 1961

Atsushi KAJIMA

Keywords: Japanese National Railways, AC electrification, electric rolling stock, salt damage of insulator

1. はじめに

日本国有鉄道(以下、国鉄)の鹿児島本線は、急潮流で知られる関門海峡を臨む門司港駅を起点に、響灘・玄界灘に面した九州北岸を西進した後、有明海・八代海・東シナ海に沿って中九州を南下し、錦江湾に聳える桜島を仰ぎ見る鹿児島駅まで、全長400キロの鉄道路線であった。

1961(昭和36)年6月1日、輻輳を極める北九州地区の都市間輸送を改善するため、鹿児島本線門司港―久留米間115.4キロが架線電圧20kVで交流電化された。同時に、山陽本線の小郡から門司までの直流電化区間を併用して、交直流電車による直通運転が開始された。また、客貨分離を目的とする門司―折尾間の複々線化工事の進展に合わせて、昭和37年11月以降は交流電気機関車による貨物列車の電気運転が本格化し、輸送力の増強とスピードアップが実現した。電化による列車本数の増加や快速電車の運行は通勤圏の拡大や沿線のベッドタウン化を促し、地域の社会と経済に大きな影響を与えた。

本報では、昭和30年代に鹿児島本線の電化が計画された背景や、交流電化用電気設備と新型電気車両の特徴、電気運転を支えた九州電力の電力系統、電化開業直後に沿線を襲った大規模な塩害について電気技術史の観点から解説する。

鉄道総合技術研究所や日本貨物鉄道株式会社、国立国会図書館デジタルコレクション、公益財団法人 交通協力会の電子図書館

が所蔵する鉄道関係の文献、電力会社の社史から多くの引用をさせて頂いた。文献から引用した図やデータについては、オリジナルを基本として新たな情報を加えた。

文中の「国鉄」は、戦前から国営事業として政府官庁によって経営された国有鉄道事業と、1949(昭和24)年に発足した公共企業体・日本国有鉄道の両方を表す。北九州工業地帯を形成する門司・小倉・戸畑・八幡・若松の旧5市を「北九州5市」、鹿児島本線沿線の北九州5市・福岡市・久留米市とその周辺に筑豊地方と豊前地方を加えたエリアを「北九州地区」と総称した。なお、北九州地区の国鉄路線は、昭和25年8月に発足した門司鉄道管理局(以下、門鉄局)の管轄であった。

駅間距離を表す営業キロは「キロ」と略記し、路線の勾配は[%](パーミル)で表記した。また、文脈に応じて「蒸機(蒸気機関車)」、「電機(電気機関車)」等の略語を用いた。電気工作物の固有名は、発電所を「○○PS」、電気事業用および電気鉄道用の変電所を「○○SS」と略記した。電気鉄道用の設備では、き電区分所(sectioning post)を「○○SP」、補助き電区分所(sub-sectioning post)を「○○SSP」、中央制御所(control center)を「○○CC」と表記した。石炭発熱量[kcal/kg]は、燃焼時に発生する水蒸気の蒸発潜熱を含む高位発熱量(gross calorific value)を用いた。

2. 電化計画と沿線人口

図1は、門司港―久留米間の電化を控えた1960(昭和35)年の北九州地区の国鉄旅客用路線である¹⁻³⁾。黒の破線が交流電化計画区間で、門司駅で関門隧道(関門鉄道トンネル)を含む山陽本線の既設直流電化区間(幡生―門司間)と接続している。北九州5市の南方に広がる筑豊炭田や福岡市西方の糟屋炭田には、運炭用路線として発達した鉄道網が縦横に走り、産炭地に暮らす人々の重要な交通機関となっていた。特に、若松―原田間の筑豊本線は北九州5市と鳥栖・久留米方面を接続する重要な路線で、東京―熊本間の急行「阿蘇」も筑豊本線経由で運行していた¹⁾。

昭和35年の国勢調査⁴⁾によると、山陽本線の下関から鹿児島本線の久留米までの沿線人口は、主要都市と郡部を含め約226万人であった。その内、北九州工業地帯を形成する北九州5市が93.8万人、関門海峡を挟んで隣接する下関市が24.7万人、九州経済の中心で周辺町村との合併を重ねた福岡市が64.7万人、筑後地方の中核都市でゴム産業が集積する久留米市が15.5万人で、これら8市全体の人口増加率は年率換算で2.4%と高い値を示していた。鹿児島本線の部分電化は、都市間輸送近代化の切り札であった。



図1 国鉄北九州地区の路線と電化計画(昭和35年頃、貨物線・貨物支線を除く)

3. 戦後の幹線電化計画と鹿児島本線

3.1 時代遅れの地方幹線

昭和20年代半ば、北九州地区の国鉄は車両・施設の両面で戦前の状態と大差なく、旅客列車本数の少なさとサービスの悪さから「石炭を運ぶ合間に客を取り扱っている」と揶揄されていた。表1は、昭和25年頃の列車運行状況⁵⁾、比較のため東海道本線横浜―大船の数値も示している。東海道本線の電化区間と比較すると、旅客列車本数は小倉―折尾間は30.7%、折尾―博多間は23.7%に留まっている。混雑時の本数も少なく、日中の運転間隔は1時間半～2時間もある。一方、平均乗車率は横浜―大船間を超える140%以上で、単線区間の小倉―行橋間は特に混雑が酷い。非電化区間の蒸機牽引列車であること、大量の石炭列車が行き交う貨物輸送主体の路線であることが、旅客サービスの低さの原因であった。当時、門司港―博多間(79.0キロ)の各駅停車は二時間半を要していた⁶⁾。

1942(昭和17)年7月に下関―門司間の関門隧道が開通し、本州との直通列車など交通量が急増したが、線路容量の増加対策は遅れていた。客貨分離のための門司―折尾間の複々線化や、日豊本線が分岐し大工場の専用線が集中する小倉駅の改良、博多駅の貨物取扱の吉塚・長浜両駅への移転と香椎操車場の建設も、戦争の影響で中断または未着工となっていた⁵⁾。

3.2 国鉄審議会電化委員会

1945(昭和20)年8月の終戦時、国鉄の電化区間は総計1,316キロで⁷⁾、東京・大阪周辺の通勤線や山間部の勾配線、長大トンネル区間、国会総動員法に基づく改正陸運統制令(昭和16年11月20日施行)⁸⁾によって買収された電気運転の旧私鉄路線に限られていた。戦後、上越線や奥羽本線、東海道本線の一部で電化工事が再開されたが、占領下で国鉄を管理する連合軍総司令部(GHQ/SCAP)の民間輸送局(Civil Transportation Section, CTS)は多額の投資が必要な幹線電化に慎重で、国鉄電化が民間の電力需要を圧迫することを懸念していた⁷⁾。

昭和24年1月、運輸省の国有鉄道審議会に幹線電化の具体案を検討する電化委員会が設置された⁹⁾。同委員会は同年3月1日の第6回国有鉄道審議会でも中間報告を行った。以下はその抜粋で、3,000キロの電化を仮定して効果を検討している。

①石炭資源の有効利用

3,000キロの電化により、年間400万トン(日本の石炭消費量の10%)の蒸機運転用石炭が節約できる。高品位・高カロリー鉄道の用炭は、ガス発生炉など一般産業用としても重要である。

②新鉱開発と電化

新たな炭鉱開発と出炭量の安定には約10年の期間を要し、採炭経費も年々増加している。電化の場合、初期投資としての資金

表1 国鉄北九州地区と東海道本線電化区間の列車運行状況
(昭和25年頃、乗車率は昭和25年4月調査)、「北九州電化の問題」⁵⁾より

線名	区間	旅客列車本数		混雑時 列車本数 (本/時)	日中最大 時間間隔 (分)	平均 乗車率 (%)
		下り	上り			
鹿児島	小倉―折尾(複線)	24	24	4	86	142
鹿児島	折尾―博多(複線)	18	19	2	123	146
日豊	小倉―行橋(単線)	16	16	3	131	200
東海道	横浜―大船(複々線)	78	78	10	30	134

や資材は必要であるが、完成後の経常費は低廉で長期的には蒸機運転に比べて断然有利である。

③電源

経済安定本部(経済復興計画を立案する内閣直属の機関)が策定した経済安定5カ年計画における1,575MWの電源開発案は、鉄道電化1,400キロ分の需要増を勘案している。一方、3,000キロの電化区間の電力消費量は72.5MWと見積もられ、電源開発による供給力増加分の4.6%に過ぎず、電化で節約された石炭を火力発電に転用すれば十分に賄える。直流変電所については、一部区間(東北本線青森付近、常磐線、高崎線、東海道本線米原―京都間、山陽本線広島以西)を除いて、沿線に強力な送電網が存在するため、二次送電線の増設は1,500km程度に抑えられる。

④資金

3,000キロの幹線電化に必要な資金は約807億円であるが、非電化区間に転用可能な車両や設備が97億円、電化と無関係に輸送量増強のために必要な資金が116億円あり、正味の電化用資金は594億円となる。国内での資金調達には困難で、アメリカの鉄道融資(車両債や設備債)等の民間外債の利用が必要である。よって、電気機関車や発電設備一式、保安信号設備一式を輸入し、これを担保とする社債の発行を検討中である。

ここで、①～③は石炭に関係した項目である。戦前、鉄道省では運転用燃料炭(省用炭)の標準発熱量を旅客列車用で6,500kcal/kg、貨物列車用で6,000～6,500kcal/kgと定めていた¹⁰⁾。戦後の国鉄でも、鉄道用炭の平均発熱量は6,500kcal/kgで一般燃料炭に比べ高く設定されていた¹¹⁾。しかし、主要産炭地である筑豊炭田では炭田全体の老齢化が進み、戦後は灰分が多く発熱量の低い低品位炭の割合が増加していた¹²⁾。大手炭鉱でも、ボタ等の夾雑物の増加による選炭歩留まりの低下や、深部炭層への移行による採炭コストの上昇が問題となっていた。一方、火力発電技術の進歩により、従来は山元発電所(mine-mouth power plant)の燃料であった低品位炭を活用した大容量微粉炭火力の建設が、日本各地で計画されていた¹³⁾。電化により熱効率の低い蒸機を駆逐して、鉄道用炭の節減分を産業用原料炭に回し、電気運転に必要な電力を水力発電と廉価な低品位炭を用いた高効率火力発電で供給することは、国鉄だけでなく炭鉱、電気事業者など多くの産業にメリットとなる。限りある石炭資源の品位に応じた有効利用は国鉄電化の第一の目的であり、国民経済上も最重要の課題であった。

電化委員会の動きと連動して、経済安定本部資源委員会は昭和24年3月29日に「鉄道電化に対する勧告」を行った¹⁴⁾。そこでは、我が国の石炭賦存量の少なさと未開発の包蔵水力の多さ、蒸機の熱効率の低さ等を勘案し、「石炭と電力の有機的活用」を目的とする3,400キロの幹線電化を提言している。これを受けて、電化委員会は同年5月に本州の主要幹線3,400キロの電化を実施目標(5カ年計画)とする報告書「経済再建と鉄道電化」を提出した⁷⁾。

電化委員会の中間報告では、国内での資金調達の難しさからアメリカの鉄道外債など外資の利用を検討すべきとしている。昭和24年2月に始まった財政金融引締政策(Dodge Line)による超緊縮予算のため、東海道本線の電化工事も浜松で中断していた。経済安定化本部資源委員会も、東海道本線浜松―米原間の電化工事費用(当該年度分51億円)を対日援助見返資金から拠出するよう求めて

いる⁷⁾。翌昭和25年には、見返資金から国鉄への出資金(40億円)の一部を浜松以西の電化工事資金に当てる案が検討されたが¹⁵⁾、CTSの同意が得られず見送りとなった。

外資付機械の導入例として、昭和31年3月に運開した九州電力(以下、九電)の苅田発電所1号機(出力75MW)がある。九電は電力の安定供給と自社火力技術の向上を目的に、高効率火力のモデルプラントとして米Westinghouse社(以下、WH)から再熱式火力発電設備一式の輸入を計画した¹⁶⁾。九電はWHの斡旋によって外資導入を断り、昭和28年3月に国際復興開発銀行(International Bank for Reconstruction and Development, IBRD)とドル建ての借款について合意した。IBRDは発電設備を担保に1,120万ドル(40億3,200万円)を貸与し、九電の償還能力確保のため電気料金の値上げを適宜実施するよう日本政府に要求している¹⁷⁾。

幹線電化の過程で外資付の機械・設備の輸入が断行されたとすれば、東海道新幹線に連なる日本独自の交流電化技術や国産交流電気車両の発達が阻害された可能性もある。

3.3 北九州地区の電力事情

昭和22年9月に運輸省鉄道総局が設置した鉄道電化委員会は、第1次5ヵ年計画として1,849.2キロの電化区間(東海道・山陽本線の浜松―幡生間、東北本線・高崎線の上野―高崎間、東北本線大宮―青森間、北陸本線米原―福井間、山手貨物線)を決定したが、鹿児島本線は含まれなかった¹⁸⁾。前出の運輸省国有鉄道審議会「電化委員会(昭和24年)の報告書でも、電化対象は本州の主要幹線に限られ鹿児島本線は除外されていた。

鹿児島本線が候補から外れた最大の理由は、北九州地区の電力事情にあったと考えられる。急峻な山塊と豪雪地帯が広がる信越・中部・北陸の3地方は水力資源に恵まれ、数多の水力発電所とそこから伸びる長距離送電線によって東北・関東・東海・北陸の各線区へ電力供給が可能である。一方、北部九州は豊富な石炭資源を擁する一方で急勾配の河川が無く、戦前から火力発電の比重が高い火主水従の地域であった¹⁹⁾。そのため、鹿児島本線北九州地区の電化は石炭節減の効果が十分に期待できない。昭和23年7月、専門誌「電気鉄道」主催の座談会で、日本発送電副総裁の進藤武左衛門は「九州・中国など火力地帯の電化は石炭の豊富な時代になるまで後回し」と発言している²⁰⁾。

昭和20年代半ば、鹿児島本線沿線の事業用火力(日本発送電の大門・小倉・戸畑・名島の各発電所、合計認可出力285MW)は、戦時中の酷使による設備の荒廃と戦後の炭質悪化に起因する出力低下に悩まされていた²¹⁾。昭和21年夏の渇水期以降、北九州工業地帯は深刻な電力不足に陥り、昭和22年3月の異常渇水では20日間に及ぶ電力緊急制限が実施され、頻発する停電により中小工場の大半が操業停止に追い込まれた。炭鉱負荷の軽減を目的に筑豊炭田の自家用火力群の出力を上げる自家用動員や、関門幹線(関門海峡を跨ぐ110kV送電線)による中部地方の余剰電力の緊急送電など電力危機を回避する対策が講じられた¹²⁾。火力設備の保修や増設も進められたが、当時の北九州地区では国鉄幹線の電化は非現実的であった。

更に、歴史的経緯から北九州5市と筑豊炭田の電源周波数は50Hzで、60Hz地帯である福岡方面との周波数変換機を用いた電

力融通は困難を極めていた¹²⁾。北九州工業地帯では、終戦直後から小倉PSと戸畑PSのタービン発電機の周波数切換や一部需要家の周波数変更工事が進んでいたが、昭和24年12月に九州方面の電源周波数を60Hzに統一する閣議決定がなされ、第1期九州周波数統一工事(昭和24年12月～昭和26年6月)が開始された。小倉市の住友金属工業、戸畑市の旭硝子、八幡市の小野田セメント、門司・小倉・戸畑・八幡の4市で路面電車を運行する西日本鉄道(以下、西鉄)などの大口需要家も、構内設備や鉄道変電所の周波数変更を実施した²²⁾。しかし、自家用発電所を含む大規模な電気設備を抱えた八幡製鉄所と筑豊炭田の大手炭鉱は第1期周波数統一工事に参加せず、日本発送電の電力系統は50Hzと60Hzの送電線が混在し、基幹系統変電所の多くも二重設備を抱えていた。送電線の予備線もなく、小さな事故が系統全体の停電に発展する危険性が高まっていた。北九州地区の電力系統は、供給力の不足と送変電設備の脆弱性から鹿児島本線の電化を支える余力はなかったのである。

3.4 産炭地の電化と直営炭鉱

初期の国鉄電化計画は、鉄道用炭の節減と共に石炭輸送コストの削減が目的であった²³⁾。本邦の石炭資源は北海道、本州東部(常磐炭田)、本州西部(宇部炭田)、北部九州に偏在しており、産炭地から遠い関東・東海・北陸・信越・近畿の各線区では鉄道用炭の長距離輸送が必要で、水力発電による幹線電化の効果が大きい。一方、筑豊や三池など日本有数の産炭地を通る鹿児島本線は、鉄道用炭の調達も容易で、電化が喫緊の課題とはならなかった。

戦後、福岡市近郊の糟屋炭田では国鉄唯一の直営炭鉱・志免炭業所(旧海軍第四燃料廠、昭和20年12月に運輸省に移管)が稼働していた²⁴⁾。写真1は志免炭業所の象徴であった巨大な堅坑槽(地上高54m)で、1,000HPのKoepe式捲揚機を備え昭和24年2月に運転を開始している。同炭業所は産出量(昭和24年度は34.5万トン)の大半を国鉄に納入しており、高品位の志免炭(昭和24年のデータでは塊炭6,200kcal/kg、洗中塊炭6,000kcal/kg、洗粉炭6,200kcal/kg)は九州各地の機関区に配給され、残部は戸畑や宇美線の西戸崎から本州向けに海上輸送されていた。戦後の不安定な燃料事情の下で、国鉄が燃料の自家生産を行う意義は大きかった。志免炭業所は、明治以来の採掘と戦時中の濫掘で枯渇した上部炭層に代わる深部炭層の開発に着手し、昭和21年から堅坑槽直下の坑道整備を開始した。その後も、運炭・通気用の堅坑や斜坑の開鑿、老朽化した機械設備の更新、受発電設備の増設等を進め、昭和28年まで巨額の設備投資を継続している。鉄道用炭の安定供給を目的とする直営炭鉱の存在が、鹿児島本線の電化先送りの一因となった可能性もある。

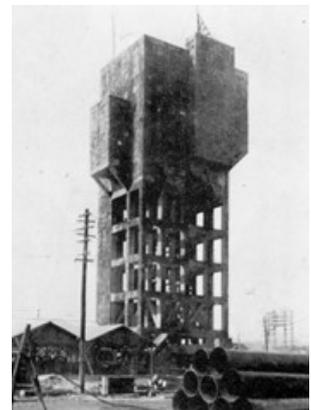


写真1 志免炭業所堅坑槽
(「志免炭業所十年史」より)

3.5 北九州を席卷する西日本鉄道

鹿児島本線の並走交通機関として西鉄の電車路線があった。写真2は、西鉄の前身・九州電気軌道が1911年(明治44年)6月に運転を開始した門司―八幡間の電車である²⁵⁾。昭和24年当時、国鉄の門司港―折尾間は西鉄北九州本線(門司―折尾)、福岡―博多間は西鉄宮地岳線(宮地岳―新博多)、博多―大牟田間は西鉄大牟田線(福岡―大牟田)と競合していた⁵⁾。西鉄北九州本線は路面電車であったが、他の2路線は専用軌道で高速走行が可能であった。表2は、昭和24年1月の調査による鹿児島本線と西鉄の1日当たりの輸送人員を示している(調査主体は不明)⁵⁾。何れの区間においても西鉄電車が国鉄を圧倒している。特に門司港―折尾間は西鉄の利用者が98%を超え、国鉄が“地域の足”として全く機能していないことを示している。当時、筑豊からの旅客の約7割が北九州5市向けであったが、筑豊本線から八幡・小倉方面への直通列車は少なく、折尾駅での乗換の不便さと接続の悪さから、6割以上が折尾で下車し西鉄電車を利用していた⁶⁾。

若松市を除く北九州4市(門司・小倉・戸畑・八幡)における西鉄の強みは、路面電車(北九州本線、戸畑支線、枝光支線、北方線)に加えて、強力なバス交通網を有することであった(若松市域は若松市営バスが運行)。昭和27年当時、西鉄北九州自動車営業所は447キロに及ぶバス路線を管轄し、保有する196両のバスで1,296万人(同年上期)の乗客を運んでいた²⁶⁾。

3.6 筑豊電気鉄道の衝撃

1949(昭和24)年12月27日、西鉄は関連会社・筑豊電気鉄道(以下、筑豊電鉄)の名義で、八幡市黒崎を起点に筑豊地区を經由して糟屋郡篠栗町から福岡市新堀町に至る新路線(59.2キロ)の鉄道敷設免許を運輸省に申請した^{27,28)}。北九州4市と福岡市を連絡し、これら2都市と傾斜経済政策による石炭増産で人口が急増する筑豊とを直結することが目的であった(昭和25年12月23日、地方鉄道敷設免許取得²⁹⁾)。更に西鉄では、西鉄大牟田線の雑餉隈から博多まで新線を建設し、国鉄博多駅付近で筑豊電鉄と大牟田線を接続する壮大なインターアーバン構想を持っていた²⁸⁾。本計画が実現し



写真2 九州電気軌道砂津車庫(明治45年)

表2 国鉄と西鉄の並走区間における輸送人員(1日平均)
(昭和24年1月調査、「北九州電車化の問題」より)

区 間	国 鉄		西日本鉄道	
	輸送人員 (人)	割合 (%)	輸送人員 (人)	割合 (%)
門司港―折尾	6,106	1.9	323,578	98.1
福岡―博多	5,716	25.2	16,993	74.8
博多―大牟田	44,077	29.9	103,343	70.1

北九州4市から筑豊、福岡市、久留米・大牟田方面へのアクセスが容易になれば、国鉄の旅客輸送は壊滅状態に陥ってしまう。

筑豊電鉄の申請を受けて、危機感を抱いた運輸省は国鉄に対し北九州地区の路線改良案の提示を求めた⁵⁾。これが、鹿児島本線の電化計画が浮上する契機となった^{5,28)}。昭和25年、国鉄は早急に電化を実施する線区として東海道本線の浜松―米原間、東海道・山陽本線の米原―姫路間など7線区を選定した³⁰⁾。その中に鹿児島本線門司―折尾間25.6キロの電化が含まれており、電車化の所要資金は施設費4億350万円、車両費1億8,250万円と試算された。電化距離が短く、蒸機牽引列車の電機牽引への全面的な移行は想定していない。これは、北九州4市における西鉄の寡占状態に対抗するため、電車化による輸送時間の短縮と頻繁運転(frequent service)を目的とする限定的な電化計画と考えられる。

4. 鹿児島本線の電化計画

4.1 直流電化による輸送力強化

昭和27年頃、門鉄局は北九州地区の電化計画案を国鉄本社に提出した。その概要を以下に示す³¹⁾。

1) 電化区間

鹿児島本線門司港―久留米間115.4キロ、筑豊本線若松―原田間66.1キロ、日豊本線小倉―行橋間24.3キロの3区間

2) 列車運転系統

旅客列車は、鹿児島本線門司港―鳥栖間を電気運転とし、本州直通を原則とする。普通列車も主要駅のみ停車する。筑豊本線は、急行列車のみ電気運転とする。貨物列車は、門司―鳥栖間と折尾―直方間を電気運転とする。

3) 電車

鹿児島本線は門司港―久留米間を直通とし、小倉―八幡間の複々線完成後は一部を小倉―博多間直通とする。筑豊本線は門司港―飯塚間、若松―原田間を直通とする。日豊本線は門司港―行橋間を直通、一部は小倉―行橋間を直通とする。

4) 電車の運転時隔

ラッシュ時は門司港―折尾間を5分ヘッドとし、他は混雑時で15分、閑散時で30分とする。

5) 電車編成

鹿児島本線は基本編成3両でラッシュ時は4または5両、筑豊本線は基本編成3両でラッシュ時は4または5両、日豊本線は基本編成3両でラッシュ時は4両とする。

本計画は、鹿児島本線門司―折尾間の複々線化、小倉―八幡・博多各駅と周辺の改良、日豊本線小倉―行橋間の複々線化による線路容量増が前提条件で、総工費117億円と試算している。また、電化完成後の最大消費電力を8.1～11.6MWとし、九電の電源開発計画(昭和27～34年度に1,142MWの出力増)から十分に供給可能と判断している。

電化計画では、鹿児島本線の門司港―鳥栖間で電機牽引の旅客列車の運行を想定している。当時は、九州内の幹線電化も直流が前提で、直流電機が牽引する本州直通の長距離列車は機関車交換なして関門隧道を通過し、鹿児島本線と長崎本線が分岐する鳥栖で蒸機と交換する計画であったと考えられる。一方の電車は、複々線区間の門司港―久留米間でのフリークエントサービスを実現す

るもので、関門海峡を越える運転は想定していない。

門鉄局は、電化計画とは別に篠栗線を延伸し、筑豊本線の桂川に至る新線を計画していた³¹⁾。福岡市と筑豊の中心・飯塚市を直接接続する本案は、筑豊電鉄の敷設計画への対抗措置であった。一方、単線で貨客輻輳による混雑が深刻な日豊本線に対し、西鉄は豊州鉄道(小倉-行橋間全長21.7キロの電気鉄道)の敷設を計画していた²⁸⁾。よって、日豊本線小倉-行橋間の複線電化計画も、西鉄の目論見を阻止する狙いがあったと考えられる。

昭和27年版の交通年鑑³²⁾では、国鉄が電化計画中の6線区に東海道・山陽本線の米原-姫路間198.4キロと共に、鹿児島本線の門司港-久留米間115.4キロが含まれている。門鉄局の電化計画案を部分的に採用した案で、先の門司-折尾間の電車化案より前進し、電機牽引列車の運転も想定している。

一方、当時の幹線電化計画には山陽本線の姫路-幡生間は含まれていない。背景には、中国地方の電力事情がある³¹⁾。中国地方は北部九州と同様に水力資源に恵まれず、宇部炭田など石炭資源も西端部に偏在している。岡山・広島・山口の3大需要地毎に水力と火力の電源を有しているが³³⁾、戦後は水力発電所の建設や火力発電所の増設が遅れ、昭和30年前後まで供給力不足の状態が続いていた^{34,35)}。よって、中国電力による電源開発の進展と超高圧送電網の整備が、山陽本線全線電化の前提条件であった。

4. 2 電気式ディーゼル動車の投入

1953(昭和28)年4月、鹿児島本線の旧態依然とした輸送状況を改善するため、電気式ディーゼル動車(5編成15両)が吉塚機関区竹下支区に配置された³⁶⁾。将来の電車化を踏まえた措置で、同年5月1日から門司港-久留米間で運転を始めた³⁷⁾。煤けた蒸機牽引列車しか知らない沿線住民は、スマートな車体で軽快な走りを見せるディーゼル・エレクトリック・カーを歓呼の声で迎えたという。新型列車は、片側運転台のキハ44100形2両で便所付の中間車キハ44200形1両を前後から夾む3両1編成で、最大6両で運用された³⁸⁾。

表3に両形式の車両諸元を示す^{38,39)}。ディーゼル機関(以下、機関)に直結した主発電機の出力で、動力台車の台車枠に固定した2基の主電動機を駆動する。Gebus式は電気式ディーゼル動車用に開発された簡易型自動制御方式で^{40,41)}、直流発電機の励磁に分巻界磁と蓄電池による他励界磁を併用し、出力電圧が負荷電流に反比例する特性を持たせている⁴²⁾。その結果、広範囲な負荷変動に対して機関出力をほぼ一定に保つことができる。列車速度の調整は、機関出力の加減と主電動機の界磁制御で行う。また、機関の起動時は、蓄電池を電源に主発電機を直巻電動機として使用する。駆動方式は直角カルダン駆動(right angle Cardan drive)で³⁹⁾、車体後部の動力台車に固定された主電動機は、両端に自在軸継手を有するプロペラ軸と減速歯車を介して車軸を駆動する。電磁式・電空式制御器の採用により、運転台の主幹制御器から機関の起動・停止、前進・後進、列車速度の調節など統括制御が可能である。

写真3は、昭和28年7月3日に鹿児島本線折尾-遠賀川間の遠賀川橋梁下り線を通過する気動車列車である⁴³⁾。6月末の西日本大水害では、遠賀川上流の堤防決壊により遠賀川駅付近の上下線が2.3kmに亘って水没し駅舎にも浸水した⁴⁴⁾。写真は、応急の路盤補強工事が完了し、試運転列車(水害で門司港に抑留されていたキ

表3 キハ44100形・キハ44200形の車両諸元

車両	最大長20.0m 最大幅2.6m 最大高35.5m 自重33.5t 定員120名(キハ44100), 124名(キハ44200)		
台車形式	DT18(動力台車), DT18A(付随台車)		
ディーゼル機関	形式DMH17A 直列立形水冷 4サイクル8気筒 渦流燃焼室式 排気量16.98ℓ 圧縮比16 標準出力150HP 標準回転数1,500rpm 重量1,400kg 個数1		
主発電機	形式DM42(直流他励分巻補極付, 密閉自己通風型) 出力100kW* 電圧300V* 電流333A* 回転数1,500rpm* 重量1,000kg 個数1		
主電動機	形式MT45(直流直巻補極付, 密閉自己通風型) 連続定格:出力45kW 電圧300V 電流167A 回転数1,650rpm 重量550kg 個数2		
制御方式	Gebus式		
駆動方式	2段減速・直角カルダン駆動方式 歯数比1:5.3		
引張力	2,200kg	最高運転速度	90km/h
車両所	日立製作所、川崎車輛、帝國車輛工業		



写真3 鹿児島本線遠賀川橋梁を渡るキハ44100形気動車 (昭和28年7月3日付 毎日新聞西部夕刊より)

ハ44103・44204・44106の1編成⁴⁴⁾を迎えた際の1コマである。

華々しく登場した電気式ディーゼル動車であったが、導入当初からディーゼル機関の不調に悩まされていた⁴⁵⁾。車両価格が高い上に車体が重く、動力伝達効率も旧来の歯車変速式ディーゼル動車にも劣り、燃費も低かった⁴⁶⁾。発電機など電気機器の故障も多発し、複雑な構造から点検や修理が難しく保守経費が高んでいた。その結果、キハ44100・44200形気動車の増備は行われず、流体変速機(hydraulic torque converter)を搭載する液圧式ディーゼル動車の登場により、本形式は活躍の場を失っていった。

4. 3 昭和20年代末期の旅客輸送

表4は、昭和28年6月改正の時刻表⁴⁷⁾を元に作成した鹿児島本線小倉-博多間の旅客列車運行本数と平均所要時間である。特急・急行・準急の優等列車は全て蒸機牽引である。沿線住民の足となる普通列車は上下合わせて42本で、内24本は門司港-鹿児島間や京都-鹿児島間などの長距離列車である。残り18本が門司港-博

表4 小倉-博多間の旅客列車数と平均所要時間(昭和28年6月)

列車種別	特急	急行	準急	快速	各駅停車	
蒸機牽引列車	下り	1[72]	6[77]	2[85]	3(2)[90]	11(9)[120]
	上り	1[72]	6[76]	2[84]	1[81]	13(13)[114]
気動車	下り	—	—	—	5[83]	2[98]
	上り	—	—	—	4[85]	3[98]

[]内は小倉-博多間(特急は門司-博多間)の所要時間(分)
()内は長距離普通列車

多間または門司港—久留米間の近距離列車で、内14本がキハ44100・44200形気動車である。小倉—博多間の各駅停車の所要時間(上下列車の平均)は蒸機牽引列車が117分、気動車が98分で、気動車投入による時短効果が際立っている。保守や運用面で多くの問題を抱えた電気式ディーゼル動車であったが、電車化の布石として都市間輸送の改善に大きな役割を果たしたことが分かる。

4.4 国鉄電化調査委員会

東海道本線全線電化を翌年に控えた昭和30年9月26日、国鉄電化に伴う諸問題を整理して幹線電化の進め方を検討する日本国有鉄道電化調査委員会が発足し、同年11月29日に「主要幹線3,300キロの電化を早急に実施すべき」とする報告書を、十河信二国鉄総裁に提出した⁷⁾。報告書では、昭和32年度から5か年を第1期計画として現行の電化計画の拡張分とこれに準ずる線区を加えた1,670キロを電化し、その後約5か年の第2期計画で残り1,620キロの電化を実施するとされた。第1期計画には、山陽本線の西明石—幡生間と鹿児島本線の門司港—鳥栖間が含まれていた⁴⁸⁾。門司港—鳥栖間108.3キロの電化に要する資金は、工事費33億2,500万円、関連施設費1億4,200万円、電気機関車費29億6,500万円(49両)と試算された。電気運転による蒸機牽引列車の廃止が前提で、電車の購入費は計上されていない。その結果、操車場と機関区を有し機関車交換に適した鳥栖が、電化区間の終端に選定されたと考えられる。

第1期電化5か年計画に鹿児島本線門司港—鳥栖間が含まれるとの新聞報道は地元住民を熱狂させ、「いつ着工するのか。何年くらいで完成するのか。電車は湘南形か」と早期電化を望む声が次第に高まっていった⁴⁹⁾。

4.5 交流電化調査委員会

1953(昭和28)年8月に発足した国鉄交流電化調査委員会は、電化設備費が低廉な商用周波数での交流電化の実用化を検討した⁷⁾。直流電化に比べトロリー線の断面積が小さく、送電損失が低いため変電所間隔が長いことが利点であった。昭和30年8月10日に仙山線で開始された試験運転では、直流電機に対する交流電機の優位性が確認された⁵⁰⁾。水銀整流器で直流主電動機を位相制御する間接式交流電機が、勾配起動での過負荷耐力と再粘着性能の高さを実証したのである。昭和31年5月、同委員会は「今後の電化は商用周波数による単相交流方式を採用すべき」とする報告を行った。

同年8月、国鉄電気局は幹線の直流電化区間を東北本線黒磯から山陽本線岡山の区間に留め、他は工事費の低廉な交流電化方式で推進する主要工事5か年計画を策定した⁵¹⁾。それは、山陽本線の電化区間を昭和33年度に岡山、35年度に広島、36年度に終点門司まで延伸し、関門隧道を含む幡生—門司間も交流に改修する計画であった。一方、鹿児島本線門司港—鳥栖間の交流電化は35年度に着工し、36年度の完成予定とされた。なお、交直接続は、機関車交換の際に信号所の構内で架線電圧を切り換える地上切換方式と、無加圧区間(dead section)を設置して専用の交直流電機を走行させる車上切換方式の何れかを採用することになった。

4.6 交直接続問題

交流電化調査委員会による山陽本線岡山以西の交流電化案に

対し、輸送量の多い幹線の途中に交直分界点を設置することを疑問視する声が国鉄内部から起こった。昭和33年4月、国鉄技師長室を中心に山陽・鹿児島本線の電化問題を扱う研究委員会が発足した⁵²⁾。同委員会における検討の推移を以下に示す。

- 1) 地上切換方式は全列車の一旦停止が必要で、大きな駅の構内では実施不可能である。よって、輸送量の少ない地点に切換用信号所を新設するが、切換作業は煩雑で保安設備も直流・交流用の二重設備となる。
- 2) 車上切換方式の場合は、岡山付近にデッドセクションを設け、直流区間で部分出力を持つ交直流機で岡山—広島間をリレーする。しかし、広島では全列車の交流電機への交換が必要で、機関車総数が増加する。一方、岡山—鳥栖間を交直流機で牽引すれば機関車総数は削減されるが、高価な交直流機が多数必要となる。
- 3) 山陽本線のような長大幹線の途中に交直分界点を設けることは、機関車のロングラン運用を妨げ非効率である。
- 4) 山陽本線を全線直流電化し、門司駅構内に交直分界点を設けて門司—鳥栖間を交流電化する。関門連絡用の特殊機関車を開発し、旅客は下関—門司間、貨物は幡生操車場—門司操車場間で折り返し運転を行う。現在、全旅客列車が機関車交換のため下関と門司に停車しており、本案による停車回数の増加はない。貨物列車も幡生と門司の操車場で分解・編成作業を行うため、機関車交換による運用上のロスはない。
- 5) 東海道本線など既設直流電化区間では、旅客列車の電車化が逐次進行し旅客用直流電機が余剰となる。これを直流電化後の山陽本線に転用すれば、直流電機の新製は不要になる。
- 6) 交流電化を門司港—鳥栖間に留めた場合、直流電化に対する優位性を十分に発揮できない。一方、火力発電技術の進歩により九州では高効率火力の建設計画が進行している。電力事情の改善によって、今後鹿児島・長崎・日豊の各線区が全線電化される可能性があり、将来的には九州内を交流電化するメリットは大きい。
- 7) 関門隧道用の特殊機関車として、交流区間で部分出力を有する交直流機を新たに開発する。また、交直分界点を直通運転する交直流電車を新製する。但し、通常の直流電車と比べ相当高価になる。
- 8) 関門隧道の一部に交流電化の建築限界(高さ)を下回る箇所が発見された。海水が漏洩する隧道内で十分な絶縁距離が確保できず、交流への改修は困難である。

研究委員会での検討を受けて、昭和33年7月22日の国鉄理事会は「山陽本線を直流、九州内を交流で電化し、門司を交直分界点とする」旨の議決を行った⁵²⁾。交直接続方式の詳細を以下に示す。

- ① 関門間専用の交直流電機(客貨両用)を用い、旅客列車は下関で直流電機と、門司で交流電機と交換する。貨物列車は、幡生・門司の両操車場で交換する。
- ② 関門間を通過する電車は交直流電車とする。
- ③ 車上切換方式を採用し、門司駅構内の関門隧道出口寄りに約50mのデッドセクションを設ける。

国鉄理事会は、山陽・鹿児島本線の電化方式に加えて各線区の電化完成予定を公表した⁵²⁾。姫路—岡山間88.6キロが昭和35年10月、岡山—下関間363.6キロが昭和38年4月、門司港—久留米間が昭和

36年3月であった⁵³⁾。山陽本線は、長大幹線で岡山・広島両駅の大規模な改修が必要のため、電化完成時期が遅くなっている。

電化方式の成案を得るまでに多くの紆余曲折があり、地道な技術的・経済的検討が重ねられたことが分かる。皮肉にも門司での交直接続を決定づけた最大の要因は、戦時中の資材不足の中、突貫工事で完成した関門隧道の建築限界であった。また、国鉄本社の従来の電化計画では鹿児島本線の電車運転について明確な方針は無かったが、最終案では交直流電車によって下関方面まで直通列車を通すことが決定され、関門海峡を横断する都市間輸送の高速化が実現することになった。また、鹿児島本線の電化計画区間も門司港－鳥栖間から複線区間の終点である久留米まで7.1キロ延長され⁵³⁾、気動車による門司港－久留米間の近距離普通列車の電車化を目指した門鉄局案を、国鉄本社が追認する形となった。

4.7 電化利用債

昭和32年1月に国鉄西部支社長に就任した井上正忠は、門司港－久留米間の早期電化を国鉄本社に訴えた²⁾。この時井上が持参した手土産が、地元企業による総額10億円の利用債引受であった。利用債は鉄道施設の利用者ないし受益者を引受人とする非公募鉄道債券で、昭和29年度に発行が始まった⁴⁸⁾。国鉄西部支社と福岡県の斡旋により、不仲で知られていた北九州と福岡の経済界が結束し、地上設備費の1/4に相当する巨額の電化利用債引受を決定した^{54,55)}。その結果、山陽本線の全線電化を待たずに、鹿児島本線の飛び地電化が実現する運びとなった。

表5は、昭和33年9月に発行が決定した門司港－久留米間の電化利用債10億円(昭和33年度6億円、昭和34年度4億円)の引受状況である^{54,56)}。福岡市に本店を置く九電は、利用債全体の45%を単独で負担している。新鋭火力を中心に電源開発を推進する九電にとって、国鉄電化は新たな大口需要家を獲得する好機であった。西部瓦斯は、1943(昭和18年)に福岡・長崎・佐世保・熊本の各市でガス供給事業を行う旧西部瓦斯と、北九州5市及び長崎県島原町を供給エリアとする九州瓦斯の合併で誕生した⁵⁷⁾。北九州と福岡の両方に製造供給の拠点を持つ有力企業として、双方の経済界から利用債引受の要請を受けたと推察される。

製造業では、北九州4市に製造拠点を持つ8社が全体の39%を負担している。内訳は製鉄業2社、窯業(ガラス・セメント)4社、化学工業1社、電気機器製造1社である。電化区間の終端・久留米市では、

表5 門司港－久留米間電化の利用債引受状況(昭和33・34年度)
(単位:百万円)

企業名	供給区域	引受額	企業名	工場所在地	引受額
九州電力	九州全域	450	ブリジストン タイヤ	久留米市	30
西部瓦斯	北九州5市 福岡市他	15	日本ゴム	〃	7.5
			日華ゴム	〃	7.5
企業名	工場所在地	引受額	その他		引受額
八幡製鐵	戸畑市 八幡市	225	福岡市内6社		24
住友金属工業	小倉市	30	門司市内5社		17
旭硝子	戸畑市	30	小倉市内4社		17
三菱化成	八幡市	30	戸畑市内3社		17
安川電機	〃	30	八幡市内2社		13
日本セメント	門司市	15	若松市(日本板硝子)		10
磐城セメント	小倉市	15	古賀町		2
小野田セメント	八幡市	15			

地場産業のゴム加工業(日華ゴムは後の月星ゴム)が引受先となっている。中でも地域最大の企業である八幡製鐵の引受額は、全体の22.5%に達している。同社は、鉄道用軌条の製造で高いシェアを持ち、筑豊炭田からの原料炭・燃料炭の搬入や鉄鋼製品の出荷で国鉄の貨物輸送への依存度も高い。昭和20年代後半に、八幡製鐵所西通用門に近い西八幡貨物駅が仮乗降場^{注1)}となるなど、両者の関係は深かった。昭和32年、増大する鉄鋼需要に対応するため、八幡製鐵は戸畑地区の埋立地に新鋭銑鋼一貫製鐵所の建設を開始した。従業員数も増加傾向にあり(昭和32年度33.5千人、昭和38年度43.7千人)⁶⁰⁾、通勤状況の改善が課題となっていた。

九電の石炭火力や西部瓦斯のガス製造所(当時の都市ガスは石炭ガスが中心)にも、最寄駅から運炭用の専用線が伸びていた。鹿児島本線沿線の製造工場の多くも専用線を有し、原材料や製品の鉄道輸送が行われていた⁶¹⁾。国鉄との関係の深さから、利用債引受に応じた企業も多かったと推測される。また、八幡製鐵所と同様に、電車運転による従業員の通勤状況の改善や、通勤圏の拡大による地域経済の活性化とそれによる企業収益の増加への期待もあったと考えられる。

自治体では、北九州の若松市と福岡市に近い古賀町が利用債引受に応じている。若松市は鹿児島本線沿線ではないが、若松港は国内最大の石炭積出港で、筑豊炭田からの石炭列車が間断なく到着していた。若松駅周辺に若松機関区が配置され、操車場には若松市営軌道の貨物列車が乗り入れるなど国鉄との関係が深かった。また、筑豊本線の折尾や若戸渡船が発着する戸畑で鹿児島本線に乗り換える若松市民にとって、電化は利便性の向上につながる。実際は、市内で操業する日本板硝子が引受用の資金を提供した(同社の二島工場にも、筑豊本線二島駅から専用線が伸びていた)。鹿児島本線沿線の古賀町も、電車運転による利便性向上への期待が大きかったと考えられる。古賀駅からは鉄道機械信号機や分岐器を製造する峰製作所を始め岡部鉄工所、高千穂製紙、ニビシ醤油の各工場に専用線が延びており⁶¹⁾、各社の協力によって古賀町の利用債引受が実現した可能性がある。

4.8 山陽本線小郡－下関間の電化計画

鹿児島本線の電化計画に呼応して、関門海峡を挟んで隣接する山口県でも山陽本線の早期電化を望む声が高まった。その後、小郡－下関間の電化を目的に地元企業や自治体による総額6億円(昭和33年度3億円、昭和34年度2億円、昭和34年度1億円)の利用債引受が決定し、昭和33年12月23日の国鉄理事会で山陽本線小郡－下関間68.9キロの先行電化が承認された⁵⁶⁾。電化利用債の引受状況を表6に示す。北九州地区と同様に電力会社による引受額が大きく、全体の37.5%を中国電力が負担している。製造業では、瀬戸内工業地域を構成する宇部・小野田地区の2社と下関地区の4社が名を連ねている。また、日本有数の水揚げを誇る下関漁港を背景に、水産業(大洋漁業)と食料品製造業(林兼産業)の2社も加わっている。各企業の工場や漁港には専用線が引かれ、国鉄の貨物輸送への依存度が高い。特徴的なことは、中小企業による引受額(全体の21.4%)の大きさと、自治体や事業者団体の協力である。一

注1) 昭和26年3月に仮乗降場となり、八幡駅の移転改築(旧駅より約1km西に移動)後の昭和30年10月に旅客扱いを廃止している^{58,59)}。

表6 小郡一ノ下関間電化の利用債引受状況(昭和33・34・35年度)
(単位:百万円)

企業名	供給区域	引受額
中国電力	中国全域	225

企業名	工場所在地	引受額	その他	引受額
宇部興産	宇部市	56	他34社	128.5
小野田セメント	小野田市	18	岩国商工会議所	15
大洋漁業	下関市	27	山口信用農業組合連合会	15
林兼産業	〃	10	山口県庁	10
三菱造船	〃	11	下関市	26
神戸製鋼	〃	11	宇部市	15
三井金属工業	〃	11	山陽町	10.5
東洋高圧	〃	11		

表7 鹿児島本線北九州地区電化の年表

年	月日	鹿児島本線電化および関連事項
1950(昭25)		国鉄、門司一折尾間を含む7線区の電化計画を発表
1952(昭27)		門司鉄道管理局、門司港一久留米間を含む北九州地区の電化計画案を作成
		国鉄、門司港一久留米間を電化計画路線に指定
1955(昭30)	11.29	国鉄鉄道電化委員会、門司港一鳥栖間を含む第1期5ヵ年計画を策定
1956(昭31)	8.-	国鉄交流電化調査会、門司港一鳥栖間の交流電化を含む主要工事5ヵ年計画を策定
1958(昭33)	7.22	国鉄理事会、門司港一久留米間の交流電化と門司での交直接続を議決(完成予定は昭和36年3月)
	9.-	門司港一久留米間電化利用債10億円の地元引受決定
	9.2	国鉄理事会、門司港一久留米間115.4キロの電化を決議
	9.5	門司港一久留米間電化、運輸大臣認可
	9.10	門司電気工事局開設
	9.12	門司港一久留米間電化起工式挙行
	11.30	旧小倉駅構内で鉄入式挙行
	12.9	旧小倉駅構内に電車線の電柱第1号を設置
1959(昭34)	1.12	城山隧道(上り線用)掘鑿工事開始
	6.22	試作交流電車(クモヤ791形)の展示会開催
1960(昭35)	6.30	城山隧道竣工
	10.16	雑餉隈一久留米間電化工事完了、通電開始
	11.10	南福岡電車区開設
1961(昭36)	12.23	クモヤ791形電車、雑餉隈一久留米間で試験運転
	12.31	421系電車先行試作車、南福岡電車区に配置
	1.6	421系電車、雑餉隈一久留米間で練習運転開始
	3.10	門司港電気制御所開設
	4.4	門司港一雑餉隈間電化工事完了(ホーム打上を除く)
	4.5	クモヤ791形電車、門司港一雑餉隈間で試験運転
	4.13	421系電車、自力走行で関門隧道通過
	4.15	421系電車、門司港一久留米間で練習運転開始
	4.17	EF30形1号機門司機関区到着(8月12日使用開始)
	4.20	山陽本線小郡一ノ下関間の電気運転開始
1962(昭37)	6.1	門司港一久留米間電化開通式、山陽本線小郡一ノ下関間開通式、421系電車営業運転開始
	7.4	運輸省、久留米一荒木間の電化計画承認
	8.6	ED72型1号機門司機関区到着、南福岡電車区に仮配置
	8.11	EF10形の本州転属開始(10月1日転属完了)
	9.16	第2室台風による塩害で9月18日まで電車運転停止
	1.16	久留米一荒木間電化工事完成、通電開始
	1.18	久留米一荒木間で電車練習運転開始
	2.15	久留米一荒木間電気運転開始
3.5	門司機関区EL用設備完成、南福岡電車区の間借り終了	
4.7	ED72形量産機配置、5月3日から単独運転開始	
6.20	門司一鳥栖間でED72形による貨物1,200t牽引試験開始	
11.8	ED73形1号機門司機関区到着	

方、表5で示した北九州地区の電化利用債では、大手企業による引受額が全体の88.5%を占めており、福岡県や古賀町以外の沿線自治体の引受はなかった。

山陽本線小郡一ノ下関間は、鹿児島本線北九州地区と同じ昭和36年6月1日に電化された。しかし、広島一小郡間の電化完成は3年後の昭和39年10月1日で、広島以西での貨物列車の電機牽引開始は

更に1年後の昭和40年6月1日であった⁶²⁾。つまり、小郡以西の電化前倒しは、60Hz用交直流電車の直通運転による関門海峡を挟む都市間輸送の大幅なスピードアップが目的であった。

5. 電化工事と電力系統

5.1 門司電気工事局と電化推進委員会

鹿児島本線北九州地区電化に関する年表を表7に示す^{56,63-65)}。1958(昭和33)年9月10日、関門国道トンネル人道口(門司側)に近い門司市和布刈の門司ロープウェイステーションビル内に、門司電気工事局が開設された⁶⁶⁾。鹿児島本線北九州地区の電化工事を担当する同局は東京、大阪に続く第3の国鉄電気工事局で、その後中国・九州地方の幹線電化工事や山陽新幹線の電気工事を担うことになる。翌9月11日、門司港一久留米間の電化設備工事の支出承認書(総工事費39.7億円)が決済され⁵⁶⁾、12日には門司市体育館において鹿児島本線電化起工式が挙行された⁶⁷⁾。

北九州地区電化の特徴は、電化工事と輸送力改善用の設備改良工事、新型車両の導入が同時進行で行われた点にある。表8に、昭和30~41年に実施された主な設備改良工事を示す^{56,58,65,68,69)}。複々線化など改良工事との競合で電化設備の設計が遅れ、電化後に実施する新旧博多駅の切替のため周辺の電化設備が仮工事となるなど、随所に問題が生じた。跨線橋や跨線テルハ(telpher, 手荷物車用搬送設備)の嵩上げも難航し、博多駅では跨線橋の底部に接するトローリー線に樫の木を挿入し、応急のデッドセクションを設けたという^{70,71)}。交直接続点の門司駅でも、関門隧道専用電機を直流機(EF10形)から交直流機(EF30形)に段階的に置き換えるため、駅構内のデッドセクションの仮設と移設が必要であった²⁾。海老津一赤間間の城山隧道(明治42年竣工 複線式煉瓦造 延長694m)は、断面が狭小で交流電車線の架設が困難なため、旧隧道を下り線専用とし新たに上り線用隧道(延長728m)が掘鑿された^{72,73)}。写真4は工事中の城山隧道(上り線用)で⁶³⁾、右手に旧隧道が見える。

北九州地区の電化に関する諸問題を検討するため、国鉄西部支社は石井西部支社長を委員長とする電化推進委員会を設置し⁵⁶⁾、西部支社、門鉄局、門司電気工事局の幹部による検討が重ねられ

表8 鹿児島本線北九州地区の設備改良工事(昭和30~41年)

年	月日	工事内容
1955(昭30)	7.22	東小倉(貨)一小倉間複々線化
	8.1	八幡駅移転
1956(昭31)	3.30	門司一東小倉(貨)間複々線化
1958(昭33)	3.1	小倉駅移転
1960(昭35)	9.1	城山隧道(上り線用)使用開始
	4.13	門司港一久留米間電気運転開始
1961(昭36)	5.1	東折尾駅(貨)開業
	9.24	久留米一荒木間複々線化
	10.1	水巻駅、白木原駅開業
	10.27	八幡一黒崎間複々線化
1962(昭37)	2.15	久留米一荒木間電気運転開始
1963(昭38)	12.1	吉塚一竹下間経路変更 博多駅移転
1965(昭40)	10.1	東小倉(貨)一小倉間三複線化
	11.9	遠賀川橋梁改築(上下線使用開始)
1966(昭41)	8.20	小倉一上戸畑(信)間複々線化
	10.1	上戸畑(信)一八幡間複々線化 牧山隧道使用開始、枝光駅移転

(貨):貨物駅, (信):信号場



写真4 城山隧道(上り線用)新設工事
(日本国有鉄道西部支社発行「九州電化」より)

た(第1回会合は昭和34年6月5日)。同委員会では、駅構内が狭隘で電車留置線が確保できない久留米に代えて、貨物用構内側線の転用が可能な荒木まで複線電化区間を4.9キロ延長する案が検討された⁷⁴⁾。本案は国鉄本社の承認を経て、昭和36年7月4日付で運輸省の認可を受けている⁵⁶⁾。門司港―荒木間の電化工事費は、総額51億5千2百万円であった。

電化開業後も北九州地区の線増工事は継続され、昭和41年10月1日に門司―折尾間の複々線化が完了した(黒崎―折尾間は昭和18年10月6日に複々線化)。当日から、戸畑―八幡間の旅客列車は牧山隧道(延長605m)⁷³⁾を含む新線経路となり、門司―折尾間の客貨分離が実現した。

5.2 電化設備と集中遠方制御

1942(昭和17)年6月11日、関門隧道(延長6.23km)を含む幡生操車場―門司操車場間11.2kmで貨物列車の運行が始まった^{62,75)}。直流変電所の下関SS(広島鉄道管理局)と門司SS(門鉄局)には、富士電機製の整流器用変圧器(22kV/1,380V 2,700kVA)と水冷式鉄槽水銀整流器(2,000kW 1,500V)が2台ずつ設置された⁶²⁾。当時、下関側の電源周波数は60Hz、門司側は50Hzであった。昭和25年、国鉄の機構改革により下関SSが門鉄局に移管され、翌昭和26年には第1期九州周波数統一工事によって門司SSが60Hz受電に変更された。昭和31年以降、両変電所のき電用変電設備は順次更新され、無人化が行われた。

図2に示すように、北九州地区の交流電化では門司SSが交直流変電所に改修され、3ヶ所の交流変電所(折尾、古賀、二日市)と3ヶ所のき電区分所(小倉、東郷、箱崎)、4ヶ所の補助き電区分所(八幡、海老津、雑餉隈、田代)が新設された^{56,76)}。これら無人の電化設備は門司港の中央制御所(門司港CC)から集中制御される。被制御所は2群に分かれ、2系統の連絡線で接続されている。門司港CCは、受電用遮断器の操作、き電延長、故障や火災の監視、積算電

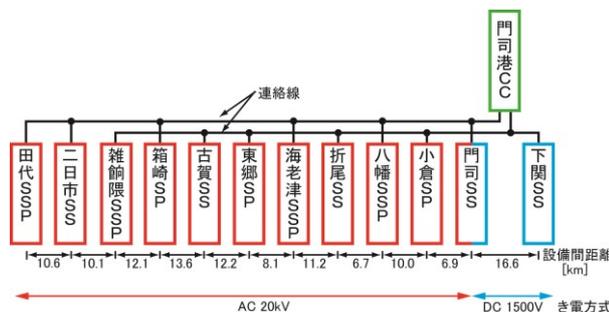


図2 鹿児島本線北九州地区の電化設備と集中遠方制御系
SS:変電所, SP:き電区分所, SSP:補助き電区分所, CC:中央制御所

力量の測定等の遠方制御を行う。また、被制御所間の通信による自動き電延長も可能である。変電所の間隔は輸送密度によって異なり、複々線区間の門司SS―折尾SS間は23.6kmと最も短く、次いで列車本数の多い折尾SS―古賀SS間が31.5km、古賀SS―二日市SS間は35.8kmである。なお、門司港―荒尾間の電化は、約4km毎に吸上変圧器(boosting transformer)を設置するBTき電方式であった⁵⁶⁾。

5.3 直流き電用変電設備

表9は、昭和39年末における門鉄局管内の鉄道変電所の一覧である。遮断器や電灯・電力用変圧器、信号用変圧器等の電気設備は省略している。関門隧道の列車通行を支え、排水ポンプ等の保安用電力を供給する門司SSは、電源喪失を避けるため九電砂津SSと九電大里SSの2箇所から受電している。また、門司SS―下関SS間には、非常時の電力融通に特高連絡線(SL型ケーブル 関門隧道下り線内)が敷設されている⁷⁷⁾。

関門隧道用の直流き電設備では、第二次大戦中に設置した水銀整流器は真空排気や冷却水の循環など運転や保守に手間が掛かり、老朽化も進行していた。門司SSでは昭和32年にメンテナンスの容易な多極風冷式封じ切り水銀整流器が増設され、昭和36年に旧式の水銀整流器が撤去された⁶²⁾。下関SSも昭和36年に水銀整流器からシリコン整流器に換装され⁷⁸⁾、両変電所の無人化が完了した。なお、小郡―下関間に新設された小野田SSと小月SSには、多極風冷式封じ切り水銀整流器(3,000kW)が各1台設置されている⁶²⁾。

昭和30年代は電力用直流変換装置の技術革新が進んだ時期で、日本各地の電気化学工場ではソーダ電解・アルミニウム電解用の直流電源が、旧式の回転変流機や水銀整流器、接触変流機から高効率で保守の容易なシリコン整流器に置き換えられていった⁷⁹⁾。電気鉄道用では、昭和33年に国鉄大井町SSに三菱電機製風冷式シリコン整流器(1,500V 1,000kW)が設置され、実負荷試験が実施された^{80,81)}。山陽本線小郡―下関間の電化が決定した昭和33年末、新設の小野田SSと小月SSでは未だ揺籃期にあるシリコン整流器を避けて、実績のある水銀整流器を採用したと考えられる。その後下関SSの無人化が決定し、老朽化した水銀整流器の取換に合わせて性能向上の著しいシリコン整流器が導入されたと推察される。

表9によると、北九州地区の交流電化により門司SSの直流き電線は関門隧道の上下線2回線に縮小され、隧道下り線で列車が力行

表9 関門隧道および北九州地区の国鉄鉄道変電所(昭和39年頃)

変電所	電源及び送電線	き電用変電設備	き電線
下関	中国電力彦島SS 22kV 2回線* 門司SSとの連絡線 22kV 1回線*	整流器用変圧器(富士電機製) 22kV/1,380V 2,700kVA 2台 シリコン整流器(富士電機製) 3,000kW 1,500V 2組	直流 5回線
門司	九州電力砂津SS 22kV 2回線 九州電力大里SS 22kV 2回線* 下関SSとの連絡線 22kV 1回線*	整流器用変圧器(富士電機製) 22kV/1,380V 2,700kVA 1台 多極風冷封じ切り水銀整流器(富士電機製)2,000kW 1,500V 1台 単相変圧器(三菱製) 20kV/22kV 3,000kVA 1台	直流 2回線 交流 9回線
折尾	九州電力上津役SS 66kV 2回線	3/2相スロット結線変圧器(三菱電機製) 60kV/22kV 6,000kVA 2台	交流 6回線
古賀	九州電力古賀SS 66kV 1回線	3/2相スロット結線変圧器(三菱電機製) 60kV/22kV 6,000kVA 1台	交流 4回線
二日市	九州電力山家SS 66kV 2回線	3/2相スロット結線変圧器(三菱電機製) 60kV/22kV 6,000kVA 2台	交流 4回線

*電力ケーブル

する際の電圧降下を補償する役目に限定された⁶²⁾。一方、下関SSの直流き電線は、山陽本線(小月および門司方面)の上下線4回線と下関機関区線(昭和39年増設)の計5回線である。関門隧道に加えて、小郡一下関間の電化で増加した負荷を隣接する小月SSと分担している。広島一小郡間の電化を控えた昭和39年7月、小月SS一下関SS間に長門一の宮SS(3,000kW、シリコン整流器)が運開し、下関SS・門司SSとの並列き電を開始している⁵⁶⁾。

5.4 交流き電用変電設備

門司SSの交流き電設備は単相変圧器で、き電線は鹿児島本線(門司港および小倉方面)の上下線4回線と、貨物線(門司一折尾間)の上・下線2回線、門司操車場の上下線2回線、門司電気機関車庫1回線の計9回線である^{56,62)}。単相き電の門司SSでは、「電気設備に関する技術基準を定める省令(昭和四十年通商産業省令第六十一号)」に従い、三相電源の電圧不平衡率を3%以下に抑制する必要がある⁶²⁾。

折尾SSは、交流き電用3/2相スコット結線変圧器2台(1台は予備)を設置している。三相二相変換を行うスコット結線(Scott connection)は、M座(main phase)とT座(teaser)の2台の単相変圧器で構成され、双方の二次側に同一負荷を接続すれば、三相側の電力が平衡する⁸²⁾。北九州地区の電化では、新開発のスコット結線変圧器が用いられた⁸³⁾。これは、1組の三脚鉄心にM座とT座の両巻線を施して同一タンクに収めたもので、従来法に比べて外部結線が簡素化され、占有床面積も2/3に減少し低価格であった。折尾SSのき電線は、鹿児島本線(小倉および古賀方面)の上下線4回線と貨物線の上下線2回線の計6回線である。

古賀SSは、予備のき電用変圧器はなく、き電線は鹿児島本線(折尾および二日市方面)の上下線4回線である。二日市SSは、折尾SSと同様に予備機を含む2台のき電用変圧器が設置され、き電線は鹿児島本線(古賀および久留米方面)の上下線4回線である。

5.5 新鋭火力の登場と電源周波数の統一

図3は、昭和38年末の北九州地区の電力系統である^{22,56,84-87)}。九電の電気工作物は、石炭火力や110kV以上の系統変電所と主要送電線、国鉄変電所に送電する66kV以下の変電所・開閉所・送電線を表示した。また、卸電気事業者2社の石炭火力も記入している。当時の鹿児島本線は荒木まで電化され、水巻と白木原の両駅が新規開業している。沿線には、鉄道変電所やき電区分所等の電化設備、電気機関車庫、電車庫が設置されている。

表10は、図3で示した事業用石炭火力の一覧である^{84,87-89)}。日本発送電により第二次世界大戦中に建設が開始され、昭和26年5月1日の九電創立後に竣工した築上PS1号機を筆頭に、11基が稼働している。その内、九電の石炭火力の総認可出力は844MWである。西日本共同火力は、九州・中国・四国・関西の電力4社と三井鉱山、三菱鉱業、明治鉱業、麻生産業、古河鉱業、住友石炭鉱業の石炭6社の共同出資により、昭和36年6月16日に創立された卸電力会社である⁸⁷⁾。九電の新小倉PSと電源開発の若松PS、西日本共同火力の新苅田PSは、老齢化した筑豊炭田が産出する大量の低品位炭を活用する広義の山元発電所として計画された。なお、昭和38年当時の若松PSと新苅田PSは、発生電力を九電と中国電力の2社に販売していた^{84,87,89)}。

ここで、九電創立時に北九州地区に存在した石炭火力の一覧を表11に示す^{22,90-93)}。全て明治末から昭和初期の運開で、多くの発電所でボイラーやタービン発電機の増設と更新が繰り返されている。総認可出力は305MWであるが、老朽化が著しい大門・鯉田・宇島の3火力は予備火力として休止状態であった。他の発電所も、戦時中の酷使による設備の荒廃で出力が低下していた²²⁾。更に小倉・戸畑の両火力は、前述の九州周波数統一工事によって一部発電機の周波数が50Hzから60Hzに変更されている。昭和30年代に入ると、これらの旧式火力は順次廃止され、高温高圧の大容量ボイラーと水素冷却式タービン発電機を備えた高熱効率の新鋭石炭火力が順次運開し、北九州地区の電力事情は急速に改善した。

八幡製鐵所など北九州工業地帯西部の大規模工場群と筑豊炭田の大手炭鉱を対象とする第2期周波数変更工事が開始された昭和30年は、国鉄鉄道電化委員会が門司港一鳥栖間の電化計画を発表した年でもある。九州の電気技術者の悲願であった電源周波数統一が実現に向けて大きく踏み出したことが、鹿児島本線電化の強力な推進剤になったと考えられる。昭和35年3月26日、折尾SSへの送電を担う九電上津役SSで管内の周波数変更が完了し²²⁾、北九州工業地帯と周辺地域の50Hz負荷が全廃された。同年6月30日には、第2期九州周波数統一工事の全工程が完了している。

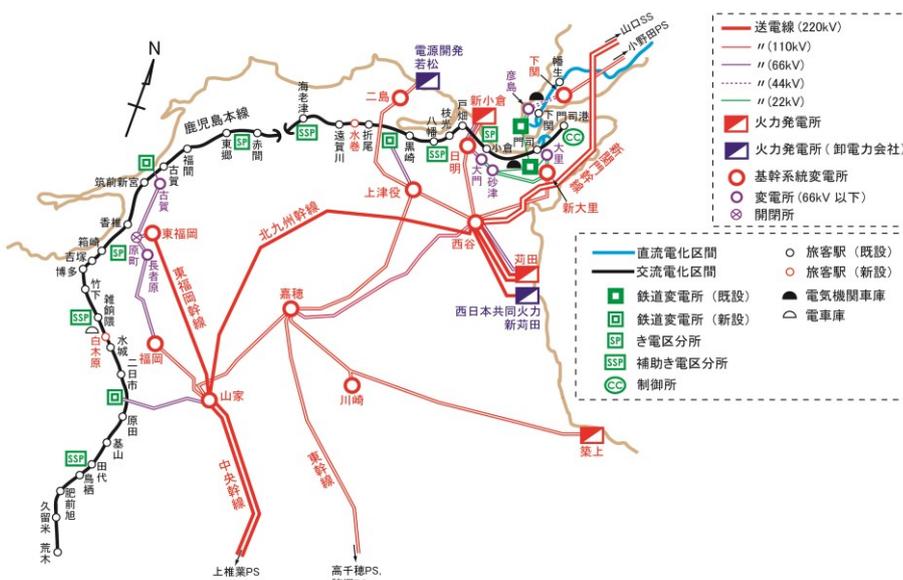


図3 鹿児島本線北九州地区の電化設備と九州電力の主要電力系統(昭和38年末)

表10 北九州地区の事業用石炭火力発電所(昭和38年12月)

発電所	発電設備	運転開始		認可出力(MW)	設計発熱量(kcal/kg)
		年	月日		
築上	1号機	1952(昭27)	3.14	35*	4,800
	2号機	1954(昭29)	3.5	55	〃
	3号機	〃	10.9	〃	〃
苅田	1号機	1956(昭31)	3.31	75	4,911
	2号機	1959(昭34)	6.15	156	〃
	3号機	〃	11.29	〃	〃
新小倉	1号機	1961(昭36)	10.10	156	4,500
	2号機	1962(昭37)	11.30	〃	〃
若松	1号機	1963(昭38)	1.29	75	3,000
	2号機	〃	3.30	〃	〃
新苅田	1号機	〃	12.1	220	3,500

*当初28MW, ボイラー増設により昭和27年5月16日付で認可出力変更

表11 北九州地区の事業用石炭火力発電所(昭和26年5月)

発電所	所在地	認可出力(MW)	周波数(Hz)	運転開始		廃止	
				年	月日	年	月日
大門	小倉市	25	50	1911(明44)	5.16	1958(昭33)	11.13
小倉	〃	81	50/60	1931(昭6)	11.3	1963(昭38)	11.30
戸畑	戸畑市	133	〃	1937(昭12)	12.16	1964(昭39)	10.1
名島	糟屋郡多々良村	46	60	1920(大9)	4.2	1960(昭35)	12.8
鯉田	飯塚市	10	50	1923(大12)	3.8	1956(昭31)	10.16
宇島	築上郡八屋町	〃	〃	1926(大15)	1.25	1955(昭30)	5.16

5.6 電力システムの強化

図3と表9に示すように、折尾SSの電源は基幹系統変電所の九電上津役SS(出力205.5MVA, 昭和33年6月17日出力増強⁸⁴⁾)で、九電上津役SSと八幡市の三菱セメント黒崎工場(昭和30年4月1日操業開始⁹⁴⁾)を結ぶ三菱セメント線から途中分岐した2回線の送電線(巨長483m)⁵⁶⁾で受電している。二日市SSの電源は基幹系統変電所の九電山家SS(出力180MVA, 昭和32年3月31日運開⁸⁴⁾)で、送電線は2回線(巨長4851m)⁵⁶⁾である。一方、古賀SSは小容量の配電用変電所・九電古賀SS(昭和28年頃の出力は15MVA⁹³⁾)から受電している。送電線(巨長985m)⁵⁶⁾は1回線で予備線はない。

門司港-久留米間の電化計画が具体化した昭和33年当時、九電古賀SSは、基幹系統変電所の九電福岡SSから香椎駅に近い名島PSを経由する66kV送電線の末端に位置していた。昭和35年12月に名島PSは廃止され、古賀SSは脆弱な電源のまま電化開業を迎えた。受電電圧の変動も大きかったと考えられる。予備のき電用変圧器を持たない古賀SSが故障または電源を喪失した際は、東郷SPと箱崎SPの遮断器を投入して折尾SSと二日市SSから延長き電が行われた。また、他の変電所がき電不能の場合も、余力のない古賀SSからの延長き電は行わない設計となっていた⁷⁶⁾。

門司港-久留米間の電化開業から約4ヶ月後の昭和36年9月27日、九電東福岡SS(出力90MVA)と東福岡幹線(220kV 2回線)が運開した⁸⁴⁾。翌昭和37年の前半には貨物列車の電機牽引開始が予定されており、九電は国鉄古賀SSの負荷増を見越して九電東福岡SSの運開時期を判断した可能性がある。幹線電化の実現には電力システムの強化が不可欠である。九電は、電化計画の初期段階から国鉄と緊密に連携し、今後の需給予測を元にき電設備に送電する変電所や送電網の整備計画を策定したと考えられる。

5.7 産炭地の幹線電化-常磐線の場合-

鹿児島本線北九州地区の電化と平行して、遠く離れた関東でも幹線の交流電化が進行していた。昭和24年に取手まで直流電化された常磐線は、茨城県石岡市の気象庁柿岡地磁気観測所への影響を考慮して取手以北の交流電化が計画され、昭和36年6月1日に取手-勝田間83.7キロが完成した。上野-勝田間の直通運転のため50Hz交直流電車(401系)の運用が計画され、北九州向け60Hz交直流電車と共に開発が進められた。

鹿児島本線と同時期に、首都圏の燃料庫である常磐炭田を縦貫する常磐線の電化が開始された背景には、高度経済成長期に入り戦後後回しになっていた産炭地周辺の都市間輸送力の強化に政府が本腰を入れ始めたこと、低品位を燃料とする大規模石炭火力の建設により産炭地の電力事情が著しく改善したことが挙げられる。昭和32年11月、福島県勿来市(現・いわき市)に常磐共同火力の勿来PS1,2号機(認可出力は各35MW)が運開した⁹⁶⁾。同社は、東北電力・東京電力と常磐炭田の主要炭鉱(常磐炭鉱、古河鉱業、大日本炭鉱、宇部興産、高萩炭鉱、重内炭鉱)の共同出資による卸電力会社で⁹⁷⁾、電力供給の安定と常磐炭田が産出する低品位炭(3,500 kcal/kg)の有効利用が目的であった。勿来PSでは、昭和35年9月に3号機(出力75MW)、翌36年4月に4号機(出力75MW)、同年10月に5号機(出力75MW)が相次いで運開した⁹⁶⁾。常磐地方における大容量電源の登場は、地域の重化学工業の発展を支えると共に、常磐線勝田以北の交流電化にとって追い風になったと考えられる。

6. 電気車両

6.1 初期の電気車両配置計画

門司港-久留米間の電化に着手した昭和33年9月当時、国鉄西部支社は電気車両の配置数を次のように計画していた⁹⁸⁾。

交直流電車	約12両	交流電車	約48両
交直流電機	約19両	交流電機	約49両

本州連絡用の交直流電車に対し、九州専用で低価格の交流電車は4倍の配置数が予定され、北九州電化の主役として期待されていたことが分かる。その後、小郡-下関間の早期電化が決定し、山陽本線との直通運転が可能な交直流電車の優位性が増していった。

図4は、昭和38年8月までの配置車両数の推移である^{56,99)}。交直流電車(EC421)は計画の6.7倍(80両)が配置され、交流電車は試作車(EC791)の1両に留まっている。交直流電機(EF30)は、開門陸

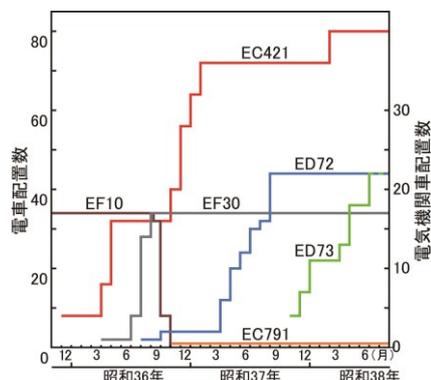


図4 国鉄北九州地区電化に伴う電気車両配置数の推移

道用の直流電機(EF10)の置き換えで用いる。図からは、新旧電機の鮮やかな交代劇が見て取れる。17両の交直流機と44両の交流電機(ED72, ED73)の配置は、当初の計画に近い値である。

6.2 421系交直流電車—交流電気機器—

1961(昭和36)年6月1日、十河国鉄総裁立ち会いのもと鹿児島本線門司港—久留米間の電化開通式が博多駅で挙行政され¹⁰⁰⁾、421系電車の営業運転が開始された。写真5は、運転開始直後の8月に雑餉隈駅で撮影された421系交直流電車である¹⁰¹⁾。外部色は小豆色(赤13号)で、制御車前面の窓下と車体側面裾部に引かれたクリーム色(クリーム2号)の帯が特徴的である¹⁰²⁾。同電車は乗降時分短縮のためステップ無しで設計され、電化区間の各駅でホーム上上が実施された²⁾。写真5でも嵩上げされた真新しいホームが確認できる。雑餉隈駅では、交流電化に伴うホームの打上工事とホーム上屋庇の改修工事(新建築限界の適用)に306.1万円が費やされている⁵⁶⁾。

421系交直流電車の車両諸元を表12に示す^{50,102,103)}。車両は、クハ421(制御車Tc)、モハ421(主制御器付中間電動車M)、モハ420(主制御器無し中間電動車M')の3種で、TcMM'Tcの4両ユニットで1編成となる。401系と同様に、交流機器を除いた主回路と駆動・



写真5 421系交直流電車

表12 421系交直流電車(先行試作車)の車両諸元

形式	クハ421	モハ421	モハ420
主要寸法	最大長20.0m 最大幅2.95m		
最大高	3.92m	3.92m	4.24m(パンタグラフ降下時)
自重	29.6t	37.5t	41.9t
定員	116名	128名	128名
台車形式	TR62	DT21B	DT21B
交直切換	—	—	車上切換・一斉惰行順次力行方式
主変圧器	—	—	形式TM3 送油風冷式 定格容量800kVA 一次電圧20kV 一次電流40A 二次電圧1,820V 二次電流440A
主整流器	—	—	形式RS3またはRS4 シリコン整流器 単相ブリッジ結線 強制通風式 定格出力810W 定格電圧1,350V 定格電流600A(連続)1,100A(30秒)
主平滑リアクトル	—	—	形式JCS 巻鉄心形 定格電流440A インダクタンス6mH
主電動機	—	形式MT46B 直流直巻電動機(補極付) 極数4 出力100kW 定格電圧375V 定格電流300A 回転数1,860rpm 個数8	
制御方式	—	抵抗制御, 直並列制御, 界磁制御(最弱界磁率40%), 統括制御, 発電ブレーキ付	
駆動方式	—	1段減速・中空軸平行カルダン方式 歯数比1:4.82	
1時間定格	—	出力800kW 引張力4,810kg 速度59.6km/h (70%界磁)	
最大運転速度	110km/h		
製造所	川崎車輛, 日立製作所		

制御方式は新製能電車の101系直流電車を踏襲している。

電源車M'の屋根上には交流遮断器、交流避雷器、交直切換器、冒進保護用主ヒューズ、直流避雷器等が配置されている¹⁰²⁾。床下に配置された三菱電機(以下、三菱)製の主変圧器は、外鉄形で小型軽量化のため電気装荷(アンペアターン)の大きい銅機械で設計された¹⁰⁴⁾。600Iの変圧器油には、不燃性を重視して塩素化合成油のダイアクロール(Diaclor)が使用されている。これは五塩化ビフェニル(pentachlorinated biphenyl)と三塩化ベンゼン(trichlorobenzene)の混合物で、後述する東京芝浦電気(以下、東芝)のシバノール(Shibanol)と同様の組成で¹⁰⁵⁾、淡黄色の不燃性絶縁油(JIS C 2321)として規格化されていた¹⁰⁶⁾。化学的に安定で熱伝導率が高く、難燃性かつ非爆性である。誘電率が高く(鉱油の約2倍)絶縁耐力も高いため、変圧器用絶縁油として多用された¹⁰⁷⁾。

PCB(polychlorinated bephenyl)を含む塩素化合成油は、1932年に米General Electric社のF.M.Clarkと米Monsant社により変圧器用の不燃性絶縁油として開発された¹⁰⁸⁾。日本でも第二次世界大戦中にオイルコンデンサへの応用が始まり¹⁰⁹⁾、昭和20年代後半には電力機器用に広く使用され¹¹⁰⁾、国鉄が交直流電車を開発した昭和30年代中盤には不燃性変圧器油の定番であった¹¹¹⁾。しかし、昭和40年代後半にPCBの毒性が社会問題となり¹⁰⁶⁾、国鉄は交直流電車用変圧器油をシリコンオイルに順次変更した¹¹²⁾。

6.3 421系交直流電車—シリコン整流器と脈流対策—

401・421系電車の開発で、国鉄は主整流器の製造を日立製作所(以下、日立)・東芝・富士電機(以下、富士)・三菱の重電4社に分担させた。発展途上にあるシリコン整流器の製造を通じた各メーカーの技術力向上が目的とされたが、真の狙いは営業運転開始後のトラブル発生に対するリスク分散(代替品の確保)にあったと推察される。421系電車の先行試作車と第1次量産車では、主整流器の製造を富士と三菱が担当した¹⁰²⁾。両形式の仕様を表13に示す^{104,113)}。但し、三菱の技報では421系用主整流器がRS5形となっている。当初は5形式の開発が計画されたものの、RS4形の開発中止によりRS5形の繰り上げ改番が行われた可能性がある。

富士製Siダイオードは独Siemens社¹¹⁴⁾、三菱製はWH¹¹⁵⁾からの技術導入によって製造された。両素子は、n型Si単結晶上にAl片を載せて融解し、Si-Al融液の冷却時にp型層を形成する合金法⁷⁹⁾で作製された。富士製は逆耐電圧が高く、単相ブリッジの各アームを6個直列×2並列で構成し、全素子数も三菱製整流器の3/5に抑えている。一方、常磐線用401系交直流電車の主整流器(RS1形, RS2形)は、日立と東芝が製造を担当した。両社のSiダイオードは、合金法に比べて不純物濃度が均一なpn接合が形成できる拡散法で作製さ

表13 421系交直流電車用主整流器の素子構成と整流素子の定格

国鉄形式	RS3	RS4
素子数	48	80
素子構成	6S×2P×4A	10S×2P×4A
素子形式	Si 150F	SR-200E
順方向電流[A]	200	200
逆耐電圧[V] (商用交流)	1,200	700
逆耐電圧[V] (インパルス)	1,500	850
製造者	富士電機	三菱電機

れている^{116,117)}。

421系電車では、営業運転開始後に整流素子の破壊による主整流器の故障が頻発した。主因は、Siダイオードの製造法の違いではなく、常態化した過負荷運転にあったと考えられる。電化開業後、421系快速電車は小倉－博多間を最短58分で走行した¹¹⁸⁾。物珍しさもあって乗車率の高い状態が続き、混雑による回復運転等で過負荷となった車両では主整流器の故障や主平滑リアクトルの焼損が相次いだ^{65,112)}。走行不能の電車を蒸機で牽引したケースもあったという。特に、RS4形主整流器はSiダイオードの破壊が多く発生し¹¹²⁾、同形式は後に廃番となった¹¹¹⁾。

主回路に挿入された主平滑リアクトルは、整流出力の脈流成分を抑制する。なおIC5形リアクトルは、小型軽量化を図るため増分透磁率の高い方向性電磁鋼板の巻鉄心(wound core)をカットしたC形コアを採用している¹⁰⁴⁾。MT46B形主電動機は、脈流による整流火花を防ぐため補極に積層鉄心を使用した¹¹⁷⁾。これは、電機子反作用を補償する補極磁束に、渦電流による位相遅れを生じないためである。また、整流火花の一因となる電機子巻線の変圧器起電力を低減し、鉄損による界磁の温度上昇を抑制するため、界磁巻線に無誘導分路抵抗を並列接続して、脈流成分をバイパスしている。

6.4 421系電車の配置と運用

昭和35年10月14日に南福岡電車区が開設され、12月下旬には北陸本線(田村－敦賀間が昭和32年10月に60Hz交流電化)での試運転を終えた2編成8両の421系先行試作車が同電車区に配置された¹¹⁹⁾。翌36年4月の門司港－久留米間の電化工事竣工後は、この2編成で下関・門司港－久留米間の練習運転を行った。5月に2編成、6月に4編成の量産車が到着し、営業運転開始時は8編成32両体制となった(図4参照)。また、昭和37年2月の荒木延長を前に10編成40両の大量増備が行われ、快速電車の増発と4両編成列車の8両化が実施された¹¹²⁾。昭和38年3月の2編成増備も、輸送力の改善が目的である。

表14は、昭和36年10月改正の時刻表¹¹⁸⁾から作成した鹿児島本線小倉－博多間の旅客列車運行本数と平均所要時間である。表4と比較すると、上下合わせた列車本数は優等列車が18本から45本に、近距離普通列車が18本から53本に増加し、平均所要時間も短縮されている。当時は博多駅の移転前で門司－折尾間の複々線化も未成であったが、線路容量の増加と電車投入の効果が現れたと考えられる。東京・名古屋・京都・大阪と九州各地を結ぶ全ての特急と大半の急行は未だ蒸機牽引であるが、九州・中国地方の観光地を巡る準急は全て気動車化された。近距離普通列車の大半も気動車や

表14 小倉－博多間の旅客列車数と平均所要時間(昭和36年10月)

列車種別	特急	急行	準急	快速	各停	
蒸機牽引 列車	下り	5[65]	8[71]	—	5(5)[97]	7(4)[117]
	上り	5[67]	8[72]	—	2(2)[99]	10(8)[121]
気動車	下り	—	1[64]	9[64]	3[79]	9[96]
	上り	—	1[63]	8[61]	3[81]	6[96]
電車	下り	—	—	—	7[58]	9[78]
	上り	—	—	—	8[58]	8[80]

[]内は小倉－博多間(特急は門司－博多間)の所要時間(分)
()内は長距離普通列車

電車となり、動力近代化による無煙化が急速に進展している。

421系電車では、9～18時台に設定された快速の所要時間は58分(折尾－博多間ノンストップの場合)で、急行や準急よりも早い。各駅停車は、下り5本・上り2本が山陽本線との直通列車(小郡または宇部岬発着)で、表14以外にも小郡－小倉、門司港－福岡、福岡－雑餉隈、福岡－久留米の区間で421系電車による各駅停車が設定されている。

6.5 クモヤ791形交流試験電車

門司港－久留米間の電化工事が進行していた昭和34年3月末、鹿児島本線用の試作交流電車が完成した¹²⁰⁾。単相交流整流子電動機(single phase AC commutator motor)を主電動機とする直接式交流電車のモヤ94000で、同年6月に電車の車両称号規程が改正されクモヤ791形(クモヤ791-1)に改称された^{112,121)}。

昭和33年4月に始まった山陽・鹿児島本線の電化方式検討会議(4.6節参照)では、交流電化区間用に直接式交流専用電車の試作が提案された⁵²⁾。交直流電車の運用を関門連絡用に限定し、交流電化区間では交流電車を多数運用する計画であった¹²²⁾。交直流電車の製造費の高さと初期の電力用シリコン整流器の信頼性の低さが、直接式交流電車開発の推進力となった可能性が高い。

単相交流整流子機形直接式電気車の特徴を以下に示す¹²³⁾。その多くが昭和30年に仙山線で実施されたED44形直接式交流電機とED45形間接式交流電機の試験運転結果に基づいている。

- ①交流整流子機を用いた直接式交流電気車は、欧州の交流電化区間(50Hzまたは16.7Hz)で十分な実績がある。
- ②水銀整流器やシリコン整流器と直流電動機を組み合わせた間接式と比べて、直接式は構造が単純で故障が少なく、保守を要する箇所も限定される。
- ③直流電動機を脈流駆動する間接式と比べ、直接式は負荷電流の波形歪みが少なく、高調波による通信誘導障害が少ない。
- ④直流電動機と異なり、交流駆動の整流子電動機ではブラシ間を短絡する閃絡(flash over)が発生しない。
- ⑤交流整流子機は磁気回路の飽和度が小さいため、高速回転時の牽引力の低下が少ない。
- ⑥水銀整流器による位相制御で優れた再粘着性能を示す間接式交流電機に比べて、直接式電機は起動牽引力で劣るが、電車では勾配起動性能の高さは要求されない。

一方、主電動機の交流整流子機には、以下のような欠点が指摘されていた。

- ①直流電動機と比べて構造が複雑で、制作費が高く保守に手間がかかる。
 - ②極数とブラシ数が多く、ブラシ交換の費用が高む。
 - ③変圧器起電力による整流火花によって、整流子面の荒損が発生しやすい。
 - ④整流火花のため起動電流が制限され、起動加速性能で劣る。
- これらの諸問題を解決し、駅間距離が1km以上の中距離路線に適した、世界初の60Hz用単相交流整流子機式電車の実用化がクモヤ791形開発の目的であった。しかし、主電動機の保守作業の難しさから量産化は見送られ⁵⁰⁾、製造は1両のみとなった。

写真6はクモヤ791-1で⁶³⁾、外部色は赤2号を基調とし幕板と妻外

板にクリーム4号の帯が引かれている^{102,120}。クモヤ791形の車両諸元を表15に示す^{50,123,124}。床下に設置された東芝製主変圧器は外鉄形で、二次側低圧タップの切換により永久直列接続した4個の主電動機を電圧制御する¹²⁴。変圧器油のシバノールは、421系電車と同様の不燃性塩素化合物油である。主電動機は6社(東芝、日立、三菱、富士、川崎重工、東洋電機)が製造を担当し¹²⁵、将来の車両編成を考慮して定格出力110kW級と150kW級が試作された。制動時は、主電動機を直流他励発電機として使用する。制動抵抗切換時のピーク電流の抑制と空気制動装置との連動を考慮して、可飽和リアクトル(saturable reactor)による界磁制御を行っている¹²⁵。

6.6 クモヤ791形の配置と運用

完成したクモヤ791-1は敦賀第二機関区に配置され¹¹²、昭和34年4月から北陸本線の敦賀一長浜間で性能試験が実施された¹²⁶。その後九州に回送され、同年6月22日に開催された九州電化をPRする展示会で、試作交流電車として公開された⁶³。会場の門司港駅には、新製間もないED711(ED71形交流電気機関車の試作機)も展示された¹²⁷。写真6は展示会当日のスナップで、木造上屋の切欠きホーム(客車留置用の海岸線¹²⁸)にクモヤ791-1が留置されている。臙脂色の新型電車を囲んで興奮する子供たちの歓声が聞こえてくるようである。6月24日には、旧博多駅の0番のりば(筑肥線発着用の裏2番線¹²⁹)でクモヤ791-1の展示が行われた⁷¹。これは、巨額の電化利用債の引受に応じた地元経済界と、電車化による利便性の向上を待ちわびる地元住民に宛てた粋な贈り物であった。北九州



写真6 クモヤ791形交流電車
(日本国有鉄道西部支社発行「九州電化」より)

表15 直接式交流専用電車クモヤ791-1の車両諸元

主要寸法	最大長20.06m 最大幅2.94m 最大高4.14m(パンタグラフ降下時)	
運転整備重量	45.3t	
台車形式	DT26	
主変圧器	送油風冷式 定格容量600kVA 一次電圧20kV 一次電流30A 二次電圧1,134V 二次電流476A	
主電動機	形式MT953/MT954/MT955/MT956/MT957/MT958 単相交流直巻整流子電動機(補償巻線・補極分路付) 極数6/8 出力110/146/150kW 個数4	
駆動方式	1段歯車減速・中空軸平行カルダン式 歯数比1:5.933	
制御方式	主変圧器低圧タップ切換による電圧制御 発電ブレーキ付	
1時間定格 (例)	主電動機	MT953 MT956
	出力	110kW 150kW
	引張力	2,400kg 3,300kg
最高許容速度	95km/h	
製造所	川崎車輛	

電化に賭ける国鉄西部支社の意気込みが伝わるエピソードである。

昭和35年12月23日、敦賀第二機関区から南福岡電車区に貸渡中のクモヤ791-1は¹³⁰、一足早く電化工事が完了した雑餉隈一久留米間で試験運転を行った¹¹⁹。電化開業を2ヶ月後に控えた昭和36年4月5日には、門司港一雑餉隈間で再びクモヤ791-1による試験運転が行われた。北九州用に開発された直接式交流電車は、シリコン整流器の急速な特性改善によって北九州電化の新たな主役となった421系交直流電車の露払いを、懸命に演じたのである。その後、クモヤ791-1は昭和36年9月19～27日に金沢鉄道管理局松任工場と北陸本線長浜一虎姫間で東海道新幹線用ATC装置の総合試験に従事し¹³¹、同年11月に正式に南福岡電車区の配置となり⁵⁶、構内の入換作業等に使用された⁵⁰。

6.7 交直流電気機関車の開発

昭和17年6月の使用開始以来、関門隧道では客貨両用の牽引機としてEF10形直流電機が活躍していた。昭和33年、鹿児島本線北九州地区の交流電化と門司駅構内の交直分界点設置が決定し、関門地区専用の交直流電機の開発が急務となった。専用電機の運用区間は、旅客列車が下関一門司間6.3キロ、貨物列車が幡生操車場一門司操車場間10.4キロと短い。また、関門隧道(延長3.7キロ)の内部は急勾配(20～22%)であるが、年間を通じて恒温である。よって、専用電機には以下に示す設計上の利点があった⁵²。

- ①旅客牽引時の暖房用蒸気発生器(steam generator, SG)は不要
- ②上り勾配力行時の自然減速と下り勾配での速度制限により、高速運転は不要
- ③勾配での粘着性確保のため、機関車の重量軽減対策は不要
- ④恒温の環境下で短区間の折り返し運転を行う本機は、力行時間が短く主電動機や主変圧器、主整流器の温度上昇も少ないため、短時間定格で設計が可能

新製する特殊電機の価格を抑制できることが、門司での交直接続案を有利にしたという。

6.8 EF30形交直流電気機関車

写真7は、北九州市門司区の和布刈公園に保存されたEF30形の試作機(EF301)である。本邦初のシリコン整流器式交直流電機で、関門隧道の漏水による塩害を考慮して車体外板にステンレス板を採用している。新製時は、窓下と側面裾部に赤色塗装のステンレス鋼帯が巻かれていた¹³²。同機の車両諸元を表16に示す^{50,133}。1台車1電動機式で、駆動方式はWN(Westinghouse-Natal)継手を用いた可撓歯車継手式(2軸同時駆動)である。出力は、急勾配を含む直流区間(幡生操車場から門司駅構内の交直分界点まで)は1,800kW、平坦な交流区間(交直分界点から門司操車場まで)は346kWの部分出力(直流区間の約1/5)となっている。

電気機器の製造は三菱電機が担当した。主変圧器は内鉄形で、830Iの変圧器油は原油から精製した鉱油を用いている¹³⁴。二次巻線と単相ブリッジは2組あり、2つの全波整流回路の出力端を縦続接続したダブルブリッジ結線を採用している。よって、故障時にブリッジ1組を解放した半電圧出力が可能である。Siダイオードは三菱製SR-107形(定格電流100A)¹³⁴で、単相ブリッジ(素子構成は12S×2P×4A)2組で合計192個を使用した。同素子は、合金法で作製さ



写真7 EF30形交直流電気機関車(北九州市門司区和布刈公園保存)

表16 関門隧道用交直流電気機関車EF30形1号機の車両諸元

主要寸法	最大長17.86m 最大幅2.94m 最大高4.24m(パンタグラフ降下時)	
運転整備重量	96.0t	軸配置 B-B-B
台車形式	DT117(両端), DT118(中間)	
交直切換方式	車上切換	
主変圧器	形式TM4X 油入自冷式 定格容量320kVA 一次電圧20kV 一次電流15.5A 二次電圧920V×2 二次電流174A	
主整流器	風冷式シリコン整流器 単相ブリッジ2組(縦続接続) 定格出力450kW 定格電圧1,500V 定格電流300A	
主電動機	形式MT102 直流直巻電動機(補極付) 極数4 出力600kW 定格電圧1,500V 定格電流430A 回転数1,000rpm 個数3	
駆動方式	1段歯車減速・歯車連結可撓駆動式 歯数比1:3.88 (1台車1電動機式)	
制御方式	抵抗制御(バーニア制御) 直並列制御(DC), 直列個数制御(AC)	
1時間定格	DC (MM 3個並列)	AC (MM 3個直列)
	出力	1,800kW 346kW
	引張力	13,800kg 7,200kg
	速度	46.7km/h 17.2km/h
最高許容速度	85km/h	
製造所	三菱電機・新三菱重工	

れたWH製319-H形^{注2)}をベースに三菱が国産化した初のSiダイオードである。昭和34年10月には、仙山線用491系交直流電車の主整流器に採用されている^{112,135)}。

表13に示すRS4形主整流器と比較すると、EF301の主整流器は単相ブリッジの入力電圧が約半分、各アームの直列素子は2個多くなっている。これは、整流素子の逆耐電圧の低さを暗示している。EF301のダブルブリッジ結線は、Siダイオードの性能と信頼性の低さをカバーする苦肉の策であったと推察される。EF301の落成は昭和35年3月16日¹³³⁾、RS4を搭載した421系先行試作車は8ヶ月後の11月24日に落成している¹³⁶⁾。この間に国産Siダイオードの特性改善が急速に進んだことが分かる。北陸本線で試運転中のEF301では、主整流器の故障が複数回発生し¹³³⁾、改造品との交換や検査目的のメーカー引取などの対応に追われている。電力用Siダイオードの実用化が平坦な道ではなかったことが分かる。

量産機のEF30形2号機では、Siダイオードが逆耐電圧の高いSR-200F-14形(定格電流200A)に変更された¹³⁷⁾。主変圧器の二次電圧は1,800Vで整流回路もシングルブリッジ(素子構成は10S×2P×4A)

注2) WH製319-H形Siダイオードは、491系電車の初期のシリコン整流器(クヤ490-1)に搭載された三菱製イグナイトロンを置換)や、国鉄大井町SSで実負荷試験を行ったシリコン整流器(5.3節参照)に使用された^{81,112)}。

に変更され、主整流器の素子数もEF301の半分以下の80個である。

EF301の主電動機は台車装荷式のMT102形¹³³⁾、直流区間では3個直列と3個並列の直並列制御を行う。交流区間では、主整流器の電流容量から3個直列と2個直列(1個開放)の直列個数制御に留め、最大印加電圧を定格の1/2に抑えている。主電動機は交流区間で脈流運転となるが、補極鉄心の積層化や界磁巻線の誘導分路など脈流対策は施さず、平滑リアクトルも省略している¹³⁴⁾。急勾配区間を走行するため、弱界磁制御は行っていない。

量産機のEF302では、主電動機がMT51形に変更された^{137,138)}。MT102とMT51に外見上の違いはなく、1時間定格にも差は見られない(出力600kW 電圧1,500V 電流430A 回転数1,000rpm)^{134,139)}。一方、電機子巻線の絶縁階級(国鉄規格)¹⁴⁰⁾はMT102が許容最高温度120℃の特B種、MT51が許容最高温度140℃のF種で耐熱性が向上している。また、MT51では歯車箱潤滑剤の電動機軸受への侵入防止のため、油切りの構造が変更されている¹³⁷⁾。

6.9 EF30形機関車の配置

履歴簿¹³³⁾によると、EF301は昭和35年3月16日に新三菱重工三原製作所で完成した(価格は6,492万円)。昭和35年5月13日に米原機関区に配置され、性能試験のため浜松工場や敦賀第二機関区、稲沢第二機関区への移動を繰り返した後、昭和36年4月15日に米原機関区から発送(無動力回送)され、同17日付で門司機関区に配置替となった。EF301の到着時、門司機関区には17両のEF10形直流機が配置されていた⁹⁹⁾。昭和36年7月以降にEF30形量産機の新製配置が本格化し、8月下旬からEF10形の本州転属が始まった。配転先は、新鶴見、沼津、稲沢第二、吹田第二の各機関区であった。同年9月にEF30形全17両の門司機関区配置が完了し、残り4両となったEF10形も10月中に九州を後にした。

6.10 交流電気機関車の開発

鹿児島本線の電化に際し、国鉄は北陸本線用のED70形、東北本線用のED71形に続く新形式の交流電機の開発を決定した¹⁴¹⁾。鹿児島本線の輸送条件は東北本線に近い、ED71形をベースに60Hzに適合した車両とし、客車暖房用のSGを搭載する旅客用電機(軸配置B-2-B)と、貨物用電機(軸配置B-B)の2形式が計画された。共通運用のため両形式の性能を統一し、最高速度95km/h、10%の勾配での1,200t牽引を目標とした。旅客用電機は中間台車の支持力調整により、動軸重の軽減が可能であった。これは、鹿児島本線の久留米以南や長崎本線、日豊本線の電化に備え、乙線区(低規格路線)を含むロングラン走行を想定した機能であった。また、東北・常磐本線の電化では、客車暖房が蒸気方式から電気方式に切り換えられたが、九州は本州との直通列車が多く、幹線電化の完成時期も未定なため、電気暖房の導入は見送られた。

6.11 ED72形交流電気機関車

写真8は、北九州市門司区の九州鉄道記念館に保存された旅客用ED72形の1号機で、外部色は赤2号である。同機の車両諸元を表17に示す^{50,142,143)}。駆動方式は、主電動機を主台車枠に固定した中空軸可撓駆動式で、一般にクイル式(quill drive)と呼ばれる。全世界での出力は1,900kWである。



写真8 ED72形交流電気機関車(北九州市門司区九州鉄道記念館保存)

表17 交流電気機関車ED72形1号機の車両諸元

主要寸法	最大長16.60m 最大幅2.80m 最大高4.24m(パンタグラフ降下時)		
運転整備重量	83.4t	軸配置	B-2-B
台車形式	DT119(動軸), TR100(中間)		
主変圧器	形式TM6 乾式強制風冷式 定格容量2,050kVA 一次電圧20kV 一次電流103A 二次電圧1,033V×2 二次電流1,300A		
主整流器	形式RM2 単極風冷封じ切りイグナイトロン(タンク数8) 定格出力2,052kW 定格電圧750V 定格電流2,736A		
主平滑リアクトル	形式IC10 開磁路鉄心形 定格電流600A インダクタンス8.5mH		
主電動機	形式MT103 直流直巻電動機補極付 極数6 連続定格:出力475kW 電圧750V 電流684A 回転数1,010rpm 個数4		
駆動方式	1段歯車減速・中空軸可撓駆動式 歯数比1:4.53		
制御方式	主変圧器高圧タップ切換による電圧制御 イグナイトロン格子位相制御		
1時間定格	出力1,900kW 引張力15,000kg 速度45.5km/h		
最高許容速度	100km/h		
蒸気発生器	形式SG3B 燃料A重油 最大能力:蒸発量800kg/h 燃料消費量71l/h		
製造所	東京芝浦電気		

主回路は、東北本線用の試作交流電機ED712を踏襲している¹⁴⁴⁾。東芝製の主変圧器は内鉄形で、電圧調整用単巻変圧器と整流器変圧器で構成される。H種絶縁(許容最高温度175℃)の乾式変圧器(強制風冷式)のため、変圧器油はなく不燃性である。整流器変圧器の二次巻線には、水銀整流器を整流素子とする4組のセンタータップ型全波整流回路が並列接続され、4個の主電動機を個別に駆動している。直流出力電圧は、単巻変圧器のタップ切換によって制御する。水銀整流器(東芝製VIA-32G8)は、8個の鉄製単極風冷封じ切りイグナイトロンを集合した8タンク型である。

イグナイトロン(Ignitron)は、1933年にWHのSlepianが考案した水銀整流器の一種である¹⁴⁵⁾。陰極水銀面に浸漬した点弧子(ignitor)に衝撃電流を流して点弧(自由電子を放出する陰極点の形成)を行う。点弧で生じた水銀アークは、励弧極(exciting anode)により交流半サイクルの期間維持される。この時、陽極の真下にある格子(grid)は、負のバイアス電圧により陰極からの自由電子を退けている。格子電圧に正のパルスを重畳すると、陽極-陰極間に主放電が発生し、陽極電流が流れる。格子パルスの位相変化によって、陽極電流の平均値と整流回路の出力電圧を連続的に増減できる。

仙山線における試験運転で、イグナイトロンを搭載したED451が優れた再粘着性能を發揮して以来、単極水銀整流器による位相制御は高性能交流電機のキーテクノロジーとなり、ED72形にも引き継

がれた。ED721が搭載したイグナイトロンは、車両走行中の逆弧(backfire、水銀蒸気の接触により陽極上に陰極点を生じ、過大な逆方向電流が流れる現象)や失弧(misfire、陰極水銀面の傾斜や振動に起因する点弧失敗)を防止するため、従来品に比べて点弧子の位置と浮遊格子(splash baffle)の構造が変更されている¹⁴²⁾。

先述のように、4個の主電動機(MT103)は個別の全波整流回路に接続され¹⁴³⁾、一部のイグナイトロンが故障した場合は該当する主電動機を開放して力行を継続できる。主電動機の脈流対策として主平滑リアクトルを挿入し、界磁巻線には無誘導分路抵抗を並列接続した。また、主変圧器の二次側に通信誘導障害防止用のRCフィルターを挿入している。

6.12 ED72形機関車の配置

履歴簿¹⁴⁶⁾によると、ED721は昭和36年8月2日に東芝府中工場で完成し(価格は7,288万円)、8月11日に南福岡電車区の配置となり、雑餉隈一折尾間で受取試運転が施行された。当時、門司機関区は電気機関車用の車庫や仕業車庫、交番検査用設備の改良工事中で、やむなく南福岡電車区に仮配置となった¹⁴⁷⁾。10月19日には2号機のED722が到着し¹⁴⁸⁾、雑餉隈一折尾間で受取試運転を行っている。その後、門司機関区の電機用諸設備が完成し、ED721とED722の2両は昭和37年3月2日付で門司機関区配置となった。

4月7日、量産機のED723が門司機関区に配置された¹⁴⁹⁾。量産機は、主電動機がMT52形(連続定格:出力425kW 電圧900V 電流500A 回転数1,110rpm)に変更され、駆動方式もクイル式から主電動機の重量の半分を車軸に負担させる釣掛式(nose-suspention type)に変更された¹⁵⁰⁾。クイル式の試作機で、駆動装置の回転剛性により台車枠のピッチングが誘発されることが変更の理由であった。また、主平滑リアクトルが開磁路鉄心(open core)のIC10形から、閉磁路鉄心(closed core)で高インダクタンス(11.2mH)のIC11形に変更された。これは、主回路の脈流電流を低減して主電動機の整流性を改善し、再粘着性能を上げる効果があった。

図4に示すように、昭和37年4月以降にED72形量産機の新製配置が進み、同年9月には22両に達している。同年5月3日、門司一鳥栖間でED72形単機による列車運転が始まり、6月20日に貨物1,200tの牽引試験が開始された¹⁴⁷⁾。8月20日には、ED72重連による貨物列車の運転も始まっている。

6.13 ED73形交流電機機関車

ED72形の姉妹機で貨物牽引用に開発されたED73形の1号機は、昭和37年10月31日に東芝府中工場で完成し(価格は6,179万円)、11月8日付で門司機関区に配置された¹⁵¹⁾。ED731の主要諸元を表18に示す¹⁵²⁾。SGが無いため、最大長はED721より3m短い。主発電機はED72形量産機と同じ釣掛式のMT52形で、主電動機に合わせて主整流器の定格が変更された。主平滑リアクトルは、軽量化と冷却効率を重視して開磁路鉄心型に戻された。

図4に示すように、ED72形から15ヶ月遅れで投入されたED73形は、その後急速に数を増やし、昭和38年7月に22両に達した。ED72形の試作機や量産機の運用によって、故障箇所の洗い出しと改良が進んだ結果と考えられる。実際、ED72形の試作機(ED721・ED722)では、試験運転の段階から高圧タップ切換器の動作不良や焼損、

表18 交流電気機関車ED73形1号機の車両諸元

主要寸法	最大長13.60m 最大幅2.80m 最大高4.26m(パンタグラフ降下時)		
運転整備重量	66.92t	軸配置	B-B
台車形式	DT119B		
主変圧器	形式TM6A 乾式強制風冷式 定格容量2,050kVA 一次電圧20kV 一次電流103A 二次電圧1,033V×2 二次電流1,300A		
主整流器	形式RM2 単極風冷封じ切りイグナイトロン(タンク数8) 定格出力1,836kW 定格電圧900V 定格電流2,040A		
主平滑リアクトル	形式IC23 開閉路鉄心形 定格電流540A インダクタンス10mH		
主電動機	形式MT52 直流直巻電動機補極付 極数4 連続定格:出力425kW 電圧900V 電流510A 回転数1,110rpm 個数4		
駆動方式	1段歯車減速・釣掛式 歯数比1:4.44		
制御方式	主変圧器高圧タップ切換による電圧制御 イグナイトロン格子位相制御		
1時間定格	全界磁:出力1,900kW 引張り14,000kg 速度49.1km/h		
最高許容速度	100km/h		
製造所	東京芝浦電気		

タップ切換時の主電動機の閉絡が頻発している^{146,148)}。一方、イグナイトロン本体の故障は殆どなく、交流電機搭載用の水銀整流器が既に「枯れた技術」となっていたことが分かる。

昭和44～49年度にかけて、国鉄小倉工場でED73形全22両のイグナイトロンがシリコン整流器に換装された¹⁵³⁾。ED72形も15両が昭和48～51年度にシリコン化されている。ED73も昭和45年3月に改造を終えたが¹⁵¹⁾、ED721とED722の改造は見送られた^{146,148)}。水銀整流器は起動前の予熱と運転時の温度管理に手間がかかること、水銀整流器本体や周辺部品の劣化が進んだこと、鹿児島本線では貨物の1,100t牽引が主流となり位相制御で粘着性能を上げる必要が無くなったことが¹⁵¹⁾、シリコン化の理由と考えられる。

7. 電化の後に

7.1 北九州電化の効果

電化区間における昭和37年度の乗車人員は、定期外利用が前年度比28%増、定期利用が10%増となった⁶⁵⁾。特に、北九州4市間の通勤利用は、電化前(昭和35年)と比べ51%の伸びを示した¹⁵⁴⁾。駅別では門司17%、小倉37%、戸畑87%、八幡32%で、戸畑駅の増加率が突出している。これは、八幡製鐵戸畑製造所の生産設備拡張が原因と考えられる。4.7節で述べたように、八幡製鐵は昭和32年から戸畑地区で銑鋼一貫製鉄所の建設を進めており、従業員数も増加傾向にあった⁶⁰⁾。電車化による速達性の向上で通勤圏も拡大し、北九州一福岡の中間地域である宗像町等では大規模な宅地開発が相次ぎ、ベッドタウン化が進行した¹⁵⁵⁾。

一方、電化後の鹿児島本線では、本線乗り入れの支線列車が削減され¹⁵⁶⁾、支線沿線では暮らす人々の利便性が低下した。昭和35年3月¹⁾と電化3年後の昭和39年10月¹⁵⁷⁾の比較では、室木線と若松・小倉方面、篠栗線と博多方面の直通列車が姿を消し、甘木線では博多発着の列車が4本から1本に減少している。支線との直通列車は気動車か蒸気牽引列車のため速度が遅く、電車の増発と貨物の電気運転で輻輳する本線ダイヤから閉め出されたと考えられる。

図5の実線は、九州電力の売電量から求めた国鉄九州地区の年間消費電力量の推移である。駅舎や機関区など諸設備の電灯・電力や信号設備・保安設備の電力など全ての消費電力で⁸⁴⁾、門司SS

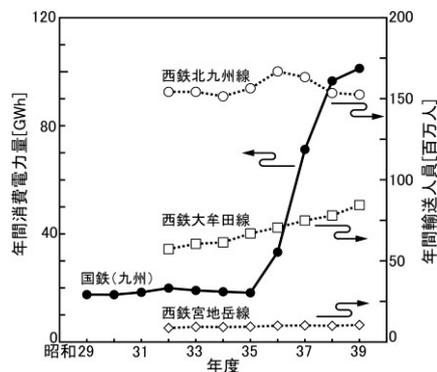


図5 国鉄九州地区の年間消費電力量と西日本鉄道の路線別年間輸送人員の推移

の直流き電用電力と志免鉱業所(昭和39年6月末に閉山)の受電電力も含んでいる。昭和29～35年度の消費電力は横ばいで、6月に421系電車の運転が開始された昭和36年度は前年度比82.6%の増加を示している。電化区間の荒木延伸と快速電車の増発が実施され、ED72形の試験運転が開始された昭和37年度は114.2%増、ED73形の配置により電機牽引列車の運転が本格化した昭和38年度は35.6%増となっている。昭和39年度は、鹿児島本線の動力近代化が一段落したことを反映して、4.8%の伸びに留まっている。因みに、荒木一熊本間は昭和40年9月、日豊本線小倉一^{しんでんぼろ}新田原間は昭和41年10月の電化開業である。

図5の破線は、鹿児島本線門司港一荒木間を並走する西鉄路線の年間輸送人員の推移である^{53,158-162)}。西鉄北九州線の輸送人員は、門司港一久留米間が電化された昭和36年度に一旦上昇し、その後漸減している。八幡製鐵戸畑製造所の設備拡張に起因する通勤者数の増加を、国鉄電車が吸収したと考えられる。一方、西鉄大牟田線の輸送人員は一貫して増加しており、国鉄電化の影響は微塵もない。西鉄は、昭和34年5月に西鉄福岡一大牟田間に特急(最高運転速度90km/h)を制定し、翌35年5月には最高速度を95km/hに引き上げ、西鉄福岡一久留米間の所要時間を35分とした¹⁶³⁾。その後も、国鉄電化に対抗するように福岡駅の高架化や列車の増発・増結などドル箱である大牟田線の強化を継続した。全線単線で輸送密度の低い西鉄宮地岳線は、この時期に輸送人員の大きな変動は見られない。

鹿児島本線電化の火付け役となった筑豊電鉄の新路線は、昭和30年10月に着工し¹⁶⁴⁾、翌昭和31年3月に貞元一筑豊中間^{なつかま}7.3キロが開通した²⁷⁾。架線電圧はDC600Vで、自社車両を持たず西鉄北九州線の路面電車が直接乗り入れた¹⁶⁵⁾。昭和34年9月に筑豊直方まで開業したが、それ以上の延伸はなかった。当時、筑豊炭田ではエネルギー転換による炭鉱の閉山が相次ぎ、経済基盤の喪失により地域の活力が急速に失われていた。産炭地振興を名目に北九州・福岡の両都市圏を高速鉄道で結ぶ壮大なインターアーバン構想は、鹿児島本線の電化と筑豊地方の衰退によって頓挫した。

7.2 第二室戸台風による塩害と塩害害対策

電化直後の昭和36年6月29日、小雨の中、二日市一原田間および雑餉隈駅構内を走行中の3本の421系電車で、屋根上機器の特殊碍子が次々に閉絡し、復旧に3日間を要した¹⁶⁶⁾。

同年9月中旬、超大型の第二室戸台風が日本列島を縦断し、塩分を含む海風が北九州地区に吹き荒れた。9月16日、き電線の懸垂碍子や長幹碍子で相次いで閃絡が発生し、3日間のき電停止と全面的な碍子清掃が行われた^{167,168}。実際の被害は、閃絡発生時に碍子を保護する保安器の焼損や特高側避雷器の破損、吸上変圧器のブッシング(bushing, 碍套)の破損等であった。古賀SSと二日市SSでは、き電用空気遮断器の碍子が破損した。

本台風は、九州電力の電力系統にも大きな被害を与えた。折尾SSに送電する九電上津役SSでは、9月16～22日の5日間に塩害による全停(系統の無加圧状態)が複数回発生し⁸⁶、鹿児島本線のき電停止が長引く原因となった。同変電所は、9月20日に制御電源を喪失して遮断器が操作不能となり、66kV母線がアークに包まれて母線と送電線が溶断し、2時間半に亘る全停を起こしている。

鹿児島本線沿線の北九州工業地帯は、潮風と工場煤煙による絶縁碍子の塩塵害が深刻な重汚損地区で、関門隧道を通過する電気車両の屋根上碍子には漏水による塩害が累加される。昭和36年2月、国鉄はEF10形直流電機の屋根上に、EF30形用の耐塩害用碍子(傘数が多く沿面距離が長いタイプ)や交流電気車両用の碍子を仮設して、塩分付着量や絶縁特性、シリコンコンパウンド(silicone compound)の効果等を調べ始めた¹⁶⁹。シリコンコンパウンド(以下、コンパウンド)は、基油のシリコンオイルに増稠剤のシリカ微粉末を混合したグリース状の碍子塗布剤で、高い絶縁性と撥水性、異物包含性、耐候性、耐コロナ性、耐薬品性を兼ね備えている^{170,171}。

電化後、門司機関区はEF30形の屋根上碍子にコンパウンドを塗布し、1～2ヶ月毎に塗替を行った^{65,172}。ベテラン職員の証言によれば、ED72形等の交流電機は昭和50年頃までコンパウンドの塗布は行なわれなかったという。一方、南福岡電車区では、初期の塩害事故を受けて421系電車の屋根上碍子を沿面距離の長いタイプに交換し、毎日の仕業検査時に1両当たり約2時間かけて碍子洗浄を実施した^{173,174}。しかし、電化3年後の昭和39年には、交直流電車の碍子にコンパウンドを塗布し、2ヶ月または走行4万km毎に塗替を行っている⁶⁵。関門隧道を通過する交直流電車には、EF30形に準じた塩害対策が必要であったと考えられる。ベテラン職員の証言では、電車の増備が続いた南福岡電車区では、合理化の一環として車両整備の効率化と要員削減が求められたという。このことが、仕業検査時の碍子洗浄を止めてコンパウンド塗布に切り換えた最大の要因であったと推察される。

門司電力区では、昭和36年9月上旬に沿線で最も塩塵害の激しい戸畑一光間の電車線用碍子にコンパウンドの試験塗布を行い、直後に襲来した第二室戸台風の被害を免れた¹⁶⁷。しかし、コンパウンドは高価で塗替時にき電停止が必要なため、使用箇所が限定された。よって、塩塵害対策の中心はパイロット碍子による汚損監視と活線注水による碍子清掃であった¹⁷⁵。一方、海岸に近い小倉SSPや箱崎SPでは、全ての碍子類にコンパウンドが塗布された。

8. おわりに

幼い頃、父に連れられ鹿児島本線の踏切に良く出かけた。轟音を立て遠賀川の鉄橋を渡って行く貨物列車が好きだった。当時は蒸気機関車も走っていたが、私が写真をせがむのは決まって赤い電気機関車だった。「赤は交流の印。門司や下関に行けば青や銀

色の機関車が見られる」。そう言いながら父はシャッターを切ってくれた。小学1年のある日、水巻駅から小豆色の通勤電車に乗って下関へ出かけた。途中下車した門司駅では、ステンレスボディの交直両用機関車が忙しく働いていた。再び乗り込んだ電車がホームを離れると、突然車内灯が消えた。「今、交流から直流に切り換えている。すぐに関門トンネルだ」。そう言うと父は腕時計を差し出した。トンネルを抜けるまで何分かかかるか、二人で計ったことを覚えている。

地域の電気技術史に関心を持つ私にとって、聖典とも言える資料が昭和36年発行の「九州周波数統一史」²²である。50Hzと60Hz、2つの周波数に分断された昭和20年代半ばの九州の姿と、電力不足で麻痺状態に陥った工業地帯を救うため、知恵と技術の限りを尽くして周波数統一に邁進した電気技術者たちの熱意が、余すところなく記録されている。同書に収録された周波数変更直後の電力系統図に、九電上津役変電所から伸びる送電線と「国鉄折尾」と記された自家用変電所を見つけた時、1つの考えが頭に浮かんだ。

「北九州5市と周辺地域の周波数変更工事が完了した昭和35年3月は、翌年に鹿児島本線の交流電化を控えた国鉄と九電にとって、ある意味デッドラインではなかったか。もし戦後の周波数統一が無かったら、門司港一久留米間は直流で電化する以外に、電化そのものが先送りとなった可能性が高い。旅客輸送も低迷し、山陽新幹線の博多延伸も大幅に遅れたのではないか」。この取り留めの無い空想が、本報執筆の契機となった。

調べ始めて間もなく、戦後の深刻な電力不足と筑豊炭田の豊富な石炭資源が鹿児島本線電化の障害であったこと、北九州の都市間交通を支配する西鉄の新たなインターアーバン構想が国鉄電化の引き金になったことを知った。地場企業による巨額の電化利用債引受を手土産に、国鉄本社を説得して早期の飛び地電化を実現させた西部支社長・井上正忠氏の手腕にも感銘を受けた。

電化工事では、直流変電所における水銀整流器から電力用シリコン整流器への転換や、新設交流変電所への新型スコット変圧器の導入、中央制御所による集中遠隔制御の採用など、最新のき電設備が投入されたことが分かった。同時期、供給側の九州電力も低品位炭を活用した高効率大規模火力の新設や超高压送電網の構築を急いでいる。北九州電化のアキレス腱であった電力問題は、電気事業者による電源開発と技術革新によって解決したのである。

新型電気車両の開発では、性能向上が著しいシリコンダイオードへの期待や、直接式交流電車実用化の夢、水銀整流器の位相制御にかける執念など、北九州を舞台にした国鉄技術者同士の激しい鏝迫り合いが垣間見える。本命と期待されながら、半導体素子の急速な進歩によって活躍の機会を失った交流整流子機式電車が、展示会で子供たちに囲まれる写真には胸が熱くなった。電化前の北九州に投入され、故障の多さと保守の難しさとで短命に終わった電気式ディーゼル自動車も、スマートな車体と短時効果で沿線住民の電化への期待感を高めたことで、歴史的役割を果たしたと言えよう。

更に、電化完成直後に北九州を襲った大規模な塩害の記録は、交流電化における電車線は特別高圧の送電線であり、交流電気車両は「動く変電所」であることを再認識させてくれた。

電化開業から55年が経過した今、父と通った立屋敷^{たてやしき}の踏切はアングーパスに変わったが、遠賀川の堤防から眺める鹿児島本線には、小倉一博多間を最短41分で結ぶ特急電車の軽快な走り、長

大なコンテナ列車を牽引する交直流機関車の重量感溢れる姿がある。未来を見据えた先人たちの努力によって電化が叶った幹線は、物流と旅客輸送の大動脈として地域社会に恩恵を与え続けている。

9. まとめ

昭和36年の国鉄鹿児島本線門司港—久留米間の交流電化について、電気技術史の観点から解説した。初めに、電化の背景と電化計画の概要を述べた後、戦後の幹線電化計画の中で鹿児島本線が差し置かれた理由と、電化決定までの経緯を紹介した。また、電車化までのつなぎとして導入された電気式気動車や、電化前倒しの決め手となった電化利用債の地元引受について解説した。

電化工事では、国鉄のき電設備と九州電力の電力系統との関係性を調べ、北九州地区における電力事情の改善が電化の推進力となったことを示した。電気車両については、試作機を中心に搭載する主要電気機器の特徴と車両性能、および北九州への配置状況を調べた。最後に、北九州電化の効果と電化直後に一帯を襲った大規模な塩害とその後の対策について解説した。

謝辞

鹿児島本線北九州地区の電化工事に関する資料の収集に御協力頂いた公益財団法人鉄道総合技術研究所 電力技術研究部部長の兎末哲夫氏に感謝致します。電気車両に関する資料の収集とベテラン職員の方々への聞き取りに御尽力頂き、車両の構造と特性について御教示頂いた本校電気工学科OBで日本貨物鉄道株式会社九州支社 小倉車両所所長の中山 昇氏に感謝致します。

参考資料

- 時刻表 昭和35年3月 日本国有鉄道監修, 日本交通公社発行(1960)
- 齋藤雅雄:鹿児島本線電車運転計画, 鉄道ビクトリアル,**11**,No.6 (No.199), 株式会社電気車研究会・鉄道図書刊行会発行(1961)
- 石原達也:鹿児島本線電化工事の概要, 交通技術,**15**,No.7 (No.173), 交通協会発行(1960)
- 昭和35年国勢調査報告 第1巻, 総理府統計局編集, 大蔵省印刷局発行(1961)
- 瀧山 養:北九州電車化の問題, 交通技術,**6**,No.2 (No.55), 交通協会発行(1951)
- 水野正元:輸送雑誌, 国鉄線,**6**,No.1, 交通協会発行(1951)
- 鉄道電化と電気鉄道のあゆみ 創立30周年記念, 鉄道電化協会発行(1978)
- 官報 第4457号, 勅令第970号(1941/11/15)
- 国鉄審議会電化委員会の動向, 交通技術,**3**,No.4 (No.33), 交通協会発行(1949)
- 武田 勇, 伴野輝男:機関車の燃焼及給油, 聯合出版社(1941)
- 石原米彦:国鉄の動力近代化, 燃料協会誌,**39**, No.1 (1960)
- 加島 篤:筑豊炭田の電力史—炭鉱中央発電所の歴史的役割—, 北九州工業高等専門学校研究報告,**45** (2012)
- 太田定治:わが国における低品位炭の発電利用, 日本機械学会誌,**62**, No.483 (1959)
- 経済安定化本部資源委員会は鉄道電化の勧告をする, 電気鉄道,**3**, No.4 (No.11), 鉄道電化協会発行(1949)
- 国会会議録, 第8回国会 衆議院運輸委員会第8号(1950/7/29)
- 九州地方電気事業史, 九州電力株式会社発行(2007)
- 古川清明:新鋭火力の序章—九州電力苅田発電所建設—, 新鋭火力の序章刊行会発行(1981)
- 枝松敏邦, 古川誠一:鉄道電化について, 交通技術,**3**,No.4 (No.33), 交通協会発行(1949)
- 飯田精太郎:九州と中国の鉄道電化と電力, 電気鉄道,**2**,No.2 (No.5), 鉄道電化協会発行(1948)
- 鉄道電化の座談会, 電気鉄道,**2**,No.4 (No.7), 鉄道電化協会発行(1948)
- 加島 篤:電源周波数統一までの北九州重工業地帯の電力事情と戸畑火力発電所の役割, 北九州工業高等専門学校研究報告,**49** (2016)
- 九州周波数統一史, 九州周波数統一協議会発行(1961)
- 関 四郎:鉄道電化の構想, 電気学会雑誌,**66**,No.690-692 (1946)
- 志免鉄業所十年史, 日本国有鉄道志免鉄業所発行(1956)
- 絵葉書「開業一周年記念明治四十四年六月 砂津車庫」, 九州電気軌道株式会社発行

- 野中春三:北九州の交通事情, 新都市,**7**,No.2, 都市計画協会発行(1953)
- 西日本鉄道七十年史, 西日本鉄道株式会社発行(1978)
- 大島末彦:北九州の交通と西日本鐵道の計画, 交通技術,**6**,No.4 (No.57), 交通協会発行(1951)
- 大島末彦:筑豊電気鐵道建設計画について, 新都市,**7**,No.2, 都市計画協会発行(1953)
- 交通年鑑 昭和二六年版, 交通協会発行(1951)
- 石井英一:北九州の国鉄電化について, 新都市,**7**,No.2, 都市計画協会発行(1953)
- 交通年鑑 昭和二七年版, 交通協会発行(1952)
- 上原和国:中国地方における国鉄電化と電力供給対策について, 電気鉄道,**13**,No.10 (No.137), 鉄道電化協会発行(1959)
- 中国地方電源開発の現況と問題点, 生産と電気,**5**,No.3, 日本電気協会発行(1953)
- 中国地方電気事業史, 中国電力株式会社発行(1974)
- 加藤:ディーゼル動車の完成, 交通技術,**8**,No.4 (No.80), 交通協会発行(1953)
- 鉄道の話題「門司港—久留米間に5月からディーゼーカー運転」, 鉄道ビクトリアル,**3**,No.4 (No.21), 株式会社電気車研究会・鉄道図書刊行会発行(1953)
- 林 正造:戦後の国鉄ディーゼル動車(続), 鉄道ビクトリアル,**3**,No.4 (No.21), 株式会社電気車研究会・鉄道図書刊行会発行(1953)
- 内村守男:国鉄ディーゼル動車の概況, 交通技術,**9**,No.9 (No.97), 交通協会発行(1954)
- 笹田:内燃動車の電気式動力傳達方法に付て(摘録), 機械學會誌,**36**, No.193 (1933)
- 北島顯正:ディーゼル動車の動力装置に関する諸問題, 交通技術,**8**, No.10 (No.86), 交通協会発行(1953)
- 480馬力電気式ディーゼル動車説明書 キハ43000形 キサハ43500形, 鐵道省工作局編纂(1938)
- 「遠賀川鉄橋にひびく喜びの鉄輪」(毎日新聞西部夕刊 1953/7/3)
- 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)
- 「電動車一週間の採点表 延着や故障が続出」(新九州新聞 1957/5/9)
- 山田秀三:国鉄動車概観, 鉄道ビクトリアル,**7**,No.8 (No.73), 株式会社電気車研究会・鉄道図書刊行会発行(1957)
- 時間表 中国九州篇(附航路自動車)昭和28年6月15日改訂号, 鉄道弘済會発行(1953)
- 交通年鑑 昭和31年版, 交通協会発行(1956)
- 野村慶昌:北九州レポート, 国鉄線,**11**,No.6 (No.85), 交通協会発行(1956)
- 川添雄司:交流電気車両要論, 株式会社電気車研究会発行(1971)
- 交通年鑑 昭和32年版, 交通協会発行(1957)
- 石原米彦:山陽・鹿児島本線の電化方式について, 交通技術,**13**,No.10 (No.150), 交通協会発行(1958)
- 交通年鑑 昭和34年版, 交通協会発行(1959)
- 呉 文雄:鹿児島線の電化工事について, 電気鉄道,**13**,No.2 (No.129), 鉄道電化協会発行(1959)
- 座談会「支社長新春放談」, 国鉄線,**14**,No.1 (No.116), 日本国有鉄道発行(1959)
- 電化工事記録 鹿児島本線門司港—久留米間電化 山陽本線小郡—下関間電化, 日本国有鉄道門司電気工事局発行(1964)
- 西部瓦斯株式会社史, 西部瓦斯株式会社発行(1982)
- 停車場変遷大事典 国鉄・JR編 II, JTB発行(1998)
- 春山一郎:新しい八幡駅本屋, 交通技術,**10**,No.9 (No.110), 交通協会発行(1955)
- 八幡製鐵所八十年史 資料編, 新日本製鐵株式会社八幡製鐵所(1980)
- 豊野 令:九州の駅, 私家版(1965)
- 関門トンネル電気関係25年史, 門司鉄道監理局電気部(1967)
- パンフレット「九州電化 門司港—久留米間」, 日本国有鉄道西部支社発行(1961)
- 門司 恵:門司機関区 交流電化 九州の北の守り, 鉄道ジャーナル,**14**,NO.8 (No.162), 鉄道ジャーナル社発行(1980)
- 座談会—北九州の交流電化3か年をかえりみて, 電気鉄道,**18**,No.12 (No.199), 鉄道電化協会発行(1964)
- 九州電化草分けのために, 交通技術,**14**,No.12 (No.165), 交通協会発行(1959)
- 鹿児島本線交流電化起工式行わる, 国鉄線,**13**,No.11 (No.114), 交通協会発行(1958)
- 日本国有鉄道百年史(年表), 日本国有鉄道発行(1972)
- 月間の動き 遠賀川橋梁全面使用開始, 交通技術,**21**,No.2 (No.246), 交通協会発行(1966)
- 石原達也:門司電気工事局と鹿児島線電化工事, 電気鉄道,**15**,No.1 (No.152), 鉄道電化協会発行(1961)
- 博多駅85年のあゆみ, 博多駅85年史編纂委員会編, 博多駅発行(1977)
- 鹿児島本線城山隧道の完成, 交通技術,**15**,No.8 (No.175), 交通協会発行(1960)
- 小野田 滋, 板井幸市, 鶴 英樹:わが国における鉄道トンネルの沿革と現状 (第5報) 旧・九州鉄道をめぐって, 土木史研究,**15**, 土木学会発行(1995)
- 平松和雄:九州の国鉄電化略史, 鉄道ビクトリアル,**19**,No.6 (No.225), 株式会社電気車研究会・鉄道図書刊行会発行(1976)
- 丹沢貞吾:関門電化と運転従業員の養成, 鉄道ビクトリアル,**26**,No.9 (No.324), 株式会社電気車研究会・鉄道図書刊行会発行(1976)
- 大木掀爾:北九州国鉄変電所集中遠方制御装置, 三菱電機,**35**,No.3, 三菱電機株式会社発行(1961)
- 関門隧道, 運輸省下関地方施設部編纂, 土木学会発行(1949)

- 78) 整流装置—シリコン整流器—, 富士時報, **34**, No.1, 富士電機株式会社発行(1961)
- 79) 毛利銓一, 小川卓三: 最新電気工学全集 シリコン整流器, 電気書院(1964)
- 80) 矢野昌男, 打田良平: わが国におけるパワーエレクトロニクスの歴史, 電気学会論文誌A, **121**, No.1(2001)
- 81) 加藤又彦, 横島洋志, 奥村儀一: 電気鉄道用シリコン整流器, 三菱電機, **33**, No.8, 三菱電機株式会社発行(1959)
- 82) き電・変電技術変遷史, 日本鉄道技術協会発行(2012)
- 83) 能木貞治, 南角英男, 森岡昭二, 小滝喜久二: 北九州国鉄交流電化用変電設備, 三菱電機, **35**, No.3, 三菱電機株式会社発行(1961)
- 84) 九州電力20年のあゆみ, 九州電力株式会社発行(1971)
- 85) 中国地方電気事業史, 中国電力株式会社発行(1974)
- 86) 八幡電力所史, 九州電力八幡電力所発行(2000)
- 87) 西日本共同火力社史, 西日本共同火力株式会社発行(1972)
- 88) 日本発送電社史—技術篇—, 日本発送電株式会社解散記念事業委員会発行(1954)
- 89) 電発30年史, 電源開発株式会社発行(1984)
- 90) 躍進九軌の回顧, 九州電氣軌道株式会社発行(1935)
- 91) 九州水力電氣株式会社二十年沿革史, 九州水力電氣株式会社発行(1933)
- 92) 九電鐵二十六年史, 東邦電力株式会社発行(1923)
- 93) 戸畑発電所史, 九州電力株式会社戸畑発電所(1964)
- 94) 三菱鉱業社史, 三菱セメント株式会社発行(1976)
- 95) 第36回電気事業要覧 設備編, 通商産業省公益事業局編纂, 日本電氣協会発行(1954)
- 96) 関東の電気事業と東京電力, 東京電力株式会社発行(2002)
- 97) 江口俊夫: 勿来発電所の設備と運転状況, 燃料協会誌, **38**, No.11(1959)
- 98) 中野昌幸: 鹿児島本線—電化の概要について, JREA, **2**, No.1, 日本鉄道技術協会発行(1959)
- 99) 杉田 肇: EF10・11・12・14形30年の動き, 鉄道ビクトリアル, **15**, No.12(No.178), 株式会社電氣車研究会・鉄道図書刊行会発行(1965)
- 100) 東西で伸びる電化開通, 鉄道ビクトリアル, **11**, No.7(No.120), 株式会社電氣車研究会・鉄道図書刊行会発行(1961)
- 101) 絵葉書「421系交流電化車 ざっしよのくま(福岡)昭和36年8月」, 発行所不明
- 102) 福原俊一: 401・403・421系電化車 車両のあゆみ, 鉄道ビクトリアル, **85**, No.9(No.453), 株式会社電氣車研究会・鉄道図書刊行会(1985)
- 103) 河井貞治, 東条準之助, 川上直衛, 伊沢省二, 織田沢信昭: 交流および交直両用電化用電氣品, 日立評論 別冊, No.40(1961)
- 104) 相田茂夫: 北九州用交直電化車, 三菱電機, **35**, No.3, 三菱電機株式会社発行(1961)
- 105) 大橋謙藏: 東芝合成絶縁油“シバノール”について, 東芝レビュー, **10**, No.1, 東京芝浦電氣発行(1955)
- 106) 上野勝輝: きでん室—PCBについて, 電気鉄道, **26**, No.8(No.291), 鉄道電化協会発行(1972)
- 107) 南角英男, 神谷友清: 三菱不燃性合成油“ダイヤクロー”とそれを用いた変成器および蓄電器, 三菱電機, **30**, No.3, 三菱電機株式会社発行(1956)
- 108) Thomas J. Blalock “Transformers at Pittsfield: A history of the General Electric large power transformer plant at Pittsfield, Massachusetts”, 非製本(1998)
- 109) 石川 潔, 大橋謙藏: シバノール蓄電器の特性, 電気學會雑誌 **62**, No.648(1942)
- 110) 鳳 誠三郎: 新しい絶縁材料, OHM文庫1, オーム社(1952)
- 111) 最新 交流電化車 関西鉄道学園編(改訂第5版), 交友社(1971)
- 112) 福原俊一: 415系物語 近郊形交流電化車の完成版(キャンブックス), JTBパブリッシング(2015)
- 113) 清水達夫: 交流電化車用シリコン整流器, 富士時報, **34**, No.5, 富士電機株式会社発行(1961)
- 114) 最近のドイツ技術 シーメンスの電力用シリコン整流器, 富士時報, **31**, No.6, 富士電機株式会社発行(1958)
- 115) 清水潤治, 中田伏祐: 電力用シリコン整流器, 三菱電機, **33**, No.8, 三菱電機株式会社発行(1959)
- 116) 近藤喜久雄, 草鹿豊太郎: 日立電力用シリコン整流素子, 日立評論, **43**, No.3, 株式会社日立製作所発行(1961)
- 117) 芦沢元芳, 桜井千春, 渡辺 亮, 伊藤 司, 林 圭一, 菅 功夫, 久野弘, 渡辺淳一: シリコン整流器式交直両用電化車, 東芝レビュー, **16**, No.1, 東京芝浦電氣株式会社発行(1961)
- 118) 時刻表 昭和36年10月 日本国有鉄道監修, 日本交通公社発行(1961)
- 119) 大塚 孝: 421・423系電化車 運転のあゆみ, 鉄道ビクトリアル, **85**, No.9(No.453), 株式会社電氣車研究会・鉄道図書刊行会(1985)
- 120) 試作直接型交流電化車モヤ94000号, 交通技術, **14**, No.5(No.158), 交通協会の発行(1959)
- 121) コラムさんだんまど「クモハ」, 国鉄線, **14**, No.8(No.123), 交通協会の発行(1959)
- 122) 国松賢四郎: 鹿児島線電化工事の問題点, 交通技術, **13**, No.12(No.152), 交通協会の発行(1958)
- 123) 入江則公: 交流専用電化車(単相交流整流子電動機形), 交通技術, **14**, No.2(No.155), 交通協会の発行(1959)
- 124) 伊藤幸成, 山根 清, 杉本 健, 菅 功夫: 整流子電動機式交流電化車, 東芝レビュー, **14**, No.10, 東京芝浦電氣株式会社発行(1959)
- 125) 寺戸浩二: 試作直接型交流電化車, 電気鉄道, **14**, No.5(No.158), 鉄道電化協会発行(1959)
- 126) 直接型交流専用電化車性能試験, 交通技術, **14**, No.6(No.159), 交通協会の発行(1959)
- 127) 龍 雅之輔: 九州の鉄道 汽車・電車この20年, 私家版(1981)
- 128) TT生: 門司港駅(あの駅・この駅15), 鉄道ビクトリアル, **7**, No.4(No.69), 株式会社電氣車研究会・鉄道図書刊行会発行(1957)
- 129) 竹島紀元: 博多駅(あの駅・この駅11), 鉄道ビクトリアル, **6**, No.11(No.64), 株式会社電氣車研究会・鉄道図書刊行会発行(1956)
- 130) 村上 勉: 福岡電車区, 鉄道ビクトリアル, **11**, No.6(No.199), 株式会社電氣車研究会・鉄道図書刊行会発行(1961)
- 131) ATC装置総合試験行われる, 交通技術, **17**, No.8(No.200), 交通協会の発行(1962)
- 132) 浅原信彦: ガイドブック 最盛期の国鉄車輛12 交流電化機関車3 交流電化機関車(ネコ・パブリッシング, 2016)
- 133) 機関車履歴簿EF30 1 日本国有鉄道
- 134) 浅越泰男, 小原太郎, 相田茂夫, 菅 寿郎, 横島洋志: 関門ずい道用EF301形交直両用電化機関車, 三菱電機, **34**, No.10, 三菱電機株式会社発行(1960)
- 135) 小原太郎, 横島洋志: シリコン式交直電化車, 三菱電機, **34**, No.10, 三菱電機株式会社発行(1960)
- 136) 真野健次: 交直両用電化車について, 電気鉄道, **15**, No.1(No.152), 鉄道電化協会発行(1961)
- 137) 真宅正博: 量産EF30形交流電化機関車, 電気鉄道, **15**, No.10(No.161), 鉄道電化協会発行(1961)
- 138) 機関車履歴簿EF30 2 日本国有鉄道
- 139) 最近10年の国鉄車両, 日本国有鉄道 工作局・臨時車両設計事務所編(交友社, 1963)
- 140) 福岡直治, 沢野周一: 電車と電化機関車(岩波書店, 1964)
- 141) 久保田 博: 北九州電化用電化機関車の性能・形式をめぐって, 交通技術, **15**, No.7(No.173), 交通協会の発行(1960)
- 142) 杉本 健, 山根 清, 早川庄三, 河野 明, 松隈道雄, 難波江章: ED72形交流電化機関車(1), 東芝レビュー, **17**, No.4, 東京芝浦電氣発行(1962)
- 143) 杉本 健, 山根 清, 早川庄三, 河野 明, 松隈道雄, 難波江章: ED72形交流電化機関車(2), 東芝レビュー, **17**, No.5, 東京芝浦電氣発行(1962)
- 144) 杉本 健, 香川正明, 内田曙男, 渡部治作, 難波江章, 小島四夫: ED71形イグナイト式交流電化機関車, 東芝レビュー, **14**, No.11, 東京芝浦電氣発行(1959)
- 145) 後藤文雄: 電機概論 第6版(丸善, 1975)
- 146) 機関車履歴簿ED72 1 日本国有鉄道
- 147) 門司機関区年表, 門司機関区作成(作成年不明)
- 148) 機関車履歴簿ED72 2 日本国有鉄道
- 149) 機関車履歴簿ED72 3 日本国有鉄道
- 150) 杉本 健, 齋藤貞喜, 芦沢元芳, 遠藤和男: ED72形(量産形)交流電化機関車, 東芝レビュー, **18**, No.4, 東京芝浦電氣発行(1963)
- 151) 機関車履歴簿ED73 1 日本国有鉄道
- 152) 杉本 健, 樫田計三, 松隈道雄: ED73形交流電化機関車—最高粘着性能の交流電化機関車, 東芝レビュー, **18**, No.6, 東京芝浦電氣発行(1963)
- 153) 歩みつづけて百年, 九州旅客鉄道株式会社小倉工場発行(1991)
- 154) 日野尚志: 鹿児島本線(門司港—久留米間)電化による通勤交通の変化について, 地理科学, **3**, 地理科学学会発行(1964)
- 155) 日野尚志: 北九州・福岡二大都市の中間地域としての宗像町の変貌について, 地理科学, **9**, 地理科学学会発行(1968)
- 156) 鹿児島本線 電化設備保守についての座談会(その2), 電気鉄道, **15**, No.11(No.162), 鉄道電化協会発行(1961)
- 157) 大時刻表 昭和39年10月, 弘済出版社発行(1964)
- 158) 交通年鑑 昭和35年版, 交通協会の発行(1960)
- 159) 交通年鑑 昭和36年版, 交通協会の発行(1961)
- 160) 交通年鑑 昭和37年版, 交通協会の発行(1962)
- 161) 交通年鑑 昭和38年版, 交通協会の発行(1963)
- 162) 古沢洋一郎: 西日本鉄道の輸送, 鉄道ビクトリアル, **24**, No.5(No.292), 株式会社電氣車研究会・鉄道図書刊行会発行(1974)
- 163) 吉富 実: 西鉄大牟田線急行列車の変遷, 鉄道ビクトリアル, **24**, No.5(No.292), 株式会社電氣車研究会・鉄道図書刊行会発行(1974)
- 164) 富田恵吉: 機械化工による筑豊電鉄建設工事, 交通技術, **12**, No.5(No.132), 交通協会の発行(1957)
- 165) 北 豊生: 筑豊電鉄—西鉄電車が走る所—, 鉄道ファン, **7**, No.7(No.73)(交友社, 1967)
- 166) 北九州交流電化区間の碍子塩害, 交通技術, **17**, No.8(No.200), 交通協会の発行(1962)
- 167) 寺田瑞夫: 第2室戸台風による北九州地区に於ける電化設備の塩害, 電気鉄道, **15**, No.12(No.163), 鉄道電化協会発行(1959)
- 168) 座談会「鹿児島本線電化設備の塩じん害対策」について, 電気鉄道, **17**, No.6(No.181), 鉄道電化協会発行(1963)
- 169) 交流電化車の塩害試験, 交通技術, **16**, No.9(No.188), 交通協会の発行(1961)
- 170) 船山一郎: シリコンコンパウンドによるがいし類の絶縁低下防止, 電気鉄道, **15**, No.12(No.163), 鉄道電化協会発行(1961)
- 171) 山本充義, 丸山英夫: がいし類の塩じん害防止用シリコンコンパウンド, 東芝レビュー, **16**, No.12, 東京芝浦電氣株式会社発行(1961)
- 172) 中村康春: 門司機関区における電化機関車の屋上がいしの絶縁管理について, 電気鉄道, **22**, No.6(No.241), 鉄道電化協会発行(1968)
- 173) 松縄 淳: 北九州用交直両用電化車(421系)の塩害・塵害事故について, 電気鉄道, **15**, No.10(No.161), 鉄道電化協会発行(1961)
- 174) 鹿児島本線 電化設備保守についての座談会(その1), 電気鉄道, **15**, No.10(No.161), 鉄道電化協会発行(1961)
- 175) 辻村敏夫: 門鉄における塩・塵害, 台風対策について, 電気鉄道, **22**, No.12(No.247), 鉄道電化協会発行(1968)

(2016年11月7日 受理)