

日本におけるパンタグラフの歴史と東洋電機

A History of Pantographs Viewed with Products Designed by Toyo Denki Seizo K.K. Part I

The debut of a pantograph in Japan was at the time when the electrified traffic service from Tokyo to Yokohama was started in 1914. In those days, not only pantographs but also vehicles had been imported. Four years after, in 1918, Toyo Denki Seizo K.K.(Toyo Denki) was founded to domestically production of electrical equipments for railway vehicles and the first pantograph; type A, made in Japan were delivered to Hanshin Express Railway Co. in 1921

Since then, Toyo Denki has kept high share of the pantograph market as a representative and symbolic railway products and always endeavored to improve them up to the latest single-armed pantograph for aerodynamic noise suppression of Shinkansen. Here, a history of current collector included major change in pantograph technology is described in serial form through design and improvement in Toyo Denki.

The part I article describes the history of pantograph until 1945.

小野寺 正之 新井 博之
Masayuki Onodera Hiroyuki Arai

1. まえがき

日本においてパンタグラフが初めて使用されたのは 1914 年(大正 3 年)であり, その 4 年後の 1918 年(大正 7 年), 電気車の国産化を目指して東洋電機製造株式会社が創立された。そして創業の 3 年後, 国産パンタグラフ第 1 号を製作, 爾来今日に至るまで一貫してパンタグラフの開発, 製造に携わり, 日本の電気鉄道の発展に寄与してきた。

パンタグラフは一見何の変りも無い形状に見受けられるが, ガタゴト走った時代から, 今日の時速 300km で走る時代に至るまでの性能の発展は大きい。むしろ単純な形状・構造ゆえの苦労と工夫がこの細いパイプの機構に詰められているとも言えよう。

パンタグラフは電車のシンボルであり, また東洋電機のシンボルでもある。

新世紀の初頭に当たり, パンタグラフに関して我々が先輩から引き継いだ資料, 文献を紐解いて, 東洋電機製のパンタグラフについてその歴史を辿ってみようと思う。またこれが日本のパンタグラフの歴史そのものと言っても過言ではないと考える。

前世紀には, 第二次世界大戦という人類の進歩に逆行する時代があり, パンタグラフの設計, 製造においても惨めな影を残している。もっとも, 東洋電機の創立は, 第一次大戦による欧米からの輸入中断が一つの契機とはなったが...

しかし, 戦後の電気鉄道の復興, 発展はすばやく, 高速化をめざし走り出した。その結果, 世界をリードした高速鉄道「新幹線」を生み出したが, 東洋電機のパンタグラフも時代時代のニーズに応え製品開発を行ってきた。

パンタグラフも, 単に集電すればよかった時代から, 環境, 信頼性を加えた高度技術の時代へと変わり, 今日では低騒音パンタグラフとして 1 本枠のパンタグラフが新幹線に供されている。

本連載では, 次のとおり 3 回に分けてパンタグラフの歴史を紹介する予定である。

第一回 トロリポールから始まりパンタグラフが普及した終戦までの状況。

第二回 戦後, 新幹線用パンタグラフの開発を中心に車両の高速化に対応していった状況。

第三回 シングルアーム形パンタグラフの登場から現在にいたる状況。

2. パンタグラフ以前の集電装置

電気車は外部に設置された電車線(架線)から集電装置で電気を受けているが, パンタグラフ以前の集電装置にさかのぼり, その歴史を眺めてみる。

1872 年(明治 5 年), 日本に陸蒸気鉄道が開業してから 18 年後の 1890 年(明治 23 年), 最初の電気鉄道が登場した。これは上野公園で行われた第 3 回内国勧業博覧会でデモンストラクション走行したもので, アメリカ製の電車であった。その時に搭載された集電装置はトロリポールで, 架線電圧は直流 500V とされている。

また, 営業用電車として初めて登場したのは京都電気鉄道の電車で, 1895 年(明治 28 年)である。これは第 4 回内国勧業博覧会を機会に, 京都駅 伏見間の軌道で営業を開始した。その後数年の間に名古屋, 大師, 小田原など地方に電車がブームのように急速に取り入れられている。東京, 大阪は少し遅れ, 1903 年(明治 36 年)の走行となっている。

トロリポールも最初は 1 本の搭載であったが, 帰線電流が地下に埋められた水道管等に電食発生の問題を起し, 帰線の架線を設けトロリポールをもう 1 本追加, 即ち 2 本架線と 2 本のポールを搭載した電車でも走るようになった。さらにその後, 帰線方式が改善されレールを通すことで問題が無くなり, もとの 1 本のトロリポールに戻るという遍歴がある。

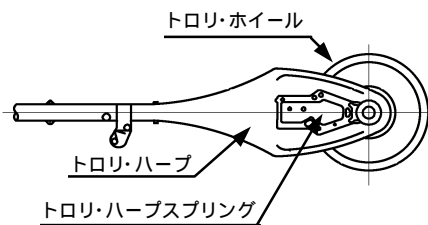


図1 トロリポール搭載の電車
Fig.1 Electric car with trolley poles

図1に当時の電車とトロリポールを示す。

トロリポールの特徴は架線までの距離が大きいことであろう。従って架線の高さや左右変位が大きくできる。大きな欠点としては、転がり接触であるため速度増大とともに集電能力が低下すること、さらに架線からトロリポールがはずれやすく、低速走行しかできないことである。

また、なびき方向にしか走れないため、終点では1本ポールの場合引き紐で電車の周りを引き回して方向変換するか、方向別にそれぞれのポールを備えた場合は、前方側を下げ、後方側を上げるという作業が必要であった。



(a) ホイール式 (Wheel type)



(b) 摺動式 (Slider type)

図2 トロリポール先端の構造
Fig.2 Detail of the top end of trolley pole

トロリポールは今では日本の電車では見られないが、海外では現在も使用されているところがある。戦後トロリバスが市内を走りまわった時期があるが、これも路上の架線を高く張れるという上記のポールの特徴を利用したものである。

構造的には図2(a), (b)に示すが、架線と接する部分がホ

イール式と摺動式がある。ホイールは銅合金で中央に溝がきってあり、この溝が架線にはまり回転するガイドの役目と接触集電の役目をしている。摺動式はトロリバスなどに使用されたもので、先端に首振り機構があり、溝付きの固定摺動板(すり板)がガイドの役目をしながら集電する方式である。押し力はポール根元のバネが使われ、下げる場合はポール上部の引き紐を引っ張ることで操作される。残念ながら全景の写真はないが、東洋電機のトロリポールのベース台(K S形)の写真を図3に掲げた。ご理解いただけよう。ちなみに、国内初のトロリバスは、1932年(昭和7年)、English Electric (E E)社との技術提携により東洋電機が製造し京都市に6両納入したもので、四条大宮 - 西大路四条間 1.6km で運行された。¹⁾ トロリバスが普及するのは戦後になってからであった。



図3 トロリポールの台
Fig.3 Stand of trolley pole

架線が1本に戻ったことにより、次のビューゲル、パンタグラフが登場する準備ができたことになるが、まずビューゲル(図4 東洋A形)について紹介しよう。

ビューゲルはすでに1902年(明治35年)に、輸入電車(当時の江之島電鉄、伊勢電気鉄道)に付いていたもので登場したが、問題があったためかその後トロリポールに変更されている。しかし、架線との摺動部分の幅が大きく、この範囲の左右動は許されるようになり、トロリポールのような架線外れの問題はなくなった。押し力はヘリカルばねかトーションばねを用い降下はトロリポールと同じく引き紐式である。

走行方向はやはりなびき方向のみであるが、終点での方向転換はこの部分の架線張力をゆるめにし、引き紐を引っ張って電車を逆方向に動かすと、架線を押し上げて自動反転した。



図4 東洋A形ビューゲル
Fig.4 Toyo type A bügel

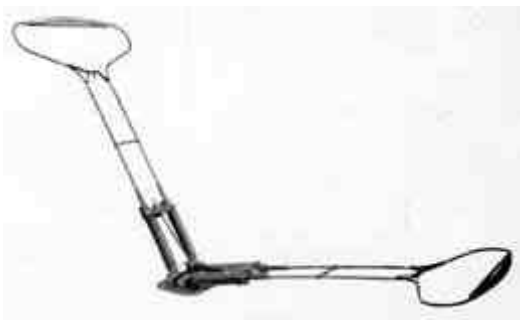


図5 C形2方向ビューゲル
Fig.5 Type C twined bûgel

また2台のビューゲルを並べ、走行方向によって使い分けられた2方向のビューゲル(C2形)もあり図5に示す。ポールに比べれば大きな進歩があったといえるが、追従性は不十分で、速度の速い電車には適さず使用されたのは路面電車までである。

東洋電機のトロリポール、ビューゲルは1924年(大正13年)オハイオブラス社製を参考に設計改良を行い製造を始めている。ビューゲルはその後多く路面電車に搭載されるようになった。戦後になってから路面電車には、横から見た形が「く」の字形でそのまま両方向に走行可能なビューゲルの改良タイプ(Zパンタとも呼ばれた)が多く採用された。現役で使用されている古い路面電車に搭載されているのは、ほとんどこのZパンタである。このZパンタは1955年(昭和30年)泰平電鉄機械(現泰平電機,東洋電機グループ)によって開発されたもので、これについては次回に述べることにする。

3. パンタグラフの特性と機構の概要

パンタグラフの発展・改良の経緯を理解して頂くために蛇足ながら、その特性、名称等をあらかじめ説明しておきたい。

パンタグラフの主な形状には、図6に示すとおり菱形(ダイヤモンド形)、下枠交叉形、シングルアーム形がある。その代表例として、菱形パンタグラフの機構図を図7に示す。他の形式についても、機構の名称、構造はこれから類推できよう。

集電装置を最近では「パンタグラフ」と呼び表わすことが多くなっているが、集電装置の一つの方式である。この用語は本来、図形を拡大縮小する写図機器を意味し、この機構に似ていることに由来する。

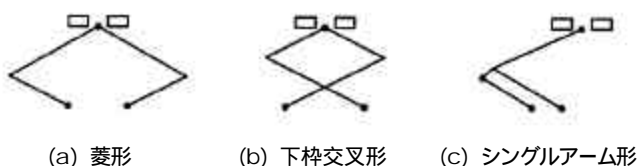


図6 パンタグラフの主な形状
Fig.6 Typical shapes of pantograph

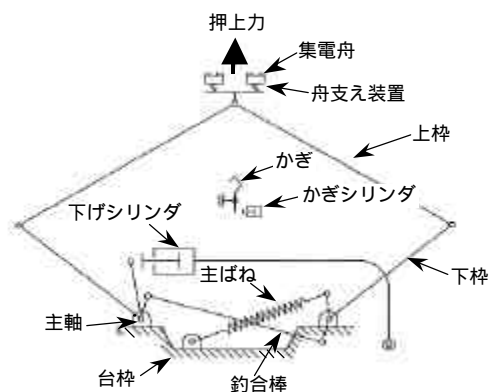


図7 パンタグラフの機構
Fig.7 Mechanism of pantograph

まずパンタグラフの主な特性は以下の二つである。

1) 追従特性

これは架線の上下変位や摺動面の凹凸に対し、離線せずに接するためのパンタグラフの上下運動特性である。架線の構造には、在来線に多く使用されているシンプルカテナリ架線、新幹線のコンパウンドカテナリ架線などがある。パンタグラフの押上力が一定であっても、架線の押し上げ量(架線梁の曲げ剛性)は、架線を支持している支柱位置と支柱間の中央位置とで異なるため、パンタグラフは上下振動をする。

列車速度が増大するにつれてパンタグラフの追従できる振動には限界が現れる。この限界をできるだけ高くするにはパンタグラフにも架線構造にも技術的工夫が必要とされる。

2) 押上力特性

架線に接するための押上力は、パンタグラフの高さにかかわらずほぼ一定であることが要求される。これは架線の高さが変わっても常に安定した集電性能を得るために必要な特性である。また、摺動によるトロリ線(パンタグラフと直接摺動する電線)の摩耗をどの位置でも同じにする意味もある。停車中の押上力は、在来線では4.5~6kgfの間、新幹線では5.5kgfに設定されている。

走行中は走行風により揚力が押し上げ力に影響し、高速車両ではこれが大きな問題の一つとなるが、この話は次々号パートで触れる。

次に、機構の名称とその作用についてについて述べる。

まずパンタグラフの機構を示す図7にならい説明する。

集電舟(舟とも言う) 最上部の架線と接触する部分を言う。この上面には架線と直接摺動集電するすり板がある。すり板は電気的特性(固有抵抗など)だけでなくそれ自体の摩耗とトロリ線側の摩耗をできるだけ軽減する材料が使用される(すり板については、本誌 No.106, 2000-7,p10 参照)。²⁾ 集電舟はこれを裏返すと小舟のような形状であることからそう呼ばれている。最近では舟に見えない形状でもパンタグラフの部品名称として使用している。

舟支え装置 集電舟の下には舟支え装置があり、集電舟の平衡を保ったり、上下動に追従するための働きをする。追従性に影響する部分であり、いろいろと改良される。

枠組 パンタグラフ本体ともいべきヒンジを含む上下の枠をいう。上側を上枠、下側を下枠と呼ぶ。

釣合棒 上枠と下枠だけでは、パンタグラフは前後方向に倒れて自立しない。この釣合棒があることで、集電舟が垂直に上下することができる。通常はあまり目につかない。

ばね パンタグラフを上昇させる力を与える。

下げシリンダ装置 パンタグラフを下降し折畳む装置で、空気圧ピストンではね力に逆らって押し下げる。

かぎ装置 パンタグラフを折り畳み状態に保持する装置である。かぎ装置が無く、紐で引き止めていたものもある。パンタグラフを上昇させる時はこのかぎを外す。かぎを外す方法には空気式と電磁式がある。

台枠 パンタグラフ全体を設置する台で軽量化のため鉄のチャンネル材、アングル材、角パイプ材等を使用している。また、台枠の下に電気絶縁碍子を入れ車体屋根上との間を絶縁している。

4. パンタグラフの登場

トロリポールで走っていた電車にパンタグラフが登場したのは、1914年(大正3年)、東京駅開業と合わせた東京 - 横浜(現在の桜木町)間の運転開業時であった。それまでは一部の区間をトロリポールで運転していたが、線路を延長し速度を上げるために、架線から外れる心配の無い構造のパンタグラフが採用された。この時代は全て外国の技術、製品に頼っていた時代であり、この時のパンタグラフはアメリカのGE社製の菱形である。しかし、実際には営業前日の開通式典の走行で架線からパンタグラフが外れる事故があり、原因は路面の悪さによる車体の動揺、架線構造の悪さ、そしてパンタグラフの悪さが重なり発生したとされている。³⁾ 当時の理由としては工事を急いだため云々とあるが、まだ経験も浅く、日本の技術・技量が不十分であったためであろう。そして、蒸気運転で代行しながら、道床・路盤・架線などの補修に5ヶ月を要し、翌年5月にやっと電車運行再開となった。

この事故の発端になったパンタグラフは我が国で使った最初のパンタグラフであり、トロリ線との接触部は長いローラであったが、修復に当たってはローラを廃止し板状のものに改善された。これによりパンタグラフの頭部が軽くなり、パンタグラフ自体の揺れも少なくなったことは確かである。このローラパンタグラフの図面、写真を探したが、図8のような遠景のものしかない。(国鉄百年史、100年の国鉄車両、掲載写真)

その後パンタグラフは米国のGE、Westinghouse、スイスのBrown Boveri、また英国のE.Eなど各社から電車ごと輸入され、日本の集電装置はパンタグラフ時代になる。これにはもう一つの事情があった。上述の京浜線に始まった長編成電車運転は、1919年(大正8年)山手、中央線にも波及した。

ところが、それまでの螺旋連結器は起動停止のたびに動揺が激しく、自動連結器が計画されたが、連結面間隔が短くな

るために前後の車両の折畳んだトロリポール同士が接触する。そこでパンタグラフへの切り替えが急務となったのである。かくして1920年(大正9年)からパンタ化と自動連結器化が進められ、1922年(大正11年)にすべての改修が完了した。

5. 国産パンタグラフの誕生から終戦まで

東洋電機の創業3年後、即ち1921年(大正10年)、それまで輸入に頼っていたパンタグラフを、自社で製造し21台を阪神急行電鉄に納入した。これが東洋電機におけるパンタグラフ第一号であり、かつ国産最初のパンタグラフの誕生と言われている。(ちなみに、東洋電機の最初の出荷製品は京阪電鉄納入の電動機用直接制御器である)

このパンタグラフはA形と命名され、形状は菱形であり、上昇はばね力、下降の操作力は空気で行う方式で、質量400kgと記されている。しかし設計図面はアメリカのGE社によるもので、インチ寸法図であった。残念ながらこのパンタグラフの写真はない。

翌年春には、A形を小形に改造し、ばね上昇、引き紐による下降操作(折畳み)と簡易型にして、B形とした。図9に写真を掲げた。

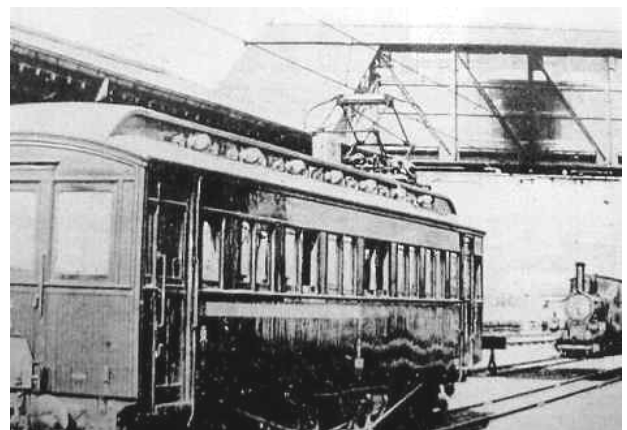


図8 ローラパンタグラフを搭載した電気車
Fig.8 Electric car with contact roller type pantograph



図9 B形パンタグラフ
Fig.9 Type B pantograph

主ばねは4本で、下降用の下げ装置はなくなり紐は見えないが機構から見て紐での操作である。

舟体の両端のホーンは軽量にするため打抜いた穴が見える。また両端は上側に折り曲げられている。これは当時架線外れの場合、架線がパンタグラフの下に潜り込まないように、この部分で支えたものかと想像される。何枚かの写真から見るとすり板は1枚の板を図10のように折り曲げて作っていた。その後、現在のような短冊形のすり板になった。材料は銅板である。

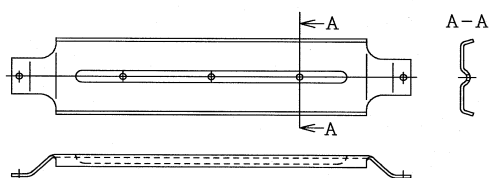


図10 B形パンタグラフのすり板
Fig.10 Slider of type B pantograph

枠組は、図9にみられるように、上枠はともかく下枠の横剛性が弱そうである。しかし、D形から上枠と同じようにたすき状パイプで強度改良をしている。主ばねは4本で左右の下枠の主軸から出たてこ(挺)に主ばねが水平に張られている。

また、その秋にはインチ寸法をメートル寸法に直し、さらに上昇、下降の摩擦を少なくするため枠組に玉軸受を使用し、これをC形とした。これが1923年(大正12年)鉄道省にも納入されPS2形となる。C1形の写真を図11に示した。

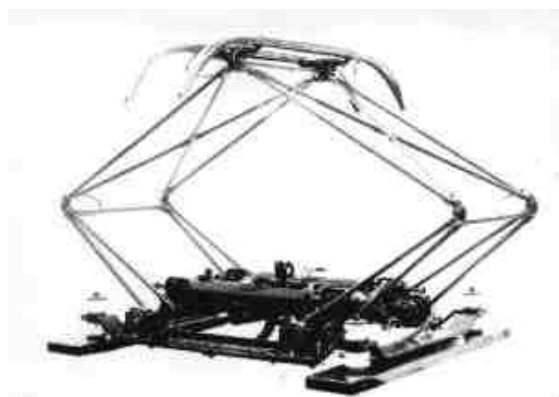


図11 C1形パンタグラフ
Fig.11 Type C1 pantograph

C形はC7形まで改造が行われ各私鉄に納められた。資料によると南海、京王、京阪、名鉄、豊川、尾西、京成、新京成、目蒲、池上などとある。これを見ると急速なパンタグラフ化が進んだと見られる。

さらに1925年(大正14年)には、D形として空気上昇、自重下降式で、4本の主ばねとカムを使い押上力を一定にする改善を行うと共に、舟体のすり板を4列とし、集電電流を増やし電動機の大型化に備えた。D形の写真は無いが、図12



図12 G形パンタグラフ台枠搭載機器
Fig.12 Mounted equipments on type G pantograph base

のG形の写真から見ると、空気シリンダやリンク挺などの鋳物の堅固さから見てA形の400kgというヘビー級質量(現在の菱形は150kg)も納得できる。

1930年(昭和5年)からPT1形~12形パンタグラフまでの設計の足跡がある。この中の多くは製造されたが、設計、試作だけで終わったものもある。

PT1, 2形パンタグラフはこれまでの下枠のたすき状パイプをワイヤーに変えたが、その後すぐPT5, 6形ではワイヤーを廃止している。機構的には良いが、ワイヤーには伸びなどの問題があったと思われる。

現在、東洋電機製のパンタグラフ形式はPTの形式が使われているが、この時からの連番になっている。ただし、途中整理の都合で順位を変えたものもある。PS形式は国鉄とその後のJRの形式となっている。従って、製品によってはPT形式を持ち、かつPS形式を持つものもある。

特徴のある改良としては、PT7形の下げシリンダを鋼管溶接品にし燐青銅鋳物のピストンリングをシールとしたこと、また、PT11形の下降折畳み時の衝撃を緩和した下げシリンダなどがある。単なるばね・フック構造では上昇、下降動作で衝撃力が発生するが、現在はその衝撃をいろいろな方法で緩和している。PT11は緩和を施した最初の製品と言えよう。

PT12は、下枠に、溶接により3段の先細り構造とした鋼管を採用することで軽量化されている。十分とは言えないまでも、基本的な要点の改造がその時代、その時代に常になされている。

この中でPT4形はクレーン用、またPT8形、PT9形は鉾山の小型電気機関車用である。図13に電気機関車と共に掲げた。昭和の初期には東洋電機もこのような電気機関車を製造していたのである。

1931年(昭和6年)には鉄道省に電気機関車用としてPS10形(図14参照)を納入した。これは空気上昇式で、主ばね機構はてこ式からカム式に変更して押上力特性を改善、枠組管はジュラルミン材(アルミニウム合金)を使用し軽量化を図っている。

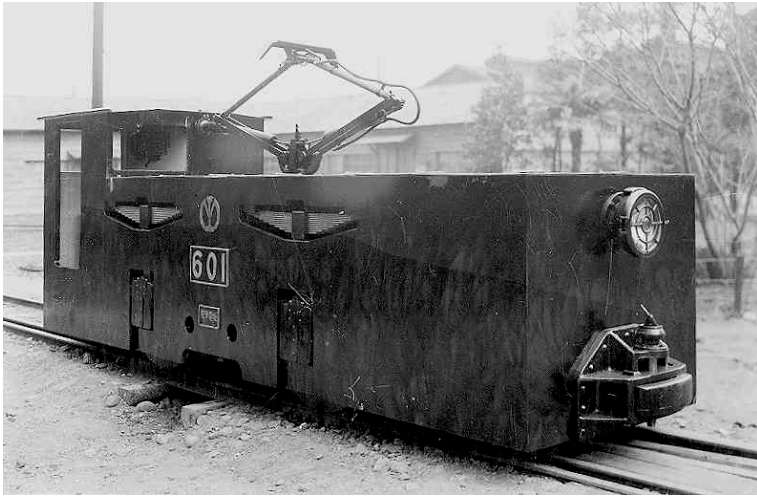


図 13 PT9 パンタグラフ搭載鉱山機関車
Fig.13 Locomotive for mine equipped with type PT9 pantograph

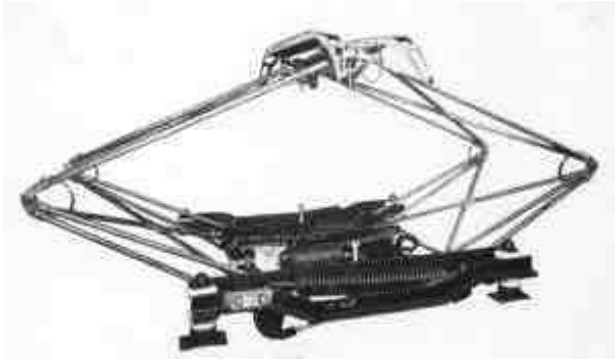
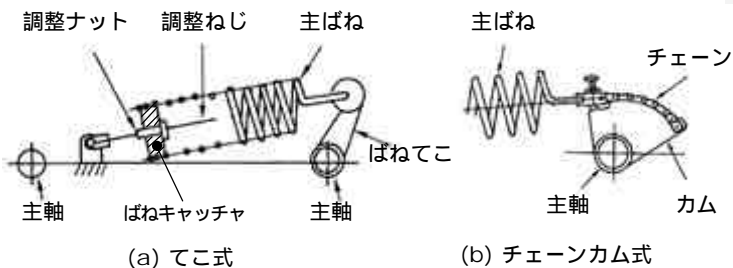


図 14 PS10 形パンタグラフ
Fig.14 Type PS10 pantograph



図 15 PS11 形パンタグラフの主ばね部分
Fig.15 Main springs of type PS11 pantograph



その翌年、PS10 形を電車用に改変して PS11 形とした。図15 に PS11 形の写真を掲載するが、この時代から主ばね取り付けには、ばねキャッチャが使われ、ばねの張力調整を容易にしている。

主ばねの構造を図16 に示す。それまでは、主ばねは両側フックのものが使用され、張力調整用の機構がばねてこ部に別途装着されていた。

図 17(次ページ)に初期のパンタグラフの枠組構造と舟支え装置の変遷を示す。

昔のパンタグラフの枠組は、たすき管が十字にされて重々しい雰囲気がある。また、舟支え装置は舟の平衡を保つ機構とばねで弾性支持する機構にさまざまな工夫が試みられていたことが分かる。

1929 年(昭和 4 年)ニューヨーク株式暴落から始まった世界恐慌・金融恐慌の荒波を潜り抜けて、景気が回復すると同時に、日本は国際連盟脱退、ロンドン軍縮会議脱退と孤立化の道を歩み始め、1941 年(昭和 16 年)12 月とうとう太平洋戦争を引き起こすことになる。

このためパンタグラフの需要も激減した。特に私鉄の発注は戦時品優先に押され節約体制が厳しかった。そして、世の中すべてが資材の節約から欠乏に陥る時代になった。

この間に製作されたパンタグラフは PS13 形(図 18)であり、資材不足の工夫がいたる所に見える。まず、下枠はこれまでパイプ材であったものを鋼板の箱形溶接とし、上枠も溶接で製作、たすき状の補強材もなくなった。(図 17 参照)

また、初期に PS2 形で枠組の上下動の摩擦を軽減するため採用した玉軸受を外し、運動性能も犠牲にした。すり板は銅が欠乏したために炭素すり板になっている。

(次号に続く)



図 18 PS13 形パンタグラフ
Fig.18 Type PS13 pantograph

図 16 主ばねの機構
Fig.16 Mechanism of main spring

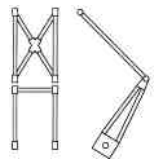
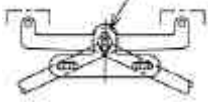
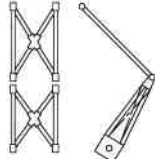
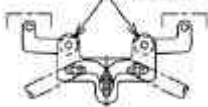
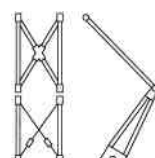
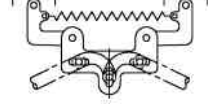
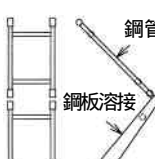
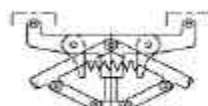
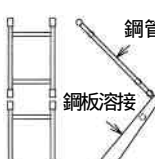
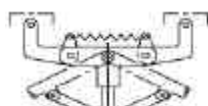
(a) 枠組				(b) 舟支え装置			
概略構造	適用形式		備考	概略構造	適用形式		備考
	A, B, C PT7 PT11 PT13 PT24	PS2	上枠のたすき管を十字形に構成することにより剛性を上げた。		A, B, B1 PT1 PT2		三つ穴のリンクで全体の平衡をとっている。
	D, E3 PT20 PT21	PS10 PS11 PS14C	下枠もたすき管を十字形に構成した。		B4, C, D ES	PS2	トーシヨンばねを分割し,扱い易くした。
	PT1 PT2		下枠のたすきをワイヤーで構成し軽量化した。		PT3		トーシヨンばねを引っ張りばねに変え,一層扱い易くした。
	PT25 PT26	PS12 PS13 (天井管なし)	下枠を単純な溶接構造とし,たすき管も省略しコストを下げた。		PT20 PT21	PS10 PS11 PS14	中央のガイド枠とリンク機構で全体の平衡をとる。
					PT24 PT26	PS13	ばねを上側とし,引っ張りばねに変え扱い易くした。

図 17 パンタグラフの枠組と舟支え装置の変遷

Fig. 17 Changes in frame and pan-support mechanism of pantograph

参考文献

- 1) 東洋電機 50 年史
- 2) 松山晋作：「集電材料の変遷 - パンタグラフすり板とトロリ線」, 東洋電機技報, 106 号(2000-9), p10
- 3) 日本国有鉄道 100 年史

執筆者略歴



小野寺 正之

1965 年入社。戸塚工場油圧機部設計, 技術研究所, 戸塚工場車両機械設計, 相模工場鉄道設計, 本社鉄道事業部。主に鉄道機器の設計, 開発技術を担当。1995 年定年退職。



新井 博之

1976 年入社。戸塚工場設計部, 相模工場設計部にて車両用集電装置, 戸閉装置の開発・設計に従事。現在, 交通システム事業部交通システム工場設計部。