

比叡山鉄道株式会社 鋼索鉄道架線レス車両システム

Catenary-less System for Funicular Railway of Hieizan Railway Co., Ltd

The Sakamoto cable railway is a scenic funicular railway running between the Cable Sakamoto station and Hieizan Sancho station in Otsu, served as main approach route to the Hieizan Enryakuji temple. It runs through seven bridges and two tunnels, and the length of the railway is 2025m, the longest of its kind in Japan. Funicular cars run on the inclined rail by attaching to a steel cable driven by an electric winding machine on the top station. Formerly the power was supplied through the headlight, tail light, and interior light of the funicular cars by overhead catenary line via pantograph. Considering the reduction of the maintenance cost and environmental impact, catenary-less system has been developed. To introduce this catenary-less system, funicular cars are equipped with a battery to be charged while the car is stopping at top or bottom stations. Power is supplied by the battery while the car is running. We worked on newly developed main electrical equipments such as DC power unit, battery, interior lighting, tail light, etc. We modified the pantograph so that the car can run with the pantographs raised when there is no catenary line along the running path.

星 吉輝

Yoshiteru Hoshi

矢達 悦典

Yoshinori Yadachi

1. まえがき

比叡山延暦寺の表参道を担う坂本ケーブルは、大津市のケーブル坂本駅から比叡山頂のケーブル比叡山駅に至る、全長2025m、所要時間約11分の日本一長い鋼索線である。道中橋梁7カ所、トンネル2カ所を通り、車窓からは比叡山の自然や琵琶湖の眺望が堪能できる。

開業は1927年(昭和2年)3月で、大正ロマン漂う外観のケーブル坂本駅は木造2階建て、山頂のケーブル延暦寺駅は洋風鉄筋2階建ての両駅舎は、1997年(平成9年)国の登録有形文化財に登録されている。また、途中駅は「ほうらい丘」、「もたて山」の2駅で、普段は通過するが、申し入れがあれば停車する。

車両は朱と緑を基調としたもので、左右が朱で真ん中が緑の『福』と左右が緑で真ん中が朱の『縁』の2両が走っている。車内は眼下に広がる景色を楽しんでもらおうと座席が下向きに設けられており、大きな窓が特徴である。まさに、「長さも・景色も・日本一」である。

鋼索線はレールと車輪により車体を支持し、車体に緊結した鋼索を山頂の巻場所に設置した原動機で巻き揚げることにより、急こう配の路線を走行する。また、前照灯・尾灯や車内灯等車両内の電源は架線からパンタグラフを介して供給されていたが、架線関係設備の保守低減と車内からの景色を損なう架線を取り外すシステムを実現した。

この実現のため、車両内に蓄電池を搭載し、山麓と山頂の駅停車時に蓄電池に充電し、車両走行時は蓄電電力を使用する新発想のシステムを開発した。

当社では、この架線レス蓄電池車両搭載システム全体の取り纏めを行った。主な電機品として直流電源装置、蓄電池、車内灯、尾灯などの主要電機品を納入した。また、走行場所には架線がないため、パンタグラフは上昇させたまま走行するための改良を施した。

本架線レス蓄電池車両搭載システムは設備関連の付帯工事を一部残し完成しており、平成18年夏より営業導入された。

以下、本システムの概要と各装置について紹介する。

2. 車両諸元

図1に車両『福』の外観を、表1にその車両諸元を示す。



図1 車両『福』

Fig.1 Funicular Car "FUKU"

表 1 車両諸元

Table 1 Principal features of the vehicles

項目	仕様
形 種	単車 
車 両 番 号	1号 緑 (YEN) 2号 福 (FUKU)
最大乗車人数	145人
車 両 寸 法	長さ 13,900 (mm) 幅 2,720 (mm) 高さ 3,815 (mm)
車 両 質 量	12.1ton
運 転 速 度 《最高運転速度》	11.3 km/h 《15.0 km/h》
軌 間	1,067 (mm)
高 低 差	484 (m)
最 緩 こ う 配	17.0%
最 急 こ う 配	33.3%
架 線 電 圧	AC220V 剛体架線 (充電用)
直 流 電 源 装 置	AC220V/DC24V トランジスタスイッチング 変換方式 2系統構成 (冗長運転可能)
蓄 電 池	高性能サカルサビ 用バッテリー DC12V-2S 2系統構成 (冗長運転可能)
インバータ装置	DC24V/AC100V スイッチング PWM 方式
集 電 装 置	PT6101-B 形 シングルアーム式パンタグラフ

3. 架線レス蓄電池車両搭載システムの導入背景

従来は山麓から山頂まで線路の両脇に架線支え用の鉄柱を設け架線を張り、走行時及び停車時にパンタグラフを介して車内設備用に電力を直接供給していた。

台風や降雪の影響、また倒木等により、架線に支障が発生した場合、営業運転を停止させ、架線を復旧する必要がある。特に、鋼索線はこう配の厳しい場所で運用しているため、この復旧作業は危険を伴う大変な作業であるが、台風の多い年は、頻度が増し特に大変である。

この復旧作業を軽減させる方法として、架線及び架線柱を取り除くことを考えた。

4. 架線レス蓄電池車両搭載システムの概要

本システムの車両走行イメージを図2に示す。

車両内に蓄電池を搭載し、山麓及び山頂の両端駅停車時のみ蓄電池に電力を充電させ、車両走行時は蓄電池から電力を供給するシステムである。

基本運用の30分間隔運転では、通常停車時間は19分であるが、始発前の試運転や繁忙期運転ダイヤ及び臨時運転等では運転間隔が短くなるため、最低停車時間である4分を考慮する必要がある。運転所要時間の基本運用では11分であるが、乗客の要求があった場合、途中の2駅で停車するため、乗降の影響により、所要時間が延びることを考慮する必要がある。

また、改造作業時間効率化、経費削減のため元々取り付けられていたパンタグラフを残し、山麓及び山頂の両端駅部分の架線を利用した。

つまりパンタグラフは常に上昇させた状態とし、両端駅の架線を剛体架線とし車両が動き出すと少しずつパンタグラフが離れるよう架線に傾斜を付けた構造としている。架線が無い場所でもパンタグラフは上昇させた状態を維持させ、両端駅の侵入時にはパンタグラフに少しずつ架線が接触するよう架線に傾斜を付けた構造としている。

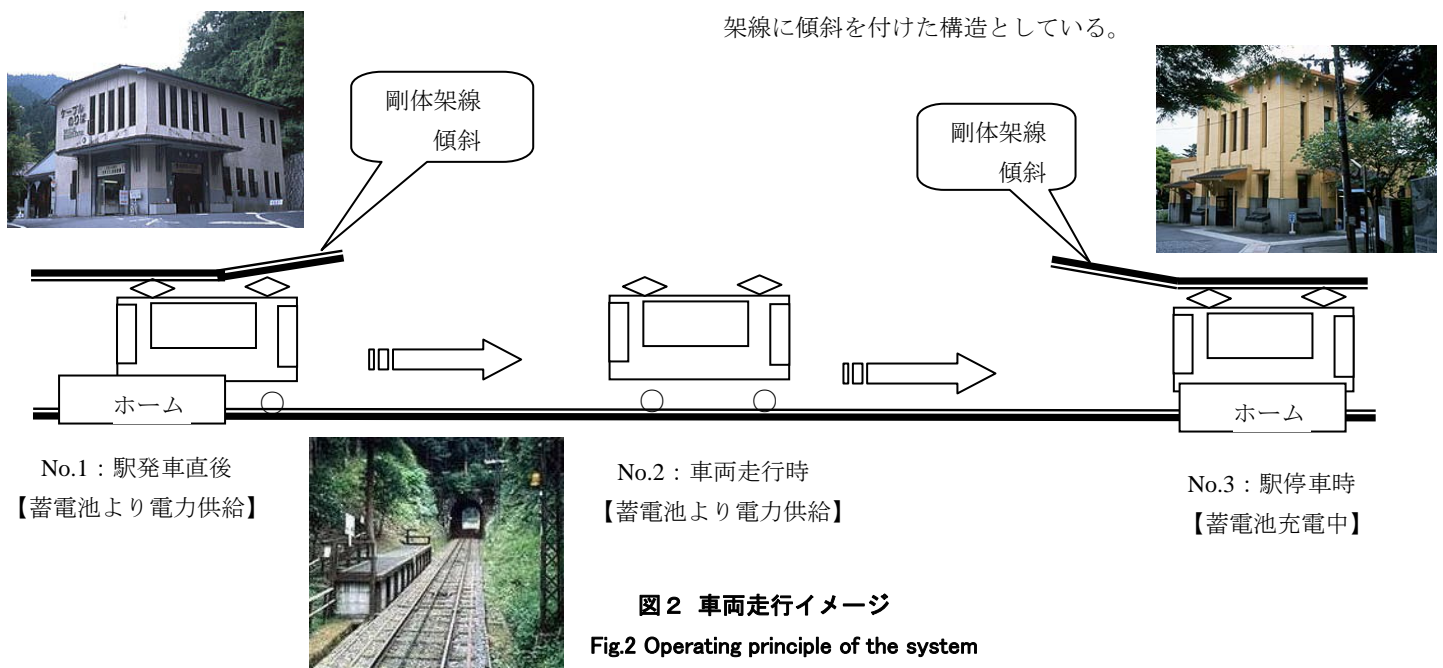


図2 車両走行イメージ

Fig.2 Operating principle of the system

4.1 従来方式の常時架線給電システムについて

改造前の従来電源電圧と負荷機器を表2に、従来システム概略ツナギを図3に示す。

負荷機器の各容量は使用した際、最大必要とする容量を参考に記載した。

①AC220V 電源

架線電圧AC220Vをダイレクトに電源電圧として使用する負荷機器を示す。

②AC100V 電源

架線電圧AC220Vをトランスにて降圧しAC100V電源電圧として使用する負荷機器を示す。

③DC24V 電源

架線電圧 AC220V をトランスにて降圧・整流し DC24V 電源電圧として使用する負荷機器を示す。

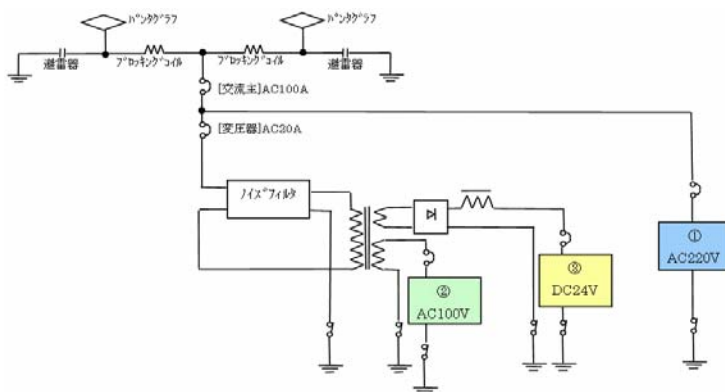


図3 従来システム概略ツナギ

Fig.3 Outline of circuit system connection before modification

表2 従来電源電圧と負荷機器

Table 2 Source voltage and load equipments before modification

電源電圧	負荷機器 (容量)	備考
① AC220V	暖房器 (7200W)	
	暖房器強 (3200W)	
	防曇ガラス (500W)	運転台正面
② AC100V	コンセント (200W)	
	換気扇 (360W)	
	コンプレッサ (400W)	
	コンプレッサ接触器 (6W)	
	油圧ポンプ (400W)	
	前照灯 (150W)	容量検討1台
	車内灯 (216W)	
	装飾灯 (240W)	
③ DC24V	計器灯 (20W)	
	窓拭機 (75W)	容量検討1台
	警笛 (26W)	
	予備灯 (120W)	
	尾灯 (40W)	容量検討2台
	車側灯 (40W)	
	戸閉電磁弁 (144W)	
	戸閉電源装置 (24W)	
	放送装置 (48W)	
	誘導無線 (192W)	
	ラインクロスファン (128W)	
	蓄電池 (50W)	

4.2 架線レス蓄電池車両搭載システムについて

改造後の電源電圧と負荷機器を表3に、主回路システム概略ツナギを図4に示す。

負荷機器の各容量は使用した際、最大必要とする容量を参考に記載した。

①AC220V 電源

山麓駅及び山頂駅停車時のみ架線電圧AC220Vをダイレクトに電源電圧として使用する負荷機器を示す。

走行時は必要最小限の負荷に限定するため、AC220V電源を使用する負荷はすべて切り放すシステムとした。

②AC100V 電源

従来AC100V電源を使用していた負荷機器は蓄電池出力電圧であるDC24V電源システムに置換えることを基本とした。

ドア開閉用のコンプレッサは山麓駅及び山頂駅停車時のみ動作する仕様とした。

しかし、非常時に使用する油圧ポンプはどのような場合であっても動作させる必要があるため、DC24VからAC100Vに変換する専用のインバータ装置を新設した。

③DC24V 電源

従来架線からパンタグラフを介して常時受電できるAC220Vから蓄電池出力電圧であるDC24Vを基本とする電源システムに負荷機器の見直しを実施した。DC24Vを電源電圧として使用する負荷機器を示す。

可能な限り電源電圧はDC24V化することが望ましい。

既存の車両をそのまま流用し、かつ営業運転を継続させながら改造を施すことが前提であった。よって、改造する作業を少なくすることを考慮し、既存負荷機器と置き換える機器を選定した。

この結果、架線レスにて車両走行時のみ動作する負荷機器を表3に色分けし記載した。(備考欄に架線レス時使用と記載)

表3 改造後の電源電圧と負荷機器
Table 3 Source voltage and load equipments
after modification

電源電圧	負荷機器	備考
① AC220V	防曇ガラス(500W)	停車時のみ動作
②-1 AC100V	コンプレッサ(400W)	停車時のみ動作
"	コンプレッサ接触器(6W)	停車時のみ動作
②-2 AC100V	油圧ポンプ(400W)	架線レス時使用
"	前照灯(150W)	架線レス時使用
③ DC24V	窓拭機(75W)	架線レス時使用
"	警笛(26W)	架線レス時使用
"	尾灯(30W)	架線レス時使用
"	車側灯(40W)	架線レス時使用
"	戸閉電磁弁(144W)	途中駅臨時 停車時のみ動作
"	戸閉電源装置(24W)	途中駅臨時 停車時のみ動作
"	放送装置(48W)	架線レス時使用
"	車内灯(230W)	架線レス時使用
"	誘導無線(192W)	架線レス時使用
"	蓄電池(240W)	停車時のみ 充電動作

5. 主要電機品

本システムは、直流電源装置、化粧箱、蓄電池、インバータ電源装置、パンタグラフ等の機器で構成している。

5.1 直流電源装置

山麓及び山頂駅停車時に架線電圧AC220VをDC24Vの蓄電池に充電する充電回路及び停車時のみにAC220V負荷に供給する接触器や冗長性を確保するための運転選択用継電器等の電機品にて構成している。

制御方式はトランジスタスイッチング式で自然冷却タイプである。

この直流電源装置は山頂側運転台から1列目左右の2人掛け座席を撤去し、そのスペースに2セットの直流電源装置を設置した。

直流電源装置の外観写真を図5に示す。



図5 直流電源装置外観

Fig.5 DC power supply

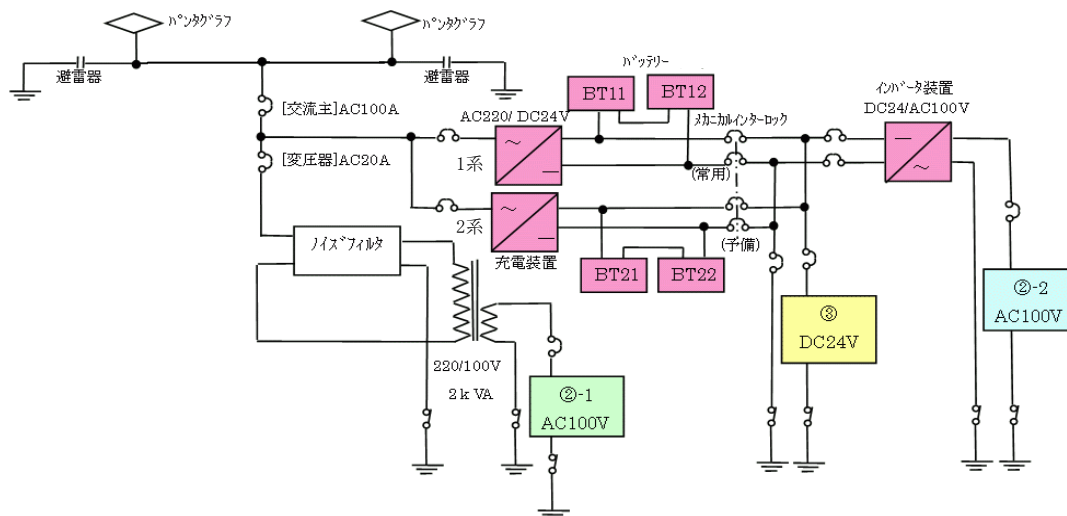


図4 主回路システム概略ツナギ

Fig.4 Outline of main circuit system connection after modification

5.2 化粧箱

座席の一部を撤去し、直流電源装置や蓄電池を車両内に搭載させるため、外観を考慮し装置全体をロッカータイプの化粧箱内に収納した。

化粧箱は車内の内装に使用している化粧パネルと同等品を使用し箱構成のため、車両改造により追設したことを感じさせず、上部は荷物置きも兼ねた形状とした。

化粧箱の外観写真を図6に示す。



図6 化粧箱外観
Fig.6 Electric locker

5.3 蓄電池

車両内に蓄電池を搭載することから密閉形鉛蓄電池で無騒音・無公害の用途に適した蓄電池を採用した。DC12V蓄電池を2台直列接続し、DC24V蓄電池を構成している。

また、蓄電池を電力源として、充放電サイクルで使用するサイクルサービス専用の蓄電池である。

走行時はこの蓄電池からのみ負荷に電力を供給するため、蓄電池を2重系に構成し、冗長性を確保する電源システムとした。

この蓄電池は、化粧箱内に設置した。

5.4 インバータ電源装置

電力源の蓄電池電圧であるDC24VからAC100V負荷に供給するためのインバータ電源装置である。

制御方式はスイッチングPWM式で自然冷却タイプである。

また、このインバータ電源装置も化粧箱内に設置した。

5.5 パンタグラフ

走行時は架線がないところをパンタグラフは上昇させたままの状態で行走させるため、一定の高さで保持することが可能となるストッパ機構を既存パンタグラフに改造を施した。

パンタグラフの外観写真を図7に、仕様を表4に示す。



図7 パンタグラフ
Fig.7 Pantograph

表4 パンタグラフ仕様
Table 4 Pantograph specification

項目	仕様
形式	PT6101-B
枠形状	ひし形
動作方式	ばね上昇・手動下降式
標準押上力	29±2N (3.0±0.2kgf)
すり板種類	ブロイメット BEM
使用グリース	リチウム系1号 (ベアリング用)
許容集電電流値	600A (最大)
許容振動値 (全振幅)	枕木方向：0.4 G 以内 上下方向：1.0 G 以内
作用高さ (碍子面より)	折り畳み：350mm 最低作用：400mm 標準作用：600mm 突放作用：750mm
質量	40.0 kg
塗装色	マンセル N6 (枠組ステンレス部は無塗装)

6. むすび

既存鋼索線の営業車両を改造し、架線を削除したシステムにて順調に稼働している。

営業車両の改造は、営業運転終了後の深夜を利用することにより、営業運転を継続させながら架線を削除したシステムを実現することに成功した。

国内の鋼索線(ケーブルカー)事業者は、架線や架線柱のメンテナンスに苦勞していると伺っており、営業継続しながら導入可能で安価な当システムを他事業者各位にもご採用頂けたら幸いである。

最後に、この架線レス蓄電池車両搭載システムの完成に多大なご指導を賜った京阪電気鉄道株式会社大津鉄道事業部及び比叡山鉄道株式会社、ご協力いただいた関係メーカ各位に厚くお礼申し上げます。

執筆者略歴



星 吉輝

1986年入社。相模工場鉄道設計部にて車両用VVVFインバータ装置の開発設計に従事。本社鉄道本部技術部、営業本部技術グループ大阪駐在を経て、現在本社交通事業部交通技術グループに所属、車両システムエンジニアリングに従事。



矢達 悦典

1992年入社。本社鉄道本部電鉄部を経て、大阪支社電鉄部に配属。現在、大阪支社交通システム営業グループに所属。関西民鉄、公営企業営業に従事。