

# 鹿児島市交通局向け架線電圧補償システム

## The Trolley Voltage Compensation System for the Kagoshima City Transportation Bureau' LRT

### 1. まえがき

環境問題が地球規模で深刻化する中、路面電車は環境にやさしい交通機関として、全国的に見直されている。

鹿児島市交通局は、回生機能を搭載したインバータ車両を積極的に採用し、更に接続式超低床電車を導入するなど、人と環境にやさしい公共交通サービスの提供と輸送力の増強を推進している。

ところで、鹿児島市交通局にあっても近年夏場の猛暑により冷房装置の稼働率が高くなり、架線電圧の降下が生じている。

このような場合、変電所を追設することにより解決するのが一般的だが、ここでは電車がブレーキ時に発生する回生電力を電圧低下抑制に有効利用する架線電圧補償システムを桜島栈橋通電停と中洲通電停の2箇所に新設した。

以下この架線電圧補償システムの概要、性能について紹介する。

### 2. システム概要

この架線電圧補償システムは、電車の回生電力を有効利用するため、電池に回生電力を蓄え、架線電圧が規定電圧以下に低下した場合、電池の蓄電電力を放電させ架線電圧低下を抑制するシステムである。特に架線電圧が低下する朝夕のラッシュ時間帯に活躍する。

また、早朝及び深夜のように電車の運転本数が少ない時間帯では、回生ブレーキをかけた際、負荷となる力行電車が少ないため軽負荷となり、架線電圧が上昇し安定した回生ブレーキをかけることができない場合がある。架線電圧が規定電圧以上に上昇した場合、電池に充電させ架線電圧の上昇を抑制し、電車が安定した回生ブレーキをかけられるよう制御する。

なお、本システムは既存の変電所と連携動作する必要があるため、武之橋変電所の直流高速度遮断器と連携している。

架線電圧補償システムの外観を図1に示す。

### 3. 架線電圧補償システムについて

本装置の主要諸元を表1に示し、主回路接続図を図2に示す。



図1 架線電圧補償システム外観

Fig.1 Appearance of the trolley voltage compensation

表1 主要諸元

Table 1 Principal specifications

項目	仕様
主回路方式	高耐圧 IGBT 双方向型 DC/DC コンバータ
制御方式	PWM による電流制御
冷却方式	ファンモータによる強制冷却
PWM 周波数	720Hz
架線標準電圧	DC600V
架線電圧変動範囲	DC360V~DC750V
電池公称電圧	DC302V
電池電圧変動範囲	DC244V~DC344V
制御電源定格電圧	AC200V
制御電源周波数	60Hz
制御電源電圧変動範囲	AC180V~220V
外形寸法	W : 1300 mm D : 850 mm H : 1250 mm
塗装色	ライトグリーン

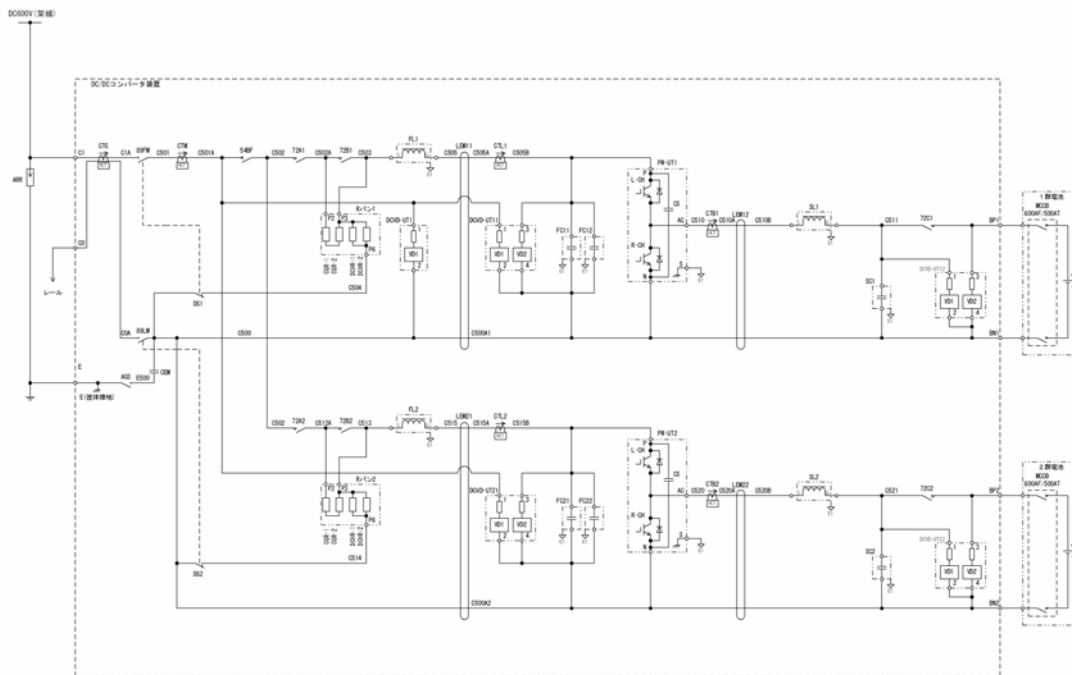


図2 主回路接続図

Fig.2 Main circuit connection diagram

本装置は2レベルPWMコンバータにより構成されており、コンバータの一次側に断路器・高速度遮断器を介して架線と接続し、コンバータの二次側で、遮断器を介してリチウムイオン電池に接続する。

直流架線はDC600Vで、き電されており一方のリチウムイオン電池の電圧は公称電圧でDC302Vである。

このため、架線の電力を吸収する場合は一次側の架線電圧を降圧してリチウムイオン電池を充電し、架線に電力を放出する場合は、二次側に接続されているリチウムイオン電池の電圧を昇圧して放電動作を行うというように双方向に電力のやりとりを行うことが可能なDC/DCコンバータとしている。

### 3.1 充放電制御

通常、ある区間の架線電圧は、電車及び変電所間の路線インピーダンスにより、近傍を走行する列車が力行すると電圧が低下し、回生すると電圧が上昇する。

架線電圧補償システムは、定格近傍の電圧範囲から逸脱すると、その電圧変動分に比例した電流を放出・あるいは吸収し、架線電圧の変動を一定範囲内に抑える制御を行う。

本装置では、架線電圧補償システムを設置する線区における様々な架線電圧状況に対応するため、下記の2つの制御機能を有している。

#### (a) 回生電力吸収制御

変電所が健全である場合の動作モードであり、回生失効対策に有効なモードである。

本装置近傍に、回生しながら走行する列車が存在し、架線電圧が上昇した場合、上昇した電圧に応じてリチウムイオン電池に電力を充電し、エネルギーを蓄える。

#### (b) 架線電圧補償制御

架線電圧低下を抑制する制御である。

本装置近傍に、力行しながら走行する電車が存在し、架線電圧が低下した場合、低下電圧に応じてリチウムイオン電池の電力を放出し、架線電圧を補償する。

### 3.2 電池電圧調整充放電制御

電圧補償制御のみを行っている時、リチウムイオン電池のエネルギー残量が非常に少なくなると架線電圧が低下しても電力の放出ができなくなったり、逆に回生電力吸収制御のみを行っている時エネルギーがリチウムイオン電池の容量いっぱいまで充電されてしまい、架線電圧が上昇しても電力を吸収できなくなる状況が想定される。

このような状況を防止するため、本装置では、電池電圧調整充放電制御を搭載している。

電池電圧調整充放電制御では、電池のS.O.C(State Of Charge:充電状態)が充電側、あるいは放電側に偏り始めたときに、架線電圧が通常の範囲にある場合、架線電圧に大きな影響を与えない程度の小電流を流してS.O.Cを設定した範囲内に調整し、架線電圧補償システムの制御に支障をきたす状況を未然に防ぐことができる。

### 3.3 機器構成

本装置は、DC/DC コンバータ部及び電池部で構成している。DC/DC コンバータ部の側面は、2重扉となっており、上部にある小さい扉内には2つのアナログメータを収納している。

架線電圧補償システムの側面カバー部を図3に示す。



図3 架線電圧補償システム側面カバー部  
Fig.3 Side cover of the trolley voltage compensation system

このメータで架線電圧と架線電流（充電／放電）の動作を確認することが可能である。

電力を貯蔵する媒体には、急速な充電及び放電が可能なりチウムイオン電池を採用した。

このリチウムイオン電池はエネルギー密度が高いため、装置の小型・軽量化を実現した。

また、この装置は電停内の中央分離帯に設置可能な寸法で構成している。よって、設置のために新たな場所を確保する必要がない。

しかし、装置の正面と裏面側は常に電車を通るため、簡単に扉が開かないよう、全ての扉は専用のハンドルを使用しないと開けることができない特殊な扉とした。

装置の高さ寸法は電車を運転する乗務員から、装置の裏側を認識することが可能な高さ寸法とした。

### 4. 遠隔監視制御について

変電所は始発前に送電を開始し、終電後に送電を停止している。このため、変電所から送電時のみ架線電圧補償システムを動作させるため、既設変電所内の送電用直流高速度遮断器と連携させるためインターネット経由で遠隔監視及び架線電圧補償システムの運転・停止を行う。

また、運転状態をパソコンにて確認することが可能である。

#### 【主な機能】

- ①架線電圧補償システム運転指令
- ②架線電圧補償システム停止指令
- ③架線電圧補償システム運転状態表示
- ④架線電圧補償システム故障状態表示

⑤架線電圧補償システム運転パターン切替え

⑥架線電圧補償システム制御パラメータ変更

### 5. 導入効果について

架線電圧補償システムの停止時と運転時の架線電圧状況を次に示す。

架線電圧補償システム停止時の架線電圧を図4に示す。

架線電圧補償システム運転時の架線電圧を図5に示す。

朝の通勤・通学ラッシュで架線電圧が一日中で一番下がる時間帯である午前8時00分から9時00分を比較する。

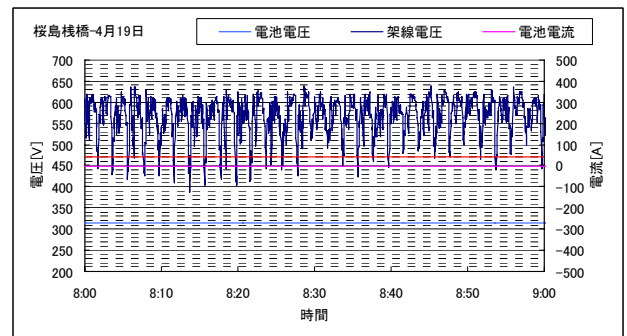


図4 架線電圧補償システム停止時の架線電圧

Fig.4 Trolley voltage when the trolley voltage compensation system is not used

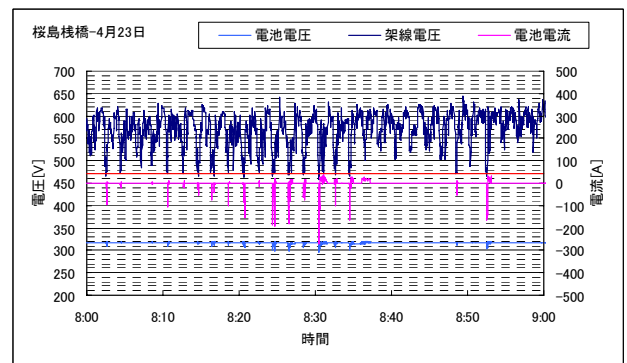


図5 架線電圧補償システム運転時の架線電圧

Fig.5 Trolley voltage when the trolley voltage compensation system is activated

#### 【測定結果】

図4 架線電圧補償システム停止時の架線最低電圧は午前8時14分の DC385V であった。

図5 架線電圧補償システム運転時の架線最低電圧は午前8時30分の DC460V であった。本システムの動作により架線最低電圧を75V持ち上げ、架線電圧平準化の効果を示している。

設定どおりに架線電圧が制御していることが確認できた。

## 6. むすび

今まで架線電圧低下で困っている路線に、変電所を増設することなく、電車の回生エネルギーを電池に蓄え、架線電圧補償が可能なシステムの実現に成功した。

現在、本システムは鹿児島市の桜島棧橋通電停（図6）と中洲通電停（図7）の中央分離帯上に設置し、2007年3月より営業運転に入り以後順調に稼働している。

これにより、朝夕のラッシュ時などにおいて、電車の快適性や定時運行の確保が図られ、市民の皆様の利便性が更に向上している。

国内の路面電車事業者は、架線電圧低下に苦勞していると伺っており、装置の新たな設置場所を必要としない当システムを他事業者各位にもご採用いただけたら幸いである。

最後に、この架線電圧補償システムの完成に多大なご指導並びに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。



図6 架線電圧補償システム（桜島棧橋通電停）  
Fig.6 The trolley voltage compensation  
(Sakurajimasanbashidori)



図7 架線電圧補償システム（中洲通電停）  
Fig.7 The trolley voltage compensation  
(Nakasudori)