

福井鉄道株式会社 880 形更新車両用電機品

Electric equipment for retrofit of Type 880 tram for Fukui Railway Co., Ltd.

1. まえがき

福井鉄道株式会社(以下、福井鉄道) 880形は、1980年に名古屋鉄道株式会社(以下、名古屋鉄道)が新製した車両で、2006年に福井鉄道に譲渡された車両である。本車両は、抵抗制御および直通ブレーキ方式を採用しており、電気ブレーキを設けていなかったが、省エネルギー化およびメンテナンス低減の観点から、VVVFインバータ制御へ改造した。本改造にあたり、当社は主回路装置(VVVFインバータ装置)、主電動機、主幹制御装置を納入した。

本改造の特筆すべき点としては、改造コストを抑制しながら省エネルギー化・省メンテナンス化を実現するために、ブレーキシステムの変更不要な形で回生ブレーキを実現している。

車両外観を図1に示す。



(写真提供：福井鉄道株式会社)

■ 図1 車両外観

Fig.1 Exterior of the tram

2. 車両主要諸元

車両主要諸元を表1に示す。880形は2車体3台車の連接構成であり、両端の台車が駆動台車となっている。なお、本車両は名古屋鉄道のDC1500 V区間への乗り入れ可能なようにDC600 VとDC1500 Vの複電圧仕様として新製されたが、譲渡された福井鉄道は全線DC600 V電化のため、改造後はDC600 Vのみの仕様とした。

3. 回生ブレーキ実現方法

回生ブレーキは一般的に、電気指令ブレーキもしくはセルフラップ方式の電磁直通ブレーキと組み合わせて、回生ブレーキと空気ブレーキを合わせたブレーキ力がブレーキノッチや

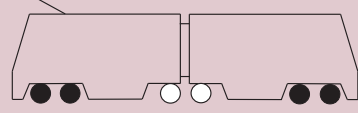
ブレーキハンドル角度で決定されるブレーキ力指令と一致するような電空協調制御が用いられる。電空協調制御では、主幹制御装置(マスコン)によって決定されるブレーキ力に対して電気ブレーキが不足した場合は、自動的に空気ブレーキで補足することにより、マスコンやブレーキハンドルの操作のみで回生ブレーキと空気ブレーキの区別をせずにブレーキ操作が実現可能である。

一方で、880形のブレーキシステムはSME式直通ブレーキシステムであり、この方式では自動的に電気ブレーキと空気ブレーキを協調させる電空協調ブレーキの実現は困難である。ブレーキシステムを電気指令方式に改造することにより、電空協調ブレーキの実現は可能であるが、車両の改造コストが増大するという問題があった。

そこで、コストを抑制しながら省エネルギー化・省メンテナンス化を実現するために、ブレーキシステムの変更なしで回生ブレーキを実現する方法として、マスコンハンドルの操作で回生ブレーキを実現する方法とした。すなわち、空気ブレーキと回生ブレーキの自動協調は行わずに、運転士の独立した操作によりそれぞれのブレーキ操作を行う構成である。

■ 表1 車両主要諸元

Table1 Specifications of the tram

項目	仕様	
	改造前	改造後
車両編成	2車体3台車  (●印は駆動軸を示す)	
編成重量	26.5t	
定員	100人	
最高速度	70km/h	
直線加速度	2.0km/h/sec (0.556m/sec ²)	
直線減速度 (電制最大)	—	1.5km/h/sec (0.417m/sec ²)
電気方式	DC600V/DC1500V 複電圧 架空電車線方式	DC600V 架空電車線方式
制御装置	カム軸式間接自動制御	VVVFインバータ
主電動機	直流直巻補極巻線付 電動機 38kW×4台	三相かご形誘導電動機 60kW×4台
ブレーキ	空気	SME直通ブレーキ
	電気	—

4. 納入製品

4.1 主幹制御装置(ES916-B-M)

図2に主幹制御装置(マスコン)の外観を示す。

マスコン操作による回生ブレーキを実現するために、主幹制御装置を新製交換した。主ハンドルは縦軸方式として、切り位置を挟んで時計回りに力行3ノッチ、反時計回りに回生2ノッチを設けている。本装置の左手操作により、力行および回生操作を行う一方で、右手のブレーキハンドル操作により空気ブレーキ操作を行うことにより、回生ブレーキと空気ブレーキを独立に操作する。



(a) 主幹制御器外観



(b) ハンドル部

■ 図2 主幹制御装置(マスコン)
Fig.2 Master Controller

4.2 主回路システム

主回路接続構成としては、図3に示すとおり1台のVVVFインバータで4台の主電動機を駆動する方式である。以下に主な装置を紹介する。

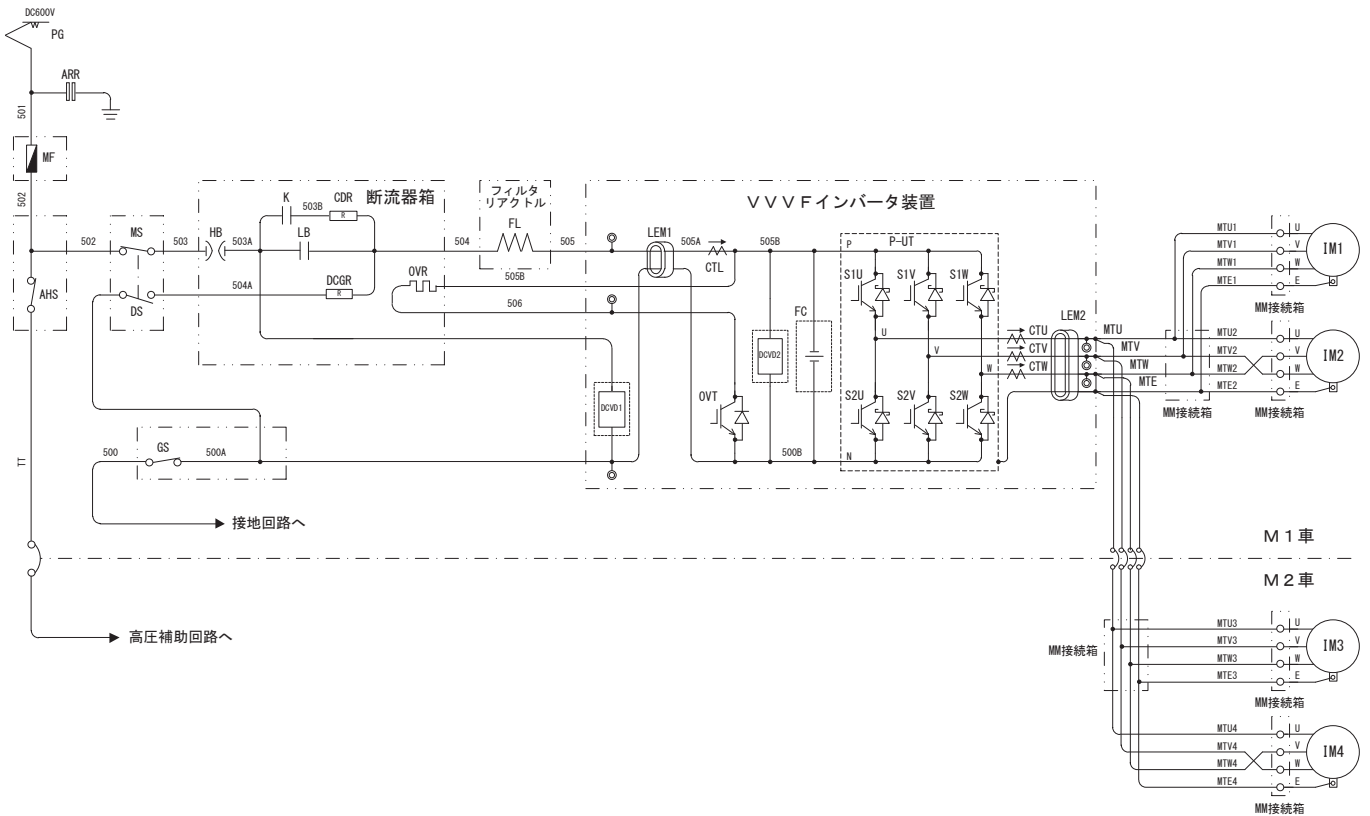
4.2.1 VVVFインバータ装置(RG6039-C-M)

図4に示すVVVFインバータはSiCハイブリッドモジュールを適用し、インバータ熱損失の低減および小型化を実現した三相2レベルインバータとし、主電動機4台駆動に対応するものとした。インバータ制御はすでに実績が多く、外乱要素に対する過渡応答性や追従性能に優れたベクトル制御としており、車両・ブレーキシステムと合わせた仕様とした。さらに、誘導電動機からの回転信号を一切不要としたPGセンサレス制御とすることで、メンテナンスフリーおよび車両システム信頼性向上に寄与した。また、PWM制御の非同期領域にはランダム変調を適用することにより、電磁音およびノイズ低減を実現した。

マスコン操作により動作する回生ブレーキは、各回生ノッチごとに一定のブレーキ力を発生させるものとしたが、停止直前に速度に応じたパターンで回生ブレーキを絞るものとした。停止時は運転手操作による空気ブレーキとなるが、回生ブレーキの絞り込み開始に伴い、運転台の回生表示灯を点滅させることにより、運転士に空気ブレーキの補足を促すものとした。



■ 図4 VVVFインバータ装置
Fig.4 Propulsion inverter



■ 図3 主回路接続図
Fig.3 Main circuit diagram

4.2.2 断流器 (SA159-B-M)

断流器は、高速度遮断器、主回路開閉用単位スイッチ、充電抵抗器から構成されている。高速度遮断器および主回路開閉用単位スイッチにはダイオングリッド消弧方式を採用し、電流遮断時のアークレス構造により絶縁用吊り下げがいしを不要とした。また、駆動方式を電磁式接触器とすることで既存の空気配管を排し、メンテナンス軽減を図った。

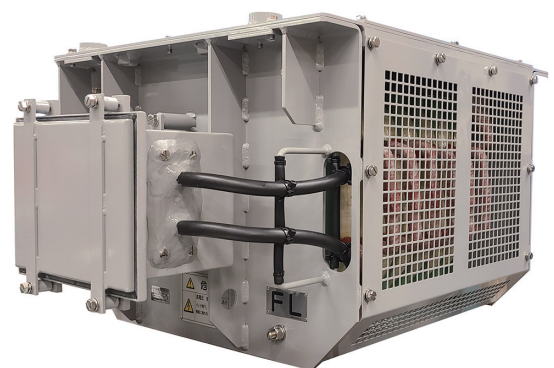
断流器の外観を図5に示す。



■ 図5 断流器
Fig.5 Line breaker

4.2.3 フィルタリアクトル (L3071-A)

フィルタリアクトルは5.3 mH×1群の空芯リアクトルを自然冷却方式の外箱に納めている。フィルタリアクトルの外観を図6に示す。



■ 図6 フィルタリアクトル
Fig.6 Filter reactor

4.3 主電動機 (TDK6256-A)

主電動機は図7に示す、小形・軽量・高効率の自己通風方式の三相かご形誘導電動機である。従来の直流直巻電動機TDK8430-Aとは台車取り付けの互換性もち、台車側を構造変更することなく吊り替え可能な設計とした。1時間定格は従来のTDK8430-Aは38 kWであったものの、高速域から一定のブレーキ力を実現するために60 kWまで出力を向上した。

従来のTDK8430-Aは整流器とブラシを有していたのに対して、誘導電動機ではこれらが無いので大幅なメンテナンス低減を実現している。冷却風の入気部には、重力式ストレーナを採用し、主電動機機内への塵埃侵入の低減に配慮した。

誘導電動機化にともない全体の設計を見直し、出力が増大しているにも関わらずTDK8430-A に対して30 kgの軽量化となる350 kgを実現している。



■ 図7 主電動機
Fig.7 Traction motor

5. 電力削減効果

今回納入した電機品を用いて試運転を実施したところ、17.3 km区間3往復のVVVFにおける消費電力は以下のとおりであった。

力行電力量：186.0 kWh

回生電力量：63.8 kWh

回生率：34.3%

なお、本装置は従来の抵抗制御・直流直巻電動機により力行電力量の削減も実現できている。同一条件での計測は行っていないものの、事前検討のシミュレーションでは30%程度の力行電力低減が見込まれていることから、力行電力削減効果を30%と仮定すると表2のとおりとなる。表2の括弧に改造前の力行電力に対する比率を記載しているが、VVVFの消費電力量は既存車の45%程度となり、大幅な電力削減効果を実現していることがわかる。すなわち、今回納入した電機品システムは、従来の抵抗制御・直流直巻電動機と比較し消費電力量55%削減を実現したといえる。

さらに本改造により、主電動機のブラシレス化だけでなく、空気ブレーキ使用頻度低減によるブレーキ制輪子交換頻度低減も見込まれており、メンテナンス負担の大幅な低減に貢献し、限られたコストのなかで省エネルギー化と省メンテナンス化を実現しているといえる。

■ 表2 消費電力量比較

Table2 Comparison of the energy consumption

	改造前	改造後
力行電力量	266.7kW (100%)	186.6kW (70%)
回生電力量	—	63.8kW (23.9%)
消費電力量	266.7kW (100%)	122.2kW (45.8%)

6. むすび

福井鉄道880形向け更新用に納入した電機品を紹介した。納入機器を用いた改造により、限られた予算の範囲で抵抗制御・直流直巻電動機の車両から、VVVFインバータ・誘導電動機に主回路システムを変更し、回生ブレーキを実現することにより、省エネルギーと省メンテナンス化を実現している。今後も同様に、お客さまの事情に合わせた電機品を提案していく所存である。

なお、本装置の設計・製作にあたり、多大なご指導を賜った福井鉄道株式会社および、ご協力いただいた関係各位に厚く御礼申し上げます。