

南アフリカ共和国 石炭線の電気機関車用 電気機器及び装置

Electrical Equipment of Dual-Voltage (25 kV AC/3 kV DC) Electric Locomotives for Transnet in Republic of South Africa

平原 明 金井 利喜 岸 秀

■ HIRAHARA Akira

■ KANAI Toshinobu

■ KISHI Shu

世界的な鉱物資源需要の増大に伴い、有数の資源産出国である南アフリカ共和国でも鉱物資源の増産が計画されており、鉱山から積出し港までの鉱物輸送力増強が急務となっている。

東芝は南アフリカ共和国の国営鉄道向けに、石炭輸送用途の19E形交直（交流（AC）と直流（DC））両用電気機関車に搭載する電気機器及び装置一式を受注した。19E形交直両用電気機関車は、AC25 kVとDC3 kVの電源区間を直通運転することで機関車の運用を効率化し、また、主要な機器に冗長性^(注1)を持たせることで高い信頼性を確保し、輸送力増強の要請に応えることができる。更に、AC電化区間では、同国の電気機関車として初めて回生ブレーキを導入しており、環境にもやさしい機関車システムである。

With the increase in global demand for mineral resources in recent years, even the Republic of South Africa, a leading mineral resource producing country, has experienced an urgent need to enhance transport capacity from mines to shipping ports.

Toshiba received an order from Transnet in the Republic of South Africa for the electrical equipment of Class 19E dual-voltage (25 kV AC/3 kV DC) electric locomotives for coal transport. The Class 19E electric locomotives offer high efficiency due to their ability to operate on both 25 kV AC and 3 kV DC sections of the railway network, and high reliability as they are provided with redundancy of the main equipment. They are also environmentally conscious, as the first electric locomotive system operating on the country's AC railway sections to incorporate regenerative braking.

1 まえがき

南アフリカ共和国は世界有数の資源国であり、世界的な資源の高需要を背景に鉄鉱石や石炭などの増産が計画されている。鉄道は採掘した鉱物を鉱山から積出し港へ運搬する主要な輸送手段であり、機関車の配備計画は鉱物の増産計画と密接に関係している。

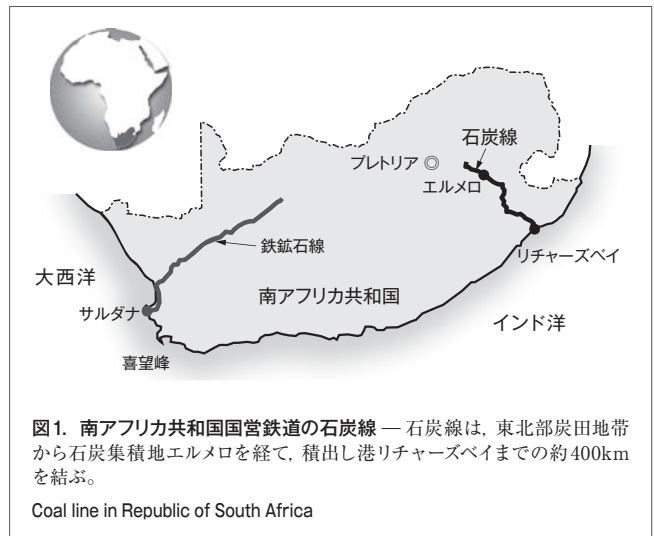
石炭の年間輸送量は現状約7,000万tであるが、2011年までには9,000万t超に引き上げる計画である。これに伴い、石炭輸送用機関車の増備が急がれている。

東芝は今般、石炭輸送用の19E形交直両用電気機関車の電気機器及び装置一式を受注した。車体製造は同国のThe UCW Partnershipが担当し、機関車システムとしての取りまとめは当社が担当している。

ここでは、19E形交直両用電気機関車の主要電気機器と制御システムについて述べる。

2 南アフリカ共和国の石炭線

石炭線は、一般貨物や鉄鉱石線と並び、同国の輸送インフラ公社であるトランスネット社の鉄道貨物部門“Transnet Freight Rail”（以下、トランスネットと略記）の主要な貨物輸送路線の一つである。図1に示すように、同国の東北部炭田地帯



から石炭集積地のエルメロを経て、インド洋に面した積出し港のリチャーズベイまでを結ぶ、総延長約400 kmの石炭輸送専用線である。

炭田地帯からエルメロまではDC 3 kV区間、エルメロからリチャーズベイまではAC 25 kV区間（周波数：50 Hz）となっている。軌間は、わが国の主要在来線区間と同じ狭軌（1,067 mm）である。

(注1) 構成を一重から二重にし、片方に障害が起きても、他方で通常の運転が継続できるように構成すること。

3 19E形 交直両用電気機関車と 電気機器・装置及び制御システム

3.1 概要

19E形交直両用電気機関車は、最大出力3,000 kWで、機関車を最大6両連結することにより、石炭運搬用の貨車200両、総重量20,800 tをけん引できる。最大編成は約2.5 kmにも及ぶ長大編成となる。

3.2 機関車の仕様

機関車の外観を図2に示し、主な仕様を以下に示す。



図2. 19E形交直両用電気機関車 — 19E形交直両用電気機関車は、AC25 kV及びDC3 kVの2種類の架線電圧に対応している。

Class 19E dual-voltage electric locomotive

- (1) 架線電圧 AC区間: 25 kV-50 Hz / DC区間: 3 kV
- (2) 軸配置 Bo-Bo^(注2)
- (3) 総質量 100 t (25 t×4軸)
- (4) 最高運転速度 120 km/h
- (5) 機関車出力 3,000 kW (連続定格出力)
- (6) 起動けん引力 392 kN
- (7) 環境温度 -10 ~ +45 °C

3.3 主変換装置の仕様

主変換装置の外観を図3に、主回路構成を図4に示し、主な仕様を以下に示す。

- (1) 制御容量 1台当たり750 kW主電動機×2台
- (2) けん引用変換器 PWM (Pulse Width Modulation) コンバータ+インバータ

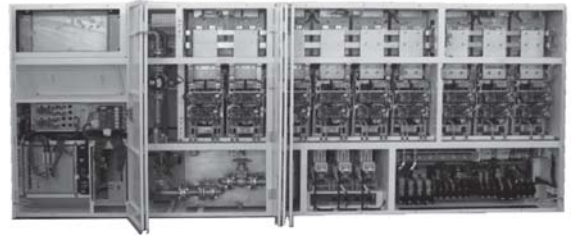


図3. 主変換装置 — 主変換装置内のIGBT素子は、水冷方式を採用したので機器配置の自由度が高く、保守性を考慮した機器配置ができる。

Power conversion cubicle

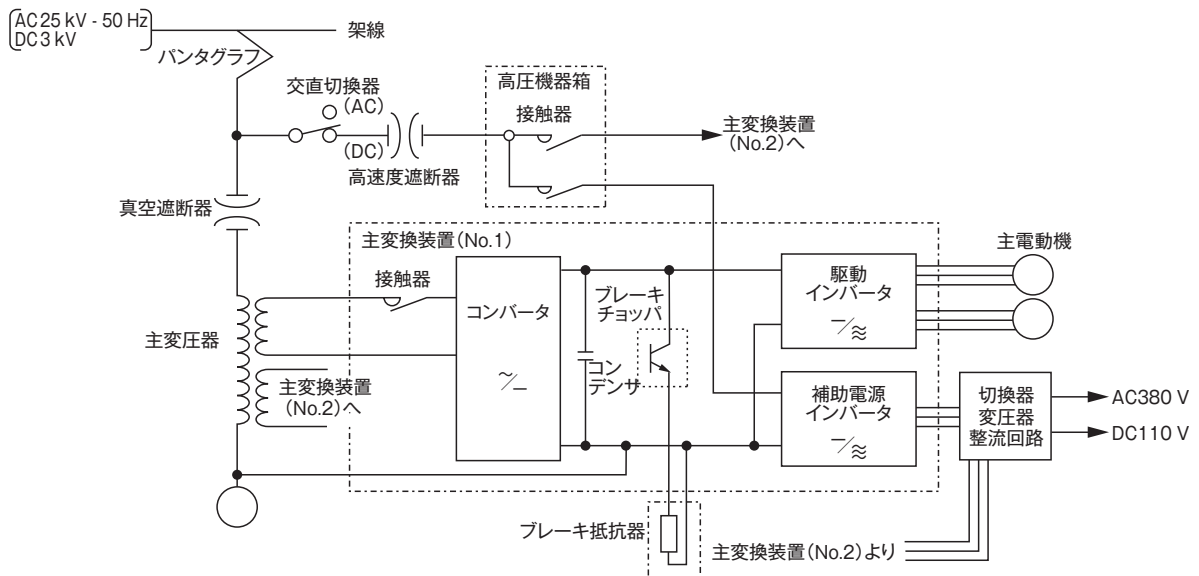


図4. 主回路構成 — DC区間ではDC3 kVの電圧が中間リンク部に入力され、AC区間ではAC25 kVの電圧がコンバータで一定DC電圧に変換され中間リンク部に入力される。

Configuration of main circuit

(注2) 軸配置とは機関車の動軸(モータが付いている車軸)の配置のことを言い、Bo-Boは機関車1両に台車が2台あり、各台車には動軸が2軸ずつある配置を表す。

- (3) 制御方式 台車別ベクトル制御方式
- (4) 半導体素子 6,500 V-600A IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)
- (5) 補助電源 250 kVA, 主変換装置に内蔵
- (6) 冷却方式 強制循環水冷方式

機関車1両には2台の主変換装置が搭載される。DC区間では、DC 3 kV 電源が各主変換装置の中間リンク部から駆動インバータ回路及び補助電源インバータ回路に供給される。AC区間では、単相 AC 25 kV が主変圧器で AC 1,792 V に降圧され各主変換装置のコンバータ回路部へ入力される。コンバータは DC 3,300 V の一定 DC 電圧を出力し、中間リンク部を経て駆動インバータ回路及び補助電源インバータ回路に供給する。駆動インバータは各々2台の主電動機を駆動する。補助電源インバータは別のきょう体に収められた切換器、変圧器、及び整流回路を介し、3相 AC 380 V と DC 110 V (合計 250 kVA) を補助・制御機器に供給する。

機関車1両当たり2台の補助電源は、1台を待機用とし、運転している1台の補助電源が故障しても、待機用の補助電源に切り換えて運転を継続できるよう冗長性を持たせている。補助電源は、機関車システムの制御部に電力を供給する重要な装置であり、機関車システムとしての信頼性を高めている。

主変換装置内のIGBT素子は、強制循環水冷方式で冷却される。強制循環水冷方式は、冷媒をポンプで強制的に循環させ、ラジエータで冷却された冷媒がIGBTを冷却するため高い吸熱効果が得られるので、大出力の変換装置に適している。更に熱源であるIGBTと放熱部であるラジエータを別々に配置できるので、保守性を考慮した機器配置にできる点が特長である。

3.4 主電動機

主電動機の外観を図5に示し、主な仕様を以下に示す。

- (1) 電動機種別 6極かご型三相誘導電動機



図5. 主電動機 — トランスネットの主流のDC電動機からかご型三相誘導電動機に替え、省メンテナンスに貢献する。
Traction motor

- (2) 連続定格 750 kW, 980 min⁻¹
- (3) 耐熱クラス 200
- (4) 最大回転数 2,714 min⁻¹, (時速 120 km/h 時)
- (5) 冷却方式 強制風冷方式

主電動機として、従来のトランスネット向け当社製機関車 10E 形及び 10E2 形の高信頼性を踏襲し、狭軌でありながら大トルク及び高出力を実現できる誘導電動機を開発した。

ステータコイルの耐熱クラスを 200 として十分な耐熱性を確保する一方で、主電動機の損失低減を図るとともに内部冷却構造を最適化し、最大荷重けん引時の上りこう配での低速バランス運転や、高地での冷却性能低下を考慮した厳しい条件においても、熱的裕度を確保している。

駆動方式については、実績のある釣掛け式のギヤピニオン駆動方式^(注3)とし、歯車箱は、保守性にも配慮し軽量かつ耐久性のある現地メーカー製の FRP (繊維強化プラスチック) 製ギヤケースを初めて採用する予定である。

3.5 主変圧器

主変圧器の外観を図6に示し、主な仕様を以下に示す。

- (1) 変圧器種別 窒素密封方式内鉄形単相変圧器
- (2) 冷却方式 強制油冷方式
- (3) 定格入力 AC 25 kV, 50 Hz
- (4) 定格容量 3,700 kVA
- (5) 定格2次電圧 AC 1,792 V
- (6) 耐熱クラス A 種



図6. 主変圧器 — 窒素密封方式の内鉄形単相変圧器で、強制油冷方式を採用した。

Main transformer

主変圧器は2台の主変換装置に対応して、1次側1巻線に対し2次側は2巻線となっている(図3)。冷却方式は油冷方式で油をポンプで強制的に循環させ巻線を冷却する。高温になった油はラジエータに送られブロワによる強制風冷で冷却される。

油は窒素を封入したタンクに入れられており、空気と直接接することがないので油の劣化を防ぐことができ、省メンテナンスが期待できる。

(注3) ギヤ(大歯車)とピニオン(小歯車)を組み合わせた駆動方式。

3.6 機関車制御システム TCMS

TCMS (Train control and monitoring system) は、パンタグラフの昇降制御、VCB (真空遮断機) やHSCB (高速度遮断器) の開閉制御、駆動制御装置への指令の伝達など、電気機関車の制御の中核である。高い安全性と信頼性が要求されるため、ハードウェアは冗長性を持たせ待機二重系の構成としている。TCMSユニットの外観を図7に示す。

編成中の他の機関車との通信では、国内外で実績のある高速伝送方式TEBusを採用した。更に伝送システムを二重化して信頼性を高めている。また、架線電圧、モータ電流など機関車の運転に必要な情報を運転士に伝える運転台の表示器には、トランスネットの実使用環境を考慮し従来のタッチパネル付液晶表示器に替えて、画面の外周にスイッチを配置した防じん性と耐水性の高い表示装置を採用している。

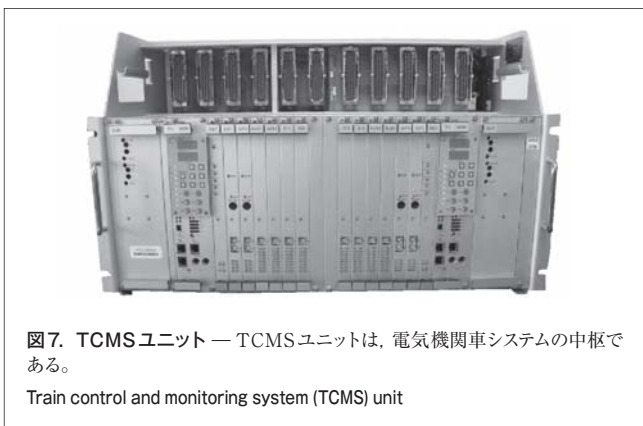


図7. TCMSユニット — TCMSユニットは、電気機関車システムの中核である。

Train control and monitoring system (TCMS) unit

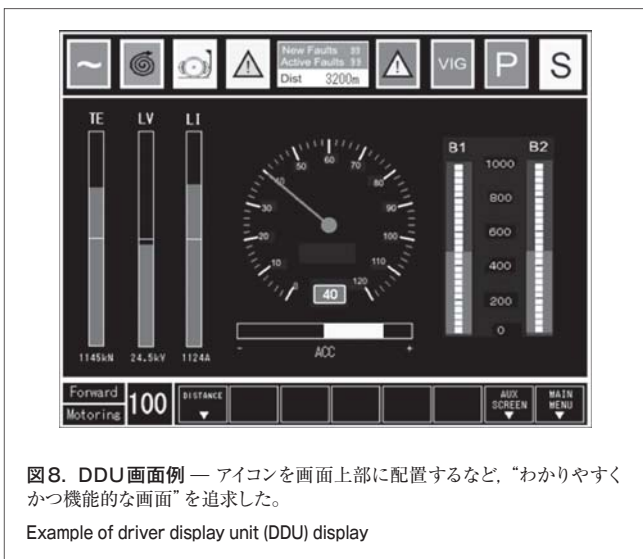


図8. DDU画面例 — アイコンを画面上部に配置するなど、“わかりやすくかつ機能的な画面”を追求した。

Example of driver display unit (DDU) display

画面デザインは“わかりやすくかつ機能的な画面”をコンセプトに設計された。機関車の各機器の状態を表す表示をアイコンとして画面の上部に配置するなど、わかりやすさにこだわった。画面表示の一例として、DDU (Driver Display Unit: 運転士用表示装置) を図8に示す。

また、19E形電気機関車は動力分散システムにも対応しており、例えば、長大貨物列車の中間と後尾にも機関車を連結して、先頭機関車からの遠隔制御が可能である。動力分散システムにより、省力化や柔軟な機関車運用が期待できる。

4 あとがき

当社は、南アフリカ共和国トランスネット向け19E形交直両用電気機関車の電気機器一式を受注し出荷を開始した。高信頼性と保守性に留意し、かつ環境にもやさしい最新の機関車システムを実現した。19E形機関車は2008年末までに営業運転に投入される見込みである。

今後も更に最新技術を取り込み、鉄道輸送のニーズに応える機関車システムを通して世界の物流を支え、社会に貢献し続けたい。

文献

- (1) 山本城二, ほか. 近代的な物流を支える機関車及び貨物電車システム. 東芝レビュー. 61, 9, 2006, p.15-19.



平原 明 HIRAHARA Akira

電力流通・産業システム社 交通システム事業部 交通車輛システム技術部主務。海外鉄道車両システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会、情報処理学会会員。
Transportation System Div.



金井 利喜 KANAI Toshinobu

電力流通・産業システム社 交通システム事業部 交通車輛システム技術部主務。海外鉄道車両システムのエンジニアリング業務に従事。
Transportation System Div.



岸 秀 KISHI Shu

電力流通・産業システム社 交通システム事業部 交通車輛システム技術部参事。海外鉄道車両システムのエンジニアリング業務に従事。
Transportation System Div.