

マカオ LRT:世界屈指のリゾート都市の基幹交通システム

Macau Light Rapid Transit (MLRT) :
Mainstay Transport System for a World-Leading Tourist City



三菱重工エンジニアリング株式会社
営業部

南シナ海に面するマカオ特別行政区(以下マカオ)は中国に接するマカオ半島部と、タイパ島とコロアネ島の間の海を埋め立て一体となった島部からなっている。半島部と島部は3本の橋によって連絡され、埋立地の部分をコタイ地区と称している。人口は約 68 万人(2019 年)で、ポルトガル領時代の建物やホテルなど近代的な建造物が密集し、世界最高レベルの人口密度となっている。カジノや公道を走るモータースポーツと世界文化遺産を有する世界有数の観光地で、観光客は 2019 年通期で 3940 万人に達している。マカオには軌道系交通機関は無くバスやタクシーが日常の交通手段であるが、渋滞と環境汚染が大きな問題となっているため、マカオ政府は 2002 年に市内交通の問題と対策の研究を開始し、2011 年にはマカオ LRT(Macau Light Rapid Transit)の車両及び関連システムを三菱重工エンジニアリング(株)(以下、当社)が受注した。2019 年 12 月に供用開始されたタイパ線の車両と関連システムの概要を以下に紹介する。

1. マカオ AGT システムの概要

本システムは全自動無人運転のゴムタイヤ車両 CRYSTAL MOVER(ブランド名)を使用した案内軌条式 AGT(Automated Guideway Transit)である。都市の特徴上、住宅地・リゾートホテル群の中を縫うような路線となっており、低騒音で小回りが利く当社の AGT システムが採用された。また、全自動無人運転により省力化を実現した当システムは、マカオの慢性的な渋滞緩和の一助となっている。本システムは車両と専用軌道(ガイドレール)、自動列車制御(ATC)信号システム、電力設備、SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)を含む通信システム、ホームドア、中央指令室とバックアップ指令室、自動料金収受機械と車両基地のメンテナンス機器・設備から成る全自動無人運転の中量輸送システムである。ピーク時の一方向一時間あたりの輸送能力(PPHPD)は 4760 人であり、システムは2両編成(Single Unit Train:SUT)を4両編成(Double Unit Train:DUT)とし、運転本数を増やすことで輸送力を増強することができる。メンテナンスは、車両基地のメンテナンス・留置施設で行われ(図1)、中央指令室(OCC)がシステム全体を制御・監視する(図2)。現在、マカオ LRT の車両基地には 110 台の車両が納入されているが、将来の路線拡張にあわせ基地の列車収容能力も拡張可能である。



図1 車両基地



図2 中央指令室

2. システム各部の特長

2.1 路線・軌道

マカオ LRT タイパ線は、観光客のアクセスポイントとなる空港・フェリーターミナルやリゾートホテル群及び住宅地を結ぶ 9.3 km, 11 駅の路線であり、2019 年に供用開始された(図3)。軌道はコンクリート製走行路により構成され複線軌道である(図4)。路線の最大勾配は約 60‰, 最小曲線半径は本線で約 45m, 車庫線で約 30mである。軌道の両側には車両を誘導するための鋼製案内レールが設置されている。また、全線にわたり非常歩廊が設置され、万一軌道上に停止した車両から最寄り駅までの避難経路が確保されている。

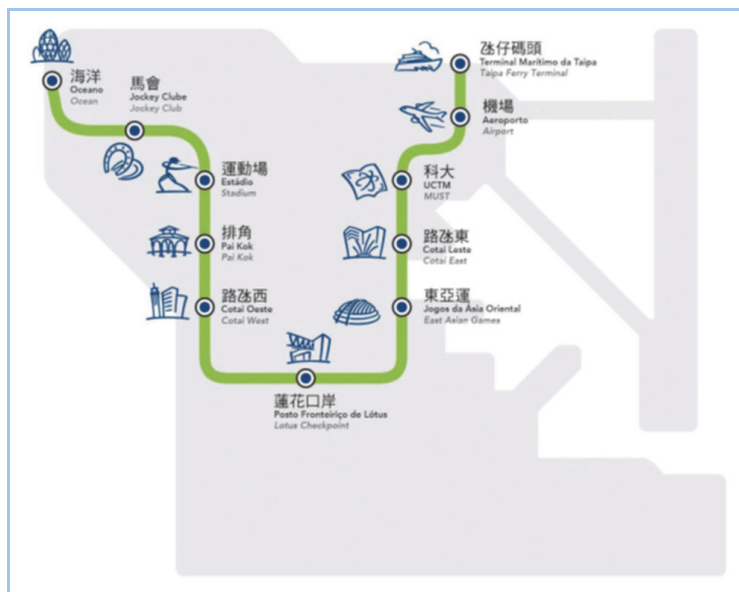


図3 路線図



図4 上下線複線軌道

2.2 運転

約 9.3km の営業線は 11 駅を複線軌道で結んでいる。全自動無人運転の2両編成列車は、運行間隔が3分(ピーク)～5分(オフピーク)であり、片道走行時間約 23 分で、1日 19 時間、365 日/年のピンチドループ運転(複線区間を多数の列車が循環)が可能。朝夕のピーク時には本線に列車を投入して運転間隔をさらに短縮するとともに、2両編成(SUT)2編成を連結して4両編成(DUT)とし輸送力を増強できる。

また、全線での双方向列車運転が可能なシステムを構築している。単線シャトル運転、複線シャトル運転、部分折り返し運転など自由度の高い運転方式が可能である。ピンチドループ運転は、列車が端末駅にある分岐を通して複線軌道間を往来することにより実現する。結果として、並行する複線軌道それぞれで同時に複数の車両運行が可能となり、より多くの駅を設置することができる。

2.3 車両

車両は2両固定編成である。1両あたり全長 11750mm、幅 2795mm、高さ 3795mm。全長 24m であり、定員は1両あたり 119 人(AW3、1m²あたり6人乗り、座席数 22 席)、平均運転速度は 30km/h、最高運転速度は 80km/h である。アルミニウム合金のダブルスキン構造を採用し、軽量化と省エネルギーを実現している。特徴的な大型フロントガラスにより、乗客は車内から眺望を楽しみ、解放感を得ることができる(図5)。1両4か所のドア上部及び各車両の両端には HD LCD ディスプレイが設置され、路線図などの列車情報やその他の情報を提供している。

車体の両側には水色と紺色の背景にオレンジ色のアクセントの波が描かれている。住民によって選ばれた“Ocean Cruiser”と呼ばれるこのデザインは、マカオが海辺の観光都市であることに着想を得ている。多客時には2編成を連結して4両編成で運転することが可能である(図6)。台車は、全数が操舵台車であり案内輪が軌道上の案内レールに沿うことにより操舵され、走行方向により機械的に操舵向きを切り替える必要のない機構が採用されている。走行時の振動、騒音の少ないゴムタイヤ式であり、タイヤには空気圧センサが組込まれ空気圧の異常を常に監視している。



図5 車内装

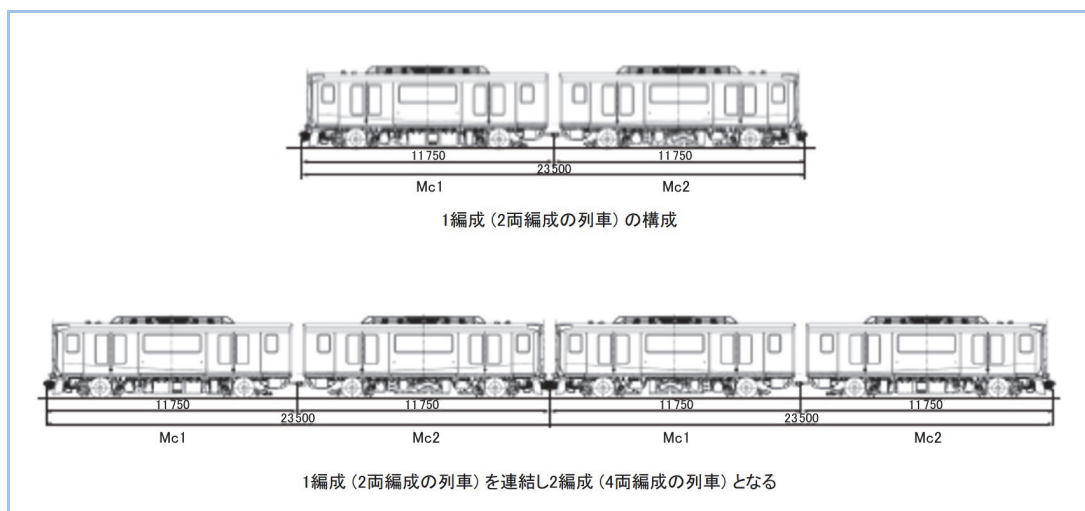


図6 車両編成構成図

2.4 自動列車制御システム

信号システムは、無線式列車制御システム(Communications-Based Train Control-CBTC)を採用している。地上-車上間の無線通信は、列車制御情報やステータス情報の伝送を双方向で連続的に行っており、漏洩同軸ケーブル(LCX)を用いた通信方式を採用することで安定した通信を実現している。この無線通信ネットワークは、地上側及び車上側ともに冗長系構成となっており、高い信頼性を確保している。車上信号装置は、車両が地上子を通過した際に受電器を介して絶対位置(基点からの距離)を認識している。地上子と地上子の間の区間では、その間の走行距離は車軸の回転数により積算することにより、自列車の位置を算出している。信号システムが車両位置を詳細に特定できることから、路線上の位置に応じた制限速度の指定などより細かな加速・減速運転及び高密度運転が実現している(図7, 図8)。



図7 沿線信号機器及び分岐



図8 信号機器室

また、自列車位置を速度センサ及び地上子を用いて算出しているが、無線による地上一車上間の連続双方向通信により、駅間走行中にも路線上の列車位置に応じて運転経路や運転モードの変更等が可能となっており、従来と比較してフレキシブルな運転が可能となっている。

2.5 通信システム

地上側の通信システムは、基幹伝送システム及び乗客案内放送/情報表示システム、監視カメラ(CCTV)及び電話等の各サブシステムをネットワーク接続したもので構成されている。車上通信システムは、車両-地上間の音声通信及び情報データ伝送に特定の周波数帯を使用した無線空間波方式を採用している。車内監視を目的とした車上 CCTV システムの映像データを無線にて送受信している。

また、駅プラットフォーム及び車内には、案内情報表示用の液晶ディスプレイが設置されており、案内放送と連携した運行情報の提供、乗客への注意喚起等の案内を行っているほか、列車到着時間の提供や広告コンテンツ配信、緊急メッセージを含むその他の重要な通知にも利用されている(図9)。



図9 運行情報システム



図10 電力供給機器室

2.6 電力システム

マカオ LRT は、二つの変電所から二つの送電線を介して三相交流 22kV 電力を受電している。一つの変電所は車両基地の近くにあり、もう一つは本線の終着駅の近くにある。車両走行用は、変電所内で直流 750V に変換して軌道上の電車線に送電している。信号、通信等の設備用には、交流 400V に降圧して無停電電源装置 (UPS-Uninterruptible Power Supply) を介して配電している。システム全体は、上記二か所の変電所を経由して電力を供給されており、いずれの変電所からも十分な電力を受け取ることができる。また、これら二つの変電所に冗長性を持たせることにより、一つの変電所からの電力供給が一時的に停止したり、マカオ LRT 側の電力機器の一部保守や異常時でも、列車の運行に支障を来すことはない。電車線は、運行パターンに合わせて区分されており、セクション間に設けられている開閉器の開閉により、保守や異常時対応のための一部区域の電源遮断等、自由度の高い電力の供給・遮断が可能である(図 10)。

また、回生電力蓄電システム (Regenerative Energy Storage System) が各駅に設置されている。同システムは各駅での停車のためのブレーキにより発生した回生電力をバッテリーに蓄電し、各駅を発車する電車の加速に有効活用するものである。電力機器は中央指令室 (OCC) にある専用の SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) に接続されており、OCC から充電状態や電力機器の状態監視、また電源入り切りの制御を行うことができる。

2.7 駅設備

乗客の軌道内への転落などの事故を防止するため、プラットフォームにはホームドアを設置している。高架の駅ではハーフハイト(腰高)のホームドアが設けられている。車両側面とホーム端との間隙を最小限としたことにより乗客の安全な乗降を実現している。駅に到着した列車が停止許容範囲を超えてホームドアとずれて停車した場合には、乗客はホーム上の非常脱出用ドアを利用することができる(図 11)。

また、故障・事故などの非常事態が発生し列車が駅間で停止した場合には、中央指令室の車内放送に従って乗客は車内の非常用ドアハンドルを操作して手動で電車のドアを開け、軌道上の非常歩廊を歩き最寄りの駅に避難することができる。非常事態が発生し列車が止まっているので電力も自動的に停止している状態である。

2.8 料金収受(AFC)システム

料金収受システムは中央指令サーバと各駅に設置された自動改札、券売機より構成されている。中央指令サーバは運賃テーブルの設定、IC カード管理、運賃収入計算、集計レポートの発行といった機能を担っている。本システムでは非接触タイプのチャージ可能な IC カードを採用している(図 12)。



図 11 ホームドア



図 12 自動改札機

3. 終わりに

マカオ LRT は 2019 年 12 月 10 日の開業以降の1か月で、想定していた2万人/日を大きく上回る2.7万人/日が利用し、住民・観光客のモビリティ向上に寄与しており、都市の交通手段として早くも定着している。また、本システムの定着により都市内の渋滞緩和による環境負荷低減(CO₂削減)も期待されている。これらメリットも鑑みマカオ政府は本システムについて複数の延伸路線を計画しており、今後ますます重要な都市の基幹交通手段となっていく見込みである(図 13)。



図 13 開業後、乗客でにぎわうプラットフォーム

三菱重工グループの AGT システムは、米国ではマイアミ、ワシントン・ダレス、アトランタ、オーランド、タンパの各空港で運行しており、質の高い O&M(運用・保守)サービスにより高い稼働率を誇っている。そのほか、シンガポール、韓国、ドバイなど世界各地の主要空港・都市ならびに日本国内主要都市で豊富な実績があり、国内外の新交通システム市場でトップを争う地位にある。

当社は引き続き、これまでの納入や稼働実績に裏付けられた AGT システムの信頼性に加え、豊富な実績から培ったエンジニアリング力やプロジェクトマネジメント力を強みとして、都市や空港に於ける新規路線建設だけでなく O&M、既存路線の拡張、輸送力増強、更新工事にも取り組み、AGT システムの普及にさらなる力を注いでいく。