

バンコク パープルライン — 台車 —

Thailand Bangkok Purple Line
— Bogie —

市川 聡 Satoshi ICHIKAWA
高橋義博 Yoshihiro TAKAHASHI

タイ バンコクパープルライン通勤電車用台車を製作・納入した。本台車は、海外の規格への対応・第三軌条方式であることなど、海外では一般的仕様であるが、日本要求仕様とは異なる点が多く、その対応力が求められた。

本解説では、台車の概要・構成、解析および試験、今後の展開について述べる。

1 はじめに

タイ バンコクパープルライン用として63両126台車を現地に納入し、残された様々な対応を引き続き行っているところである。

本稿では、そのパープルライン車両用台車についての概要を紹介する。

経験の少ないヨーロッパ規格への適合、建築限界 (Structure Gauge) がレール面上100mmと非常に高いなど、種々困難を乗り越えて実現した台車の概要を紹介する。

表1 主要諸元

	M台車	T台車
台车型式	TS-1039	TS-1040
台車方式	空気ばね式ボルスタレス台車	
けん引方式	一本リンク式	
軸箱支持方式	コイルばねによる円筒案内式	
営業最高速度	80 km/h	
設計最高速度	96 km/h	
軌間	1435mm	
全長	約3835mm	約3605mm
全幅	3130 mm (集電装置)	
全高	940mm	
軸距	2100mm	
車輪径 (新製時)	860mm	
軸ばね左右間隔	2070mm	
空気ばね左右間隔	2000mm	
駆動方式と継手	平行カルダン式WN継手	
基礎ブレーキ	車輪ディスク式キャリパ方式	
台車質量 (排障器付き/なし)	7556kg /7485kg	5594kg

2 台車概要

パープルライン用台車は、標準軌および第三軌条に対応したボルスタレス台車であり、軸箱支持装置は円筒案内式を採用し、軸距は日本で一般的な2100mmである。

3両編成Mc-T-Mcの車種構成であり、先頭のM台車には、排障器を装備している。台车型式は、TS-1039をM台車、TS-1040をT台車としている。技術仕様書に基づき、M台車とT台車とで極力共通化を行った設計とした。

図1に台車外観を、表1に主要諸元を示す。

台車に対して、客先の技術仕様書を満たすことに加え、実績のある構造を要望された。一方でヨーロッパの規格を満たすことも要望されているため、実績を重視しつつ規格を満足できる構造として設計を進めた。



図1 台車外観 (集電装置取付)

3 台車構成

3. 1 輪軸

輪軸に対する技術仕様書の要求はEN13103/EN13104を満たすこと、似た環境で十分な実績を有することである。

これを受けて本台車で使われる輪軸は、日本の在来鉄道でほぼ全数に使用されている材質を使用した。

3. 1. 1 車軸

車軸は、M台車用とT台車用の2種類である。技術仕様書における材質の要求は34CrNiMo6であった。当該材質は合金鋼で引張強さが非常に高く、伸びが非常に小さい特性を有する。軽量化には有利であるが、き裂などの不具合に対して破断に至りやすい欠点^{(1), (2)}を有する。車軸はフェールアウトの部品であるため、このリスク軽減のため、伸びが大きく日本で十分実績のあるSFA65Aを使用した。

車軸の強度評価は、技術仕様書に基づきEN13103/EN13104を適用した。

3. 1. 2 車輪

車輪は、一体車輪でありM台車とT台車とで共通である。ブレーキディスクを取り付ける構造で、新製時の車輪直径は860mmである。

材質は、日本で十分実績のあるSSW-Q3Sを使用しており、強度評価はEN13979を適用した。

車輪踏面形状はUIC60E1レールを考慮して、新たに設計した形状を用いている。

3. 1. 3 車軸軸受

車軸軸受は、日本の通勤車両で一般的に用いられる軸径120密封複列円錐ころ軸受を用いた。軸端装置の違いにより、一般用、歯車型速度発電機用、駆動ピン型速度発電機用と軸端接地装置用との4種類の前ぶたが存在する。軸受本体はすべて共通である。

3. 2 軸箱

軸箱はくら掛構造とし分解の容易化を図るとともに、車輪転作時に荷重が受けられる構造とした。

台車洗浄装置による軸受シールを保護するために、全ての軸箱で前ぶたを取り付けた。

軸箱の設計はM台車とT台車とで共通である。

3. 3 軸箱支持装置

軸箱支持方式は、海外向けに実績を考慮し、コイルばねをウィング配置した円筒案内方式とした。

また、車輪ディスクブレーキの配置によるブレーキキャリパとの干渉を防ぐとともに、軸頸間隔を小さくさせるために、ウィング配置したコイルばねを枕木方向にオフセットさせる形式を採用した。

最高速度80km/hを考慮し、軸ダンパは取り付けない。

軸箱支持装置は、コイルばねも含めてM台車とT台車とで共通である。

3. 4 台車枠

台車枠の技術仕様書での要求は、箱型の溶接構造であること、30年の使用に耐えられる構造であること、UIC515による評価を行うことである。それらを満足するため、ヨーロッパ規格に基づく溶接施工方法に準拠した台車枠の設計を行い、M台車枠も含めた強度評価はUIC515ではなく、MUIC615-4に従って実施した。

台車枠の主要構造は、M台車とT台車とで共通であり、側ばり、横ばり、端ばりとして構成される。溶接構造は基本的に突合せ溶接とすみ肉溶接として、ヨーロッパの溶接構造規準を満たす構造としている。

側ばりは、箱型の溶接構造である。その内部の一部は、空気ばねの補助空気室として利用している。

横ばりも、箱型の溶接構造とし、M台車枠から主電動機受と歯車箱吊り受台とを除けば、T台車枠となる。

端ばりは、ディスクブレーキ取り付けのために構成される。側ばり側からディスクブレーキ受までは、強固な箱型構造を有し、大きな強度を必要としない中央部は軽量化の観点からI型構造を採用した。

台車枠の主な材質はSM400Bを使用している。

3. 5 駆動装置

交流誘導電動機とWN継ぎ手を用いた一般的な駆動装置である。歯車比は、1/6.79である。

建築限界がレール面から100mmと高いため、主電動機、歯車装置とも大きな制約条件のもと設計された。そのため、主電動機は径を大きく取れず、枕木方向に長いタイプを採用した。

3. 6 車体支持装置

技術仕様書に基づき、空気ばねを用いたボルスタレス方式を採用した。車体支持方法は、日本で十分な実績を有する空気ばね4点支持方式とした。けん引装置は、1本リンク方式を採用した。技術仕様書の要求に基づき、車体をジャッキアップ時に緊締せずに台車を持ち上げられる構造を採用した。また、異常上昇止めのすき間は調整可能な構造である。

最高速度を考慮し、ダンパ装置は左右動ダンパのみと

し、メンテナンス性を向上させた。

車体支持装置は、M台車とT台車とで共通である。

3. 7 ブレーキ装置

基礎ブレーキ装置には、車輪ディスクブレーキを使用している。技術仕様書に基づき、在姿でのブレーキ装置の着脱が可能な構造とした。

各軸の1台は、パーキングブレーキを有している。パーキングブレーキの手動リリースは、台車側面のコックを操作することで、台車内の全てのパーキングブレーキを解除できる構造とし、取り扱い性の向上を図っている。

各車軸軸端部には、速度発電機を取り付け、滑走を検知できるシステムとした。

ブレーキ装置は、速度発電機も含めてM台車とT台車とで共通である。

3. 8 台車配管

台車配管は、ブレーキ配管と集電装置の上下のための配管とが配置される。配管材料は、仕様書に基づきステンレス材を用いている。

ブレーキ配管は台車あたり3本を有する。各軸制御ブレーキ用の2本とパーキングブレーキ用の1本である。

端ばりにブレーキ装置が取り付けられていること、中央部は集電装置の配線・配管が通っているため、端ばりから車体に空気ホースを用いて立ち上げている。

集電装置用の配管は、シューアームの下げ動作用、上げ動作用の2本を有する。集電装置は、空気ばね近傍に取り付けられるため、横ばりから車体に空気ホースを用いて立ち上げている。これにより、ブレーキ配管と区別している。

台車配管は、M台車とT台車とで共通である。

3. 9 集電装置

技術仕様書での要求と、車両の電気システムとの関係から全台車の左右両側に集電装置が取り付けられている。集電装置は、技術仕様書の要求に基づき台車枠架装である。集電シューは車輪の摩耗に合わせて高さを調整できる機構である。

Depotの車体ジャッキとの干渉防止のため台車中心から車端側へオフセットした位置に取り付けられている。

取り付けられる集電装置は電流値の違いにより、フューズ容量、電線本数が異なるためにM台車とT台車とで別部品となる。

3. 10 接地装置

軸端接地装置は、軸箱の1, 8位に取り付けられている。接地線は車体～軸端、台車枠～軸端の2本となっている。

また、台車枠～軸箱間は電氣的に絶縁されているので車軸軸受は電氣的に保護されている。

接地装置は、M台車とT台車とで共通である。

3. 11 排障装置

M台車の前位寄りに排障装置が取り付けられる。排障装置は、技術仕様書に基づきGM/RT2100による強度確認を行った。

4 解析および試験

設計手順の一般として、Verification & Validationを考慮して台車の設計を進めた。ここでは設計段階で数値解析による評価を行い、最終段階で試験によって妥当性を確認した。試験は、EIC61133に従って検証した。このプロジェクトで実施した代表的な解析、試験を以下に示す。

4. 1 台車枠強度評価

台車枠の強度検証は、技術仕様書に基づきUIC615-4に従って実施し、DVS1612により評価した。詳細は、別解説の「バンコク パープルライン 一車両の強度解析と試験設備」に述べられているので、本項では省略する。

基本的な流れは、台車枠全体を解析対象としてモデル化し、すべての荷重条件で解析を行う。その確認のために静荷重試験を実施し、解析と比較する。最終的に疲労試験を実施し、問題のないことを確認する。

図2にその解析結果の一部を示す。



図2 解析結果の一例

解析に引き続き、同規格に基づき静荷重試験を実施した。その様子を図3に示す。静荷重試験は、社内で行った。

さらに最終確認のために、同規格に基づき台車枠の疲労試験を実施した。疲労試験は、規格の要求事項（海外

では一般的)を実施できる試験装置・機関が国内にはないため、ポーランドの試験機関に依頼して実施した。

規格の要求に基づき、全1000万回の繰り返し上下、左右、ねじり荷重を与え、規格の要求である800万回までの間で溶接部の表面に問題のないことを確認した。

図4にその様子を示す。



図 3 台車枠静荷重試験



図 4 台車枠疲労試験

4. 2 建築限界と車両限界

今回のプロジェクトでは、技術仕様書において建築限界 (Structure Gauge) のみが示され、そこを通れる車両の設計が要求された。

これに応じて、左右振動による限界を犯さない検討を行い、車体の大きさを決定した。検討条件は技術仕様書に従い、台車各部の変位を算出した。この結果を用いて、建築限界を犯さず、プラットフォームとの十分なすき間

を有する車体形状が決定された。

この机上検討を確認するために、定置での車体傾斜試験を実施した。車両の片側 (各軸片輪) を適当量まで持ち上げ、車体支持装置の左右変位、車体ロール角度を測定した。この結果から車両が建築物と接触することなく走行可能であることを確認した。

図5に試験風景の一部を示す。

最終的に、現地での走行試験により、主にプラットフォームとの間のすき間を確認する予定である。



図 5 車体傾斜試験

4. 3 走行安全性および安定性

走行安全性は、技術仕様書に基づきUIC518によって評価した。

設計段階においてSIMPACKを用いて曲線通過時の脱線に対する評価を行った。解析に用いたモデルの例を図6に示す。この解析に基づき踏面形状を決定し、走行安全性に問題のないことを確認した。曲線条件は、本線上に有するカントが高い条件、曲線半径が小さい条件として選定した。

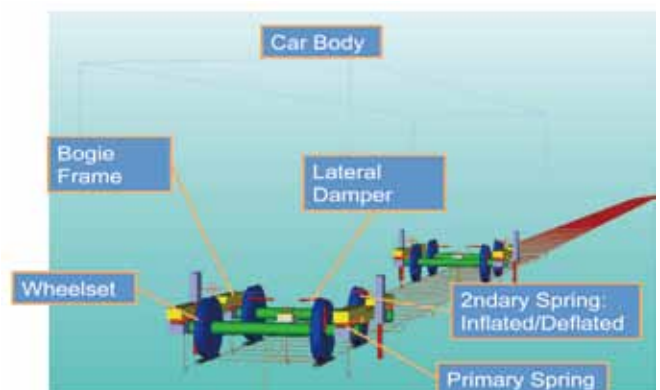


図 6 走行安全性検討モデル

次に、UIC518では要求はないが、技術仕様書に基づき定置での輪重抜け試験を実施した。1両中2輪を規定量まで持ち上げ、ねじり状態を作り出して輪重値を測定した。海外案件では一般的であるカント低減区間に局所的な不整が生じた場合を模擬した際の輪重値を測定する試験である。この結果、空気ばねパンク時も含めて輪重抜け量が技術仕様書で要求される60%以下であることを確認した。図7に試験風景の一部を示す。

最終的に現地の本線で走行安全性確認試験を実施する予定である。技術仕様書に規定されたUIC515から引用されるUIC518に基づき、加速度測定により走行安全性および高速安定性を確認する。



図7 輪重抜け試験

4. 4 乗り心地

乗り心地に対する要求は、技術仕様書においてISO2631-1/4と指定されている。これによって評価し、本線走行で確認する予定である。

乗り心地に対する検討は、Noise & Vibrationの一部として、SIMPACKを用いた数値解析にて評価した。乗り心地の評価のために軌道不整の入力が必要となるが、ERRI B 176を用いた。この結果、乗り心地は良いと判断できた。

乗り心地の確認は、現地にて行う試験であり、本線走行により振動乗り心地を確認する。走行時の車体振動加速度測定を行い仕様書に示された許容値以下であることを確認する予定である。

5 今後の展開

前項でも述べたが、本稿執筆時点では完全に完了したものではなく、主にバンコクでの本線走行などの対応が残されている。

各種対応を完了した後、今後の海外展開について今回の経験を元に実施していく必要があると考える。

6 おわりに

パープルライン用台車の概要を述べてきたが、海外規格に対応した台車の設計および製作の経験を生かし、その能力を高めていくことが重要であると考え。

参考文献

- (1) C Klinger, 他：「Axle fracture of an ICE3 high speed train」, Engineering Failure Analysis, (2013)
- (2) 石塚弘道：「日本と欧州の車軸を比較する」, RRR, (2011)

著者紹介



市川 聡
技術士（機械部門）
生産本部
技術部（台車設計） 主査



高橋 義博
生産本部
技術部（台車担当）グループリーダー

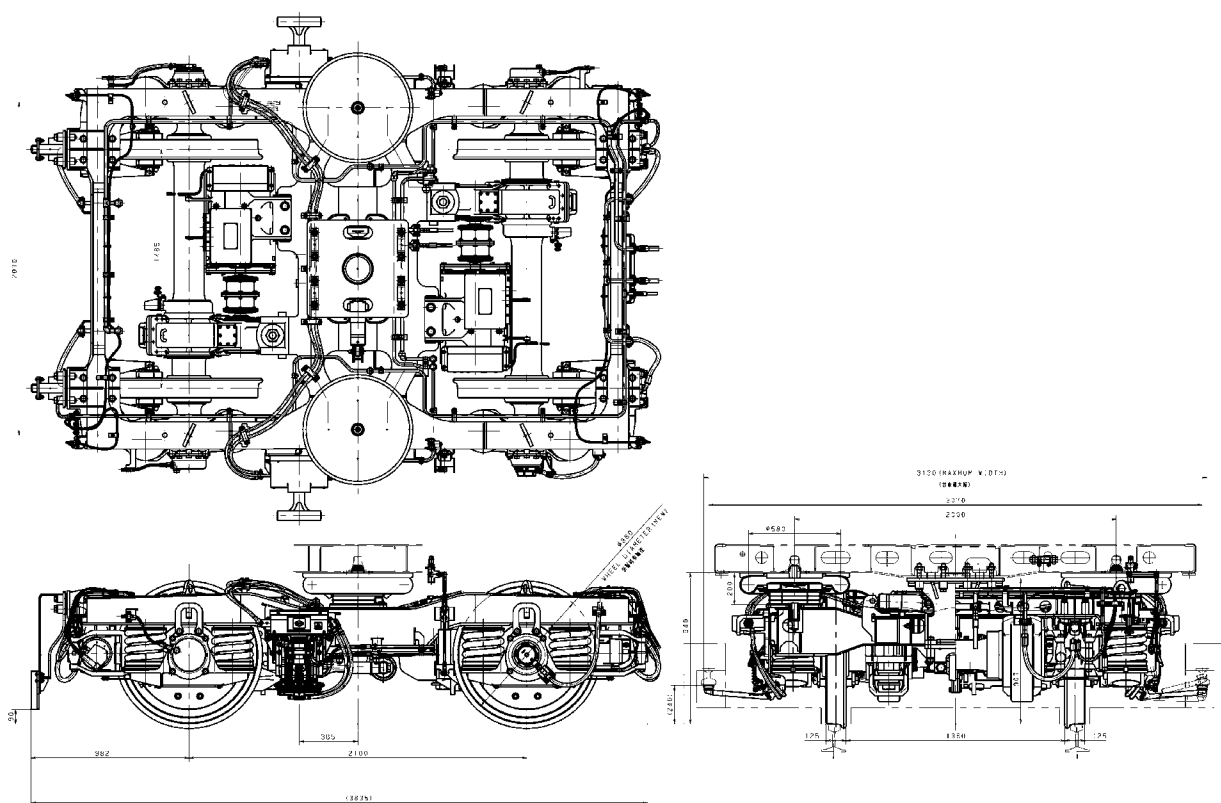


図8 台車組立 (M 台車)

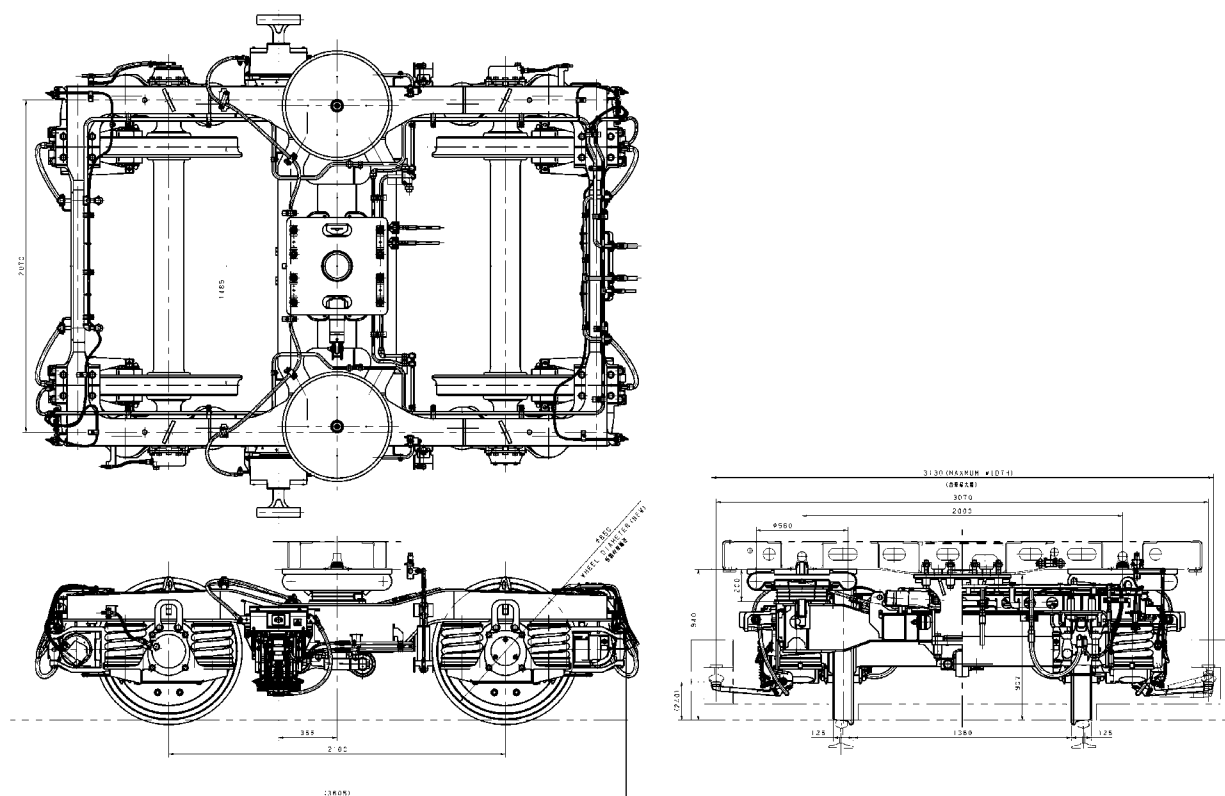


図9 台車組立 (T 台車)