

ドイツのトラムトレイン —推進のための計画制度の仕組みとハードウェア開発—*

Tram-Train in Germany - Planning System and Hardware Development for Promotion- *

阪井清志**

By Kiyoshi SAKAI**

1. はじめに

日本の大都市における郊外鉄道と地下鉄との間の相互直通運転は、郊外部の居住地と都心の就業地との間を乗換なしで移動できる、世界的にも優れたシームレスな交通システムである。しかしながら、地方都市においては、路面電車、地方民鉄の郊外路線、JR鉄道網などの既存ストックはあるものの、相互直通運転などのシームレスな交通システムの構築に向けた取り組みがほとんど行われていない状況にある。

しかしながら、例えば、富山市において、鉄道路線を活用したLRTの営業が始まったこと、「都市鉄道等利便増進法」の制定により、大都市において既存ストックを活用したシームレスな鉄道を整備する取り組みが始まったことに加え、都市政策の分野においても、集約型都市構造を実現するため、都市内公共交通機関の強化の方向性が提言されるなど、今後、地方都市においてもシームレス化による利便性の高い軌道系公共交通機関の整備の取り組みが進むものと推測される。

地方都市において、都心部の路面電車と郊外部の鉄道を直通運転する技術は、「カールスルーエ・モデル」とも呼ばれるように、ドイツのカールスルーエ地方が著名である。特にカールスルーエ・ブレッテン間において、新たに開発した交直両用車両により1992年に開業した路線の成功をきっかけとして、欧州に普及しつつあり、都市ないしは都市圏人口で20～50万人程度の地方都市圏に適したシステムであると言われている。日本においては、各都市の事例紹介¹⁾や日本への適用性検討のための考察²⁾は行われているものの、トラムトレインを推進するための計画制度やハードウェア開発の詳細に遡って分析した報告がないのが実情である。

そこで、本研究では、ドイツにおける路面電車及び鉄道路線の直通運転を対象として、計画面での推進の仕組み、ハードウェアの技術開発、整備効果について、3都市(カールスルーエ、ハイルブロン、カッセル)等でヒ

*キーワード: 公共交通計画、鉄道計画、地域計画

**正員、国土技術政策総合研究所都市研究部

(茨城県つくば市旭一番地、

TEL029-864-3949、FAX029-864-6776)

アリングを行い、その結果を踏まえて、日本への適用を検討する際の留意点について検討した。

なお、本稿では、トラムトレインについて、鉄道規格と路面電車(トラム)規格の双方に適合した車両を用いて、直通運転するシステムを対象とすることとする³⁾。

2. 計画制度の枠組み

3都市等でのヒアリング結果を踏まえ、近年、ドイツの地方都市でトラムトレインの普及が進んでいる計画制度面の要因について分析する。

(1) 地域計画制度

ドイツ連邦政府により、州全域又は州内の広域的な地域を対象として、州政府又は自治体連合が地域計画を策定する地域計画法(Raumordnungsgesetz、ROG)³⁾が制定されている。計画事項としては、①地域構造(空間秩序の種別、中心地、成長点などの特殊機能、宅地開発、開発軸)、②オープンスペース構造、③インフラの位置及びルート(交通、ユーティリティー施設、廃棄物処分施設)が定められている。地域計画の運用は、基本的には各州政府の自由意思に委ねられているが、全州がこの制度を運用している。

計画事項のうち、中心地については、高位中心地(概ね人口30万人以上)、中位中心地(概ね人口3.5万人以上)が州政府により定められている。トラムトレイン網の中心都市であるカッセル市、カールスルーエ市、ザールブリュッケン市、ハイルブロン市はすべてこの高位中心地に位置づけられている。

また、例えばバーデン・ビュルテンブルク州において広域地域計画の策定対象区域は、上位中心地(例えば、カールスルーエ、ハイルブロン等)を中心として周辺の中位中心地を含むエリアとして指定されており、この区域が運輸連合(法的には、管内の郡及び独立市から構成される自治体連合)の区域とほぼ一致している。

自治体や運輸連合でのヒアリングにおいては、例外なく、説明の冒頭で、対象圏域の地域構造及び中心地の配置が解説されており、トラムトレインという交通施策が、地域計画の計画事項である「中心地」及び「開発軸」

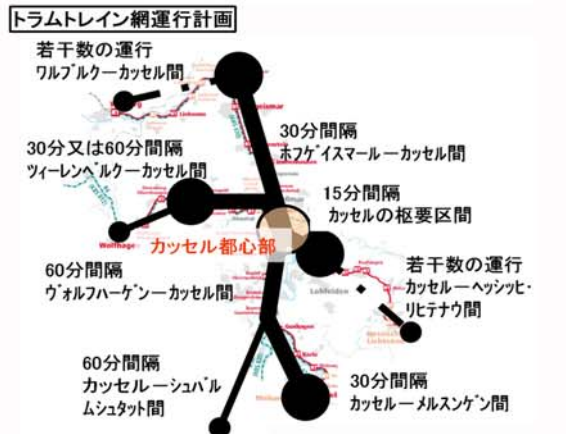


図-1 カッセル地域の地域構造とトラムトレイン計画
(北部ヘッセン運輸連合提供資料から作成)

を強化するツールとして捉えられている。図-1に示すカッセルを中心とする地域構造とトラムトレイン計画は、北部ヘッセン運輸連合から提供を受けた資料であり、このことを裏付けている。

(2) 鉄道の地域化制度

ドイツ連邦政府は、鉄道改革の一環として、地域化法を制定し(1996年施行)、旧東西ドイツ国鉄の地域路線については、新たな運行企業の参入を図るとともに、監督権限を州に下ろして、交通事業の経営主体と利用者及び財源負担者とを密着させることにより、透明性を高くして効率的な経営を図ることとした。また、運営支援のため、連邦財源を州政府に譲与する仕組みも合わせて導入した。

この改革により、トラムトレインを含む地域鉄道については、基本的には、州政府が、法令上の事業責任者として、計画、運行事業者の組織編成及び資金調達を担うこととなった。その際、多くの州においては、州の地域化法を制定して、地域鉄道の事業責任者としての権限を、州からさらに運輸連合に下ろすとともに、連邦政府から譲与された財源を活用し、運輸連合に助成することにより、地域鉄道の整備・運営を支援する仕組みを導入した。

図-2に、カールスルーエ市営アルプタール交通公社の鉄道路線網の拡大の推移を、図-3に、現在の路線網を示す。地域化法の施行以前に、交直両用車両を新規に開発して路線網拡大の基礎を整えているものの、地域化法がその後の路線拡大の追い風となっている。

3. ハードウェア開発の経緯

ドイツにおける鉄軌道の建設及び運行に関する法体系は、市内のトラム線などの近距離の交通を扱う旅客

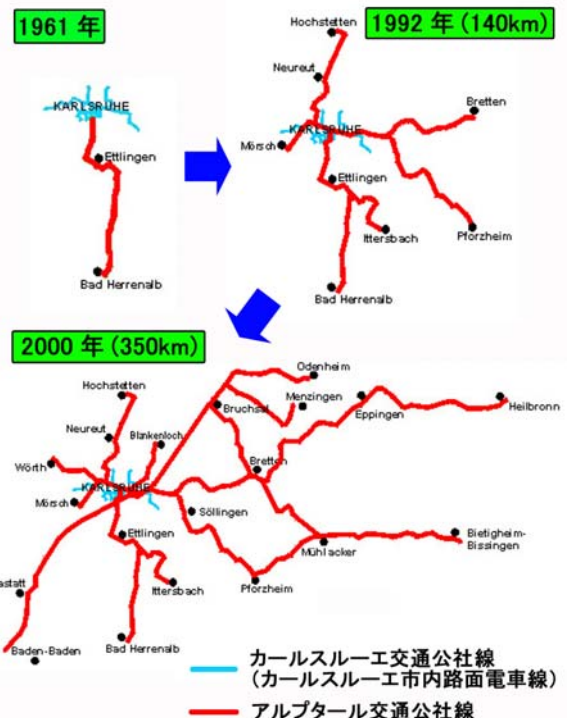


図-2 鉄道路線網の拡大の推移⁴⁾

輸送法(PbefG)³⁾と、全国をネットワークする鉄道を扱う一般鉄道法(AEG)³⁾の2本立てであり、軌道法と鉄道事業法の2つの体系を有する日本とも類似している。ともに、土木構造物としての軌道、車両や運行に関する技術基準も整備されており、トラムには、「路面電車建設・運転規則(以下“BOStrab”と言う。)」³⁾が、鉄道には、標準軌(1435mm)に適用される「鉄道建設・運転規則(以下“EBO”と言う。)」³⁾が制定されている。大まかな特徴としては、EBOは、全国ネットワークとして、様々な車両が安全に通行することを許容するために互換性を重視し、車両や設備の細部に至るまで規格化・統一化が図られているのに対し、BOStrabについては、地域の特性に合わせて交通システムを導入できるように、柔軟性が高い。

また、旅客輸送法及びBOStrabが適用される軌道は、大きく、「道路に依存する軌道(straßenabhängige Bahnen)」と「専用の軌道(unabhängige Bahnen)」の2つに大別されている。前者がいわゆる併用軌道、後者が専用軌道に相当する。前者については、旅客輸送法第4条第1項第1号により、「公道を利用し、施設、運行設備及び

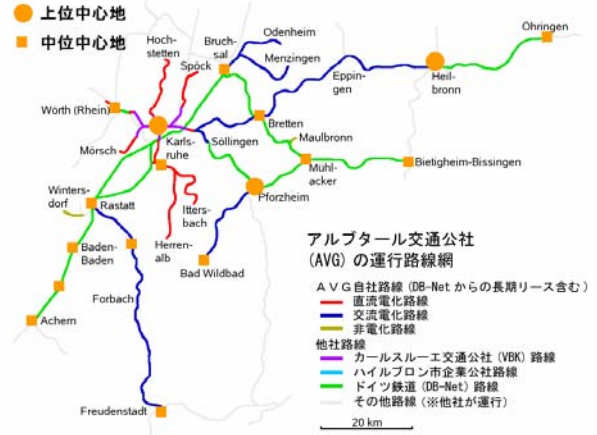


図-3 現在の路線網(530km)⁴⁾

運行手法に関して、「道路交通の特性に適合する軌道」と定義されている。道路交通に参加するため、道路交通の特性に適合できるよう、インフラ、車両及び運転に関して、車両最大幅は2650mm、連結車両最大長は75m、最高速度が道路交通の最高速度以下、独立した2種類のブレーキを装備することなど、より厳しい仕様を満足しなければならない。他方、専用軌道とするためには、道路との交差を踏切とするなど、他の道路交通に影響されない

表-1 鉄道とトラムの規格の相違点と克服のためのハードウェア開発(文献5)等から作成)

規格項目	鉄道規格(EBO)とトラム規格(BOStrab)の相違点	相違点の克服の方策	事例
車体のバッファロード	<ul style="list-style-type: none"> 鉄道の場合DIN12633で、機関車・客車は2000kN、気動車・電車は1500kN(連邦所管のドイツ鉄道網などを走る場合はこの値を満足することが必須) トラムの場合、軽量型地下鉄、都市鉄道車両は400kN、路面電車は200kNと規定 	<ul style="list-style-type: none"> 衝突時のリスクの再評価を行い、新たな規定を設定(「軽量近距離交通鉄道車両(LNT)を公共交通の鉄道車両と混合して運行する場合の特例措置」) 路線の最高速度が160km/h以下の路線において、90km/h~100km/hの最高速度で剛性600kNのトラム車両を走行させることが可能となった 	<ul style="list-style-type: none"> カールスルーエ カッセル
車輪プロフィールと軌道との関係	<ul style="list-style-type: none"> 車輪プロフィールはDIN等で規定され、鉄道はトラムより、フランジ幅・高さ、リム幅が大きく、形状が異なる レールは道路に依存する軌道(トラム)の仕様が厳しい[自転車車輪の落ち込み防止などから] そのためレールの形状が鉄道・トラムで大きく異なる[平床レールvs溝型レール] 	<ul style="list-style-type: none"> 大きなフランジの車輪のトラム路線への乗り入れの場合は、溝型レールの交換(狭溝→広溝タイプ)、ポイントの交換(平溝→深溝)、車輪裏面側のカット等 トラム車両を鉄道路線に導入する場合は、高速安全性確保のためのフランジの拡大(例えばシステムBの採用)等が必要 ポイント部での安全な車輪誘導を行うため、ガードレールの嵩上げ、可動フラグ・可動ウイングレールの採用(バックゲージ)が異なる車両の走行の場合が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ケルン・ボン鉄道(インフラ側改良) カールスルーエ(EBO規格に適合する車輪の開発)
車両限界及び建築限界	<ul style="list-style-type: none"> EBO車両の最大幅は3290mm(実際は2850~3100mm) 道路に依存する軌道を走行するBOStrab車両の最大幅は2650mm BOStrab車両を鉄道に持ち込むことは出来るが、EBO車両を道路に依存する軌道に持ち込むことは不可 	<ul style="list-style-type: none"> BOStrab車両を鉄道に持ち込む場合には、可動式ステップの装着により車両とプラットホームとのギャップ33~53cmを埋める EBO車両を市内トラム線に持ち込む場合には、トラム線を「特別な路盤」(道路面から物理的に分離)とするほか、軸重増加に伴うインフラの補強が必要 	<ul style="list-style-type: none"> カッセル・レギオトラム カールスルーエ ツヴィッカウ ザールブリュッケン
車両床高さとプラットホームの高さ	<ul style="list-style-type: none"> EBO規格は76cm又はSバーン専用として96cm(実際は、38~96cmの様々な高さがある。) BOStrabは数値の指定が無く、道路面(0cm)から様々な高さあり 高齢者・身障者対応(バリアフリー)を考慮しなければならない 	<ul style="list-style-type: none"> 低床車両(乗降口300mm、可動ステップの床下収納が厳しい)を鉄道規格に持ち込む場合には、4線軌条方式による幅寄せを行う[及び階段状ホームの採用] 高床車両、中床車両の場合は、車内の可動ステップ又は車外の可動ステップにより、ギャップを埋める スロープ板(手動式)の装備 プロフィール・プラットホームの利用(都心部における景観配慮の目的もある) 	<ul style="list-style-type: none"> カッセル・ロッセタル線、パウナタール線 ケルン・ボン鉄道 カールスルーエ カッセル・レギオトラム カッセル・レギオトラム デンバー、マンチエスター等
動力	<ul style="list-style-type: none"> ドイツ鉄道: AC15kV 16+2/3Hz (フランス国鉄: AC25kV 50Hz) ドイツ国内のトラム: DC600V~750V 	<ul style="list-style-type: none"> デュアル動力方式車両の開発(軸重制限と機器設置スペースの観点から機器類の小型・軽量化の技術開発課題有り) 	<ul style="list-style-type: none"> シーメンス、ボンバルディア、アルストームにおいては、トラム・トレイン用デュアル動力方式車両を開発済み
運転保安設備、通信設備	<ul style="list-style-type: none"> 鉄道は運転保安設備による運転で、地点列車制御装置(indusi又はPZB)または連続式列車制御装置を装備 トラムは最高速度70km/hまでは目視運転も可能、制御装置としては列車遮断装置(Fahrsparre)も用いられる 通信設備は規則に定めがないが、各事業者が独自の設備を設置している 	<ul style="list-style-type: none"> 車両が走行する鉄道及びトラムの区間の整備に対応し、複数の方式を採用(複数の設備を装備) 	<ul style="list-style-type: none"> 多数の事例有り
ブレーキ	<ul style="list-style-type: none"> 道路に依存する軌道の場合、BOStrabでは厳しい性能が求められ、独立した2種類のブレーキの装備が必要(1つはブレーキ摩擦力が車輪/レールに依存しないものであり、他の1つは砂撒き装置を備える。) 危険時の減速度は2.29m/s²(40km/hの場合)以上 	<ul style="list-style-type: none"> 道路交通と混合するトラム車両を鉄道に持ち込む場合は、問題なし(BOStrabの厳しい規格に適合しない鉄道車両をトラム路線に持ち込む場合は、最高速度が40km/hに制限される) 	<ul style="list-style-type: none"> 多数の事例有り
ゲージが異なる場合	-	<ul style="list-style-type: none"> 3線軌条、4線軌条方式の採用 ただし、ポイント、クロッシング部等が特殊構造となり割高 	<ul style="list-style-type: none"> プレーメン
その他(最小回転半径、連結車両の最大長、運転資格等)	<ul style="list-style-type: none"> 道路に依存する軌道を走行する場合は連結車両の最大長が75mに制限されている 運転資格は、鉄道とトラムの両方が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 著名メーカー車両の最小回転半径は22~25m、連結車両長もドイツの規定に合わせ、2編成連結で75m以下となるようなモデルが開発されている 運転手は両方の資格を取得 	<ul style="list-style-type: none"> カールスルーエ(両方の資格を取得) カッセル(ドイツ鉄道に運行委託、切替駅にて乗務員交代)

構造・設計を採用し、道路交通から隔離することが求められる。

トラムトレインを都心部の道路の地表面に導入する場合、交差点をすべて踏切とすることは不可能であり、トラムトレインは、「道路に依存する軌道」の仕様を満足しなければならない。

表-1にトラムトレインを実現する上で課題となる鉄道とトラムの仕様の相違点と、その克服のためにドイツで行われた取組みを示す。様々な技術開発の蓄積により、ハードウェアの相違点は乗り越えうると考えられるが、特に、車輪プロファイルと軌道との関係、車両限界と建築限界との関係、車両とプラットホームとの関係が重要と考えられる。

4. 整備効果

図-4に、上位中心地のカールスルーエと周辺の中位中心地間におけるトラムトレインの運行前後の乗客数の変化を示す。トラムトレインが地域内の交通流動を促すことにより、地域計画の目的とする地域構造の強化に寄与していることがわかる。

表-2に、1992年に、交直両用車両を用いてトラムトレインの運行が開始されたブレッテン町の社会経済指標の変化を示す。ブレッテン町では、トラムトレイン（快速列車の運行を含む。）により、カールスルーエ都心部までの所要時間が約60分から約35分に大幅短縮された。そのインパクトを活用してまちづくりを進めるため、新駅を6箇所整備するとともに、1992年に都市計画の見直

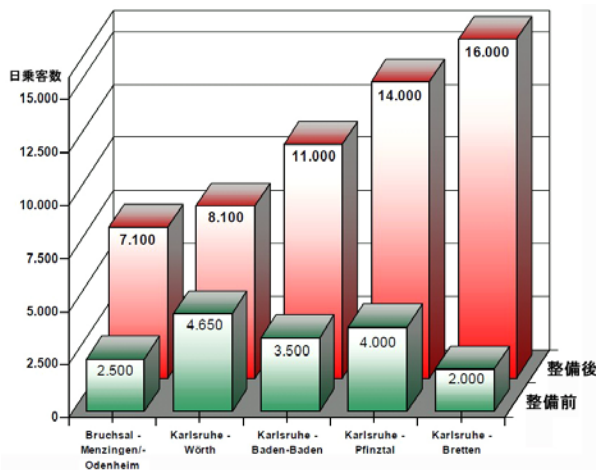


図-4 トラムトレイン導入による効果⁴⁾

表-2 ブレッテン町の経済発展⁴⁾

項目	1988年	2004年	増加率(%)	
居住人口(人)	23.800	28.000	17.6	
地価(ユーロ/㎡)	ブレッテン	160	230	—
	ゲルシャウゼン	70	140	—
	パウエルバッハ	40	120	—
	平均	—	—	—
従業人口(人)	8.600	11.000	27.9	
失業率(%)	20.0	7.0	—	
中高生徒数(人)	1.450	2.790	92.4	
町税収入(百万ユーロ)	13.7	24.9	81.8	
そのうち売上税収(百万ユーロ)	4.8	14.1	193.8	

しを行い、事務所、学校の誘致を進めたほか、新規に工業団地開発を行った。人口増加、産業・学校の立地が進むと同時に、行楽地としての魅力も高まり、町の税収が増加して、大きな経済効果を上げていることがわかる。

5. おわりに

以上の分析を踏まえ、日本の地方都市においてトラムトレイン導入の検討を行う場合の留意点をまとめた。

- ①日本においても規格の相違点のうち、車輪のプロファイルと軌道、車両限界と建築限界、車両床高さプラットフォームの高さの関係について重要視すべきである。また、ワンマン運転時の身障者等からの車内料金収受の方法についても考慮すべきである。
- ②100%低床車（いわゆるLRV）を鉄道区間に導入する場合、車軸レスのため最高速度が低いこと（約70km/h）やデュアル動力方式採用の場合は機器設置スペースの確保が課題となる可能性がある。他方、ドイツのように車軸有りの部分低床車、中床車又は高床車を導入する場合は、最高速度100km/hを確保できるが、その特徴を活かすためには軌道強化が必要となろう。合わせて、プラットフォームの切り下げや嵩上げ、可動ステップの採用などのハードウェアの整備が必要となる。
- ③今後、例えば、整備新幹線に関連して経営が地域に移管される並行在来線については、既存ストックとして、地域交通サービスの核として活用できる可能性がある。そのような路線を対象として、既存路面電車との接続や、中心都市の都心部への新規乗り入れ可能性などについての積極的な検討が望まれる。

本研究においては、ヒアリングに対応して頂いたドイツ3都市の関係者、技術資料の提供や解説を頂いたカールスルーエ大学ホーネッカー教授に大変お世話になった。紙面を借りて御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 例えば、服部重敬：「第2世代に入ったドイツのトラムトレイン—カッセルのレギオトラム—」，鉄道ファン，pp.160-165，2007年5月号。など
- 2) 梁山剛：「ライトレールとヘビーレール—トラムと鉄道，2つのシステムの連携に向けて—」，運輸と経済，Vol.65-11，pp.24-32，2005。
- 3) ドイツ連邦司法省法令集ホームページ
<http://bundesrecht.juris.de/index.html>
- 4) アルプタール交通公社（Albtal-Verkehrsgesellschaft）提供資料
- 5) Martin Karr：“Mehrsystemkonzepte der Schienenbahnen in Europa”，Universität Karlsruhe，1998