

ドイツにおける鉄軌道直通運転 (トラムトレイン) の 計画および運営に関する事例研究

遠藤 俊太郎¹・渡邊 亮²・原 佳代³

¹正会員 一般財団法人交通経済研究所 情報センター (〒160-0016, 東京都新宿区信濃町34番地)
E-mail:str.endo@gmx.de

²正会員 一般財団法人交通経済研究所 情報センター (〒160-0016, 東京都新宿区信濃町34番地)
E-mail:RyoWatanabe@itej.or.jp

³非会員 一般財団法人交通経済研究所 調査研究センター (〒160-0016 東京都新宿区信濃町34番地)
E-mail:KayoHara@itej.or.jp

ドイツをはじめとする欧州地域においても、都市内にネットワークを持つ軌道と都市郊外の鉄道を直通する、いわゆる「Tram-Train (トラムトレイン)」による地域輸送が行われている。ドイツにおいては、近年新たに既存の鉄道線を活用してこれを実現しようとする具体的な動きが複数の地域で生じている。

本研究では、ドイツを中心とする各地の鉄軌道直通化事例について沿線人口等の地域構造に着目した分析を行い、どのような地域でこれが導入がされているのかを概観したうえで、その運営形態を整理した。その結果、トラムトレインは潜在的な需要が存在する、地域を代表する中核規模の都市 (Oberzentrum) を中心に、一定規模の人口集積があり中心市と一体の都市圏を形成する都市との間を結ぶものであること、自治体や州が中心となり計画・整備されるものであること、その運営にあたっては既存の軌道事業者が果たす役割が大きいこと等が明らかとなった。

Key Words : Public transport, Railway, LRT, Tramline, Tram-Train
公共交通, 鉄道, LRT, 路面電車, トラムトレイン

1. 背景・目的

市内軌道線と郊外鉄道線の直通運転 (鉄軌道直通運転) を行う「トラムトレイン」は、1992年に運行を開始したドイツ・カールスルーエの事例が特に著名であり、2010年までに、ザールブリュッケン、カッセル、ノルトハウゼン等の都市において導入が進められたほか、ドイツ国外においても、フランス・ミュールーズ、ボルドー等においてトラムトレインの導入が行われてきた。わが国においては、これらの概要について、阪井¹⁾、遠藤²⁾がその概要を整理してきたが、2016年にケムニッツで新たにドイツ鉄道 (以下、DB) 線への直通運転が開始され、アーヘン、エアランゲン等複数の地域でも計画が具体化している状況にある。しかし、トラムトレインについては、その運行形態やサービス水準、使用する車両、動力・保安設備等の技術的な内容について整理が行われている一方、どのような地域にこれを導入することが適当なのか、また、どのような運営形態をとることが現実的

に考えられるのかについては、経験的な勘所はあるものの、計画・プランニングの段階において、トラムトレインの導入が適切な地域であるかどうかを判断するための基準・目安となるような研究は存在しない。

そこで、本研究では、今後、軌道系公共交通の再編等を考えるにあたり、市内軌道線と郊外鉄道線の直通化を検討することが妥当かどうか見極めるための一つの指標とするため、ドイツを中心とする各地の鉄軌道直通化事例について沿線人口等の地域構造に着目した分析を行い、どのような地域でこれが導入がされているのかを概観する。加えて、複数の鉄軌道事業者にまたがって運行を行う場合において、どのような運営形態がとられているかを整理し、欧州と事業構造が異なる我が国において適用が可能であるものかを考察する。

なお、本研究の対象とするドイツにおいては「LRT」との呼称は用いられておらず、Straßenbahn (路面電車) またはTram (トラム) としているため、以下、本稿においては、市内軌道線を「トラム」と表記する。

2. 定義および研究対象都市圏

(1)定義

ドイツにおいては、わが国同様鉄道とトラムで準坹法が異なり、その建設・運営にあたっては、普通鉄道にはEBO（鉄道建設運営規則）、狭軌鉄道にはESBO（狭軌鉄道建設運営規則）、トラムにはBOStrab（路面電車建設運営規則）がそれぞれ適用されている。本稿においては、①EBOまたはESBO区間（以下、鉄道区間という）とBOStrab区間（以下、トラム区間という）を直通し、かつ、②鉄道区間において軌道車両が一般的な鉄道車両と施設を共用するものをトラムトレインと定義する。なお、我が国と同様に、都市高速鉄道である地下鉄（U-Bahn）および都市高架鉄道（Hochbahn）がBOStrabに準坹する場合があるが、これらは本研究においては対象としない。

表-1 ドイツにおける鉄軌道直通運転実施都市圏

都市圏	中心都市人口(人)	都市格	軌間(mm)		車両
			軌道	鉄道	
Karlsruhe	311.919	OZ	1.435	1.435	軌道
Chemnitz	246.855	OZ	1.435	1.435	軌道
Kassel	200.736	OZ	1.435	1.435	軌道
Saarbrücken	180.966	OZ	1.435	1.435	軌道
Nordhausen	42.014	MZ	1.000	1.000	軌道
Zwickau	90.192	OZ	1.435	1.000	鉄道

OZ: Oberzentrum MZ: Mittelzentrum



写真-2 ノルトハウゼンの直通列車（狭軌鉄道区間）



写真-3 ツヴィッカウ市内に乗り入れる鉄道車両（軌道区間）

(2)研究対象都市圏

ドイツでは、2019年9月現在、44都市（圏）でトラムが導入されており、普通鉄道線（DB線等）との直通運転を行っているのはそのうち6都市圏（カールスルーエ、ザールブリュッケン、ツヴィッカウ、ノルトハウゼン、カッセル、ケムニッツ）である（表1）。このうちツヴィッカウについては、標準軌の鉄道車両が三線軌条方式にて狭軌の軌道区間に乗り入れるものであることから、本項ではトラムトレインとして扱わず、ツヴィッカウを除く5都市を本研究の対象とする。

これら5つの都市圏において核となる都市（中心都市）の人口は、ノルトハウゼンが約4.2万人であるほかは20~30万人規模である（表1）。ドイツでは人口10万人超で「Großstadt（大都市）」と整理されており、ザールブリュッケン、カールスルーエ、カッセル、ケムニッツについてはいずれもROG（連邦空間整序法）に規定するZentrale-Orte-Konzept（中心地理論）に基づき、州により、地域の中核都市として高次都市機能を配置するOberzentrumに指定されている。ノルトハウゼンはOberzentrumの下位にあたるMittelzentrumであるが、周辺にOberzentrumがないこと等から、通常Mittelzentrumには置かれない大学等の機関が設けられている。なお、ドイツの行政単位は日本と比較して小さいことに留意することが必要である。

3. ネットワーク形態と沿線構造

(1)路線ネットワーク

トラムトレインの路線ネットワークは、中心都市に向かって通勤・通学・通院等を目的とする需要が発生すると考えられることから、基本的に中心都市を起点に放射状に郊外に向かうものと想定される。

そこで、本研究の対象とした5都市圏について、そのネットワークを整理すると、①単一方向または同一の線上に路線を持つもの（ザールブリュッケン、ノルトハウゼン）、②放射状のネットワークを形成するもの（カッセル、ケムニッツ）、③中心都市を核とする放射状の路線のみならず周辺の都市間を結ぶ路線ネットワークが形成されるもの（カールスルーエ）、に分類できる（図-4）。①が複数路線になった場合は②になり、②の郊外都市間を結べば③になるが、これらのネットワーク形態は都市構造や周辺都市の規模・周辺都市間流動の多寡等により決定されるものと考えられる。

鉄道線への直通化にあたっては、どの線区でどこまで直通するかを決定することが必要である。この場合、直通先の終点の数が増えればネットワークは②となり、郊外都市間の需要（鉄道ネットワーク）があれば③となることが考えられる。

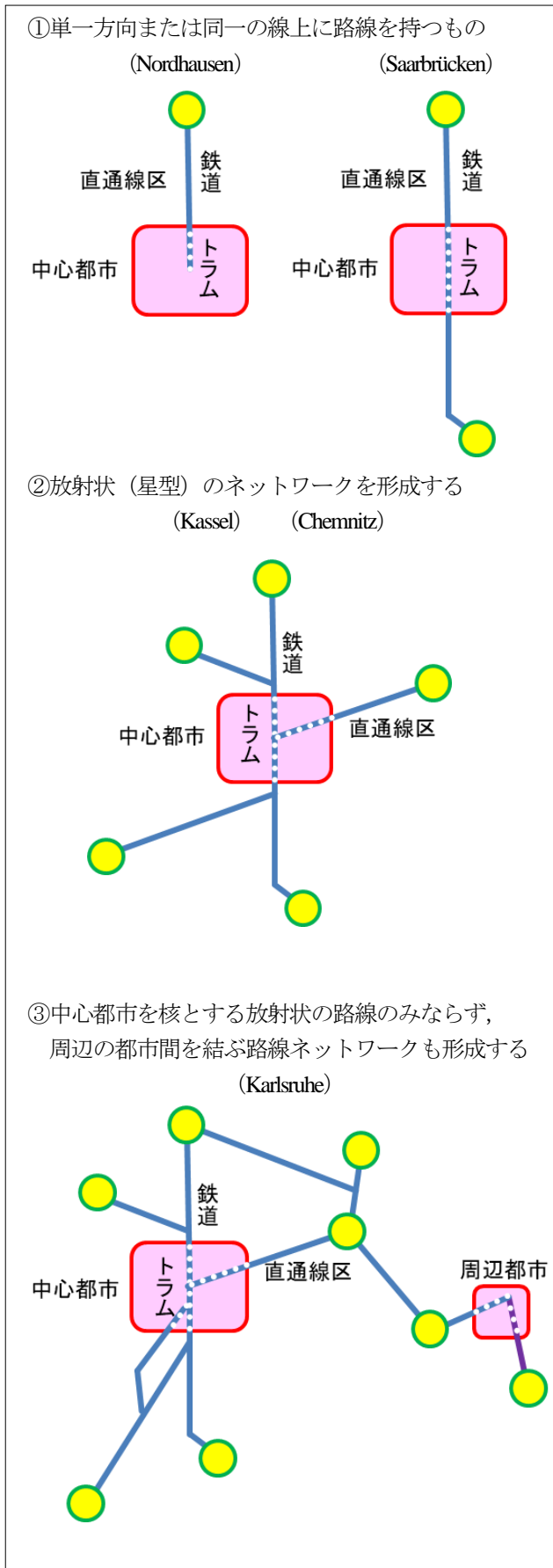


図-4 路線ネットワーク形態

(2)直通先および乗入距離

鉄道の直通先は地域構造と想定される輸送需要の水準により選択・決定される。そこで、直通先の都市が中心市からどの程度の距離帯にあるのか、また、その都市規模がどの水準にあるかを整理した。

カールスルーエは、(1)において③に分類され、中心市以外に核となる中小規模の都市（ブルッフザール、プフォルツハイム等）が複数存在することから、本項においては、カールスルーエ都市圏を除いて分析を行っている。

図-5は、沿線の市について、中心市（EBOとBOStrabの境界部）からの距離帯別にその数を整理したものである。その結果、15～20kmの範囲が5市と最も多く、16市のうち半数にあたる8市が10～20km圏内に、12市が10～30km圏内にあることが確認できる。なお、40kmを超える2市はすでにトラムトレインとしての直通運転を取り止めて通常の鉄道車両による運行に戻されている。

次に、連邦統計人口（2017年12月31日現在）に基づき沿線の人口規模について整理すると、表-6のとおりとなり、都市規模は概ね1～2万人前後であることがわかる。

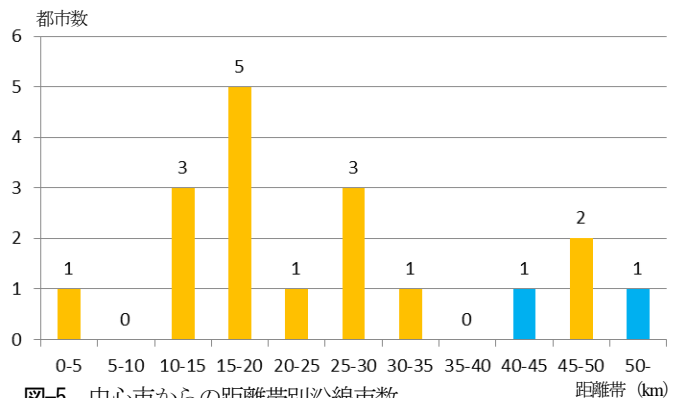


図-5 中心市からの距離帯別沿線市数

表-6 沿線都市人口および中心市からの距離

都市圏／沿線都市	人口 (人)	距離(km)
KS Vellmar	18.089	4,9
SB Lebach *	18.977	10,8
KS Baunatal *	27.704	13,7
C Burgstädt *	10.684	14,7
KS Immenhausen	6.985	16,0
C Stollberg *	11.283	16,3
C Frankenberg(Sachs)	14.177	16,8
C Mittweida *	14.852	17,9
KS Hess. Lichtenau *	12.284	18,7
KS Grebenstein	5.757	20,6
C Hainichen	8.549	29,8
KS Hofgeismar *	15.210	26,6
KS Melsungen *	13.682	29,6
KS Wolfhagen *	13.121	30,4
KS Borken	12.742	42,9
KS Schwalmstadt-Treysa *	18.119	62,3

C: Chemnitz KS: Kassel SB: Saarbrücken

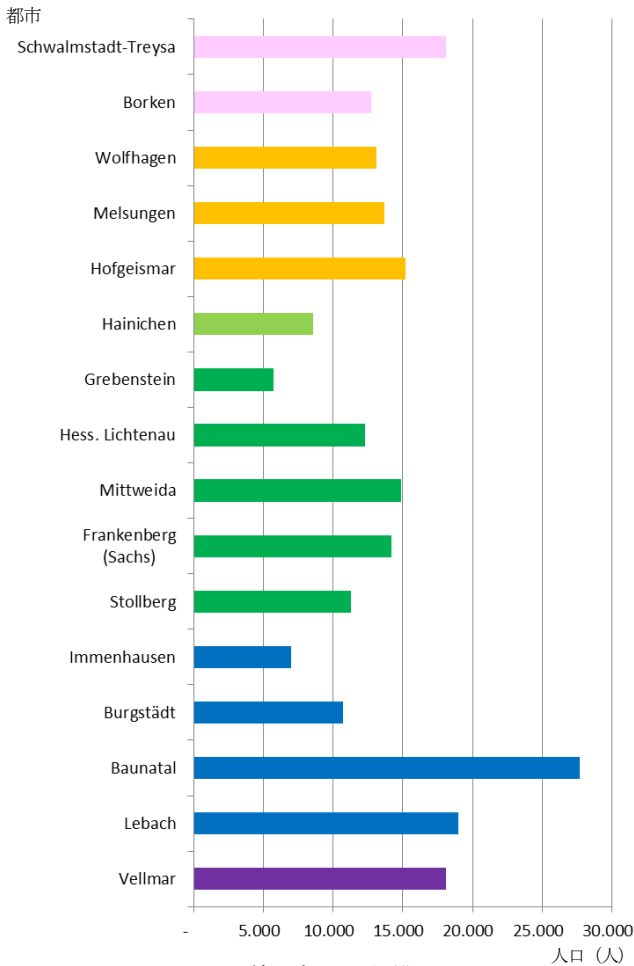


図-7 トラムトレイン沿線都市 人口規模

表-6に*印を付したものはトラムトレインの終点となっている都市であり、地域内の旅客流動を考慮し、概ね30km圏内を範囲として、地域の中心都市であるOberzentrumとその周辺都市を結ぶものであることがわかる。

4. 運営形態

トラムトレインの特徴は市内軌道線と鉄道線の直通化であり、基本的に異なる鉄道事業者（インフラ事業者）と軌道事業者が管理する線区をまたがることとなる。それぞれの事例について、運営主体と運行にかかる役割分担を整理すると、以下のとおりとなる。

(1)カッセル

2(1)で②に分類されるネットワークを持つヘッセン州カッセルの場合、軌道事業者は市が株を100%保有するKVG AG（カッセル交通事業株式会社）、乗入先の鉄道事業者はDBのインフラ部門であるDB Netzおよび地域が出資して設立したRBK（インフラをDBから取得して所有権を移転）である。トラムトレインであるレギオトラムはこれらの区間を直通するものであるため、カッセルでは、レギオトラムの運行事業者として、KVGとHLB

（ヘッセン州鉄道、州100%出資）が50%ずつ出資してRTG（レギオトラム運行会社）を設立し、代表取締役をKVGとHLBから1名ずつ選出して事業運営にあたっている。乗務員はRTG所属で、DB区間からKVG区間まで続けて乗務するが、車両の保守等についてはKVGがこれを担っている。運行系統や頻度等のサービス水準設定についてはNVV（北ヘッセン運輸連合）が州法の委任を受けて州に代わりこれを担っており、RTGはNVVとの契約に基づき運行を行う整理となっている。運賃はNVVの共通運賃が適用される。

(2)ケムニッツ

同じく2(1)の分類で②にあたるザクセン州のケムニッツにおいては、軌道事業者であるCVAG（ケムニッツ交通株式会社）とは別に、地域鉄道事業者であるCB（ケムニッツシティ鉄道有限会社）がトラムトレインの運行を担っている。先に開業したStollbergまでの区間は、鉄道車両の運行を完全に廃止し軌道車両専用の鉄道区間とするためDBから施設の譲渡を受けているが、2016年に開業した区間は鉄道の運行が継続されている地域への乗入れであることから、インフラ事業者はDBのままである。CBについても、乗務員はCVAGの軌道線区内まで通しで乗務しており、車両の保守管理はCVAGの施設にて行っている。運賃は運輸連合の共通運賃を適用している。

(3)ノルトハウゼン

チューリンゲン州のノルトハウゼンには運輸連合はなく、軌道事業者であるノルトハウゼン交通事業（都市公社）がHSB（ハルツ狭軌鉄道）線で運行を行う整理となっている。HSBは旧東独時代はDR（ドイツ国鉄）線であったが、ドイツ統一後、地域の自治体が大部分を保有する有限会社となったものである。HSBへの乗り入れについてはノルトハウゼン交通事業（ノルトハウゼン市）がHSBを巻き込んで推進したもので、イルフェルドが終点となっているのは、イルフェルドの先に州境があるためである。公社の担当者へのヒアリングでは、当初構想ではイルフェルドではなくさらに先までの運行を計画していたものの、乗入先のザクセン-アンハルト州が直通化に消極的であったことがイルフェルドまでの運行となった要因であるとの証言が得られている。先述のとおり運輸連合はないが、HSBの運賃は都市公社が定めるものと水準を揃えている。

トラムトレインとして運行している列車・車両については、運行・保守管理ともにノルトハウゼン交通事業がこれを担っている。

これらの事例から、トラムトレインの運行を担う事業者が新たに設立される場合もあるが、日々の運行・運営にあたっては地域の軌道事業者が大きな役割を果たしている可能性が示唆される。

ドイツ国外においても、2018年に直通開業したグムンデンの軌道・鉄道については、それぞれの運行事業者が同じStem & Haffel社であり、直通化後も同社がひきつづき運行を行っている。

5. 運営・運行上の課題

異なる事業者の異なる規格・システムの線区を直通化するトラムトレインは、軌間が同じであっても、その電源方式・動力が異なるばかりか、信号・保安設備、車両限界・建築限界、軌道断面等が異なり、ハード面でこれらを相互に適用可能なものとする必要がある。これらの技術的課題への対応は、軌道側の規格、乗り入れ先の鉄道側の規格がそれぞれの都市で異なっていることから共通化されているものではないが、これまでにSIEMENS（ノルトハウゼン）、ALSTOM（カッセル）、Vossloh Kiepe（ケムニッツ）等各社が乗入対応の車両を納入しており、運行上の問題は発生していない。しかし、運行にあたってはEBO（またはESBO）、BOStrabの双方で認証を受ける必要があり、また、現在は軌道側の衝突安全性基準等、認証の要件が厳しくなったこと等を受けて新型車両の認証を受けることが難しくなりつつあり、これが運営上の長期的課題となっている。実際に、ケムニッツで試運転の開始が遅れ、カッセルでは新型車両への置換をやめ現行車両の長寿命化で対応することとしている。

一方、日々の運行にあたっては、事業者相互の調整が必要となるなど、直通運転を行うことに起因する課題が生じている。特に、鉄道の遅れが市内線に波及する、市内線の乱れが鉄道に波及する、という事態が発生し、軌道側、鉄道側双方への影響を生じることが課題としてあげられている。ノルトハウゼンのように乗り入れ先の運行頻度が低く線路の容量に余裕がある場合、また、カッセルからHess. Lichtenauに向かう線区や、ケムニッツからStollbergに向かう路線のようにトラムの運行が主またはトラム専用線となっている場合には他からの影響を受けることは少ないが、DB線等、他の一般的な旅客列車、貨物列車が運行する線区においては、運行ダイヤの乱れが課題として生じている。たとえば、北ヘッセン運輸連合の担当者は、カッセルからMelsungenに至る鉄道線区における遅延の慢性化・拡大を課題としてあげている。長距離旅客列車は高速専用線を経由するため直接の影響はなく、遅延の原因は主に貨物列車であるとしている。

一方、軌道車両による運行であり、基本的には軌道車両が鉄道区間を走行するシステムであるため、車両の保守点検等については実質的に地域の軌道事業者がこれを担うこととなり、地域における軌道事業者が果たしている役割が大きいことが示唆される。

カッセルにおいては、Hofgeismarに向かう路線の需要

が増加したため、運行本数を倍増し30分ヘッドでの運転とし、これにより不足する車両については、Treysaに向かう路線をカッセル都心に直通しない鉄道車両に切り換えて捻出するなど、輸送需要の変化に応じた対応も求められている。カールスルーエにおいては、トラムトレインのネットワーク拡大と輸送需要の増加、市内線の増加等により中心市街地内の併用軌道区間（特に都心部の歩行者専用道路空間）の容量が不足し、同区間の地下化と別ルートの新設をあわせて行う工事が進められるなど、一般的な軌道の輸送能力を超える需要が発生した場合には、より輸送力の高いモードに切り換える等の対応が求められる。

6. まとめと課題

ドイツにおいては、①鉄軌道を直通するトラムトレインは、人口10～30万人規模のOberzentrum（地域の中核都市）で、②直通化する鉄道線の沿線10～20km（場合によっては30km）圏内に人口1～2万人規模の都市を持つ地域構造である可能性が示唆される。これに該当する都市はドイツ国内に複数あり、今後の人口動態の変化にあわせた公共交通の再編等の場面において、類似の規模・構造を持つ都市においてこれを導入することが検討できる可能性がある。

一方、ドイツにおいては、都市規模がこれより小さい場合にはバス等で十分に利便性の高い交通を確保できる可能性があり、また、人口30万人を超える場合にはカールスルーエの例にみられるように軌道では対応しきれない（輸送力が不足する）事態が発生する可能性があることから、トラムトレインではなく、鉄道や地下鉄、トラムの専用軌道化（地下化含む）等での対応が必要となる可能性があり、計画段階の想定等を含め、さらに精度を高めた分析を行うことが必要であると考えられる。

トラムトレインは事業者がその費用を負担して推進する規模の事業ではなく、地域が主体的にこれを行うことが前提となっている。また、運行事業者を軌道事業者・鉄道インフラ事業者とは別に用意するケース、既存の地域の鉄道事業者がこれを担うケースのいずれにおいても、既存の軌道事業者の存在が大きく、日々の保守点検を軌道事業者が担っている。

わが国においては、ドイツと公共交通の事業構造が大きく相違するばかりでなく、州（都道府県）・郡・市が持つ公共交通の予算も、政策決定に至るまでのプロセスや政治状況も異なる部分が大きく、ドイツの基準・目安をわが国にそのまま適用することはできない。しかし、類似の都市構造・需要構造があり、市内軌道、鉄道インフラがストックとして地域に存在する場合には、これをトラムトレインとして再編し活用できる可能性がある

いえる。

今後、ドイツにおいて、直近で導入計画が進んでいる地域も含め、通勤・通学需要、開業後の輸送実績の推移等とあわせた分析を進めるとともに、わが国における導入の可能性について整理を行う。

参考文献

- 1) 阪井清志：欧州におけるトラムトレインの現状と日本への導入について，運輸と経済 第 72 号第 10 巻，pp.23-34，一般財団法人運輸調査局，2012
- 2) 遠藤俊太郎：ドイツ・カッセル都市圏における既存インフラを活用した LRT 整備事例，第 45 回土木計画学研究・講演集，2012

(2019.10.4 受付)

Case Studies of Tram-Train-Systems in Germany

Shuntaro ENDO, Ryo WATANABE, Kayo HARA