

リヨン地下鉄の無人自動運転

なが せ ゆう いち
永 瀬 雄 一*

1. はじめに

近年、自動車の自動運転が話題となっており、バスの自動運転も社会実験等が行われているが、鉄道の自動運転の歴史は古く、旅客鉄道においては1970年代より実用化がなされている。日本においても、自動運転はもとより、無人自動運転についても、すでに地下鉄や新交通、モノレールのいくつかの路線で運営されている。

鉄道業界では、人口減少による今後の鉄道サービスに関わる人材不足が懸念されており、地下鉄等だけでなく、地上を走る、いわゆる在来線においても自動運転や無人自動運転の導入についても議論がなされ、JR東日本やJR九州の在来線で運行試験も行われている。

日本では、鉄道において、自動運転や無人自動運転（以下、無人自動運転と有人の自動運転の両方を指す場合、本稿では、無人・自動運転と記す）を導入するためには、安全・安定輸送の観点から、ホームドアや可動式ホーム柵といった物理的な障害物（本稿では、これらの物理的な障害物を総称してプラットフォーム・スクリーン・ドア、以下PSDと記す）をホーム上に整備しなければならない。また、

地下鉄であったり、高架構造であったりと、人が線路内に簡単に侵入することができない構造であることも条件となっている。もし在来線に無人・自動運転を導入するとすると、踏切等から容易に線路内に人が侵入することができる状態となり、これにどのように対応していくのが大きな課題となる。

フランスのリヨン地下鉄 Line D では無人自動運転が導入されており、かつ PSD のような物理的な障害物がプラットフォームに設置されていない状態で地下鉄運営がなされている。すなわち地下鉄ではあるが、比較的人が線路内に侵入しやすい構造の鉄道路線で無人自動運転が導入されていることになる。

本稿では、鉄道における無人・自動運転について概観した上で、リヨン地下鉄 Line D の事例から、容易に線路内に立ち入ることができる鉄道路線における無人自動運転運営の実態を紹介する。

2. 鉄道における自動運転と無人自動運転

(1) 自動運転と無人自動運転

鉄道において、無人・自動運転が導入された歴史は古く、貨物鉄道では1927年にロンドンで手

*一般財団法人交通経済研究所調査研究センター副主任研究員

表1 日本の自動運転実施路線[※]

導入年	路線名	種類	形態	備考
1976	札幌市営地下鉄東西線	地下鉄	UTO	ゴムタイヤ、車庫内の回送
1977	神戸市営地下鉄西神・山手線	地下鉄	STO	
1981	神戸新交通ポートアイランド線	新交通システム	UTO	ホームドア
	大阪市高速電気軌道南港ポートタウン線	新交通システム	UTO	ホームドア
	福岡市営地下鉄空港線	地下鉄	STO	可動式ホーム柵
1985	北九州高速鉄道小倉線	モノレール	STO	
1987	仙台市営地下鉄南北線	地下鉄	STO	
1988	北神急行電鉄北神線	地下鉄	STO	
1989	名古屋市営地下鉄桜通線	地下鉄	STO	
	横浜シーサイドライン金沢シーサイドライン	新交通システム	UTO	ホームドア
1990	神戸新交通六甲アイランド線	新交通システム	UTO	ホームドア
	大阪市営地下鉄長堀鶴見緑地線	地下鉄	STO	リニア地下鉄・可動式ホーム柵
1991	都営地下鉄大江戸線	地下鉄	STO	リニア地下鉄・可動式ホーム柵
	東京メトロ南北線	地下鉄	STO	ホームドア
1995	ゆりかもめ東京臨海新交通臨海線	新交通システム	UTO	ホームドア
1997	京都市営地下鉄東西線	地下鉄	STO	ホームドア
1998	多摩都市モノレール線	モノレール	STO	可動式ホーム柵
2000	都営地下鉄三田線	地下鉄	STO	可動式ホーム柵
2001	埼玉高速鉄道線	地下鉄	STO	可動式ホーム柵
	神戸市営地下鉄海岸線	地下鉄	STO	リニア地下鉄・可動式ホーム柵
	舞浜リゾートライン	モノレール	DTO	可動式ホーム柵
2005	福岡市営地下鉄七隈線	地下鉄	DTO	リニア地下鉄・可動式ホーム柵
	愛知高速交通東部丘陵線	磁気浮上	UTO/DTO	ホームドア
	つくばエクスプレス	鉄道	STO	可動式ホーム柵
2007	横浜市営地下鉄ブルーライン	地下鉄	STO	可動式ホーム柵
2008	横浜市営地下鉄グリーンライン	地下鉄	STO	可動式ホーム柵
	東京メトロ副都心線	地下鉄	STO	可動式ホーム柵
	東京メトロ丸ノ内線	地下鉄	STO	可動式ホーム柵
	東京都交通局日暮里・舎人ライナー	新交通システム	UTO	ホームドア
2010	東京メトロ有楽町線	地下鉄	STO	可動式ホーム柵
2012	札幌市営地下鉄南北線	地下鉄	STO	ゴムタイヤ、可動式ホーム柵
2014	東京メトロ千代田線・支線	地下鉄	STO	可動式ホーム柵
2015	大阪市営地下鉄千日前線	地下鉄	STO	可動式ホーム柵
	名古屋市営地下鉄東山線	地下鉄	STO	可動式ホーム柵
	仙台市営地下鉄東西線	地下鉄	STO	リニア地下鉄・可動式ホーム柵
2016	札幌市営地下鉄東豊線	地下鉄	STO	ゴムタイヤ、可動式ホーム柵

※ UTO: Unattended Train Operation 無人自動運転, STO: Semi-automated Train Operation 半自動運転, DTO: Driverless Train Operation
水間 (2017) を参考に筆者作成

紙や小包を運ぶための地下鉄が開設され、その地下鉄は完全自動化されていた。旅客鉄道としても、1976年に車庫内の回送ではあるが札幌市営地下鉄東西線で、1977年には神戸市営地下鉄、西神・山手線で運転士付きの自動運転が営業線で、1981年にはゴムタイヤ式の新交通システムである神戸新交通ポートアイランド線で無人自動運転の運用が開始された。現在では地下鉄や新交通システムを中心として無人・自動運転が多くの路線で導入

されている(表1)。

地下鉄や新交通システムでの導入が進んでいる理由としては、人が線路内に立ち入ることが難しい排他的な専用空間で運行が可能であることに加え、地下鉄では地下区間が多く、新交通システムではゴムタイヤが採用されていることから、雨など天候による影響が少ない環境であり、日本における自動運転システムの基本となる自動列車運転装置(Automatic Train Operation, 以下

ATO)¹⁾の精度を担保しやすいことも挙げられる。

なお世界的にも地下鉄の無人・自動運転による運営が多くなされている。無人自動運転に限ったデータであるが、UITP（2019）によれば、2018年12月の時点で、世界中の42都市64路線の地下鉄路線1,026kmが無人自動運転を導入している。これは、世界中の地下鉄路線の7%に過ぎないが、急速にその割合は増加してきており、2018年12月時点での建設計画に鑑みると、無人自動運転は2022年までにその割合は48%まで上昇すると推計されている。無人自動運転を導入している大部分の地下鉄路線は、開業時から無人自動運転として設計および建設されているが、パリ地下鉄1号線のように、既存路線の無人自動運転への転換も行われている。

(2) 鉄道への無人・自動運転導入の メリットとデメリット

鉄道への無人・自動運転導入のメリットとして、顧客満足の向上、安全性の向上、コスト削減が挙げられる。

顧客満足の向上としては、自動運転を導入することで、スタッフを効率的に配置することが可能となることが挙げられる。例えば、運転士の代わりに係員を乗務させることで、車内を巡回することができる。これにより、乗客へのより細やかな情報提供、直接的な案内、車イスなどの乗降時の補助、犯罪予防など、顧客満足の向上につながるサービスの提供が可能となり、利用者の安心感にもつながると考えられる。安全性の向上としては、自動運転にすることでヒューマンエラーが防げることが挙げられる。コスト削減としては、車両運用の最適化が行えるため、ランニングコストの削減に期待ができ、また運転に関わる人員を減らす

ことも可能となるため、人件費の軽減にもつながると考えられる。

デメリットとしては、プラットフォームに安全設備を整備しなければならないことによる初期費用の高額化や、緊急時対応等が挙げられる。利用者は、特に異常時・緊急時において、運転士がいないことによる不安を感じてしまうこともあるだろう。また、事業者としては、災害などで緊急避難する場合には、列車から降りて避難させることとなるが、避難の指示や誘導をどのような形で行うのが課題として挙げられている。

3. 鉄道における無人・自動運転に関する 規制

(1) 鉄道の自動運転基準

鉄道の自動運転についての安全性要件を定める国際規格としてIEC62267がある。IEC62267では、鉄道の自動化度合いがGoA（Grade of Automation）として表されている。GoAは列車運行の基本機能について、乗務員が対応するのか、システムが対応するのかによって5段階に分けられている（表2）。

GoA 0は、自動運転システムが搭載されていない列車で、基本的に運転士がすべての操作を担う。GoA 1は、運転士（および車掌）が乗車する非自動運転である。運転士が運転に係わる基本的な操作を行い、自動運転システムとして速度超過時の減速や緊急ブレーキなどの支援機能が付帯している必要がある。GoA 2では、運転士が乗車、運転士は主にドアの開閉を行い、発進操作については、運転士もしくは自動で行われる。発進後は、速度調整およびブレーキ操作は自動で行われる。緊急時等はマニュアル操作に切り替え、運転士が

1) 運転士はスタートを指示するボタンを押すだけで、その後は列車の加速や減速、惰行、制動操作、定点停止などが自動的に行われる。この装置は、利用者の安全が確認された後でなければ発車できない、停車位置に円滑に停止させる、ブレーキ装置を乗務員が操作した場合には自動運転状態が解除されるなどの基準（普通鉄道構造規則第161条）が設けられている。

表2 鉄道の自動運転の自動化レベルの分類※

自動化レベル	運行タイプ	乗務形態	発進	停止	ドア扱い	緊急時対応	運転支援機能
GoA 0	TOS	運転士 (および車掌)	運転士	運転士	運転士 (または車掌)	運転士 (または車掌)	×
GoA 1	NTO	運転士 (および車掌)	運転士	運転士	運転士 (または車掌)	運転士 (または車掌)	○
GoA 2	STO	運転士	運転士 / 自動	自動	運転士	運転士	○
GoA 3	DTO	運転士以外の 乗務員	自動	自動	係員	係員	○
GoA 4	UTO	乗務員なし	自動	自動	自動	自動	○

※ TOS : On-sight Train Operation 目視運転, NTO : Non-automated Train Operation 非自動運転
出典 : IEC (2009)

運転等を行う。GoA 3では、運転士は不要となる。発進・停止は自動、緊急停止も自動で行われる。運転士以外の係員が乗車し、ドアの開閉と安全確認、異常時の避難誘導等を行う。GoA 4では、運転士、係員ともに不要となる。ドアの開閉と発進・停止、非常停止等すべて自動で行われ、完全に無人で運行が可能なレベルとなっている。列車の運行状況は中央指令室で監視し、必要に応じて遠隔で指示を出すこととなる。

2019年12月20日にJR九州において在来線向けの自動列車運転装置の走行試験が始められることが発表された。走行試験は踏切もある香椎線の西戸崎～香椎間で行われ、2両編成の蓄電池電車を使用し、終電後に運転士がいる状態で制御機能や乗り心地などを確認するとしている。なお、この走行試験はGoA 2.5 (IECでは定義されていない) という、GoA 2とGoA 3の中間にあたるレベルで、乗務員が前頭において乗務し、緊急停止や避難誘導を行う形で自動運転を目指して行われる。

(2) 日本における自動運転に関する規制

日本においては、鉄道に関する技術上の基準を定める省令および、鉄道に関する技術上の基準を定める省令の解釈基準によって、無人・自動運転を導入する場合は、「第11条 (1) 人等が容易に線

路内に立ち入ることができない構造」である必要があり、地下であったり、高架であったりと排他的な構造であることが必要であり、また第36条で「動力車を操縦する係員が乗務しない鉄道のプラットホームには、ホームドア又は可動式ホーム柵を設けること。」とあり、PSDをプラットホーム上に整備しなければならない。

(3) プラットホーム上に安全性を確保するための設備

無人・自動運転を導入するためには、世界的にもプラットホーム上に安全を確保するための設備を整備する必要がある、その主要な設備はPSDである。前述の通り日本ではPSDは必須要件となっている。しかし、IEC62267では、何らかの形でプラットホームから侵入可能な軌道区域内にいる人を即時に検知するための対策が講じられていればかまわないとしている。すなわち、人と列車が衝突するのを防ぐためのプラットホーム上に安全性を確保するための設備は、物理的に人を遮るような設備である必要はないということである。実際、無人自動運転を採用している地下鉄路線駅のうち、2割程度はPSDではない何らかの線路内侵入検知システム²⁾を採用している。

リヨン地下鉄 Line D は PSD でなく、線路内

2) 線路上の人および物体を検知し、信号システムと連携して、列車を停止等させることができるシステムである。

図1 リヨンの位置



筆者作成

侵入検知システムで無人自動運転を導入している地下鉄路線の一つであり、地下鉄利用者は線路への侵入について物理的な制約を受けない。そこで、リヨン地下鉄 Line D を、線路内に容易に立ち入ることができる鉄道路線における無人自動運転導入事例として紹介する。

4. 事例：リヨン地下鉄 Line D

(1) リヨン地下鉄

リヨンはフランスの南東部に位置する、都市圏人口約 130 万人、パリ、マルセイユに次ぐフランス第 3 の都市である（図 1）。そのリヨンにおける公共交通の根幹であるリヨン地下鉄は、Line A ～ D の 4 路線、178 車両、40 駅、32km の地下鉄路線であり（図 2）、1 日に 75 万 5,000 トリップの流動がある。1978 年に Line A と Line B が、1981 年に Line C が、そして 1991 年に Line D が

開業している。Line A と Line B、Line D ではゴムタイヤが採用されている。Line C は、急勾配があることから、レールの中央にラックレールが敷設されているラックレール方式が採られている。

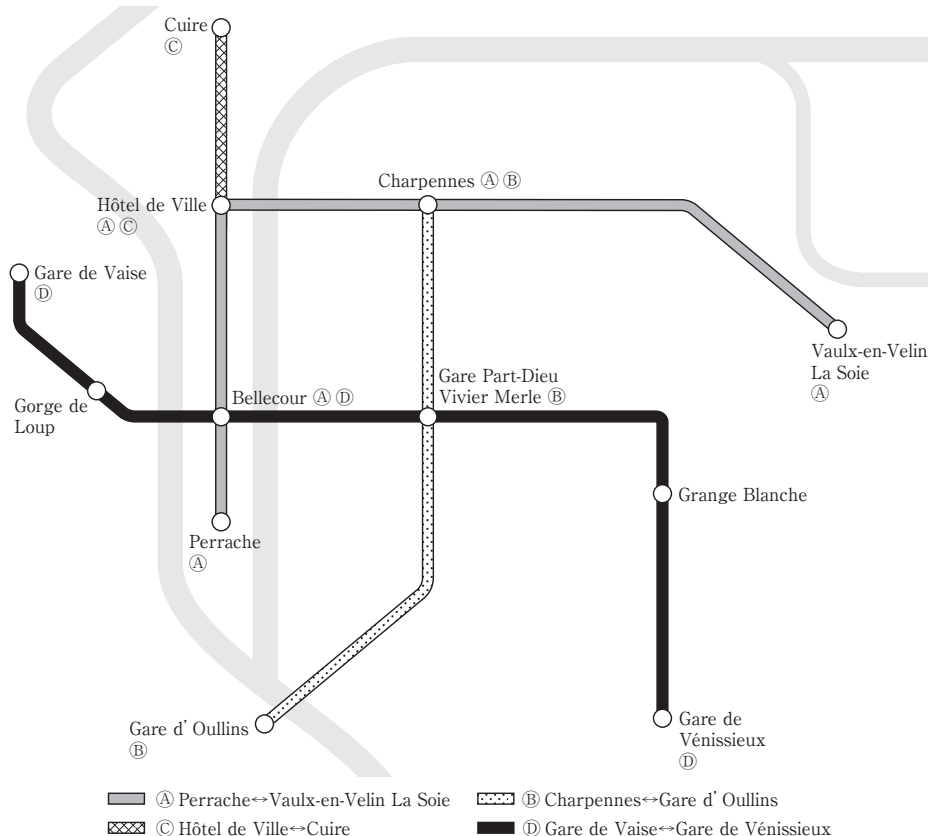
今後、Line B の南側への延伸と無人自動運転の導入、Line D のアップグレード、また新規路線である Line E の開業も計画されている。

(2) Line D

1991 年 9 月に開業したリヨン地下鉄 Line D は、フランスで初めての無人自動運転を採用した地下鉄路線で、Gare de Vaise ～ Gare de Venissieux 間、リヨンの北西部からリヨン中心部を通り南東へ向かう 12.5km、15 駅、2 両編成で運行されており、1 日 29 万 トリップの流動がある。

Line D は、1985 年に無人自動運転で運営されることが決まった。しかし、技術開発が間に合わなかったことや、その過程で想定よりもコストが

図2 リヨン地下鉄路線図



出典：TCL ホームページ

かさんだこと、また政治的な要因もあり、開業までに無人自動運転を導入することはできなかった。そのため、1991年の開業時には、有人の手動運転路線として、一部区間である Gorge de Loup～Grange Blanche 間のみが開業した。その後、無人自動運転の導入にめどが立ち、Line D は工事のため一旦閉鎖され、1992年9月に当初の計画通りの Gorge de Loup～Gare de Venissieux 間で、無人自動運転による運行が開始され、その後、

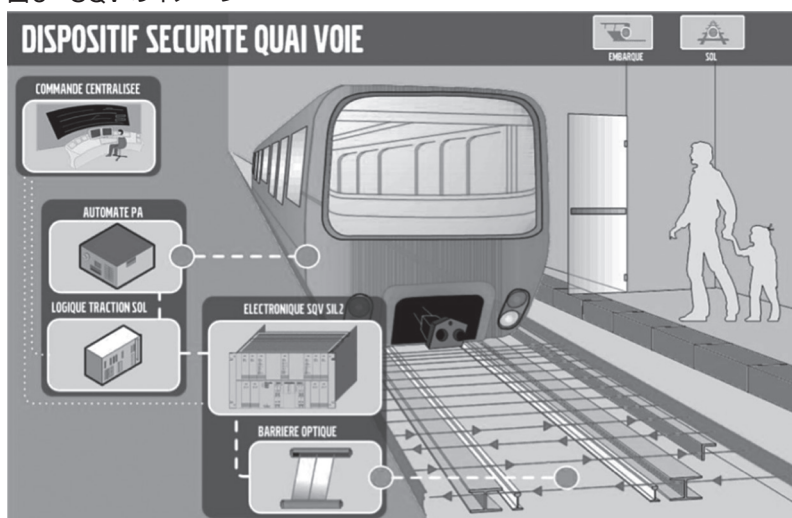
1997年に Gare de Vaise まで延伸された。なお、Line D では日本で多く採用されている ATO ではなく無線方式の CBTC³⁾ が採用されている。

Line D の特徴としては、無人自動運転を導入していることに加え、プラットホームの安全設備として PSD ではなく、線路内侵入検知システムである Sécurité Quai-Voie⁴⁾ (以下、SQV) を採用していることが挙げられる。

3) CBTC (Communications-Based Train Control system) とは、地上と列車の間の情報伝送に無線通信を利用した、都市鉄道向けの列車制御システムで世界各国で導入されている。無線通信により、軌道回路を用いずに連続的位置検知 / 制御ができる。列車間隔を短くすることが可能で高い遅延回復効果が得られるなど運行の安定性が向上するとともに、軌道回路等の地上設備を簡素化することで保守作業の効率化や輸送障害の削減等にも寄与する。

4) フランス語でプラットホーム安全システムの意。

図3 SQVのイメージ



出典：東陽テクニカホームページ

(3) SQV

1) SQVとは

SQVは、プラットフォームの両端に15cm間隔で設置された赤外線センサーによって線路内に侵入してきた人や物を検知する仕組みとなっており、CBTCと連携している、リヨン地下鉄独自の線路内侵入検知システムである(図3)。

SQVの機能として、①人や物が線路内に侵入したことの検知、②プラットフォームにおける列車の検知、③トンネルへの人の侵入の検知が挙げられる。そして、異常を検知した場合に、列車がプラットフォームにアクセスできないようにすることや、特定区間の電気を遮断することでその区間の列車を止め、利用者の安全を確保する仕組みとなっている。

SQVを機能させるために、線路に侵入した人と列車との接触の可能性を減らし、逃げ道を作るようにプラットフォームが長めに設計・建設されている。また、「スーサイド・ピット」として、線路よりも下に溝が掘られており、人の逃げ場を作っている。列車の設備については、接触検知装

置や旅客巻き込み検知装置、選択式ドア開閉装置、乗客用の緊急停止ボタン(駅にも整備されている)が整備されている。中央指令所には、CCTVの映像解析システムといったSQVに関する設備が必要であり、SQV関連の業務に従事する係員が1駅につき1名配置されている。

2) SQV導入の背景

繰り返しになるが、無人自動運転を導入するために、IEC62267では、人と列車が衝突するのを防ぐためのプラットフォーム上における安全性を確保するための設備を整備する必要があるとしている。リヨン地下鉄Line Dでは、その安全性を確保するための設備として、SQVが導入された。

Line DにPSDではなくSQVが導入された理由として、既存設備の活用と経費節減が挙げられる。当初Line Dとその関連設備は、運転士が添乗する路線として設計・建設・整備されていたが、これらの設備ができあがっている状態で無人自動運転の導入が決定したため、PSDを設置するためには、各駅を作り直すくらいの大々的な工事が必要であった。しかし、そのような予算も時間もなかったため、既存の設備をうまく活用してなる

べく低い予算で整備できるシステムが必要とされ、SQV が導入されることとなった。

3) SQV のメリット/デメリット

SQV 導入のメリットとしては、PSD と比較して初期コストが低廉であること、メンテナンスが容易なことが挙げられる。整備コストは、1 プラットホームあたり SQV は約€42 万⁵⁾ であるのに対して、PSD は約€150 万⁶⁾ とされ、SQV の方が低コストである。メンテナンスについても、不調な赤外線センサーを置き換えるだけ済み、その作業自体も簡易となっている。

デメリットとしては、物理的な障害物がないので、プラットホーム間移動のために線路を跨ぐとする利用者や、自分で線路への落とし物を拾おうとする利用者が出てくること、新聞やゴミが線路に落ちるたびに列車が止まってしまうこと、プラットホームと列車の隙間が大きくなってしまうと機能しなくなるためプラットホームが急曲線区間にある場合は導入できないこと、連結している車両間に人や物が侵入してしまった場合は検知ができないこと等が挙げられる。

4) Line D 運営の実態

リヨン地下鉄では、2020 年内を目途として Line B のアップグレードが予定されており、アップグレードの際に無人自動運転システムと SQV が導入されることが決まっている。Line B に無人自動運転と SQV が採用されることとなった大きな要因として、Line D で人身事故が少ないことや、遅延等に関する運用実績が申し分ないことが挙げられる。

ただし、現在ではその実績が評価されている Line D も、運行開始当初は様々な不具合や問題点が見受けられた。例えば、乗客の巻き込み検知や、緊急停止ボタンによる緊急停止が多く発生していたこと、余計な確認作業が発生していたことから緊急停止からの回復に必要以上に時間を要し

てしまっていたこと、また、CCTV の性能が不十分であったこと等が挙げられる。なお、余計な確認作業が発生した要因として、いったん緊急停止した場合の影響範囲が大きすぎたり、人や物が検知された場合に電気が遮断される区間が広すぎたり、トンネル内に人が侵入したかどうかを検知できる機能がなかったこと等が挙げられる。

しかし、これら不具合・問題点は、事業者と利用者双方の経験の蓄積や、技術の発達によって改善された。事業者は運営経験を積みながら、電気が遮断される区間や、緊急停止ボタン、乗客の巻き込み検知の影響範囲を見直し、不要な運転停止を減らし、緊急停止からの回復時間についても改善した。利用者も、時間の経過とともに無人自動運転に慣れていき、運行開始から現在に至る過程で、緊急停止ボタンが押される回数が減少、それに伴い緊急停止も減少した。CCTV の性能についても、導入初期は確認のために1分程度もかかっていたが、現在では技術が進みリアルタイムでの確認ができるようになっている。なお、Line B では、車両の前後下部に CCTV を設置し、連結している車両間においても確認ができるようにする計画となっている。

5. おわりに

本稿では、鉄道における無人・自動運転について概観し、リヨン地下鉄 Line D を線路内に人が立ち入りやすい状態での無人自動運転運営の事例として紹介した。

在来線で無人・自動運転を導入するためには、非自動運転と同様、もしくはそれ以上に事業者が安全を確保して運行することとともに、利用者が安心して利用することについても配慮して運営する必要がある。そのためには、事業者・利用者ともに経験を積むことが重要であり、様々な在来線

5) Line B に導入される際の予測費用

6) パリ地下鉄 Line 4 の費用 (プラットホーム補強費用除く)

路線で無人・自動運転の実証実験を行うことが必要となるのではないだろうか。その実証実験段階で、事業者としては在来線における無人・自動運転の運行実績を積むことが重要だろう。2019年12月下旬から2020年2月までに行われた踏切もある区間である、JR九州香椎線西戸崎～香椎間における自動運転の走行試験結果に注目したい。また多くの、様々な利用者に体験してもらうことで、在来線における無人・自動運転についても「安心して乗車することができる」という体感を得てもらうことが重要であると考ええる。

日本における在来線への無人・自動運転導入についての大きな目的の一つである人員削減については、リヨン地下鉄 Line D の事例では、1 駅に 1 人 SQV 関連業務に従事する者を配置している。運転士を削減した代わりに駅員を増員しており、人員不足解消のための施策として大きな効果があるかという疑問が残る。ただし、CCTV の技術的な進歩が無人自動運転の安定した運用に貢献していることから、今後、より少ない人員で無人・自動運転を導入するためには、人が線路内に入りやすい環境において、どのような技術が、どの程度必要なのかを見極め、その技術開発や既存技術をいかに有効活用するかが重要になると考える。

[参考文献]

- Christoph Groneck (2006), “METROS IN FRANKREICH” pp. 92-105
- IEC (2009), “Railway applications - Automated urban guided transport (AUGT) - Safety requirements”
- LesEchos (1992 年 9 月 1 日), 「Maggaly sur ses rails à Lyon」
<https://www.lesechos.fr/1992/09/maggaly-sur-ses-rails-a-lyon-931755>
- SYTRAL, “DOSSIER DE PRESSE 2018 LE METRO LYONNAIS TISSE SA TOILE DEPUIS 40 ANS”,
http://www.sytral.fr/uploads/Externe/d1/322_837_dp_metroTCLjuin2018.pdf
- TCL ホームページ, https://www.tcl.fr/sites/default/files/2019-11/PLF_Nov2019.pdf
- UITP (2019), “World Report on Metro Automation 2018 Statistics Brief”
https://www.uitp.org/sites/default/files/cck-focus-papers-files/Statistics%20Brief&20-&20Metro%20automation_final_web03.pdf
- 一般社団法人日本民鉄協会ホームページ, <https://www.mintetsu.or.jp/knowledge/term/97.html>
- 九州旅客鉄道株式会社プレスリリース (2019 年 12 月 20 日),
https://www.jrkyushu.co.jp/news/_icsFiles/afildfile/2019/12/20/0012.pdf
- 国土交通省「鉄道における自動運転技術検討会」各回配布資料
https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr1_000058.html
- 古関隆章 (2003), 「次世代地下鉄システム研究委員会報告書について」『日本地下鉄協会報』第 142 号, pp. 23-60.
- 鉄道に関する技術上の基準を定める省令 (e-Gov),
https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=413M60000800151#58
- 鉄道に関する技術上の基準を定める省令の解釈基準,
<http://www.mlit.go.jp/common/001273450.pdf>
- 電気技術開発株式会社ホームページ, https://www.jec-info.co.jp/facility/signal/communications-based_train_control/
- 東陽テクニカホームページ, <https://www.toyo.co.jp/files/user/img/product/ss/pdf/PRQA-Case-Study-Lyon-Metro.pdf>
- 日本経済新聞 (2019/12/20), 「JR 九州, 自動運転列車の走行試験 資格なくても運転席に」
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO53604470Q9A221C1LX0000/>
- 日本信号株式会社ホームページ, <https://www.signal.co.jp/products/railway/railway03.html>
- 水間毅 (2017), 「鉄道における自動運転の歴史と今後」『計測と制御』第 56 巻第 2 号, pp. 93-98.
- 渡辺典秋 (2003), 「地下鉄における自動運転の現状と将来展望」『電気学会誌』Vol. 123 No. 1, pp. 24-27.