

S4-1-6 日本における無人・自動運転の動向と国際規格への対応

[電] ○水間 毅 (交通安全環境研究所) [電] 桑原 正秋 (石川島播磨重工業) [電] 齊藤 嘉久 (京三製作所)

Tendency and Future Prospect of AUGT (Automated Urban Guided Transit) Standard

Takeshi Mizuma, Member(NTSEL) Masaaki Kuwabara, Member(IHI) Yoshihisa Saito, Member(Kyosan)

Recently, driverless train operation systems for urban transports are proceeding mainly in Europe and international standards that are proposed on the basis of European standards by Europe in IEC are concluded in sequence. In these circumstances, WG39 for establishing standard of safety requirements on automated urban guided transports in IEC TC9 started since the beginning in 2001. At present, this committee draft is proposed as the PAS (Publicly Available Specification) for this IEC TC9 plenary meeting that will be held in Tokyo on this November. This paper describes the outline of the present situation of Japanese AUGT systems and process of establishment of WG39, description of deliberation in this WG, summary of PAS and the countermeasures of Japanese WG.

キーワード：国際規格, 自動運転, ハザード解析, 国際電気標準会議

(International Standard, Automated Train Operation, Hazard Analysis, IEC)

1. はじめに

日本では、1981年に神戸市・ポートライナー、大阪市・ニュートラムが無人運転を開始し、新交通システムを中心として、無人運転が実用化されている。また、外国では、新交通システムでの無人運転の他に地下鉄の無人運転が実用、普及し始めている。こうした流れの中、独立した軌道 (exclusive guideway) を自動 (automated) で、自走 (self propelled) する無人・自動運転交通システム (AUGT: Automated Urban Guided Transport) の安全性要件を定める規格策定を目指して、2001年11月から、IEC (国際電気標準会議) のTC9 (鉄道電気設備関係技術委員会) 内にWG39を設置して規格作成を行っている。現在は、PAS (公開技術仕様書) として、IEC中央事務局に提出され、投票により可決されたため、2005年11月に東京で開催されるTC9の年次総会において、その審議が行われる予定である。そして、総会でPASとして承認されれば、その後、PASをベースとした国際規格 (IEC62267: 以後AUGT規格と呼ぶ) への発展を目指して、CD (委員会原案) の作成を引き続き進める予定となっている。

本稿では、日本の無人・自動運転の概要と、こうしたAUGT規格策定の動き、ならびに今後の動向を日本の対応とともに述べることにする。

2. 日本における無人・自動運転の概要

2. 1 無人・自動運転の歴史

日本においては、ゴムタイヤ式の案内軌条式鉄道 (新交通システム) の開発とともに、無人・自動運転技術が進展し、ATC (自動列車制御装置) の保安の基にATO (自動列車運転装置) による無人・自動運転が実現した。

表1に、日本において実現されている、無人・自動運転の例を示す。

ここで、UTOとはUnattended Train Operationで無人運転のことを示し、DTOとはDriverless Train Operationで添乗員付きの自動運転を示し、STOとはSemi-automated Train Operationで、半自動運転を示す。ATOによる自動運転を行っていても、運転士が出発ボタンを押したり、車両のドア開閉操作を行うシステムは、ここでは、STOの範疇に入れてある。

この表からわかるように、新交通システムやモノレールではUTO、DTOの例があるのに対し、在来鉄道や地下鉄では、UTOの例はなく、2005年になって初めて、地下鉄でDTO相当の例が現れている。また、ここで、STO/(DTO)と記しているのは、システムの運用によっては、DTOにもなりうるシステムを指しており、一部の地下鉄で例が見られる。

表1 日本における無人・自動運転の概要

1976	札幌市	地下鉄	東西線	UTO	車庫内の回送
1977	神戸市	地下鉄	西神山手線	STO	
1981	神戸市	新交通	ポートライナー	UTO	ホームドア
	大阪市	新交通	ニュートラム	UTO	ホームドア
	福岡市	地下鉄	空港線	STO	
1985	北九州市	モノレール	小倉線	STO	
1987	仙台市	地下鉄	南北線	STO	
1988	神戸市	地下鉄	北神急行	STO	
1989	名古屋市	地下鉄	桜通線	STO	
	横浜市	新交通	金沢シーサイド	UTO	ホームドア
1990	神戸市	新交通	六甲アイランド	UTO	ホームドア
1991	東京都	地下鉄	大江戸線	STO	リニア地下鉄
	東京メトロ	地下鉄	南北線	STO/(DTO)	ホームドア
1995	東京都	新交通	ゆりかもめ	UTO	ホームドア
1997	京都市	地下鉄	東西線	STO/(DTO)	ホームドア
1998	東京都	モノレール	多摩都市	STO/(DTO)	ホームゲート
2000	東京都	地下鉄	三田線	STO/(DTO)	ホームゲート
2001	埼玉県	地下鉄	有馬線	STO/(DTO)	ホームドア
	神戸市	地下鉄	海岸線	STO	リニア地下鉄
	浦安	モノレール	舞浜リゾート	DTO	ホームゲート
2005	福岡市	地下鉄	七隈線	DTO	ホームゲート、リニア地下鉄
	名古屋市	磁気浮上	リニモ	UTO/DTO	ホームドア
	つくば	鉄道	つくばエクスプレス	STO/(DTO)	ホームゲート

2.2 今後の方向

ATO、ATC機能の充実化とともに、軌道監視や乗客の移動監視技術が発展してきて、日本においても、地下鉄の無人運転化（DTO、UTO）の動きが加速されつつある。

しかし、専用的高架軌道を走行する新交通システムと異なり、地下隧道内を走行する地下鉄においては、DTO、UTO化を進めるに当たっては、異常の検知技術の高度化とともに、異常時における適切な避難誘導対策の充実化が必須である。

2005年・福岡市七隈線で、日本で初めて、地下鉄におけるDTOに相当する運転が実用化されたが、その際に、従来のATOによるワンマン運転（STO）との運転業務の比較を行い、同程度の対応がなされることが確認⁽¹⁾されたことより実用化された。

表2にSTOとDTOにおける対応例を示す。

表2 STOとDTOによる運転機能実現方法例

業務内容	機能	STOで実現		DTOで実現			
		乗務員	システム	OCC	システム	OCC	保守・巡回員
点検	出入庫点検	○					○
運転・操作	入換・折返し	○			○	○	
	車両ドア開閉操作	○			○	○	
	出発制御	○		△	○	○	
	走行(加速・減速・停止)	△	○		○	○	
	列車間隔(保安)		○		○	○	
	運転監視			○		○	
	運転制御			○		○	
確認・監視	前方確認	○			○(ホームドア)		
	ホーム監視	○			○(ホームドア)ITV		
	位置停止監視	○			○	○	
	信号確認	○			○	○	
	機器監視	○			○	○	
乗客対応	応対	○			○		○
	案内放送	△(車内自動放送)				△	
連絡・報告	出入庫点検完了報告	○	○	○			○

日本においては、このように、運転士・乗務員の機能を代替するシステム、技術が確立されれば、今後は、地下鉄における真の意味でのDTOが実現していくものと思われる。

3. AUGT規格の概要

3.1 AUGT規格の経緯

2001年11月からWG39で審議が開始されたAUGT規格は、専用軌道を自走する自動運転システムの安全性要件を規定する規格を目的としている。フランスのMr. Cote (RATP：パリ交通公団)を座長として、20名程度で構成されている。

表3に、これまでのWGの開催、審議状況を示す。

表3 WG39の活動概要（国際作業部会）

	日時	場所	主な内容
第1回	2001.11.8 ～9	ロンドン	ハザードの場合分け
第2回	2002.3.7 ～8	ベルリン	リスク分析手法の検討
第3回	2002.5.23 ～24	東京	リスク分析
年次総会	2002.9.16 ～19	ケベック シティ	WG39活動の承認
第4回	2002.10.1 7～18	レンヌ	リスク分析、1st CD の作成
第5回	2003.2.20 ～2.21	コペン ハーゲン	リスク分析、1st CD 目次案作成
地域	2003.5.22 ～23	ジェノバ	1st CDコメントへの 対応
第6回	2003.9.2 ～5	シンガ ポール	リスク分析、2nd CD の作成
年次総会	2003.10. 20～24	コペン ハーゲン	1st CDに対する討議 (2nd CDへの承認)
第7回	2004.1.29 ～30	ソールース	2nd CD作成、 overview table作成
第8回	2004.5.20 ～21	プラハ	2nd CD作成、 overvie tableの作成
第9回	2004.9.9 ～10	ラスベガス	2nd CDの作成、文 章案の審議
年次総会	2004.10. 25～27	上海	PASの提出、2nd CD 作業の継続
第10回	2005.1.20 ～21	リヨン	TC9年次総会に対す る確認、PASの作成
第11回	2005.4.21 ～22	ウィーン	PASの作成、ハザード 分析
第12回	2005.10. 20～21	香港	PASコメントへの対 応、2nd CDの作成
年次総会	2005.11. 14～18	東京 (予定)	PASに対する討議(2nd CD作成の承認)

当初3年間で国際規格(International Standard)となることを目指していたが、自動運転の安全性要件を定めるためのハザード解析まで包含することとなったため、各国の合意形成が図られず、TC9の年次総会(2004年・上海)において、PASとして提出することを求めら

れ、2005年に提出後、各国の投票により可決され、現在に至っているものである。ただし、2003年の年次総会において、一次委員会原案(1st CD)は提出し、承認されており、それをベースとして、二次委員会原案(2nd CD)を作成し、その作成途中段階のものをPASとして提出した。従って、PASが承認されれば、引き続き2nd CDの完成の作業を継続して、早期(2006年中)の委員会投票原案(CDV)作成を目指している。

PASと国際規格との関係については、IEC文書CA/1831A/INF(2000年10月)で図1のように定められており、PASはpre standardと位置付けられており、PAS制定後のCDV案作成作業に支障はないものと判断している。

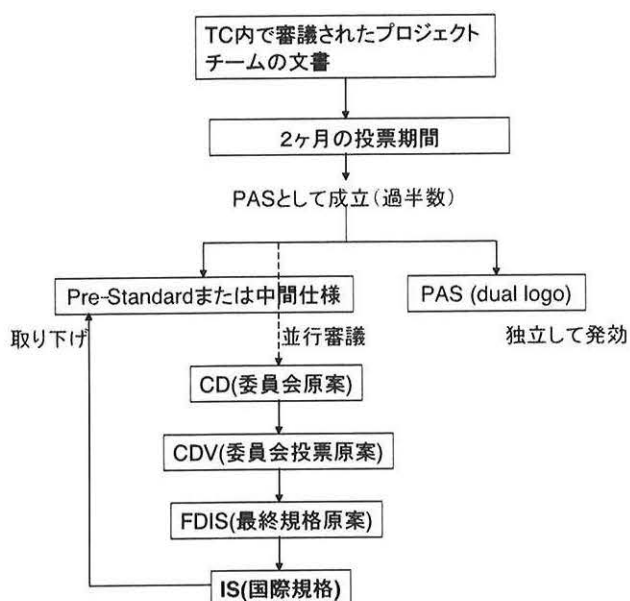


図1 PASとまたは国際規格の承認手順

3. 2 AUGT規格の特徴

本規格の特徴は、まず、(1)自動運転の分類を示し、運転の機能から見た規格の適用範囲(表4参照)を示した上で、(2)自動運転の安全性に係る最上位のハザードを最小限整理して、(3)それらのハザードを軽減する可能解を示し、その上で、(4)それらの解に必要とされる安全性要件と機能を記述する形式となっている。また、付録として、(5)自動運転を実施している各国の経験に基づく、ハザード解析結果の例(自動運転を実現している技術)を示している、という点にある。

このうち、(2)と(3)はoverview tableとして、一覧で示している。この例を表5に示すが、運転士が不在であることを補償する機能を示し、それに伴うハザードを列挙して、そのハザードを軽減する対応策を示す形となっている。そして、その対応策に求められる安全性、要件、機能を後段の章で詳述することとなっている。

表4 列車運転の階層分け

列車運転の基本機能		目視運転	非自動運転	半自動運転	自動運転	無人運転
		TOS	NTO	STO	DTO	UTO
		GOA0	GOA1	GOA2	GOA3	GOA4
列車安全運転の確保	安全な道路の確保	×	S	S	S	S
	安全な列車間隔の確保	×	S	S	S	S
	安全な速度の確保	×	×(一部システム)	S	S	S
運転	加減速の制御	×	×	S	S	S
軌道の監視	障害物との衝突防止	×	×	×	S	S
	軌道上の人との衝突防止	×	×	×	S	S
乗客の移動の監視	車両ドアの制御	×	×	×	×	S
	車両間、ホームと列車間の乗客の障害の防止	×	×	×	×	S
	安全な出発条件の確保	×	×	×	×	S
列車の運行	運行の設定/解除	×	×	×	×	S
	列車状況の監視	×	×	×	×	S
異常時における検知と管理の確保	列車診断、火災/煙検知、脱線検知、異常状況の監視、通報、避難	×	×	×	×	Sand/or staff in OCC

×：職員の責任範囲 S：技術によって実現

□：本規格の適用範囲

表5 Overview Tableの概要

運転士の責任をシステムに交換するための基本機能	ハザード状況	可能な対応策
軌道上の人との衝突を防ぐための軌道監視	駅のホーム端にいる人	フルスクリーンドア
		腰高式ホームドア
		フェンス
		警戒線
		検知装置
	ホームの端(end)でホームから駅間の軌道に侵入する	規則
		ホーム端のドア検知
		フルスクリーンエンドドア
		規則
		壁
		ホーム端警戒線
		規則
.....		

また、本規格は、自動運転に関する安全性機能、要件をハザード解析を通じて整理している点にも特徴がある。従って、日本においても自動運転技術に関するハザード解析を実施する必要が出てくると思われる。

従来、日本の鉄道技術は、評価については、設計段階での机上評価、製品段階での実証試験を中心に実施してきたが、こうしたハザード解析が規格内に記述されるようになると、こうした解析も実施する必要が出てくると思われる。

3. 3 日本の対応

ハザード解析の表中には、日本の自動・無人運転技術を網羅し、日本で実施していない技術に関しては、安全性要件の記述に日本が採用しなくても支障がない理由を記述させることを前提として、日本側は作業を実施しているが、こうした作業を続けていると、これまでの安全に関する考え方とは異なる方法で安全性を検討しなければならない必要性に迫られていることが感じられる。

一つは、ハザード解析を始めとした安全性解析方法を実施すること、もう一つは、日本の自動・無人運転技術の仕様化である。

(1) 日本における安全性解析技術

考えられるハザードに対しての対応を、日本の法令、過去からの経験値に基づいて決定した根拠等を示して、運転士・乗務員がいなくても補償することを確認することが重要である。前述の表2は、その一手法であると考えられる。

(2) 日本の自動・無人運転技術の仕様化

従来、日本においては、メーカーは、同じ技術を使用する場合においても、事業者の要求に応じて様々な製品、装置、システムを製作し、統一的な仕様というものを作成する機会が少なかったように思われる。しかし、規格化が要求される現状においては、今後は、統一的仕様 (Generic Specification) を製作し、各事業者に対応した仕様は、付加的なものとして (Site Specific) 分離できるような形で製作するような方式も検討することが望ましい。図2に、国際規格を意識した今後の技術開発の流れの例を示す。規格化の流れの中では、メーカーは、規格化対応と事業者対応の両面での技術開発が求められると言える。

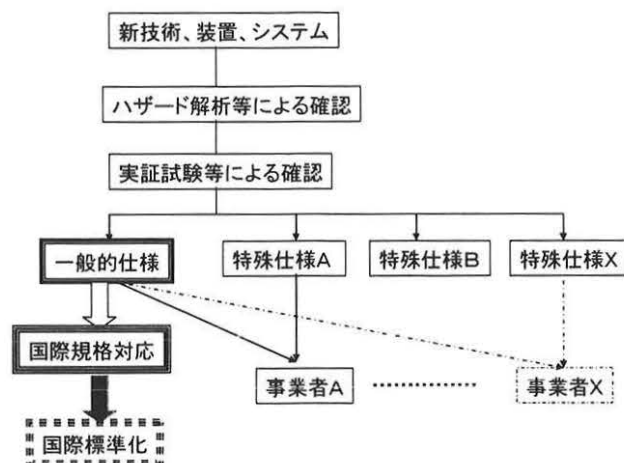


図2 国際規格を考慮した日本版技術仕様の例

4. あとがき

以上、日本における、無人・自動運転の概要と今後の方向、AUGT規格の設立経過、審議状況と日本の対応例を中心に述べた。日本においても、新交通だけでなく、在来鉄道におけるDT0化の流れは進んでいるように思われ、日本の技術的背景に相応しいハザード解析の実施が望まれている。一方で、AUGT規格が審議されているが、現状では、日本側の主張がほぼ認められ、日本で先行している技術（例えば、腰高式ホームドア）が規格 (PAS)

(案) 内にほぼ日本の主張通りに記述されている。しかし、今後、ますます増加する国際規格 (案) の提案に対し、日本は、その都度対応するだけでなく、日本の独自技術が国際規格となるような技術開発の流れを検討するとともに、それを支援する体制の充実化を図る必要がある。

現在、国際規格への対応は、国土交通省、鉄道総研を中心に、事業者、メーカーが集まって対応がなされているが、さらなる対応の強化が望まれる。

参考文献

- (1) 平島稔「ドライバレス運転実施への課題」鉄道車両と技術No. 86, 2003. 6, P18-26
- (2) 水間毅、桑原正秋、齊藤嘉久「AUGT規格に関する動向と今後の展望」電気学会研究会資料 TER-05-68, 2005. 10, p75-80