

# 地下鉄の全自動運転システム

## 福岡市交通局七隈線への導入

### Automatic Operation System for Subway

藤原 正弘 Masahiro Fujiwara  
田中 龍治 Ryūji Tanaka

滝口 均 Hitoshi Takiguchi  
植木 直治 Naoji Ueki

関 淳一 Jun'ichi Seki



#### 福岡市交通局七隈線の運行管理システムと3000系車両

日立製作所が設計・製作を担当した運行管理システムと3000系車両は、わが国初の地下鉄全自動運転システムの中核を担っている。

福岡市交通局七隈線は、福岡市西南部地域の慢性的な交通渋滞を緩和し、効率的で利便性の高い公共交通体系の確立を図り、均衡ある街づくりを推進するために建設され、2005年2月3日に開業した。既設線の約20年間に及ぶワンマン運転を発展させ、地下鉄では初となる全自動運転システムが採用され、乗務員を嘱託するという福岡方式をサポートするシステムとなっている。

地下鉄の全自動運転を行うためには、単に運転業務

を自動化するだけでなく、運行に伴って発生するさまざまな異常事象について、乗客の安全を確保しつつ、安心・快適な輸送を実現することが必要である。

日立製作所は、これまで蓄積したワンマン運転システムの技術を発展させ、安全かつ効率的な運行のための地下鉄の全自動運転システムの構築に寄与し、全自動運転システムの中核である運行管理システムや車両システムなどを納入している。

## 1 はじめに

福岡市交通局七隈線は、福岡市西南部地域の慢性的な交通渋滞緩和の切り札として建設されたもので、全駅数は16で平均駅間距離が約800mと比較的短く、橋本駅から天神南駅までを約24分で結んでいる。最大の

特徴は、乗客の安全を確保しつつ効率的で利便性の高い交通機関を目指し、わが国の地下鉄初となる全自動運転に対応したシステムが構築されていることである。

地下鉄の全自動運転を安全に行うためには、単に運転業務を自動化するだけでなく、運行に伴って発生するさまざまな異常事象について、乗客の安全を確保しつつ

円滑に対処することが必要である。

日立製作所は、福岡市交通局とともに地下鉄での全自動運転システムについての検討を重ね、わが国の地下鉄では初となる「全自動運転システム」の設計・製作に携わった。

ここでは、日立製作所が設計・製作を担当した運行管理システムと車両システムを中心に、福岡市交通局七隈線の全自動運転システムについて述べる。

避難が困難であることが考えられる。

この地下鉄固有の条件を考えた場合、列車の安全な運行を実現するための要件は次の三つである。

- (1) 駅間に列車を停止させないこと
- (2) 乗客に不安を与えないこと
- (3) 走行の安全性を確保すること

この三つの要件から、地下鉄全自動運転システムに求められる基本的機能を整理したものを表1に示す。

## 2 地下鉄全自動運転に求められる機能

わが国では、これまで地下鉄での全自動運転は実施されていなかった。これは、地下鉄はトンネルという閉鎖された空間を走行することから、駅間で停止した場合の

表1 地下鉄全自動運転に求められる主な機能  
地下鉄の全自動運転に求められる主な機能を示す。

主な機能
(1) 走行中の車両を駅間に止めない手段と、止まった場合でも次駅まで走行が可能な手段を講じる。
(2) 車両走行に直接関係する装置は、二重系または2ユニット構成とし、1系または1ユニットが止まっても機能を維持できる構成とする。
(3) 架線停電による駅間停車などで補助電源装置が停止した場合、主要な機器については「運転機能」、「運輸指令との連絡機能」、および「乗客に不安感を与えないための機能」を喪失しない。
(4) 地上側保安装置の主要な部分を多重系とし、系全体としてフェイルセーフ機構とする。
(5) 車両で異常が発生した場合、速やかに避難誘導などの処置ができる体制を整備する。

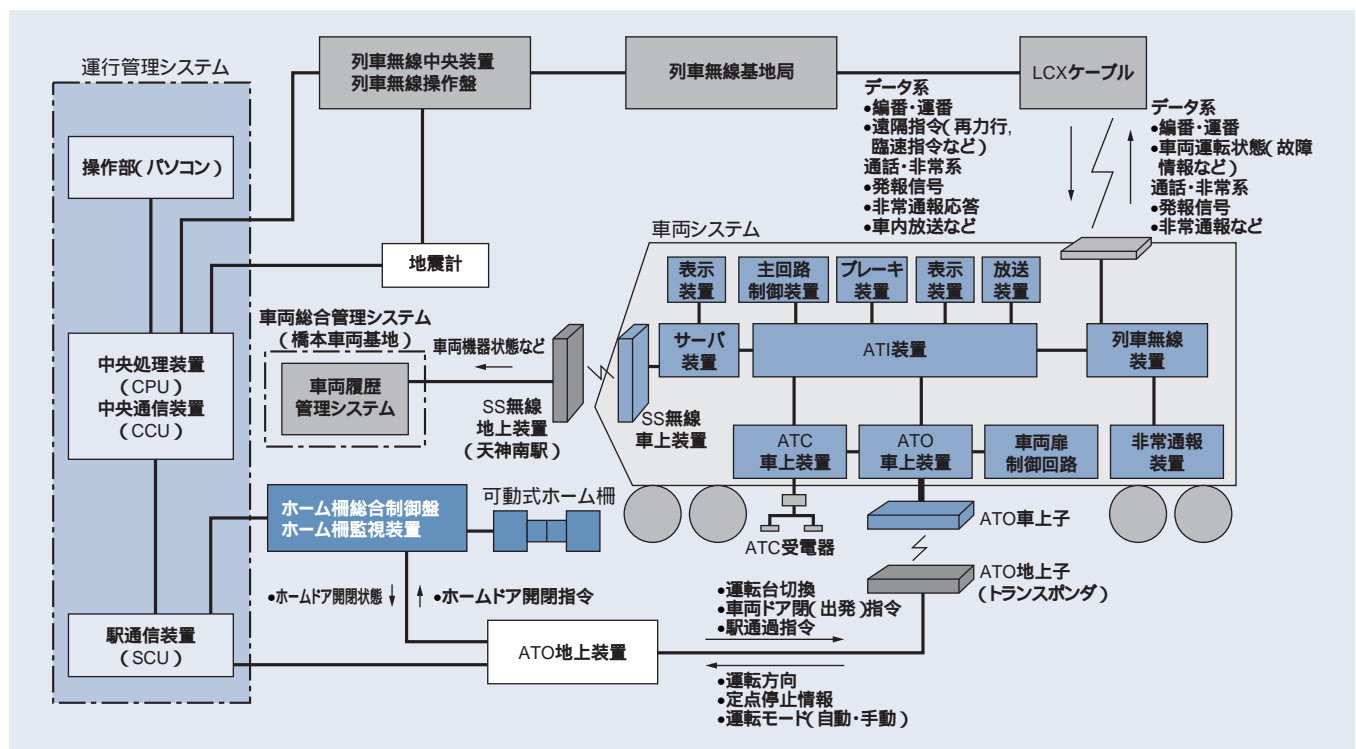
## 3 七隈線の全自動運転システム

### 3.1 全自動運転システムの概要

全自動運転システムでは、ATO(Automatic Train Operation)によるワンマン運転時に乗務員に課せられている運転操作や危険回避などを自動または遠隔操作で行う必要がある。

全自動運転システムを実現するためには、地上システムと車両システムの個々のサブシステムを融合し、地上と車上間での双方向の情報伝達機能を整備して、トータルシステムとして構築することが重要となる(図1参照)。

全自動運転システムの機能は、地上装置(運行管理システム、可動式ホーム柵(さく)、ATO、列車無線など)と車上装置(ATC、列車無線、ATI(Autonomous Train Integration)など)で構成され、地上と車上間の情報伝達には列車無線(全線)とATO地上子(駅部)を



注:略語説明 CPU( Central Processing Unit ), CCU( Central Control Unit ), SCU( Station Control Unit ), ATC( Automatic Train Control ), ATO( Automatic Train Operation )  
ATI( Autonomous Train Integration ), SS( Spread Spectrum ), LCX( Leaky Coaxial )

図1 地下鉄全自動運転システムの概要  
運行管理システムや車両システム、可動式ホーム柵などの関連装置を機能的に融合している。

用いることで実現している。

異常時の対応として、車両システムには機器の状態を監視する機能、支障物検知装置、異常振動検知装置などが設けられており、列車無線との連携で運輸指令へ速やかに情報を伝え、この情報を基に運輸指令で次の判断業務が行えるようになっている。また、運転操作を含め各機器の入出力のロギング機能を充実させ、異常事象発生時の原因究明に役立っている。その他、乗客対応業務については、ホームでの転落を防止する可動式ホーム柵を設置することによって乗降客の安全を確保しており、車内案内表示・放送内容の充実とともに、乗客が運輸指令と直接会話のできる非常通話機能を備えている。

### 3.2 システムと車両の特徴

#### 3.2.1 システムの特徴

全自動運転システムに対応するための主なシステム設備と機能を表2に示す。

運行管理システムでは、中央処理装置、中央通信装置、および駅通信装置を二重系構成とし、1系が停止した場合でも自動運転機能を継続できる構成としている。

また、基幹機能であるダイヤ管理、列車追跡、進路制御、旅客案内などを中央装置に持たせた中央集中型のシステム構成とし、ATO地上装置、可動式ホーム柵との情報授受など、自動運転制御をつかさどる駅通信装置は各駅に設置して、列車制御に対する応答性の向上を図っている。

車両の状態は列車無線を経由して中央装置で常時監視しており、故障発生時には指令員へ報知し、速やかな対応、処置が行えるようになっている。

また、全自動運転による指令員への負担増を緩和し、迅速な状況判断ができるように、モニタの表示内容や操作性を考慮した、扱いやすいシステムとしている。

#### 3.2.2 車両の特徴

全自動運転システムに対応するための主な車両設備と機能を表3に示す。

走行中の車両を駅間に止めないよう、車両走行に直接関係する装置については、二重系または2ユニット構成とし、1系または1ユニットが止まっても機能を維持できる構成としている。

架線停電などで補助電源装置が停止した場合でも、「運転機能」、「指令との連絡機能」および「乗客に不安感を与えないための機能」を喪失しないよう、主要な機器については車載バッテリーから電力を供給している。架線停電時でも客室内の非常通報ボタンが押された場合は、列車無線と連携して乗客と運輸指令間での通話を可能としている。

表2 全自動運転のためのシステム構成と機能  
全自動運転システムに対応するための主要装置と構成、機能を示す。

装置名	全自動運転のためのシステム構成・機能
運行管理システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 主要機器:二重系構成</li> <li>● 車両ドア開(出発)指令機能</li> <li>● 運転台切換指令機能</li> <li>● 駅通過指令機能</li> <li>● 強制ドア開指令機能</li> <li>● 臨速15 km/h解除指令機能</li> <li>● 再力行指令機能</li> <li>● 臨速15 km/h指令機能</li> <li>● 貫通扉ロック解除指令機能</li> <li>● 非常ブレーキ保持・緩解指令機能</li> <li>● 強制停車指令機能</li> <li>● 異常時車内案内指令機能</li> <li>● 空調運転指令機能</li> <li>● 車両故障状態監視機能</li> </ul>
可動式ホーム柵	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 車両扉と連動したホーム柵開閉機能</li> <li>● 異常検知・自動再開閉機能</li> </ul>

車両機器の状態は常時監視されており、異常発生時には列車無線との連携で運輸指令へ速やかに情報を伝え、この情報を基に運輸指令で次の判断業務が行えるようにしている。

また、車両に設備されたSS(Spread Spectrum:スペクトラム拡散)無線装置と天神南駅に設置されたSS無線装置を介し、ATI装置に記録された車両機器状態(故

表3 全自動運転のための車両設備構成・機能  
全自動運転システムに対応するための主要な車両設備構成と機能を示す。

装置名	全自動運転のための車両設備構成・機能
ATC装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 受信部・制御部ともに二重系構成</li> <li>● バッテリバックアップ</li> </ul>
ATO装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 送受信部・制御部ともに二重系構成</li> <li>● バッテリバックアップ</li> <li>● ATO地上子からの出発指令による自動出発機能</li> <li>● 自動前方インテング機能</li> <li>● 再力行機能</li> <li>● 駅間停車状態・停止位置情報の運輸指令への通報</li> <li>● 地点検知ミス時のバックアップ走行機能</li> <li>● 駅通過機能</li> <li>● 臨速運転機能(主回路制御装置故障、地震発生時)</li> </ul>
ATI装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 基幹伝送路:二重系</li> <li>● バッテリバックアップ</li> </ul>
列車無線装置(通話・非常系)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 主要機器:二重系構成</li> <li>● バッテリバックアップ</li> <li>● 発報信号出力機能</li> <li>● 発報信号受信で非常ブレーキ指令出力</li> <li>● 非常通報装置通話機能</li> <li>● 車両故障状態の通報(データ系のバックアップ)</li> </ul>
列車無線装置(データ系)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 主要機器:二重系構成</li> <li>● バッテリバックアップ</li> <li>● 発報信号出力機能(非常系のバックアップ)</li> <li>● 運輸指令からの遠隔指令出力機能(再力行指令機能、臨速15 km/h指令機能、貫通扉ロック解除指令機能ほか)</li> <li>● 車両故障状態の通報</li> </ul>
車両扉制御装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ホーム柵と連動した車両扉開閉機能</li> <li>● 戸挟み検知・自動再開閉機能</li> <li>● 自動運転中の側扉・貫通扉開閉検知機能</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 運転台自動切換回路</li> <li>● 支障物検知装置</li> <li>● 異常振動検知装置</li> <li>● 車内放送・表示装置(異常時車内案内機能、残留客降車促進案内機能)</li> <li>● 主回路制御装置(自動故障リセット・ユニット開放機能)</li> </ul>



障、動態監視)データを橋本車両基地へ報知する機能も持たせている。

さらに、運転室と客室間は仕切りを設けない開放型運転室としており、狭隘(あい)感の軽減とともに、乗客が乗務員を直接確認できることで安心感を提供している。

### 3.3 地上と車上システムの連携

#### 3.3.1 基本機能

##### (1) 運転台自動切換制御

運行管理システムから出力され「運転台切換(運転方向切換)指令」を車両が受信すると、車両側では対応する「運転方向切り換えリレー」を駆動させ、自動的に運転方向の切換を行う(終端駅での省力化とスピードアップ)(図2参照)。

##### (2) 自動ドア開制御

- (a) 車両側では、駅の定位置に停止して「ドア開許可信号」を受信し、条件が成立すると、「ホームドア開指令」を送信する。
- (b) 「ホームドア開ACK(Acknowledge)信号」を車両が受信すると、車両ドア開指令回路が構成され、車両ドアが開く(図3参照)。

##### (3) 自動ドア閉制御、自動出発制御

- (a) 出発時刻一定時間前に、運行管理システムから「車両ドア閉(出発)指令」を出力する。
- (b) 車両側では、この指令を受信すると開いている車両ドアを閉めるとともに、「ホームドア閉指令」を地上へ送信する。

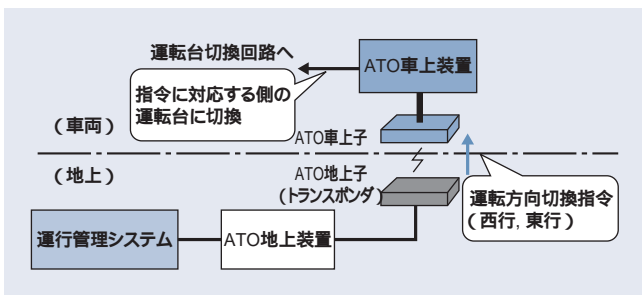
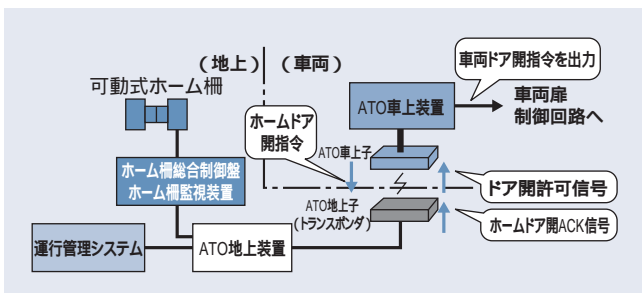


図2 運転台自動切換制御の概要  
運転台自動切換制御は、ATO地上子を介して行う。



注:略語説明 ACK(Acknowledge)

図3 自動ドア開制御の概要  
自動ドア開制御は、ATO地上子を介して行う。

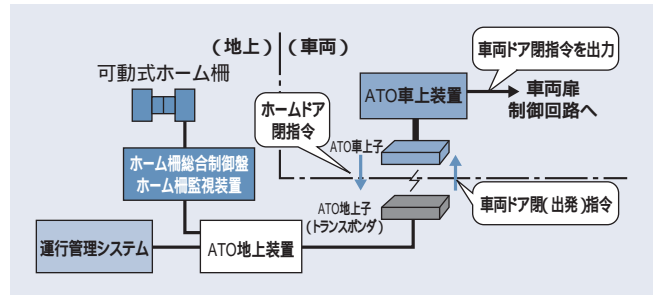


図4 自動ドア閉制御と自動出発制御の概要  
自動ドア閉制御と自動出発制御は、ATO地上子を介して行う。

(c) 車両ドアとホーム柵が「全閉」となってから一定時間後に車両は自動出発する(図4参照)。

#### 3.3.2 異常事象に対する機能

地下鉄の全自動運転を安全に行うためには、異常事象についても、乗客の安全を確保しつつ円滑に対処することが必要である。異常事象に対する機能の例について以下に述べる。

##### (1) 車両機器故障 機器故障伝送経路の冗長化

車上機器故障や異常が発生した場合には、運輸指令へ報知することが必要である。しかし、伝送経路が1経路しかない、伝送路上の機器が故障すると車両情報を監視できなくなるため、伝送路を冗長化している(表4参照)。

##### (2) 駅間停車 再力行機能

自動運転中に何らかの要因で列車が駅間に停止した場合でも、可能なかぎり次駅まで走行させる必要がある。

(a) 車両側では、「駅間停止」情報を列車無線経由で運輸指令へ送信する。

(b) 運輸指令は、車両機器の故障状態など、安全を確認したうえで運行管理システムから当該車両に対して「再力行指令」を入力する(列車無線経由で当該車両に送信)。

(c) 車両側ではこの指令を受信すると、自動出発できる条件が成立している場合、自動再出発を行う(図5参照)。

表4 車両機器故障伝送経路の冗長化の概要  
車両故障と異常情報の伝送路は冗長化している。

伝送経路	伝送内容
ATI装置 列車無線装置(データ系) 列車無線地上局	車両故障情報、車両状態情報
ATI装置 列車無線装置(通話・非常系) 列車無線地上局	車両故障情報 (データ系故障時のバックアップ)
車両機器・車体回路 列車無線装置 (データ系・通話・非常系) 列車無線地上局	車両故障情報 (ATI装置重故障時のバックアップ)
ATO車上装置 ATO地上装置	車両状態情報、ATI重故障、 列車無線重故障 (ATI装置・列車無線重故障時のバックアップ)

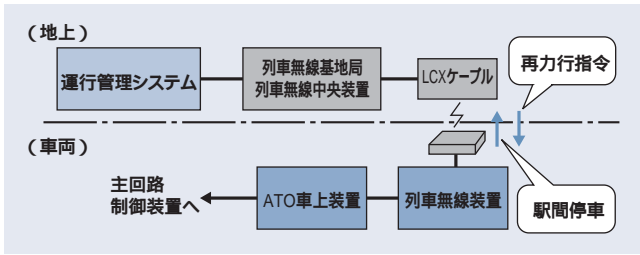


図5 再力行機能の概要  
再力行指令は、列車無線(データ系)を介して車両へ伝送される。

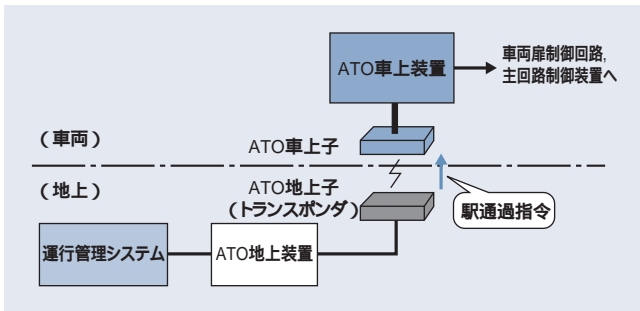


図6 駅通過機能の概要  
駅通過指令は、ATO地上子を通じて車両へ伝送される。

(3) 駅火災 駅通過機能

火災が発生した駅に乗客を降ろすことは危険なため、車両ドア開制御を行わずに次駅まで走行させる必要がある。

(a) 運輸指令は運行管理システムに「駅通過指令」を入力する(当該駅ATO地上子へ出力)。

(b) 当該駅に停車した車両は、この指令を受信するとドア開制御を開始しないで、駅停車後すぐに自動出発を行い、次駅まで自動運転を行う(図6参照)。

(4) 地震 臨速15 km/h制御機能, 強制停車機能

地震が発生した場合、危険回避のために車両を制限速度以下で走行させるか または停止させる必要がある。

(a) 震度4の場合

(i) 運行管理システムは、地震計で震度4の地震発生を検知した場合、「全列車臨速15 km/h制御指令」を列車無線経由で車両へ出力する。

(ii) 車両は、この指令を受信すると、15 km/h以下の速度で自動運転を継続する。

(iii) 臨速15 km/h制御を解除する場合は、運輸指令から運行管理システムに「臨速15 km/h制御解除指令」を入力する(ATO地上子経由で出力)。

(iv) 車両は駅停車時に、この解除指令を受信すると、臨速15 km/h制御を解除し、通常の走行パターンで自動運転を行う(図7参照)。

(b) 震度5弱以上の場合

(i) 地震計で震度5弱以上の地震発生を検知した場合、列車無線中央装置から車両に対して発報信号が出力される。

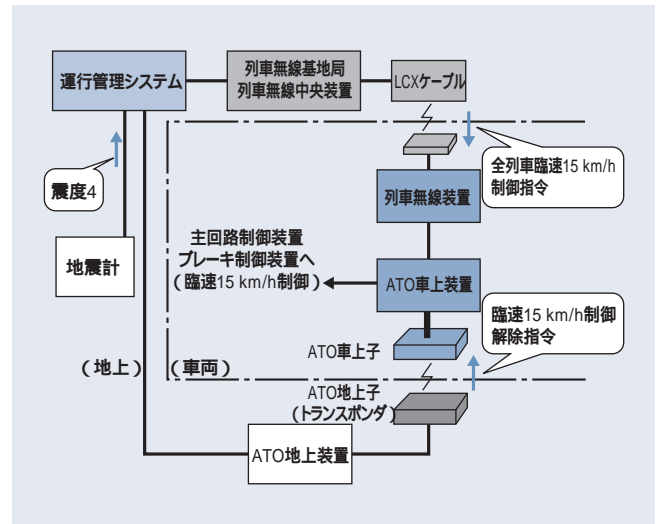


図7 臨速15 km/h制御機能の概要(震度4の場合)  
地震計で震度4を検知すると、運行管理システムから臨速制御の指令を出力する。臨速15 km/h制御指令は、列車無線(データ系)を介して車両へ伝送される。

(ii) 同時に運行管理システムでは、「強制停車指令(列車無線発報信号のバックアップ信号)」を列車無線(データ系)経由で車両へ出力する。

(iii) 車両は、(i) または (ii) の指令を受信すると、非常ブレーキが動作し、停止する。

(iv) 車両を再出発させる場合には、運輸指令が安全を確認したうえで、運行管理システムから車両に対して「非常ブレーキ緩解指令」、「全列車臨速15 km/h制御指令」および「再力行指令」を入力する(列車無線(データ系)経由で出力)。

(v) 車両側では、これらの指令を受信すると、15 km/h以下の速度で自動運転を再開する。

(vi) 前述と同様に車両側では、駅停車時にATO地上子経由で「臨速15 km/h制御解除指令」を受信すると、臨速15 km/h制御を解除し、通常の走行パターンで自動運転を行う(図8参照)。

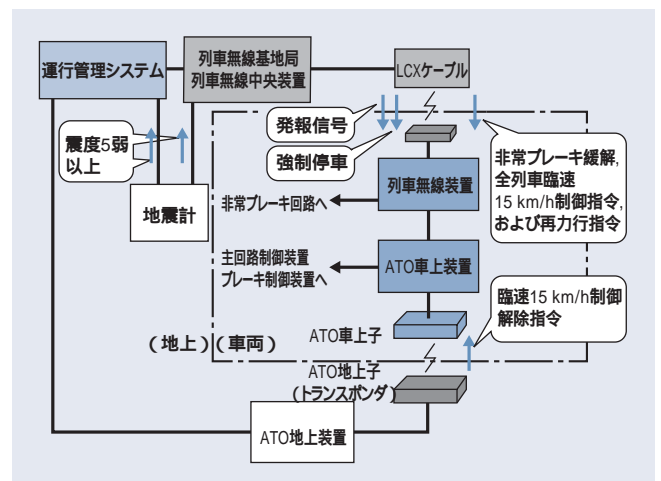


図8 強制停車機能の概要(震度5弱以上の場合)  
地震計で震度5弱以上を検知すると、発報信号(通話系)と強制停車指令(データ系)が列車無線を介して車両へ伝送され、車両は非常停止する。

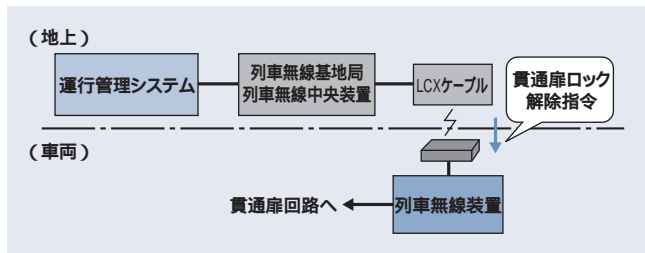


図9 車両先頭貫通扉ロック解除機能の概要  
緊急時の乗客避難用に使用する車両先頭の貫通扉では、遠隔指令によって開放ハンドルカバーのロック解除が可能となっている。

#### (5) 乗客の避難 車両先頭貫通扉ロック解除機能

万が一、駅間で車両が停止し、乗客をトンネル内に避難させなければならない事態となった場合には、車両の扉を開放する必要がある。

(a) 緊急時の乗客の避難には、車両先頭の貫通扉を使用することになる(通常、この貫通扉の開放ハンドルは、錠の掛かったカバーで覆われている)。

(b) 運輸指令は運行管理システムに「貫通扉ロック解除」指令を入力する(列車無線経由で車両へ出力)。

(c) 車両側では、この指令を受信すると、貫通扉開放ハンドルカバーのロックが解除されるとともにカバーが開く。

(d) その後、開放ハンドルを手動で操作することにより、貫通扉を開けることができる(図9参照)。

## 4 今後の展望

七隈線では、運転資格を持った乗務員が先頭車両の運転台に添乗する運転形態で運用されている。

事業者の観点から経営効率の向上を目指して、すでにツーマン運転からワンマン運転へと自動化技術の応用(A TO装置の適用)が進んできており、その延長線上に、乗務員が運転室に常時乗務していない運転形態である「添乗員付きドライバレス運転」があることは自然な発想と思われる。

一方、地下鉄をドライバレスで運転することは、新交通システムでの適用とは異なり、閉鎖されたトンネル空間から来る不安感があることも事実であり、乗客の不安感をどのようにして解消していくかが重要な課題である。

これまででは客室と隔離されていた乗務員が車内を巡回することが可能となれば、乗客へのサービス向上にもつながり、乗客の安心感も高まると考えられる。

また、地下鉄でのドライバレス運転は、実績のある車内映像監視装置などを自動運転システムと組み合わせることによって実現が可能になると考えられる。しかし、特に異常時の運用形態について、さらに検討して取り組むことが必要である。

## 5 おわりに

ここでは、福岡市交通局地下鉄七隈線の全自動運転システムについて述べた。

日立製作所は、車両(車体ならびに電気品)から運行管理システム、可動式ホーム柵といった地上システムまで対応している鉄道システムインテグレーターとしてのノウハウを生かし、今後もドライバレス運転の検討を進めていく考えである。

### 参考文献

- 1) 山口:福岡市リニア式地下鉄開業, JREA, Vol.48, No.4, 38~45 (2005.4)
- 2) 平島:ドライバレス運転実施への課題, 鉄道車両と技術, No.86, 18~26 (2003.6)
- 3) 井上, 外:福岡市交通局ドライバレス運転システム, 第41回鉄道サイバネ・シンポジウム, 519 (2004.11)
- 4) 古閑:ドライバレス運転の可能性と課題, 鉄道車両と技術, No.86, 2~9 (2003.6)

### 執筆者紹介



藤原 正弘

1989年日立製作所入社, 電機グループ 交通システム事業部 車両システム本部 車両技術部 所属  
現在, 公民鉄車両のシステムエンジニアリングに従事  
E-mail: masahiro.fujiwara.ta@hitachi.com



田中 龍治

1991年日立製作所入社, 電機グループ 交通システム事業部 水戸交通システム本部 車両電気システム設計部 所属  
現在, 鉄道車両用保安装置(ATC/A TO)の設計取りまとめに従事  
E-mail: ru-tanaka@em.mito.hitachi.co.jp



滝口 均

1974年日立製作所入社, 電機グループ 交通システム事業部 水戸交通システム本部 信号システム設計部 所属  
現在, 運行管理システムの設計取りまとめに従事  
E-mail: ht-takiguchi@em.mito.hitachi.co.jp



植木 直治

1986年日立製作所入社, 電機グループ 交通システム事業部 笠戸交通システム本部 車両システム設計部 所属  
現在, 公民鉄車両のぎ装設計に従事  
E-mail: naoji\_ueki@pis.hitachi.co.jp



関 淳一

1988年株式会社日立国際電気入社, 公共・通信システム事業部 公共・通信システム本部 業務通信システム設計部 所属  
現在, 列車無線装置の設計取りまとめに従事  
E-mail: seki.junichi@h-kokusai.com