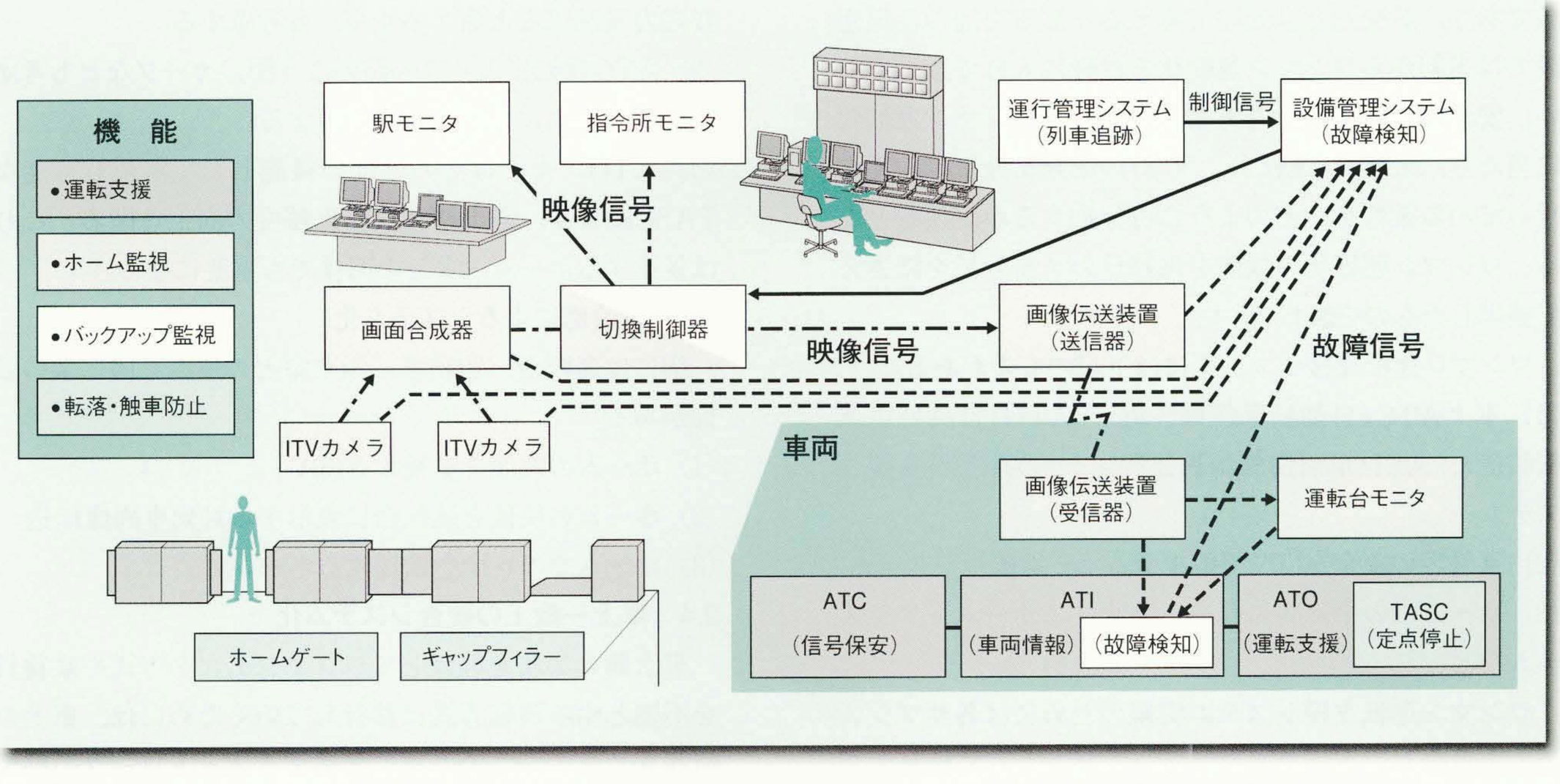
特集　鉄道サービスを支える新しいソリューション

都市交通における効率的で安全なワンマン運転支援システム

One-Man Operation Support System for Urban Railways

會田悟史　*Satoshi Aida*　門野尊倫　*Takamichi Kadono*
関野眞一　*Shin'ichi Sekino*　内村年秀　*Toshihide Uchimura*



注：略語説明　ITV（Industrial Television），ATC（Automatic Train Control），ATI（Autonomous Decentralized Train Integrated System）
ATO（Automatic Train Operation），TASC（Train Automatic Stop Position Control）

日立製作所のワンマン運転支援システムの概要

システムの機能を，（1）運転士を支援する「運転支援」，（2）車側の安全を監視する「ホーム監視」，（3）関連機器故障時のバックアップモニタ監視を行う「バックアップ監視」，および（4）ホームでの安全を確保する「転落・触車防止」に分けて示す。

最近の都市交通においては，新交通はもとより，輸送量の多い中量高速鉄道でも経営効率の向上を目指し，ワンマン運転の実施が進められている。新線建設では当初からワンマン化が計画され，既設線でもワンマン化への移行が図られてきている。

このワンマン化を実現するために，乗務員の業務を支援するATC（自動列車制御装置），ATO（自動列車運転装置），ATI（車両情報制御装置）など，車両側のワンマン運転支援システムの導入が進んでいる。

一方，ワンマン運転支援システムの導入により，運転業務を省力化しつつ旅客の安全を確保するために，ホーム監視システムやホームゲートシステムの導入が活発となっている。

日立製作所は，これらの車上のATC，ATO，ATIと地上のホーム監視システム，ホームゲートシステムなどを融合し，トータルソリューションとして，経営の効率化，旅客の安全確保を実現するワンマン運転支援システムの構築を推進している。

1　はじめに

最近の都市交通を取り巻く環境は，少子高齢化の時代となり，利用顧客の減少，高齢者の利用比率増加が進んでいる。また，鉄道事業者としても熟練社員の減少という課題もあり，システム化による高効率経営への期待が大きくなってきている。

その効率化の一つとして有力なのが「ワンマン運転支援システム」であり，経営の効率化を図ると同時に，高い安全性と高密度運行を実現するシステムとして注目されている。

ここでは，経営の効率化と旅客の安全確保を実現する「ワンマン運転支援システム」について述べる。

2 都市交通の現状と将来

2.1 ワンマン運転支援システム

最近の都市交通では，経営の効率化を追求し，都市型の「ワンマン運転」の実施を導入するケースが増えてきている。ここで言う都市型とは輸送量毎時1万人以上の路線であり，新交通とは分けて考える。都市交通の新線建設では当初からワンマン運転化を視野に入れて設計を行い，安全性，安定運営を考慮している。ワンマン運転化に当たり，乗務員(運転士，車掌)の業務を分析し，従来行っている業務を，どのように再分担するかが課題となる。ワンマン運転化の機能を乗務員の業務分析を踏まえて整理したものを**表1**に示す。

ワンマン運転支援システムには下記のものがある。

(1) 車上ATC(自動列車制御装置)，ATO(自動列車運転装置)，ATI(車両情報制御装置)などの乗務員支援システム

(2) 乗降客の安全をITVで監視するホーム監視システム

(3) ホームでの乗降客の転落を防止するホームドアシステムなど

ワンマン運転支援システム実現のためには各サブシステムを融合し，トータルソリューションとして構築することが重要である。

今後の動向としては，運転士の主たる業務である列車の運転業務自体をシステム化し，車掌だけが乗車するワンコンダクタ方式，さらに，乗務員を不要とする方式への移行が期待されている。

一方，すでに運転士と車掌が乗車している既設営業線では，当初からシステム化が準備されていないので，その導入には幾つもの課題がある。設備としては，既設線であることから，営業運転に影響を与えないように設備を構築し，ワンマン運転に移行していく手法が重要となる。

表1 ワンマン運転の業務と支援システムの機能

ワンマン運転を行うにあたっての乗務員の業務を支援システムに置き換え，その機能を示す。

業務		システム	機能
始業確認		ATI	故障検知ほか
運転操作		ATO，TASC	自動運転，定点停止
安全監視	ホーム進入	ITV→ホームドア	乗客の安全確認→確保
	乗降状況	ITV	乗客の安全確認
	閉扉(ひ)確認	ITV	乗客の安全確認
	ホーム進出	ITV→ホームドア	乗客の安全確認→確保
案内放送		自動放送	案内

2.2 車上装置によるシステム化

現状の車上装置によるシステム化としては，運転士の業務効率向上のためにATC，ATOなどの設備がある。その特徴は次のとおりである。

(1) ATCにより，先行列車との追突を防止する。

(2) ATOにより，運転操作を効率化する。これには消費電力量制御など省エネルギーも考慮する。

(3) ATO運転により，線路のこう配，カーブなども考慮した乗り心地のよい運転を実現する。

(4) ATO，またはその一部の機能として実現も可能なTASCにより，過走防護，停止精度の向上を図る。これは後述するホームドアとの関係でも重要になる。

2.3 駅設備によるシステム化

駅には運転台，駅務室，指令室との連携を図る次の設備がある。

(1) ホームの映像を監視するITV

(2) ホームの映像を運転台に表示する対列車画像伝送

(3) ホームでの安全を確保するホームドア

2.4 車上ー地上の統合システム化

車上側の業務を軽減してワンコンダクタ方式や乗務員を不要とする運転方式に移行していくためには，車上の情報を地上のシステム側に伝送するネットワークの整備が必須である。日立製作所は，鉄道総合システムインテグレータとしてトータルソリューションを提案している。

3 効率的なワンマン運転支援システム

3.1 ATC

ATCは，先行列車や前方進路条件などに応じて列車の速度を連続的に制限し，安全を確保するシステムである。最近では，一段ブレーキパターン制御による運転時隔の短縮や緩和ブレーキの採用による乗り心地の向上など，安全を確保しながら運転効率の向上と乗務員負担の軽減を両立するシステムが採用されている。

3.2 ATO

ATOは，駅出発から次駅定位置への停止までの一連の運転操作を自動化するシステムである。ホームドアとの関係では，重要な定位置停止機能を含めた運転操作の自動化に加え，列車番号管理や自動放送，対地上データ伝送，ホームドア連動制御など，車上のワンマン運転支援設備の中枢として，各種の関連設備と連携をとった制御を行っている。

3.3 ATI

ATIは，車内ネットワークを用いて機器の制御・監視

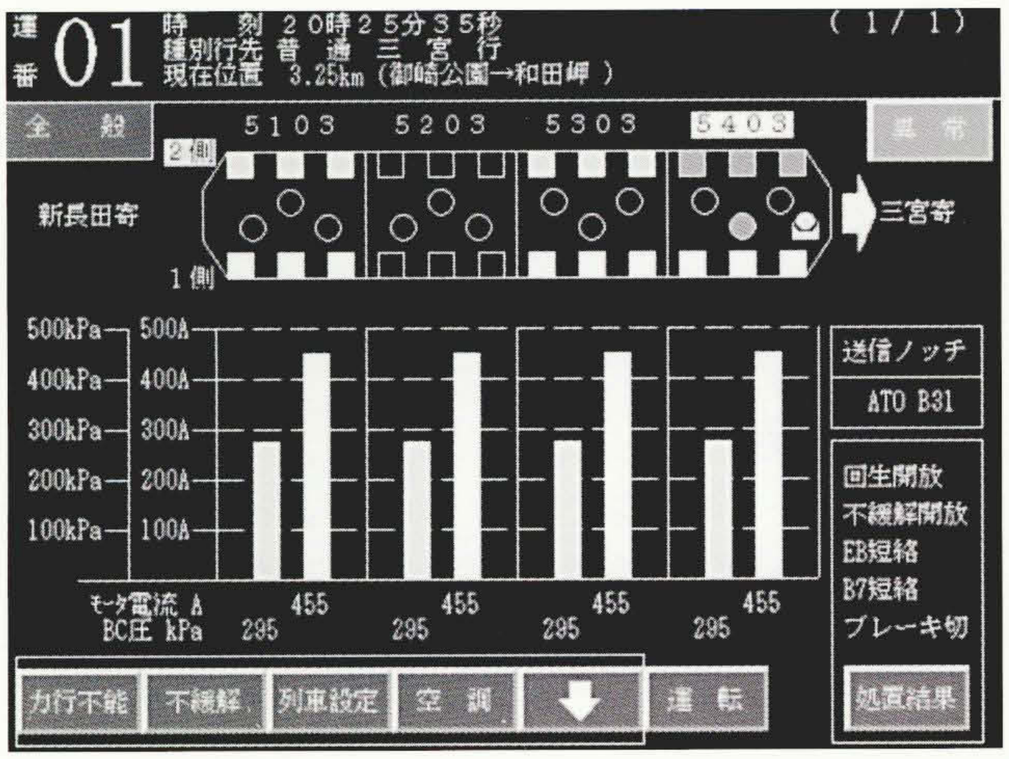


図1　神戸市交通局海岸線の運転台画面例

運転士の利便性を考慮した，車両内の状態をモニタする運転台画面を示す。

と情報管理を行うシステムである。ワンマン運転では，サービス機器の設定，運行情報や異常発生時のガイダンスなど乗務員への情報支援を行うほか，最近では指令・保守部門へのデータ送信など伝達業務の支援も行っている。

3.4　導入事例(神戸市交通局海岸線)

2001年7月に開業の神戸市交通局海岸線の5000形リニア地下鉄車両は，最新のワンマン運転車両としてATC，ATO，ATIを搭載している。

ATCは，パターン制御・緩和ブレーキ制御付き二重系構成である。

ATOは待機予備二重系構成で，路線データによってこう配や曲線に応じて乗り心地と省エネルギーを考慮した自動運転を行う。

ATIは，制御信号・モニタ情報をメタル二重ループネットワークで統合し，運転台画面で運行情報，モニタ情報の表示を行うほか，放送・表示機器の制御や保守情報の記録，編成自動試験，保守データのPHS(Personal Handy-phone System)伝送など多彩な機能を持つ。

運転台の画面例を**図1**に示す。

4　ワンマン運転時のホームでの安全確保

4.1　ホーム映像監視システム

(1) ホーム映像監視(ITV)

ワンマン運転でなくとも，混雑する駅での乗降客の安全を確保するためにホーム映像監視システム(ITV)を設備している事例が多くある。この場合，駅務員または車掌が利用することを前提とし，ホームに停車中の車両の車側を撮影し，閉扉時に乗客を挟まないように確認する。

一方，ワンマン運転におけるホーム映像監視では，閉扉時の確認だけでなく，列車のホーム進入・進出時の触車も監視する必要がある。ワンマン運転の事例を次にあげる。

1982年に開業した福岡市交通局の空港―箱崎線では，指令所に各駅のホーム監視映像を列車の駅進入から進出まで表示する方式を導入した。

帝都高速度交通営団の南北線では，1991年の開業当時，ホームの運転台わきにITVモニタを設置して運転士が乗降客の状況，扉開閉時の監視を行う方式を採用した。南北線では，天井まで壁になっているフルスクリーンのホームドアを導入しているため，停車中の開閉扉時を主体的にITVで監視している。現在はミリ波による対列車画像伝送を行っている。

なお，これらはそれぞれ，ITVカメラからモニタまで有線で構築されている。

(2) 対列車画像伝送

地上側の駅ホームで撮影した映像を列車の運転台で運転士が確認するには，車両の運転台にITVモニタを設備することはもとより，地上の映像を列車側に伝送する必要がある。

1987年に開業した仙台市交通局の南北線で初めて採用された光画像伝送は白黒の映像であったが，ワンマン運転実施に当たって大きな役割を担った。

その後，1991年東京都交通局の大江戸線，1996年大阪市交通局の長堀鶴見緑地線ほかへの導入が進み，映像のカラー化など技術の進展があった。長堀鶴見緑地線ではシステムをあとから導入し，ワンマン運転に変更した。

対列車画像伝送技術としては光空間伝送が主力であり，ワンマン運転を実施している11路線のうち7路線で導入されている。最近はミリ波やSS(Spread Spectrum)通信の方式も出てきている。

(3) バックアップ監視

都市型のワンマン運転では，ホーム映像監視システムを構成する機器の増加により，それぞれの構成機器が故障すると運転台でのモニタができなくなってしまうということもある。したがって，機器が故障した場合には，駅または指令所でバックアップ監視ができるような構成をとる必要がある。

このとき，地上の設備が故障した場合と車両側の機器が故障した場合とではその対応法方が異なる。地上側の設備が故障した場合は，該当駅の該当ホームの映像を駅

務室，または指令所に表示させることで対応する。一方，車両側の機器が故障した場合は，該当列車を追跡しながら，行く先々のホーム映像を監視する必要があるため，運行管理システムと連携をとり，バックアップ監視を行う必要がある。

この機能は，大阪市交通局の長堀鶴見緑地線がワンマン運転化を実施するときに初めて採用した。

4.2 ホームゲート

ホームでの転落事故を防止し，安全を確保する手段としてホーム ドア システムがある。このホーム ドア システムには前述したフル スクリーン ドアと，腰高のホーム ゲート システムがある。東京都交通局三田線のホームゲートを**図2**に示す。

シンガポールなどでの海外のフルスクリーンの導入事例では，空調効率の向上を導入目的の一つにあげている。わが国では，消防法との関係で軌道側との開口部を設けている。

フルスクリーンドアは工事が大がかりになることから，既設営業線への採用は困難と考えられている。今後は既設線への導入も可能なホーム ゲート システムの普及が主流となると考える。

4.2.1 ハードウェア

(1) 寸法，強度，駆動方式

ホームゲートの寸法は車両側の仕様と密接に関係する。ホームゲートの開口部の寸法は，車両扉の寸法と車両の停止精度によって決められる。一方，ホームゲート戸袋部の寸法は，車両の扉間距離とホームゲート開口部の寸法によって決められる。

さらに，ホームゲートの厚さは，それぞれがその限界を侵してはならない車両限界，建築限界との関係，ホームの幅員を確保しなければならない条件などによって決められる。しかし，安全性を確保する強度を持たせたうえで，できるかぎり薄くしている。

ホームゲートの駆動方式では，エレベーターなどで実績があり，静粛性に優れるタイミング ベルト ドライブ方式を採用している。

(2) センサ検知

ホームゲートの設備に伴い，乗客の安全を確保するためにセンサを設け，その状態によって運用を定める。その事例について以下に述べる。

(a) 戸先センサ

戸先に感圧センサを取り付け，接触を検知することで開動作を行う。かばんのひも，つえ，傘などを挟んだような場合も検知できる。

(b) 支障物センサ

エレベーターなどで実績のある透過式光電センサを用いて，開口部での支障物の有無を判定し，検知時には開動作を行う。

(c) トルク異常検知

戸袋に引き込まれた場合など，トルク異常を検知する。トルク異常検知時は警報を発報し，動作を停止する。

(3) 乗務員出入口

ホームでは，乗務員の乗降を考慮すると，車両側の乗務員乗降口と隣接する乗客乗降口との間隔が狭く，通常のホームゲートをそのまま適用することはできない。したがって，ホームゲート設置に当たり，ホームのスペースに制限がある場合はホームゲートを斜めに設置し，ホーム縁端に乗務員が降りられるスペースを確保する必要がある。日立製作所は，乗客用と乗務員用を共用とした2 m扉の実績を持つ。また，2枚扉式ホームゲートの採用も考えられる。

(4) 非常脱出口

緊急時には，列車がどのように停止した状態でも，乗客が安全に脱出できる避難路を設ける必要がある。車両側の扉がホームゲートの戸袋部に重なり，避難できないときの対応として回転機構付きホームゲートがあり，これについてもすでに実績を持つ。

(5) ギャップフィラー

ホームの曲線部には建築・車両限界の制限があることから，すきまが生じる。広い場合には200 mmを超える場合もあり，子どもはもとより，大人でさえも転落してしまう危険性がある。さらに，ホームゲートの導入によ

図2 東京都交通局三田線の標準ホームゲート
ホーム環境に配慮したホームゲートとしている。

り，ホームで待っている乗客からはそのすきまの大きさを予見することは難しく，ますます危険度が増している。このすきまをふさぎ，転落を防止する装置としてリンク式のギャップフィラーを試作開発した。

4.2.2 システム

(1) システム構成

ホームゲートは，駅に列車が停止して乗務員が運転台の扉開ボタンを押すところから動作が始まる。その情報が地上側に伝送され，ホームゲートも車両の扉に連動して開く。閉扉時も同様に，乗務員の閉扉ボタン操作によって動作する。

最近の高密度運転という状況下では，駅の停止時間を短くするため，ホームゲートの動作をできるだけ早く始めなければならないことから，ホーム ゲート システムとして，車両側との連携はいっそう必須である。

この点を考慮したシステム構成を**図3**に示す。

(2) 動作フロー

車両の扉，ホームゲートの扉，ギャップフィラーといった装置が連携をとりながら動作する。(a) 開扉時はギャップフィラーが張り出し，ホームゲートが開き，車両扉が開く。逆に，(b) 閉扉時は車両の扉とホームゲートが閉じ，ギャップフィラーが格納されるという順序で動作する。

4.2.3 工　　事

(1) 基礎工事

ホームにゲート用のベースを埋め込む基礎工事は，新線であればあらかじめ計画しておけばよい。しかし，既設営業線では数多くの課題がある。

営業運転に支障を与えず，夜間の終電後から始発までの限られた時間内に工事を行うことが既設営業線でのいちばんの難題である。また，軌道内に立ち入らなければならないことから，試運転を行う場合など，作業調整を行う必要がある。

(2) 搬　　入

機器の搬入でも，既設営業線では駅に機器を保管する場所がないことから，据付けのタイミングに合わせて1ホーム分の機器を搬入する。

(3) 据 付 け

ホームゲートの据付けでも，既設営業線への導入の場合は，一つのホームにホームゲートが途中まで付いているという状況が望ましくないため，一晩で機器の搬入から据付けまでを終了する。

4.3 ホームゲートの導入事例(東京都交通局三田線)

日立製作所が，東京都交通局の三田線に納入した標準ホームゲートの仕様を**表2**に示す。

三田線にホームゲートを導入するにあたっては，すで

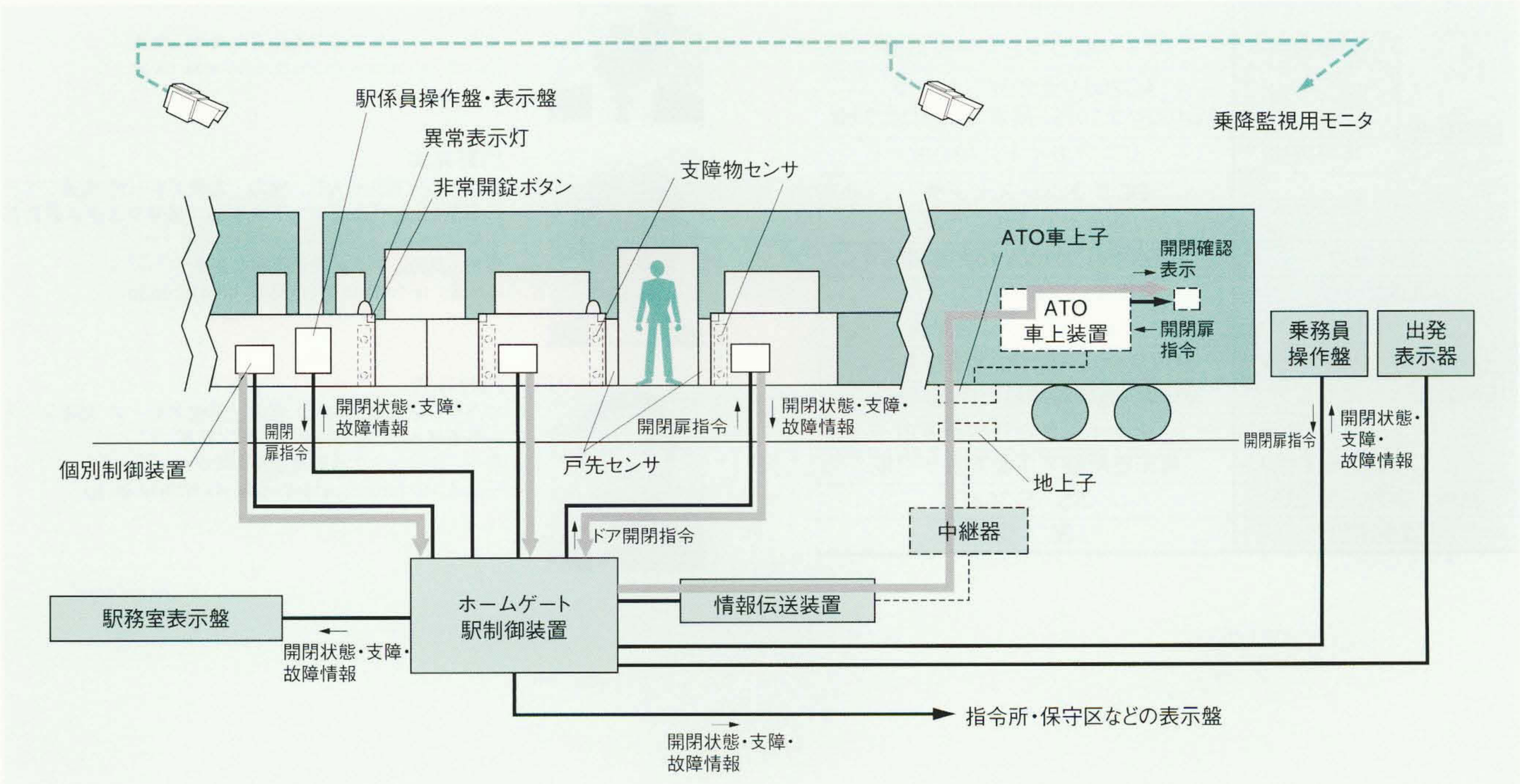


図3　ホーム ゲート システムの構成

ホーム ゲート システムは地上側と車上側との密接な連携によって動作する。

に営業が開始されていたため，多くの課題があった。

三田線のホームを設計した当時には，ホームゲートを設置することが考慮されておらず，特に，ホームの構造が同一ホームでも場所によって異なることが，工事を行うにあたって重要な問題であった。このため，実地確認のための設置を行うなど事前検討を行い，試行錯誤を繰り返しながら全24駅1,200開口のホームゲートを設置した。

5 おわりに

ここでは，「ワンマン運転支援システム」について述べた。

表2 東京都交通局三田線の標準ホームゲート仕様
乗客の安全を配慮して設計している。

項目		適用
構造(主要寸法)	戸袋部	幅 1,400 mm 高さ 1,300 mm 厚さ 150 mm
	ドア部	幅 1,000 mm(ストローク) 高さ 1,200 mm 厚さ 30 mm
構造(材質)	戸袋部(外板)	ステンレス
	ドア部(外板)	ステンレス
質量		1開口当たり480 kg以下 (取付けベースを含む。)
強度		(1) 頂部に約2,450 Jの水平力 (2) 瞬間風速50 m/sに耐え，風速25 m/sで開閉可能 (3) 地震時，水平，垂直ともに1 Gで倒壊しない。
駆動装置	制御方式	マイクロコンピュータ制御
	電源	AC200 V±10%，および AC100 V±10%，周波数50 Hz±3 Hz
	支持方式	リニアガイド片持ち式
	駆動方式	DCブラシレスモータ・ ベルトドライブ方式
消費電力		1駅当たり30 kVA未満(64開口)
開閉動作時間		標準3 s(プログラマブル)
安全装置	支障物センサ	閉扉時検知中に開動作
	戸先センサ	検知後扉開閉動作，4回リトライ
	戸閉施錠方式	電磁錠(通電時施錠，停電時解錠)
	開閉予告音	チャイムまたは音声案内
	非常解錠ボタン	電磁錠解錠で手動開扉が可能
絶縁，振動，耐電圧		JIS E 3021
設置環境		屋外

都市交通のワンマン運転を実現するためには，従来のATC，ATO，ATIといった技術やITVによるホーム映像監視，新たな装置であるホームゲートなど個々の技術をただ単純につなぎ合わせるだけでなく，車上—地上のそれぞれのシステム化を統合したソリューションを実現することが必要である。

こうしたニーズにこたえて，日立製作所は，車両からシステムまで幅広い提案を行ってきた鉄道総合システムインテグレータとしてのノウハウを生かし，「ワンマン運転支援システム」の構築を進めていく考えである。

参考文献

1) 交通エコロジー・モビリティ財団：「ホームドアシステムの研究開発」事業 研究報告書(1999.3)
2) 交通エコロジー・モビリティ財団：「ホームドアシステムの研究開発」事業 研究報告書(2000.3)

執筆者紹介

會田悟史
1985年日立製作所入社，電力・電機グループ 交通システム事業部 信号・変電システム部 所属
現在，公民鉄の鉄道システム関連業務に従事
E-mail：satoshi_aida @ pis. hitachi. co. jp

関野眞一
1981年日立製作所入社，電力・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，車上運転制御関連装置の設計に従事
E-mail：sn-sekino @ em.mito. hitachi. co. jp

門野尊倫
1973年日立製作所入社，電力・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，鉄道システム関連業務に従事
E-mail：tk-kadono @ em.mito. hitachi. co. jp

内村年秀
1978年日立製作所入社，電力・電機グループ 交通システム事業部 信号・変電システム部 所属
現在，鉄道システム関連業務に従事
E-mail：toshihide_uchimura @ pis. hitachi. co. jp