

ICVS「シティパル」における自動化技術

Intelligent System Technologies on the ICVS City Pal

武井 明彦*
Akihiko TAKEI
土佐 貢*
Mitsugu TOSA

荒 晴哉*
Haruya ARA
橋本 英樹*
Hideki HASHIMOTO

小林 幸男*
Sachio KOBAYASHI
森 直樹*
Naoki MORI

要 旨

近未来型地域交通システム(ICVS)の試験運用をツインリンクもてぎにおいて開始したが、このうち2人乗りEVであるシティパルに対して、効率的システム運用のために自動運行技術を適用した。

無線で指令を受け、データを記憶し、自分自身で電源をONし、自分で走り、曲がり、止まり、自分で電源をOFFする。車の形をしたロボット、と言っても良いこの自動化システムには、「乗用車がネットワークシステムの一部として動く」という新しい概念が導入された。

ABSTRACT

The City Pal, a 2-seater electric vehicle, has been integrated with the automation technologies for the improvement of system. In this automation system the vehicle is a part of the network system. The vehicle in this system receives commands from the central management unit through radio communication. Following the commands the car receives, it turns on/off the ignition, runs automatically, turns, and stops by itself. The vehicle, in a sense behaves like a kind of robot.

1. はじめに

過去20年間に共同利用システムは世界各地で提案され、試験運用がなされた事例も数多い。しかしながら、それらのほとんどすべてが成功を見ずに終わっている。

その理由としては、

- ・車の紛失(誰がどこに乗って行ったかわからない)
- ・駐車場の不正利用(共同利用以外の車が占領)
- ・前の利用者が燃料(または充電)を空の状態で返却
- ・車の偏り(いつ行っても借りられる車が無い。何分待たば使える車が来るのか分からない)

などが挙げられる。これらに共通して言えることは、使う人のモラルだけに頼ったシステムはうまく行かない、ということである。我々は新たに地域型共同利用を提案するに当たり、電子化・自動化技術によりこれらの問題点の解決を図った。

ツインリンクもてぎでの試験運用に組み込まれた自動化システムは

- (1)自動配車・リアルタイム運行管理システム
- (2)自動駐迎春システム
- (3)隊列回送(カルガモ走行)システム

であり、この導入により、手続き簡略化、待ち時間短縮、不正使用防止、省人化、車両の稼働率向上を狙っている。

*栃木研究所

この3種類の自動化システムを実現するために採用したセンシングシステム、アクチュエータ、通信システム、コントローラをFig.1に示す。

2. 自動配車・リアルタイム運行管理システム

Fig.2にツインリンクもてぎのネットワーク及びICVSシティパルに関連する装置の概要を示す。

ICVSシティパルはFig.3で示されるように、ファンファンラボポート、サウスゲートポートとホテルポートの3箇所のポートで運用されている。これらのポートではお客様にカードを発行する受付と、貸し出し返却を操作する端末が設置されており、機材は埋設された光ケーブルでネットワーク接続している。したがって、たとえばファンファンラボポートでカード発行を行い、貸し出しされたシティパルをサウスゲートポートで返却して、コレクションホールからラクーンに乗り換えファンファンラボで返却し清算するといったICVS一連の流れを体験することが可能になっている。

2. 1. ICVSネットワーク

通常のネットワークとの大きな違いは、無線LANの技術を用いて車両もネットワークの一部としていることにある。

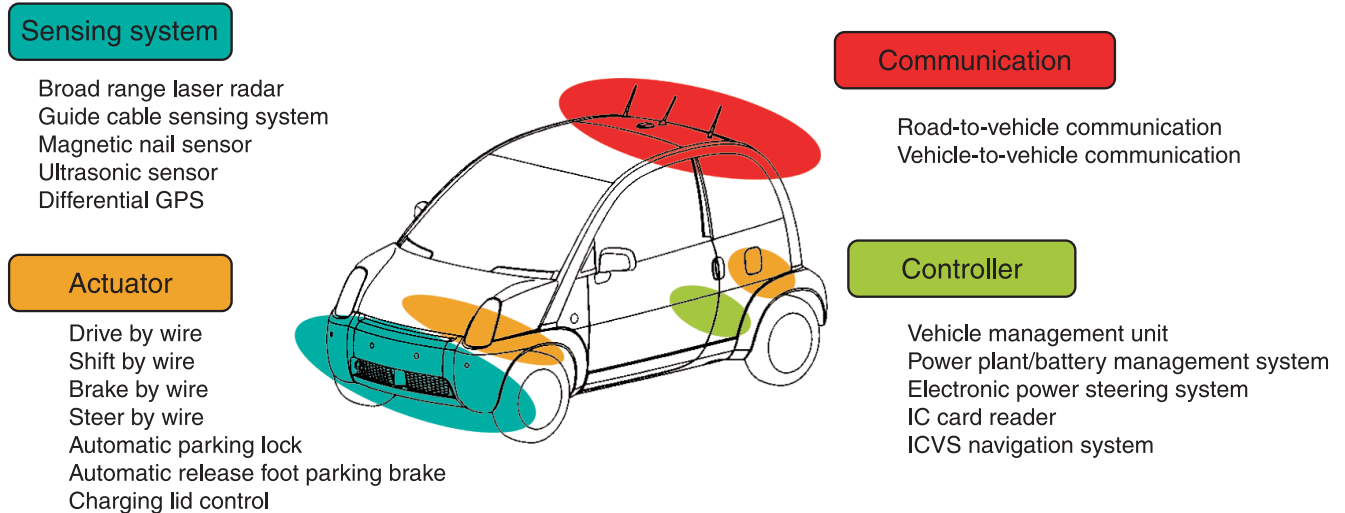


Fig.1 Intelligent systems on the ICVS City Pal

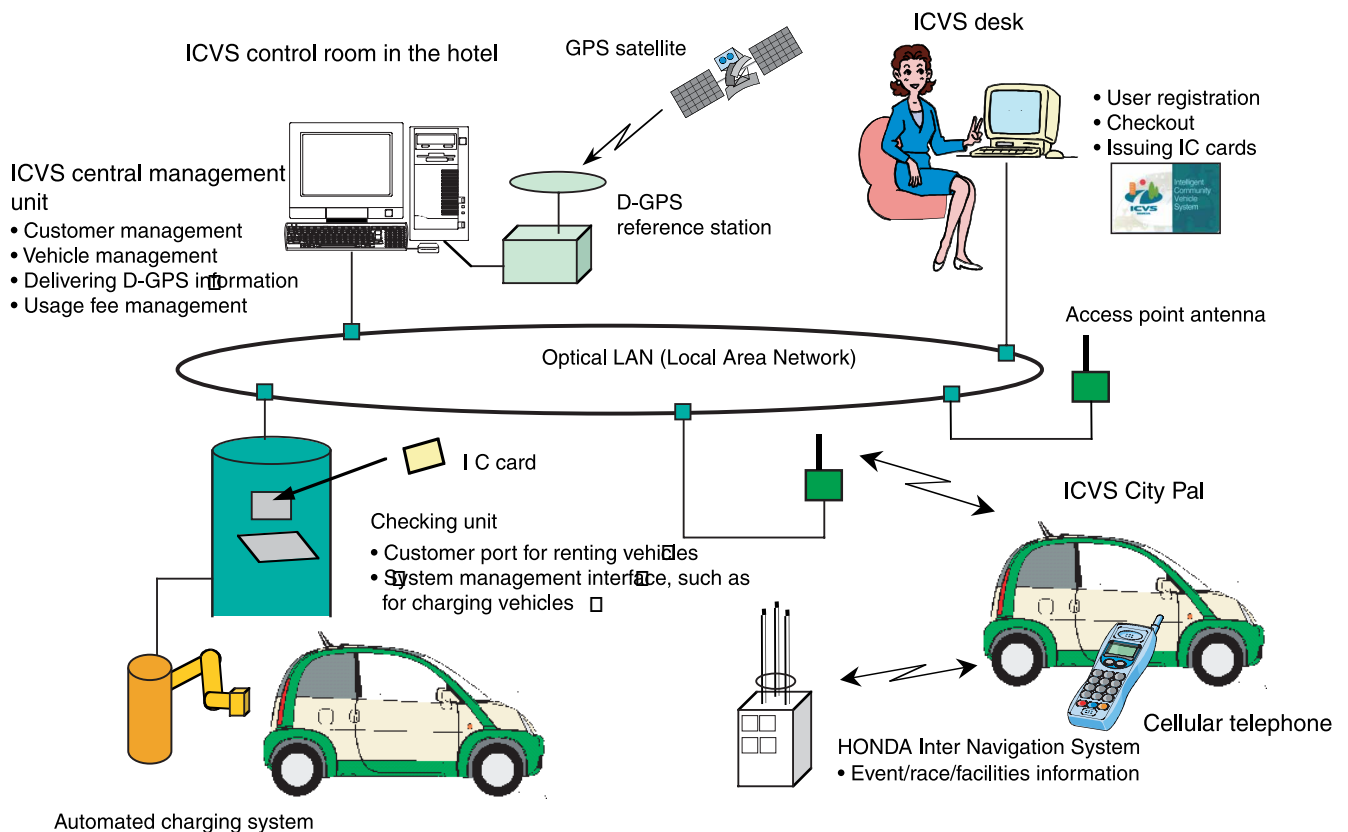


Fig.2 ICVS local area network in TWIN RING MOTEGI

る。このためにシティパルの走行道路をほぼカバーするように、道路周辺およびポート周辺に路車間通信用アクセスポイントを設置した。Fig.3にアクセスポイント設置位置とカバーする通信エリアを示す。

また、無線LANを構築する路車間通信機の概要をTable 1に示す。

車両がネットワークの一部となることにより、

- 車両の位置や貸し出し状態をリアルタイムで監視し、紛失や規定運行エリアからの逸脱をチェックする。

- 車両のキー情報を集中管理することにより、利便性の良い共同利用を可能にする。
 - 駐車位置への自動走行による自動駐車、貸し出し時の自動迎車を実現し、無人ポートを可能とする。
 - 電気自動車を共同利用する場合の懸案である充電作業を、残容量のモニタを含め自動化する。
 - ポート毎の車両在庫状況をリアルタイムで監視し、車両の偏りを再配車により修正できるようにする。
- を実現している。

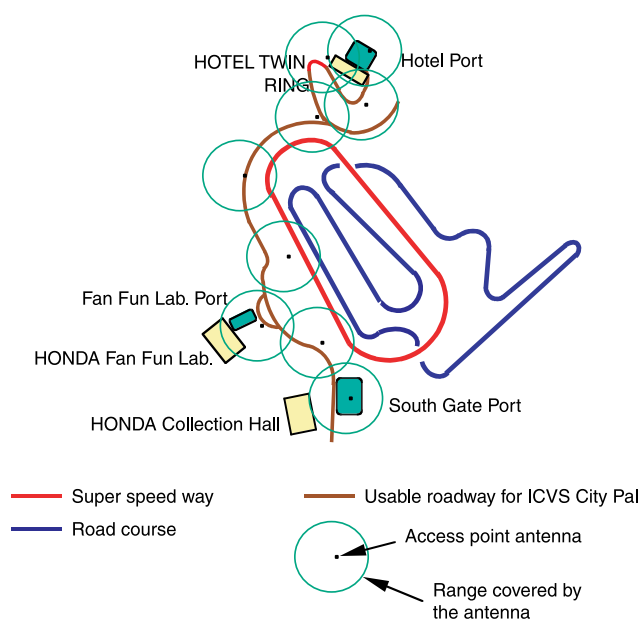


Fig.3 Port location and radio communication range

Table 1 Specification of road-to-vehicle communication

Frequency band	2.48 GHz
Modulation	Direct sequence spread spectrum
Data rates	2 Mbps
Output power	100 mW
Cover range	Up to 200 m
LAN Interface	IEEE 802.3 10Base2/5/T
Roaming	Seamless roaming

2. 2. 車両運行モニタ

道路走行中のシティパルはディファレンシャルGPS(以下D-GPS)と慣性航法により自車位置を常に数mの精度で計算し、この自車位置情報と車両状態を5秒ごとに路車間通信で管制システムに連絡している。自車位置の計算精度を確保するため、D-GPSの基準局をホテルツインリンク内に設置し、GPS補正情報を路車間通信を用いて各車両に配信することとした。

管制装置は各車両から送られてくる情報をもとに、運用中の全車両の現在位置と利用状態をリアルタイムに管理している。ホテル内に設置したICVS管制室の係員は、大型スクリーン上に表示された地図と車の位置から、規定運行エリアから逸脱したかどうかをチェックできる。

2. 3. ポートにおける車両管制

サウスゲートポートはICVSシティパルの将来のポートをイメージして、お客様の待ち合い室を中心に乗車場、降車場、駐車エリアを周りに配置した形になっており、各種自動化技術の公開実験が行われている。

ここではお客様が狭い駐車スペースで右往左往したり、面倒な充電操作を行う必要はない。知能化したICVSシティパルと管制装置が路車間通信で情報をやりとりしながら連携することにより、下記の各種機能を実現している。

- ・ポート接近判断：シティパルで入り口に接近するとナビゲーション装置から「サウスゲートポートに到着しました…」という音声案内が行われ、入り口ゲートのチェーンが降下する。シティパル以外の車両が接近してもチェーンは降下しない。
- ・駐車エリアの選択指示：車両の在庫状況を調べ、空いている場所を捜す。
- ・自動走行経路の選択指示：駐迎車位置までの走行すべき経路を選択する。
- ・車両電源ON/OFF：自動運転する間だけメインスイッチをONする。
- ・シーケンス制御：駐車ブレーキの解除、自動走行の開始、停止、パーキングロックの自動投入を行う。
- ・充電管理：バッテリー残容量をモニタし、不足の場合には自動充電エリアへ移動する。
- ・自動充電制御：車両充電リッドの開閉と自動充電器のシーケンスを制御する。
- ・緊急停止：緊急事態発生時には管制指示により自動運転を緊急停止する。

ポートにおいてはこれらの機能を組み合わせることにより貸し出し、返却、自動充電等の自動運転が行われている。

2. 4. 貸し出し手順

シティパルと管制装置の連携の一例として、サウスゲートポートにおける自動迎車による貸し出しをFig.4で説明する。

ICVSはICカードによるキーシステムを採用している。

このICカードをポート端末にかざすことから貸し出し手続きは始まる。簡単な貸し出し操作が終了すると、管制装置はポート内のシティパルのうち充電量が十分である車両を選択し、乗車場まで自動走行で移動させる。自動走行終了後、利用者カードのID、行き先情報、音声案内の日本語英語切り替え情報などが車両に送信される。この情報からシティパルはカードリーダーにID登録を行い、同時にナビゲーション装置の経路誘導と音声案内をセットする。

以上の処理が終了した時点より、利用者は指定された車両の使用が可能となる。利用者はクォータガラスに取り付けられたICカードアンテナにカードをかざしドアロックを解除し乗車、ハンドル右にあるICカードリーダーにカードを挿入して、スタートスイッチをONにして発進する。

返却時はスタートスイッチOFFした後、カードを排出させ、カードでドアロックし、ポート端末で返却操作する。返却手続き終了後、車両のICカードリーダーに登録されて

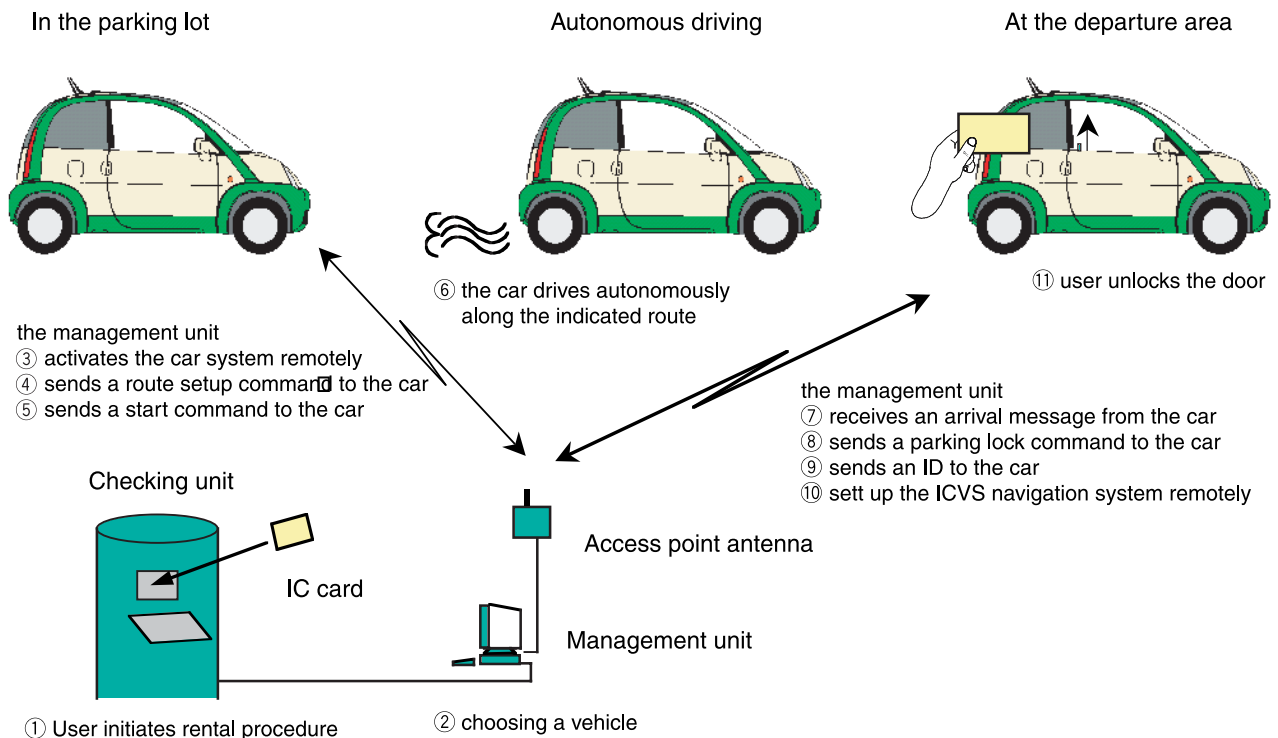


Fig.4 Event sequences to rent an ICVS vehicles

いたIDは消去されるため、カードによるドアロック解除は行えなくなる。この時点から車両は管制装置管理下に置かれ、指定駐車エリアまでの自動走行が開始される。

3. 自動駐迎春システム

車両の貸し出し／返却を自動運転により行うことの狙いは下記の通りである。

- ・手続きの自動化によりスタッフの削減をはかる。
- ・高精度、高密度駐車を実現する。
- ・乗車降車エリアへ自動配車することにより利用者の利便性を向上させる。

3.1. 自動走行原理

ポート内で自動走行する車両は、予め記録された走行経路地図と慣性航法により算出した走行軌跡を比較しながら走行する。しかしながら、この走行軌跡は車速検出センサ、ヨーレートセンサ等の誤差や車両個体差、路面状況等の変化によりかならずしも正確ではない。そこでこの走行軌跡ずれを補正する手段として、走行経路上に設置されたガイドラインのセンシングが必要になる。高精度の車両誘導を達成するために、誘導ケーブルと磁気ネイルの2つのガイドラインを適用した。

車両の制御ユニット内部に記憶された地図には、経路を形成するリンク座標の集合と、指定走行速度、磁気ネイルの位置情報が含まれる。ICVSシティパルは誘導ケーブル検

知センサを使用して走行経路に対しての横方向偏差を検出し、磁気ネイル検知センサを使用して走行経路に対しての縦方向偏差を検出するようにした。

3.2. 自動走行手順

Fig.5により自動走行の手順を示す。

自動走行を始める際、車両はまず自動運転に必要なセンサとアクチュエータのチェックを行ない、管制装置からの指示を待つ。

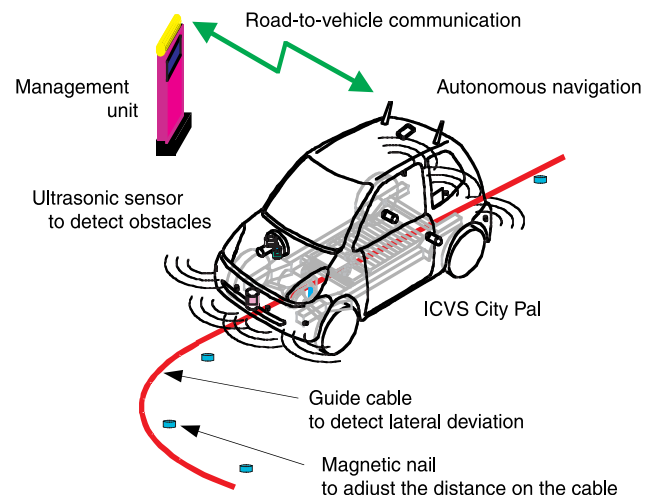


Fig.5 ICVS City Pal automatic parking system

管制装置は移動先の選択を行い、そこに至る経路を選択し、その経路上に敷設された誘導ケーブルのみ通電するよう発振器出力を切り替え、路車間通信で車両に経路を指示する。

管制装置の指示を受けると、車両は指定された経路の地図を選択し発進する。走行中は超音波センサで障害物の有無を確認している。駐車エリアから乗車エリアまでの場合移動の所要時間は約30秒である。

3.3. 誘導ケーブル

Fig.6にサウスゲートポートの路面に埋設された誘導ケーブルと磁気ネイルの位置を示す。

誘導ケーブルは自動走行経路に沿って約60mmの深さに埋設されており、約5 KHzの交流電流によって連続的な交流磁場を発生させている。走行する経路のケーブルだけに信号が流れる様、管制装置が発振器出力の切り替えを行なっている。

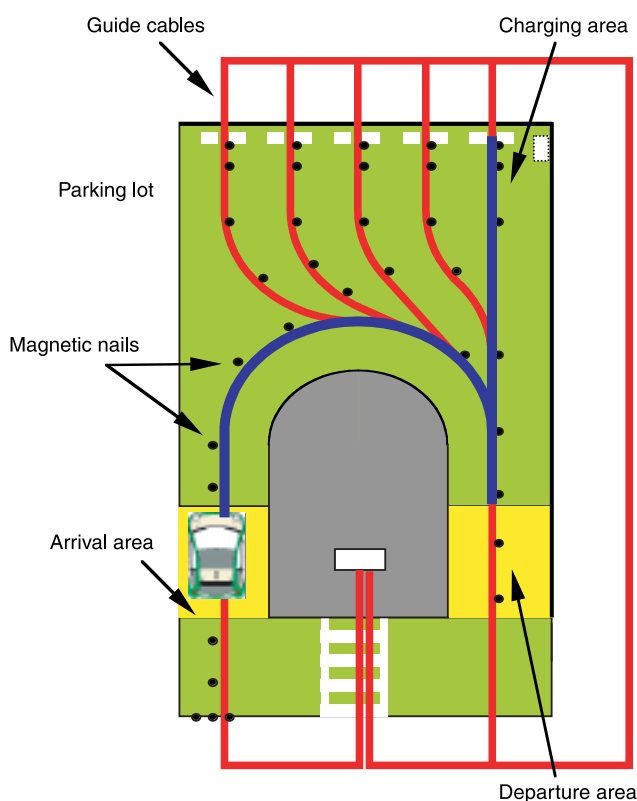


Fig.6 South Gate Port layout

誘導ケーブルセンサは車両後方に左右対称に取り付けられ、この左右2つのセンサ信号の差分を検出する事で、誘導ケーブル位置に対する車両横位置偏差を検出している。

Fig.7に誘導ケーブルセンサ特性表を示す。

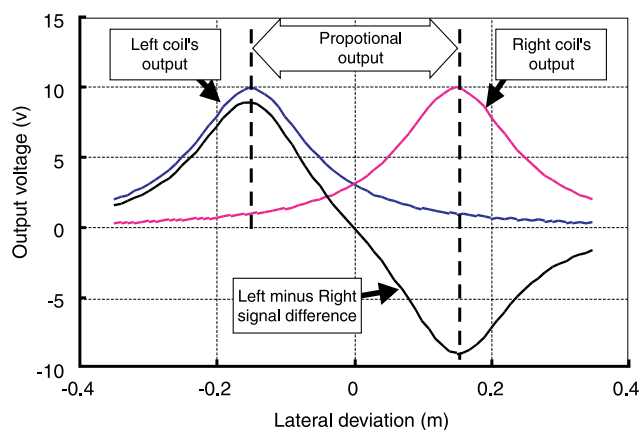


Fig.7 Guide cable sensor characteristics

3.4. 磁気ネイル

車両縦方向位置の検出用として磁気ネイルを埋設した。磁気ネイルの使い方としては、停止位置やポート入り口の判別、自動走行開始位置の決定がある。ポートの入り口のみ他のネイルとの区別を確実にを行うために、極性を反転し3個並列に埋設した。

磁気ネイルセンサも車両後方に取り付けてあり、磁気ネイル上を車両が通過した時の信号波形を地図上の磁気ネイル位置情報と照らし合わせる事で、縦位置を検出している。

3.5. 超音波自動停止

車両前後バンパー内に超音波センサを搭載し、自動走行中に障害物を検知した場合には、危険防止のため緊急自動停止する機能を採用した。

超音波センサは前方に4個と後方に3個搭載しており、短距離用と長距離用を組み合わせて、直進方向や旋回中の巻き込みによる衝突防止を行なっている。

Fig.8に超音波センサの検知エリアを示す。

緊急自動停止を行なうブレーキアクチュエータは油圧タイプを採用しており、直ちに最大減速度を得られる応答性能を有している。

Fig.9に緊急停止時のテストデータを示す。

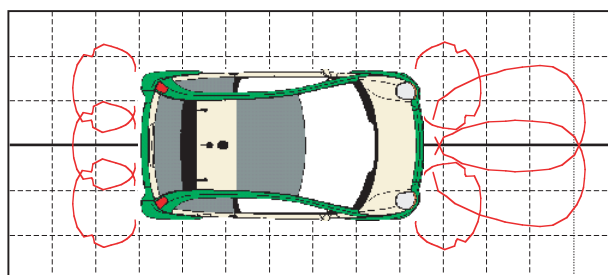


Fig.8 Detectable range of the ultrasonic sensors

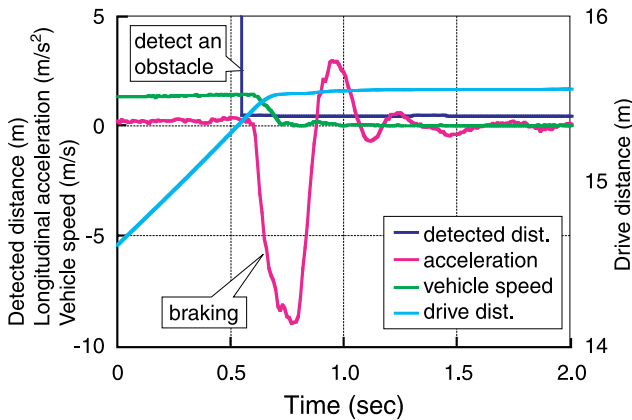


Fig.9 Emergency stop test results

3.6. ポートの安全装置

Fig.10にポート安全装置の配置図を示す。

ポート内へ人等が侵入した場合に備えて、光電型の検知センサを設置した。人等の侵入が検出されると、管制装置は路車間通信で車両に非常停止指示を出す。自動駐迎走行中の車両は非常停止指示を受けると、速やかに停止動作を実行する。

また、待合室と乗降車エリアの間は自動ドアで仕切られており、必要な時以外は開閉動作を禁止して、利用者が自動走行エリアに誤って侵入するのを防止している。

車両返却時には車両が降車エリアに入ったことを光電センサで検出して降車エリア側の自動ドア操作を許可、その後ポート端末で返却操作が行われた時点で開閉が禁止される。車両貸出し時も同様に利用者が乗車する時のみ自動ドア開閉を許可する。

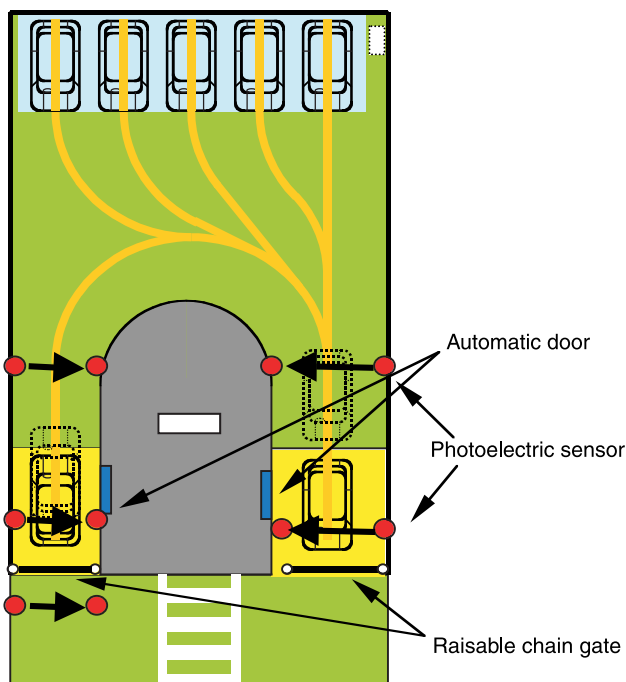


Fig.10 South Gate Port safety system

3.7. 車両運動制御と性能

ステアリング制御は地図と慣性航法軌跡をマップマッチングすることで得られた自車位置情報を基準に、地図より車両前方2点の曲率半径を入手して目標ステアリング角に換算し、フィードフォワード情報として用いている。また誘導ケーブルセンサから得られた車両の横方向変位量と角度誤差をフィードバック情報として用いている。

その結果、旋回半径5.25mという小旋回でもスムーズに走行することができた。車両前方2点の情報を使用する方式は、特にS字走行において効果をもたらした。

車両の縦方向である車速制御は、車速センサと加速センサ情報から車両運動の2次の積分予測制御を行い、スムーズな制御性能を実現した。また目標停止位置直近では、通常時の車速制御から極低速専用の走行距離制御に切り替え駐車位置精度を向上させることが出来た。

車速制御用アクチュエータには車両駆動用モータと、圧力制御弁を用いた負圧ブレーキを使用している。車両駆動用モータはガソリンエンジンに比べ出力トルクの応答性が早いいため、目標車速に対する偏差を抑えやすく、良い制御性を得ることができた。

Fig.11にテスト結果を、Table 2に達成した性能を示す。

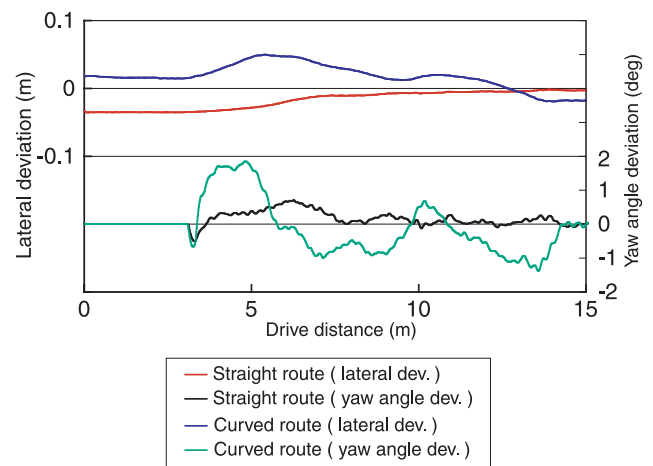


Fig.11 Automatic parking system test results

Table 2 Automatic parking system specifications

Lateral deviation	±20 mm
Angle deviation	±1.8 degree
Velocity	5 km/h (forward), 3 km/h (back)
Elapse time	30 sec

4. 隊列回送システム

いくつかのポートを使って車両を共同利用する場合、特定のポートに車両の在庫が偏ってしまうという問題が発生する。これを解決するためには再配車のための回送作業が必要となる。

このための要員数を削減し経済性を向上させることを目的として、複数の車両を1名の運転要員だけで移動させる、隊列回送システムを開発した。

4.1. システムの特徴

複数台の車両で形成される隊列は、先頭車両のみ有人で走行し、後続の無人車両は車間距離一定の自動運転で先頭車両の走行軌跡をトレースしながら追従する。先頭車を含め最大5台までの車両が走行できる。

Fig.12にこの隊列形式を示す。

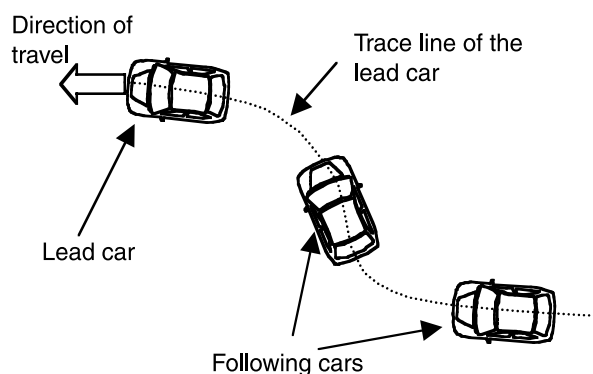


Fig.12 Line trace of platooning vehicles

4.2. システムの構成と原理

磁気ネイル等のインフラストラクチャを利用できない一般路での走行を可能にするために、従来の自動走行技術とは違った手法、すなわち慣性航法、車車間通信、レーダセンシングの協調を導入した。

先頭車、追従車ともに、慣性航法を用いて各々の車両位置と進行方向を計算している。先頭車の位置と進行方向は、車車間通信を通じて一定時間毎に追従車に伝送される。追従車は、受信した先頭車位置を記録し、先頭車走行軌跡を作成する。追従車はこの先頭車軌跡情報と自車の軌跡及び進行方向を比較し、先頭車に対する相対位置と進行方向の偏差を求め、フィードバック制御することによって先頭車軌跡をトレースして行く。

さらに車両位置を正確に認識するためには、車両毎に存在する慣性航法の座標系間の誤差を補正する必要がある。そこで座標系の相対誤差を検出するためにレーダシステムを用いた。

4.3. 慣性航法

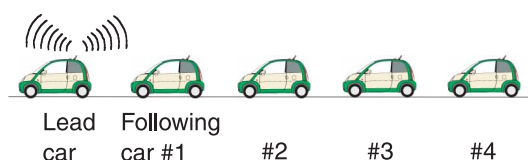
慣性航法軌跡は走行距離を進行方向に積分することで得られる。車両にはD-GPSも搭載しているが、精度が十分でないため、隊列回送システムでは使用していない。使用した距離センサは、車両駆動用モータ出力軸に取り付けられ、2 cm/pulseの精度を持つ。また、進行方向を求めるために使用するヨーレートセンサは、ドリフト率が1 deg/hourという高精度なものを採用した。

4.4. 車車間通信

車両の位置情報、座標系の補正情報、車両制御量や状態量などの情報を隊列内の車車間で伝送する手段として、車車間通信を使用した。通信方式、周波数帯は路車間通信と同一で、相互干渉を防ぐため拡散符号列を変えている。通信用アンテナはダイポール型でルーフ上に設置した。通信はブロードキャスト方式を採用したため、隊列内すべての車両が他車両の送信データを受信でき、情報共有される。先頭車両の通信周期は30msec間隔であり、その間に追従車両のうちの1台が順に答える形で送信するため、5台の隊列の場合は120msecで通信が一巡する。通信データ容量は、先頭車48バイト、追従車68バイトである。

Fig.13にこの車々間通信手順を示す。

The lead car constantly sends data to the following vehicles



Data sequence

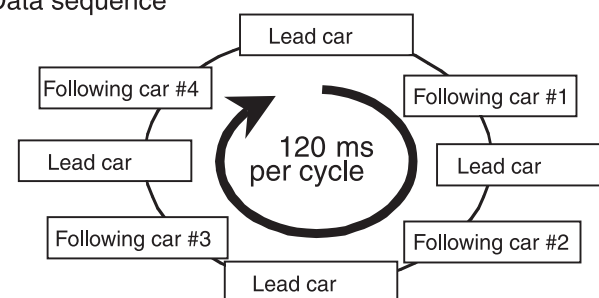


Fig.13 Vehicle-to-vehicle communication

4.5. レーダ

ICVSにおける隊列走行は一般路への適用を想定しているため、小半径の旋回が要求される。前走車が旋回した場合でもその位置を検出し続けられるように、200degの広域スキャン角度、2 degの検出分解能を有する近赤外レーザレーダを採用した。レーダの取り付け位置は車両前部バンパ中央部のため、実際の使用範囲は124degである。

検出の確実性を保つため、車両後部バンパ左右に横50mm
縦150mmの再帰性反射テープを1m間隔で取り付けた。
これらをFig.14で示す。

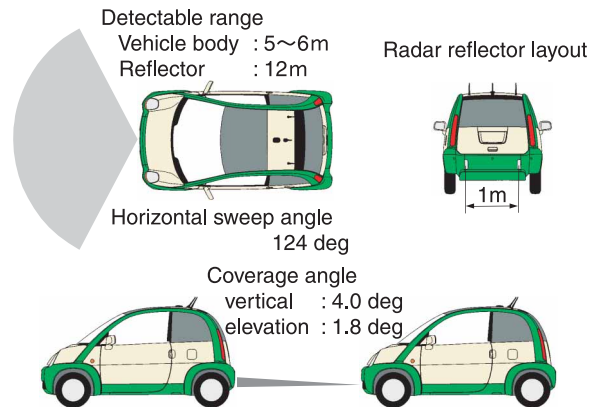


Fig.14 Detectable area and reflector layout

4. 6. 安全対応

隊列走行時、追従車はすべて無人で走行するため、システムのトラブル発生時には先頭車ドライバーへ警報を与えると同時に、走行を自動停止させる方針とした。具体的には、追従車の状態を先頭車のナビゲーション画面への表示、音声による警報、車車間通信失陥時の緊急停止、先頭車軌跡からの逸脱時の緊急停止などの機能で構成される。

4. 7. 達成性能

先頭車を含め5台の隊列で、安定した走行を達成した。また、小半径の旋回、交差点を模したクランク走行やスラローム走行においても、追従できることを確認した。車間距離については4mならびに2mを達成している。追従性能をTable 3に示す。

Table 3 Platoon performance values

Deviation of the distance between vehicles	$\pm 0.3\text{m}$
Deviation of the vehicles' lateral positions	$\pm 0.13\text{m}$
Minimum turning radius	4.8m
Maximum speed of the following vehicles	100km/h

5. あとがき

98年10月よりICVSシティパルの共同利用試験運用を約半年にわたり行い、数多くのフィールドデータを得ることができた。

一つには自動化装置の限界性であり、もう一つはお客様の使い勝手やスタッフの運用手順という人的な課題が明ら

かになった事である。

また隊列回送については、実社会の混合交通における運用を考えた場合、まだ多くの課題を持っている。技術的には通信や制御の信頼性の追求や雨や雷といった耐環境性の向上であり、法的な責任所在や交通ルールとのマッチングといった社会的課題も多い。

共同利用という新しい形の交通システムをどのように発展させていくか、国や地方自治体、関連機関の皆様との協調関係を築き「共に創造」して行きたいと考える。

参考文献

- 1) 安達ほか：近未来型地域交通システム「ホンダICVS」の紹介, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.1, p.1-6 (1999)
- 2) 小椋ほか：2人乗り小型電気自動車ICVS「シティパル」の開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.2, p.23-28 (1999)
- 3) 田村ほか：ICVS「シティパル」に搭載した自動運転システム：隊列回送機能, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.2, p.107-112 (1999)

■ 著 者 ■



武井 明彦



荒 晴哉



小林 幸男



土佐 貢



橋本 英樹



森 直樹