

ホンダ AHS の概要

Development of HONDA AHS

古 川 修*	中 村 之 信**	武 井 明 彦*
Yoshimi FURUKAWA	Yukinobu NAKAMURA	Akihiko TAKEI
飯 星 明*	羽 野 剛*	永 井 孝 明*
Akira IIHOSHI	Tsuyoshi HANO	Takaaki NAGAI
間 下 博**		
Hiroshi MASHIMO		

要 旨

建設省の呼びかけにより AHS（自動運転道路システム）プロジェクトが発足し、本田は住友電気工業株式会社と共同でこのプロジェクトの実験車製作に参画した。この実験車は道路インフラストラクチャである磁気ネールの磁場を検出することで位置を標定し、LCX（漏洩同軸ケーブル）からの路車間通信によって走行速度の指令や路面の状況、前方の交通状況の情報を取得する方式をとっている。

建設省土木研究所のテストコースを用いた実走実験によって、高性能なラテラル制御と車間距離の変動の少ないプラトーン制御が可能であることが実証できた。

ABSTRACT

AHS (Automated Highway System) project is initiated on a proposition of Ministry of Construction, and Honda R&D has been participated in making experimental vehicle for the project in collaboration with Sumitomo Electric Industries. This experimental vehicle is operated based on a system to acquire information of traffic and road surface conditions ahead as well as driving speed commands through a vehicle to road communication using LCX (Leakage Coaxial Cable), and determine its position by detecting magnetic nails which built in as road infrastructure. Through the driving experiments, performed at the test course of Public Work Research Institute of Ministry of Construction, the experimental vehicle has proved the ability of high performance lateral control and stable platoon control with less fluctuation of vehicle to vehicle distances.

1. まえがき

近年、ITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）への取り組みが世界的に活発化している。日本においても1995年2月、政府は「高度情報通信社会推進に向けた基本方針」を発表し、その中の「道路・交通・車両の情報化」の項でITSの目的を「最先端の情報通信技術を用いて道路と車とを一体のシステムとして構築し、安全性の向上、輸送効率の向上、快適性の向上を達成し、環境保全に資する」と定め、国家プロジェクトとして推進していくことを宣言した。さらに8月、「道路・交通・車両分野における情報化実施指針」を発表し、ITSの九つの開発分野を示した。その中でも「安全運転の支援」の分野においては「各種センサにより道路・交

通の状況や周辺車両の状況を把握するとともに、道路等のインフラと車、車と車の間の情報通信などにより、周辺車両の状況、突発事象等をリアルタイムに把握し、ドライバに対する警告、運転制御による運転補助、さらには自動運転を可能とするシステムの構築により、交通事故の発生・拡大の防止などによる安全性の向上を図る」とし、自動運転をもターゲットとしたITSの目標が提示された。

このような状況において、建設省および建設省土木研究所の主導のもとで、AHS（Automated Highway Systems：自動運転道路システム）の基礎実験が1995年11月実施され、本田は住友電気工業株式会社殿と共同で自動運転の車両を製作しこの実験に参加した。

* 和光基礎技術研究センター
** 栃木研究所

ここではこのAHSにおけるホンダ実験車の概要とそのテスト結果について報告する。

2. 建設省 AHS プロジェクトの概要

2. 1. 背景

1989年より建設省および建設省土木研究所の主導のもとで、ARTS (Advanced Road Transportation Systems: 次世代道路交通システム) という官民共同研究プロジェクトが推進されてきた。その中の「車間側方コントロールシステムの開発に関する共同研究」において高速道路での自動運転を目標とした自動運転道路システムが検討されてきた。ここでは自動運転導入に向け次の三つのステップを想定している。

- ・STEP 1 危険警告
- ・STEP 2 運転補助
- ・STEP 3 自動運転

この共同研究では路車間の連続通信を行うため LCX (Leakage Coaxial Cable: 漏洩同軸ケーブル) を採用し、路側に LCX を設置して危険警告や車両制御のための情報を車両へ提供する構想である。

1995年3月、建設省からこの共同研究に参加している企業に対し、11月に予定されている第2回ITS世界会議横浜に合わせて実施する自動運転道路システムの基礎実験と公開デモンストレーションへの参加要請があり、自動運転基礎実験プロジェクトがスタートした。

2. 2. 実験内容

実験車は2～3台の車群で走行（プラトーン走行）する。路側の LCX から実験車に対して指示速度や道路形状などの情報が与えられる。路面に一定間隔で埋設され

た磁気ネイルを車両に搭載した磁気センサで検出し横方向の制御を行う。縦方向は LCX からの指示速度、車載された車間距離センサからの信号、磁気ネイルのカウント値、車速センサからの信号をもとに制御する。

2. 3. 実験コース

コースはつくば市の建設省土木研究所の試験走路に設定された。LCX は一周 6.2km の試験走路のうち一区間 500 m で計 6 区間 (= 3km) に敷設し、下位情報処理装置さらには上位情報処理装置と接続され、連続路車間通信システムを構成している。また磁気ネイルは 1 m 間隔で路面に埋設した。コース図を Fig. 1 に示す。

2. 4. 走行条件

コースでは各 LCX 区間ごとに指示速度が定められた。この指示速度を Table 1 に示す。最後の LCX 区間 6 においては停止位置も定められている。

また、LCX からの緊急停止信号によりコース上の全車両が停止することも求められた。

Table 1 Driving Instructions of Vehicle Speed at Each LCX Section

LCX Section	1	2	3	4	5	6
Vehicle Speed (km/h)	0→40	60	40	50	50	50→0

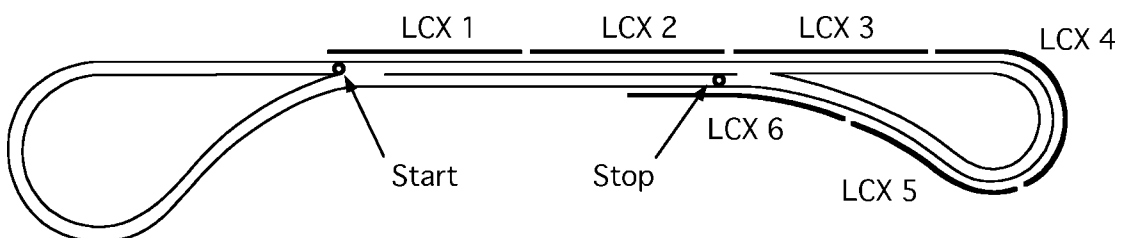


Fig. 1 AHS Test Course

3. 実験車のシステム構成

3. 1. システム構成の考え方

実験車のベース車両はアコード 4 ドアとした。実験車の外観を Fig. 2 に示す。

システムは上記デモ走行を安全確実にこなせるように、インフラからの情報と車載センサ情報を最大限活用し、ひとつの要素が故障しても危険状態には至らない冗長性の高い構成とした。Fig. 3 にシステム配置図を示す。

具体的には磁気ネイルが何らかの障害で検出不能となっても、光ファイバジャイロと車速センサによる慣性航法によって短時間バックアップを可能とした。

システム故障時はシステム自身が故障を検出、ドライバへ警報し、ドライバに操作を委ねるまでの短時間安全維持可能なバックアップモードに切り替えた後、手動モードに戻る。

ドライバみずから故障を認知した場合はドライバの操舵、ブレーキ操作、非常停止スイッチの操作をトリガとして手動モードに戻る。

3. 2. ハードウェア構成

システム構成を Fig. 4 に示す。システムは以下の四台のコンピュータで構成した。



Fig. 2 HONDA AHS

- (1) 通信制御ユニット
- (2) 制御計画ユニット
- (3) 操舵制御ユニット
- (4) 速度制御ユニット

通信制御ユニットは車々間通信、LCX 通信と慣性航法を制御する。

車々間通信はプラトーン走行中、前後の車両と位置、速度、加速度などの情報を全二重方式でやりとりし、高

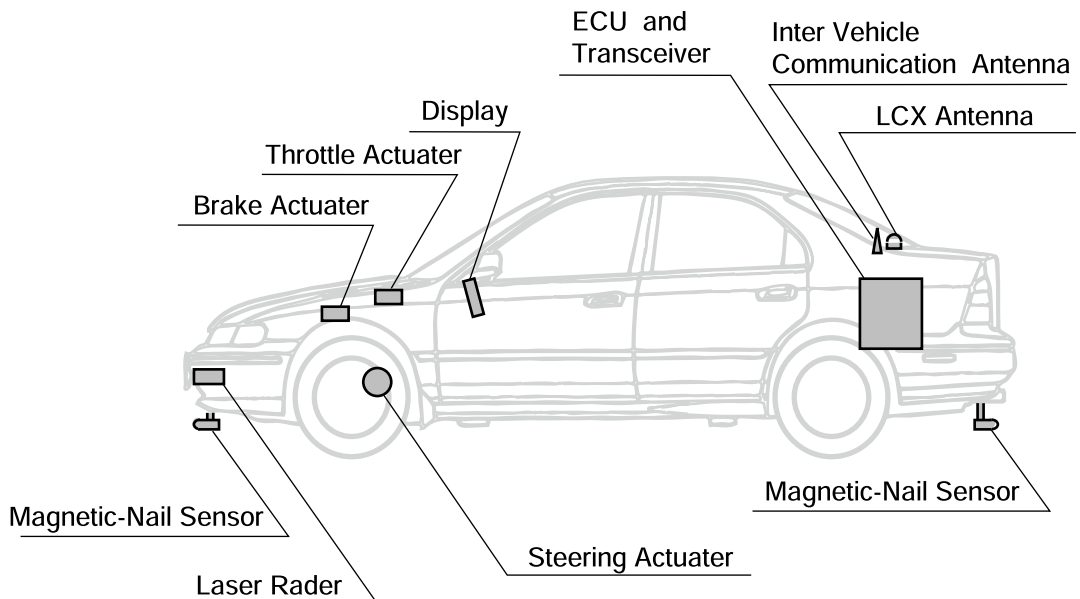


Fig. 3 System Configuration

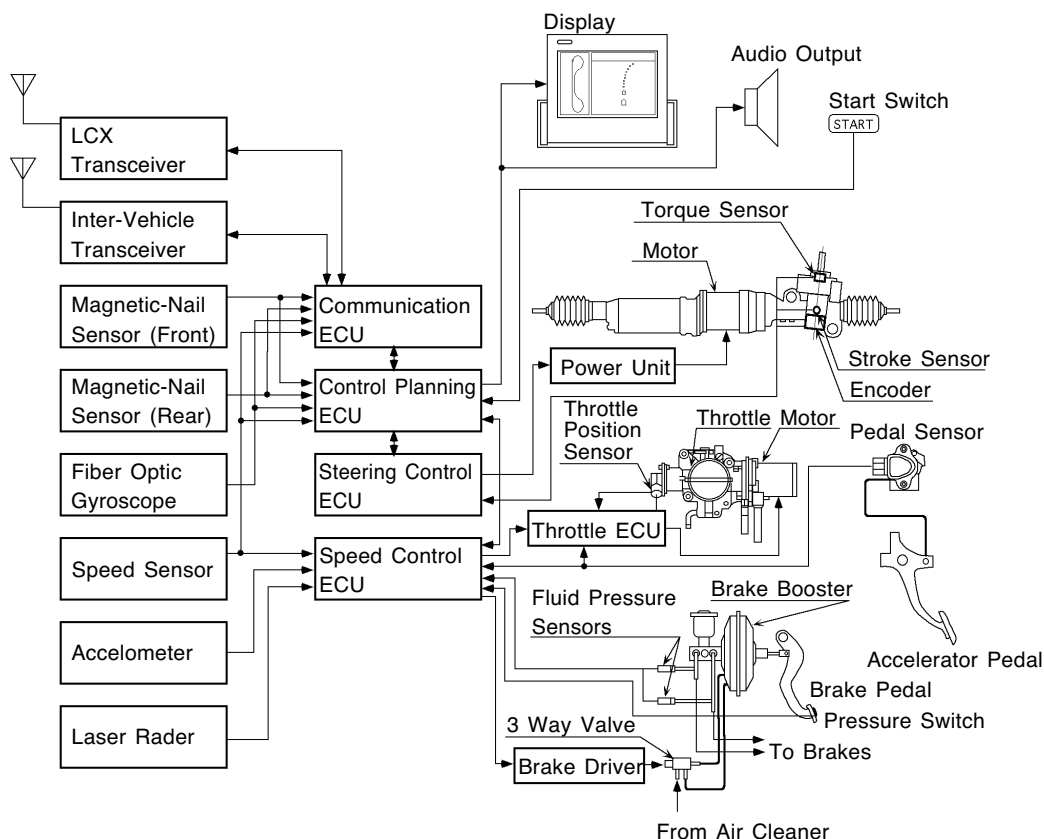


Fig. 4 System Block Diagram

精度な車両制御を可能とする。周波数は2.4GHz、伝送レートは256Kbps、スペクトラム拡散変調方式を採用しノイズなどの外乱に強い双方向高速通信を実現した。

路車間通信については路側LCXからは指示速度や事故などの緊急情報が、車両からはそのID番号や位置情報などが送信される。周波数は2.6GHz、伝送レートは512Kbpsである。

光ファイバジャイロを使用した慣性航法と、磁気ネイルセンサからの信号によって、高精度な位置標定が可能である。

制御計画ユニットは、指示速度に対し自車速度を制御するための速度プロフィールを作成する。さらに、乗員に対しディスプレイと音声で車速、車間距離、指示速度などの情報を案内する。

操舵制御ユニットは、磁気ネイルセンサからの信号によってステアリングを制御する。磁気ネイルセンサは

ヨー変位角を検出するために、前後に装着した。

車速制御ユニットは、制御計画ユニットからの指示に従ってスロットルとブレーキで車速を制御する。さらにレーザレダにより車間距離が異常に短くなった場合の緊急制動機能を付加した。

ただし、後述するように車間距離はあくまで磁気ネイルセンサによる位置情報を前後の車両が車々間通信で互いにやりとりすることによって計算、制御している。

ステアリングアクチュエータとスロットルアクチュエータはNSXのEPS (Electrical Power Steering) とDBW (Drive By Wire) を流用した。

ブレーキアクチュエータはブレーキブースタを3ウェイバルブで制御する方式とした。

また、ドライバの緊急操作を検知するために、ステアリングにトルクセンサ、ブレーキペダルに圧力スイッチを装着した。

3. 1. 車両位置検出

3. 1. 1. 目的

実験車の前後部に取り付けられた磁気ネイルセンサを用い、走行レーンの中央に沿って 1 m 間隔で埋め込まれた磁気ネイルを検出し車両の姿勢および目標コースの検出を行う。

3. 1. 2. 姿勢検出

磁気ネイルセンサは、走行時にセンサ直下を通過する磁気ネイルの横方向位置とネイルの NS 極性を検出している。この車両前後部での磁気ネイルの検知位置情報をもとに、磁気ネイル点列に対する車両重心の横変位と車両進行方向の角度（ヨー角）変位を求める。Fig. 5 に磁気ネイル点列に対する横変位とヨー角の幾何学的関係を示す。

また、走行中はピッチングや路面の凹凸などで常に両センサが磁気ネイルを検知できるとは限らないため、どちらか片方のセンサだけの情報でも、磁気ネイルの横位置の時間変化から横変位とヨー角変位を推定している。

3. 1. 3. コース位置検出

コース上の各 LCX 区間開始地点には、磁気ネイルの NS 極性反転を利用したバイナリコードとして区間情報が提供されている。Fig. 6 では LCX 2 区間と 3 区間の切り替わり地点での磁気ネイルの極性を例として示している。LCX 区間始めの 1 本目の S 極ネイルは区間開始位置を表し、それ以降の 3 本の NS 極によって LCX 区間ナンバを 2 進数で表現している。この極性をセンサで読み取り走行区間の切り替わりを判断する。ここでは前後部センサによる信号をそれぞれ独立に処理をすることで信頼性を上げている。

実験車のコース走行距離検出は車輪速パルスを検出することで求めている。この車輪速パルスは cm 単位の精度を持ち、LCX 区間進入時に磁気ネイルセンサからの情報により補正を行っているため高精度な走行距離検出を可能としている。また LCX 区間進入時に磁気ネイルによる区間ナンバを参照することで走行距離算出の信頼度を上げている。

3. 1. 4. 磁気ネイルナビゲーション

実験車はヨーレートセンサによる慣性航法と磁気ネ

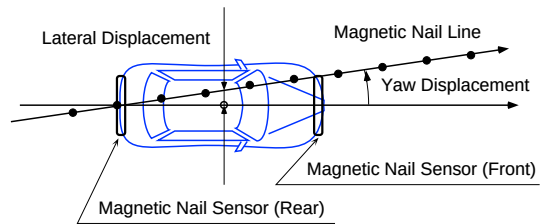


Fig. 5 Lateral Error and Yaw Error

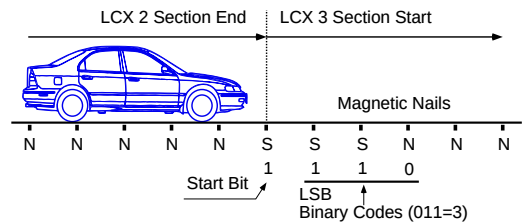


Fig. 6 Binary Codes for LCX Section Number

ル地図を組み合わせたナビゲーションソフトを内蔵し、磁気ネイルのない部分の補間を行っている。このナビゲーションでは走行軌跡を x , y 座標平面上に作成し、磁気ネイル地図に磁気ネイルごとにマップマッチングを行うことで高精度な位置評定を可能としている。また、コース逸脱時またはレーンチェンジを行う場合は磁気ネイルの検出が不可能となるため、この慣性航法による位置および姿勢算出値を用いている。

3. 2. ラテラル制御（ステアリング制御）

操舵により車両の横方向制御を行うラテラル制御では、カーブへの追従性能、直進部での安定性、横風などの外乱への抑制性能が求められる。

3. 2. 1. ラテラル制御則

Fig. 7 に制御で用いる入力量を示す。これらをもとに、次に示す制御式により操舵角 δ_{sw} を決定する。

$$\delta_{sw} = F(v) \cdot 1/R + G(v) \cdot \varepsilon_y + H(v, 1/R) \cdot (1/s) \cdot \varepsilon_y + J(v) \cdot \theta + K(v) \cdot \theta_{pre}$$

ここで F 、 G 、 H 、 J 、 K はゲイン関数を示し、車速の関数となっている。 s は微分演算子である。

第一項はカーブへの釣り合い舵角を与えるフィードフォワード項で、カーブへの追従性を向上させる。曲率

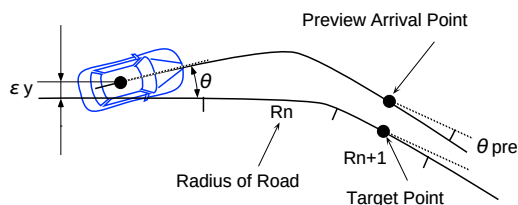


Fig. 7 Input Variable of Lateral Control

情報 ($1/R$) はLCXからの路車間通信によって10 m毎の高精度情報が取得されるのでこれを用いる。

第二項は横変位 (ϵy) の比例フィードバック、第三項はその積分項である。積分項はカーブでのバンクの影響を打ち消す効果があるが直線部では安定性が劣化するため、曲率 ($1/R$) に対応したマップとした。

第四項はヨー角偏差 (θ) のフィードバックで、車体を道路の接線方向に一致させる働きを持ち、系の安定性に大きく寄与する。さらに一定時間後の到達予想点でのヨー角偏差 (θ_{pre}) を予見制御する第五項を付加することによって、安定性が一層増大する。到達予想点でのヨー角偏差は、ナビゲーションから出力される前方地図と推定慣性軌跡により算出する。

磁気ネイルの検出による自動操舵制御では基本的に直下位置測定が主体となるため、安定性への確保が課題となる。上記制御則におけるヨー角の制御項である第四、五項の制御のパラメーターが重要となる。

この制御則で走行テストを行った結果、直線部では100km/hの速度での走行、140Rのカーブでは70km/hの速度での走行が可能となった。全コースでの横変位誤差は20cm、直線部では10cm以下に抑えられている。

再現性については、数百 km 以上のテスト走行でもコースアウトは一度もなく、非常に安定したレーン維持制御が常に行えた。しかし Fig. 8 に示すように60km/h以上での乗り心地には課題もあり、今後の改良が必要と判断する。

3. 2. 2. ナビゲーション出力の利用

横風、わだちなどの外乱を受けたときや、レーンチェンジ中などでは、一時的に磁気ネイルを検出できなくなることが想定される。このような場合、レートセンサによる慣性航法と磁気ネイルの地図から構成されるナビゲーションを用いることにより、走行レーンに復帰する

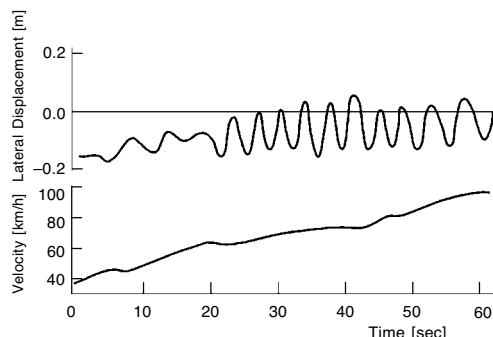


Fig. 8 Test Results of Lateral Control

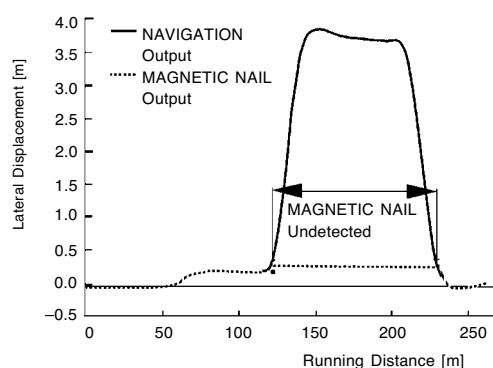


Fig. 9 Double Lane Change Using NAVIGATION (50 km/h)

ことが可能である。

Fig. 9 にこのときのデータを示す。自動操舵により隣の車線に移動 ($\approx 4m$) し100 m走行後、元の車線に復帰した様子をあらわす。隣の車線には磁気ネイルが設置されておらず、この間ナビゲーションのみでの走行となる。破線で示す磁気ネイル検出値は、変位量が0.4mを越えたあたりで一定値となっており、検出範囲を逸脱したことを示している。これに対しナビゲーション出力は、連続して正しい変位を推定している。

3. 3. プラトゥーン制御 (車速制御)

車群走行は、運送効率の向上を目的として短い車間距離に設定することがプロジェクトの目標となっていた。本システムでは、

- ・高速車々間通信による位置、速度、加速度の伝達
- ・高精度位置情報による車間距離の検出
- ・予測制御による車速制御

を採用することにより高精度な車間距離制御を実現した。

先導車は、路側のLCXから送られてくる指示速度を受信し、現在の車速から指示速度に達するまでの車速プロフィールを作成して、そのプロフィールに沿った車速制御を行う。

追従車は、前走車の位置、速度、加速度データを車々間通信により受信し、前走車との車間を一定または車間時間を一定にする制御を行う。

以下では、追従車の制御構造を説明する。

3. 3. 1. 車間距離の計算

車間距離は、ナビゲーションで求めた高精度な走行距離データを車々間通信で伝達し、前走車と自車の走行距離の差を算出することにより求めている。この方法によりレーダでは得られない高精度な車間距離計測が可能となった。

3. 3. 2. 制御構造

制御構造をFig.10に示す。はじめに、現在の加速度を一定と仮定したときのT秒後の自車と前走車の速度、距離を予測する。そして前走車との速度偏差と目標車間との距離偏差を求める。それらの偏差をゼロとするために増減すべき加速度を計算し、その加速度加算値が達成できるように、スロットルとブレーキを協調して積分制御を行っている。

このスロットルとブレーキの協調制御では、減速指示

の場合、エンジンブレーキで発生する減速度を予測し、不足する加速度をブレーキで補うように制御している。

また、オートマチックトランスミッションのクリープ現象によって発生する加速度を車速の関数とした近似式で予測し、指示された加速度からこれらの予測した加速度を引き、残りの加速度が達成できるようにスロットルとブレーキを制御した。

3. 3. 3. 走行テスト結果

Fig. 11に目標車間距離を3mとした時の走行実験結果を示す。車間距離偏差は±60cm以内に抑えられており、前走車への車速の追従遅れが少なく、スムーズな追従制御が達成されている。また、停止直前にブレーキ圧を減圧することによりショックの少ないスムーズな停止が実現出来た。

今回のデモンストレーション実験は、0.1G以下の加速度領域で行われたが、今後はより高い加速度への対応が必要である。

3. 4. ヒューマンインタフェース

3. 4. 1. 自動・手動切り替え

実験車の運行は、出発点に実験車2台を停車させ、運転モード切り替えスイッチが2台とも自動運転側となった時に自動運転を開始するようにした。安全のため、ドライバがブレーキまたはステアリングの操作を行った時は手動運転モードに切り替わり、通常の自動車として運転できるようにした。

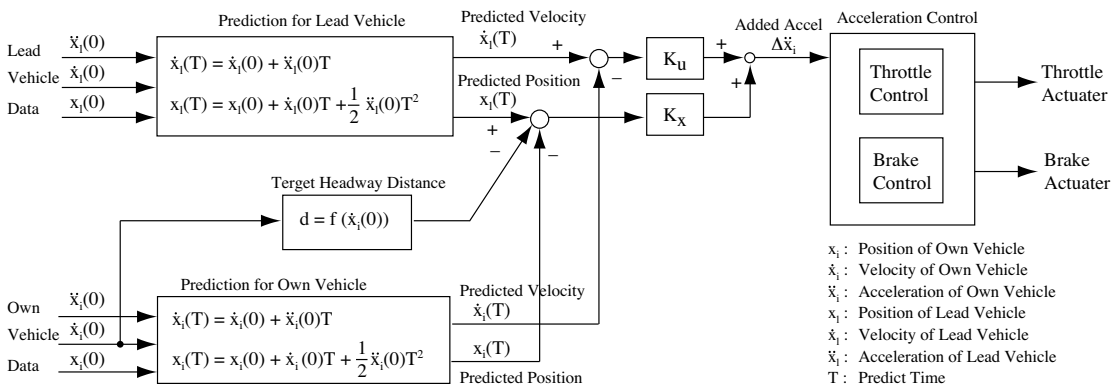


Fig. 10 Architecture of Platoon Control

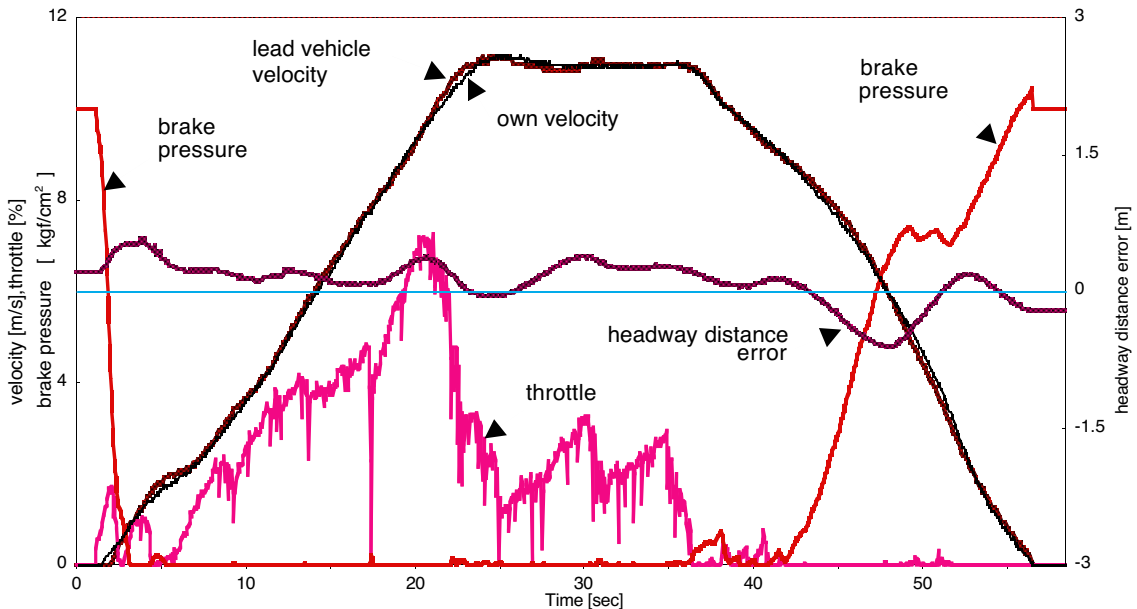


Fig. 11 Experimental Results of Platoon Control

3. 4. 2. モニタ表示

自動走行の際の安全確認、現在の制御状態の確認、また、デモ走行としての効果を上げることを目的として、モニタ表示および音声の出力を行った。

モニタ表示はセンタコンソールの液晶ディスプレイで行った。表示内容はFig. 12に示すように、次のとおりである。

- A. コース内自車位置、自車の車速、制御モード
(自車のセンサーにより測定されたデータ)
- B. 前走車、追従車の車速、車間距離
(車々間通信により測定することができたデータ)
- C. LCX 区間番号、指示速度、前方道路形状
(道路側 LCX から送信されたデータ)

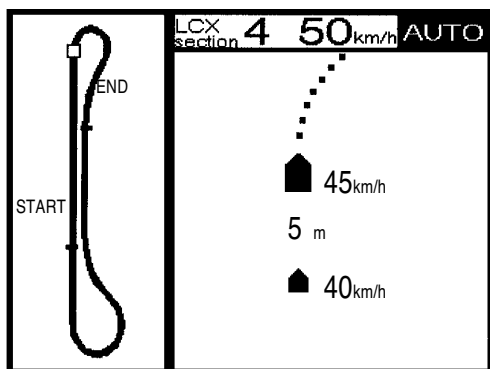


Fig. 12 Drive Monitor

配置、配色といった表示内容のデザインに気を配り、視認性の良いものとした。描画は、パーソナルコンピュータのグラフィック画面の一部で行い、専用のビデオボードを介して出力した。

3. 4. 3. 音声出力

自動走行開始時、指示速度が変化するとき、停止時、自動走行終了時に日本語と英語で音声による案内を行った。デモ走行時だけではなくテスト走行時にも耳による動作確認を行うことができ、有用であった。

ナレータの声をPROMに記録し、音声再生ボードにより再生した。

4. まとめ

以上ホンダAHS実験車の概要とテスト結果について報告した。ホンダの制御システムの特徴として

- ・ナビゲーションを利用した高度位置検出
- ・車々間通信を利用した2次予測車間距離制御

を採用し、高性能で信頼性の高いインフラストラクチャ融合型自動運転システムの基盤技術が確立できた。

昨年度行われた土木研究所での公開デモンストレーション実験は、道路インフラストラクチャと自動車が協

調して高度知能化システムの構築を目指す第一歩として大変有意義なものであった。このプロジェクトは建設省主導でこれからも継続されることが決定している。実際の高速道路にこのシステムが採用される日はまだかなり遠いことと推測されるが、ホンダがこの分野の独自技術を活用して実用化を少しでも加速し、人類の夢実現に貢献できれば幸いである。

本実験車開発は建設省の呼びかけに対して住友電気工業株式会社殿との共同研究として参画したものである。走行条件の検討やインフラストラクチャとの協調システムの仕様検討、設計製作は建設省の土木研究所の道路研

究室の熱心かつ精力的なご指導のもとで行われてきた。参画の機会を与えてくださった建設省本省ならびに現場での推進管理をされた建設省土木研究所道路研究室（現 ITS 研究室）の諸氏にこの場を借りて感謝の意を表したい。また、住友電気工業株式会社殿の担当諸氏とは休日、残業をいとわず実験車をともに仕上げてきた。多大なご協力に対して感謝したい。最後に本研究プロジェクトは栃木研究所と和光基礎技術研究センターの多数の所員の方々の応援によって、厳しい開発日程を守り切ることができた。ここに感謝の意を表したい。

■ 著 者 ■



古川 修



中村 之 信



武井 明 彦



飯 星 明



羽 野 剛



永 井 孝 明



間 下 博