

ITSの公開デモDEMO2000に参加して

ITS Demonstration by the University of Tokyo Team
at DEMO 2000

藤岡健彦*

Dr. Takehiko FUJIOKA

This paper introduces the activity of the University of Tokyo team at DEMO 2000 which was held at Tsukuba, Japan in November and December 2000. Two demonstrations by ITS (Intelligent Transport Systems) vehicles of the team are shown. The one is an application of ITS, especially autonomous-vehicle technology, to welfare vehicles. The purpose of the demonstration is reducing the driving burden of people with handicaps. The other demonstration is advanced platooning control. Basic maneuvers for platoons, i.e. following, diverging, merging, separation and combination, are realized in a short range proving ground. Technical data of the demonstration vehicles are also described.

Key Words: ITS (Intelligent Transport Systems), AVCSS (Advanced Vehicle Control and Safety Systems), platoon, welfare vehicle, DEMO2000

1. はじめに

21世紀を直前にした2000年11月21日から12月1日にかけて、つくば地区を中心にITS (Intelligent Transport Systems, 高度道路交通システムと訳されることが多い)のデモが行われた。このDEMO2000は、通産省*¹が主催したDEMO2000協調走行(11月21日~27日)と運輸省、建設省が主催したSmart Cruise 21 DEMO2000(11月28日~12月1日)から成る。このようなITSのデモは1990年代の中頃から日米欧のどこかで毎年行われているように見える¹⁾。このようなデモの中でもDEMO2000は、提示された新しい技術の面からも、参加自動車の台数からも、国際的にみても、空前の規模であったように思われる。

DEMO2000協調走行の主体は、機械技術研究所および自動車走行電子技術協会による車車間通信技術を中心としたデモであり、Smart Cruise 21 DEMO2000の主体はASV(Advanced Safety Vehicle)であった。この主体となったグループ以外にも、いくつかのデモがそれぞれの中で行われた。著者の研究室では、それまでにいっしょにITS車両制御の実験を行っていた研究室と共同研究チームとして、東京大学チーム*²という名前

両方のデモに参加する機会を得ることができた*³。

いつの場合でも同じような状況だと思われるが、始まるまでは、今回のデモでもどのような状況になるか境界条件が定まらないこともあり、どのような形のデモを提案したら良いのか、また、両方のデモに提案書を提出して、果たして大学の学生を中心とするチームで実際にデモができるのか、などの不安があった。先生方と相談した時、せっかくの機会でもあるので、ともかく積極的に参加しようということになり、結果として年度当初に提案したものがほぼデモの形で実現することができた。もっとも限られた期間でDEMO2000協調走行に2台、Smart Cruise 21 DEMO2000に3台、合計5台の車両を改造、整備するのは研究室としてはかなりの負担であったことも事実である。

本稿では、東京大学チームが行ったこの二つのデモについて説明したい。

2. デモのシナリオ (DEMO2000協調走行)ITSの福祉車両への展開^{2,3)}

現在日本において身体に障害のある方が約300万人、このうち約6割の方が肢体に障害のある方

*東京大学大学院 工学系研究科 産業機械工学専攻 助教授 工学博士

*¹省庁などの組織名はデモ当時のものを本稿では使用している。

*²東京大学工学部産業機械工学科藤岡研究室、日本大学生産工学部機械工学科景山・網島・西研究室、成蹊大学工学部電気工学科青木研究室、慶應義塾大学環境情報学部清水研究室の4大学6研究室の名称。

*³日本の大学では、他に慶應義塾大学チームがSmart Cruise 21に参加していた。

であるといわれている。これらの方々以外に要介護の高齢者の方がやはり300万人程度おられる。

一方、ITSの中でも、著者らのグループが研究対象としている車両制御関係^{*4}は、運転警報システム、運転支援システムを経て自動運転へと進化していくといわれている。もともと自動車が備えるドアからドアへの利便性が、このような形で進歩していく時、自動車のこの利便性は、本来であれば、まず移動弱者の方が利用できるような形で活用されるべきものだろう。

このような中で、福祉車両は現在、年間30%~40%の急成長産業であると言われている。現状の福祉車両はその多くが、身体障害のある方が、乗客として利用するための自動車がほとんどである。すなわち、車椅子のまま乗れる自動車や、車椅子からの乗降が楽なシートがついた自動車などである。身体障害のある方が、ドライバとして利用できる福祉車両はまだ少ない。このような車両がなかなか普及しない理由としては、乗降時の問題、運転負荷の問題、免許の問題、費用の問題など数々の問題がある⁴⁾。

これらの問題のうち、本デモでは、運転負荷の問題を軽減することを目的として、実現が容易に可能と思われる範囲の自動運転システムが福祉車両に有効に利用できる可能性があることを提案している。

デモは2両の車両で行った。1両目の車両は普通のドライバが運転する車両であり、アクチュエータはついていない。ただし、センサや通信機能は備えている。2両目の車両は、先行車追従機能、マップ追従機能の自動運転機能を備えている車両である。さらにこの車両には手動運転時に、ハンドルにグリップをつけて右手だけでハンドル操作が行えるように、また左手のレバーを前後に動かすことで^{*5}アクセル・ブレーキ操作が行えるようになっている。すなわち、足が不自由な方でも両手だけで運転できるような福祉車両として、改造されている(図1参照)。デモの時の「テストドライバ」は、筑波大学の心理障害学系の大学院生にお願いした。この方は車椅子により移動しており、普段も福祉車両を利用している専門家である。

デモは2周、約10分である。1周目は先行車追従走行を行い、2周目はマップ追従走行を行う。

1周目は、手動運転の先行車に自動的に追従するデモである(図2)。たとえば長距離を自動車移動する時、同じ方向に行く車両を自動的に追尾し、この間ハンドル操作、アクセル・ブレーキ操作をしないですめば、長距離のドライブもあまり



図1 アクセル・ブレーキレバーとハンドルグリップ
Throttle and brake lever and steering grip

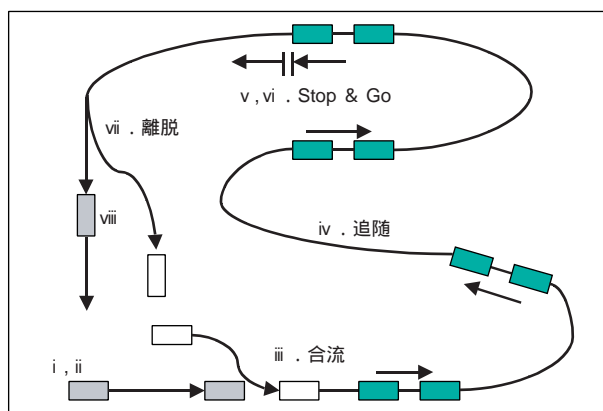


図2 先行車追従制御

Scenario of autonomous vehicle following

負担にならないだろう。この車は同じ方向に行く友人や知人の車でもよいし、高速道路のSA、PAなどで誰かにたのんでも良い。追従の前後の短区間のみ、通常の福祉車両にもどって、手動で運転することになる。図2をステップごとに説明すると以下ようになる。

- i) 乗車
- ii) 手動低速走行：先行車、後続車(自動運転車両)ともに手動運転により発車後、低速走行で後続車が先行車の後につける。
- iii) 合流：後続車は先行車の後につけたのち、スイッチ操作により、自動運転モードに入る。
- iv) 追従：先行車の任意の運転に対して、後続車が自動で追従する。
- v,vi) Stop & Go：追従の中にはStop & Goも含まれる。車間距離は30km/hで13m。先行車は半径10m程度のカーブも走行するが、後続車は精度よく追従できる。

^{*4}安全を目的とするシステムが多いこともありAVCSS(Advanced Vehicle Control and Safety Systems)と呼ばれることがある。

^{*5}前に押すとリンク機構によりアクセルペダルが踏まれて加速し、後に引くとやはりリンク機構によりブレーキペダルが踏まれて減速する。

vii) 離脱：所定の個所に来たら(デモでは1周したら)スイッチにより、後続車は先行車から離脱し、手動運転に戻る。

2周目は自動車を持っているマップにしたがっての自動走行である(図3)。このような自動走行はナビの精度が向上してくれば、可能になってくる。このデモでは、近所のスーパーマーケットや病院などに行くときを想定して、テストコース上にパイロンでコースを設定し、このコースを地図として自動車に記憶させ、この地図にしたがって自動走行を行わせた。図3をステップごとに説明すると以下ようになる。

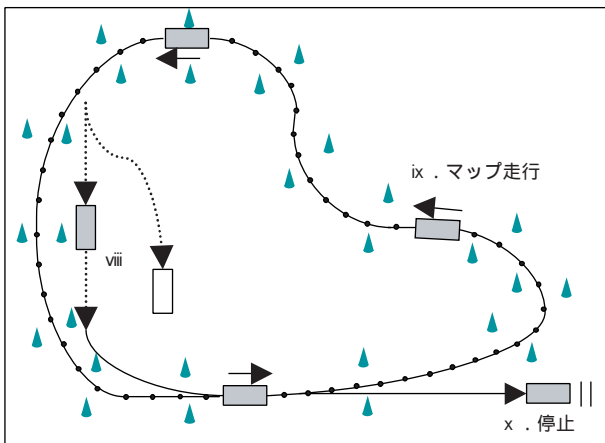


図3 マップ追隨走行

Scenario of autonomous driving by internal maps

viii) 手動走行 1周目の先行車追隨走行を終了後、手動で運転する。

ix) マップ追隨走行 2周目はマップにしたがって、パイロンでできられたコースを自動で運転する。最高速度は50km/hに設定した。

x) 停止, デモ終了

このデモは機械技術研究所のテストコースの定常円旋回試験路を使って行われた。したがって、パイロンでコースを設定してあっても、デモを行ったのは普通の方から見れば単なる広い場所にすぎないとも言える。またデモで一般の方にも乗車していただくことを考え、車内には3台のディスプレイで、乗客、ドライバ、オペレータが走行の様子を確認することができるようにした。この車内表示画面を図4に示す。画面は、図のようなドライバ席からの景色を想定した画面と、車両の上から見た鳥瞰図とを切りかえることができる。左下にある数値類は、現在位置、速度、加速度などの計器の数値である。

デモのスタート時の様子を図5に示す。

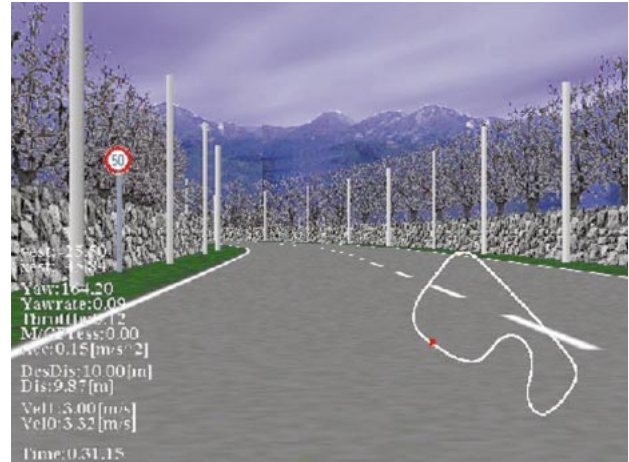


図4 車内表示

Display screen in the vehicle



図5 デモ車両

Demonstration vehicles

3. デモのシナリオ (Smart Cruise 21 DEMO2000) プラトーン走行サービス^{5),6)}

プラトーン(Platoon)とは辞書には「(歩兵, 工兵, 警察隊の)小隊」とあり、もともとは軍用語である。自動運転の一形態として、数台(2~10台程度)の自動車が小隊を組み、相互に通信を確立し、協調して自動運転を行うのがプラトーン走行である。プラトーン制御により、運転の省力化、交通流の円滑化が期待できる。さらに信頼性が高まればプラトーン走行により車間距離を手動運転より短く設定することにより、道路交通容量の増加、短い車間距離による燃費の向上なども期待できる。前章で説明した車両追隨制御は2台の最も単純なプラトーン走行だと考えることもできる^{*6)}。

*6) 2台の単純なプラトーンを利用したプロジェクトとしては、大型トラックの省力化、燃費向上をねらったダイムラーのショーファーがある。またバスにプラトーン走行を利用しようとするプロジェクトにトヨタのIMTSがある¹⁾。

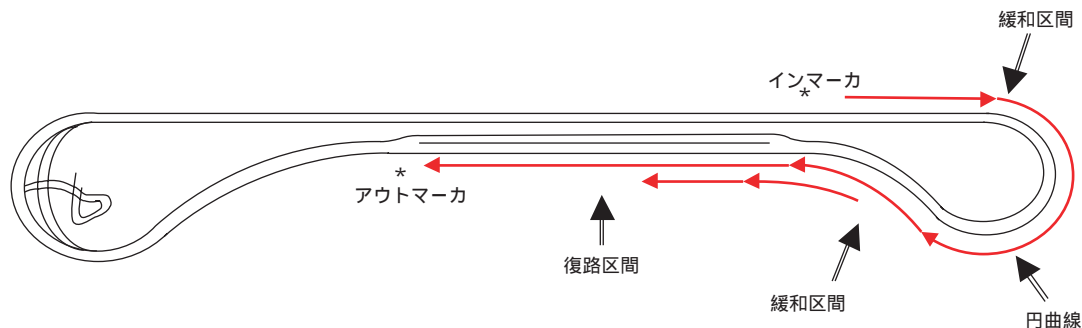


図6 走行コース
Probing ground

プラトーン走行を行うためには、車群(プラトーン)での追従、離脱、合流、分離、結合などの基礎技術が確立されていることが車両制御の面では必要になる。

このデモは建設省土木研究所のテストコースで3台の自動車により行った。先頭車は手動運転で、2台目、3台目が自動運転の機能を備えた車両である。デモの最高速度は60km/hでこのときの車間距離は15mである。走行コースを図6に示す。

このデモでは、車両の位置は磁気マーカーにより検出している。磁気マーカーは図6の北周回路(図の右側)では1車線に、東側(ドッグボーンの内側、図の下側)直線コースでは2車線に埋設されている。前述のような基本動作は2車線必要になるので、約600mの東側直線コース内に収まるようにシナリオを設定することが必要になった。

この2車線利用できる直線コースに追従、分離、離脱、合流、結合の基礎技術が乗車して体験できるようにしたのが図7の走行パターンである。図6、図7によりステップごとにデモのシナリオを説明すると以下ようになる。

- i) 図6 インマーカー手前で、3台が停止した状態で、路車間通信から道路線形などの情報を受け取る。先頭車が手動で発進する。2台目、3台目の後続車はこれに追従して自動で発進する。
- ii) 3台のプラトーン走行で緩和曲線、円曲線、緩和曲線区間を走行。
- iii) 障害物回避(図7-a)先頭車がレーザレーダにより障害物(停止車両)を検知。この情報が後続車に車車間通信で送られる。先頭車が手動で障害物を回避する動作に自動で後続車が追従し、障害物を回避する。
- iv) 走行車線への復帰(図7-b)障害物回避を終え、もとの車線に復帰する。
- v) 分離、離脱(図7-c)3台目の車両がプラトーンから分離、離脱する。離脱の信号を先頭車に送信した後、自動で分離、離脱する。

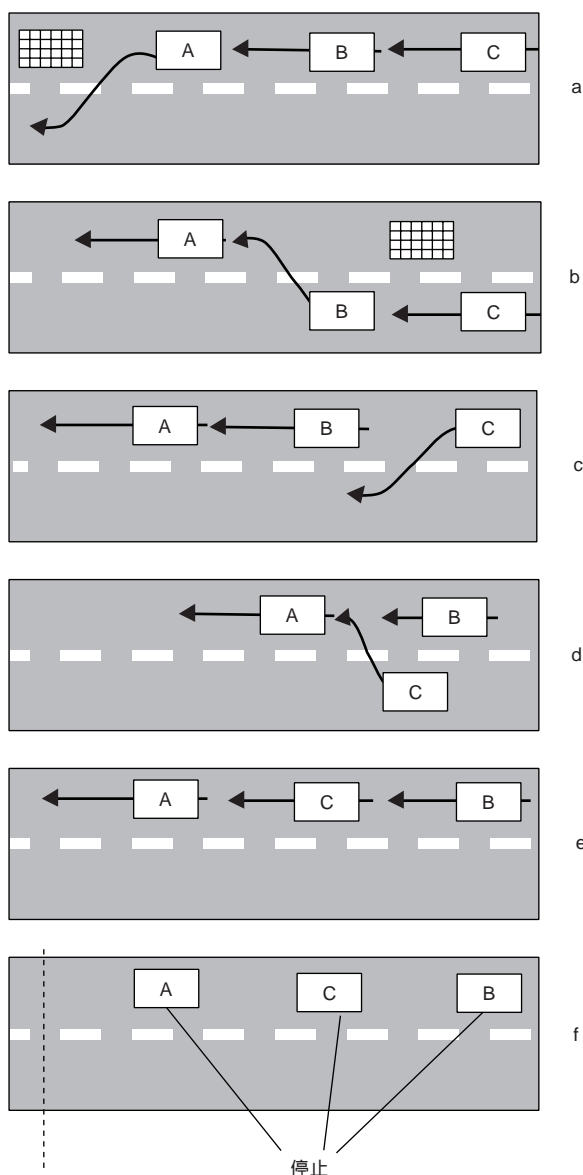


図7 プラトーンの走行シナリオ
Scenario of platooning service

vi) 合流，結合(図7 - d, 図7 - e) 離脱した3台目が加速し，1，2台目のプラトゥーンに合流要求を送信する．2台目が1台目から分離し，この間に3台目が入れる車間距離を確保する．3台目が間に合流し，2台目(現在は3台目になっている) が車間距離をつめて結合する．

vii) 停止(図7 - f) サービス区間終了地点(図6 -) 手前で先頭車が手動で停止し，後続車もこれに合わせて停止する．

実際のデモでは，周回路南側からスタートし，前車両手動で まで運転し，上記のデモ走行を行い，からは再び手動でスタート地点までもどる形で行われた．1周の所要時間は12分である．走行中の写真を図8に示す．



図8 プラトゥーン離脱時
Diverging from the platoon

乗客，ドライバ，オペレータが動作を確認するための車内表示画面は図9のようになっている．図で四角で表されているのが自動車で，コースにそって点々とうたれているのが磁気マーカである．計器情報以外に車車間通信で送られてきた，情報が提示されるようになっている．



4. 車両のハードウェア，ソフトウェア⁷⁾

デモに使用した5台の自動車の概要を説明する．

アクチュエータは，2台の先頭車を除く3台とも，ステアリング，スロットル，ブレーキの各アクチュエータが取り付けられている．ステアリングはハンドルの所にサーボモータを取り付け，スロットルはスロットルのワイヤの所にサーボモータを取り付けた．ブレーキアクチュエータはバキウムブースターの所に制御バルブをつけている．

位置センサは，DEMO2000協調走行では，RTK-DGPSを利用している．精度は標準偏差で10cmであり，最大0.4secの遅れをもって，4Hzで位置が計測される．一方車両制御に必要なのは，20Hzで精度1～2cmの位置情報である．カルマンフィルタを拡張した手法によりこのフィルタリングと補完，予測を行っている．一方Smart Cruise 21 DEMO2000での位置センサは，前述のように磁気マーカにより位置を検出している．また道路との路車間通信器を備えている．

位置センサは先頭車にも装備され，位置を車車間通信でやりとりすることにより車間距離など相対位置を検出している．これとは独立にレーザレーダが装備してあり，この二つの情報をフュージョンして使用している．

内界(Dead recognizing) センサは，左右(ステアリング) 制御のために，光ファイバジャイロでヨーレートを検出し，前後(スロットルとブレーキ) 制御のために，加速時計，車輪パルス速度計を使用している．

車車間通信はすべての後続車が先頭車と双方向で通信できるようになっている．

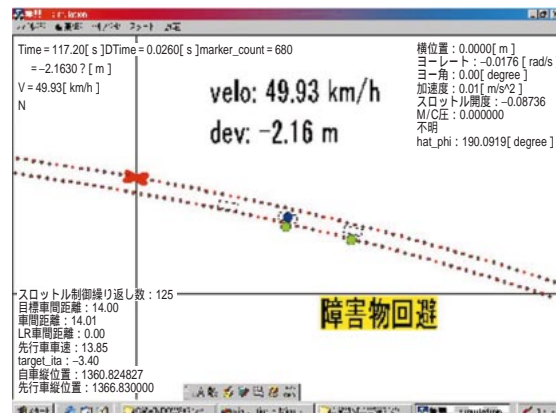


図9 車内表示
Display screen in the vehicle

ハードウェアのブロック線図を図10に示す。なお図10はSmart Cruise 21 DEMO2000で使用した2号車、3号車のブロック線図である。

制御系(ソフトウェア)は、研究室では過去にいろいろ研究を行っているが⁸⁾、今回のデモでは、確実に動いて調整がしやすいもの(その分制御精度は多少犠牲になってもよい)ということで、基本的な方式を利用した。

左右方向(ステアリング)制御は、予見制御である。予見情報をもとにした補償はPID制御で行っている。

前後方向(アクセル、ブレーキ)制御は、スライディング制御(厳密に言えば、入出力線形化制御)を使っている。駆動系はエンジン、トルコン、シフトギヤなどの非線形性が強く、スロットル開度が車両の加速度には比例しない。これを補償するために前もって加速度に対するスロットル開度の逆問題を解いておき、このマップを使って非線形性の補償を行っている。

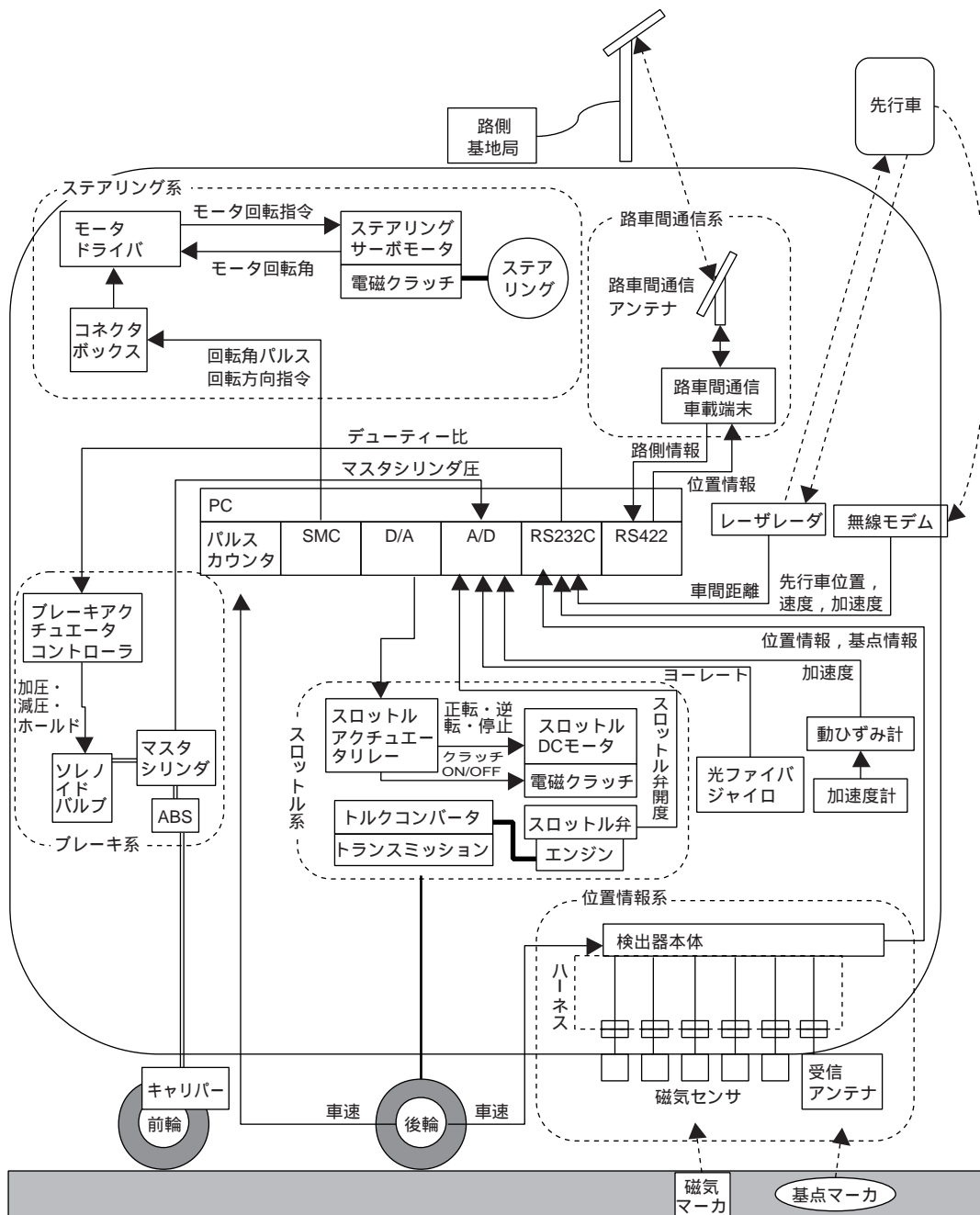


図10 車両システム図
Block diagram of the experimental vehicle

5. おわりに

3年さかのぼって1997年にアメリカ，サンディエゴで行われたDEMO'97では，アメリカの有力大学のいくつかのチームがメーカーや各州の交通局と組んで数多くの自動車を出展し，デモ走行を行っていた．これに対して日本では，実車で実験を行いながらITS特にAVCSの研究を行っている大学の研究室は非常に少ない．また本格的な産学ないしは産官学の共同研究もこの分野で特に活発であるとは言い難い．

ITS産業は2015年に累計で60兆円産業になると見積もられている．IT(Information Technology)の文脈で運転のための情報化は確実に進んでいこう．しかし，運転という作業を考えたときに，本質的に必要となるのは単なる情報のやり取りや警報ではなく，これを前提とした，運転支援システムである．この運転支援システムは必要な時には働き，しかもお節介ではないシステムでなければならない．このようなシステムが実現するためには，メーカーだけの商品開発でも，官庁だけの政策でも，大学だけの基礎研究でも不十分であり，産官学の協力のもとに広範な基礎研究，基盤研究を含めた膨大な開発研究が必要となる．

本稿は，DEMO2000における東京大学チームの公開デモを紹介し，このような研究に対する読者の方のご理解をいただき，さらに，この分野で産官学共同研究が今まで以上に盛んに行われることを念じて記した．

なお，すでに発表していることもあり，また紙数の制約もあり技術的詳細は割愛した．ご興味がおありの方は，参考文献を参照していただければ幸いである．

末筆ながら，ご協力いただいた各研究室の方々，車両，機材等で便宜をはかっていただいた各メーカーの方々に紙面を借りて御礼申し上げます．

参考文献

- 1) 藤岡健彦ほか編，「自動車開発プロジェクト工学」，第2章，津川定之著「ITS(高度道路交通システム)」，技報堂出版，(2001)にITSの歴史が詳述されている．
- 2) 藤岡健彦，「デモ2000福祉車両の技術」，電子情報通信学会技術研究報告，ITS2000-49，(2000)．
- 3) 藤岡健彦，石田兼一ほか，「DEMO2000 ITSの福祉車両への展開」，アドバンティシンプोजウム講演論文集，ビークルオートメーション研究会，Vol. 14，(2001)，p. 27．
- 4) 斎藤，「福祉車両の現状と課題」，自動車技術，Vol. 53，No. 7，(1999)．
- 5) T. Fujioka, "Platoon Service Experimental System", Smart Cruise 21 Demo2000 Panel Sessions/Technical Sessions presentation materials, (2000), p. 308.
- 6) 藤岡健彦，山崎浩之ほか，「DEMO2000プラトーン走行」，アドバンティシンプोजウム講演論文集，ビークルオートメーション研究会，Vol. 14，(2001)，p. 19．
- 7) 藤岡健彦，宮岸俊一ほか，「DEMO2000 AVCS車両の構築について」，アドバンティシンプोजウム講演論文集，ビークルオートメーション研究会，Vol. 14，(2001)，p. 23．
- 8) 藤岡健彦，大前 学，「自動運転システムにおける制御技術」，日本ロボット学会誌，Vol. 17，No. 3，(1999)，pp. 18-23.