



平成22年8月3日

自律走行・隊列走行の 研究課題とその取組み (ロボカーによる隊列走行)

早稲田大学

大学院情報生産システム研究科 大貝晴俊

環境総合研究センター

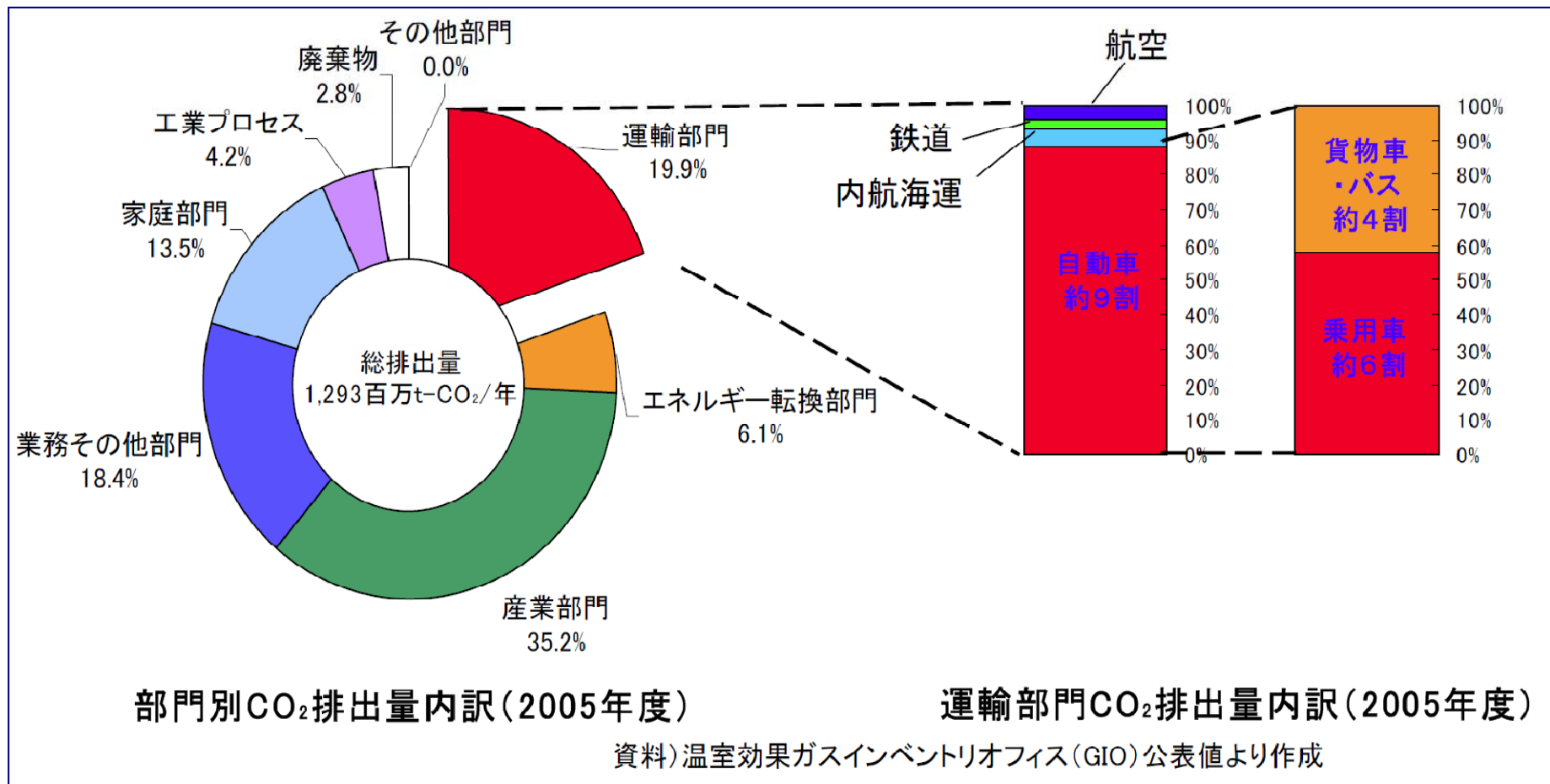
石 太郎



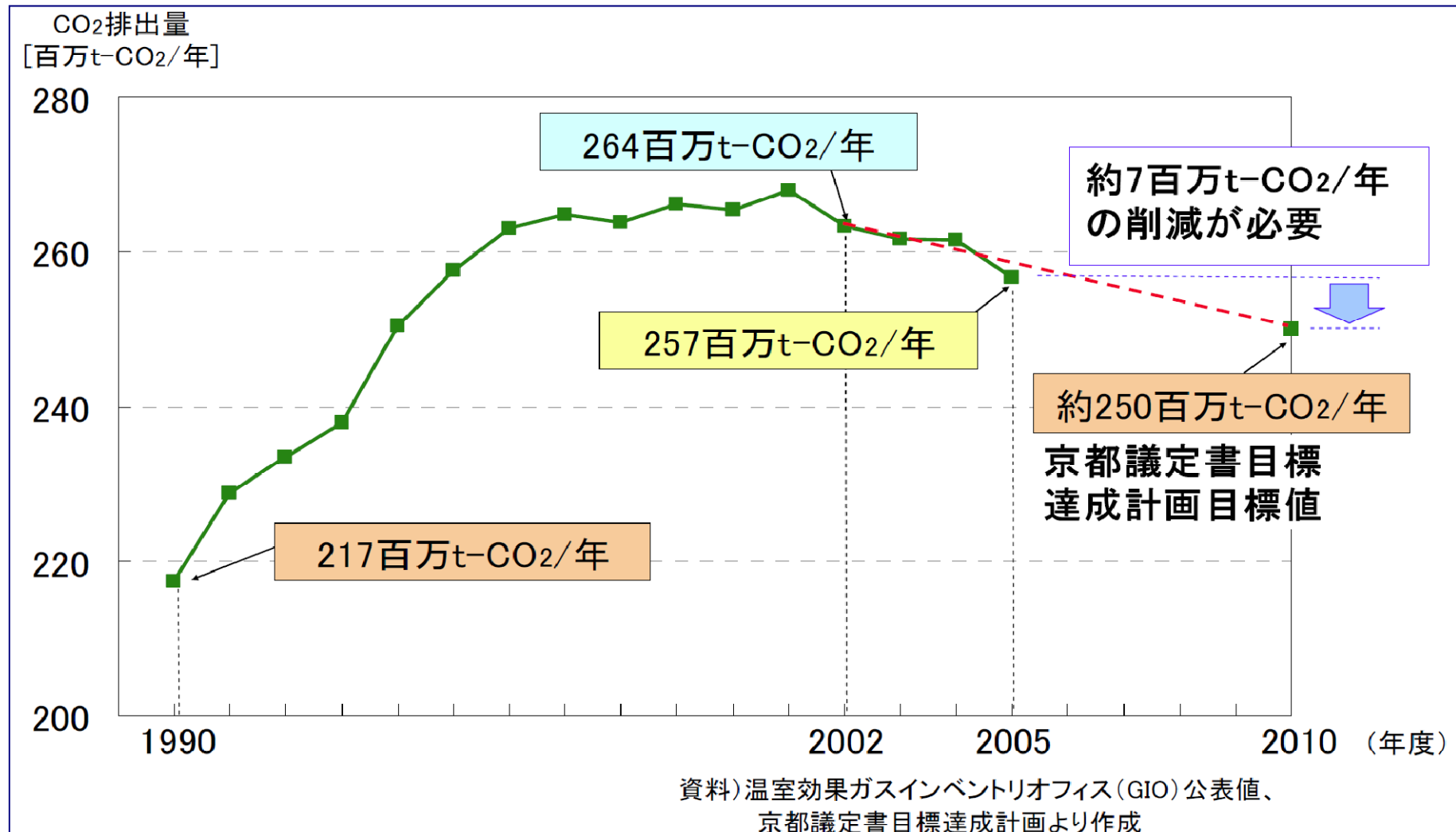
アウトライン

- エネルギーITSと自動運転研究
 - 九州ひびきの自律走行研究会
 - 自律走行・隊列走行の研究課題
-
- 小区域自動運転の基礎研究
 - 非線形モデル予測制御による走行制御
 - ロボカーによる隊列走行実験

部門別CO₂排出量の内訳



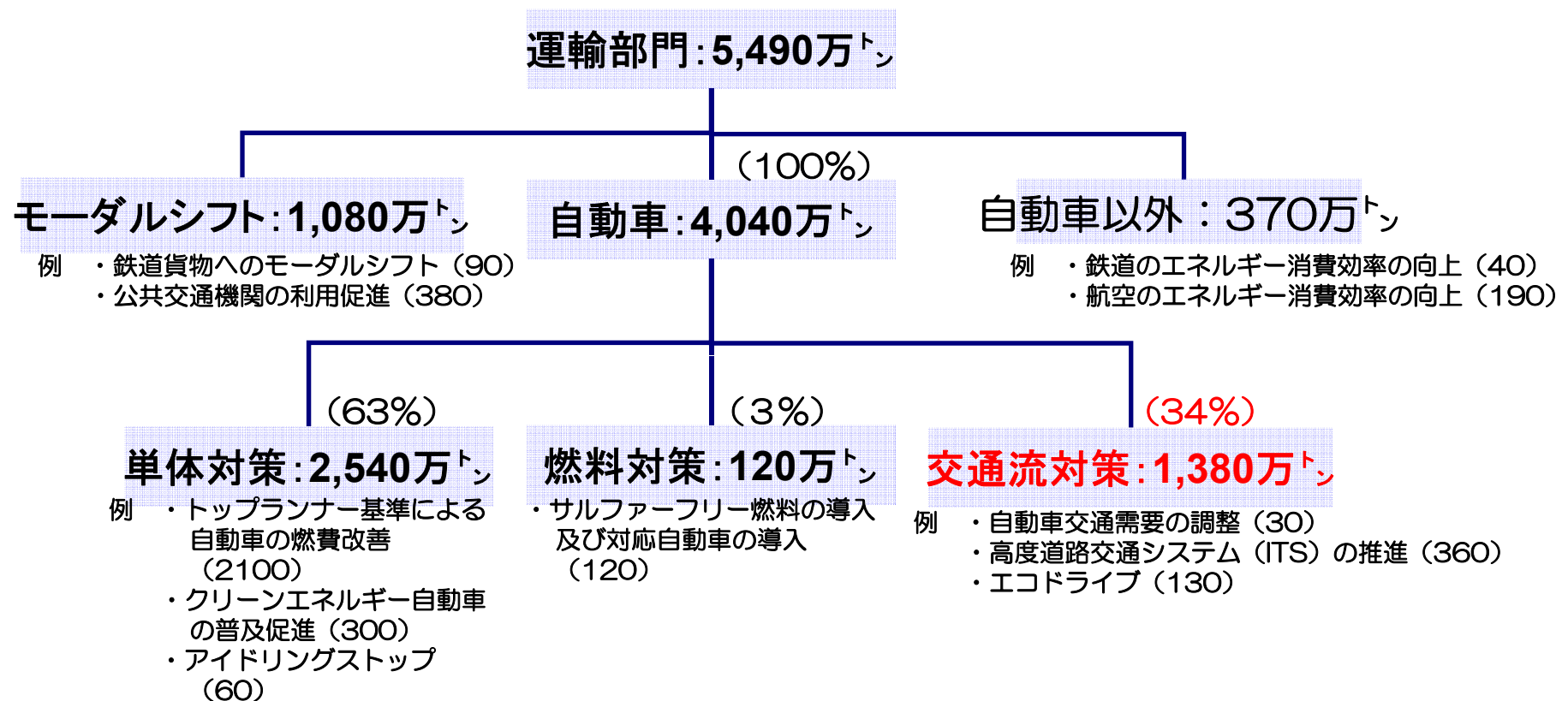
運輸部門CO₂ 排出量の推移



運輸部門のエネルギー・環境対策

- 自動車単体の省エネルギー技術は大幅に進化しているが、交通流対策はポテンシャルがあるにもかかわらず取り組みが進展していない。

～京都議定書目標達成計画の自動車部門の内訳～

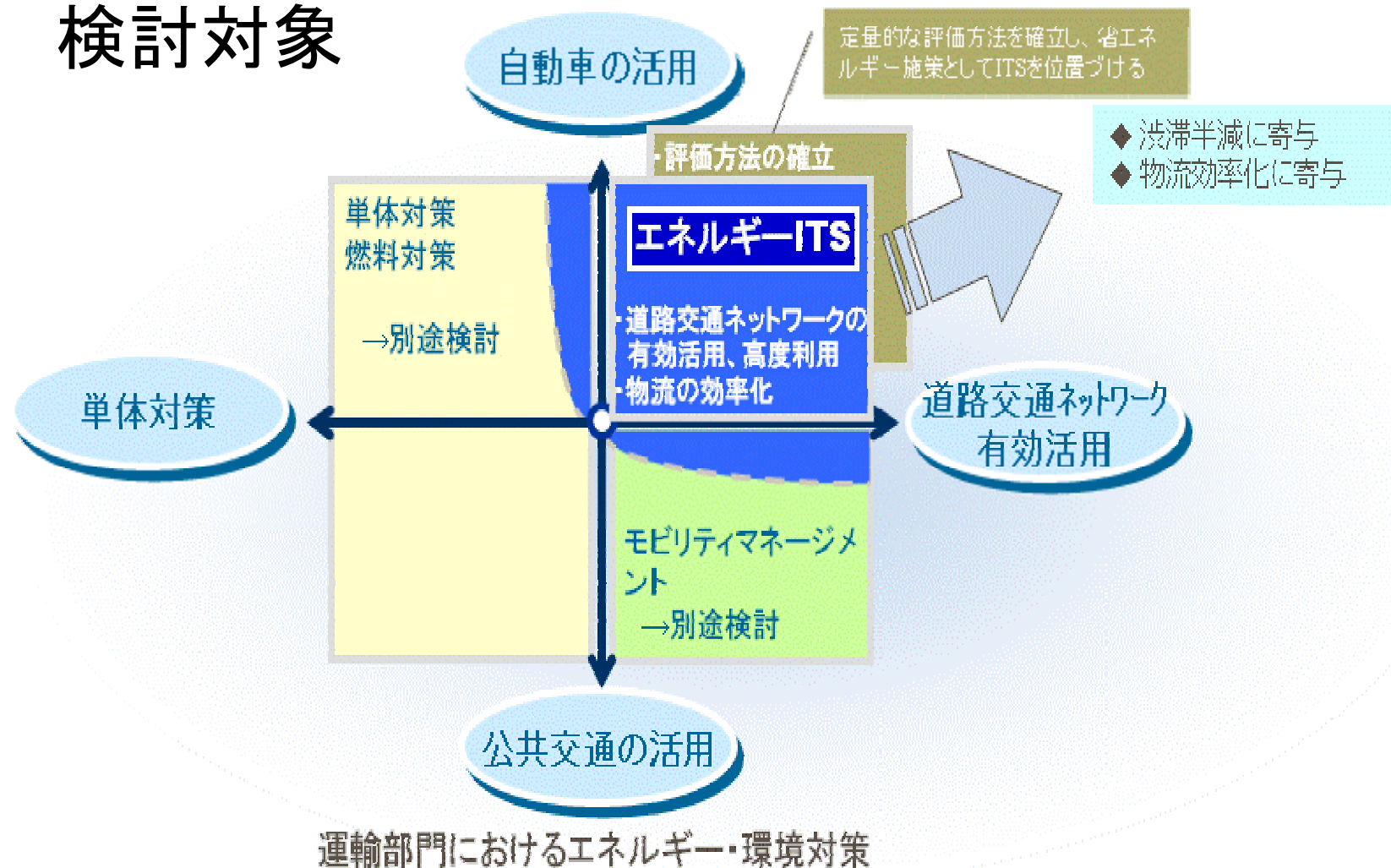




エネルギーITS構想

- 次世代自動車・燃料イシニアティブ
(平成19年5月 次世代自動車・燃料に関する懇談会)
→ 次世代自動車の基盤となるバッテリー技術
 - ・水素社会の実現に向けた取り組み
 - ・重要性の高まるクリーンディーゼル技術
 - ・我が国でのバイオ燃料普及に向けて
 - ・ITを活用した世界一やさしいクルマ社会の実現に向けて
交通流の円滑化を通じた省エネ・CO₂排出量の削減
- エネルギーITSの推進に向けて
(平成20年4月 エネルギーITS研究会)
→ エネルギー・環境問題に資するITS施策の整理、個別施策の詳細な検討、課題の抽出

検討対象



- エネルギーITSの検討対象となる施策は、原則として自動車を活用し、かつ道路交通ネットワークを有効にする施策とするが、隣接する単体対策及び公共交通を活用した施策の一部を包含するものと定義する。エネルギーITSでは、これらの対象領域におけるサービスの実現、展開を通じて、渋滞半減や物流効率化に寄与することを目指す。



欧米日のITSの近年の傾向

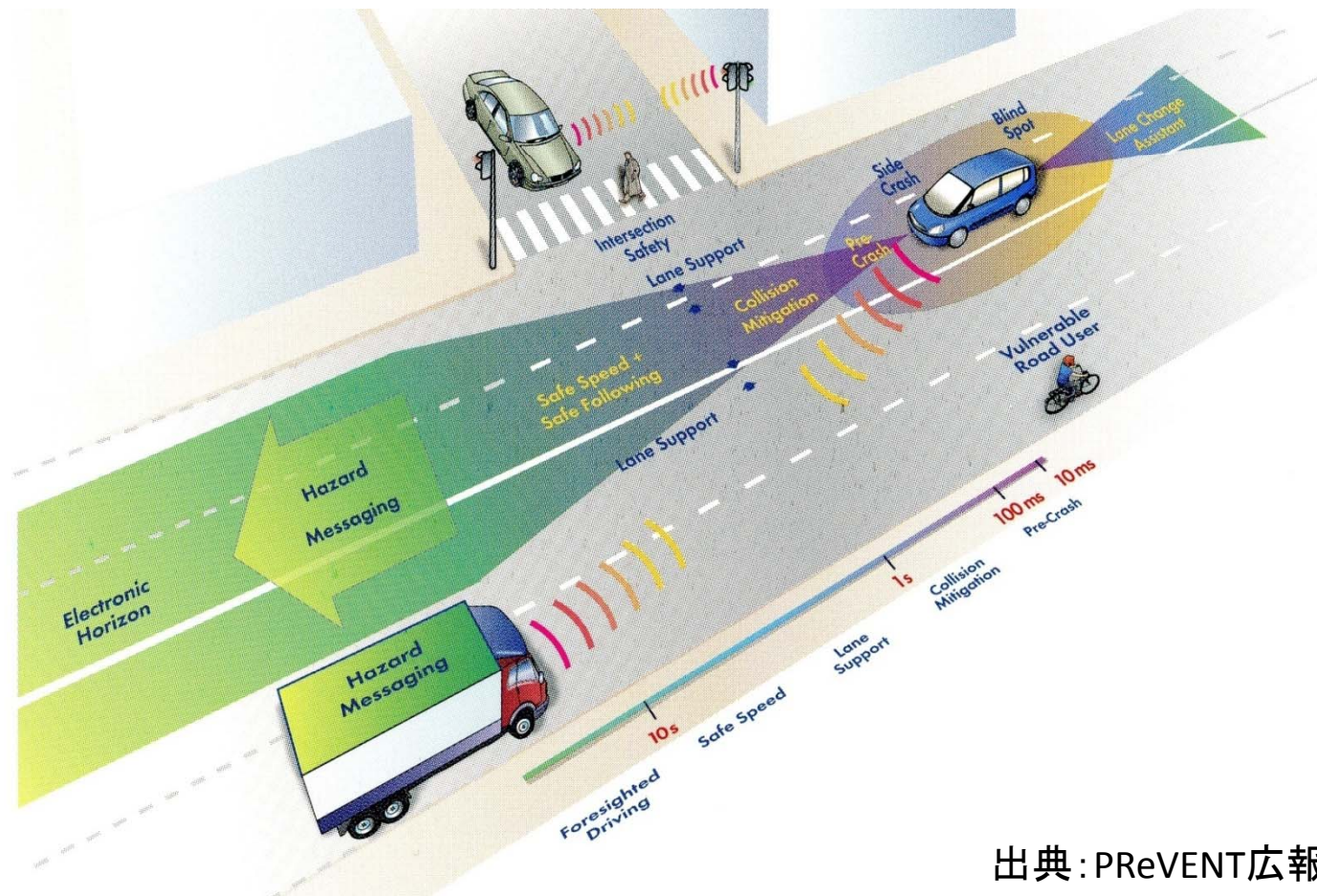
- 車両単体による安全から車車協調, 路車協調による安全へのシフト
 - 欧州: 車両安全通信(VSC)に関する活動
 - 米国: VII(車両インフラ統合)→IntelliDrive
 - 日本: ASV(車車), DSSSとSmartWay(路車)
- 環境に対する関心の急速な高まり
 - ITS世界会議でのテクニカルセッション数
 - 2006ロンドン: 2/142→2008ニューヨーク: 5/135
 - 講演におけるITSのキーワードの順
 - 2008年3月のECヤスカライネンの講演: “渋滞”, “エネルギー効率と排気”, “安全”の順



欧州のITSプロジェクト

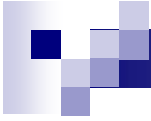
- **eSafety政策(2002年11月発表)**
 - 2010年までにEUの死者数半減
- **第6次フレームワーク(2003-2007)**
 - プロジェクト(IP): PReVENTなど
 - 特徴: 安全の重視
 - 通信技術による予防安全システム: VSC (Vehicle Safety Communications)
- **第7次フレームワーク(2008-2011)**
 - プロジェクト: HAVE-itなど
 - HAVE-it: Highly Automated Vehicles for Intelligent Transport
 - 目的: 予防安全
 - ドライバが存在することを前提とした自動化

PreVENTの概念図: “Virtual Safety Belt”



出典: PreVENT広報資料

【名城大学津川教授発表より】



米国のITSプロジェクト

- **AHSプロジェクト終了(1998初め)**
- **IVIプロジェクト(1998-2005)**
 - 目的: 予防安全, 近い将来の実用化, 日本のASV相当
 - 対象: 乗用車, トラック, バス, 特殊車(除雪車)
 - 機能: 衝突警報, 車線逸脱警報, 歩行者・乗降者検出, プレシジョンドッキング, レーン位置表示
- **IVI後(2005-) (※IntelliDriveとして継続)**
 - **VII**(Vehicle Infrastructure Integration)
 - **IVBSS**(Integrated Vehicle-Based Safety Systems)
 - **CICAS**(Cooperative Intersection Collision Avoidance System)

車インフラ協調の 運転支援

- 米国IVIでのカリフォルニアPATH
 - IDS: 交差点判断支援
 - 路車協調による交差点事故防止
 - 路から車両検出(レーダ, ループディテクタ)
 - 車車間, 路車間通信によるGPSデータ送受
 - 車車間通信: IEEE802.11a



2003年6月のデモ

日本のITSプロジェクト

■ 目的: 車車協調, 路車協調による安全

出典: ITS Handbook
2007-2008

■ UTMS (Universal Traffic Management Syst

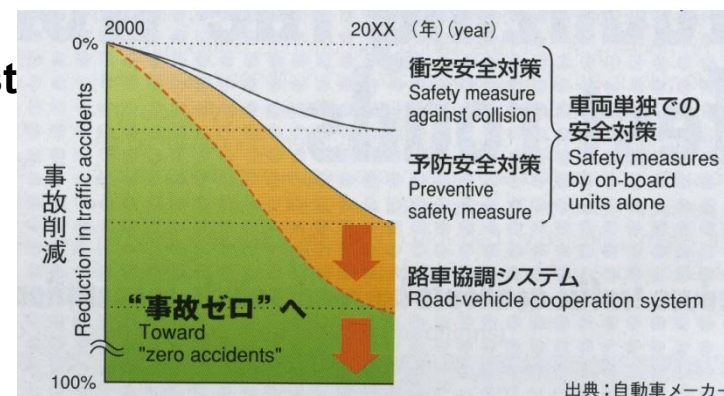
- 警察庁のITSプロジェクト
- DSSSなど11のサブシステム

■ Smartway

- 国土交通省のITSプロジェクト, 路車間通信, インフラ指向

■ ASV (Advanced Safety Vehicle)

- 国土交通省のITSプロジェクト, 車車間通信, 車両指向



臨海副都心地区周辺の実証実験システム

(合同実証実験参加企業:42社)

路車協調・車車間通信	実験システム	備考
DSSS 一般道の 路車協調システム Driving Safety Support Systems	(a)右折時衝突防止支援システム (b)歩行者横断見落とし防止支援システム (c) 左折時衝突防止支援システム (d) 信号見落とし防止支援システム (e) 出会い頭衝突防止支援システム (f) 出会い頭自転車衝突防止支援システム (g) 一時停止規制見落とし防止支援システム (h) 追突防止支援システム	*1:DSSS一部システムでは、 光ビーコン対応のVICS 搭載機向けの情報も送信 *2:ASVは、DSSSの 光ビーコンからの情報を 位置標定に利用
ASV 車車間通信システム Advanced Safety Vehicle	(i) 追突防止システム (j) 出会い頭衝突防止システム (k) 右折時衝突防止システム (l) 左折時衝突防止システム (m) 緊急車両情報提供システム	*3:連携システム (d)(h)(n)一般道の路車協調 システムと首都高速道路の 路車協調システムの連携
Smartway (AHS) 首都高速道路の 路車協調システム Advanced Cruise-Assist Highway Systems	(n) 前方障害物情報提供システム (o) 前方状況情報提供システム (p) 合流支援情報提供システム (q) 電子標識情報提供システム	(e)(g)(j)一般道の路車協調 システムと車車間通信 システムの連携

SAN DIEGO DEMO '97



開催時期: 1997.8.7 ~ 8.12

開催場所: サンディエゴ

**Miramar Community College,
Interstate 15 (HOV Lane)**

内容:

**(1) Multi-Platform (CMU/GM/
Houston Metro)**

(2) Platooning (UCB/Buick)

**(3) Maintenance (Caltrans/
Lockheed Martin)**

**(4) Commercial Vehicle-Truck
(Eaton Vorad)**

**(5) Control Transition (Honda R&D
North America)**

**(6) Radar Reflective Tech.
(Ohio State Univ.)**

**(7) Evolutionary
Deployment (Toyota)**



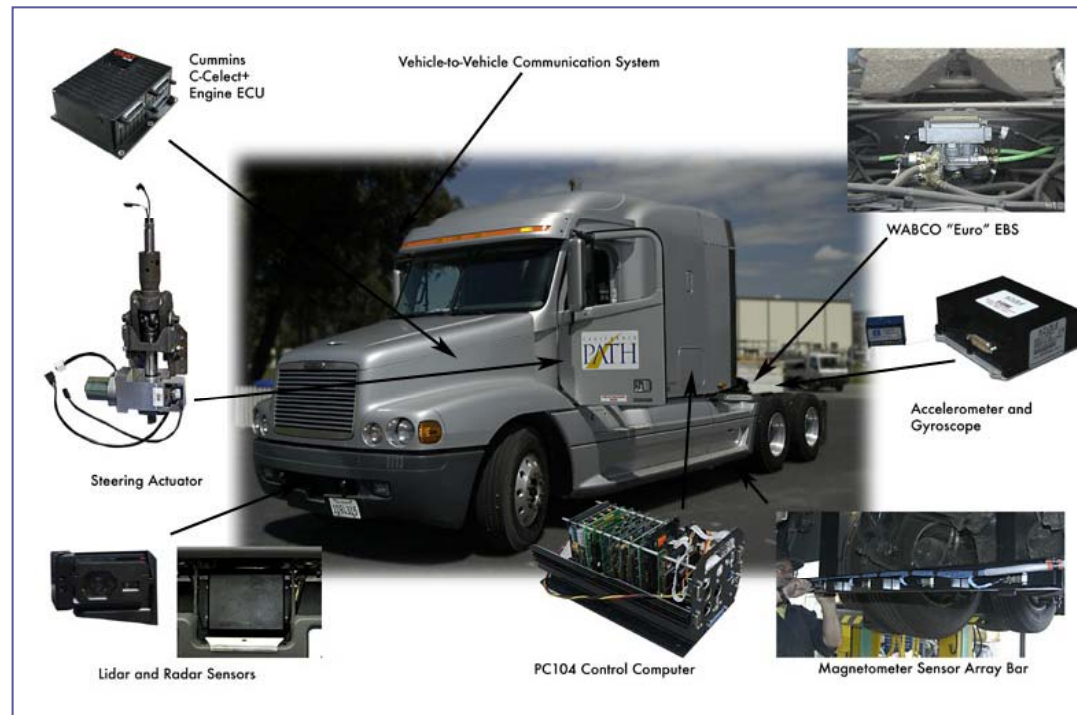
PATH(UCB) 隊列走行システム

1. 目的 トラックの安全性向上と省エネ化

2. 主な機能

(1)磁気ネールを利用した自動操舵制御

(2)近接車間距離での隊列走行制御



【東京大学須田教授プレゼンより】

「Urban Challenge」とは無人自動車による市街地走行レース

■ アメリカ Urban Challenge の概要

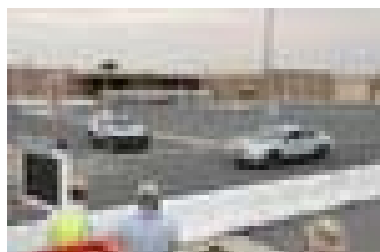
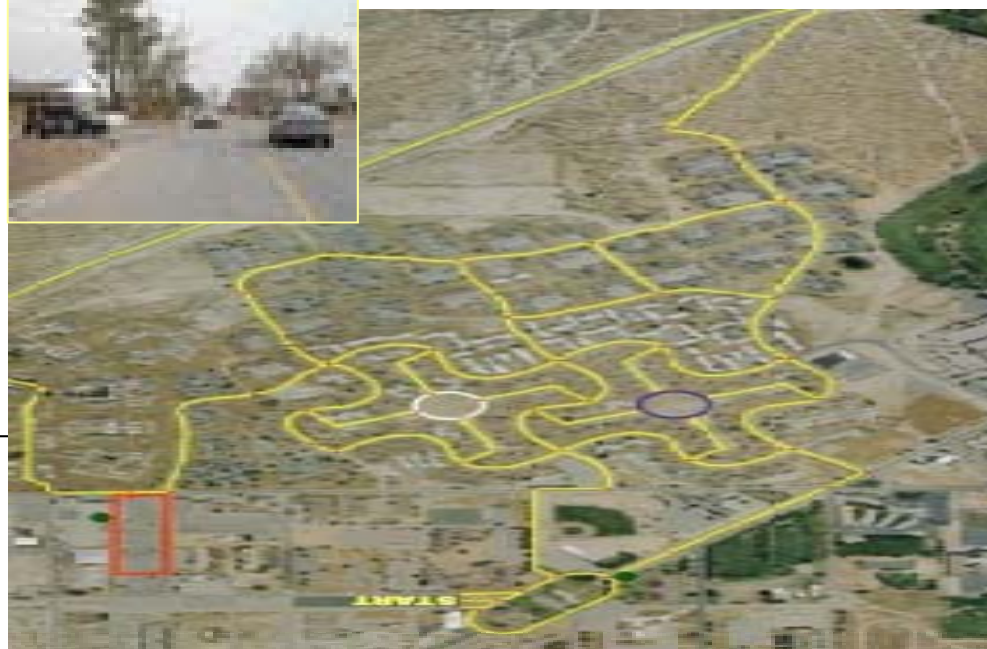
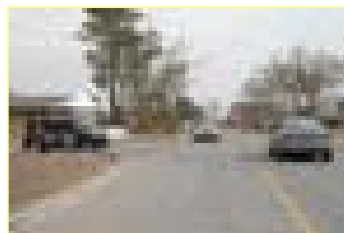
目的: 2015年までに地上戦闘用車両の1/3を無人化するための技術開発の一環として、DARPAが無人自動車レース及び技術開発支援を実施

参加チーム: 89チーム

その後、事前テスト、準決勝の後、11チームにより決勝戦が2007年11月3日に加州ビクタービルにて開催

コース: 1周約4マイルのコースを
約60マイル無人走行

- ・交差点(信号なし)
- ・交通標識(停止線、一時停止)
- ・駐車車両
- ・白線あり/なし道路



AHS(自動運転道路システム)公道実験

製作者	車両概観	技術概要
CMU (優勝)		・レーザレンジファインダー:18個 ・レーダ ・単眼ビジョンシステム ・GPS+デジタル地図 
スタンフォード大 (2位)		・レーザレンジファインダー:6個 ・レーダ:2個 ・単眼ビジョンシステム ・GPS+デジタル地図 
バージニア TECH社 (3位)		・レーザレンジファインダー:2個 ・単眼ビジョンシステム:2個 ・GPS+デジタル地図 

【東京大学須田教授プレゼンより】

AHS(自動運転道路システム)公道実験



開催時期: 1996年9月19日

開催場所: 小諸市 上信越自動車道

主催(当時): 建設省土木研究所、
共同研究企業

内容:

(1) 自動走行機能: LCXからの指示速度で
レーダ制御を行いながら11台の
プラトーン走行

(2) 安全走行システム機能実験

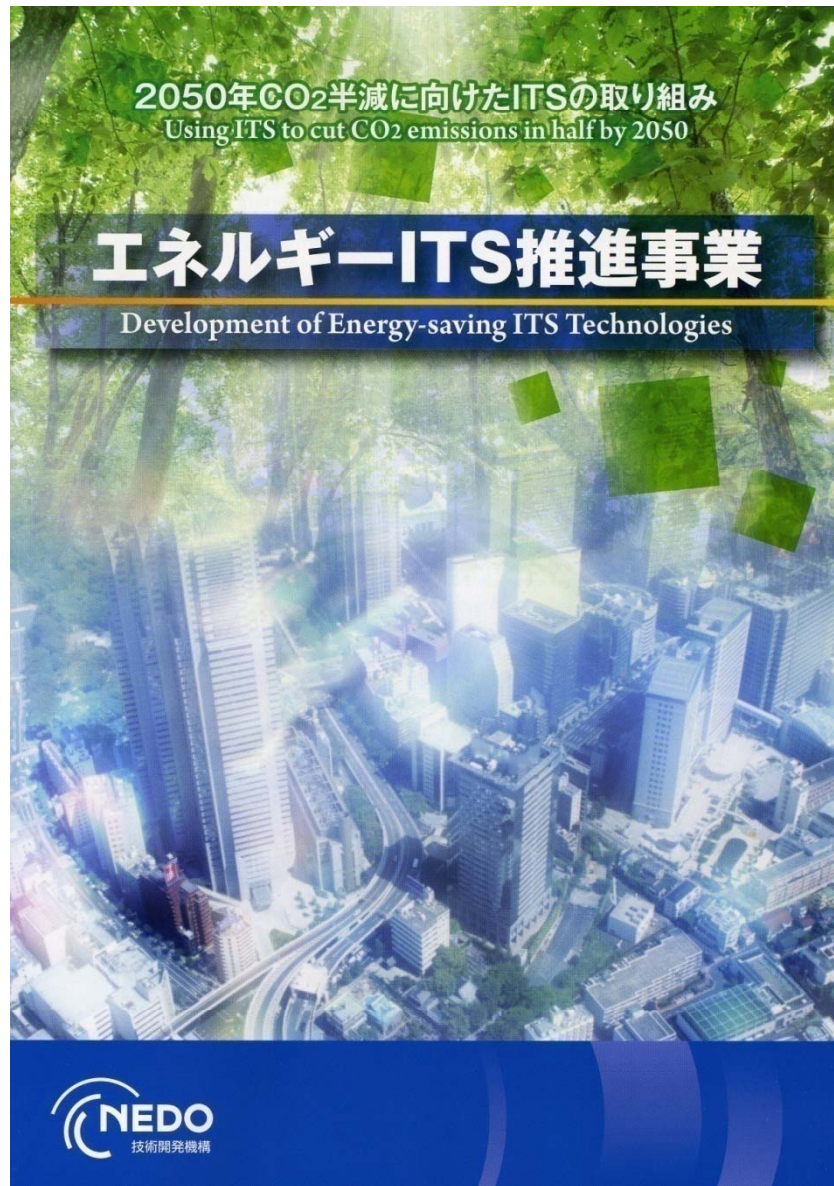
- ① 上限速度保持機能
- ② 指示速度対応オートクルーズ機能
- ③ 車線逸脱警告機能
- ④ 車間維持機能
- ⑤ 自動停止
- ⑥ 前方道路危険警告機能



各自動運転システムでの技術比較まとめ

	IMTS	PATH(隊列)	シヨファー: Two-Bar (後続車)	CMU/Stanford	NEDO-JARI
走行経路生成	OFFライン	なし	なし	ONライン	ONライン
絶対位置検出	なし	なし	なし	GPS	GPS+IMU
縦方向位置検出	磁気センサ	磁気センサ	なし	GPS	GPS+IMU
レーンマーカ	磁気ネイル	磁気ネイル	なし	白線、路肩	白線、路肩
横位置検出方式	磁気センサ	磁気センサ	車両マーカ + 画像認識	・画像認識 ・レンジファインダ	・画像認識 ・レンジファインダ
走行環境認識	なし	なし	なし	・レンジファインダ ・単眼カメラ	・レンジファインダ ・ステレオカメラ
隊列内車間距離 検出	磁気センサ	・レーザレーダ ・ミリ波レーダ	車両マーカ+画像	なし	・レンジファインダ ・GPS
車車間通信器	IMS(2.48G)	802.11b	あり	なし	あり(未定)
車両制御則	操舵:LQI 速度:スライディング モード	操舵:LQI 速度:スライディング モード	不明	不明 (調査予定)	非線形制御

エネルギーITS



■「エネルギーITS」プロジェクト

- ・経済産業省がまとめた「次世代自動車・燃料イニシアティブ」の掲げた、“世界一やさしいクルマ社会構想”の、ITSをキーとした**低炭素社会の実現**の提唱に基づくITS技術開発プログラムである「エネルギーITS推進事業構想」。

- (1) 自動運転・隊列走行に向けた研究開発
- (2) 国際的に信頼される効果評価方法の確立

- ・自動運転：交差点を含む模擬市街路の走行
- ・隊列走行：大型トラック3台隊列での走行
- ・2008年～2012年の5年プロジェクト
- ・2010年に隊列走行実験（新東名）
- ・2012年に走行実証実験

開発コンセプトとシステム概要

(1) 開発の狙い

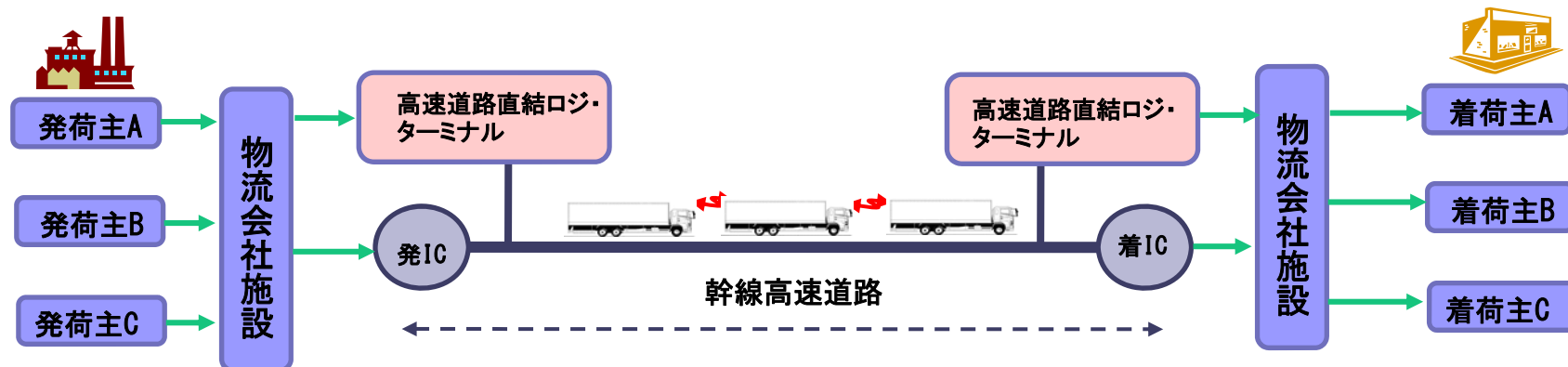
1. 自動運転技術の開発

安全性向上とCO₂大幅削減の両立
をめざした次世代自動車交通システム
を実現する自動運転技術の開発



2. 隊列走行技術の開発

高効率な幹線物流システムを実現する自動隊列走行技術の開発



自動運転・隊列走行技術の開発

研究開発の概要

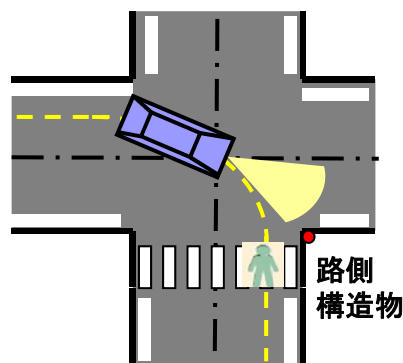
省エネ運転制御技術

燃費のよいルート案内
エコドライブの自動化
接近隊列走行による空気抵抗低減

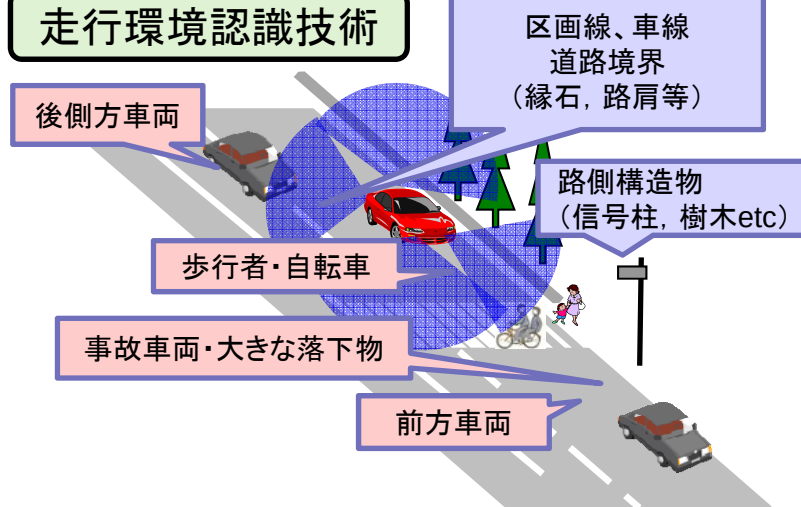


走行制御技術

高精度GPS+3次元道路地図
利用による自律走行制御



走行環境認識技術



位置認識技術



スキャナ点群
+画像合成データ



3次元デジタル地図

高精度GPS

道路空間認識

高精度自車位置検出

走路軌道生成

車車間通信技術



* Hi-Speed & Hi-reliable Vehicle to Vehicle communication



エネルギーITS事業 研究開発実施体制

■NEDOエネルギーITS技術委員会

石 太郎(委員長:早稲田大学)

津川定之(PL:名城大学)

川邊武俊(九州大学)

大聖泰弘(早稲田大学)

中川 大(京都大学)

増井忠幸(東京都市大学)

森川高行(名古屋大学)

鷺野翔一(鳥取環境大学)

天野 肇(ITS Japan)

木津雅文(自工会)

猪熊康夫(中日本高速道路)

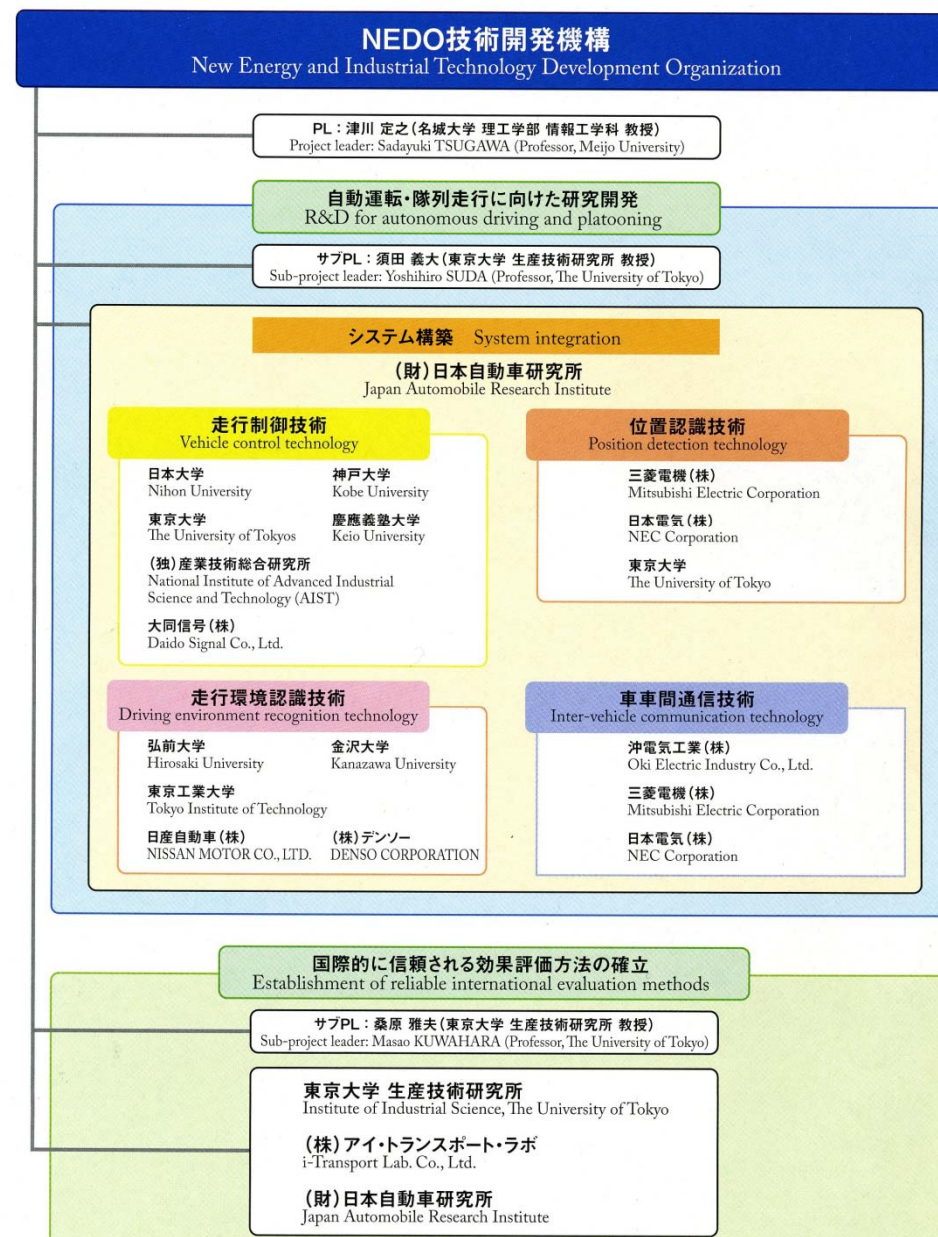
須田義大(サブPL:東京大学)

桑原雅夫(サブPL:東京大学)

■JARI自動運転・隊列走行技術委員会

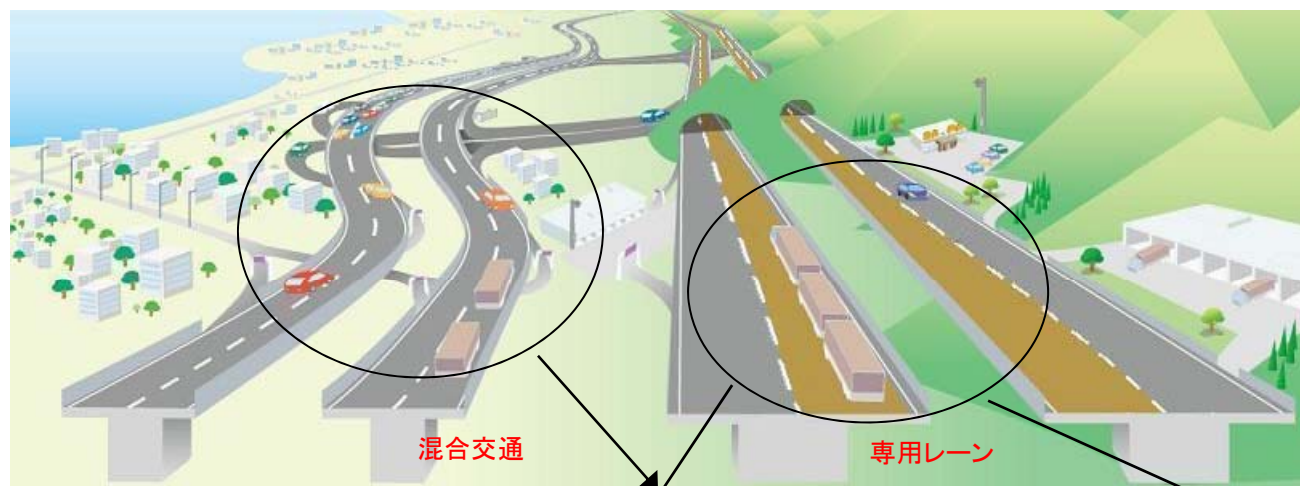
研究開発実施体制

Research and development organization



隊列走行のコンセプト

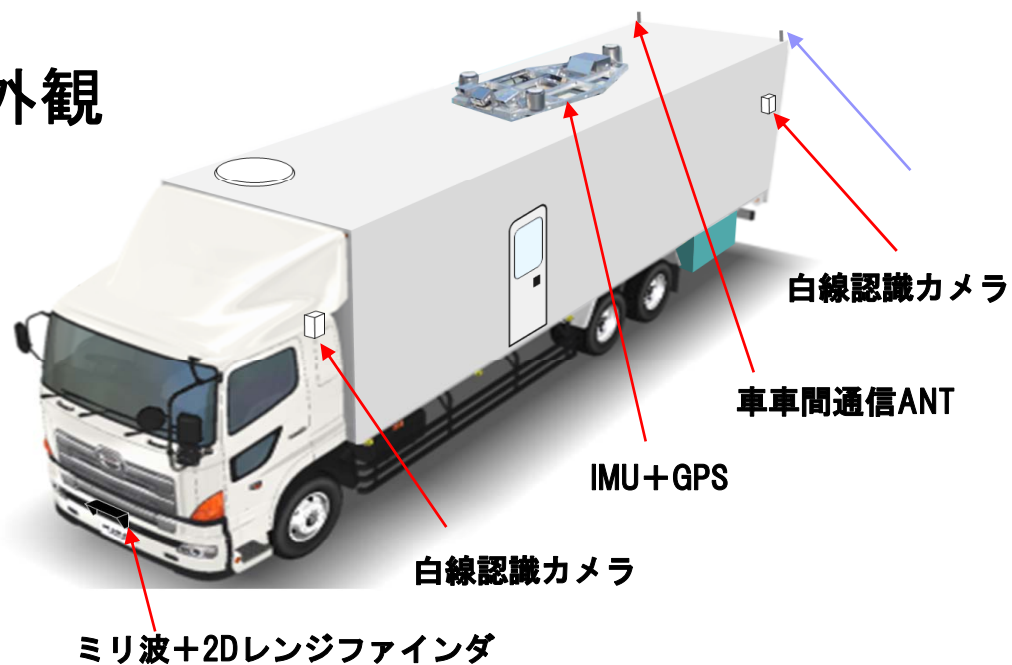
◆目的及び実用化時期を考慮し、3種類のコンセプトを策定



主な項目	ACC*によるエコドライブ	コンセプト Y	コンセプト Z(案)
コンセプトの概要	ACCによるエコドライブ	ACC及び新技術(車々間通信)を用いた全車ドライバ乗車の隊列走行	コンセプトYに加え、フェールセーフ技術を用いた先頭車のみドライバ乗車の隊列走行
狙い・目的	既存ACC追従による省エネ化(早期の実用化と普及)	混在交通での隊列走行によるトラックの省エネ化と交通流の改善	専用レーン化による高効率なトラック幹線物流の実現(省エネ化、省人化)
目標	ACC機能による効果 ・エコ運転による燃費向上 ・安全性向上・ドライバの疲労軽減	・走行抵抗による燃費向上:8~15% * 交通流改善による燃費向上予測:5%	・走行抵抗による燃費向上:18% * エコ走行による燃費向上予測:10%
隊列形態	2~3台での車群走行	3台隊列走行	3~4台の隊列走行
ドライバの有無	全車ドライバ乗車 * ACC(Adaptive Cruise Control):車間自動制御システム	全車ドライバ乗車	先頭車のみドライバ乗車 後続車:無人

実験車製作(隊列実験車の外観・荷室・構成)

外観

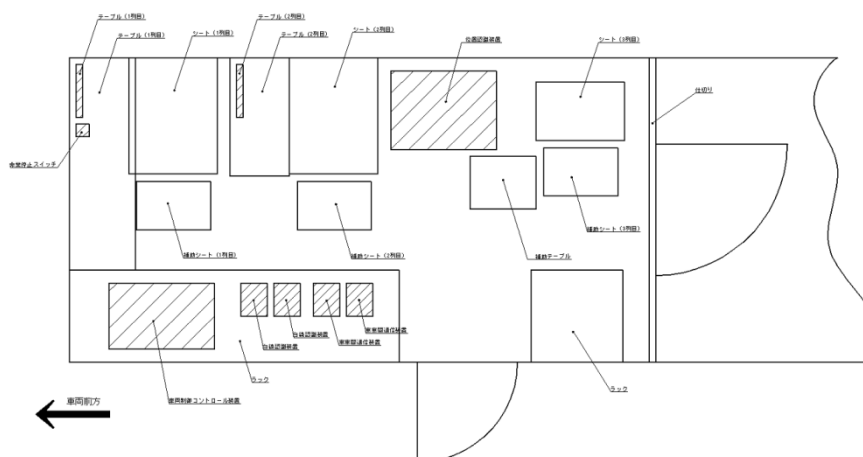


車両制御ECU



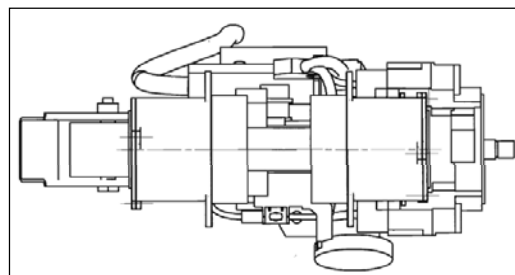
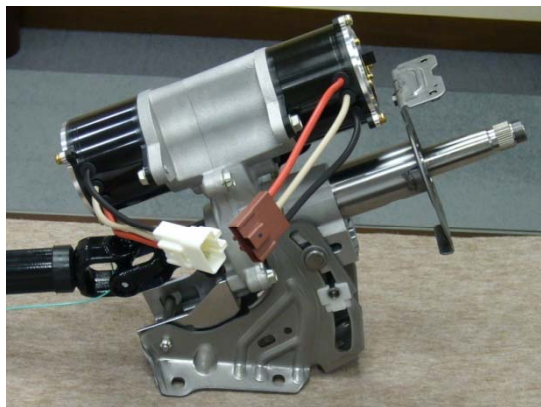
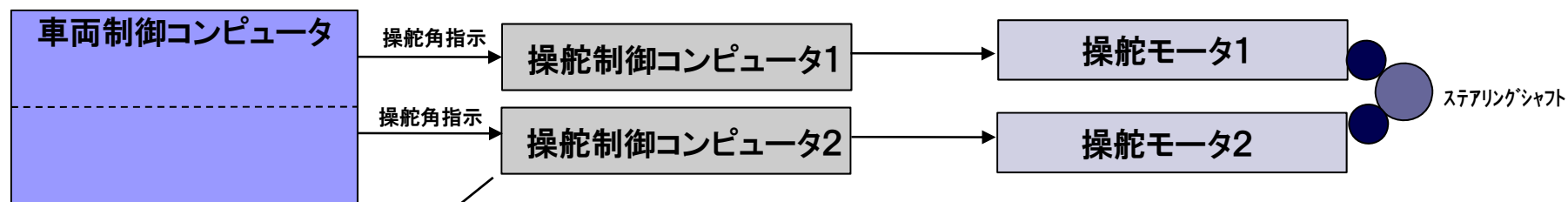
位置認識装置
(GPS+IMU+
車輪パルス)

キャビン



システムの安全性設計：自動操舵装置

■ モータおよびコントローラの並列2重化系設計



自動運転・隊列走行試乗 平成22年3月17日・産総研テストコース



【2010年3月17日石太郎撮影】

自動ブレーキ・運転支援システム (スバルレガシイ・EyeSight)

- 富士重工は2010年4月22日、ステレオカメラを用いた先進運転支援システムに、自動ブレーキによって車両を停止させる制御などの最新技術を加えた新型「EyeSight(アイサイト)」を発表した。
- アイサイトは、車両前方のお映像をステレオカメラで解析して、全車速追従クルーズコントロール機能や歩行者、自転車をも対象としたプリクラッシュセーフティ機能を実現したシステム。

【出典：日経トレンディウェブ情報】



【左 & 下の3枚は石太郎撮影
2010年5月自動車技術会展示会】

EyeSightのステレオカメラ技術

スバルは1989年からステレオカメラによる画像認識技術を独自に研究開発し続けてきました。
あらゆる人にあらゆる状況で、安心、快適のドライブを提供することができるのは、人の眼に一番近い電子の眼「ステレオカメラ」であると考えからです。

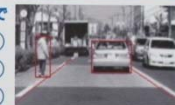
ステレオ画像認識技術 スバル独自

車両前部に搭載した、ひとつのセンサだけで

車両も歩行者も二輪車も、車線やガードレールも認識可能

物体の「距離・方向・高さ・大きさ」を判別

広い視野で近くから遠くまで、複数情報を同時に認識



人の眼と同じように全ての交通環境把握が可能



ステレオ画像認識の原理



ズレ小

遠方対象物

ズレ大

近傍対象物



同じ距離のものを抽出し対象を認識、制御に活用

実験施設(新東名試験走路 位置図)

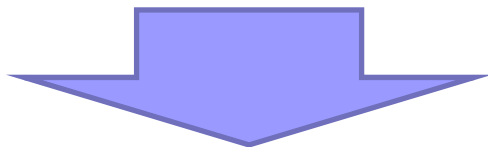




北九州での研究背景

- 渋滞をおこさない交通流の実現
- 最適な走行制御による燃費・排出ガス削減
- 安全運転を行う運転者の負荷低減

- 自動車制御技術基盤の成熟
- 北九州市カーエレC・北部九州自動車拠点



自律走行・隊列走行の研究・実証試験

北九州での交通渋滞状況



黒崎駅の交通渋滞



詳しくは画像をクリックしてPDFファイル(226KB)をご覧ください。



写真1:国道3号、黒崎駅付近の様子



写真2:開通前のイベント「パノラマウォーキングin黒崎バイパス」の様子(平成20年10月12日)

(北九州市ホームページ)



九州・ひびき自律走行研究会

- 対象：普通自動車、電気自動車
一般道路
- 目的：環境貢献（燃費・排ガス削減、渋滞緩和）、安全走行、運転支援（高齢者）、自動運転
- 組織：AII早稲田、ひびきの、九州大学他、企業
- 研究課題：
 - 自律走行・隊列走行制御技術の研究
 - 車両・周囲認識高度化技術の研究
 - 安全走行・車両診断の研究
 - 車々間通信、カーナビ、ITSの利用研究
 - コンセプトカーの研究
 - 車載ECU,ソフトウェアの研究



研究課題1：自律走行・隊列走行

燃費・排ガス削減、渋滞緩和の自律走行・隊列走行

- ・先頭車両の自律運転方法
(一定速度走行、前方車両・障害物の高精度認識、
交差点での走行判断)
- ・隊列走行制御方法(車間距離の速度適応制御)
- ・隊列形成・分離方法(目的地情報交換による隊列
形成・分離アルゴリズム、車間距離の適応制御)
- ・交差点での走行制御方法(隊列分離、隊列形成、
緊急車両対応など)



研究課題2：車両・周囲認識技術の研究

- 前方車両認識（距離、速度、車線）
- 側面車両認識
- 後方車両認識
- 障害物認識（人、子供、移動体、停止車両）
- 交通信号機、標識の認識
（画像処理・ITSによる信号、車両認識）
- 車線認識（走行可能車線の認識）
- 車両位置認識



研究課題3: 安全走行・車両診断

安全走行

- 隊列走行中の表示・音表現
- 事故回避走行制御(周囲車両の走行予測)
- 隊列車両内安全走行(安全な分離方法)
- 車両故障時の安全分離、走行制御

車両診断

- 隊列前の車両診断
- 隊列中の車両診断



研究課題4:

車々間通信・カーナビ・ITS技術の応用研究

- 目的地情報の交換
- 車両位置、速度情報、車両性能情報の交換
- 前方画像情報、前方信号機情報の交換
- ガソリン残量、バッテリー残量の交換
- 車両故障情報の交換
- 車両の安全認証の交換
- 走行計画

研究課題5:

試験車両(コンセプトカー)の研究

- 電気自動車
- クリーンディーゼル車
- ハイブリット車(ディーゼルまたはガソリン)
- ガソリン自動車



ROBOCAR-G



研究課題6:

ECU・車載ソフトウェアエンジニアリング研究

- 車載ECUの検討
- 車載ソフトウェア・アーキテクチャ
- 車載ソフトウェア・デザイン
- 車載ソフトウェア・パターン
- 車載組ソフトウェア・テスト

研究会・プロジェクト

1. 平成22年度 研究会の組織(大学のみ)

コア研究会 大貝、川邊、石、鎌田、大聖、紙屋、草鹿
早大(IPS,東京)、九大

技術研究会

- (1) 自律・隊列走行技術(大貝、川邊、李他)
- (2) 周囲認識・車両認識技術(鎌田・和多田・馬場他)
- (3) 車々間通信・走行計画・インフラ協調
(石、小柳・立野・平澤他)
- (4) 車両安全診断(犬島・立野他)
- (5) 試験車(コンセプトカー)の検討(大聖・草鹿・紙屋)
- (6) ソフトウェア設計・テスト検討
(深沢、岸、鷺崎、山崎、荒木、鈴木、片山他)
北九大・九工大、熊本大・宮崎大



研究会・プロジェクト

2. コア研究会開催

- ・第1回：7月12日開催、年5回開催（北九州または東京）
- ・試験車両（普通自動車・電気自動車）の検討
- ・車両シミュレータ、シミュレーション、ロボカー等を用いた個別技術の研究
- ・次年度からの本格研究提案書の検討

3. 平成22-25年度 プロジェクト提案（外部資金）

プロトタイプ試験車両（電気自動車） H22
自律走行・隊列走行車両システムの本格試作 H23
走行試験（高速道路） H24
走行試験（一般道路） H25



自律走行・隊列走行への取り組み

- 小区域自動運転の基礎研究
- 非線形モデル予測制御による走行制御
- ロボカーによる隊列走行実験

小規模区域の自動運転基礎研究

遠方の駐車場から
近くの駐車場までを
自動運転

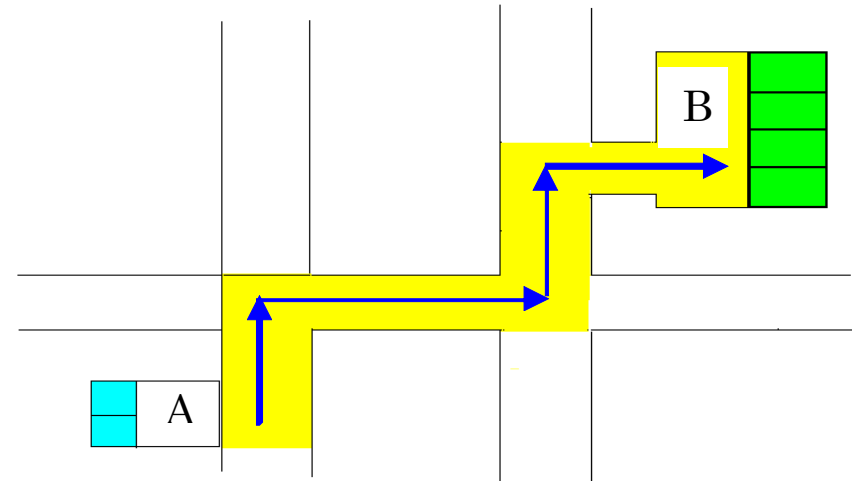


図1 駐車場Aから駐車場Bまでの移動路線図

- 自動車走行制御技術(モデル予測制御)
- 周囲環境認識技術(信号認識など)
- インフラ協調技術(ITSとの協調)
- 自動運転の評価(シミュレーション、ミニカー)

自動運転に必要な条件

自動車の自動運転に必要な条件は、以下に挙げるように非常に広範囲に及び、解決すべき問題は多い。以下の表に自動運転に必要な条件を挙げる。

自動走行させる主な項目	主な内容
車線認識	GPS利用、カーナビによる地図の利用、センサ、画像認識
障害物認識	障害物、車両、信号機、交通標識の認識
車両速度認識	センサや画像認識による、前方車両・対向車両の車間距離・相対速度の把握
車両同士のネットワーク通信	車々間通信による道路交通情報の提供
天候条件が悪い時に安全走行する事	天候が良い時と同様に他車両の認識が可能かどうか確認
道路状況	勾配の高い道路の走行、急カーブのある道路、交通量の多い道路で安全走行できるか確認
実際の交通ルールに従った走行	標識認識した時に指定した速度で走行、高速道路のICにおける合流の優先順位
インフラ整備	自動走行車両が事故を起こさないようにする道路作り

シミュレーションによる自動運転評価

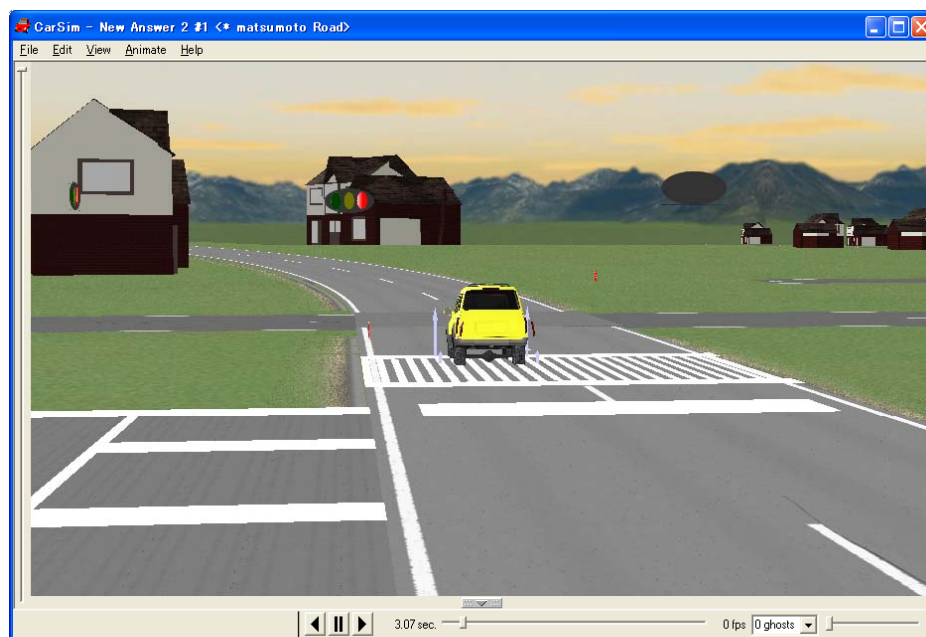
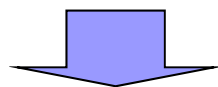


図2 駐車場Aから出発(走行中)



ロボカーでの実証試験(予定)

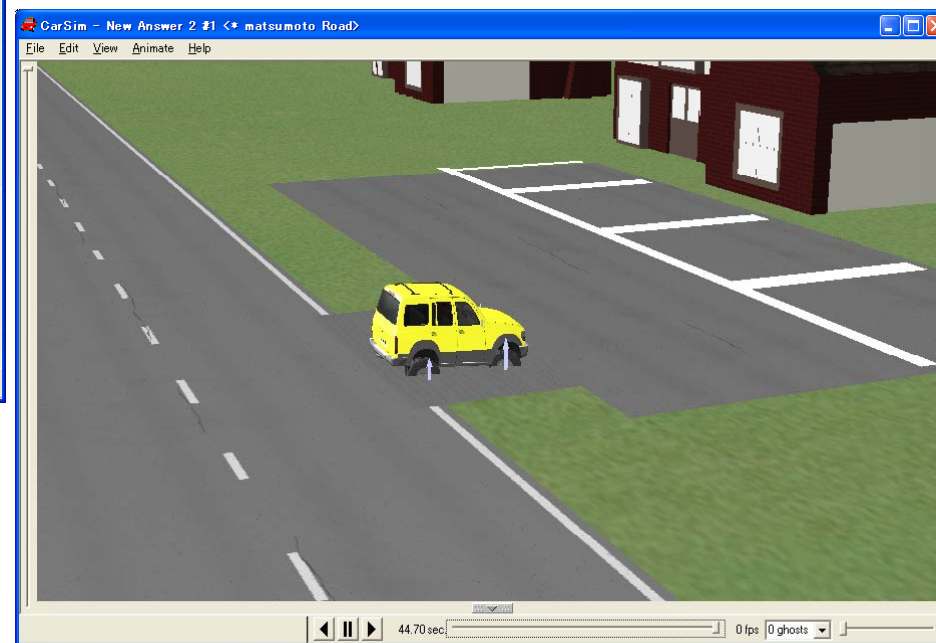
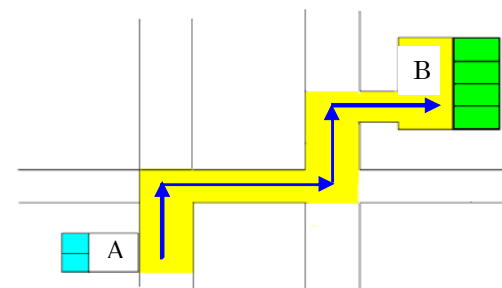


図3 目的駐車場Bに到着

後方車両BのSimulinkモデル図

図7のモデル図の右上のボックスは、車両Bが前方を走行する車両Aとの車間距離と車両速度を読み取り、指定した車間距離を保つように速度制御を行っている。また車両位置に応じた自車両Bの速度制御を行っている。

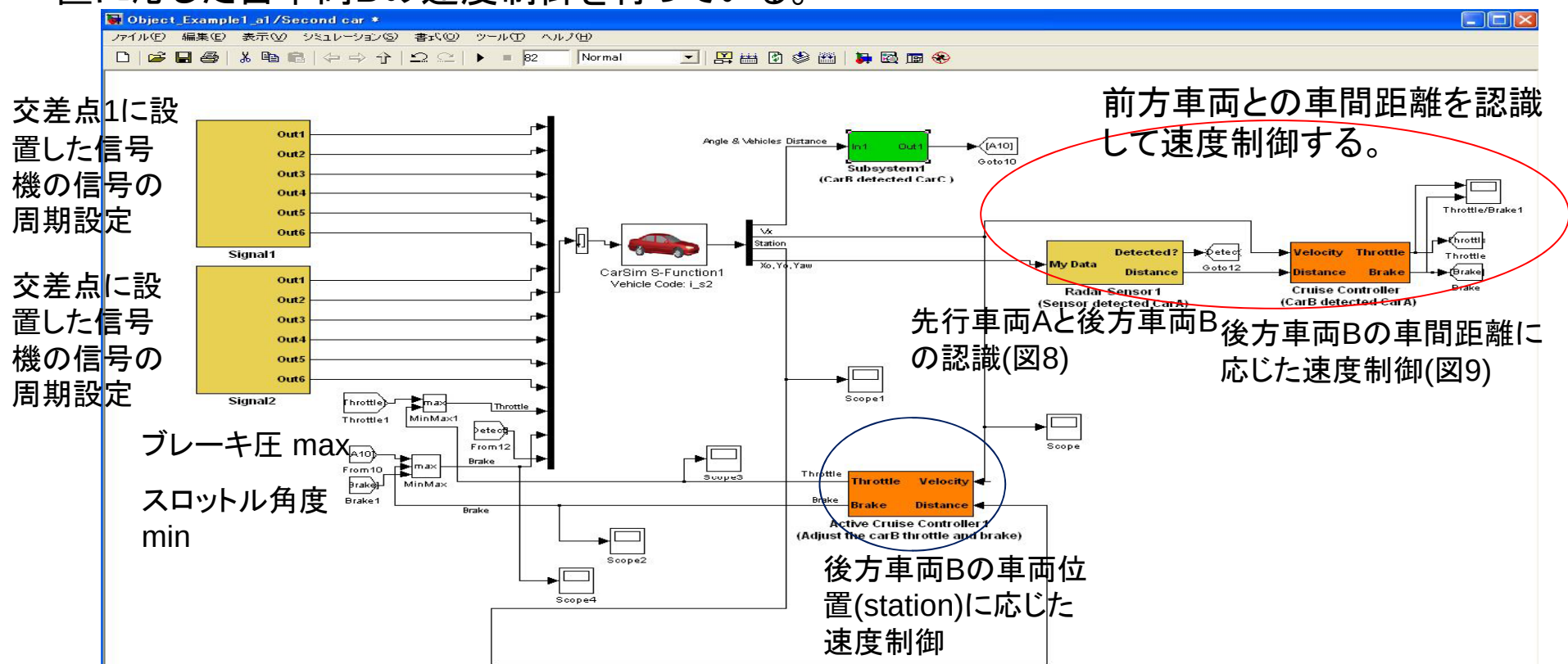


図7 Simulinkを用いて、車両Aの後方を走行させる車両Bのモデル図

隊列自動走行のシミュレーション

(自動車シミュレーションソフト「Carsim」)





非線形モデル予測制御による走行制御

■ モデル予測制御問題

予測モデルの一般的な表現

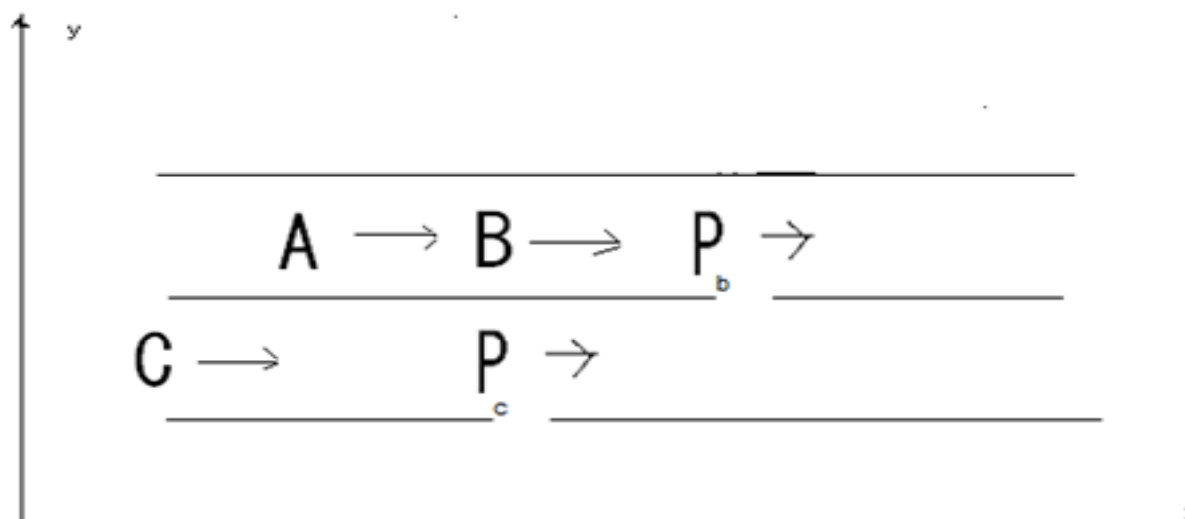
$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)) \quad (1)$$

モデル予測制御では、各時刻 t において「 t 、 $t+T$ 」にわたる以下の評価関数を最小にする最適制御問題を解くことになる。

$$J(u(\tau)) = \int_t^{t+T} L(x(\tau), u(\tau), \tau) d\tau \quad (2)$$

走行制御(車線変更: 隊列離脱)

走行問題設定



- 図のように車は二車線に走行している場面(ここでは単純な直線道路を走行する)と設定する
- A車は自車として、他車BとCの動きにより経路を選択する。
- P車は他車の先行車両である。

走行制御における予測モデル

モデル予測制御

予測モデル:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)) \quad (1)$$

走行制御問題

自車

縦方向:

$$\dot{x}_0 = v_0 \quad \swarrow 13 \searrow$$

$$\dot{y}_0 = u_x$$

横方向:

$$\dot{y}_0 = -\omega y_0 + \omega u_y \quad (14)$$

車が左車線中央にいるときを $y_0=1$ 、
車が右車線中央にいるときを $y_0=-1$
 $-1 \leq y_0 \leq 1$ に正規化する

他車

縦方向:

$$\dot{x}_i = v_i \quad (15)$$

$$\dot{y}_i = k_1^i e_r^i + k_2^i e_{rv}^i + k_v^i e_v^i$$

$$e_r^i = x_{p_i} - x_i - h_i v_i$$

$$e_{rv}^i = v_{p_i} - v_i \quad (16)$$

$$e_v^i = v_i^d - v_i$$

自律走行・隊列走行制御

モデル予測制御

評価関数:

$$J(u(\tau)) = \int_t^{t+T} L(x(\tau), u(\tau), \tau) d\tau \quad (2)$$

走行制御問題

1. 加速度が小さい

$$L_x = \frac{1}{2} u_x^2 \quad (17)$$

2. 頻繁に車線変更を行わない

$$L_y = \frac{(u_y - y_0)^2}{2} \quad (18)$$

3. 希望速度を維持する

$$L_v = \frac{(v_0 - v_0^d)^2}{2} \quad (19)$$

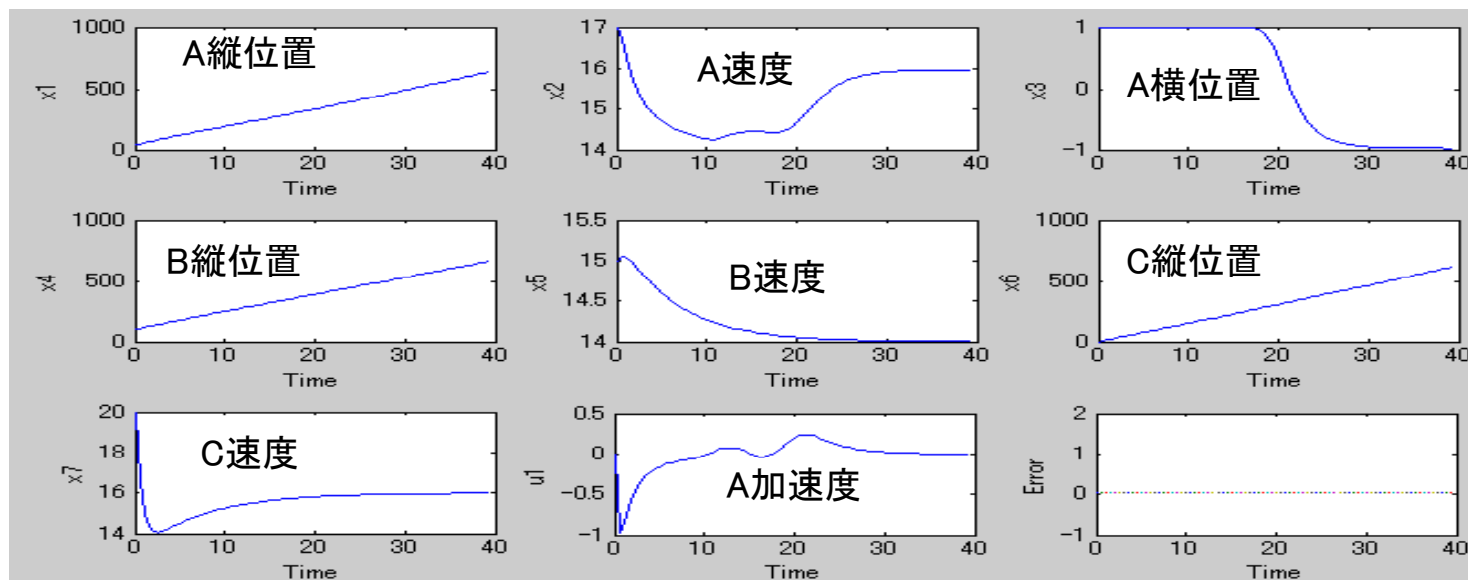
4. 他車に近づきすぎない $L_s = c(y_0)(l_{Lf} + l_{Lb}) + c(-y_0)(l_{Rf} + l_{Rb}) \quad (20)$

評価関数:

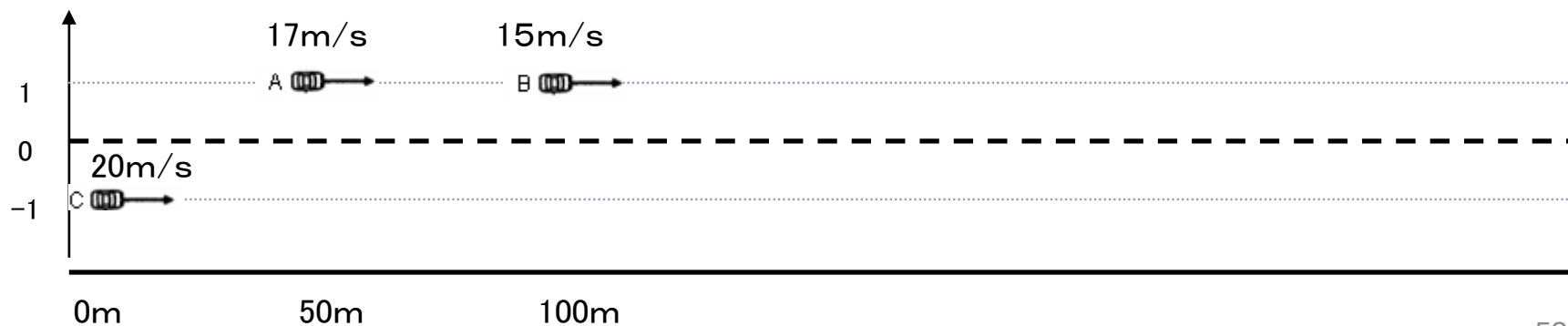
$$L = w_x L_x + w_y L_y + w_v L_v + w_s L_s \quad (21)$$

この問題を高速解法を利用してAutoGenU（非線形RH制御ために自動的にシミュレーションプログラムを生み出すMathematicaプログラム）でシミュレーションする。

自律走行制御(隊列離脱)ーシミュレーション結果



シミュレーション結果



渋滞情報、信号機情報を用いた走行制御

モデルの検討

$$e_r^i = x_{p_i} - x_i - h_i v_i$$

$$e_{rv}^i = v_{p_i} - v_i \quad (16)$$

$$e_v^i = v_i^d - v_i$$

■ 渋滞

$$v_p = x_p - a_1 \times \frac{1}{1 + \exp(-\lambda_1(t - T_1))} \quad (24)$$

a_1, λ_1 渋滞ワ企ケアフ女ヨッ (木)

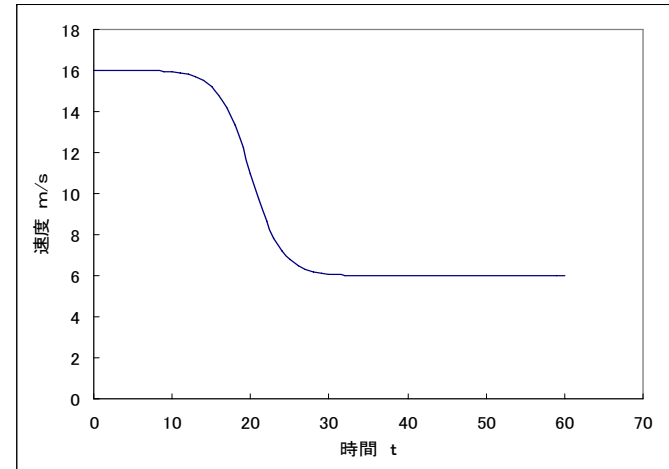
T_1 までに速度が変化せず、
 T_1 から速度が低下する

■ 信号

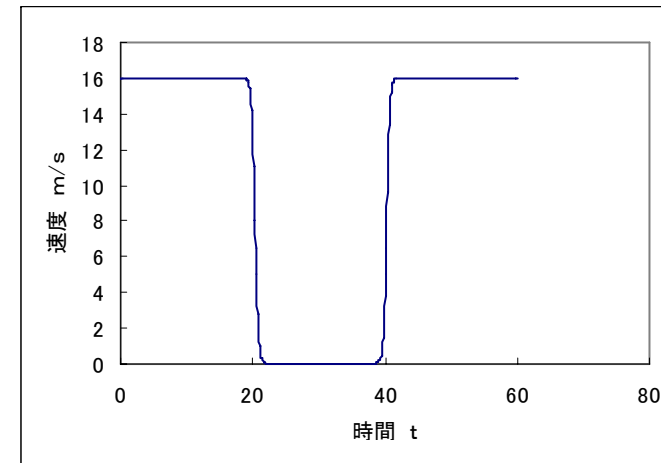
$$v_p = a_2 \times \left(\frac{1}{1 + \exp \lambda_2 (T_2^2 - (T_3 - t)^2)} \right) \quad (25)$$

a_2, λ_2 渋滞ワ企ケアフ女ヨッ (木)

$T_3 - T_2$ までに速度が変化せず、
 $T_3 - T_2$ から信号が赤になって速度が低下し、
 $T_3 + T_2$ から信号が青になって速度があがる



$$v_p = 16 - 10 \times \frac{1}{1 + \exp(-0.5 \times (t - 20))}$$



$$v_p = 16 \times \left(\frac{1}{1 + \exp 0.5(10^2 - (30 - t)^2)} \right)$$

渋滞情報を用いた走行制御

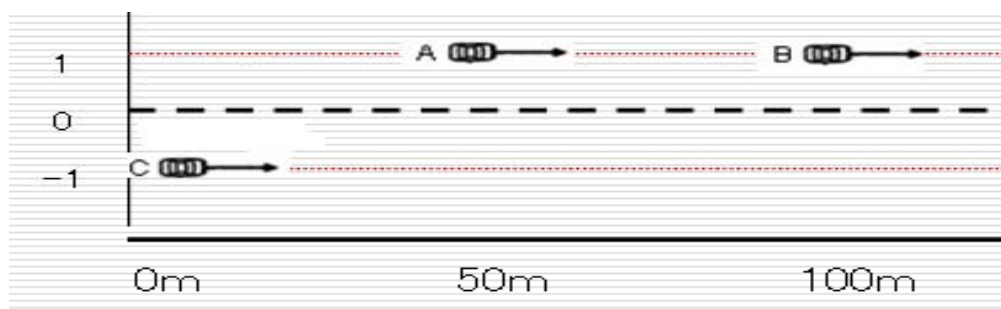
- ①両車線とも渋滞になっている場面と
- ②左車線渋滞、右車線渋滞でない場面を設定した。

表2 シミュレーション初期値(①)

	初期速度	初期位置 (横)	初期位置 (縦)
A車	15m/s	1	50m
B車	18m/s	1	100m
C車	17m/s	-1	0m

表3 シミュレーション初期値(②)

	初期速度	初期位置 (横)	初期位置 (縦)
A車	25m/s	1	50m
B車	24m/s	1	100m
C車	26m/s	-1	0m



自車は0.1秒ごとに更新される最適解に従って運転し、予測
ホライズン長Tは8秒に設定し、50秒間シミュレーションを行った。

渋滞情報を用いた走行制御

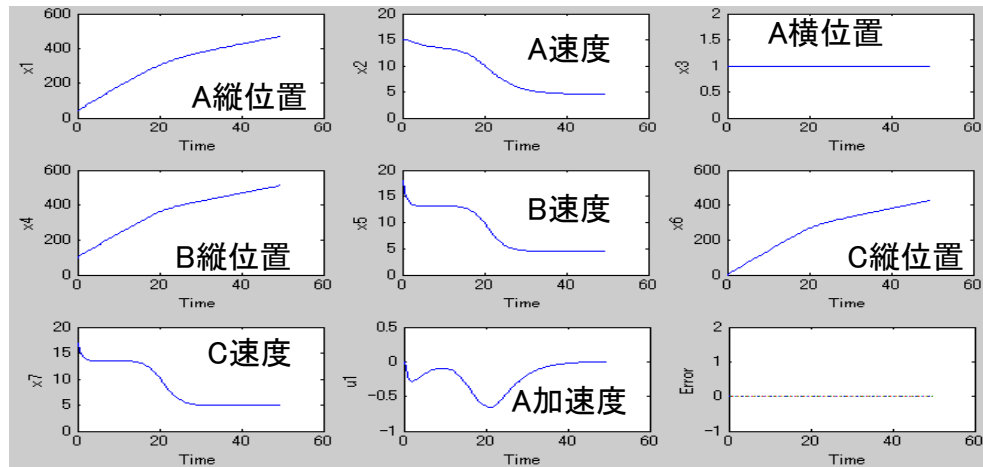


図5 両車線とも渋滞

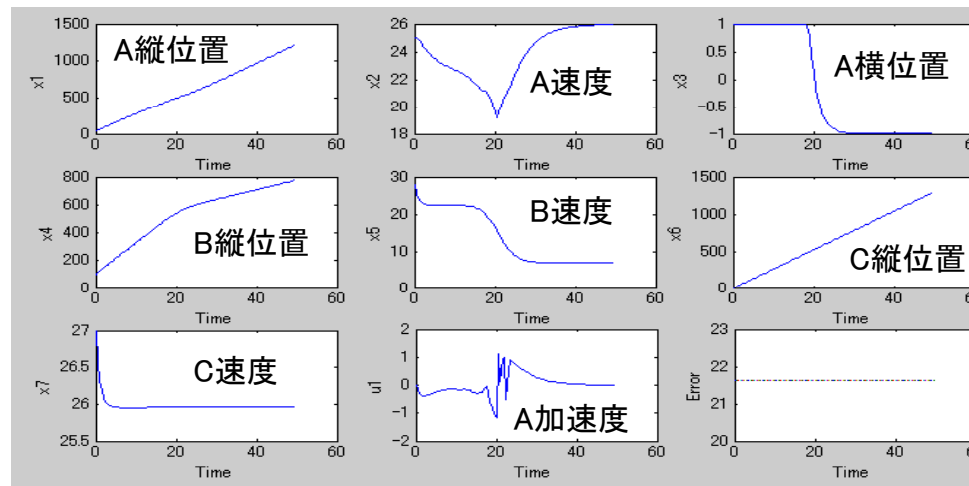
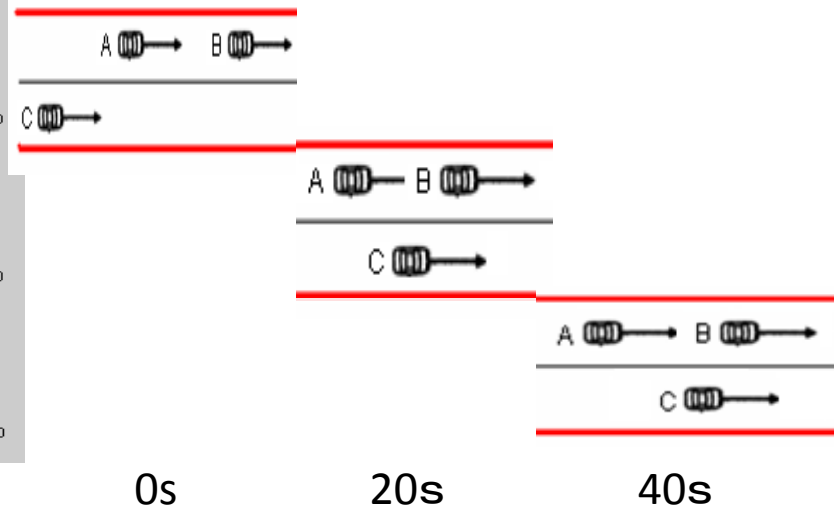
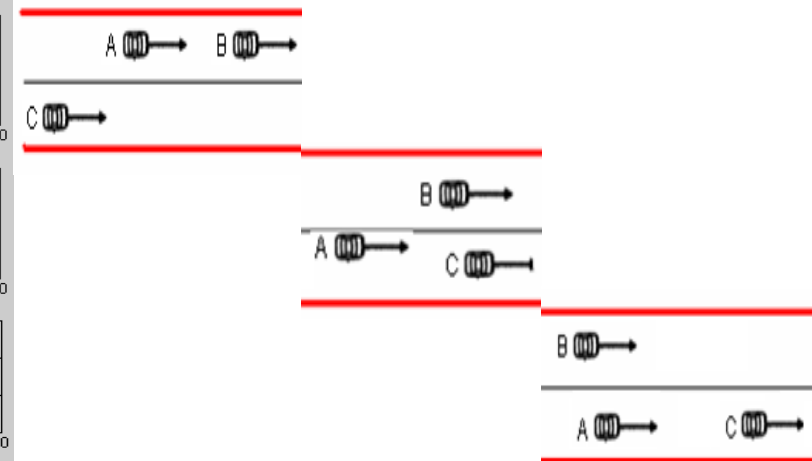
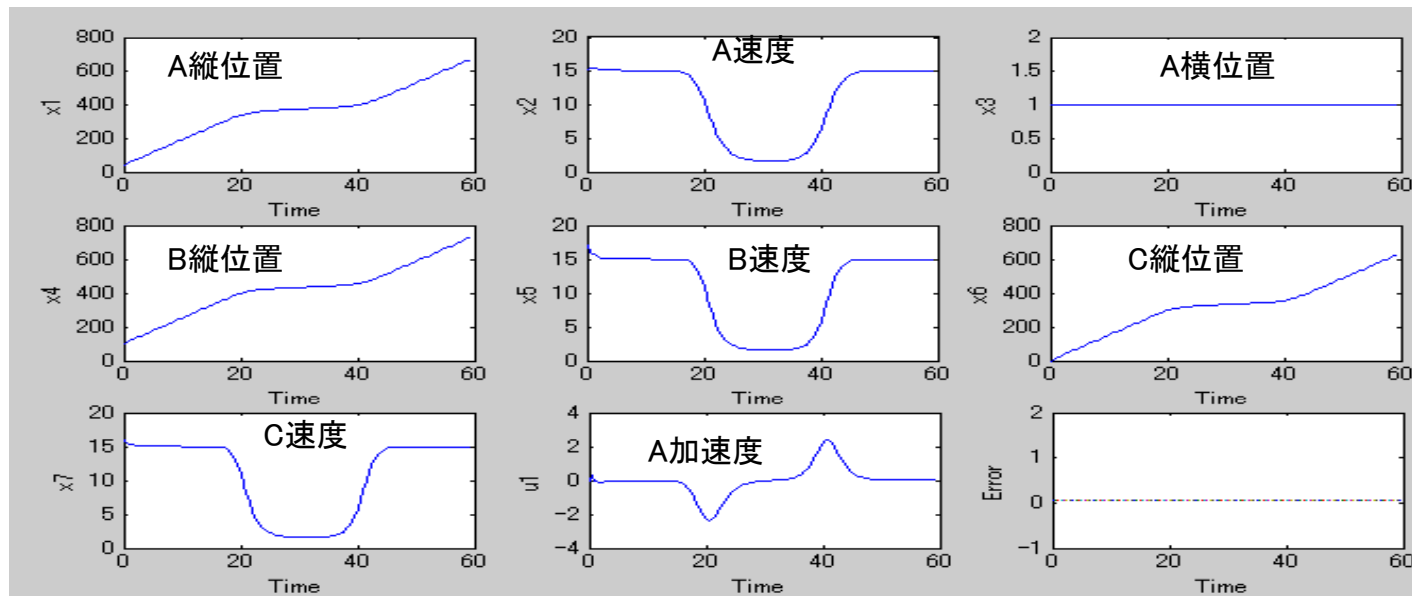
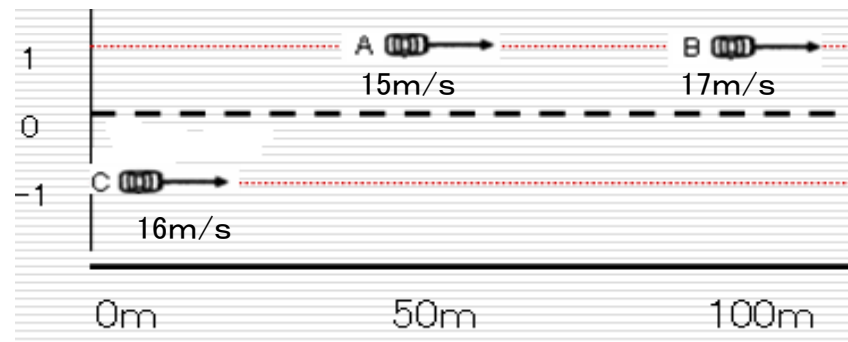


図6 左渋滞、右渋滞でない



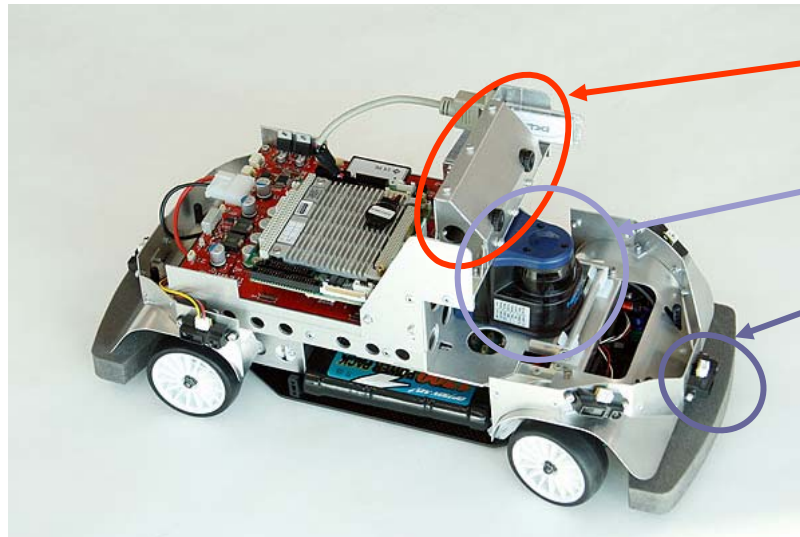
信号機情報を用いた走行制御

初期値



ロボカーによる隊列走行制御

ロボカーの構成



(ZMP社製)

センサ

- ステレオカメラ
- レーザレンジファインダ
- 赤外線測距センサ(×8)

アクチュエータ

- 操舵用サーボモータ
- 駆動用DCモータ



隊列走行アルゴリズム

先行車

レーザレンジファインダにより車両前方-90～90[deg]の範囲をスキャンし、障害物の位置と角度を検出

●車速

一定速度で前進（障害物までの距離が20[cm]以上の場合）

一定速度で後進（障害物までの距離が20[cm]以内の場合）

●ステアリング

障害物までの距離が60[cm]以内になると、障害物までの角度に応じて操舵

後続車

レーザレンジファインダにより車両前方-20～20[deg]の範囲をスキャンし、先行車までの距離と角度を検出

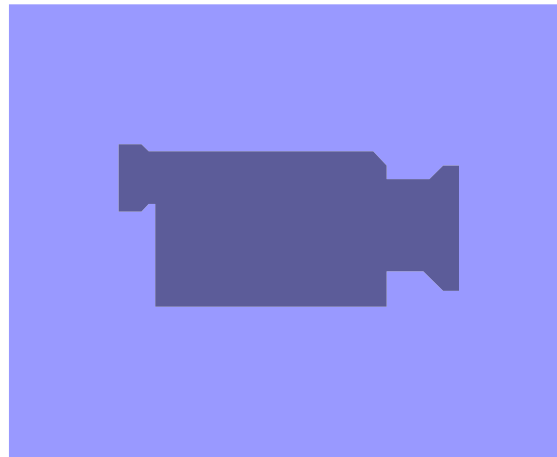
●車速

目標車間距離との偏差に応じた速度で駆動

●ステアリング

先行車との角度偏差に応じて操舵

シーン1: 単独走行





シーン2: 隊列走行(障害物なし)



シーン3: 隊列走行(障害物あり)





まとめ

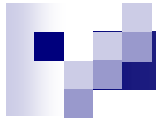
以下の内容について紹介した。

- エネルギーITSと自律走行制御研究動向
- 九州・ひびきの自律走行研究会
- 自律走行・隊列走行の研究課題
- 非線形モデル予測制御による走行制御
- 車両シミュレータによる自動運転
- ロボカーによる隊列走行



研究課題のまとめ

- 自律走行・隊列走行技術の開発と実証研究
 - 乗用車・電気自動車を対象
 - 一般道路を対象
-
- 隊列走行制御、車周辺認識
 - 安全走行・診断、車々間通信・ナビ・ITS応用
 - 試験車（コンセプトカー）、制御システム・ソフト



ご清聴ありがとうございました