

2. 研究開発項目①「自動運転・隊列走行技術の研究開発」

実施先：(財) 日本自動車研究所、日本大学、神戸大学、(独) 産業技術総合研究所、弘前大学、日産自動車(株)、東京大学、(株) デンソー、東京工業大学、金沢大学、日本電気(株)、三菱電機(株)、沖電気工業(株)、慶應義塾大学、大同信号(株)

2.1 研究開発の位置づけ、必要性

(1) プロジェクトの目的および意義

本プロジェクトは、複数台のトラックを近接車間距離で安全に車群走行できる隊列走行により高速道路での省エネ運転を実現するとともに、隊列走行に搭載された制御装置を使用して、発荷主または着荷主と高速道路のICまでの一般市街地路でのエコ走行運転制御を可能とするシステムを開発することにある。本プロジェクトでの技術開発を通じて実現される隊列走行の実現イメージを図Ⅲ.2-1に示す。

本プロジェクトで開発されたトラックの隊列走行は主に高速道路を使用した幹線物流システムへの利用が期待されている。安全や環境などの社会的問題に加え、人件費や燃料費等の物流コスト問題やドライバーの高齢化やドライバー不足等の労働環境等、現在我が国のトラック貨物輸送事業を取り巻く環境は極めて厳しく、これらの諸課題を解決する新しい貨物輸送システムが求められており、自動運転・隊列走行はこの問題を解決する有力な手段と考えられている。

現在このような観点より、内閣府主管の総合科学技術会議の中で推進されている社会還元加速プロジェクトタスクフォース(TF)も4省5局(経済産業省、国土交通省道路局、国土交通省自動車交通局、総務省、警察庁のITS担当課・室)および民間との協力のもとにITS技術による高度物流システムの一つとして隊列走行の実用化の検討がなされ、2012年度までに隊列走行の公開実証実験が予定されている。



図Ⅲ.2-1 隊列走行実現イメージ

トラックを中心とした大型車両での自動運転・隊列走行の研究開発は、これまで主に欧米を中心に国家プロジェクトとして推進されてきた。表Ⅲ.2-1 は現在まで研究開発中または研究開発が終了した大型車両での主な自動運転・隊列走行プロジェクトである。

ドイツでは 2005 年から 2009 年にドイツ運輸省およびアーヘン工科大学が中心となり「KONVOI」と呼ばれる 4 台の隊列走行が開発され、アウトバーン等の公道での走行実験を行ったとの報告がある。

「KONVOI」のシステム構成を図Ⅲ.2-2 に示す。このシステムでは車間距離が 10m に制御されるため、エンジンおよびブレーキによる縦方向制御に加え自動操舵装置による横方向制御を行っている。

この他米国では UC バークレーの研究所 PATH が米国運輸省 DOT の予算で隊列走行を開発した。図Ⅲ.2-3 に PATH のシステム構成を示す。

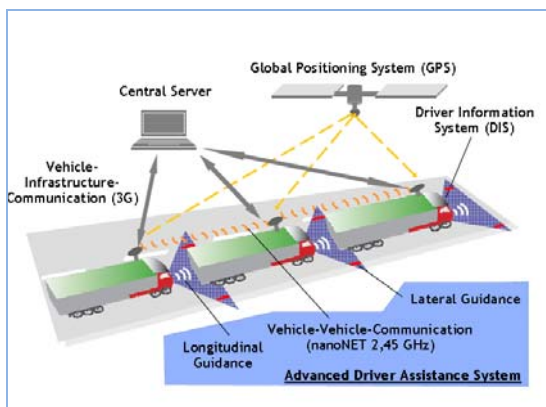
ほとんどのプロジェクトは隊列走行によるトラックの省エネ化を図ると同時に隊列走行により道路の交通容量を増大することにより道路交通流を改善して高速道路を通行する一般車両の省エネ化を合わせて目指すことを目的としたものである。

したがって、技術開発の目標は隊列内の車間距離を如何に短縮できるかに置かれており、車間距離制御や車線保持の精度向上に重点が置かれ、車間距離 4m～10m を可能とする走行制御技術が開発された。特に技術開発の中心は車間距離制御や車線保持制御のための制御アルゴリズムや認識アルゴリズム等ソフトウェアが中心であり、センサや制御装置、通信装置等のデバイス開発はほとんど行われていない。

表Ⅲ.2-1 主な自動運転・隊列走行プロジェクト

プロジェクト/システム名	開発主体	目的	システム概要						フェーズ
			隊列台数 /車間距離	自動操 舵機能	レーンマーカ	車車間 通信	車間距離 センサ		
ショーファー (Two-Bar) ・トラックの自動隊列走行	ベンツ	・安全 ・省エネ化		・2台 ・10m	○	× 全車後方部 マーカ追従	なし	画像認識	研究完
Phoenix Project ・トラックの自動隊列走行	PATH	・安全 ・省エネ化		・2台 ・4m	○	○ ・磁気マーカ	2.48GHz	・ミリ波レーザ ・レーザレーダ	研究中
KONVOI ・トラックの自動隊列走行	アーヘン大 (KA)	・安全 ・省エネ化		・4台 ・10m	○	○ ・白線	2.48GHz	・ミリ波レーザ ・レーザレーダ	研究完
IMTS ・バスの自動隊列走行	トヨタ	・省人化		・3台 ・20m	○	○ ・磁気マーカ	2.48GHz	車車間通信	実用化

各プロジェクトとも性能的には十分要求を満たしていると思われるが、いずれのプロジェクトもまだ実用化には至っていない。その最大の理由は安全性・信頼性技術を中心として、一般車両との混在走行を可能とするとともに様々な自然環境下で性能を維持できる隊列走行技術が開発されていないためと考えられる。そこで本プロジェクトでは、最終的には車間距離 4m を実現するとともに、降雪時を除く様々な自然環境や道路環境の中で一般車両との混在交通を可能とする安全性・信頼性を考慮した先進技術の開発を行うこととする。



図Ⅲ.2-2 KONVOI のシステム構成
(出典：KONVOI 資料)



図Ⅲ.2-3 PATH のシステム構成
(出典：PATH 資料)

(3) 研究の目標

基本計画書の目標値をもとにこれに開発目標値を設定した。表Ⅲ.2-2 に開発目標を示す。開発目標である燃費削減目標値は海外で実施された隊列走行による燃費低減の実績値より設定した。ここで参考とした事例は PATH による 2 台隊列走行時の燃費削減データである。

表Ⅲ.2-2 開発目標

	中間目標	最終目標
隊列走行	車間距離 10m での 3 台隊列走行	車間距離 4m での 4 台隊列走行
燃費削減率 (時速 80km at 平地)	8% (3台平均)	15% (4台平均)

さらに設定した燃費削減目標値が適切であるかを評価するとともに、各研究項目で設定する開発目標値を策定するため、数値流体シミュレーション（以下 CFD）による隊列走行時の空気抵抗計算を行った。なお、CFD では実験車である日野自動車製「プロフィア」の流体モデルを使用した。

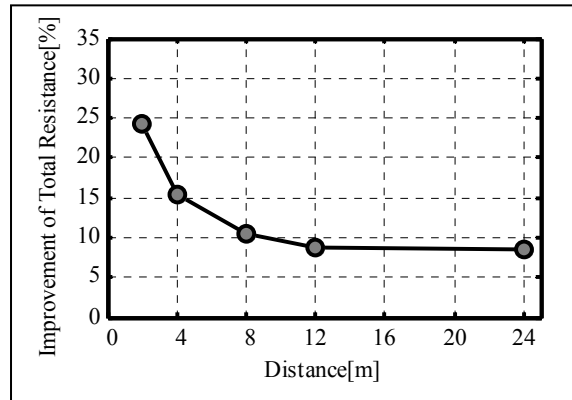
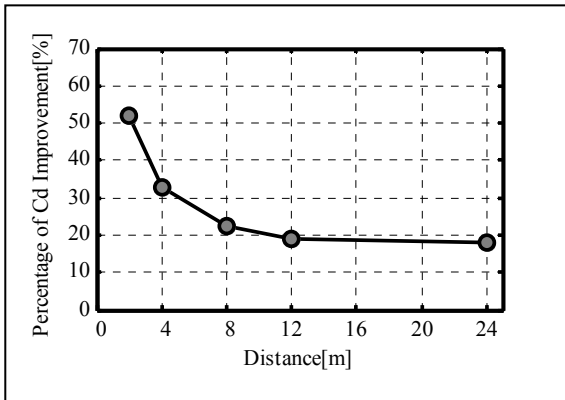
図Ⅲ.2-4 に速度 80km/hr における隊列走行と単車との空気抵抗低減割合（単車の空気抵抗 CD 値を 1.0 とした場合）および空気抵抗を含めた定積時の走行抵抗低減割合（単車を 1.0 とした場合）を示す。なお、CFD により得られた計算 CD 値と実車での CD 値はほぼ一致している。走行抵抗は燃費に比例すると考えられるため、図Ⅲ.2-4 に示すように車間距離 10m では約 8%、車間距離 4m では 14%の省エネ効果を得ることが予想され目標値は妥当と考えられる。

また、車間距離 4m と 8m で隊列台数を 2 台から増加した場合の省エネ効果予測を図Ⅲ.2-5 に示す。隊列台数を 3 台より増加するに従い、増加台数 1 台当たりの省エネ効果割合は減少する。既存の交通流に与える影響や安全性等を考慮すると最大隊列台数は 4 台前後が妥当と考えられ、最終目標値である 4 台隊列は妥当であると考えられる。なお、図Ⅲ.2-6 に時速 80km、車間距離 4m の 3 台隊列走行時の先頭車、中間車、最後尾車の空気抵抗割合（走行単車の空気抵抗を 1 とした場合）図Ⅲ.2-7 に走行時の圧力分布を示す。3 台隊列走行時には中間車の空気抵抗はフロントでは正圧の低減、後部は負圧の低減により単車に比べ、約半減している。

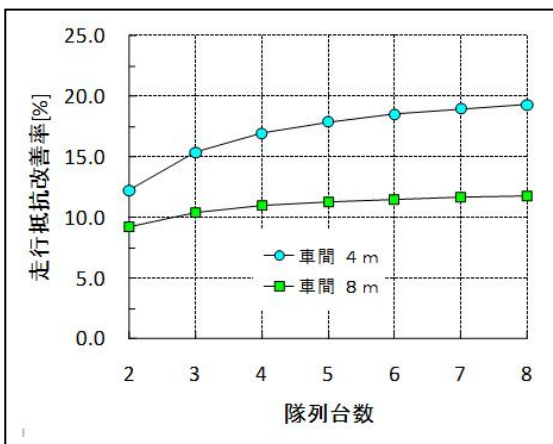
各個別開発テーマの開発目標値は産業技術総合研究所高速周回路にて目標車間距離 10m および 4m で安全に隊列走行実験を可能とする値として設定した。また、開発テーマによっては数値目標を設定できないものもあり、主に要求される機能として目標設定した。

なお、目標車間距離 10m および 4m での隊列走行において、突発に発生する前方の障害物との衝突を回避する場合、先頭車のドライバーによる急ブレーキ操作では極めて危険であり、後続車が追突する可能性は極めて高い。

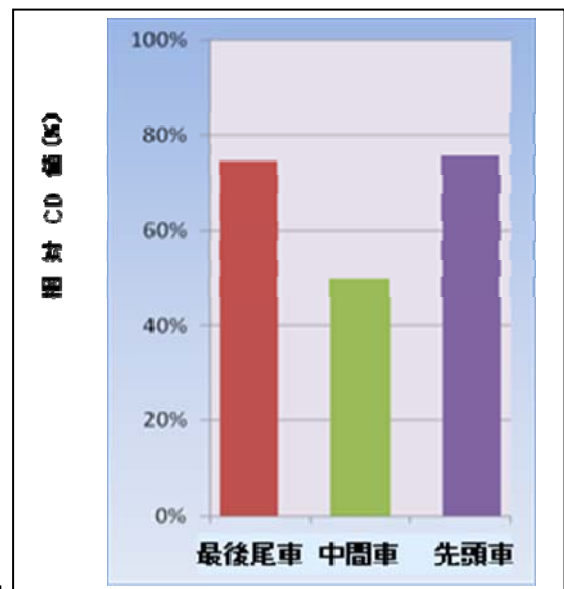
また、後続車のドライバーによるハンドル操作も近接車間距離のためドライバーへの負担も極めて大きい。したがって、近接車両での隊列走行を実現するためには自動操舵や自動速度制御等の自動運転の技術開発を行う。



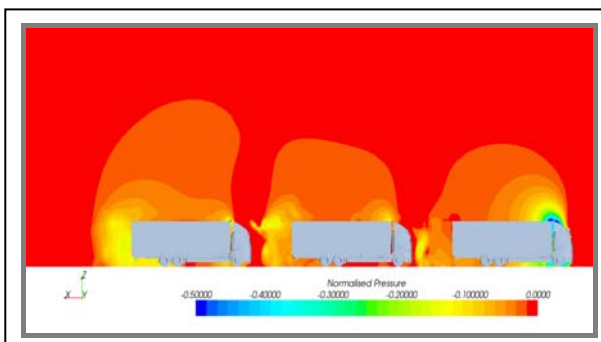
図III.2-4 速度 80km/hr における空気抵抗低減割合および走行抵抗低減割合



図III.2-5 省エネ効果予測



図III.2-6 空気抵抗割合



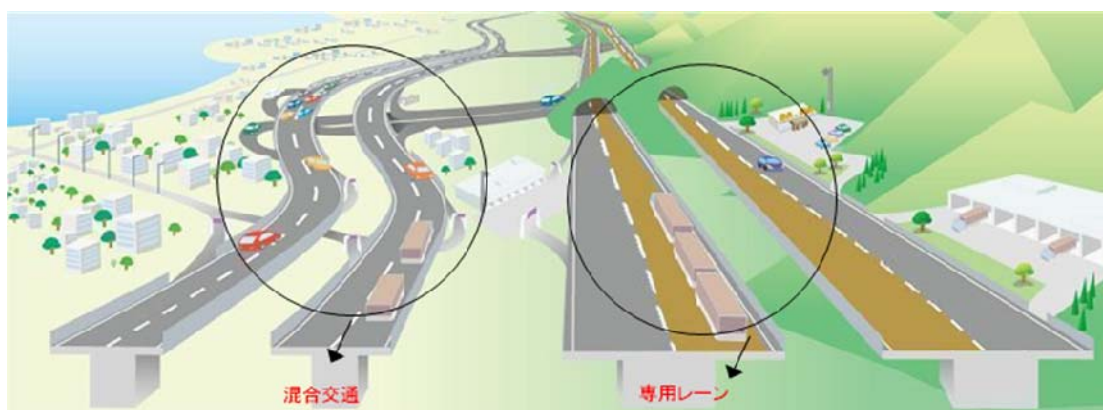
図III.2-7 走行時の圧力分布

表Ⅲ.2-3 各個別テーマの開発目標

研究内容	中間目標(2010年度)		最終目標(2012年度)	
	担当開発テーマ	目標項目		
① システムインテグレーション	実験車開発	隊列台数	大型トラック3台	
		速度	80km/hr	
	システム評価 (80km/h時)	車間距離制御精度	10m±2.0m at 定常走行 10m-3.0m at 0.4G減速	4m±2.0m at 定常走行 4m-2.0m at 0.5G減速
		車線保持制御精度	±0.20m(スムーズさの確保)	±0.15m(スムーズさの確保)
② フェイルセーフ技術の開発	フェイルセーフECUの開発	フェイルセーフ機能	・センサや走行制御ECUのマイクロコンピュータが故障及び暴走した場合、異常を検出し自動的に故障系を切り離し、異常動作を防止できるECUを開発する	
	HMI技術の開発	HMI機能	・手動運転から自動運転に安全に遷移すると共にシステムに異常が発生した場合、異常をドライバーに通報し的確に危険を回避できるHMIを開発する。	
③ 走行制御技術の開発	制御アルゴリズム開発 車両運動モデル設計	車線保持	±0.20m	
		車間距離保持	10m-3.0m at 0.4G減速	
		条件	車両重量 : 定積及び空積 道路縦断勾配: 上坂及び下坂	
	隊列形成アルゴリズム開発	アルゴリズムの設計	・車両接近状態からの隊列形成を実現する隊列形成アルゴリズム設計 ・シミュレータ実験による有効性の確認	・シナリオを限定しない隊列形成ソフトウェアの完成と、大型トラックへの実装 ・シミュレータおよび実車による有効性の確認
④ 位置標定技術の開発	高精度道路地図作成技術	地図作成の基本技術	(1)実験道路の道路電子地図データ作成 (2)道路計測データ誤差、ばらつきを吸収し、緩やかに変化する連続曲線を生成 (3)トンネルの高精度3次元道路地図作成	
	位置標定技術	位置検出精度	(1)位置標定精度: 0.3m (2)道路沿い建物の認識、市街地において画像のみにより自己位置を車線を特定できるレベルで推定	
⑤ 白線認識技術の開発	画像認識アルゴリズム開発 レーザーダ白線認識開発 高速ビジョンセンサ開発	検出精度	±20mm (環境条件: 第3種白線)	
		誤検出率 (処理フレーム総数あたり)	10 ⁻⁵ 以下 (・産総研高速周回路1周、・晴天、曇天、雨天、・逆光(西日等))	
		未検出率 (処理フレーム総数あたり)	10 ⁻³ 以下 (・産総研高速周回路1周、・晴天、曇天、雨天、・逆光(西日等))	
⑥ 車車間通信技術の開発	車車間通信技術開発	最大伝送範囲	40m	
		車両間伝送周期(伝送データ量:50バイト)	20msec	
		無通信発生確率(1時間あたり100ms連続無通信)	10 ⁻⁸	
		バケット(伝送周期20msの場合)	99.78%	
⑦ 車両認識技術の開発	前方車認識アルゴリズム開発	最大検出範囲(除く雨、霧、雪)	100m	
		誤検出率(at 60m)	1%	
		未検出率(at 60m)	0.1%	
	割り込み車認識開発	最小・最大検出範囲(除く雨、霧、雪)	5-10m	
		誤検出率	1%	
		未検出率	0.1%	
⑧ エコ運転制御の開発	車両制御技術の開発 信号現示認識アルゴリズム開発 交通流推定アルゴリズム開発 エコドライバモデルの開発	制御モデル基本設計	エコ運転制御モデルの設計 エコ運転速度パターンの生成	
			一般ドライバー平均比15%省エネ化 (JARI模擬市街路)	

(4) 隊列走行コンセプト

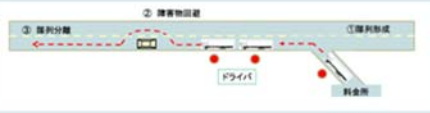
実験車および要素技術を開発するにあたり隊列走行の実用化を想定したコンセプトを策定した。社会的ニーズおよび道路インフラを考慮して、混在交通を前提としたコンセプト Y と専用レーンを走行するコンセプト Z の 2 種類のコンセプトを策定した。図Ⅲ.2-8 にコンセプトの概要を示す。



主な項目	コンセプト Y	コンセプト Z
コンセプトの概要	一般車と混在した中で隊列走行を可能とする。	一般車が走行しない専用レーンで無人隊列走行を可能とする。
狙い・目的	トラックの省エネ化と交通流の改善	トラックの省エネ化と省人化
隊列形態	3台隊列走行（混合交通からの制約）	4台以上の隊列走行
隊列形成	走行レーン走行中に隊列形成	ドライバー乗降場にて停止中に隊列形成
ドライバーの有無	全車ドライバー乗車	先頭車のみドライバー乗車、後続車：無人

図Ⅲ.2-8 コンセプトの概要

図Ⅲ.2-9に各コンセプトの詳細を示す。コンセプトYは一般車と混在した中での隊列走行であるが、これはさらに社会的な受容性が異なると思われる車間距離の違いによりY1とY2の2種類に分けた。

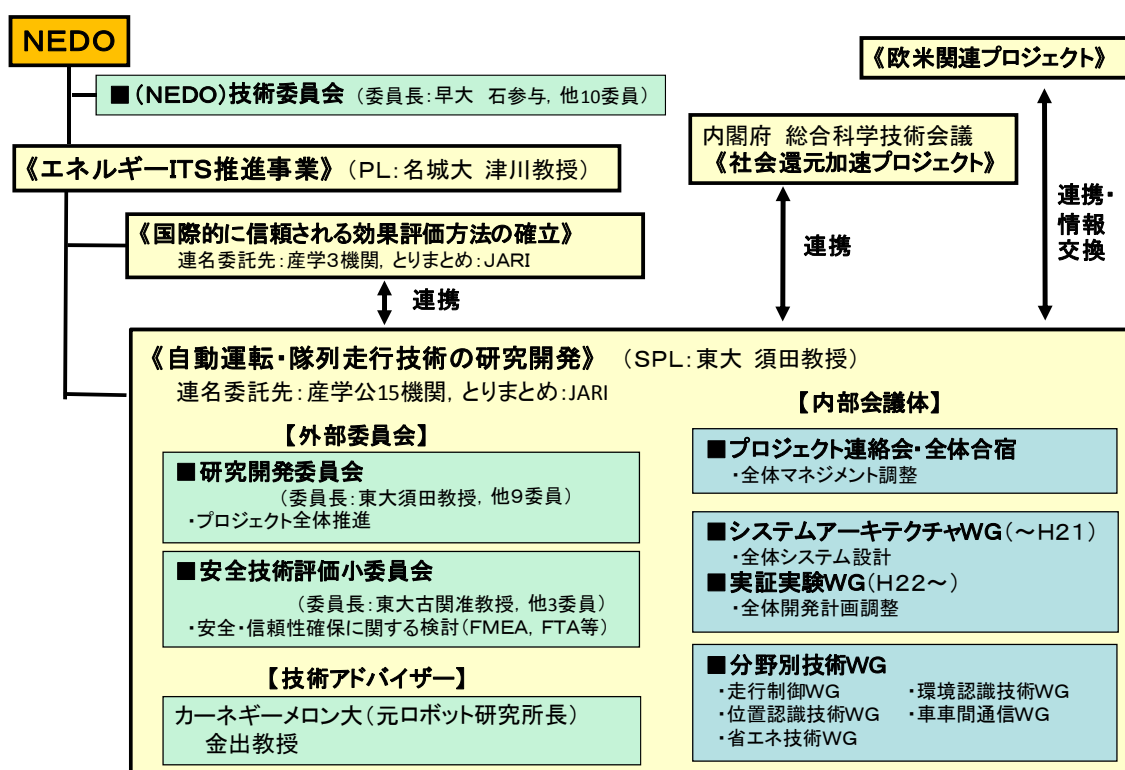
項目	コンセプトY		コンセプトZ	
	Y1(車間距離10m)	Y2(車間距離4m)	輸送力 (760台/時間)	輸送力 (180台/時間)
走行レーンへの 流入・流出	<ul style="list-style-type: none"> ・料金ゲートより流入 ・本線走行中に隊列形成 		<ul style="list-style-type: none"> ・料金ゲートより流入 ・ドライバ乗降場にて隊列形成 	
隊列 形成	初期形成の 場所と時期			
	増減の場所 と時期			
必要インフラ設備			<ul style="list-style-type: none"> ・専用レーン直結のドライバ乗降場が必要 	
目標 性能	最高速度	80km/hr		80km/hr
	車間距離	10m程度	4m程度	4m程度
要求 機能	操舵関係	・車線保持支援	・車線保持制御 ・レーンチェンジ	・車線保持制御 ・レーンチェンジ
	速度関係	自動停止および先行車追従		・先行車追従 ・自動停止制御
				・自動発進制御

図Ⅲ.2-9 コンセプトの詳細

2.2 研究開発推進体制とマネジメントの工夫

(1) 各種委員会の設置

研究開発体制を図Ⅲ.2-10に示す。自動運転・隊列走行の開発は技術開発の方向性・妥当性を外部委員を中心に検討する自動運転・隊列走行研究開発委員会や安全技術評価小委員会および連名委託先担当者で構成され実験車開発や評価実験等の実務を効率よくスムーズに行うための技術ワーキンググループ（WG）を中心に構成した。また、米国カーネギーメロン大学（CMU）の元ロボット研究所長 金出教授に技術アドバイザーをお願いし、主に認識技術関係のアドバイスを頂くこととした。



図Ⅲ.2-10 研究開発推進体制

① 自動運転・隊列走行研究開発委員会

開発項目が多岐にわたるとともにそれぞれの項目が密接に関連するため、日本自動車研究所内に学識経験者や関係団体から構成される「自動運転・隊列走行研究開発委員会」（委員長：東京大学 須田教授）を設置し、マイルストーン毎に委員会を開催し開発の方向性を確認しながら 開発を進めた。

表Ⅲ.2-4 自動運転・隊列走行研究開発委員会

氏名	所属・役職
須田 義大	委員長 東京大学生産技術研究所 教授
石 太郎	委員 早稲田大学 参与
川邊 武俊	委員 九州大学 教授
鷺野 翔一	委員 鳥取環境大学 非常勤講師
林 昌仙	委員 特別非営利活動法人 ITS-Japan
半田 正利	委員 いすゞ自動車（株）チーフエンジニア
古和 義治	委員 （社）電子情報技術産業協会 ITS 事業化専門委員会幹事
森田 真	委員 （社）日本自動車工業会 ITS 技術部会
岡 俊光	委員 （社）日本自動車部品工業会電子装置技術委員会 ITS 部会幹事
榎本 英彦	委員 日野自動車株式会社 室長

※オブザーバーとして、経済産業省自動車課 ITS 担当課長補佐および NEDO 事務局に参加いただいている。

② 安全技術評価小委員会

隊列走行実験の安全性を確保するために、「自動運転・隊列走行研究開発委員会」の下に「安全技術評価小委員会」（委員長：東京大学 古関准教授）を設置し、実験車に搭載されている制御システムの FMEA や FTA を行い、安全性についての評価を受けた後走行実験を行った。

表Ⅲ.2-5 安全技術評価小委員会

氏名	所属・役職
古関 隆章	委員長 東京大学大学院 准教授
道辻 洋平	委員 茨城大学 准教授
水間 毅	委員 独立行政法人 交通安全環境研究所 領域長
加藤 晋	委員 独立行政法人 産業技術総合研究所 主任研究員

③ 実証実験ワーキンググループ（WG）

細分化された研究項目のアウトプットは隊列走行システムに組み込まれ、走行実験が行われるため、隊列システムにおける課題や進捗状況を常時共有化する必要がある。このため、日本自動研究所内に全連名委託先担当者で構成する「実証実験 WG」を設置し、搭載装置のインターフェース仕様や性能等を確認しながら開発を行った。

④ 技術分野別ワーキンググループ

要素技術の開発にあたっては、技術分野ごとにワーキンググループを設置し、各専門分野ごとの技術的知見を結集するとともに、全体開発スケジュールに遅延がなきよう、進捗確認を行いながら開発を行った。設置したワーキンググループは、「走行制御WG」、「環境認識技術WG」、「位置認識技術WG」、「車車間通信WG」、「省エネ技術WG」の 5 つである。

⑤ プロジェクト連絡会

研究マネジメントに関する事項の早期展開、情報共有化を目的として、全連名委託先の窓口責任者からなる「プロジェクト連絡会」を設置し、プロジェクト全体の運営が円滑に進むよう適宜、報告・連絡・調整の機会を持った。

また、年 1 回ペースで全連名委託先の参加による「全体合宿」を行い、課題検討や方針論議を行った。

⑥ 社会還元加速プロジェクトとの連携

本プロジェクトは、内閣府の総合科学技術会議が進めている「社会還元加速プロジェクト」の一つに位置づけられていることから、2020 年の実用化を目標として、技術開発以外の周辺環境整備も併行して進められている。こうしたことから、具体的な検討を行っている社会還元加速プロジェクトのタスクフォースおよび民間側の活動支援を行っている ITS-Japan の新交通物流特別委員会と連携を取る必要があり、適宜情報提供や調整を行っている。

⑦ 「国際的に信頼される効果評価方法の確立」プロジェクトとの連携

エネルギーITS 推進事業は、「自動運転・隊列走行技術の研究開発」プロジェクトと「国際的に信頼される効果評価方法の確立」プロジェクトの 2 つから成り立っており、両者の連携を行い相乗効果をあげることが期待されている。

このため、双方に参加している JARI のメンバーを中心とした両プロジェクトの関係者で適宜情報交換を行うとともに、自動運転・隊列走行による CO2 削減の効果評価については、「国際的に信頼される効果評価方法の確立」プロジェクトでも実施していただくこととした。





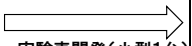
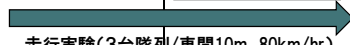


⑧ 国際連携

欧米で同様の研究を行っている機関との連携や情報交換を行うため、毎年開催される ITS 世界会議の場を利用しての情報交換や相手先研究機関への調査訪問を行っている。特に EU と関係では、政府レベルで研究協力の覚書を結んでおり、年 1 回ペースで専門家によるワークショップを開催している。

(2) 全体開発日程

全体開発日程を表Ⅲ.2-6 に示す。

表Ⅲ.2-6 全体開発開発日程

	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
全体開発 マイルストーン	機能・基本性能確保 			性能・安全性・信頼性向上 	★最終目標
		★ 高速 道路 実験 	★ 中間 目標		
車両開発	実験車開発(大型3台) 			実験車開発(小型1台) 	
		走行実験(3台隊列/車間10m、80km/hr) 		走行実験(4台隊列/車間4m、80km/hr) 	
社会還元加速 Prj.との連携			★ ITS-Japan 試乗会	★ デモ 実験	★ プレ実証 実験
コミュニケーション の深化 (各種委員会 ・全体合宿)	①開発委員会開催 ②プロジェクト連絡会 ③府中合宿 	①分野別WG開催 ②浜松合宿 			
国際連携活動 広報活動	①#1米国 ワークショップ (WS) ②マスコミ 発表会 ③各種講演会 (AT International) 	①#2・3WS ②ITS世界 大会発表 ③自技会 論文発表 ④NEDOフォーラム発表 ⑤各種講演会	①ワークショップ開催 ②ITS世界大会 論文発表 ③自技会論文発表 ④各種講演会	同左	同左

2.3 研究開発成果

(1) 研究開発の内容

最終目標である車間距離 4mでの自動運転・隊列走行を実現するには、高精度な車間距離制御技術や車線保持制御技術が必要とされるのは勿論であるが、システムが故障した場合には事故につながる恐れがあるため、高い安全性や信頼性が要求される。また、自動運転・隊列走行は国内および国際的に見ても新しい道路交通に位置づけられており、既存の道路交通の中に導入するには社会的、国民的な認知が求められる。このため、本プロジェクトでは基本計画書に記載された研究開発の具体的内容を実施するに際し、隊列走行のための要素技術開発に加えて隊列走行の実証実験を通じて社会的な認知を広く得るため、安全性や信頼性を考慮した品質の高い隊列走行システムを開発するための新たに 8 項目からなる開発項目に再整理し研究開発を実施することとした。表Ⅲ.2-7 に実施する 8 項目の研究開発項目を示す。また、図Ⅲ.2-11 に基本計画書の具体的研究内容と実施する 8 項目の関係を示す。

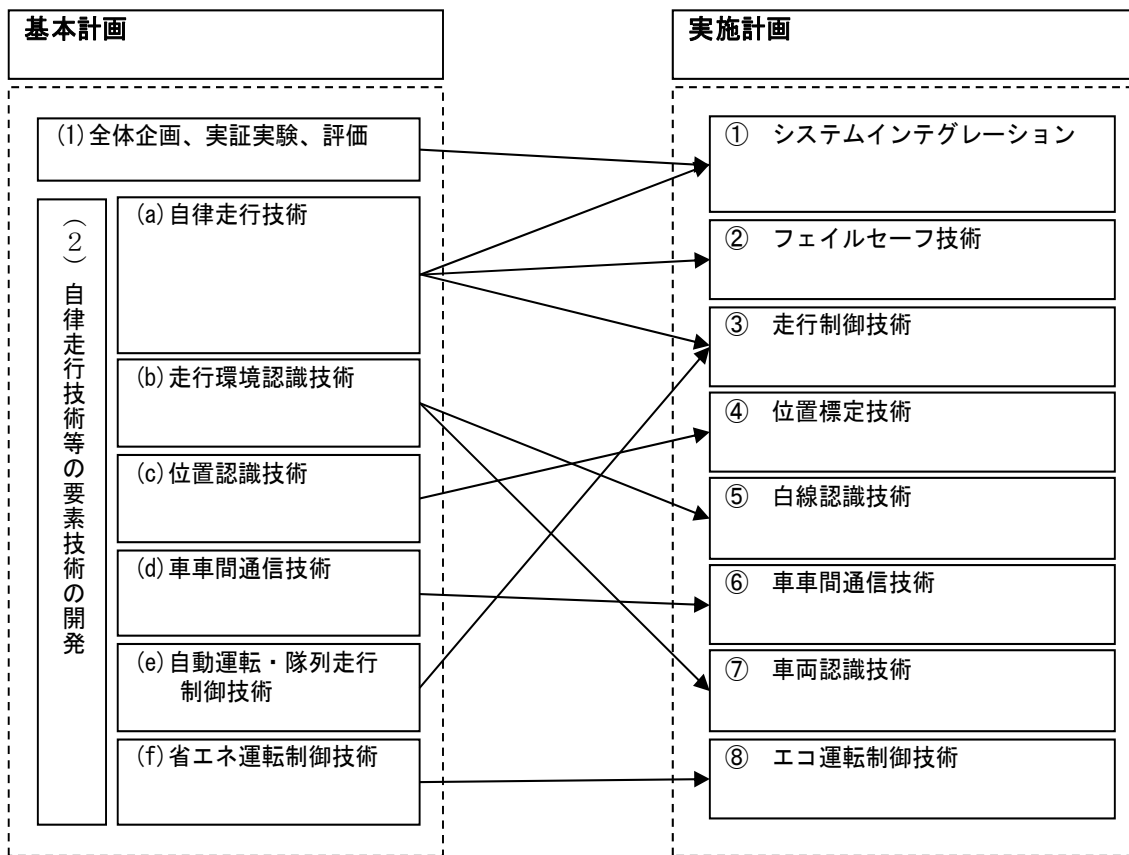
研究開発項目は大きく 2 項目に分類され、第 1 は社会的受容性検証に要求される技術開発で隊列走行システム技術や安全技術に関するものである。特に品質の高い実験車を開発するためにはシステムインテグレーションは非常に重要であるため、実験車開発と合わせて日本自動車研究所が担当した。

第 2 は隊列走行に要求される要素技術に関するものでこれは車線保持および車間距離保持や一般車との衝突回避、エコ運転のための技術でこれはさらに個別要素技術と共通要素技術に整理して研究開発することとした。

表Ⅲ.2-7 主な研究開発項目

社会的受容性検証に要求される開発技術			
必要項目	開発項目		
実験車による検証	①システムインテグレーションおよび実験車開発 担当：日本自動車研究所		
システムの安全確保	②故障時に安全性を確保できるフェイルセーフ技術 担当：大同信号，東大，産業技術総合研究所		

隊列走行に要求される機能と開発技術			
要求機能	開発技術		
	個別要素技術	共通要素技術	
車線保持	⑤対環境性に優れた白線認識技術 担当：弘前大，テソ，日産自動車	③高精度でロバスト性を持つ 走行制御技術の開発 担当：神戸大，日大，慶應大	④高精度な自車位置標定技術 ・高精度地図データ作成およびGPSを利用した高精度な位置標定技術の開発 担当：三菱電機，日本電気，東大
近接車間保持	⑥高速で高信頼性な車車間通信技術 担当：沖電気工業		
一般車との衝突回避	⑦複雑な走行環境での車両認識技術 担当：金沢大，東京工大		
エコ運転制御	⑧市街地でのエコ運転制御技術 担当：JARI，慶應大，金沢大，弘前大，東大		



図Ⅲ.2-11 基本計画項目と実施計画項目

上図に示された 8 項目の開発項目は、さらに図Ⅲ.2-12 に示す開発項目に細分化し開発を行った。各研究開発の概要を以下に示す。

① システムインテグレーション

隊列コンセプトを策定するとともにコンセプトを実現する隊列走行システムの設計と実験車の開発およびテストコース等での走行実験評価を行う。なお、隊列走行システムの開発にあたって、性能と安全性を両立させるため道路地図データを基本とした新しいコンセプトに基づいた制御システム設計を行う。

② フェイルセーフ技術の開発

故障した場合、自動的に自身の出力を遮断し、異常動作を防止するフェイルセーフ機能を備えた走行制御 ECU およびシステム故障等の異常が発生した場合、情報提供を行い、ドライバーが適切な操作を行うことを可能とする HMI（ヒューマン・マシン・インターフェース）を開発する。

③ 走行制御技術の開発

高精度な車線保持制御や車間距離制御を行うための走行制御アルゴリズムや車両運動モデルの設計および隊列を形成するための隊列形成アルゴリズムを開発する。さらに隊列走行シミュレータを開発し、設計した走行制御アルゴリズムの妥当性を検証する。

④ 位置標定技術の開発

隊列走行制御を高精度で安定して行うためには、道路線形や縦断勾配等の詳細な道路地図および現在の走行位置検出が必要となる。しかし、カーナビゲーション等で使用されている道路地図データでは隊列走行制御に必要なデータが含まれておらず、カーナビゲーション用地図を利用することができない。そこで、道路白線や道路路側構造物位置を含む詳細な道路地図を作成する高精度地図作成技術と現在の走行位置を検出する位置検出技術を開発する。

⑤ 白線認識技術の開発

大型トラック等の高速幹線物流システムでは昼夜 24 時間はもちろんであるが雨天や霧、晴天時、様々な自然環境においても安定した運行が求められる。したがって、自動運転・隊列走行での車線保持制御に対しても極めて信頼性の高い制御が求められる。上記の要求を実現するため、高性能カメラと画像認識およびレーザレーダとの併用による高精度かつ認識率の優れた白線認識技術を開発する。なお、高性能カメラとして外部投光と高速シャッター速度機能により太陽光の影響を除去した高速ビジョンカメラを開発する。

⑥ 車車間通信技術の開発

近接の車間距離制御を行うためには、前方障害物との衝突を回避するため先頭車の急激な速度変化を高速で後続車に送信する必要がある。また、手動運転で走行中に隊列を形成するため車両相互の情報交換が必要となる。この車両間の高速情報伝送を可能とする車車間通信技術を開発する。なお、通信メディアとしてはシステムの高信頼化を実現するため、電波と光の 2 種類の通信方式を開発する。

⑦ 車両認識技術の開発

一般車との混在で隊列走行を行う場合、一般車が隊列走行の障害物になる場合が発生する。近接した車間距離で先頭車ドライバーが制御から独立して運転操作を行った場合、隊列走行の安全性を確保することは極めて困難である。隊列走行の周辺に存在する一般車両を認識して隊列走行の安全性を確保するため、レーザレーダおよびミリ波レーダを用いて、隊列先頭車の前方の車両を認識する前方車両認識技術、およびステレオ画像にて隊列内に割り込んでくる車両を検出する割り込み車認識技術を開発する。

⑧ エコ運転制御技術の開発

隊列走行車には様々なセンサや制御装置が搭載されており、隊列走行車が高速道路から流出し一般市街路を走行する場合、これらのセンサや制御装置を利用してエコ運転することが可能である。本プロジェクトではこれらのセンサや制御装置を利用して一般市街地でのエコ運転を可能とするエコ走行制御技術開発や信号現示状態を検出する信号現示認識アルゴリズム開発、車両認識センサから渋滞等の交通流状態を推定する交通流推定アルゴリズム開発を行う。

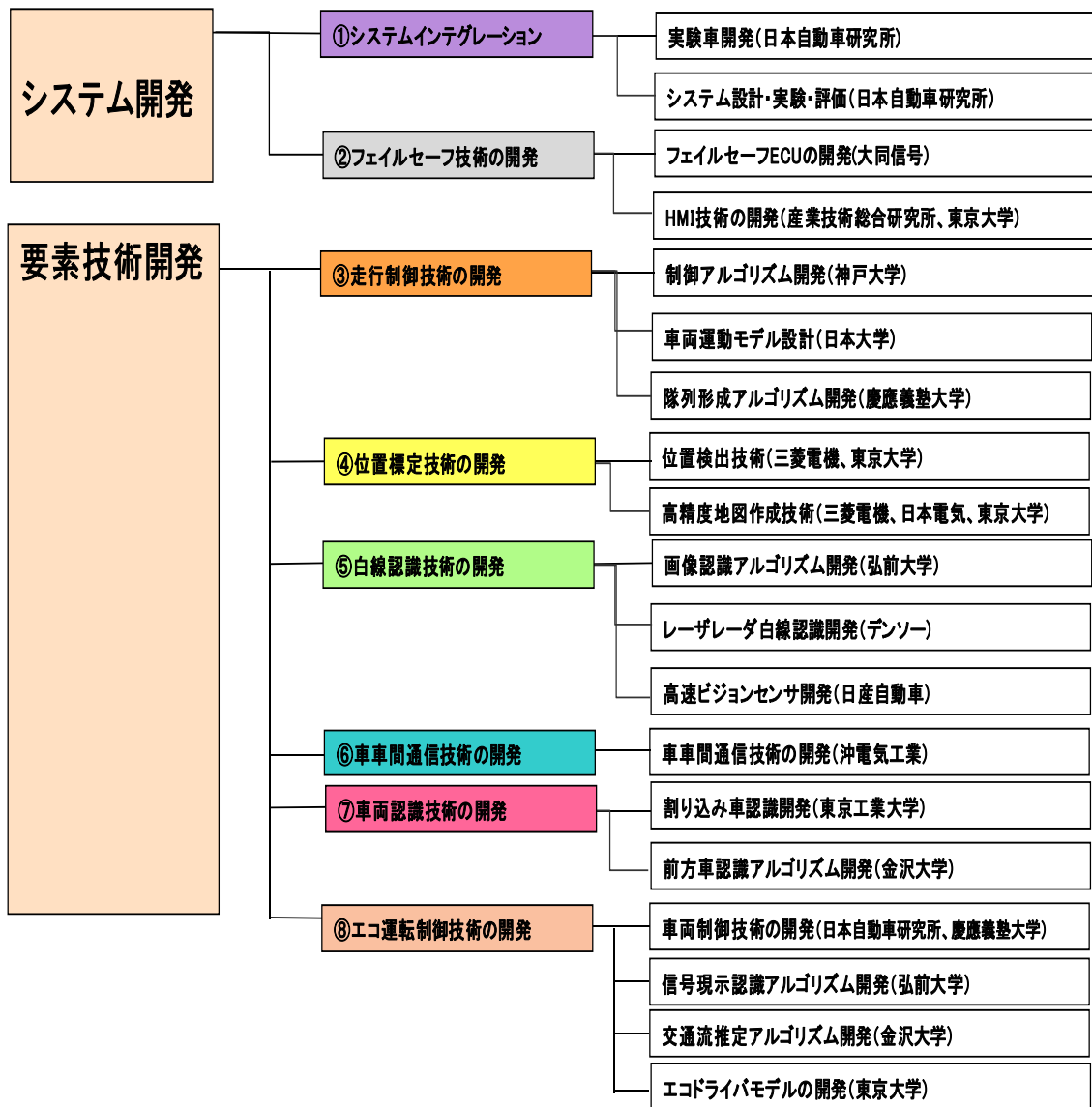


図 III.2-12 研究開発項目の詳細

また、表Ⅲ.2-8 各開発項目の5年間の実施計画を示す。

前半の3年間は中間目標の達成に向け、各要素技術開発では機能・性能中心の技術開発、また、システム開発では車間10mの3台隊列走行実験に向けた制御システム設計や実験車のための制御装置開発を行う。

後半の2年間では車間距離4m実現に向けた性能向上を行うとともに4台の隊列走行実証実験に対し、システムの安全性および信頼性の確立に重点を置いた開発を行う。

表Ⅲ.2-8 自動運転・隊列走行5年間の開発項目実施計画

	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
全体	機能・基本性能確保			性能および安全性・信頼性向上	
①システム インテグレーション	実験車開発(大型3台)			実験車開発(小型1台)	
	走行実験(3台隊列/車間10m、80km/hr)			走行実験(4台隊列/車間4m、80km/hr)	
②フェイルセーフ技術	フェイルセーフECUおよびHMIの設計・製作			システム多重化による信頼性向上	
③車両制御	自動操舵制御アルゴリズム			制御アルゴリズムの高精度化(4m)	
	車間距離制御アルゴリズム(10m)				
④位置標定技術	位置標定の高精度化技術の開発			位置標定の簡素化技術の開発	
⑤白線認識技術	画像認識とレーザの併用による白線認識技術			高速ビジョンカメラとレーザの併用による認識率向上	
⑥車車間通信	5.8GHz 車車通信の高速化			光車車間通信技術の開発と多重化	
⑦車両認識技術	先行車両および割り込み車認識アルゴリズム開発			認識率向上センサフュージョン技術開発	
⑧エコ運転制御	基本アルゴリズム設計			エコ運転制御モデル開発および性能評価	

(2) 全体の研究開発成果について

研究開発はほぼ予定通り進捗しており、8テーマそれぞれが平成22年度末の中間目標値を達成または達成の見込みとなっている。

目標値を実現するための制御アルゴリズムや機能を組み込んだ走行制御 ECU や車車間通信機、白線認識装置等の制御装置を搭載した 25 トン大型トラック実験車 3 台を製作し、産業技術総合研究所が保有する高速周回路および未供用高速道路を使用して走行実験を重ねた結果、現状で 3 台隊列走行、速度 80km/hr、設定車間距離 15m にて制御性能が 15m ±1.0m の結果を得た。また、曇天や晴天、雨天、夜間等の環境条件においても同様の性能結果を得た。現在、走行制御 ECU として市販の ECU にて実験しているため安全確保の観点から車間距離を 15m に設定しているが制御誤差が ±1.0m であるため走行制御 ECU をフェイルセーフ ECU に変更することにより目標を達成できる見通しである。表Ⅲ.2-9 に隊列走行性能を示す。

表Ⅲ.2-9 隊列走行性能

評価実験場 (線形)	速度 (km/hr)	車線保持制御		車間距離制御						省エネ化	
		目標 性能 (cm)	制御 性能 (cm)	制御性能(定常)			制御性能(at 0.4G減速)			目 標	見 込 み
				目標 (m)	現状性能 (m)	見込み (m)	目標 (m)	現状性能 (m)	見込み (m)		
産総研周回路 (直線部)	80	±20	±10	10±2.0	15* ±1.0	10±1.0	10-3.0	15* ±1.0	10±1.0		
未供用高速道 (曲線:3,000R)	80	±20	±10	10±2.0	15* ±1.0	10±1.0	10-3.0	15* ±1.0	10±1.0	8 %	8 %

*：現在1重系 ECU により制御を行っているため、安全確保の観点より 15m にて実験

個別開発テーマごとの成果については、2.4 章に記す。

2.3.1 システムインテグレーションおよび実験車開発

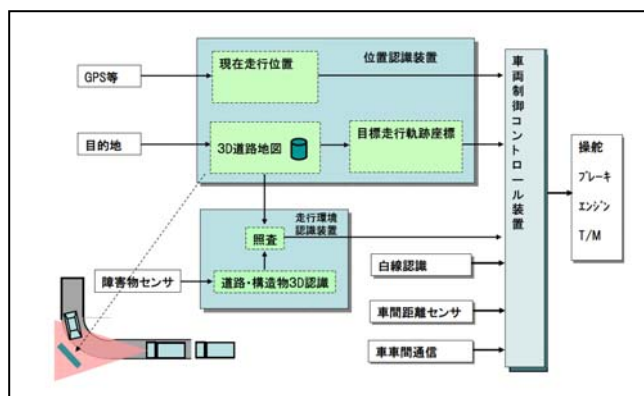
実施先：(財) 日本自動車研究所

(1) 隊列走行システムの設計

中間目標値を達成するため、隊列走行実験車に搭載する隊列走行制御システムの設計仕様を策定するとともに制御システムの設計を行った。

制御の基本的構成は走行速度 80km/hr での走行を可能とするため、道路線形や縦断勾配等の道路地図データを基本とした制御構成とするとともに、車線保持では制御の安全性を優先して車両直下の白線認識に基づいた操舵制御方式とした。障害物回避における先頭車の急制動に対する後続車の車間距離の制御性を向上するため、車車間通信の通信方式として先頭車の情報を後続車すべてが同時に受信できる同放通信方式とした。また、車間距離 10m での安全性を確保するため、重要装置は 2 重系の設計とした。

図Ⅲ.2-13 に制御システム構成を示す。また、表Ⅲ.2-10 に隊列走行システムの開発目標を示す。特に車間距離制御の制御目標値については安全性と燃費の観点より定常走行中と加減速時を分けて設定した。



図Ⅲ.2-13 隊列走行システム構成

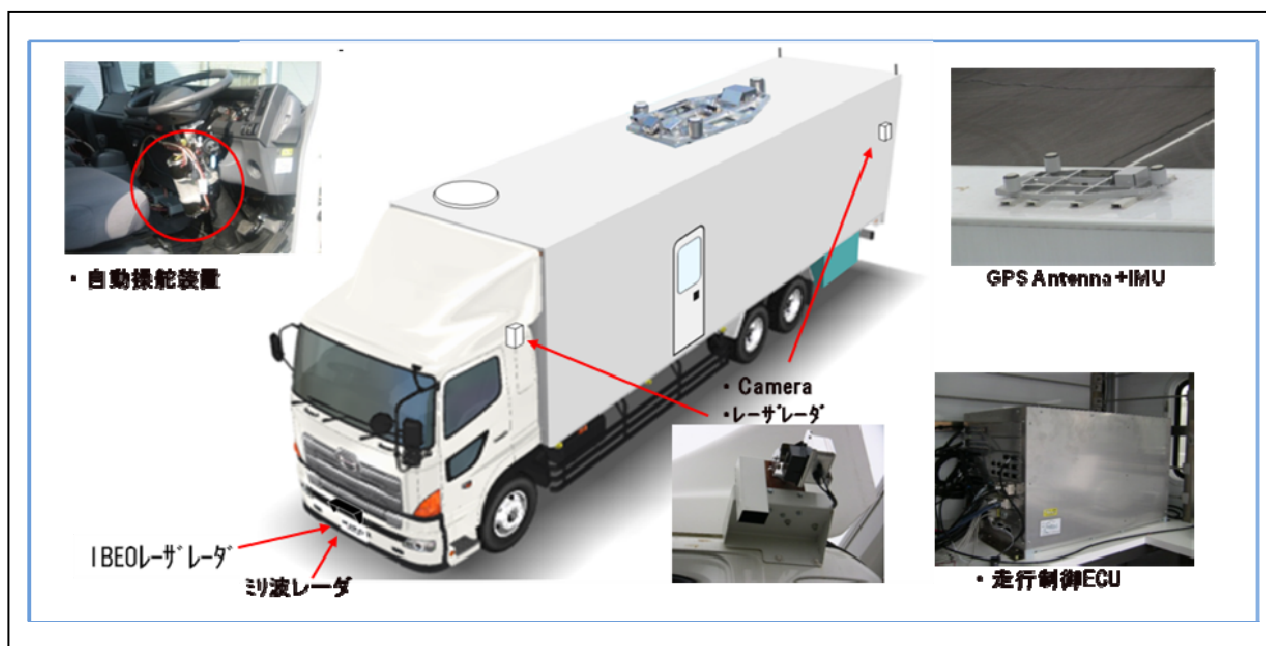
表Ⅲ.2-10 隊列走行システム開発目標

項目	中間目標(2010年度)	最終目標(2012年度)
実験環境	実験路	・実高速道路での一般車が混在した走行実験 (使用道路:未供用高速道路試験路区間9km)
	自然環境	・昼および晴天、曇天、雨天時で走行
車間距離制御精度	10m±2.0m at 定常走行時 10m-3.0m at 0.4G減速	4m±2.0m at 定常走行時 4m-2.0m at 0.5G減速
車線保持制御精度	±0.20m(スムーズさの確保)	±0.15m(スムーズさの確保)

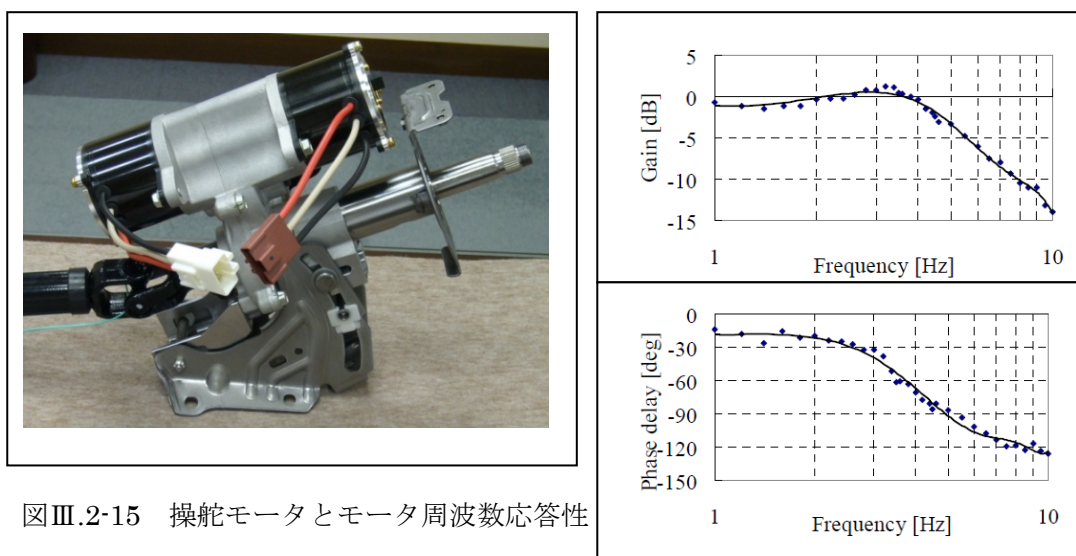
(2) 実験車の開発

開発目標である車間距離 10m での隊列走行実験を行うため、車線保持機能、車間距離保持機能および周辺一般車両との衝突を防止する衝突防止機能を備えた隊列走行実験車を開発した。図Ⅲ.2-14 に開発した隊列実験車の外観を示す。

車両前面下部に前車との車間距離を検出するセンサとしてレーザレーダおよびミリ波レーダを装着した。また、車両左側面に白線を認識する画像カメラとレーザレーダを一体的に配置し装着した。自動操舵を行うため 3Hz の周波数応答を有する操舵モータを製作しステアリングシャフト部に装着した。また、トラック荷室内には走行制御 ECU や画像認識等のコンピュータ類を搭載した。図Ⅲ.2-15 に製作した操舵モータとモータの周波数応答性を示す。



図Ⅲ.2-14 実験車外観



図Ⅲ.2-15 操舵モータとモータ周波数応答性

(3) 隊列走行性能

製作した実験車の走行制御 ECU に走行制御アルゴリズムを組み込み、車線保持制御および車間距離制御等の性能評価を産業技術総合研究所高速周回路および未供用高速道路にて行った。車線保持制御および車間距離制御実験では各制御アルゴリズムにおけるパラメータの最適調整を行った結果、車線保持および車間距離は開発目標性能を達成する見通しを得た。各制御の性能結果を表Ⅲ.2-11、表Ⅲ.2-12 に示す。図Ⅲ.2-16 に隊列走行時の様子を示す。

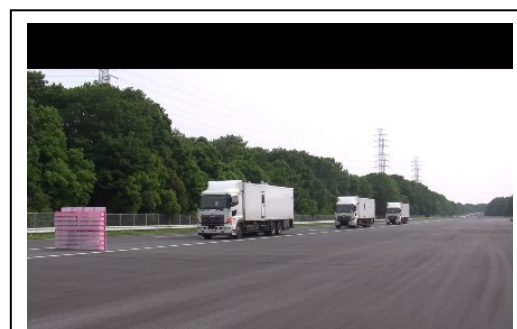
現在、車間距離制御の設定距離は安全確保の点より 15m で行っているが、加減速時の車間距離制御性能は車間距離に依存しないと考えられるため、システムのフェイルセーフ化が完了する本年度末には車間距離 10m での走行が実現できる見通しである。

表Ⅲ.2-11 車線保持制御結果

評価実験場	線形	速度 (km/hr)	車線保持制御			
			目標 (cm)		性能 (cm)	
			平均偏差	変動幅	平均偏差	変動幅
産総研 高速周回路	直線部	80	±15	±10	±8	±4
	曲線部 180R	60	±20	±10	±10	±6
未供用高速道	曲線:3000R	80	±20	±10	±10	±10

表Ⅲ.2-12 車間距離制御結果

条件		車間距離性能(m)			
		定常性能	加速時性能 (at 0.1G)	減速時 (at0.6G)	減速・加速時 (0.1G-0.05G)
・速度 80km/hr	目標	±2.0m	+2m	-3m	-2m~+1.0m
・設定距離:15m	性能	±1.0m	-1m	+1m	-1m~±1.0m



図Ⅲ.2-16 隊列走行時の様子

2.3.2 フェイルセーフ技術の開発

実施先：大同信号（株）
 （独）産業技術総合研究所
 東京大学

(1) フェイルセーフ車両制御 ECU の開発（大同信号）

車線保持制御および 10m 以下の車間距離制御を行うため、車両制御用 ECU には高い安全性が求められる。このため、異常が発生した場合自動的に故障を検出し、制御出力を自動的に遮断し安全を確保するフェイルセーフ機能を備えた車両制御 ECU の開発を行った。

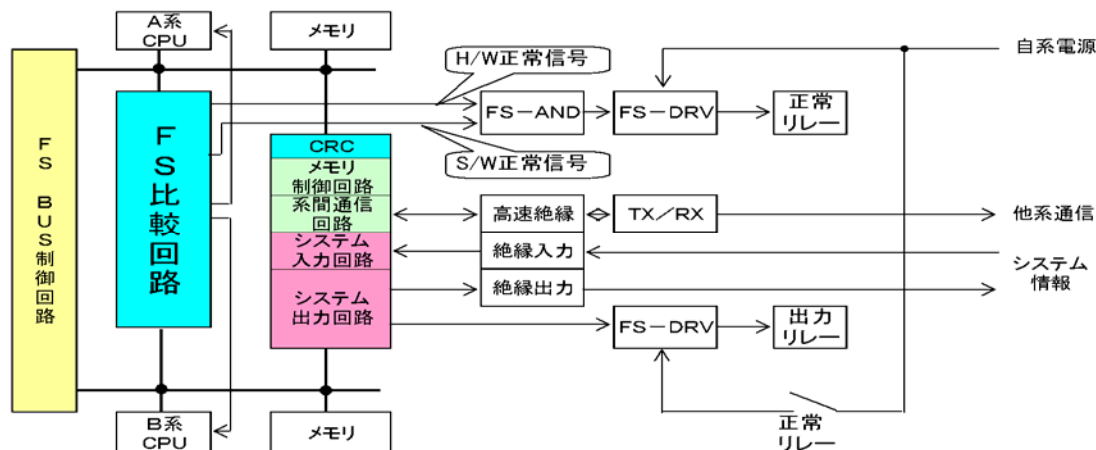
1) フェイルセーフ車両制御 ECU の開発目標と基本構成

表Ⅲ.2-13 にフェイルセーフ車両制御 ECU の開発目標を示す。

表Ⅲ.2-13 フェイルセーフ車両制御 ECU 開発目標

開発目標項目	目標機能・性能
1. 入出力回路の故障検出機能	<ul style="list-style-type: none"> ・通信回路故障検出 ・デジタル入出力回路故障検出 ・アナログ入出力回路の故障検出
2. CPU 系の故障検出機能	<ul style="list-style-type: none"> ・CPU 部、ROM 部、RAM 部の故障によるプログラム実行異常の検出
3. プログラム異常時の出力遮断機能	<ul style="list-style-type: none"> ・フェイルセーフリレーによる出力遮断 ・故障検出および系遮断時間:20MSEC 以内

開発目標を達成するため鉄道の信号保安システムで、すでに実用化されている技術を利用して、フェイルセーフ車両制御 ECU の開発を行った。フェイルセーフ車両制御 ECU のプログラム実行異常検出と出力遮断の基本構成を図Ⅲ.2-17 に示す。



図Ⅲ.2-17 フェイルセーフマイコンの概要構成

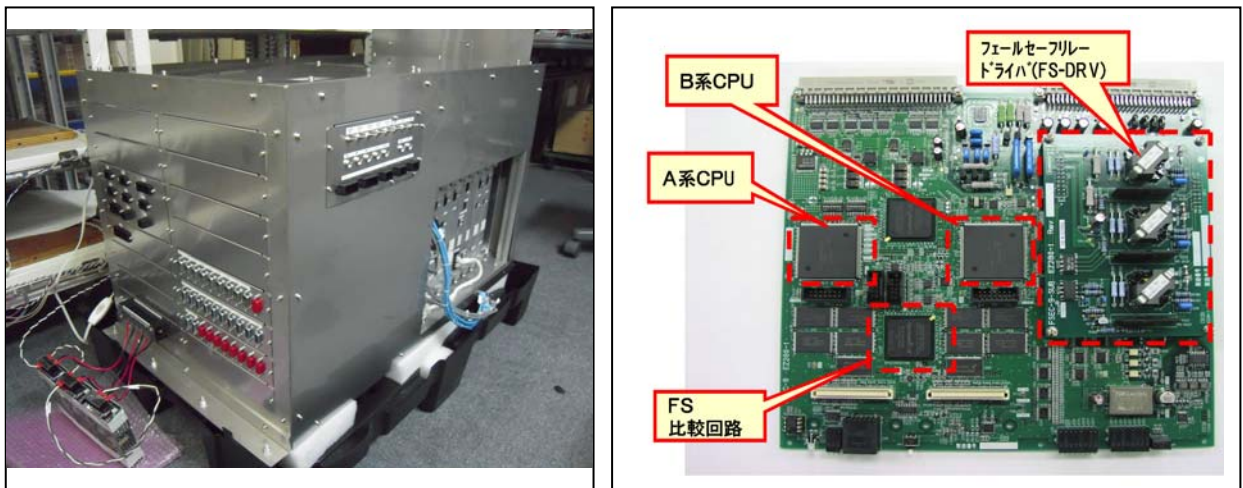
ECUはA系CPUとB系CPUから構成され、A系、B系CPUは同一の入力情報をもとに同一のプログラムにて演算を行い、演算結果はそれぞれの系のメモリーに格納される。

メモリー部に格納されている演算結果はFS比較回路にて照査されており、一致状態が継続中FSリレーはON状態となり出力状態である。不一致が発生した場合、FSリレーはOFF状態となり出力遮断状態となる。

2) フェイルセーフ車両制御 ECU の製作と性能評価

製作したフェイルセーフ ECU の外観とマイコン部ボードを図Ⅲ.2-18 に示す。隊列走行制御に多数の入出力信号が使用されるため、入出力故障検出部が増加したが車載できるサイズ内に製作することができた。

また、入出力の故障検出機能およびプログラム実行異常検出機能、出力遮断機能を確認した結果、目標どおりの性能・機能を保有していることを確認しており中間目標を達成できた。



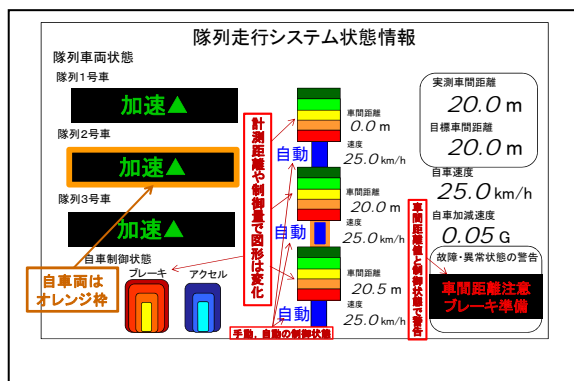
図Ⅲ.2-18 製作した ECU の外観とマイコン部ボード

(2) HMI 技術の開発 (産業技術総合研究所、東京大学)

1) HMI の開発

システムの異常をドライバに通報し、的確に危険を回避できる HMI を設計・製作し、車間距離制御の故障・異常に対する安全性を確保する機能を開発した。まず、隊列走行車両のシステム状態の車内提示装置の開発を行い、通信情報から各車両のシステム状態や距離関係などの情報を提示可能とした。各車の緊急状態は 0.04 秒以内(通常状態は 0.14 秒以内)でドライバへ情報提示可能となり、また、3 台隊列走行の各車システム状態の運動性の異常から制御異常の早期発見と即応体制の確保が可能となった。図Ⅲ.2-19 に製作した車内提示装置を示す。次に、システム状態の車外提示装置の開発を行い、車両後部に走行状態(通

常走行や緊急状態等) の情報を後続隊列車両に向けて提示可能となり、また、車内における先行車システム状態の表示との比較により、通信や表示異常の早期発見と即応体制の確保が可能となった。図Ⅲ.2-20 に製作後、実験車に装着された車外提示装置を示す。さらに、システムに依存しない異常接近状態の認識方法の開発として、車間距離の変化や危険車間距離を目視で認識する手法を実装し、システムが機能しない状態における異常接近に対する目視による危険判断と操作介入が可能であることを検証した。これらにより、早期の異常発見と即応体制の確保を含め、機能の多重化を達成した。



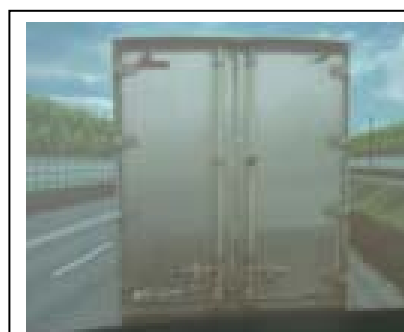
図Ⅲ.2-19 車内提示装置



図Ⅲ.2-20 車外提示装置

2) DS による HMI 評価

実車の隊列制御状態を模擬可能な HMI 評価用の DS (ドライビングシミュレータ) を開発した。トラックの隊列走行における各車の故障・異常状態を模擬可能であり、この装置の再現により HMI 評価検証が可能となった。この隊列走行 DS を用いて車間距離が通常走行に比較し大幅に接近した隊列走行の場合のドライバーの生理、心理状態がどう変化するかといった隊列走行の社会的受容性評価を行った。この結果車間距離 4m ではドライバーの心理状態はかなり緊張状態にあることが分かった。図Ⅲ.2-21 に隊列走行に改造された DS および DS での隊列走行画面を示す。



図Ⅲ.2-21 改造 DS および DS での隊列走行画面

2.3.3 走行制御技術の開発

実施先：神戸大学

日本大学

慶應義塾大学

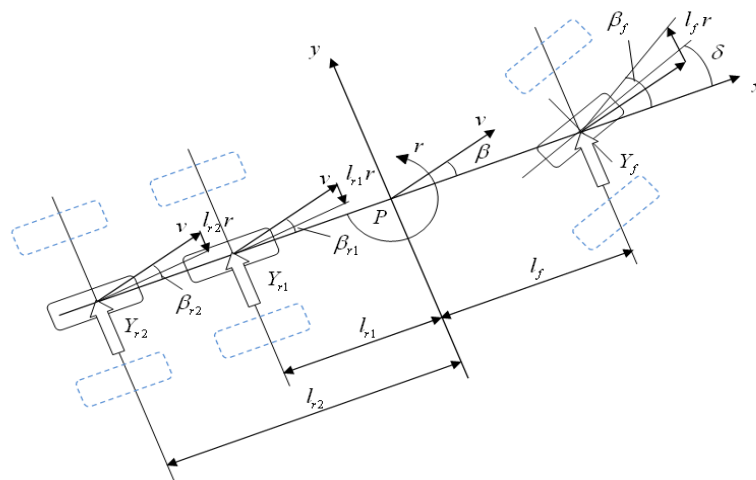
(1) 走行制御モデルの開発（神戸大学、日本大学）

1) 車両運動モデルの設計

1)-1 横方向運動モデルの設計（車線保持制御のための車両運動モデル）

表Ⅲ.2-9 に示す車線保持制御および車間距離制御の目標を達成するには高精度な車両運動モデルが要求される。このため前輪 1 軸、後輪 2 軸構造の実験車と同一の等価 3 輪横運動モデルの設計を行った。大型車両ではモデルの正確さに大きな影響を与える車体剛性やタイヤ特性等の非線形運動特性を等価コーナリングパワーに包含した運動力学モデルを構築するとともにこの値は計算で算出することは困難なため、実車走行試験データによりパラメータ同定を行った。

モデルに用いた座標系と運動モデルを図Ⅲ.2-22 に示す。また、車両運動の記述に用いる記号を表Ⅲ.2-14 に示す。



図Ⅲ.2-22 車両運動モデル

表III.2-14 記号と計算諸元

m	Mass	5590	kg
I	Yaw moments of inertia	136000	kgm^2
v	Vehicle speed	-	m/s
l_f	Length form CG to front axle	3.59	m
l_{r1}	Length form CG to rear 1st axle	1.95	m
l_{r2}	Length form CG to rear 2nd axle	3.26	m
K_f	Cornering stiffness of front axle	-	N/rad
K_{r1}	Cornering stiffness of rear 1st axle	-	N/rad
K_{r2}	Cornering stiffness of rear 2nd axle	-	N/rad
N_f	Vertical force of front axle	54800	N
N_{r1}	Vertical force of rear 1st axle	35000	N
N_{r2}	Vertical force of rear 2nd axle	32200	N
δ	Steer angle	-	rad
β	Side slip angle at CG	-	rad
r	Yawing velocity	-	rad/s

モデルに用いる運動方程式は以下の車両横すべり運動と z 軸まわりのヨーイング運動による平面 2 自由度とする。

以下に 3 輪運動モデルに対する運動方程式を示す。

<車両の横すべり運動>

$$mv(r + \dot{\beta}) = -Y_f - Y_{r1} - Y_{r2}$$

<車両のヨーイング運動>

$$I\dot{r} = -Y_f l_f + Y_{r1} l_{r1} + Y_{r2} l_{r2}$$

ここで各車軸におけるタイヤ横力 Y_f 、 Y_{r1} 、 Y_{r2} は以下に示す。

$$Y_f = K_f \beta_f = K_f (\beta + l_f r / v - \delta)$$

$$Y_{r1} = K_{r1} \beta_{r1} = K_{r1} (\beta - l_{r1} r / v)$$

$$Y_{r2} = K_{r2} \beta_{r2} = K_{r2} (\beta - l_{r2} r / v)$$

上記の運動方程式における等価コーナリングパワーは計算で求めるのは困難なため、実車走行試験により計測されたデータを用い等価コーナリングパワーの算出を行った。

v^2-R/R_0 特性の勾配であるスタビリティファクタ K_{SF} は理論上一定である。それに対して、横すべり特性 K_{β} は速度の二乗 v^2 に対して変化する。定常円旋回の特性格式に基づき近似することにより、より精度の高い推定値を決定する。

そこで、以下の評価関数を設定する。

$$J = \sum_{i=1}^n \left\{ \left[(1 + K_{SF} X_i) - Y_i \right]^2 + \left[\left(\frac{1 + A_{\beta} X_i}{1 + K_{SF} X_i} \right) - Z_i \right]^2 \right\}$$

ここ X 、 Y 、 Z は

$$X = v^2$$

$$Y = \frac{R}{R_0}$$

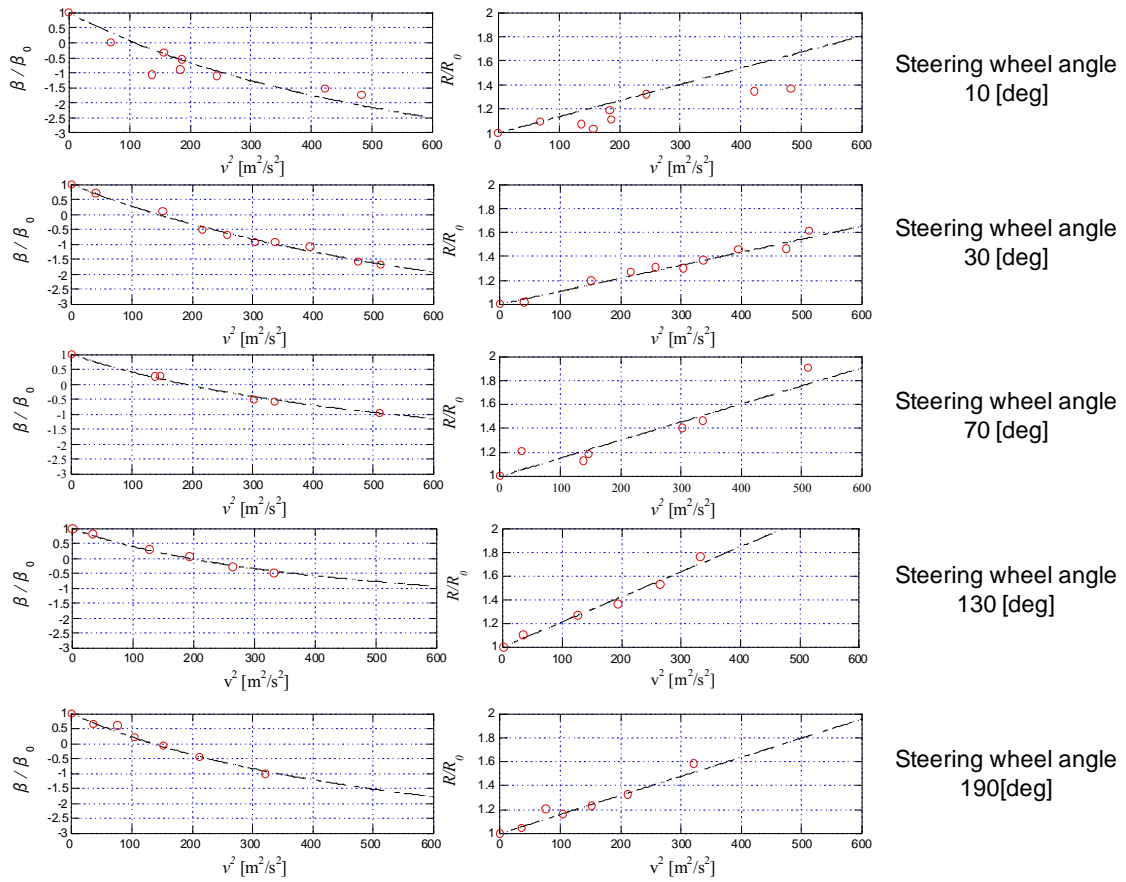
$$Z = \frac{\beta}{\beta_0}$$

これらは定常円旋回試験により得られた実験結果とする。図Ⅲ.2-23に $v^2 - \beta/\beta_0$ 特性および $v^2 - R/R_0$ 特性を示す。この結果より各ハンドル角条件において近似式による関数近似が高い精度で可能となった。しかしながら、ハンドル角 10[deg]の条件において車両の定常状態のデータがばらつき近似値と若干差が見られる。これは操舵系の非線形特性による影響と見られる。また、これらの結果より算出したコーナリング係数を図Ⅲ.2-24に示す。

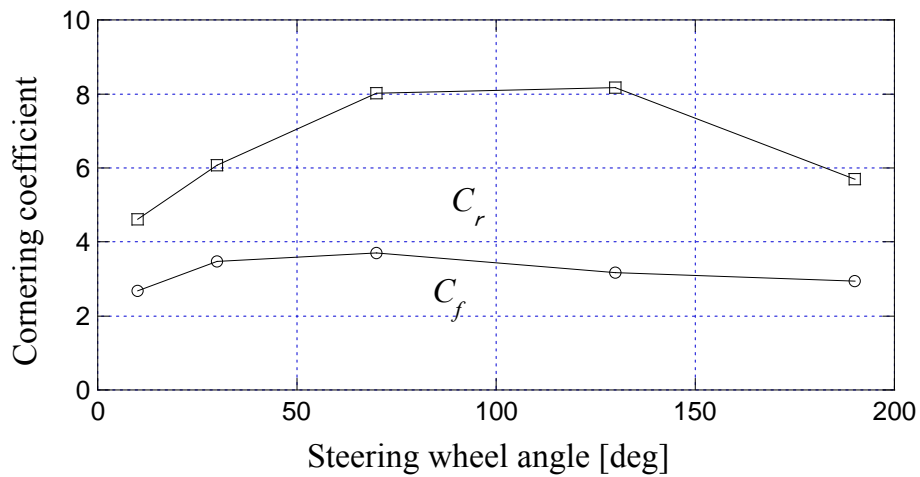
この結果より、例としてハンドル角 70[deg]のデータを用いて等価コーナリング係数を同定すると $C_f=3.71$ 、 $C_r=8.0$ となり、この値より、等価コーナリングパワーの各係数は $K_f=203000$ [N/rad]、 $K_r=280000$ [N/rad]、 $K_{r2}=257000$ [N/rad]となり、車両運動モデルの最終運動方程式を構築された。

次に構築した運動モデルが正しいか検証するため、操舵量に対する実際に発生するヨーレート量と横滑り角とモデルより計算したヨーレート量と横滑り角の比較検討を行った。比較結果を図Ⅲ.2-25に示す。

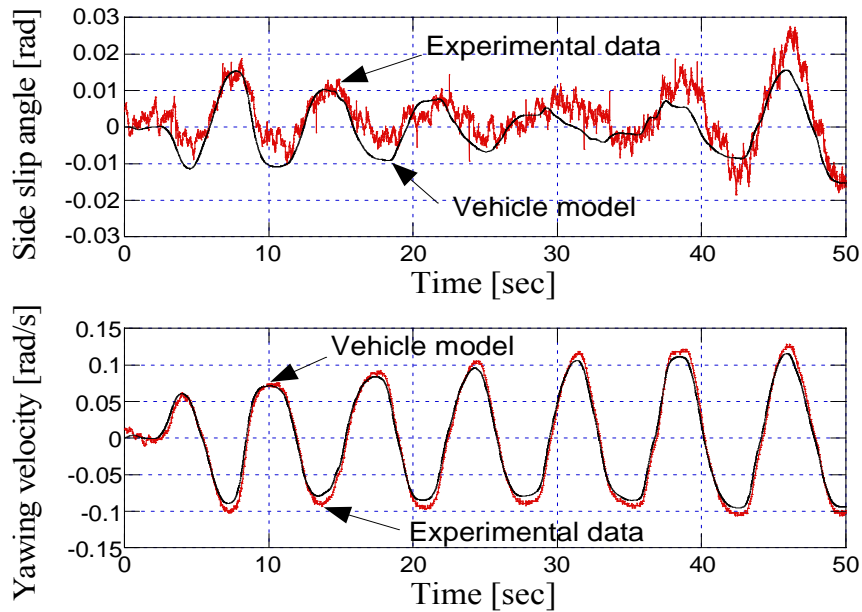
この図から明らかなように構築したモデルからの算出値と実験値はほぼ一致しており、モデルの正確さが検証された。



図III.2-23 多水準ハンドル角固定条件における定常円旋回特性



図III.2-24 多水準ハンドル角固定条件におけるコーナリング係数



図Ⅲ.2-25 ヨーレート量と横滑り角の同定精度

1)-2 前後方向運動モデルの設計（車間保持制御のための車両運動モデル）

車間距離制御および速度制御のための前後方向に関する運動モデルとして以下の運動方程式を設計した。

ここではアクチュエータと車両運動モデルの関係が不明のためアクチュエータと車両運動を包含した方程式を2種類設計した。

- ◇ 第1モデル：一次遅れモデル+アクチュエータ一次モデル

$$\begin{cases} \dot{x}_i = v_i \\ \dot{v}_i = -\frac{1}{T_i} v_i + \frac{K_i}{T_i} u_i \end{cases}$$

- ◇ 第2モデル：エンジン・ブレーキ系特性を考慮した二次モデル+アクチュエータ一次モデル

$$\begin{cases} m_i \ddot{x}_i = f_i - k_{di} \dot{x}_i - d_{mi}(v_i) \\ \dot{f}_i = \frac{1}{\tau_i(v_i)} (-f_i + K_i u_i) \end{cases}$$

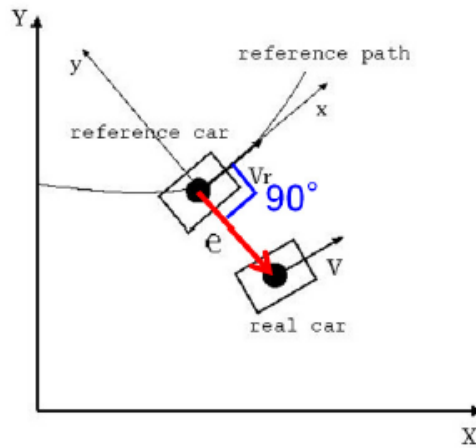
ここで、添え字 i は i 番目の車両であることを表し、 f_i は駆動力、 k_{di} は空気抵抗による粘性係数、 d_{mi} は機械抵抗、 τ_i はエンジン時定数を表している。

2) 車線保持制御モデルの設計

車線保持制御の開発目標値を達成するため、上記横方向運動モデルを用いた車線保持制

御モデルの設計を行った。

これまで車線保持制御モデルとしてはドライバの運転行動をモデル化した前方注視モデルや PID 等が開発されているが、本プロジェクトでは高精度な制御が期待できる車両運動モデルベースの制御則を開発した。図Ⅲ.2-26 に開発した Path Following の制御概念を示す。Path Following は図Ⅲ.2-26 に示すように仮想的に設けられた参照軌道上を走行する参照車両の描く軌跡を実車両に追従させる制御法である。以下に設計した Path Following 制御モデルを示す。



図Ⅲ.2-26 Path Following

参照車両の車両モデルより参照車両から実車両を見たときの絶対座標および偏向角として e_1 、 e_2 、 e_3 を定義すると次のようになる。

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_r + \beta_r) & \sin(\theta_r + \beta_r) & 0 \\ -\sin(\theta_r + \beta_r) & \cos(\theta_r + \beta_r) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_r \\ y - y_r \\ (\theta + \beta) - (\theta_r + \beta_r) \end{bmatrix}$$

ここで、添字の r が付いているものが参照車両における各種の変数を表す。参照車両が実車両の走行速度に合わせて常に並走しているとすると、誤差方程式は次のようになる。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \sin e_3 \\ \omega - \omega_r \end{bmatrix}$$

次に誤差方程式についてリアプノフ関数の候補を次のように定義する。ただし、 K_2 は正の定数である。

$$V_1 = \frac{1}{2}e_2^2 + \frac{1 - \cos e_3}{K_2}$$

ここで K_3 を正の定数として、次のようなコントローラを導入する。

$$\omega_c = \omega_r + K_2 e_2 V_r + K_3 \sin e_3$$

これより V_1 の時間微分は次のようになり、リアプノフの安定性理論により制御の安定性が保証される。

$$\dot{V}_1 = -\frac{K_3}{K_2} \sin^2 e_3 \leq 0$$

しかし、実車両に対して ω_r を直接入力することはできないため、 ω_r を次の車両運動モデル式を用いて次のような舵角入力へと変換し車線保持制御モデルを構築した。

$$\delta_c = \frac{MV}{2K_f} \left\{ \frac{2(K_f l_f - K_r l_r)}{MV^2} \gamma + \frac{2(K_f + K_r)}{MV} \beta + \omega_r + K_2 e_2 V + K_3 \sin e_3 \right\}$$

次に設計した制御モデルの検証を行うために、実車による単車両の車線保持実験を産業技術総合研究所高速周回路にて行った結果、制御パラメータの調整を行うことにより時速 80km/hr にて横偏差を $\pm 10\text{cm}$ 以内に制御する事ができた。今後走行条件を変えて追加実験を行い性能確認する必要があるが、ほぼ開発目標を達成できる見通しを得た。

3) 車間距離制御モデルの設計

従来に提案されている隊列走行における車間距離制御として、先頭車両の実速度、加速度を後方車両に車車間通信により送信し、前方車両との車間距離を制御するというものが良く研究されているが車群安定性をいかに保証するかという課題があった。

本プロジェクトでは、隊列内のすべての車両が共通の目標速度と実車間距離を用いて制御する制御則を開発した。具体的には車車間通信により、後方車両が計測した後方車両との車間距離を得て、自車が計測する前方車両との車間距離とともに利用する車間距離制御法を構築した。以下に車群安定性を考慮した制御則を次に示す。

$$u_i = \frac{T}{K} \left(\frac{1}{T} v_i + \dot{v}_r - c_0 w_i + k_1 d_{i-1} - k_2 d_i + c_1 (v_{i-1} - v_i) - c_2 (v_i - v_{i+1}) \right)$$

ここで、添え字 i は i 番目の車両であることを表し、 u_i は制御入力、 T は時定数、 K はエンジンやブレーキなどのゲイン、 v_i は車速、 \dot{v}_r は目標加速度、 d_i は車間距離誤差、 w_i は速度誤差、 c_1 と c_2 、 k_1 、 k_2 は正の定数を表している ($c_1 = c_2$ 、 $k_1 = k_2$)。

開発した車間距離制御則の妥当性を検証するため、後述する隊列シミュレータを用いて性能検証を行った。なお、シミュレーションを行うに際し、実験車両の個体差を考慮し、車両モデルにも個体差を付加して検討した。表 III.2-15 に隊列走行シミュレータによる制御

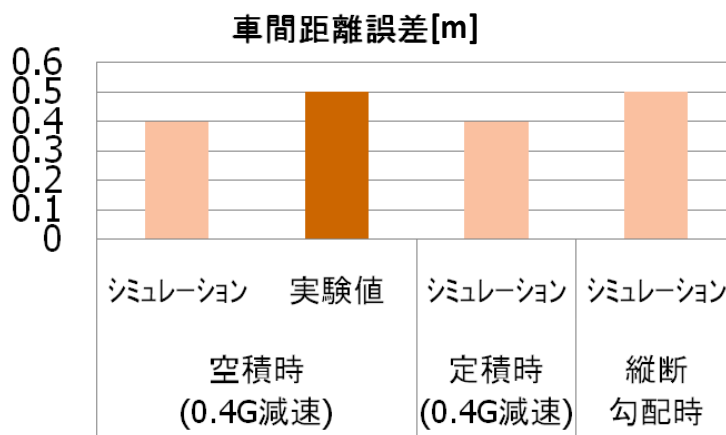
モデルの性能評価結果を示す。

表Ⅲ.2-15 制御モデルの性能評価結果

評価項目	条件設定	制御結果
1. 80km/h までの加速時の制御性	・ 加速度 : 0.1G ・ 個体差 : シフトやクラッチの操作時間	開発目標値を達成
2. 80km/h 定常時の制御性	個体差 : 車両重量	開発目標値を達成
3. 減速時の制御性	減速度 : 0.4G	開発目標値を達成
4. 積載量変化時の制御性	定積 : 車両総重量、25t 空積 : 車両総重量、12t	開発目標値を達成
5. 0.4G 減速に対する積載量変化時性能	減速 G:0.4G 定積 : 車両総重量、25t 空積 : 車両総重量、12t	開発目標値を達成
6. 縦断勾配時の制御性	縦断勾配 : 0, 4.0%	開発目標値を達成

0km/から 80km/h への加速時では変速開始と同時に車間距離誤差が発生しているが、目標値内に収束している。80km/h 定常時の場合では、制御性に差は見られない。

また、0.4G 減速に対するシミュレーションでの制御性および実車走行実験時の車間距離制御性を図Ⅲ.2-27 に示す。空積時の実車実験の結果、車間距離制御における振動の抑制が行われており、開発目標性能を達成している。また、重量変化や道路縦断勾配変化に対しても十分な性能を達成している。実車実験およびシミュレーション結果より開発した車間制御モデルは開発目標性能を達成するに十分な性能を有している。

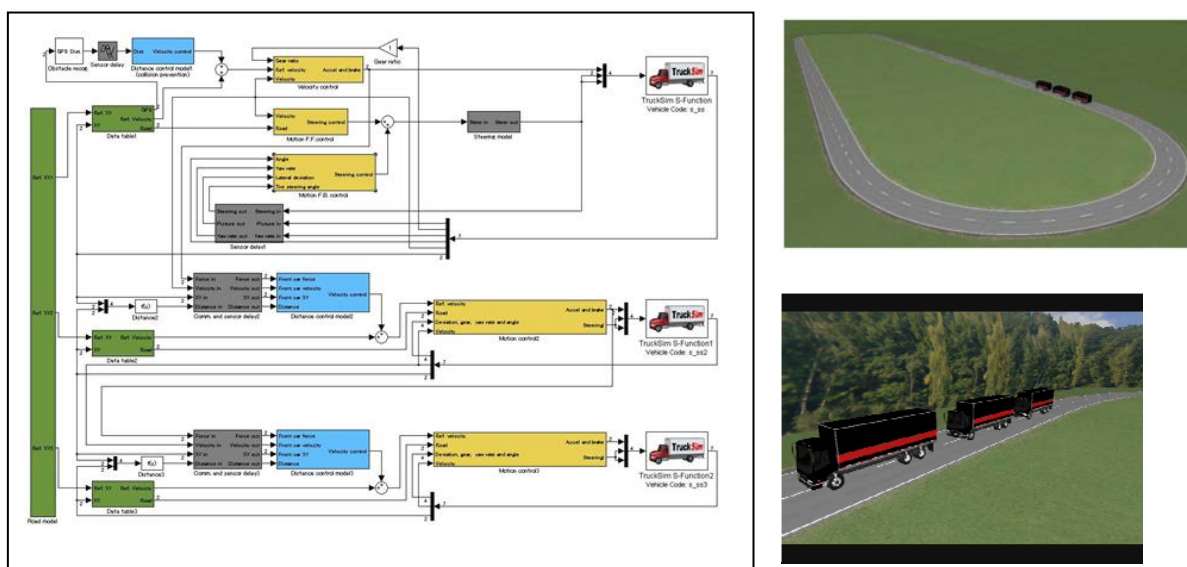


図Ⅲ.2-27 車間距離制御誤差の比較

4) 隊列走行シミュレータの製作

センサや制御装置等自動運転システムを構成する機器の応答性や精度、機能等の要求仕様を策定するため、自動車シミュレータ・トラックシミュレータを用いて車両運動モデル、制御モデル、道路モデルから構成される隊列走行シミュレータを設計した。

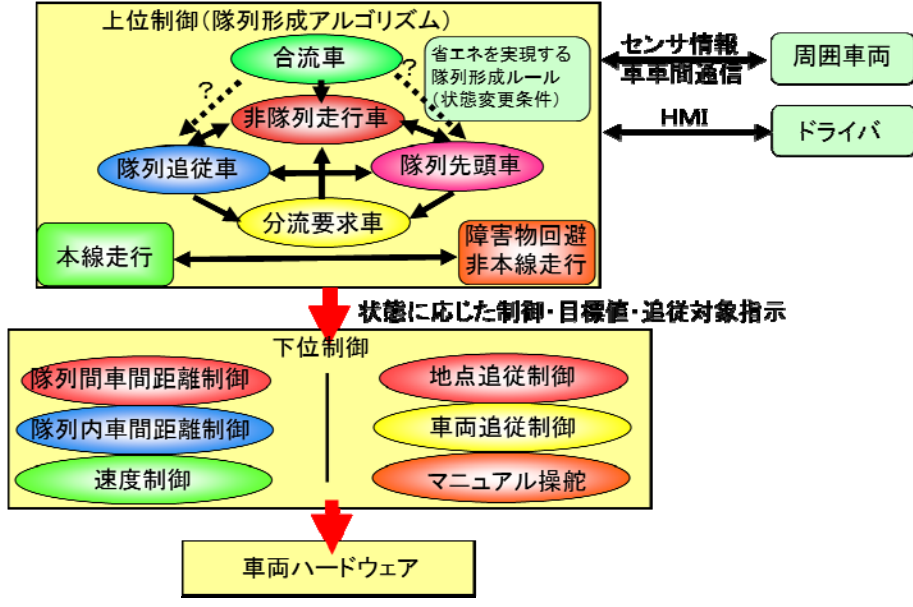
設計した隊列シミュレータの構成を図III.2-28に示す。上述のように設計した車間距離制御アルゴリズムを実験車と隊列シミュレータにて相互比較した結果、車間距離制御性能はほぼ同等であり、設計した隊列シミュレータが制御アルゴリズムの事前検証に有用であることが示された。



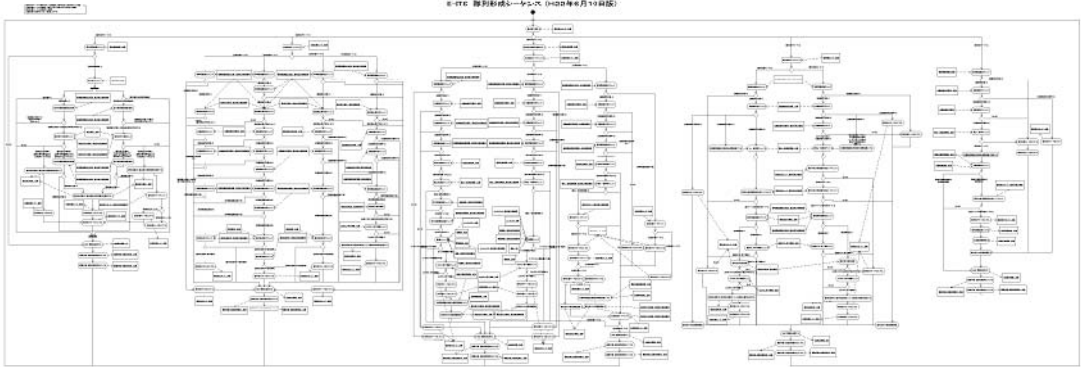
図III.2-28 隊列走行シミュレータ外観図

(2) 隊列形成アルゴリズム開発 (慶應義塾大学)

車両の自律分散的挙動を許容し、同時に隊列形成時の省エネルギー化を実現するための隊列形成アルゴリズムを構築し、それを隊列形成ソフトウェアと実装するための制御シーケンスを構築した。具体的には、第一に、二階層構造から成る隊列形成制御アーキテクチャと隊列形成アルゴリズムを構築し、小型電気自動車を用いて実験を行い、有効性を確認した。図III.2-29に隊列形成アーキテクチャの基本構造を示す。本線走行中の隊列形成は形成時、周辺を走行する一般車の存在状態により大きく変化するため、考えるすべて事象に対する形成シーケンスを検討し、形成アルゴリズムを構築した。第二に、構築した隊列形成アルゴリズムを大型貨物自動車の制御システムに実装するための、隊列形成ソフトウェアの制御シーケンスを車両近接時からの隊列形成のシナリオを対象に構築した (図III.2-30)。構築した隊列形成ソフトウェアの制御シーケンスの評価のためにシミュレータ (図III.2-31)を開発し、制御シーケンスの妥当性を検証した。



図Ⅲ.2-29 隊列形成アーキテクチャの基本構造



図Ⅲ.2-30 隊列形成制御シーケンス



図Ⅲ.2-31 隊列形成制御シーケンス評価用シミュレータ

2.3.4 位置標定技術の開発

実施先：三菱電機（株）

日本電気（株）

東京大学

(1) 道路地図作成技術の開発（三菱電機、日本電気、東京大学）

1) 道路電子地図データ作成技術（三菱電機）

自動運転・隊列走行において分合流部での車線変更制御や障害物検出、また、一般道での省エネ運転制御のため、現在位置から目的地に行くための詳細な目標軌跡を生成する必要があると同時に目標軌跡位置ごとの道路属性を付加したデータが必要である。このため道路区画白線や道路案内様式等の道路側方の構造物座標等従来の道路地図にはない自動運転・隊列走行用道路地図を作製する必要がある。このため三菱電機が保有する道路計測システム MMS (Mobile Mapping System) を用いて道路データ収集を行い、収集したデータをもとに走行実験で使用する 4 ケ所の実験路（日本自動車研究所-模擬市街路、産業技術総合研究所-高速周回路および評価路、未供用高速道路）について、道路電子地図データを作成した。MMS によって計測した GPS データ、レーザ点群データ、カメラ画像データ等から作成された道路地図を図 III.2-32 に示す。この図から分かるように、目標軌跡座標や目標軌跡に付加する道路構造物データを生成するため、デジタル道路地図には車線毎の区画白線や白線の種類、信号機位置、信号機高さが付加されている。生成した地図の位置精度は開発目標である 0.5m 以内で作成することができた。

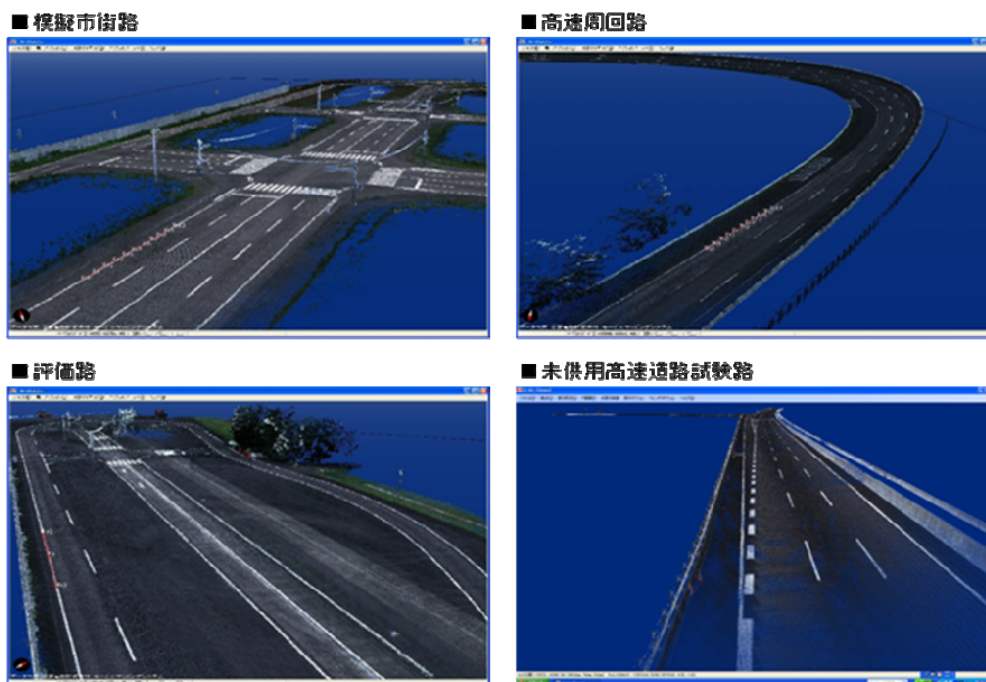
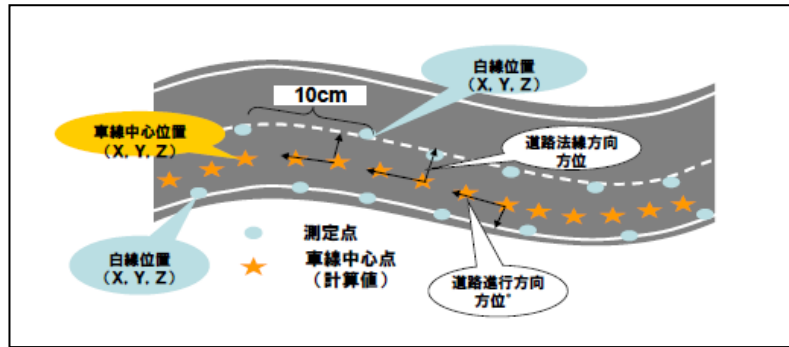


図 III.2-32 実験路の道路電子地図データ（3D イメージ）

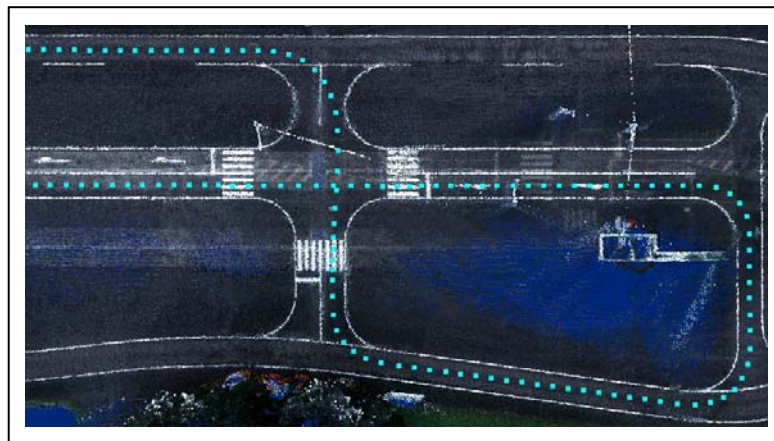
2) 目標走行軌跡生成技術（日本電気）

自動運転・隊列走行の出発地点から目的地点までの目標走行軌跡曲線を、道路計測データをもとに平面曲線プラス縦断曲線の合成曲線ではなく、より精度が高い3次元空間曲線として生成するアルゴリズムを開発した。図Ⅲ.2-33に基本的考えを示す。

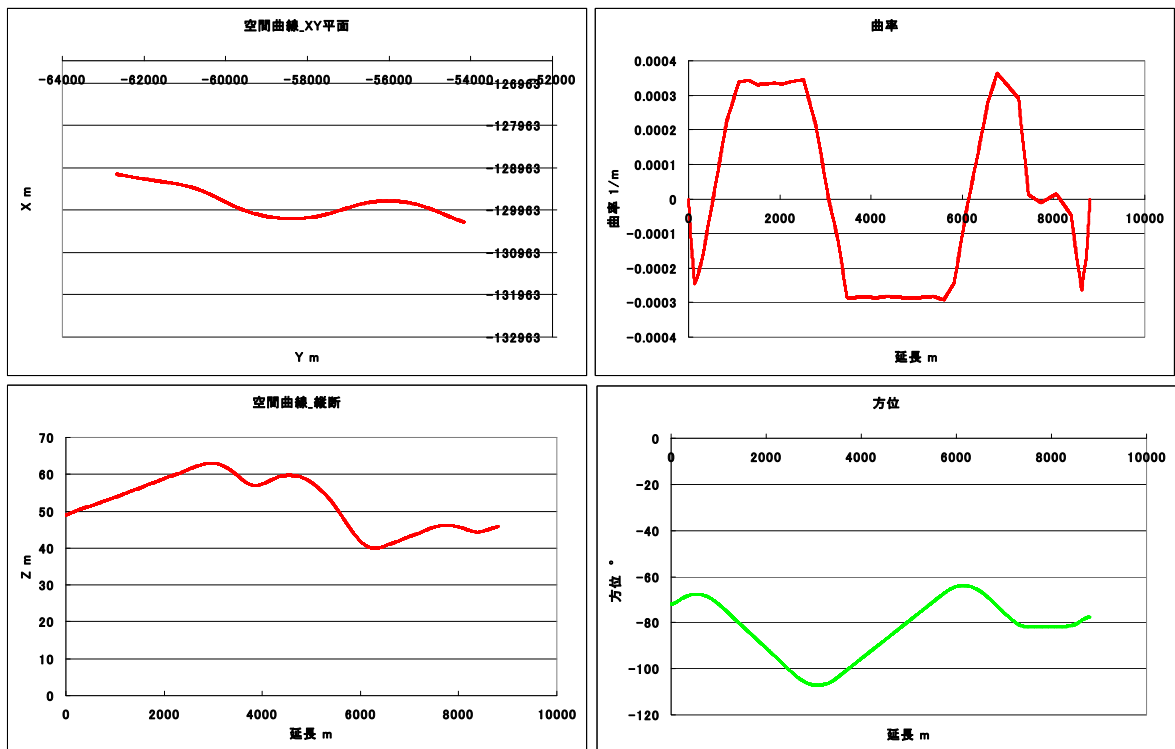


図Ⅲ.2-33 目標軌跡生成のアルゴリズムの考え方

一般的に、道路計測データには計測誤差やばらつきが存在するが、その影響を吸収し、かつカーブや交差点においても走行軌跡が緩やかに変化する連続曲線を生成できるアルゴリズムとし、4ヶ所の実験路（日本自動車研究所-模擬市街路、産業技術総合研究所-高速周回路および評価路、未供用高速道路）について目標走行軌跡曲線を生成した。図Ⅲ.2-34に日本自動車研究所-模擬市街路での目標軌跡座標の線形を示す。また、生成した曲線データをインデックステーブルとして出力した。図Ⅲ.2-35に未供用高速道路実験路の目標走行軌跡曲線の3次元空間曲線データを示す。



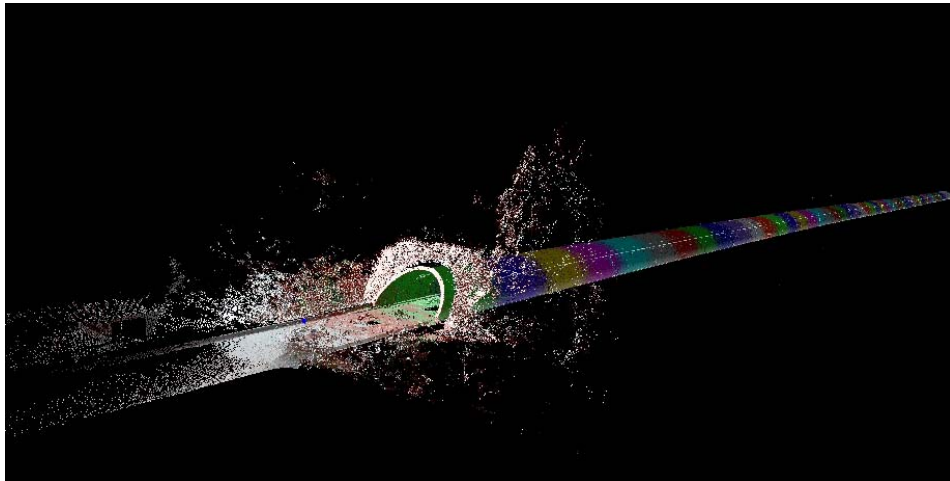
図Ⅲ.2-34 目標走行軌跡曲線（日本自動車研究所-模擬市街路）



図Ⅲ.2-35 未供用高速道路の目標走行軌跡曲線データ

3) 3次元データ道路地図作成技術（東京大学）

解放された道路空間の3次元デジタル道路地図は三菱電機のMMSにより得られた道路データをもとに作成されたがMMSの位置はGPSの測位データをもとに計測されており、トンネル等のGPSによる測位ができない区間では地図作成ができない。また、トンネル内には送風機や照明装置等、障害物センサにとって誤検出の原因となる多くの構造物が存在する。そこでより詳細な地図データを作成するため車両に全方位計測可能なレンジセンサを取り付け、ストップ・アンド・ゴー方式で、壁・天井・路面を含めたトンネル内全体の高精度な3次元形状計測が可能となる計測技術を利用してトンネル内のデータ計測を行い、これを基にトンネル内モデルを作成する。具体的一例として、未供用高速道路のトンネル下り車線（全長4662m）区間を235の距離画像として取得し、重複部位を繋ぎ合わせることで図Ⅲ.2-36のようなトンネルモデルを作成した。

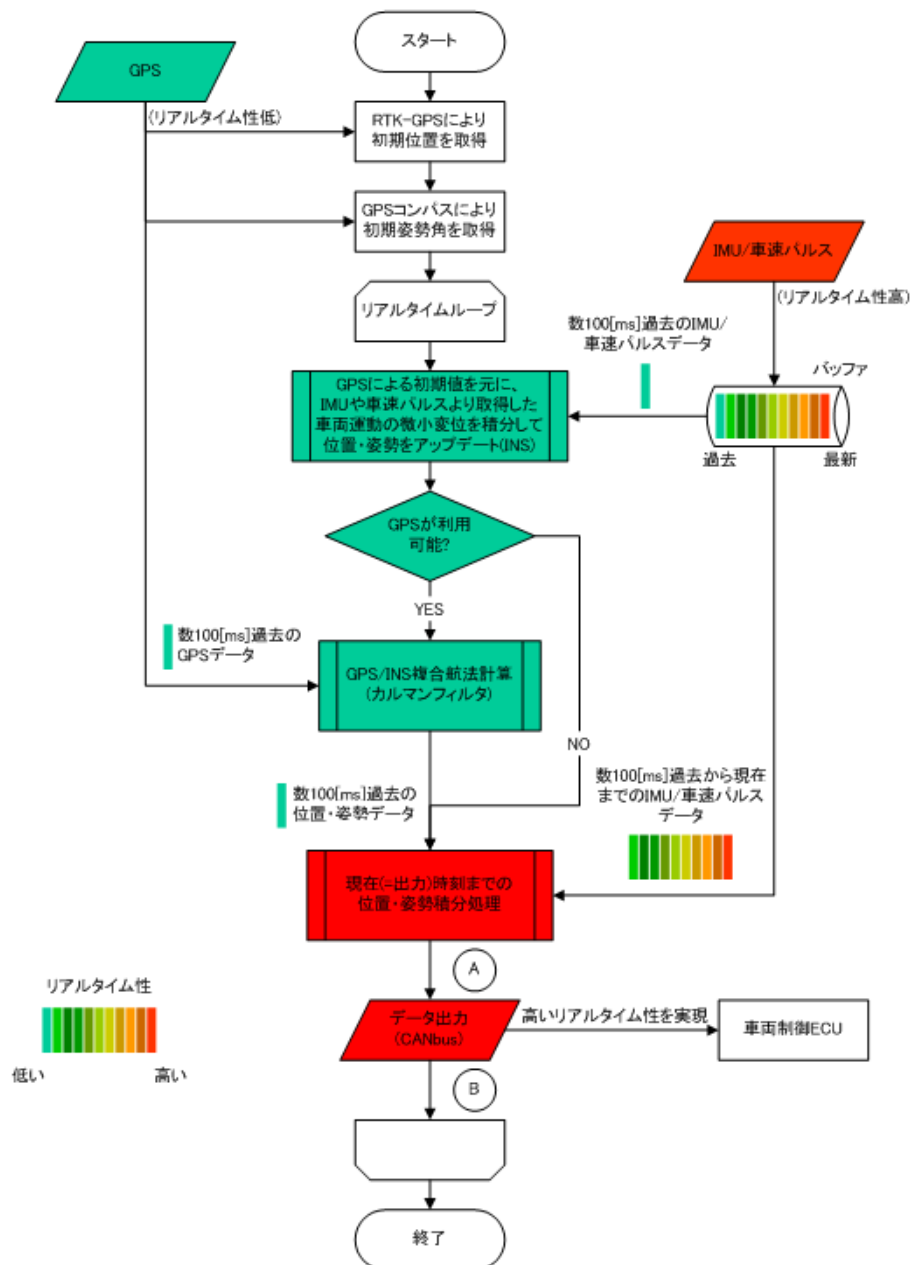


図Ⅲ.2-36 繋ぎ合せたトンネル形状の3次元モデル

(2) 位置標定技術の開発（三菱電機、東京大学）

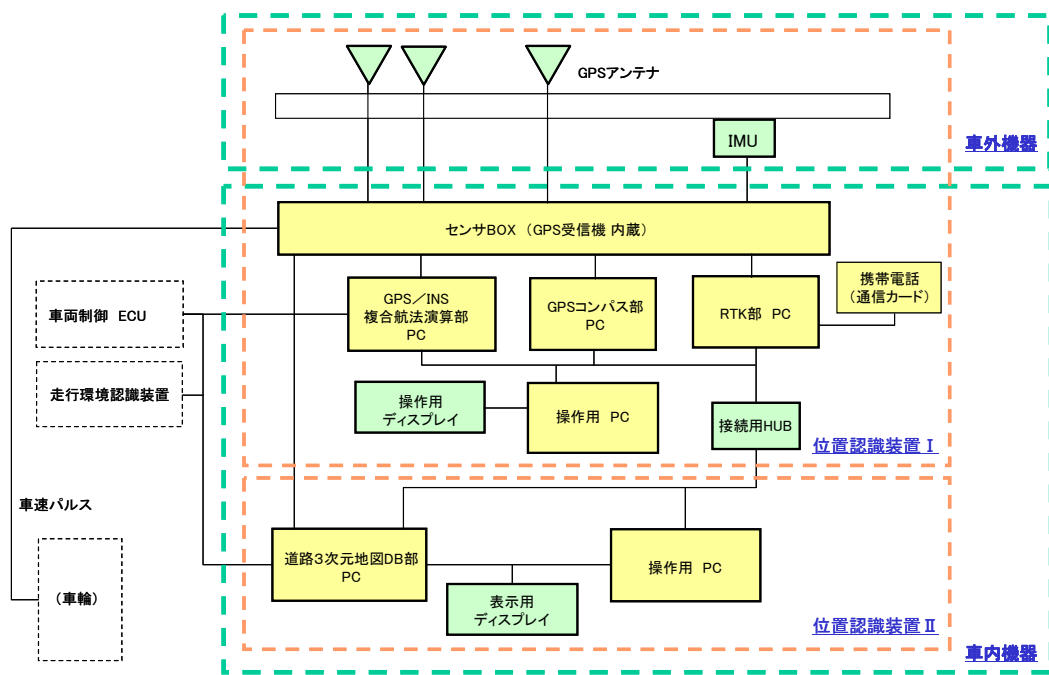
1) リアルタイム自己位置標定技術

自動運転・隊列走行の目標値を達成するには走行速度 80km/hr の移動中において測位精度約±0.5m の位置標定精度が要求され、本プロジェクトでは GPS と車載センサにより高精度なリアルタイム車両位置標定アルゴリズムを開発する必要がある。ここで問題となるのが GPS のデータ受信遅れや信号途絶である。この問題に対して、ジャイロセンサ等から構成される慣性航法ユニットおよび車速パルスにより逐次得られる車両運動の微小変位を積分して位置と姿勢を求め、これを GPS より得られる絶対的な位置および姿勢情報によって補正することにより、位置精度を向上する技術を開発した。本アルゴリズムのフローチャートを図Ⅲ.2-37 に示す。



図Ⅲ.2-37 リアルタイム車両位置標定アルゴリズムのフローチャート

上記位置標定アルゴリズムを基に、自動運転・隊列走行の実験車に搭載する位置認識装置を設計、製造した。本装置の構成を図Ⅲ.2-38に、装置の外観を図Ⅲ.2-39に示す。



図III.2-38 位置認識装置の構成



図III.2-39 位置認識装置の概観

本装置を搭載した実験車を用いて、3ヶ所の実験路(日本自動車研究所-模擬市街路、産業技術総合研究所-評価路及び高速周回路)において位置精度評価を行い、結果として、いずれの実験走行においても位置精度目標の0.5 [m] 以下を達成した。各実験路での評価結果を表III.2-16に示す。

また、リアルタイム性については、本装置の位置認識結果が実時間に対してどの程度遅れてCANbusに出力されているかを評価した。結果として、CANbus出力直前までの遅延が約300 [μs]、出力自体にかかる処理時間が約80 [μs]となり、CANbusに出力する位置情報等の6つのメッセージの遅延は1 [ms] 以内であることを確認した。

表Ⅲ.2-16 位置認識装置の位置精度評価結果

実験車	場所	車速 [km/h]	平均 PDOP	SEP [m]	99% (3D) [m]
自動運転実験車	評価路	20	2.4	0.011923	0.031365
隊列走行実験車	評価路	20	2.1	0.012338	0.030746
自動運転実験車	周回路	30	4.3	0.025676	0.073758
自動運転実験車	周回路	50	3.9	0.023753	0.068215
自動運転実験車	周回路	80	3.6	0.030304	0.083002
自動運転実験車	周回路	急停車	3.2	0.017318	0.054085
隊列走行実験車	周回路	30	2.8	0.016681	0.041670
隊列走行実験車	周回路	50	2.4	0.017012	0.040619
自動運転実験車	模擬市街路	30~50	2.5	0.016037	0.043790

PDOP (Position Dilution of Precision) : 小さいほど GPS 測位精度が良好

SEP (Spherical Error Probable) : 3D 偏差の少ないものから 50%が包含される球の半径

99% (3D) : SEP と同じ考え方で確率を 99%としたもの

2) 全方位カメラによる位置標定の開発

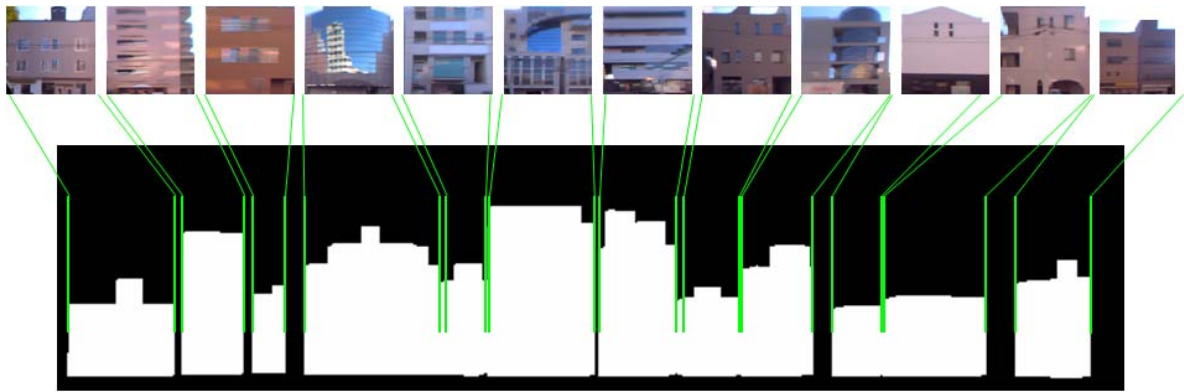
建物などによって GPS 電波の受信しにくい市街地において、360° を 1 枚の画像で取得できる全方位カメラを使用し、建物や建物のコーナーといったランドマークを追跡することで自車位置を推定するアルゴリズム開発を行った。

建物認識のアルゴリズムでは、車載カメラによって得られた画像から、建物高さ情報を追加した時空間ボリューム (THI 画像) を生成し、実画像と 3 次元地図空間から仮想的に得られた THI 画像を比べることで建物を認識した。結果を表Ⅲ.2-17 に示す。

表Ⅲ.2-17 建物認識結果

計測シーン	計測範囲	建物数(正解)	認識結果
1	120 m	8	7
2	150 m	12	12
3	150 m	9	9

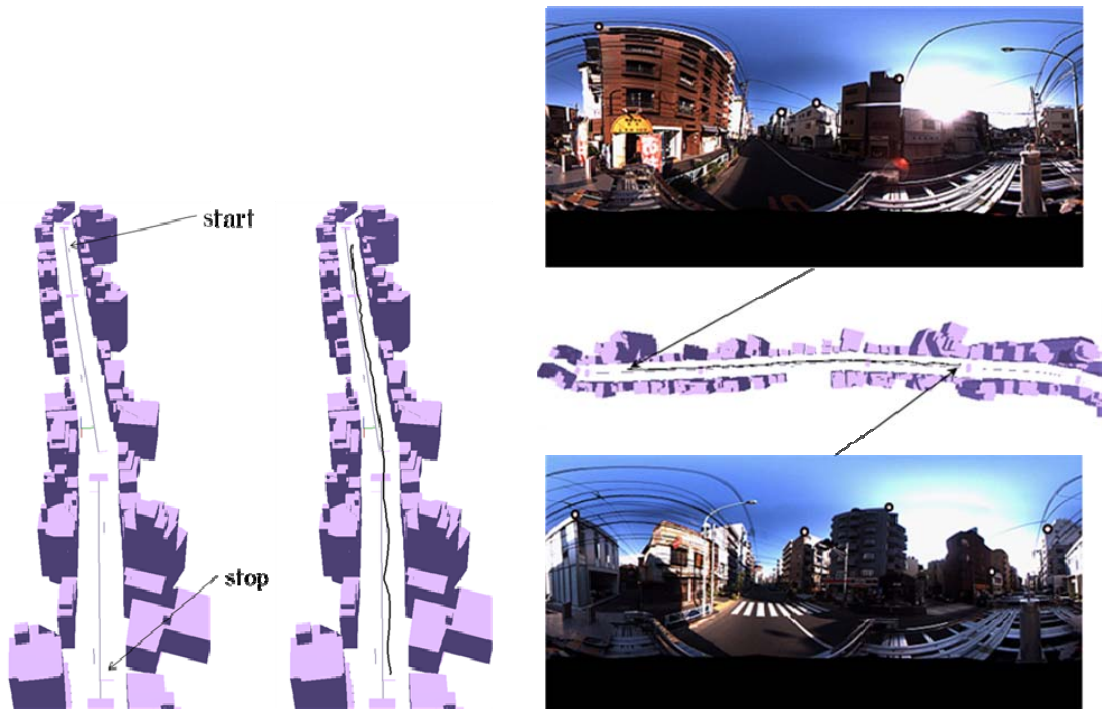
計測シーン 1 で建物が 1 つ認識できていないことを除いては、他の建物をすべて正しく認識することができており、本手法によって市街地の建物を良好に認識できていることが分かる。また、建物を認識した結果について、地図と画像との対応をとったものを図Ⅲ.2-40 に示す。



図III.2-40 市街地における建物認識結果

ランドマーク追跡によるアルゴリズムでは、道路沿いの建物から得られる特徴点を最低 3 点用いて、自車位置姿勢推定を行うアルゴリズムを開発した。本手法の有効性を検証するため、シミュレーションデータを用いて、精度評価を行った。カメラ中心より半径 25m 以内の 3 次元点を利用し、カメラ位置姿勢を推定したところ、点間角度が 90° 以上あれば、位置誤差は 4.22cm、姿勢誤差は 0.78° であった。

また、本手法の市街地における有効性を確認するため、実際に市街地を走行して得られた全方位画像を用いて、自車位置姿勢推定を行った。自車位置姿勢推定の結果を図III.2-41 に示す。推定された実験車両が走行レーン内に収まっており、市街地においても良好に自車位置を推定できていることが分かる。



図III.2-41 市街地における自車位置姿勢推定結果

2.3.5 白線認識技術の開発

実施先：弘前大学
 (株) デンソー
 日産自動車 (株)

道路白線認識技術としてカメラ画像から白線を認識する画像認識技術がほとんどであり、市販されている安全運転支援システムに既に実用化されている。しかし、自動運転・隊列走行では様々な自然環境に対して極めて信頼性の高い認識性能が要求され、この要求値を画像認識のみで達成するのは極めて困難であると考えられる。本プロジェクトでは3種類のセンシング技術を併用することにより目標を達成する方式を開発した。具体的には第1の技術はカメラからの画像認識技術、第2がレーザレーダによる白線検出技術、第3が高速ビジョンカメラである。それぞれのセンシング技術はすべての自然環境に万能ではなくそれぞれの強み、弱みがある。表Ⅲ.2-18に3種類の検出性能の特徴を示す。

表Ⅲ.2-18 白線認識技術の特徴

項目	レーザレーダ	高速ビジョンカメラ	既存カメラ
路上影の影響	◎	○	△～×
照度変化	◎	○	△～×
白線の水没	△～×	○	○
白線情報量	○	◎	◎

表Ⅲ.2-19に白線認識技術の開発目標を示す。ここで目標未検出率が誤検出率より低いのは未検出が瞬間的に発生しても車線保持制御性に影響を与えないのに対し、誤検出が発生すると、真の位置と異なった位置を出力するため、極めて急操舵等の危険な事象が発生する可能性があるからである。

表Ⅲ.2-19 白線認識技術の開発目標

開発目標	中間目標	最終目標	環境条件
検出精度	±20mm	±20mm	第3種白線
誤検出率 (処理フレーム総数あたり)	10 ⁻⁵ 以下	10 ⁻⁶ 以下	<ul style="list-style-type: none"> 産総研高速周回路1周 晴天、曇天、雨天 逆光(西日等)
未検出率 (処理フレーム総数あたり)	10 ⁻³ 以下	10 ⁻⁴ 以下	

(1) 画像認識技術の開発 (弘前大学)

1) 白線認識アルゴリズムの開発

白線幅を満たす輝度変化のピーク点対から検出した白線候補点に対して直線をあてはめ、直線上の輝度値と直線に沿った白線幅の変化から白線を認識するアルゴリズムを開発した。未供用高速道路において収集した画像（昼間、夜間、晴天、雨天）および未供用高速道路のトンネル内で収集した画像（照明条件 100%、50%、25%）において、最左端の実線白線を検出する実験を行った結果、車両を自動操舵する上で十分な性能が得られた。図Ⅲ.2-42に、影、雨、トンネル内における白線認識結果を示す。また、表Ⅲ.2-20に、上記収集画像における未検出フレーム数および誤検出フレーム数を示す。晴天時に発生した未検出は、道路継ぎ目のコンクリート部の反射が原因であるが、未検出の状態は 1 フレームで回復するため、未検出時に前フレームの操舵情報を保持することで回避できる。



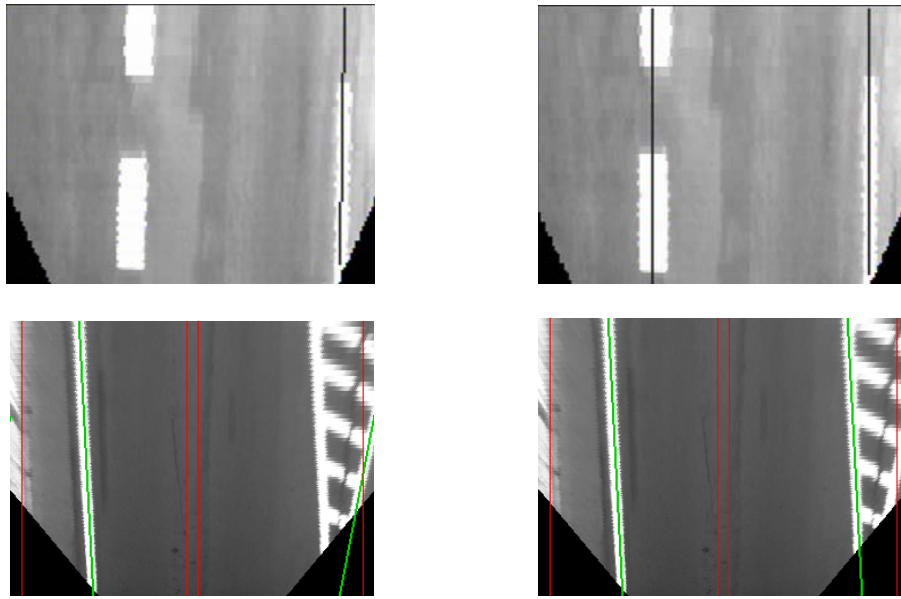
図Ⅲ.2-42 白線認識結果 (左：影、中央：雨、右：トンネル内 (25%照明))

表Ⅲ.2-20 未供用高速道路 実線部の白線検出率

シーン	総フレーム数	未検出フレーム数	誤検出フレーム数
晴天	9000	1	0
雨	7200	0	0
トンネル(照明 25%)	3600	0	0

2) 地図情報を用いた区画線認識

側方カメラは真下を撮像するため視野が狭く、破線の認識や路面パターンによる誤検出を回避することが難しい。このため、左右白線の存在状況、種類（実線、破線、二重線、ゼブラゾーンなど）、色情報（白線、黄線）、白線幅、白線の擦れ・汚れなどといった区画線情報を付加した地図情報を用いて白線を検出する手法を開発し、実験により有効性を確認した。図Ⅲ.2-43に地図情報を用いた場合と用いない場合の白線認識結果を示す。地図情報を用いることにより、破線の検出性能が向上し、路面パターンによる悪影響を抑えられることが確認できた。



図Ⅲ.2-43 白線認識結果（左：地図情報未利用、右：地図情報利用）

3) 白線認識装置の開発

車載画像処理用 LSI（東芝：Visconti）を用いた白線認識用画像処理装置を開発し、上記白線認識アルゴリズムを実装した。1フレーム当たりの処理時間は 33ms 以下であり、車両の自動操舵に十分な速度が得られた。図Ⅲ.2-44 に白線認識装置の外観を示す。



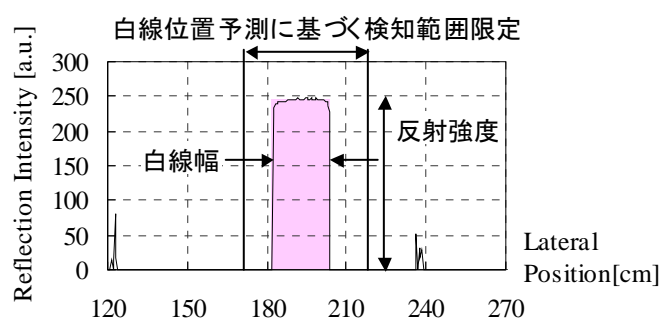
図Ⅲ.2-44 白線認識装置

(2) レーザレーダ白線検出技術の開発（デンソー）

1) 白線認識アルゴリズム開発

トンネル出入り口部や晴天時に発生する橋梁部による影等照度変化が急変する道路環境において、既存のカメラ等により撮像された画像をもとに白線認識することはカメラの照度制御応答性からみて極めて困難であり白線の未検出が発生する。本技術の白線認識では白線を検出するためにレーザ光を用いるため影等の影響を受けないと考えられる。

レーザレーダ白線検出では路面（アスファルト）と白線との反射強度差、白線幅情報、検知結果履歴を活用した白線位置予測に基づき、白線を抽出する白線認識アルゴリズムを開発した（図Ⅲ.2-45）。



図Ⅲ.2-45 白線認識アルゴリズムの原理

2) 白線認識システム開発

水平方向の分解能に優れるデンソーレーザレーダを使用し、上記アルゴリズムを実装したレーザレーダ白線認識装置を開発し、実験車に搭載した（図Ⅲ.2-46）。静止時において認識精度平均±20mm 以内を確認した。

デンソーレーザレーダ



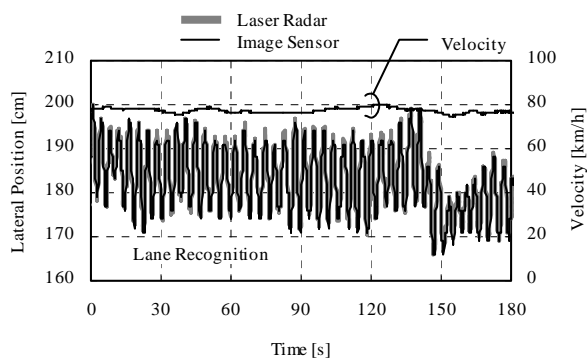
認識アルゴリズムを実装した信号処理装置



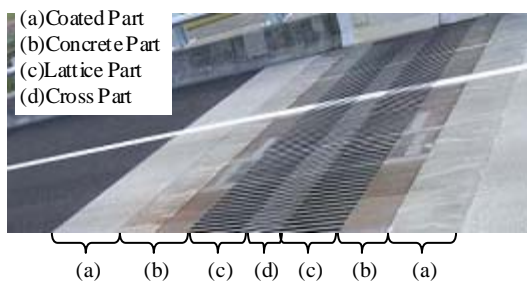
図Ⅲ.2-46 白線認識システム外観

3) データ収集・性能評価

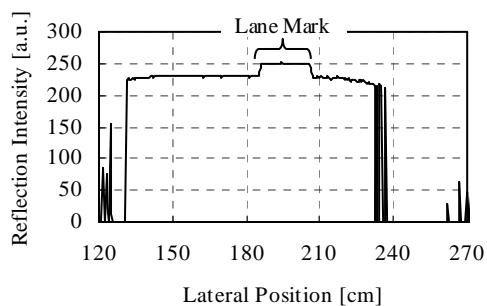
未供用高速道路本線区間にて高速走行時のデータ収集および性能評価を実施した。その結果、画像による白線認識結果と同様の白線認識ができることを確認した（図Ⅲ.2-47）。また、橋梁の継目（図Ⅲ.2-48）においてノイズが検出され白線判定マージンが低下することを確認した（図Ⅲ.2-49）。



図Ⅲ.2-47 未供用高速道路走行時の白線認識結果



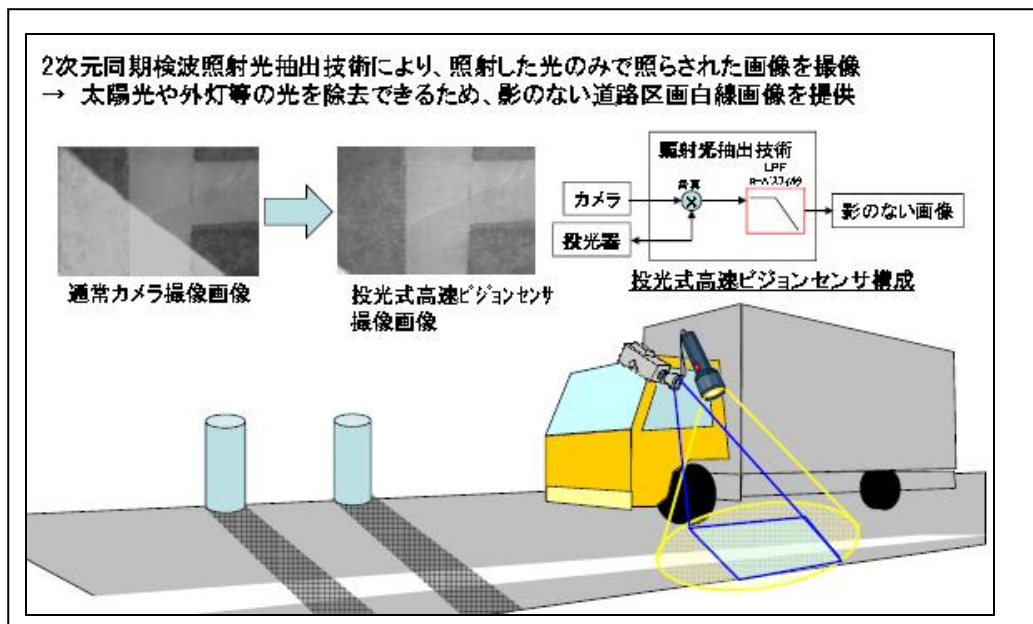
図Ⅲ.2-48 未供用高速道路橋梁継目外観



図Ⅲ.2-49 橋梁継目での反射強度波形

(3) 高速ビジョンセンサの開発（日産自動車）

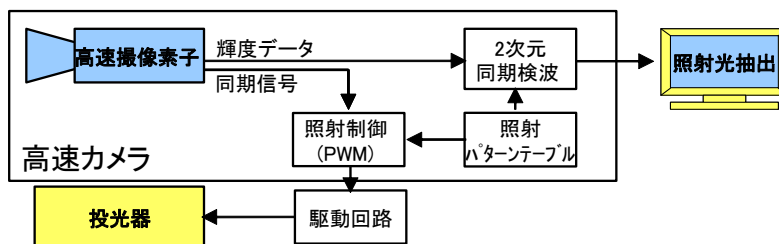
本研究では、パルス光の投光により周囲の光環境の変化に強く、影に影響されない道路区画白線が撮影可能なビジョンセンサおよびそのアルゴリズムを開発する。図Ⅲ.2-50 に高速ビジョンカメラの全体構成を示す。



図Ⅲ.2-50 高速ビジョンカメラ全体構成

1) 2次元同期検波照射光抽出回路試作

キー技術となる照射光抽出機能は、高速カメラを用いた2次元同期検波照射光抽出技術により実現する。この手法は、輝度変調した照射光を高速カメラを用いた同期検波により、太陽光等の外乱光の影響なく照射光が抽出可能である。図Ⅲ.2-51 に本手法のブロック図を示す。



図Ⅲ.2-51 2次元同期検波照射光抽出技術

照射光抽出機能のリアルタイム処理実現のため、撮像素子より出力される画素データをバッファリングすることなく処理可能な、高速カメラ用信号処理アーキテクチャとなる逐次パイプライン演算手法を採用しFPGAに実装した。

2) 車載評価用原理確認試作装置搭載実験車両

リアルワールド実験のため、車載評価用原理確認試作装置を搭載する実験車両を構築した。実験車両は図Ⅲ.2-52 に示すように、車両側方に高速カメラと投光器を、車内に高速カメラ対応画像処理ユニット、外部信号 I/F、日産製ロガーを搭載する。投光器は図Ⅲ.2-53 に示すように最終形態をイメージした小型 LED ランプ（左図）とデータ評価用の均一な光を照射できる均一光投光器（右図）を搭載し、評価項目により切り替えて使用する。また日産製ロガーは今後のアルゴリズム開発などを行うため、高速カメラから出力される全データを取得する。



図Ⅲ.2-52 車載評価用原理確認試作装置搭載実験車両



図Ⅲ.2-53 車載投光式高速ビジョンセンサ

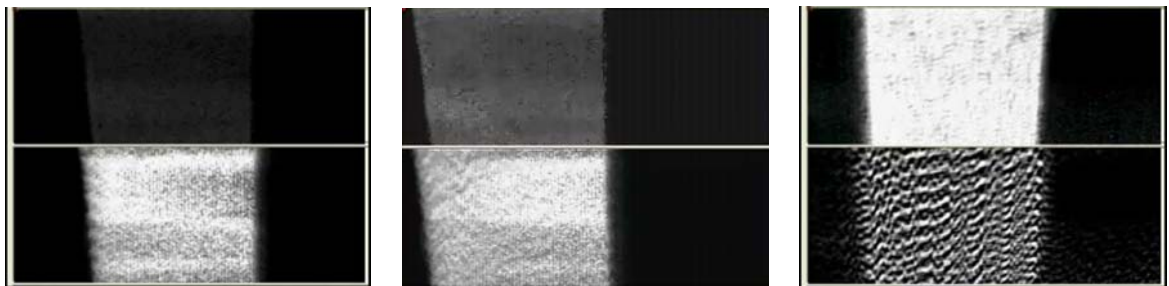
3) 未供用高速道路における評価実験

3)-1 2次元同期検波照射光抽出実験

2次元同期検波照射光抽出機能を実装した原理試作品を用い、未供用高速道路におけるリアルワールド評価実験を実施した。日照による2次元同期検波照射光抽出処理への影響を評価するため、図Ⅲ.2-54 に示す橋梁下、トンネル、道路構造物影等のシーン評価を行った。その結果、図Ⅲ.2-55 に示すように、様々な照度環境下においても安定して照射光が抽出されることが確認された。ただし高照度な日照条件では S/N の低下が見られることも確認された。



図Ⅲ.2-54 2次元同期検波照射光抽出性能評価シーン



トンネル内低照度 (3001lux) 低照度日照環境 (7,000lux) 高照度日照環境 (50,000lux)

図Ⅲ.2-55 2次元同期検波照射光抽出結果 (上:輝度画像、下:照射光抽出画像)

3)-2 未供用高速道路実験取得データによる道路区画白線認識用撮影シミュレーション評価

未共用高速道路実験取得データによる道路区画白線認識用撮影シミュレーション評価
未共用高速道路実験時に取得したデータを隊列走行適用時のカメラパラメータに変換し、道路区画白線認識用カメラとしての性能評価を実施した。カメラパラメータ変換は、画像分解能が一致するよう隊列走行搭載の白線認識カメラ分解能である 1cm に合わせた。この結果、高照度下における道路区画白線の撮影においても、S/N の改善が認められた。

4) 画像認識およびレーザーレーダの併用による認識性能

高速ビジョンセンサの中間開発目標は原理確認機によるフィージビリティスタディのため、既存のカメラを利用した画像認識とレーザーレーダの併用による認識性能の評価を行った。

評価は未供用高速道路および産業技術総合研究所高速周回路にて行った。評価結果を表Ⅲ.2-21 に示す。なお、誤検出率および未検出率は計測した各条件のデータ総数 5×10^5 に対する各割合である。

未供用高速道路で未検出が発生しているのは橋梁部の継ぎ手部でコンクリートでカメラではハレーションにより、また、レーザーレーダでは白線とコンクリートの反射率が同程度のためともに検出ができなかったためである。

また、産業技術総合研究所高速周回路にて晴天時誤検出した原因は白線の横に白線と同

一幅のコンクリート部があり、このコンクリートを誤検出したためである。誤検出や未検出が発生したものの、表Ⅲ.2-21 からも明らかな様にこの値は目標値以下であり中間目標を達成できる見通しを得た。

表Ⅲ.2-21 認識性能

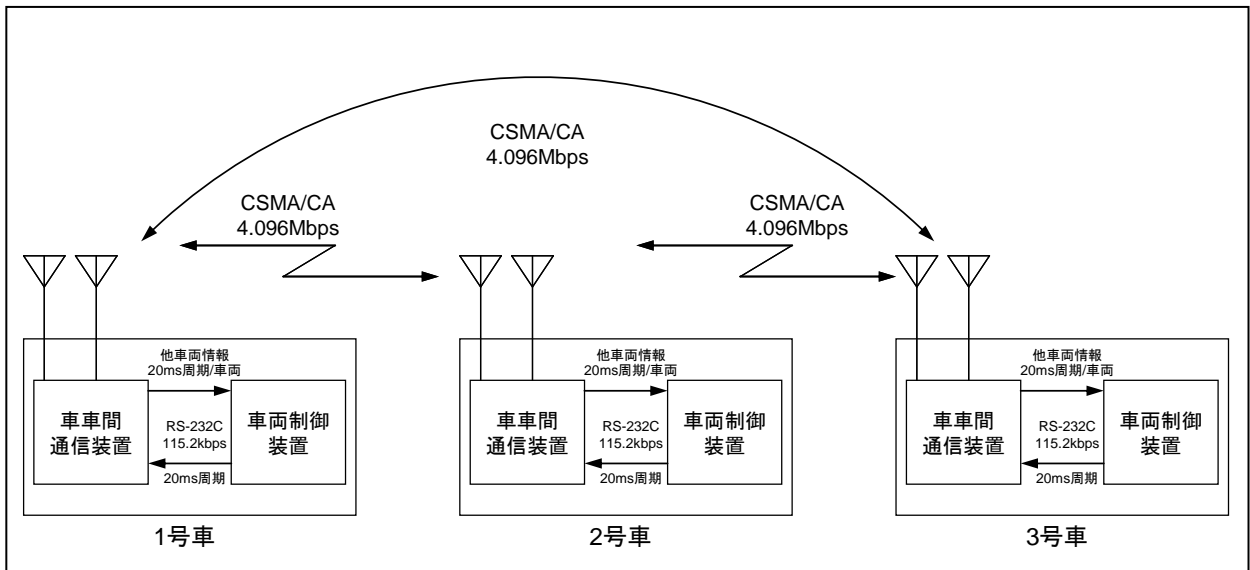
条件		誤検出率		未検出率	
場所	自然環境	中間目標	性能	中間目標	性能
産総研 高速周回路	晴天（含む影）	10^{-5}	3×10^{-6}	10^{-3}	0
	雨天（通常雨量）	10^{-5}	0	10^{-3}	0
	曇天	10^{-5}	0	10^{-3}	0
未供用高速 （開放域）	晴天（含む影）	10^{-5}	0	10^{-3}	2×10^{-4}
	雨天（通常雨量）	10^{-5}	0	10^{-3}	0
	曇天	10^{-5}	0	10^{-3}	0

2.3.6 車車間通信技術開発

実施先：沖電気工業（株）
 三菱電機（株）
 日本電気（株）

(1) 高速車車間通信技術の開発（沖電気工業）

隊列走行における目標の車間距離および隊列形成を達成するには高速で信頼性の高い車車間通信技術が要求される。本プロジェクトではこの目標を達成するため、無線系および光学方式の2種類の車車間通信技術を開発するが、中間年度までは無線通信を重点に開発を行った。図Ⅲ.2-56に隊列走行における車車間通信の基本システムを示す。



図Ⅲ.2-56 車車間通信の基本システム

隊列走行における車車間通信システムの通信要件を検討するために、トラックを用いた電波伝搬試験、およびレイトレース法を用いた電波伝搬シミュレーション評価等を実施し、開発目標仕様を策定した。表Ⅲ.2-22に自動運転・隊列走行に対する車車間通信の目標仕様を示す。

表Ⅲ.2-22 車車間通信目標仕様

項目	中間目標	最終目標
最大伝送範囲	40m	60m
車両間伝送周期 (伝送データ量：50バイト)	20msec	20msec
無通信発生確率（1時間あたり 100msec連続無通信）	10 ⁻⁸	10 ⁻¹⁰
パケット到達率 (伝送周期 20msec の場合)	99.78%	99.92%

また、試験路（産業技術総合研究所高速周回路）、未供用高速道路試験路、既存高速道路（常磐自動車道、東京外環自動車道）における隊列走行時の車車間通信品質特性取得実験を実施するとともに電波伝搬シミュレータに物理層および MAC（Media Access Control）層を考慮した通信シミュレータを統合した通信シミュレータを開発し、受信電力特性、パケット到達率特性および通信遅延時間特性の評価を実施し、これらの評価結果をもとに車車間通信装置を開発し、隊列走行時の通信品質評価を行った。図Ⅲ.2-57 に製作した車車間通信装置を示す。本評価における走行環境は以下の2つである。

- ①産業技術総合研究所高速周回路
- ②未供用高速道路試験路

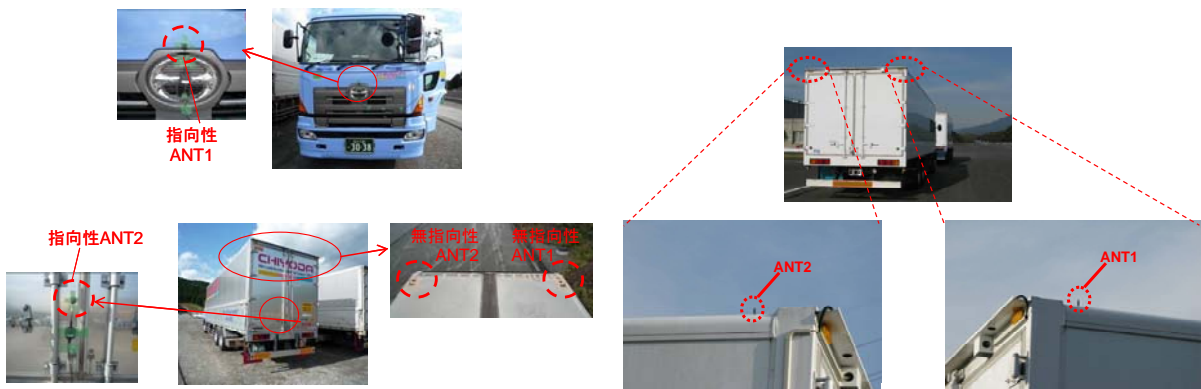
産業技術総合研究所高速周回路では、周辺に建造物が少ない環境での通信品質を、未供用高速道路ではトンネル入口付近、出口付近、トンネル内における通信品質を検証した。アンテナ設置位置を図Ⅲ.2-58 に示す。

産業技術研究所高速周回路における実験結果例、未供用高速道路における実験結果例を、それぞれ図Ⅲ.2-59、図Ⅲ.2-60 に示す。図Ⅲ.2-59 は、車間距離 25m を保ち 80km/h で産業技術研究所高速周回路を 3 周走行した際の受信電力と 5 連送時のパケット到達率を示しており、受信電力に変動はあるもののパケット到達率は 100%であることが分かる。図Ⅲ.2-60 は、未供用高速道路において、トンネル入口および出口付近における受信電力と 5 連送時のパケット到達率を示している。トンネル入口ではトンネル入口から 180m 程度の位置に送信車両を停車し、トンネル外より受信車両が接近する際の特性を示しており、トンネル出口では、トンネル出口から 180m 程度の位置に送信車両を停車し、トンネル内より受信車両が接近する際の特性を示している。トンネル入口、出口いずれの条件においても、5 連送時のパケット到達率は 100%であることが分かる。

今回実施した条件では、いずれの条件においてもパケット到達率が 100%であることが確認され、中間目標を達成できる見通しである。



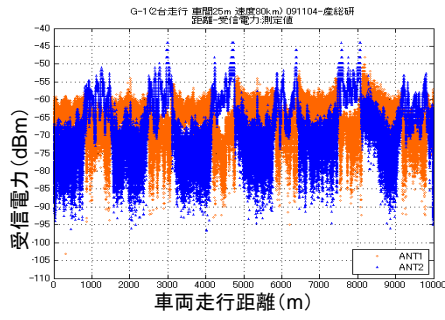
図Ⅲ.2-57 車車間通信装置



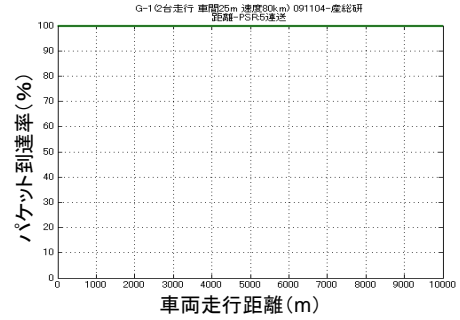
(a)未供用高速道路実験

(b)産業技術研究所高速周回路実験

図Ⅲ.2-58 アンテナ設置位置

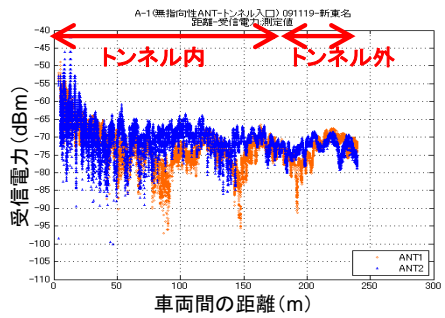


(a)受信電力特性

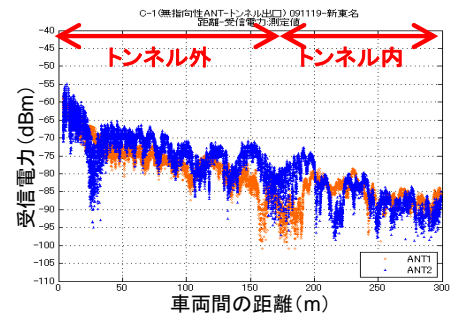


(b)パケット到達率 (5 連送) 特性

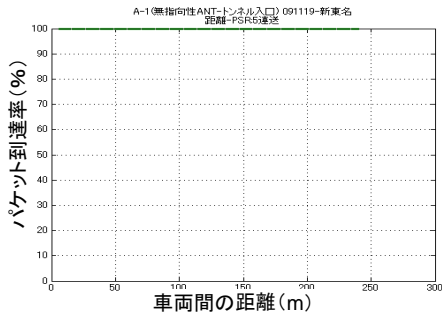
図 III.2-59 産業技術研究所高速周回路実験結果例 (無指向性アンテナ)



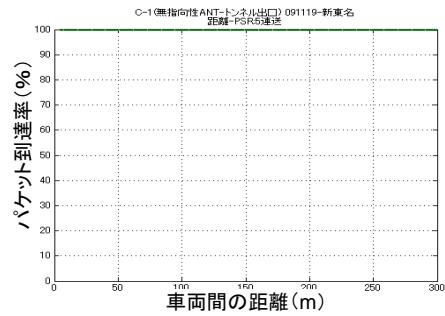
(a)受信電力特性 (トンネル入口)



(b)受信電力特性 (トンネル出口)



(c) パケット到達率 (5 連送) 特性 (トンネル入口)



(d)パケット到達率 (5 連送) 特性 (トンネル出口)

図 III.2-60 未供用高速道路試験路実験結果例 (無指向性アンテナ)

2.3.7 車両認識技術の開発

実施先：金沢大学

東京工業大学

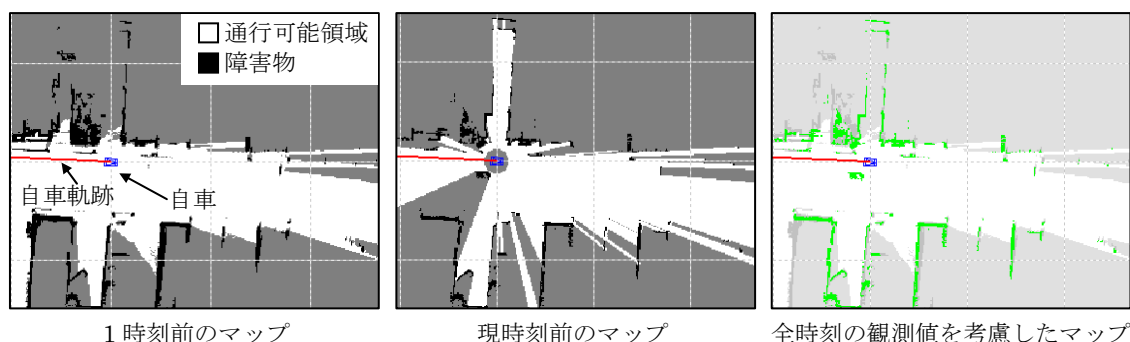
(1) 前方車両認識技術（金沢大学）

1) 車両検出アルゴリズムの設計

自動運転・隊列走行における障害物としては故障や渋滞等で停止している車両と自車両より低速で走行している車両や前方への割り込み車両のような移動車両がある。そこで、この停止車両と移動車両を分けて認識するアルゴリズムを開発した。

1)-1 静止物体検出のアルゴリズム開発

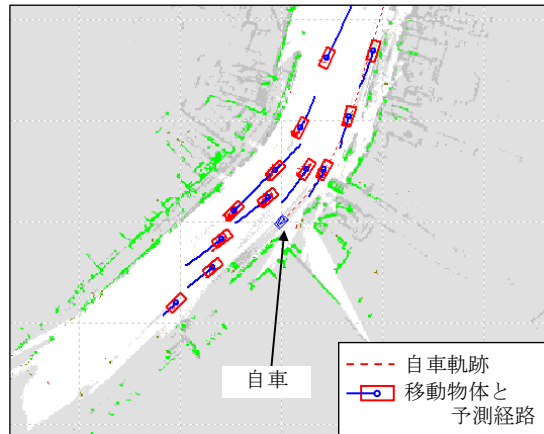
走行環境認識用センサの静止物体の突発的な誤検出の低減化を目的としたフィルタリング手法を開発した。具体的には、走行環境認識用センサから得られる観測値を自車の運動情報を考慮して重ね合わせを行い（図Ⅲ.2-61）、すべての時刻の観測値を考慮して静止障害物障害物を検出するアルゴリズムを構築した。



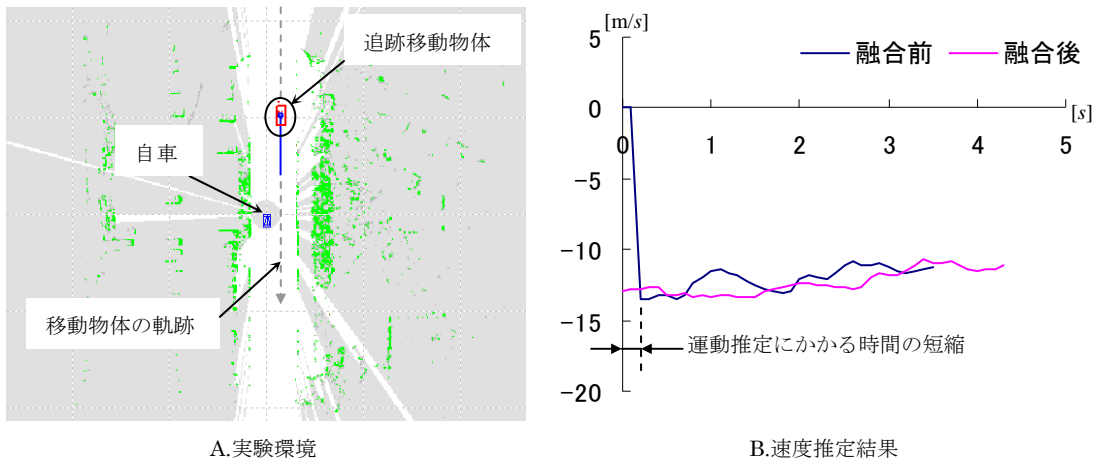
図Ⅲ.2-61 静止物体検出の安定

1)-2 移動物体の検出と運動推定アルゴリズム

移動物体の将来の移動経路を予測するため、各々の物体の時系列的位置を考慮し運動推定を行うアルゴリズムを開発した（図Ⅲ.2-62）。また、レーザレーダ、ミリ波レーダによる観測値をそれぞれのセンサの観測精度を考慮して融合するアルゴリズムを開発した。これにより、移動物体の運動推定にかかる時間を約 0.24 秒短縮させることを可能とした（図Ⅲ.2-63）。



図Ⅲ.2-62 自車周辺移動物体の運動推定結果

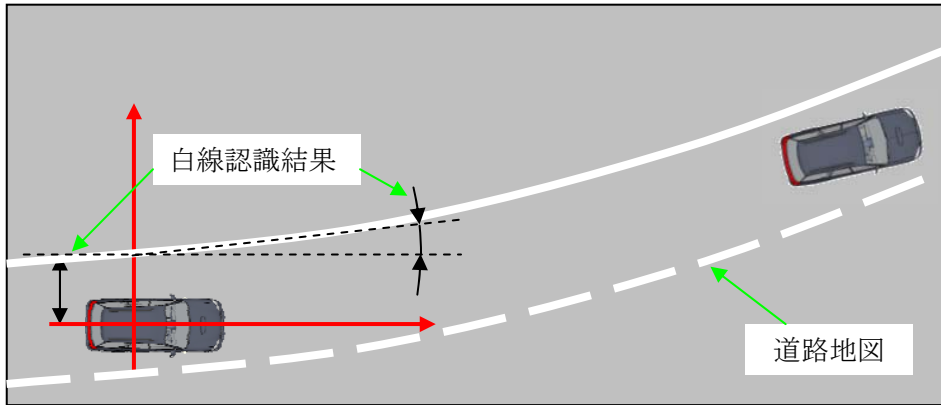


図Ⅲ.2-63 レーザレンジファインダとミリ波レーダの融合結果

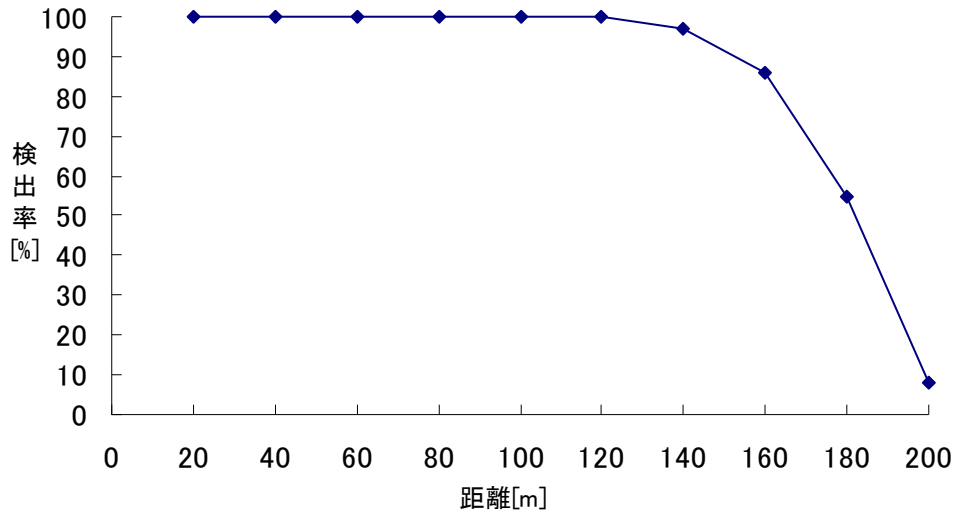
2) 障害物認識アルゴリズム (自車レーン内前方車両認識)

上記車両検出アルゴリズムにより得られた車両は自車両にとり障害物とは限らない。具体的には検出された車両が障害物かどうかは隣接レーンか自車レーンの車両かで決定する。そこでこれらを識別するアルゴリズムを開発した。

走行環境認識センサからオンラインで得られる車両周辺の物体位置情報と、オフラインで構築された三次元道路地図情報を白線認識結果に基づき照査し(図Ⅲ.2-64)、自車走行レーン上の物体を認識するアルゴリズムを構築した。その結果、車間距離 120[m]までの未検出率は最大で 0.05%であることを確認した(図Ⅲ.2-65)。また、車間距離 120[m]までの誤検出率は最大で 0.30%であり、いずれも中間目標の開発目標を達成できる見通しを得た。



図III.2-64 道路地図との照査による前方車両認識



図III.2-65 前方車両検出率

(2) 割り込み車認識技術 (東京工業大学)

1) ステレオカメラ画像による高速車両認識

ステレオカメラから得られる視差画像を用いて車両を認識するアルゴリズムを開発した。さらにその認識アルゴリズムを高速に処理可能な FPGA を開発した。

使用したカメラは PhotonFocus 社製の MV1-1312-160 で、撮像面の大きさは 1 インチサイズで 1312×688 画素、最高フレームレートは 180fps である。このカメラを 2 台用いて基線長 290mm、焦点距離 9mm のステレオカメラを組み上げた。FPGA 付フレームグラバはソリトン社製の Espresso_F2002 で、カメラリンクにより画像が取り込まれる。FPGA において、画像の輝度補正、歪み補正と校正、平均値を引いた SAD 評価関数によるステレオマッチング、特異点除去などの視差画像生成に関する処理および視差画像からの立体物抽出処理を行なっている。結果は PCI Express を介してパソコンに送られる。

ステレオ処理回路の 4 並列化、4 ラインごとのパイプライン処理、ラインバッファを効果的に組み込んで処理待ち時間を最小にするなどの工夫により、立体物の抽出までを含んで 180fps の処理速度を実現した。ただし、使用しているカメラの感度の問題から実際には 60fps の処理速度にせざるを得ず、今後の課題である。

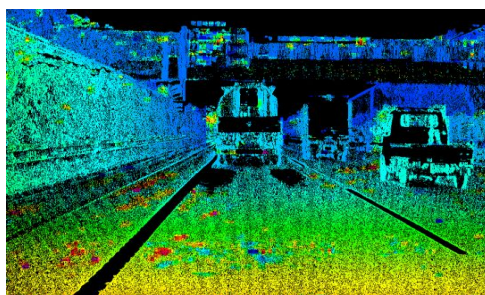
2) 割り込み車両認識

立体物抽出および道路幅情報を利用して前方車との隙間に割り込んでくる車を認識するアルゴリズムを開発した。FPGA から送られてくる立体物情報は立体物の 8 画素幅ごとの視差と画面上の横座標である。これを実空間での自車線の位置と比較し、自車線内で常に 5m 以上離れて存在する立体物を追尾している前方車とし、その間の自車線内に入ってくる立体物を割り込み車として認識した。これらの処理はパソコン上で行なっているが、処理が軽いので処理時間は十分に短く、60fps に納まっている。ただし FPGA からは画像転送も同時に行っているため時間遅れが生じ、実際にはその 2 倍である 1/30 秒後に結果が得られている。立体物情報のみを送ればさらに時間は短縮される。

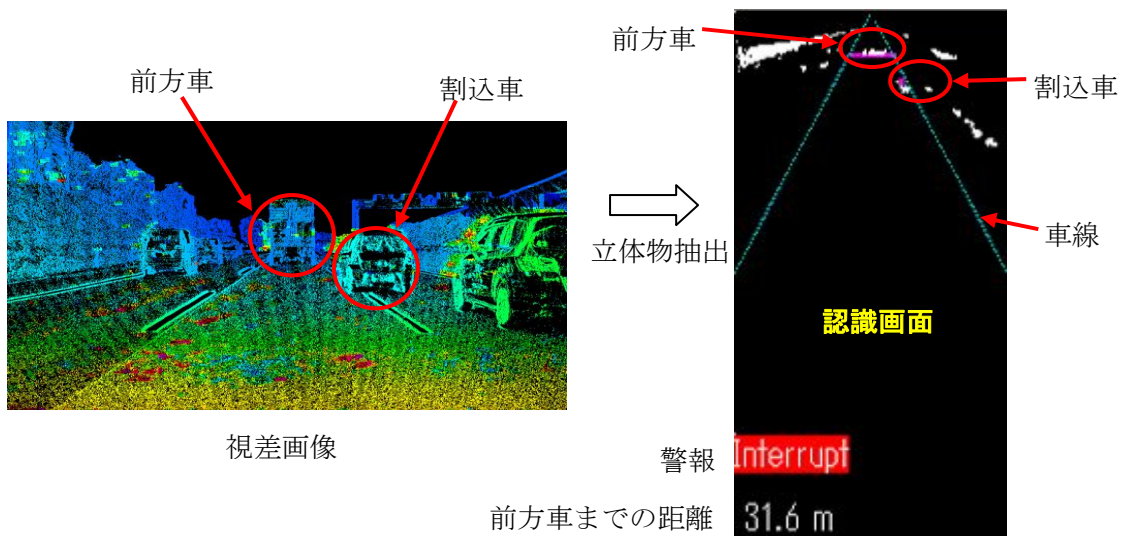
この装置を車載して高速道路を走行し、割り込み車の検出ができるかどうかを確認した。その結果、日中の曇天および雨天（通常のワイパー払拭速度で視界が保たれる程度）において、自車の前方 5m から 30m の範囲で、自車線に進入してくる割り込み車を遅くとも 1/30 秒で認識できることが確認された。図 III.2-66 に検出した一例を示す。



製作したステレオカメラ



得られた視差画像の例



図Ⅲ.2-66 割り込み車両検出例

2.3.8 エコ運転制御技術の開発

実施先：(財) 日本自動車研究所

弘前大学

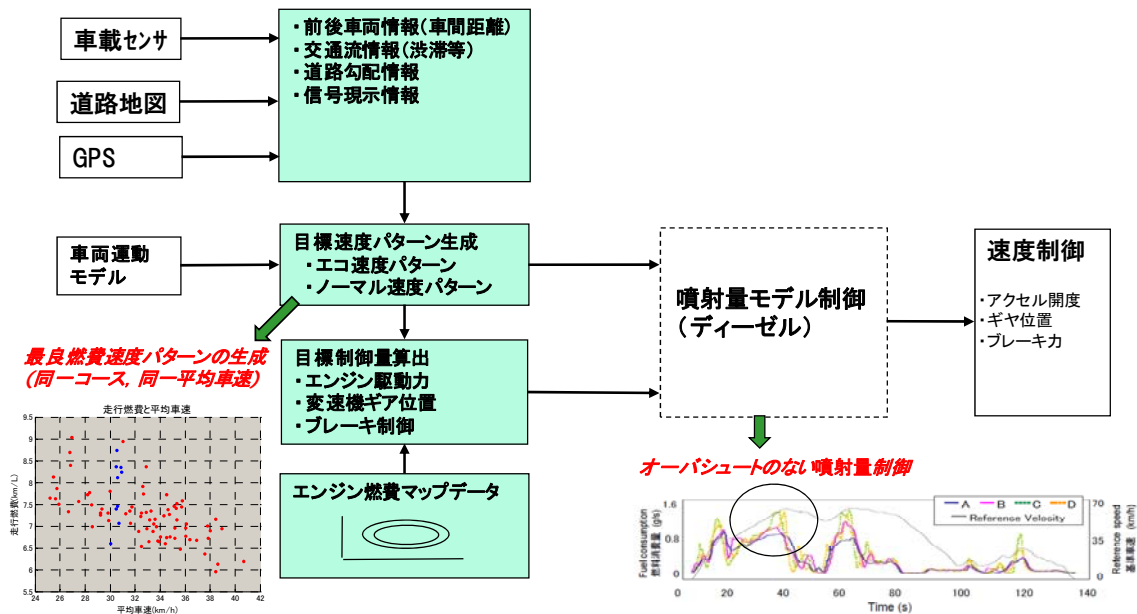
慶應義塾大学

金沢大学

東京大学

(1) エコ運転制御技術の開発

エコ運転のためには、周辺交通環境に応じたエコ運転速度パターンの生成とその速度パターンを制御目標値とし燃料噴射量のオーバーシュートの少ない燃費最適制御が効果的である。図Ⅲ.2-67に開発したエコ運転制御システムの基本構成を示す。



図Ⅲ.2-67 エコ運転制御システムの基本構成

本システムを実験車両に搭載し、道路線形情報(発進・停止位置, 勾配)をもとに、指定した速度パターンで自動走行できることを確認した(自動ブレーキは単体で評価中)。

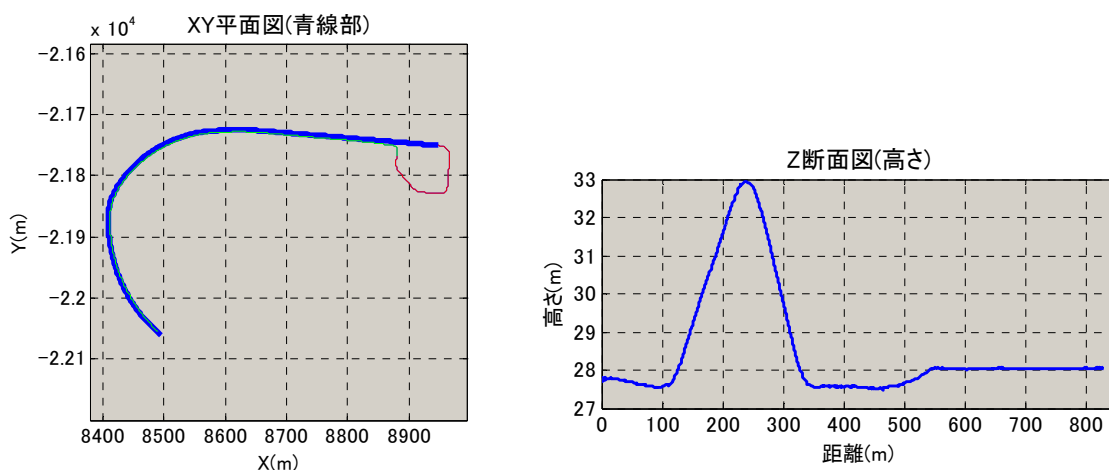
(2) エコ運転速度パターンの生成

コースと平均車速が与えられた場合に、燃料消費量を最小にする速度パターン生成モデルを開発した。本モデルは、エネルギー方程式に基づいて、エンジンの仕事を最小にする計算モデルである。モデルの解法には変分法を用いている。

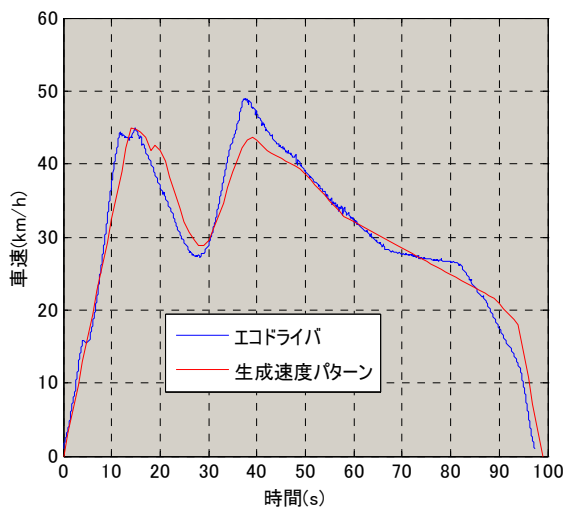
図Ⅲ.2-68のコースで、平均車速を30km/hとした場合、本モデルによって生成したエコ運転速度パターン(赤線)とエコドライバが運転した速度パターン(青線)を図Ⅲ.2-69に示す。

両者はほぼ一致する。

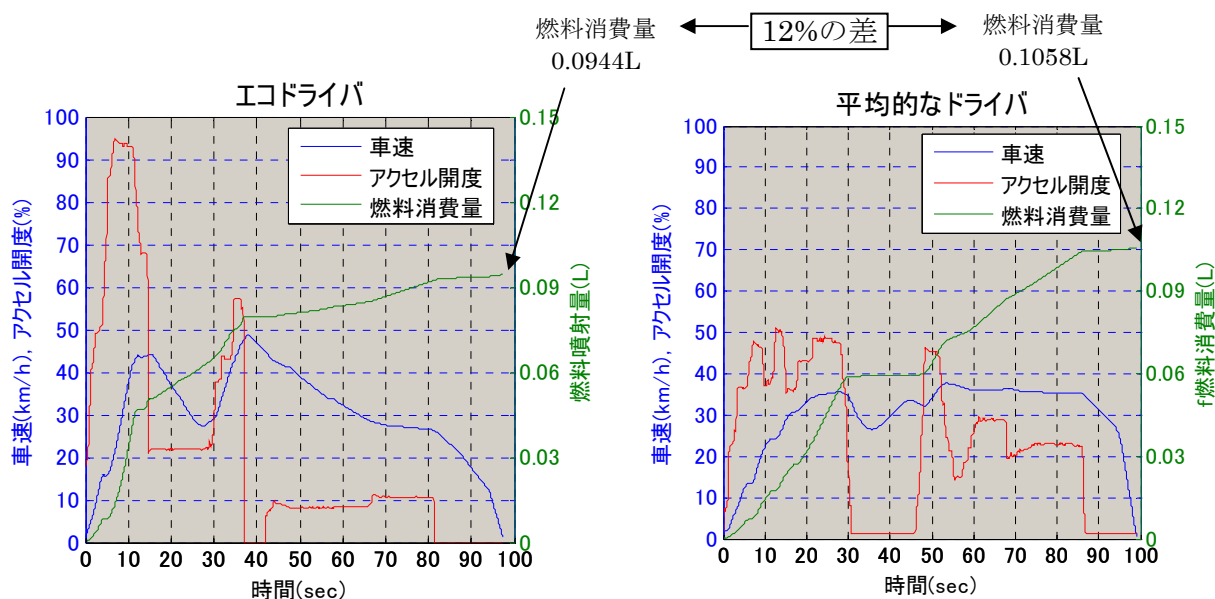
一方、エコドライバと平均的なドライバの车速、アクセル開度、燃料消費量の比較を図Ⅲ.2-70に示す。エコドライバは上り坂の手前までに十分加速し、上り中はアクセル開度を保持し、下り中は惰性走行を利用して、平坦路ではアクセル開度を低めで維持する運転であった。エコドライブの燃料消費量は、平均的なドライバのそれに比べて約12%減であった。



図Ⅲ.2-68 計算に用いたコース



図Ⅲ.2-69 生成した速度パターンとエコドライバの速度パターンの比較



図III.2-70 エコドライブと平均的なドライバの違い

2.4 成果のまとめ

2.4.1 開発目標達成状況

車両としての中間目標（3台隊列走行、速度 80km/hr、車間距離 10m）は達成見込みであるが、要素技術を含む個別テーマに関しても、全て自主的に作成した中間目標を達成見込みである。8つの個別開発テーマの成果は以下のとおりである。

① 「システムインテグレーションおよび実験車開発」

実施先：(財) 日本自動車研究所

実験車 3 台を製作するとともに走行実験による制御パラメータ調整により中間目標値である車間距離 10m での 3 台隊列走行を達成できる見通しを得た。

② 「フェイルセーフ技術の開発」

実施先：大同信号（株）

（独）産業技術総合研究所

東京大学

フェイルセーフ機能を組み込んだ走行制御 ECU を開発し、ECU 内の CPU 等に異常が発生した場合にもシステムの安全性が確保できる見通しを得た。

また、システムの故障をドライバに通報し、的確に危険を回避できる HMI を設計・製作

するとともに、車間距離制御の故障・異常に対する安全性を確保する機能が有効に動作することを確認し、安全性を確保できる見通しを得た。

③「走行制御技術の開発」

実施先：神戸大学
日本大学
慶應義塾大学

大型トラック実験車の運動モデルを構築するとともに非線形制御理論を利用した制御アルゴリズム設計により開発目標を達成できる見通しを得た。

④「位置標定技術の開発」

実施先：三菱電機（株）
日本電気（株）
東京大学

GPS 受信遅れを速度およびジャイロセンサにより補正するアルゴリズムを組み込んだ位置認識装置の設計・製作を完了し、開発目標値である走行速度 80km/hr での位置標定精度 $\pm 0.3\text{m}$ を達成できる見通しを得た。

⑤「白線認識技術の開発」

実施先：弘前大学
日産自動車（株）
（株）デンソー

画像認識とレーザレーダを併用するとともに車両側方の白線を認識することにより開発目標を達成できる見通しを得た。

⑥「車車間通信技術の開発」

実施先：沖電気工業（株）
三菱電機（株）
日本電気（株）

5.8GHz 無線通信および連送プロトコル方式により開発目標を達成できる見通しを得た。

⑦「車両認識技術の開発」

実施先：金沢大学
東京工業大学

レーザレーダとミリ波レーダおよび道路地図を利用した前方車両認識アルゴリズムを開発し、目標値を達成する見通しを得た。また、ステレオ視による割り込み車認識アルゴリ

ズムを開発し、目標を達成する見通しを得た。

⑧「エコ運転制御技術の開発」

実施先：(財) 日本自動車研究所

弘前大学

慶應義塾大学

金沢大学

東京大学

走行エネルギー最小化を狙ったアルゴリズムで生成したエコ運転速度パターンが、手動運転時の最良燃費速度パターンとほぼ一致することから、これを自動化することによって目標とする燃費改善を達成する見通しを得た。

各個別テーマの開発目標達成状況を表Ⅲ.2-23 に示す。

表Ⅲ.2-23 各個別テーマの開発目標達成状況

研究内容	中間目標(2010年度)		現状性能(2010年度)	達成度	
	担当開発テーマ	目標項目			
① システムインテグレーション	実験車開発	隊列台数	大型トラック3台	大型トラック3台	○
		速度	80km/hr	80km/hr	
	システム評価 (80km/h時)	車間距離制御精度	10m±2.0m at 定常走行 10m -3.0m at 0.4G減速	15m±1.0m達成 at 定常走行 15m +1.0m達成 at 0.4G減速	○ (年度末 達成見込み)
		車線保持制御精度	±0.20m(スムーズさの確保)	±0.10m達成(曲線:3000R時)	
② フェイルセーフ技術の開発	フェイルセーフECUの開発	フェイルセーフ機能	・センサやECUのCPUが故障及び暴走した場合、異常検出し故障系自動的切離、異常動作防止できるECUの開発確認	フェイルセーフECUを開発製作し、入出力回路の故障検出、実行異常検出、出力遮断機能確認	○
	HMI技術の開発	HMI機能	・手動から自動運転に安全に遷移し、システムに異常が発生時、異常をドライバーに通報し的確に危険を回避できるHMI開発	各車システム状態の運動性から制御異常の早期発見と即応体制確保が可能な車内提示装置の開発製作	○
③ 走行制御技術の開発	制御アルゴリズム開発	車線保持	±0.20m	±0.15m	○
	車両運動モデル設計	車間距離保持	10m±2.0m at 定常走行 10m -3.0m at 0.4G減速	15m±1.0m達成 at 定常走行 15m +1m達成 at 0.4G減速	○ (年度末 達成見込み)
	隊列形成アルゴリズム開発	アルゴリズムの設計	・車両接近状態からの隊列形成を実現する隊列形成アルゴリズム設計 ・シミュレータ実験による有効性の確認	後方連結のための隊列形成アルゴリズムを構築 ・シミュレータ開発し制御シーケンスの妥当性確認	○
④ 位置標定技術の開発	高精度道路地図作成技術	地図作成の基本技術	(1)実験道路の道路電子地図データ作成 (2)データ誤差バラツキを吸収し緩やかに変化する連続曲線生成 (3)トンネルの高精度3次元道路地図作成	・曲線部に対し、連続関数アルゴリズムを開発。 ・つなぎ合わせアルゴリズムによる3次元モデル生成技術を開発。	○
	位置標定技術	位置検出精度	(1)位置標定精度:0.3m (2)市街地画像のみにより自己位置車線を特定できるレベルで推定	±0.15m 半径25m内3次元点利用で位置4.22cm姿勢0.78°誤差で推定確認	○
⑤ 白線認識技術の開発	画像認識アルゴリズム開発 レーザーダ白線認識開発 高速ビジョンセンサ開発	検出精度	±20mm(環境条件:第3種白線)	±20mm(環境条件:第3種白線)	○
		誤検出率(処理フレーム総数あたり)	10 ⁻⁵ 以下	3×10 ⁻⁶	
		未検出率(処理フレーム総数あたり)	10 ⁻³ 以下	2×10 ⁻⁴	
⑥ 車車間通信技術の開発	車車間通信技術開発	最大伝送範囲	40m	300m	○
		車両間伝送周期(伝送データ量:50Nバイト)	20msec	20ms	
		無通信発生確率(1時間あたり100ms連続無通信)	10 ⁻⁸	0	
		パケット到達率	99.78%	100%	
⑦ 車両認識技術の開発	前方車認識アルゴリズム開発	最大検出範囲(除く雨、霧、雪)	100m	120m	○
		誤検出率(at 60m)	1%	0.30% (~120m)	
		未検出率(at 60m)	0.1%	0.05% (~120m)	
	割り込み車認識開発	最小・最大検出範囲(除く霧、雪)	5-10m	5-30m	○ (年度末 達成見込み)
		誤検出率	1%	未評価	
		未検出率	0.1%	未評価	
⑧ エコ運転制御の開発	車両制御技術の開発 信号現示認識アルゴリズム開発 交通流推定アルゴリズム開発 エコドライバモデルの開発	エコ運転制御モデルの設計	エコ運転速度パターン	エネルギー方程式に基づいたエンジン仕事量最小化モデルを開発 道路線形情報を基に指定した速度パターン生成アルゴリズムを開発	○ (年度末 達成見込み)

2.4.2 特許と論文および普及活動

論文および特許、受賞の一覧を下記に示す。

(1) 論文一覧

	特許 (国内)	論文		その他 (受賞/ 新聞掲載)	合計
		査読付	その他		
日本自動車研究所	0	3 (2)	25 (3)	3	31 (5)
日本大学	0	0	8	0	8
神戸大学	0	3	7	1	11
産業技術総合研究所	0	5	22	0	27
弘前大学	0	1	2	0	3
日産自動車	1	1	0	1	3
東京大学 大学院情報学環	0	9	8	1	18
東京大学 生産技術研究所	0	4	5	0	9
デンソー	2	0	2	0	4
東京工業大学	0	1	2	0	3
金沢大学	0	0	8	1	9
日本電気	1	1	0	0	2
三菱電機	0	3	0	0	3
沖電気工業	0	(2)	1	0	1 (2)
慶應義塾大学	0	1	3	1	5
大同信号	0	0	(1)	0	(1)
合計	4	32	93	8	137

※ () は連名発表件数を示す。

論文の一覧は、添付資料 5 を参照。

(2) 特許一覧

出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
日産自動車(株)	特願 2009-200742	国内	2009/8/31	出願	距離計測装置および距離計測方法	西内 秀和
日本電気(株)	特願 2010-066736	国内	2010/3/23	出願	走行支援装置、走行支援方法、及びプログラム	藤田 貴司 他
(株)デンソー	特願 2010-079487	国内	2010/3/30	出願	検知装置	松浦 充保 他
(株)デンソー	特願 2010-081297	国内	2010/3/31	出願	検知装置	磯貝 俊樹 他

※PCT: Patent Cooperation Treaty(特許協力条約)

(3) 受賞一覧

名称	発表タイトル	内容(概要)	受賞者
自動車技術会 2009 年秋季大会学術講 演会 優秀講演発表賞 (2009年10月)	走行経路の適応的選択 に基づく自動運転自動 車の開発	本論文では車載センサにより認識した周辺環境情報を基 に、高速で走行する自動車が障害物に衝突せずに安全 に走行可能な滑らかな経路をリアルタイムに計算する手 法を提案した。また、実物の自動車のステアリング、スロッ トル、ブレーキ、シフトレバーにアクチュエータを搭載し、 車載したレーザレンジファインダにより障害物を検出する ことで、当該アルゴリズムを用いて実際にリアルタイムで 自動運転が可能であることを検証した。	菅沼直樹 (金沢大学)
ITSシンポジウム2009 広島 ベストポスター賞 (2009年12月)	自動車の自動運転にお ける交差点走行制御に 関する研究	自動車の自動運転における交差点走行時の省エネルギー 化を実現するためのノンストップ走行制御技術を提案 した。自動運転車同士が交差点に進入する際に同時刻 に進入できない条件を交差パターン毎に整理した。さら に、同時刻に進入できない場合の制御として、車車間通 信を利用した仮想隊列走行制御による交差点走行制御 を提案し、小型電気自動車を用いた実車実験にて、その 有効性を確認した。	大前学 (慶應義塾大 学)
精密工学会 ViEW2009 ビジョン 技術の実利用ワーク ショップ優秀論文賞: 画像応用技術専門	高速撮像による外来光除 去技術	屋外の光環境変化にロバストなビジョンセンサシステムの 構築を目的とした。光への依存性が高いビジョンセンサ ゆえに発生する光環境変化の影響を排除するため、高 速カメラに投光器を組合せ、周波数空間で太陽や照明 等の外来光と投光器の光を分離し、投光器の光成分だ	西内秀和, 中村光範, 三ツ石広喜, 佐藤宏, クライソントロ

名称	発表タイトル	内容(概要)	受賞者
委員会 小田原賞		けを画像化することで光環境変化(西日、影、対向車ヘッドライト、夜間等)の影響を受けないビジョンセンサを提案した。さらに試作装置を用いた評価実験により屋外でも所望の機能を実現できることを示した。	ンナムチャイ (日産自動車)
第12回 画像の認識・理解シンポジウム、インタラクティブセッション賞 (MIRU2009)	複数系列の車載全方位カメラ画像の対応付けによる広域都市モデル構築	車載ビデオカメラによって収集した複数系列データから広域都市モデルを構築する	松久亮太 川崎洋 小野晋太郎 阪野貴彦 池内克史 (東京大学)
計測自動制御学会 関西支部若手研究発表会 2009 優秀発表賞	後方車両との車間距離利用の有無による隊列走行への影響	隊列走行における車間距離制御において、前方車両の車間距離のみを用いる場合と後方車両の車間距離も用いる場合について、理論的解析とシミュレーションによる実験を行い、モデル化誤差がある場合に後方車両の車間距離を用いる方が制御性能が優れていることを明らかにした。	平田祐也 (神戸大学)

(4) 普及活動

展示会への参加、試乗デモ等の実績を下記に示す。

年月	イベント名	内容
2008年11月	日欧2極会議(ニューヨーク)	国際連携・情報交換
2009年1月	NEDO 事業計画説明会	記者発表会および計画説明会
2009年2月	日本 ITS 推進フォーラム	エネルギーITSセッション・シンポジウム講演
2009年2月	国際自動運転ワークショップ(東京)	日米欧ワークショップ
2009年7月	AT インターナショナル	展示会場での講演
2009年9月	日米欧3極会議(ストックホルム)	国際連携・情報交換
2009年12月	NEDO 省エネルギー技術フォーラム	フォーラムでの講演
2010年5月	自動車技術展・人とくるまのテクノロジー展	展示会場(JARIブース)での紹介
2010年5月	ITS Japan 新交通物流特別委員会	隊列走行試乗デモ
2010年7月	社会還元加速プロジェクトTF	隊列走行試乗デモ
2010年7月	中日本高速道路	隊列走行試乗デモ

※ 講演については、発表実績の件数に含む

2.5 今後の研究開発計画

(1) 安全性および信頼性の向上

最終目標である車間距離 4m ではシステム故障時に先頭車に急制動が発生した場合、ドライバ操作による急ブレーキではドライバの反応時間や危険時の認知時間から判断し、緊急回避が期待できない領域であり、安全性・信頼性向上に対する技術開発が重要となる。

これを回避するにはシステムを完全 2 重化し、1 系が故障した時点で正常な残りの系で安全な車間距離まで拡大する必要がある。平成 22 年度に開発した制御システムでは 1 部の装置のみ 2 重化されているだけである。そこで、今後作動原理の異なる方式での 2 重化を行う予定である。特に隊列走行にとり極めて重要装置である車車間通信や白線認識、位置標定、車間距離センサ等の技術について開発を行う予定である。

(2) 性能向上

最終目標では 0.5G の急制動に対する車間距離制御性の向上が必要である。このためには、系の遅れ時間の短縮や制御精度の向上が必要となる。そこで今後、制御アルゴリズムの改良設計に加え、車車間通信の高速化やブレーキ装置の性能向上等を行っていく予定である。

	2010年度	2011年度	2012年度
全体	機能・基本性能確保	性能および安全性・信頼性向上	
①システムインテグレーション	走行実験 (3台隊列/車間10m、80km/hr)	走行実験(4台隊列/車間4m、80km/hr) 実験車開発(小型1台)	
②フェイルセーフ技術	フェイルセーフECUおよびHMIの設計・製作	システム多重化による信頼性向上	
③車両制御	車間距離制御アルゴリズム(10m)	制御アルゴリズムの高精度化(4m)	
④位置標定技術	位置標定の高精度化技術の開発	位置標定の簡素化技術の開発	
⑤白線認識技術	画像認識とレーザの併用による白線認識技術	高速ビジョンカメラとレーザの併用による認識率向上	
⑥車車間通信	5.8GHz 車車通信の高速化	光車車間通信技術の開発と多重化	
⑦車両認識技術	先行車両および割り込み車認識アルゴリズム開発	認識率向上センサフュージョン技術開発	
⑧エコ運転制御	基本アルゴリズム設計	エコ運転制御モデル開発および性能評価	

図Ⅲ.2-71 今後の開発スケジュール