

「自動走行システムの実現に向けた諸課題と
その解決の方向性に関する調査・検討における
次世代都市交通システム要件の実現可能性に
係わる調査検討」

報告書

平成27年3月6日

先進モビリティ株式会社

まえがき

「次世代都市交通システム要件の実現可能性に係る調査検討」に関する受託業務を完了したので報告する。なお、業務の実施に当たってはニーズ調査の一部を横浜国立大学大学院イノベーション研究院に、ART機能の機能および技術開発要件の調査の一部を東京大学 生産技術研究所に再委託を行っており、本報告書は再委託先分の成果を含めて作成したものである。

本報告書は、内閣府の平成26年度科学技術イノベーション創造推進委託費による委託業務として、先進モビリティ株式会社が実施した平成26年度「自動走行システムの実現に向けた諸課題とその解決の方向性に関する調査・検討における次世代都市交通システム要件の実現可能性に係わる調査検討」の成果を取りまとめたものです。

従って、本報告書の著作権は、内閣府に帰属しており、本報告書の全部又は一部の無断複製等の行為は、法律で認められたときを除き、著作権の侵害にあたるので、これらの利用行為を行うときは、内閣府の承認手続きが必要です。

目 次

1. 目的	.....	1
2. 調査検討まとめ	.....	1
2.1 ARTに求められるニーズおよびARTの機能・性能および技術開発要件の調査検討		1
2.1.1 ARTに期待されるニーズの調査検討	.....	1
2.1.2 ART機能および技術開発要件の調査検討	.....	2
2.2 ARTにおける技術開発要件に対する設計要素の調査検討	.....	4
2.2.1 技術開発要件と設計要素階層の関係整理および各階層のシステム設計...		4
2.2.2 要求技術に係る技術開発要件における要求仕様の検討および課題の整理...		4
2.3 技術開発項目の開発規模検討	.....	4
2.3.1 開発規模の評価	.....	4
3. 調査検討の詳細結果	.....	5
3.1 ARTに対するニーズの調査検討	.....	5
3.1.1 速達性、定時性に関するニーズ調査	.....	5
3.1.2 乗り心地、快適性の向上に関する調査	.....	10
3.1.3 サービスレベルの向上に関する調査	.....	20
3.1.4 ドライバーの高齢化対応・労働環境の改善	.....	22
3.1.5 運行の効率化向上に関する調査	.....	23
3.1.6 バリアフリー対応に関する調査	.....	24
3.1.7 安全性の向上に関する調査	.....	25
3.1.8 渋滞低減への貢献に関するニーズ検討	.....	28
3.2 ARTの機能および技術開発要件の調査検討	.....	29
3.2.1 料金收受システム技術の検討	.....	29
3.2.2 PTPS高度化技術の検討	.....	36
3.2.3 高度運行管制制御技術の検討	.....	47
3.2.4 自動走行技術の検討	.....	57
3.2.5 自動走行用HMI技術の検討	.....	61
3.2.6 正着制御の検討	.....	70
3.2.7 車椅子固定技術の検討	.....	75
3.2.8 車両構造調査	.....	82
3.2.9 先読み運転制御技術の調査検討	.....	90
3.3 交通システムにおけるARTの調査検討	.....	95
3.3.1 導入対象とする都市域での交通体系全体設計	.....	95

3.3.2 公共交通システムとしての性能設計	……	99
3.3.3 自動走行技術を活用した効率的な運航設計	……	100
3.3.4 ART交通体系を支える要素技術設計	……	102
3.4 ARTに求められる制御システムにおける要求仕様の調査検討	……	105
3.4.1 高精度車線維持制御システムの調査検討	……	105
3.4.2 正着制御システムの検討および性能評価	……	108
3.4.3 車群形成技術の調査検討	……	133
3.4.4 ACC高度化技術の調査検討	……	135
3.4.5 車群走行CACC制御システムの調査検討	……	136
3.4.6 PTPS連動ACC制御システムの調査検討	……	138
3.4.7 車群走行-PTPS連動化技術の調査検討	……	142
3.4.8 省エネ運転制御システムの調査検討	……	145
3.5 ARTに求められる要素技術の調査検討	……	148
3.5.1 障害物検出技術	……	148
3.5.2 白線認識技術	……	160
3.5.3 位置測位技術	……	164
3.5.4 ブレーキアクチュエータ	……	167
3.5.5 自動操舵モータ	……	169
3.5.6 フェールセーフECU	……	171
3.5.7 通信システム技術	……	173
3.6 技術開発項目の開発規模検討	……	177
3.6.1 技術開発項目の評価	……	177
まとめ	……	185
添付資料	……	186

第1章 目的

自動走行システムの要素技術を既存の鉄道機能を高度に補間する次世代都市交通システム「ART」に活用するため、大都市圏、地方都市圏、過疎地域、それぞれの地域特性にあった「あるべき公共交通システム」に求められる技術開発要件を整理するとともに要素技術に求められる機能および性能の要求仕様を策定し、今後のART技術政策立案に資することを目的とする。

第2章 調査検討まとめ

以下に調査検討をおこなった項目と調査検討結果のまとめを記載する。

2.1 ARTに求められるニーズおよびARTの機能・性能および技術開発要件の調査検討

2.1.1 ARTに期待されるニーズの調査検討

ARTに対するニーズを①現在のバス交通の問題点の解決、②現在のバス輸送事業における問題点の解決、③2020年以降の高齢化社会における問題点の解決、④現在の道路交通の諸問題を解決する一手段のとしてのバス交通の観点より 3.1.1～3.1.8 に整理し、大都市および地方都市等のバス事業者へのヒヤリングや公表されている学会論文や報告書を調査し、求められるサービス内容や性能等を整理した。

以下に 3.1.1～3.1.8 までのニーズについての調査結果概要を以下にしめす。

1) 速達性、定時制に関するニーズ調査：

平均的乗降時間0.5秒/人/ドア。目標速度は20～25km/h。バス専用レーンは定時制と信頼性のため規制の区間、時間帯の組合せを適切に組み合わせることで実現しつつ、関連各主体の合意形成は可能ではないか。

2) 乗り心地、快適性の向上に関する調査：

現状の公共交通機関の加減速度に関して、新幹線や在来線及び路線バスの調査を実施した。結果は大きな違いがないが、新幹線が最もスムーズで、バスは信号変化による停止では減速度が大きくなる傾向がある。調査結果から目標加減速度は新幹線の値を参考に、転倒防止のため最大0.1G、スムーズな運行には平均0.03～0.05Gが適切な値とした。

3) サービスレベルの向上に関する調査：

日中での待ち時間は5分間隔以内の設定。乗り継ぎ改善は、①各種連続性が重要で乗り継ぎ距離は極力短く、②ロスタイムの負担感軽減のためなるべくリアルタイム情報の適宜提供、③ICカードの普及促進で乗り継ぎの手間や費用負担感の低減、④初めての利用者への案内には十分に配慮、運輸事業者個別ではなく、全体での情報提供の仕組み構築が要求事項としてあげられる。

4) ドライバーの高齢化対応・労働環境の改善：

労働衛生の観点から見直しが進められており、制度という点では改善されている。ただし、バスドライバーの成り手が相変わらず少ないことに関しては、職場待遇や給与の面で課題が残されていると言える。

5) 運行の効率化に関する調査 :

利便性のない路線はモダールシフトで代替え移動手段によりバスの利用者は加速度的に減少していく。利用者側から見て速達性や定時性など利便性を増せば利用者が増加し、ひいては運用効率化につながる。

6) バリアフリー対応に関する調査 :

停車場と乗降口の段差がないことが乗降時間の短縮になる。また、自らの車椅子固定・解除操作の簡単化などが乗降時間の短縮ばかりでなく、利用者の心理的負担の低減になる。

7) 安全性向上に関する調査 :

漫然運転や居眠り運転による事故は、業務用バスにおいても毎年のように事故が発生している。また、身体上の脳溢血や心臓マヒによる事故件数も離散的ではあるが事業用バスでも継続的に発生している。ドライバーの健康管理の他、運行中のドライバー監視技術が求められる。一方、車内乗客に関しては、特に高齢者の乗客の乗降の際や、発進・停止時の転倒などの発生による障害事故が多く、注意喚起が多く行われている。発進停止の滑らかな運行、乗降口の段差解消が求められる。

8) 渋滞低減への貢献に関するニーズ検討 :

海外では渋滞が緩和されることを目標に公共交通機関へのモダルーシフトを狙った実証的研究はない。国内ではICカードシステムが導入時に道路特定財源が活用されて経緯から、渋滞緩和のための公共交通利用促進という見方がなされる場合が多い。

2.1.2 ART機能および技術開発要件の調査検討

2.1.1項のARTに期待されるニーズ調査に基づいて、ARTを実現するためのART要求機能と技術開発要件について体系的に整理を行った。

以下に 3.2.1 ~ 3.2.9 の技術開発要件の概要をしめす。

1) 料金收受システム技術の検討 :

国内バスの現状方式の最大ネックは現金による支払。近年はICカードの普及より大幅に支払時間が短縮されている。しかし、車内チャージまで対応する現行方式では、現金收受と同等の処理時間が発生しており、大型イベント時のスムーズな大量輸送には適していない。また、ICカード式では、R/Wにタッチしなければならず、高齢者や障害者などにはその手間も大きい。タッチ不用の代替技術による通信方式の導入が望まれる。また鉄道の切符は、欧米の完全事前購入方式の信用乗車方式と、国内は車内や降車時の清算も可能な異なる方式である。従って、国内外の来訪者をターゲットにイベント大量輸送時に適用できる不正乗車抑制にはなんらかのICT利用技術の適用が期待される。国内外の利用者に対して、乗車時に運賃以上の金額を引落とし、乗車区間を何らかの方法で判断し、降車時に差額を返金するフローが解決策と考え、準静電

界通信などICTを活用した新たな信用乗降方式の確立に向けて、検証実験も必要である。

2) PTPS高度化技術の検討：

PTPSの現状技術は青延長、赤短縮、青短縮の動作があり、バス接近検知は一か所のみで、交差点までの想定速度での走行が出来ない場合、設定どおり交差点を通過できる保証はない。また、現状ビーコンでは、中央管制センター側からの情報提供はされていない。PTPSを有効に機能させる基本構成要素を7つあげ、これらのフル装備の「ART優先信号・専用レーン方式」、信号は一般車と共用の「ART専用レーン方式」、「一般混在方式」の連続通信と双方向通信による到着精度の確保とPTPSの制御のみを行う方式に大分類し、導入段階を追うことも可能な構成を示した。先行導入例も紹介。

3) 高度運行管制制御技術の検討：

待ち時間短縮および乗り継ぎ性の改善等のサービスレベルの向上をはかるため、現状調査を行い、乗降場の時刻案内から駅の乗り継ぎ案内など調査。現状のバスロケーションから発展し、他交通機関との連携や、リアルタイム交通状況により到着予測案内、増減便運行等の高度な機能が望まれる。

4) 自動走行技術の検討：

現状の運転支援技術の導入によってもドライバー異常時や、運転中の安全確認支援や運転負荷低減等の労働環境の改善の役立ち、事故防止に効果が大きい。更には、ドライバーの高齢化や労働環境の改善のため、現状の運転支援技術から発展させ、これらの諸課題を解決するため自動走行技術を導入することにより、より効果が期待できる技術であり構成要素を示している。

5) 自動走行用HMI技術の検討：

自動運転に向けて検討事例紹介。手動から自動へ段階的に切り替えるHMI、ドライバーの運転集中度を監視警告するHMI、自動から手動へ緊急切替に対応しやすくするHMIなど見出されている。これらから、自動走行の作動可能状態を伝えるMHI、運転主権の移譲状態をつたえるHMI、安全確認を支援するHMIが自動走行を実用化するための基本要素と考えられる。

6) 正着制御の検討：

車椅子の直接乗降利用を可能にする技術。欧州調査の車椅子で直接乗降できる先行例を紹介。構成要件の整理を行い要求性能と検討すべきバス停形状を3種示している。

7) 車椅子固定技術の検討：

欧州の事例調査では車内での一般乗客との親しみのある周りの乗客と融合した位置や方向に場所が設けられているが、固定装置が装備されていない。また、国内でも各種固定装置や方法が開発されているものを紹介している。これら調査を参考、ART車両の開発へ、乗客自ら簡便操作で車椅子固定・解除が容易にできる装置案を示している。

8) 車両構造の調査：

車室内空間を広くした調査例を示し、広くフラットな床の車両を實げするために車軸の位置やエンジン搭載方式を示し、具体的構成も調査結果として示している。また、連接バス機構など構成機構の調査結果を示している。

9) 先読み運転制御技術の検討：

Deep Learning（深層学習）をはじめとする人工知能（AI）技術の発展により、危険予測法として自動運転に利用する応用が試みられている。予めて収集した様々な場面のセンサ信号（ビックデータ）から各場面の危険度を評価して分類するためのプログラムを構築して訓練し、このアルゴリズムプログラムが未経験の場面に遭遇したときに危険度判定の判定結果を先読み運転制御技術への適用をする。そのためには、そのためにリアルタイム処理には専用ハードの開発が欠かせない。

2.2 ARTにおける技術要素の調査検討

2.2.1 ARTの各階層のシステム設計

主要都市圏および中核都市ARTの全体システム設計を行った。主に鉄道バス乗り換え駅地域のARTの完全な技術開発要件と設計要素階層との関係を具体化するとともに各階層のシステム設計をおこなった。

2.2.2 ARTにおけもとめられる要件技術調査検討および課題の整理

ARTに関係するシステム設計に基づき、制御システムやセンシング等の要素技術の要求仕様の調査検討と解決すべき課題の整理を実施した。

2.3 技術開発項目の開発規模検討

ARTの実現に求められる技術開発要件における制御システムや要素技術について、開発レベル、開発規模および開発難易度について文献や専門家からのヒヤリング結果をもとに評価等をおこなった。

2.3.1 開発規模の評価

1) 開発レベル

開発レベルは16項目を評価し、基礎研究レベルからの開発1件、既存技術を使った新規開発6件、既存技術の改良7件、既存技術の流用2件に類別した評価結果となった。

2) 開発規模の調査検討

開発規模は17項目を評価し、大規模6件、中規模11件、小規模0件に判別した評価結果となった。

なお、大規模は1億円以上、中規模は1億円から1千万円、小規模は1千万円以下の規模で分類した。

3) 難易度

難易度は16項目を評価し、開発技術内容が：難0件、比較的難8件、比較的容易4件、容易4件に類別した評価結果となった。

第3章 調査検討の詳細結果

3.1 ARTに対するニーズの調査検討

ARTに対するニーズを①現在のバス交通の問題点の解決、②現在のバス輸送事業における問題点の解決、③2020年以降の高齢化社会における問題点の解決、④現在の道路交通の諸問題を解決する一手段のとしてのバス交通の観点より 3.1.1 ～ 3.1.8 に整理し、大都市および地方都市等のバス事業者へのヒヤリングや公表されている学会論文や報告書を調査し、求められるサービス内容や性能等を定静的に整理した。

3.1.1 速達性、定時性に関するニーズ調査

(1) 乗降時間の短縮に関するニーズ調査

ア. 乗降時における現状の課題

通常のバスについて、ターミナルやバス停における乗降時の問題としては、運賃收受時の時間の損失の問題と縁石への正着の問題がいくつかの文献で指摘されている。

運賃收受時の問題は、現金支払及び運転士への問い合わせの2点に集約できる。

大都市の多くのバスは乗車時に運賃を支払い（前払い）、他の事例で降車時に運賃を支払う（後払い）。バスの運賃は均一運賃になっている路線（均一運賃）と距離あるいは区域に応じて運賃が変化する路線（対距離運賃）とがある。これは、従来は地域によって決められていたが、最近では、コミュニティバス路線など自治体やNPOが主体となって計画され運営されている路線において、他の路線とは異なる運賃制度を取り入れることがあり、同じ地域でも在来からのバス路線は対距離運賃で、コミュニティバスは100円均一運賃となっている場合などがある。

一般的には、均一運賃は前払い、対距離運賃は後払いだが、そうでない例も少なくない。対距離運賃で前払いの場合は、乗客の自己申告に基づく。対距離運賃の場合で、乗客が現金で支払う際、釣り銭の手続きに時間を要する。運賃箱によっては、500円硬貨と100円硬貨で挿入口が異なっていたり、二千元以上の高額紙幣が使えなかったりするため、慣れていない乗客の運賃支払手続きに時間がかかる。この種のロスタイムの問題は、ICカード化、改札方式による乗車前の事前收受（車外收受）、従前の車掌が担っていた役割であるが乗車後の車内での運賃收受などの方法で対応が可能となる。

慣れていない乗客が運転士にいろいろな質問をすることによるロスタイムも少なくない。平均乗降時間を計測した分析では、1名の乗客の運転士への質問のために時折異常値（他のサンプルでせいぜい3秒のところは60秒以上かかる等）が発生する。この種の問題は、そもそもの案内情報の充実とともに不案内な利用者のためのサービス（電話対応や主要駅での案内係の配備など）によって程度を緩和できる。

縁石への正着の問題については、実際の道路やバスターミナルでの実測や実験に基づいた文献がいくつかある。縁石から離れて停車するため、ノンステップバスでも、実際の利用者は、縁石から車道面、車道面から車体、ということで2段の段差に直面している事例は少なくない。バス車両が縁石から離れる理由としては、運転士が運行スケジュールの遅れを気にするあまり、バス停近傍での操舵制御を丁寧に行わないこと

とともに、特にバスベイにおいてはその切り込みの形状の問題も指摘されている。縁石の車体との距離の問題は、バリアフリーの観点からも指摘がある。車椅子利用者や松葉杖等利用者、視覚障害者の乗降に影響を与える。限りなく縁石に近くバス車体が停車する（正着という）ことが望ましい。

正着をめざすための工夫例はいくつも紹介されている。イギリスのリーズでは、ガイドウェイバス車両が一般道路を走行する区間の停留所で縁石を300mm程度にかさ上げし、バスはガイド綸をぶつけることで、車体と縁石の間の隙間を小さくたもっている（ドッキングバス停）。ドイツのオーバーハウゼンのトラッセ（トラムとバスのみの専用道路）では、プラットホーム端部をゴム仕様として、バス車両をホームにぶつけさせている。BRT事例でも、コロンビアのボゴタのように十分な乗務員訓練と監視装置によりプラットホームとバス車体の間の距離を短く保つ事例、ブラジルのクリチバのようにバス車両から板を渡す事例、タイのバンコクのように、ガイドウェイバスと同様のガイド綸を縁石に当てることで幅を一定に保つ事例などがある。フランスのナントでは、駅部分の車道に意図的に轍を導入し、自然にバス車体の位置が調整されるようにしている。

なお、一方でインドネシアのジャカルタのように運転士の質の問題からプラットホームとバス車体の間がたびたび大きく開き、その結果乗降時間が増大し、システムのパフォーマンス（平均速度や運行頻度、それらの結果としての輸送能力）を低下させている例もある。

イ. 現状一人当たりの平均乗降時間

決して数は多くはないが実測調査研究事例が内外にある。前述のように、運賃支払時に運転士に質問をする、現金支払時に手間がかかる、等の理由により、サンプル数としては多くないものの、標準的な秒数からかけ離れた長い時間のかかるサンプルがあり、平均値だけで議論することは現実的ではないが、およそ1から3秒の間の数値が報告されている。縁石と車体との関係、ドアの幅、カード利用など運賃支払い方法の違いの要因によって幅があることも報告されている。

運賃支払いをしないプラットホーム型の場合、クリチバやボゴタでの事例から、0.2から0.5秒程度の値になっている。270人降車で5箇所のドアで23秒という報告に基づく、0.43秒となっている。

ウ. 一人当たりの目標乗降時間の検討

前述のように、実測値において、運賃支払い方法や縁石正着状況が、1人あたり乗降時間に大きく影響する。そのため、目標値設定においても、それらの条件をある程度定める必要がある。ARTでは、現存するBRTで用いられている最新技術は当然活用するものとし、さらに近未来的な技術も積極的に取り入れる考え方に基づいている。また、RすなわちRapidであることを重視するため、駅での停車時間を短くする部分での技術革新は労を厭わないことになっている。さらに、移動困難者の社会参加促進のためのモビリティ確保が重要な視点になっている。以上を踏まえて、平均的な乗降時間

としては、クリチバでの実測値及び計画値となっている0.43秒を前提に、0.5秒／人／ドアを目標値としておくことが望ましいといえる。

(2) 平均速度向上に関する調査

ア. 現状の市街地部の平均表定速度の調査

表定速度は、バス路線の運行計画において事業者が設定するものである。近年では、多くの事業者が、GPS等を活用したバスのリアルタイム位置情報を把握するシステム（いわゆるバスロケーションシステム）を導入しており、実際にバスが要した所要時間の記録データが大量に存在する。それらを参考に、事業者が平均的なバスの速度、区間の所要時間を計画値として設定している。多くの事業者は、人材の余裕がないこともあり、所有している大量のデータを丁寧には分析していない。結果として、終日全区間同一値の平均速度を仮定して運行時刻表を作成している。一部の事業者では、時間帯によって設定値を切り替えることで、より実態に即した運行時刻表を作成している。事業者によっては、意図的にやや速めの速度を設定している。これは、全体の事業としての生産性を高める狙いがあると想定される（運転士が、安全運転の範囲内で速めに運転することで、運転士の労働1時間あたりの運行本数を増やすことができる）。この場合、利用者からすると頻繁に遅れるバスになるが、実際の速度は他事業者よりも速いということになる。

多くの文献で引用されている平均速度データの多くは、東京など大都市の公営事業者（交通局）のバスのデータで、これは、バス車両が車庫を出てから車庫に戻るまでの総走行距離と運転士の総運転時間から算出されたもので、きわめて平均的なデータである。路線の終点での折り返し待ち時間を計算に算入するかしないかでも値は大きく異なる（大阪市交通局のデータは昭和55年まで算入していたために、他都市と比べて平均速度が遅かったといわれている）。

その他、いくつかの実測データなどに基づくと、バスの平均速度は市街地部では、10ないし15km/h、郊外部や地方部などでは、15ないし20km/hになっている。運行事業者が採用する表定速度もこれに基づくことになる。これらの値は、バス停の間隔（通常市街地では300～400m）、バス停での停車時間、信号交差点の数、信号交差点でのロスタイム（道路混雑に起因するものも含むが、優先信号制御の中身にも影響される）、多車線道路において路上駐車などの影響で車線変更を余儀なくされるロスタイム、バスベイから発車して道路本線に合流する際のロスタイムなどの要因に影響することが知られている。これは、逆に言えば、これらの要因をひとつひとつ解決していくことにより、バスの平均速度を向上させることが可能であり、表定速度設定もかわってくる。わが国の都市部のBRT事例として知られている名古屋市新出来町線の基幹バスでは、およそ20km/hの値となっている。ちなみに、BRTのルーツといわれるクリチバの専用道路を走行する幹線バスの平均速度も20km/h程度である。ボゴタの幹線バスの場合、途中の停車駅パターンが多様になっているが、もっとも速いものでは、平均速度は、40km/h前後になっているものと予想される。クリチバにて、1991年に、当時のモータリゼーション進展に対抗すべく導入されたSpeedyというニックネームの直行バス

は、すでに走行台数の多い専用道路ではなく、並行する一般道路を走行しつつ、平均2km間隔の駅での停車で、運行開始当初は32km/hの平均速度で運行していた。

イ. 目標表定速度の検討

前項で述べたように、速度は、走行空間の運用、交差点での制御、乗降方式やバス停（駅）の間隔などに大きく影響される。完全に分離された専用走行空間で、交差点でも優先信号制御が十分に機能している場合に、数百m間隔のバス駅で、車外収受の運賃方式の場合、20km/hから25km/hに設定することが現実的と思われる。

一方で、都市交通体系の中での望ましい速度設定という考え方もありえる。都心部でいえば、地下鉄や新交通システムなどが、およそ25km/hから35km/hで運行しているため、ARTがそれらを補完する機能を有する前提では、同じような速度を目標とすることになる。しかしながら、道路上で、交差点などで一般車両と折り合いをつけていくことを踏まえると、同じ数字は実現困難といわざるを得ない。その場合も、前述のように、20km/hから25km/hになる。

(3) 優先レーンの拡大に関する調査

ア. 都市部におけるバスレーン設置状況の調査

わが国では、いわゆるバス専用レーンとバス優先レーンは明確に異なる定義を有している。調査した限りにおいては、そのような2種類の規制を有しているのは、わが国だけである。海外事例で優先レーンという場合は、わが国のバスレーンにあたる。

バス専用レーンは、昭和42年以降、大都市を中心に普及が進み、現在でも多くの都市で導入されている。規制時間帯は朝夕ピーク時間帯、2ないし3時間になっているものがほとんどであるが、朝7時から夜6時、あるいは朝5時から夜1時というような規制の事例もある。一方で、朝の7時40分から8時の間の20分だけという規制を実験的に導入した事例もある。通行を認められているものは、路線バスに限定している事例が多いものの、通学通園バス、実車タクシーなどが認められているものもある。金沢市では、4人以上乗車の車両、長岡市と新潟市では、3人以上乗車の車両を認めているものもある。これらについては、いわゆるHigh Occupancy Vehicle規制の先駆的事例ともいえるが（金沢は1974年、長岡が1976年、新潟が1978年）、総合的な交通管理施策の中に位置づけられているわけでもなく、また取り締まりも容易ではないため、現実的に自家用車利用抑制にどの程度の効果があるかは疑問視されている。また、オートバイの走行を認めている事例もある。自転車については、最近走行を認めた事例が出現した。なお、専用レーン規制の場合には、通行を認められた車両は他車線を通行できないことになっている。専用レーン規制の導入においては、車線数、交通量、バスの運行本数などを勘案して判断されるが、判断基準は必ずしも明確ではなく、個別の事例の状況に応じて交通管理者が判断している。

バス優先レーンの規制は、専用レーン導入が、判断基準上叶わない場合に事前の策として用いられる。名古屋市の基幹バスでは、ピーク時間帯は専用レーンであるものの、他の時間帯は優先レーンになっている。

これら以外に専用道路規制がある。これは、駅前広場バス乗降施設でのバス以外の乗入れ禁止や、片側1車線道路でのバス以外の走行規制の場面で用いられる用語である。1977年に大阪市で、大々的にゾーンバスシステム（幹線支線乗継システム）を導入した際に、特に市内東部から都心に乗入れる幹線バスの定時性確保のため、一部道路で朝時間帯のみ専用道路規制をあちらこちらで実施した例などが知られる。首都圏では、神奈川県厚木市と茅ヶ崎市で、駅前通りの駅寄り区間において朝ピーク時にバス以外の通行を禁止している事例が該当する。

実質的には同一になるが、朝ピーク時のみバス以外直進禁止の規制を行う場合がある。静岡県浜松市の一部地域や、奈良県奈良市の学園前駅周辺地区の事例が知られる。後者においては、朝の45分間だけであるが、徹底的に、直進禁止等の規制を実施することで、駅への自家用車アクセスを制限し、バスの定時性を高めている。

イ. バスレーン設置における現状の課題調査

バスレーンについては、多くの問題があるといえる。道路交通全体の円滑化の視点では、渋滞が悪化してはならず、結果として、バスレーン導入によって、優先されない他の車両の混雑が著しくなることが許されないことになる。よって、道路幅員が十分にあり、一般車両が円滑に流れる場所でのみバスレーンが許可される。しかしながら、そういう場所では、バスレーンがなくてもあってもバスの定時性は、大きく変化することはない。ただ、バスがひとつのレーンに押し込められる点で、全体の円滑化に資する可能性があることは事実である。

公共交通政策の視点からすると、自家用車利用からの転換を誘導するために、バスは定時性と速達性が求められる、そういう場面においてバスレーンを導入することが必要で、それによって、他車線の混雑が激化したとしても、そこで、自家用車からバス利用への手段転換が発生すればよいだけのことであり、移動者の選択の問題に過ぎないということになる。理論的には、最終的な均衡状態においてようやく、すべての交通手段の所要時間が等しくなる。交通工学的には、すべての道路利用者の総所要時間の最短化こそが最適化であり、交通経済学的にも、道路利用者の費用負担総額が最小になることが最適化になる。都市交通政策においては、定時性高く、信頼性高く、適切な速度で移動できる手段を提供できていることが目的になるので、他の2つの立場と異なってくる。現実的には、個々の自家用車利用者の起点と終点はまちまちで、その需要をすべてバスに転換させることは非現実的な面もあり、導入の判断は必ずしも容易ではない。

一方で、規制の区間、規制の時間帯、通行を認める車両の種類については、さまざまな政策選択肢があり、状況に応じて適切に組み合わせることで、バスの定時性と信頼性を実現しつつ、関連各主体の合意を形成することは不可能ではない。

3.1.2 乗り心地、快適性の向上に関する調査

現状の公共交通機関の新幹線や在来線及び路線バスの調査を実施し、加減速度計測から乗り心地、快適性に関して、ARTの乗り心地、快適性の目標値を設定した。

(1) 鉄道の減速度、加速度の調査

現在運行されているのバス、鉄道の加減速度の調査を、加速計を用い駅停止時、発進時の減速度、加速度を計測した。

ア．鉄道の計測条件

現在の新幹線、在来線における加減速度の調査を行った。調査は以下の通りである。

新幹線：東海道新幹線

在来線：山手線

またそれぞれの計測区間と車両は以下の通りである。

○新幹線

計測車両：こだま641号（700系）

計測路線：東京→浜松間（図3.1.2-2-1参照）



（出典：GoogleMap）

図3.1.2-2-1 新幹線計測区間

図3.1.2-2 山手線計測区画

○在来線

計測車両：E231系

計測路線：東京→浜松間（図3.1.2-2参照）

イ．計測法

今回の調査手法は運行時間中に車内に加速度センサを床に設置し、計測者は乗客と同様に座席に座り、走行中の加減速度を計測する。使用したセンサを次に示す。

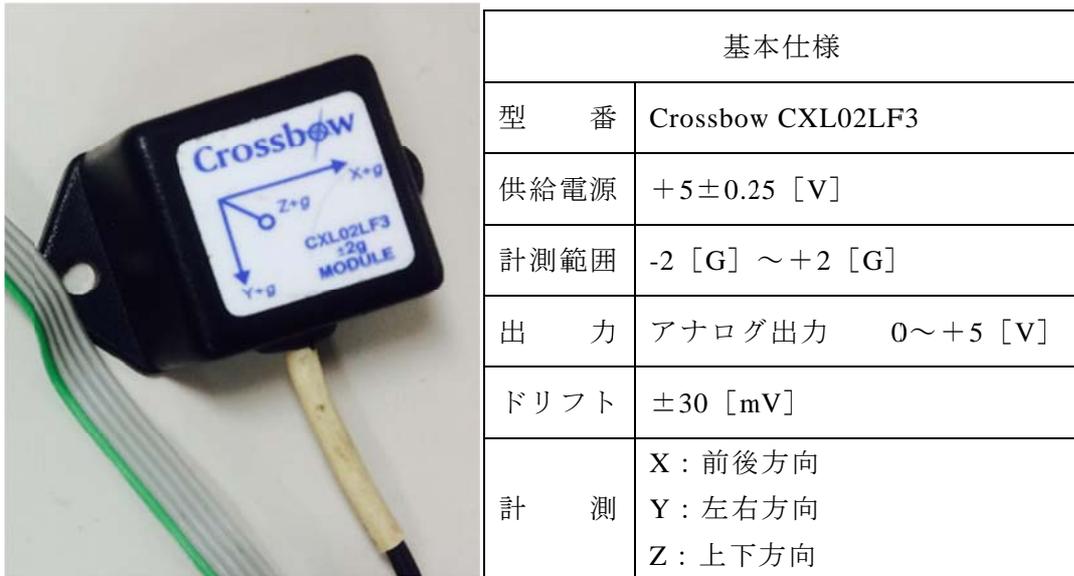


図3.1.2-2-3 計測センサ仕様および外観

ウ. 計測結果

結果を図3.1.2-2-4から図3.1.2-2-7に示す。

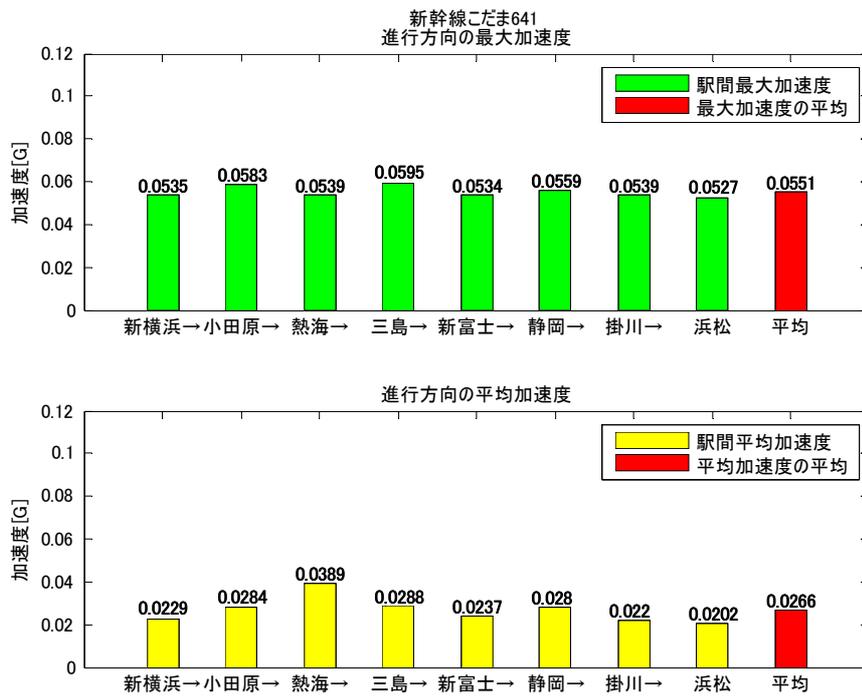


図3.1.2-2-4 新幹線の進行方向の最大加速度及び平均加速度

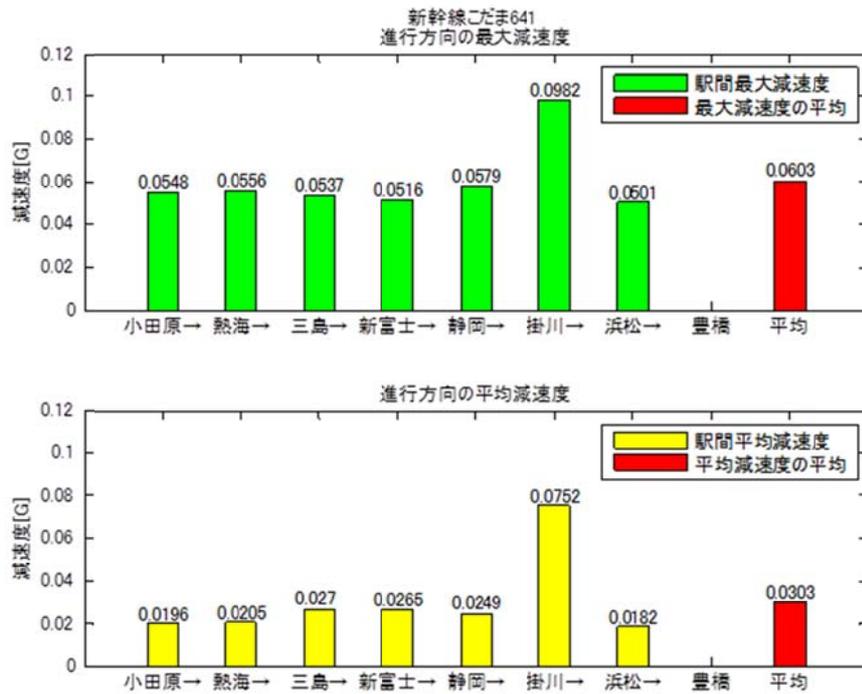


図3.1.2-2-5 新幹線の進行方向の最大減速度及び平均減速度

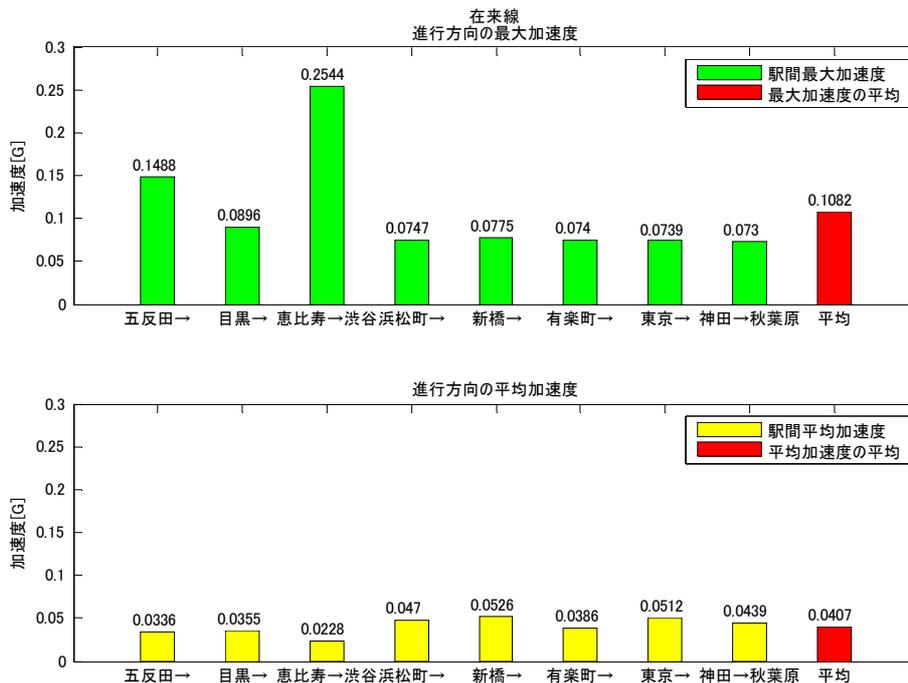


図3.1.2-2-6 在来線の進行方向の最大加速度及び平均加速度

結果より駅発進時の加速度および駅停車時の減速度の最大値は新幹線の加速度は三島駅で、0.0595 [G]、減速度は掛川駅で0.0982 [G]であった。また在来線の加速度は恵比寿駅で0.25 [G] 減速度は渋谷間で0.169 [G] となった。

また発進～定常状態までの加速度、定常状態～停車までの減速度それぞれの平均値は新幹線が加速度0.0256 [G]、減速度0.0383 [G]、それに対し在来線は加速度0.0407 [G]、減速度0.0459 [G]であった。

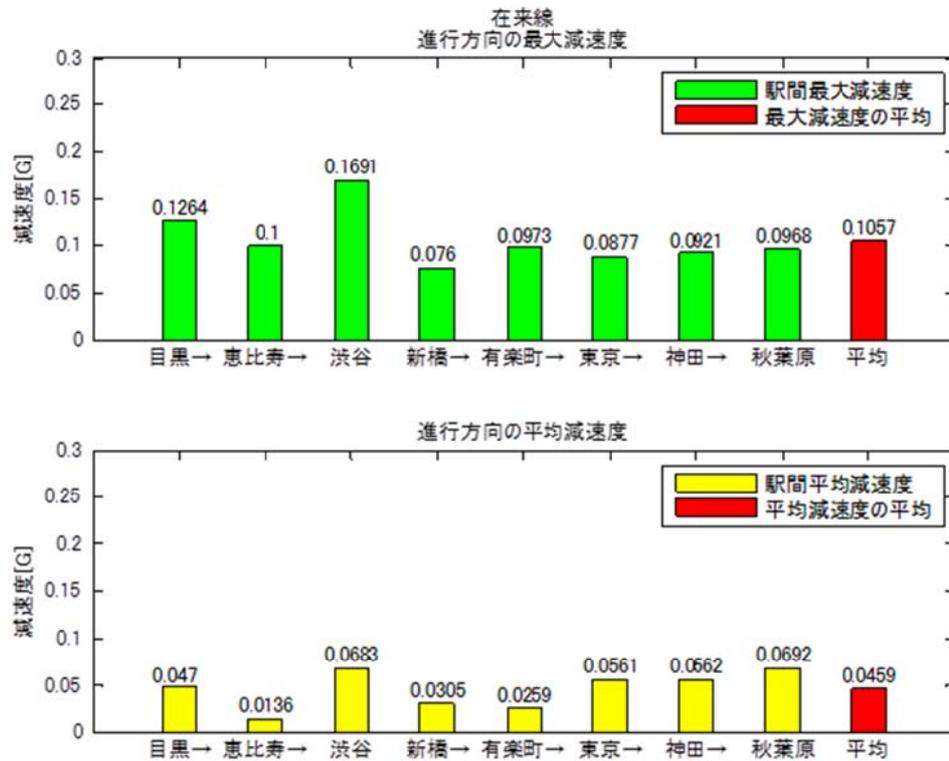


図3.1.2-2-7 在来線の進行方向の最大減速度及び平均減速度

(2) 現状バスの加減速度の調査
ア. 計測場所および計測方法



図3.1.2-2-8都営バス計測区間 (出典: GoogleMap)

ここまで鉄道（在来線、新幹線）で進行方向の加減速度を比較してきたがこの項では現状バスの加減速のもんだいてん調査について整理する。バスは鉄道と違い、停留所以外に道路状況や信号の影響によって停止することがあり、状況によって加減速にも違いが出てくると考えられる。そこでバスの運転中の加減速については停留所の停車および信号時の停車と分けて検討する必要がある。そこで東京都交通局協力のもと運転中の加減速を計測した。今回の計測区間と車両は以下の通りである。

○路線バス（都営バス）

計測車両：運転手訓練車

計測路線：深川営業所→晴海埠頭（図3.1.2-2-8参照）

調査方法は三名の運転手により、計測区間1往復するごとに交代し走行する。走行途中では、信号での停止の他に停留所に見立てた指定のポイントで一時停車し、発進する走行で行った。またバス車内運転席の横に前方カメラを設置し、計測中の道路状況に伴う加減速を映像に記録する。計測に使用したセンサは前項と同じものを利用した。

イ．評価結果

計測結果の検討方法はいくつかの加速パターンと減速パターンに分けて行う。まず加速パターンは、信号停止からの加速及び停留所からの加速という2パターンに分けそこから、信号停止からの加速は停止時の前方の車両の有無で2パターンに分けた。減速パターンは、信号による停車及び停留所へ停車という2パターンに分けそこから、信号による停車は赤信号での前方の車両の有無及び、黄信号から赤信号に変更時の停車という3パターンに分けた。また、停留所へ停車も直線停車及びレーンチェンジ停車という2パターンに分ける。データのパターン分けは録画した映像を基に行った。それぞれのパターンごとに分けて解析した結果を次に示す。

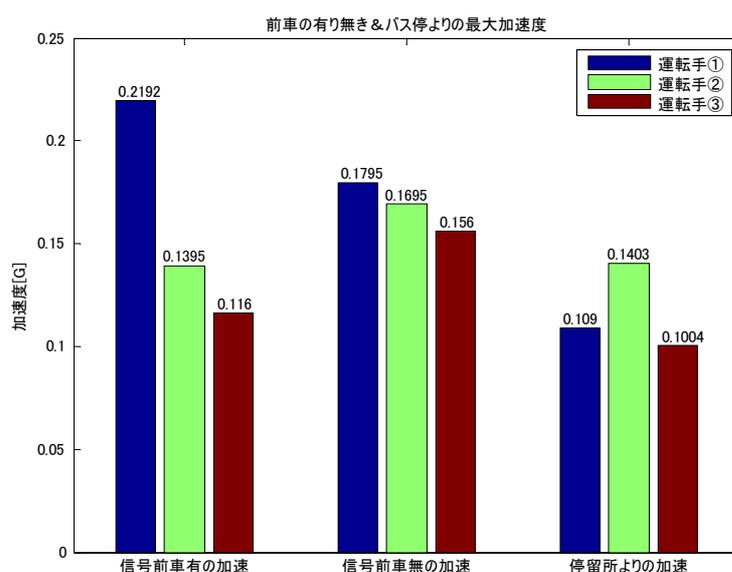


図3.1.2-2-9 各発進パターンの最大加速度の比較

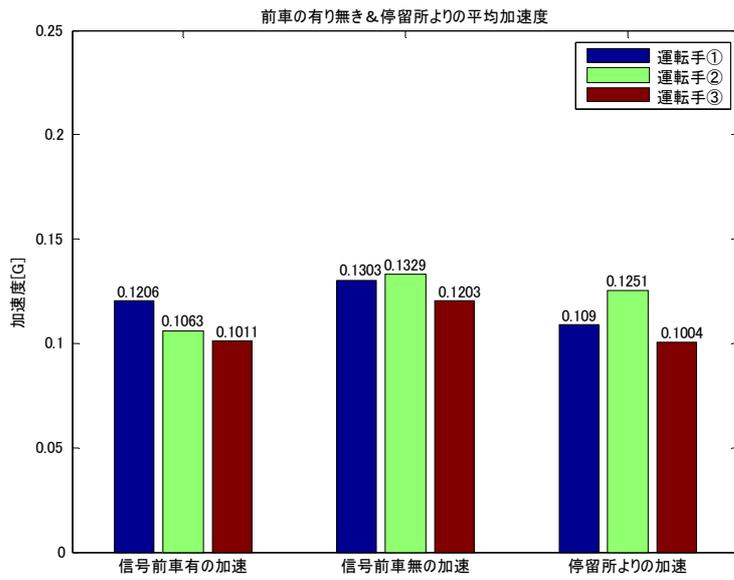


図3.1.2-2-10 各発進パターンの平均加速度の比較

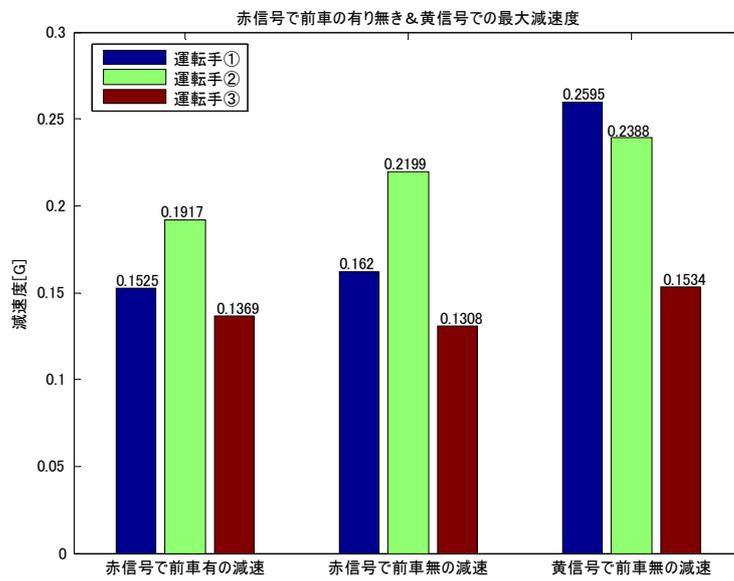


図3.1.2-2-11 信号による停止パターンの最大減速度の比較

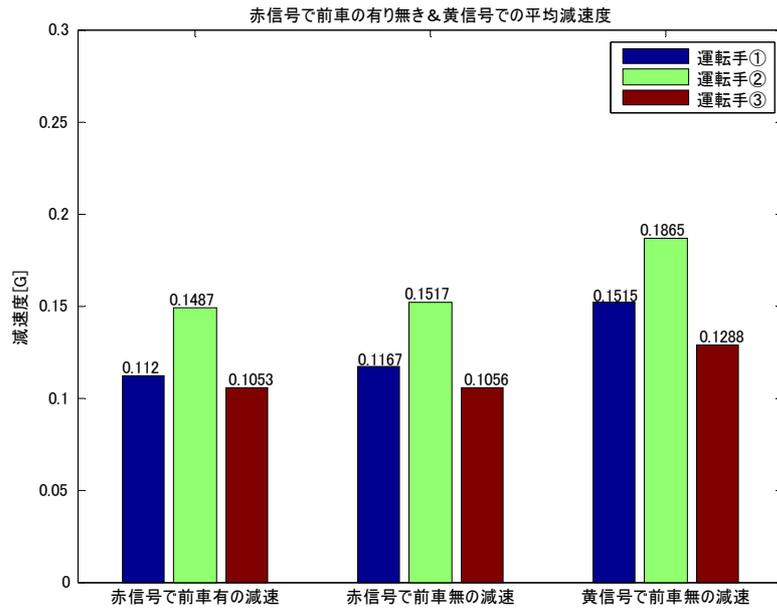


図3.1.2-2-12 信号による停止パターンの平均減速度の比較

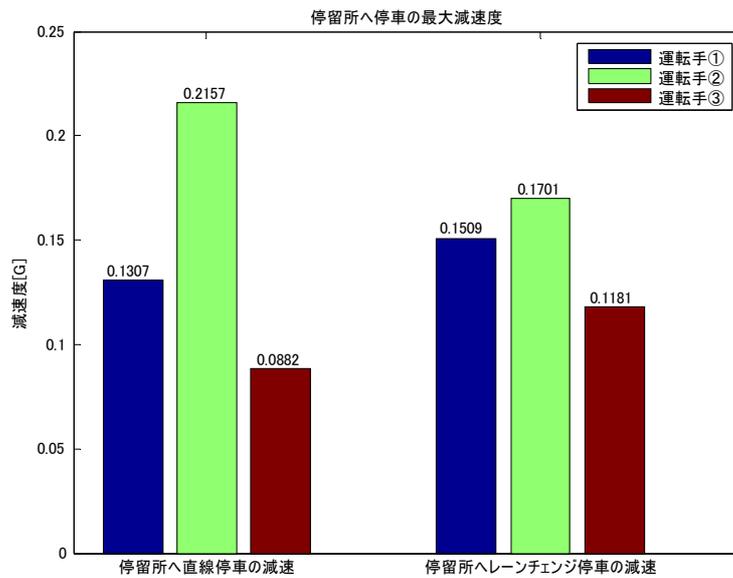


図3.1.2-2-13 停留所への停車パターンの最大減速度の比較

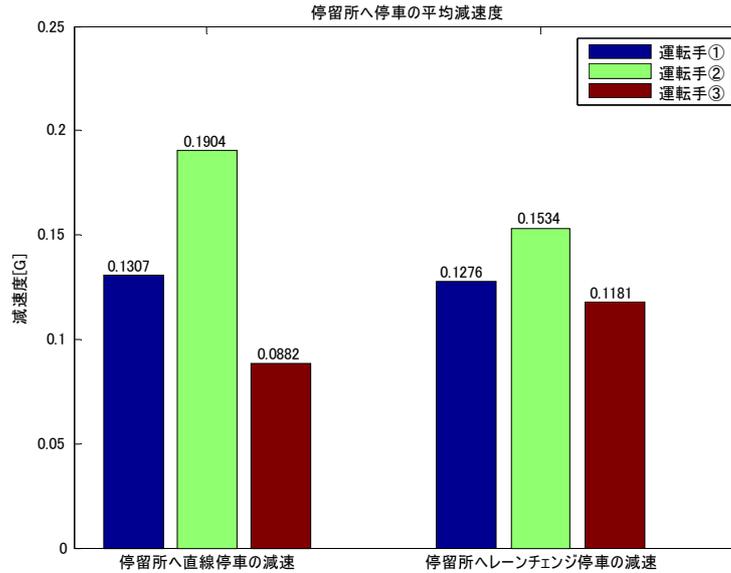


図3.1.2-2-14 停留所への停車パターンの平均減速度の比較

運転手で比べてみると「前車ありの発進」のとき、信号での最大の加速度で運転手①の0.219 [G]、同じ条件でもっとも小さい運転手③とは0.1 [G] もの差があった。また最大の減速度は「黄色信号前車無しの減速」のとき、運転手①の0.2596 [G]、同じ条件でもっとも小さい運転手③とは0.1061 [G] もの差がある、運転手ごとのばらつきがあった。ここまでバス走行中の加減速度について見てきたが鉄道とバスとの違いにシフトチェンジがある。次にシフトチェンジの際の加速度の変化量を見てみる。

シフトチェンジによる加速度変化を次に示す。

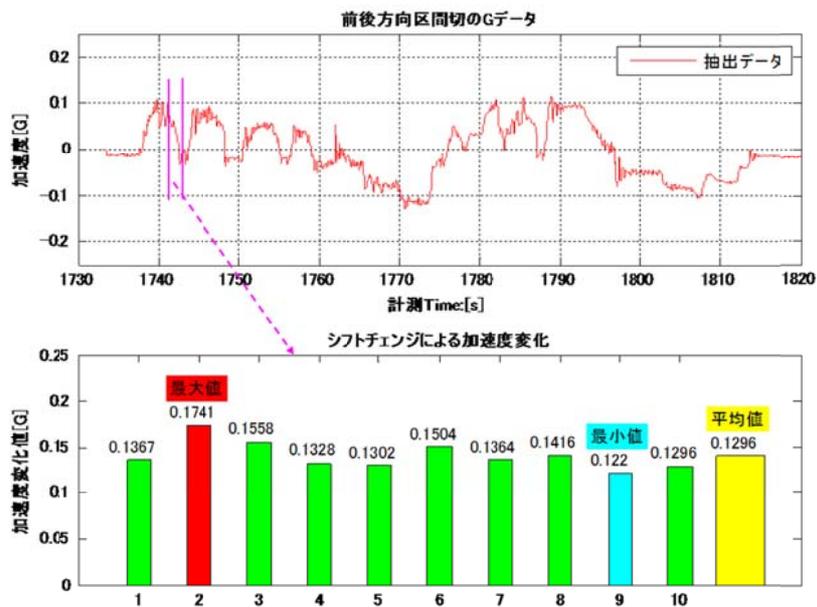


図3.1.2-2-15 シフトチェンジによる加速度

図3.1.2-2-15の結果は運転手①のものだがおおよそシフトチェンジの際には発進には平均0.1296 [G]、加速度が変化することがわかった。

(3) 加減速時における目標性能

ここまで鉄道（在来線・新幹線）および現状バスの測定結果に基づて、ARTの加減速時における目標性能を設定した。

新幹線・在来線・バスそれぞれの測定区間での最大の加減速度と平均の加減速度で比較する。その際、バスについては信号と停留所の加減速度それぞれについて比較した。またバスの最大の加減速度と平均の加減速度は運転手3人の結果を平均したものである。まとめた結果を次に示す。

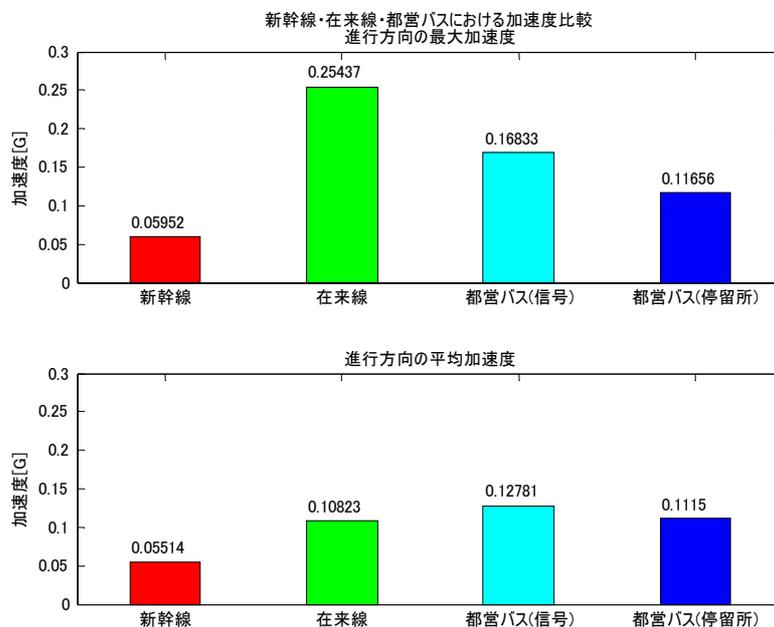


図3.1.2-2-16 新幹線・在来線・バスの加速度の比較結果

加速度、減速度それぞれの最大値を比較すると新幹線が最も小さく加速度0.06[G]、減速度0.098 [G]であった。それに対し最も大きいのが加速度では在来線で0.254 [G]、減速度ではバスの信号が黄色から赤に変わるときの停車時の0.217 [G]であった。

また加速度、減速度それぞれの平均値を比較するとともに新幹線が最も小さく加速度0.055 [G]、減速度0.060 [G]、それに対し最も大きいのがバスで加速度では信号からの発進で0.127 [G]、減速度では信号が黄色から赤に変わるときの停車時の0.156 [G]であった。

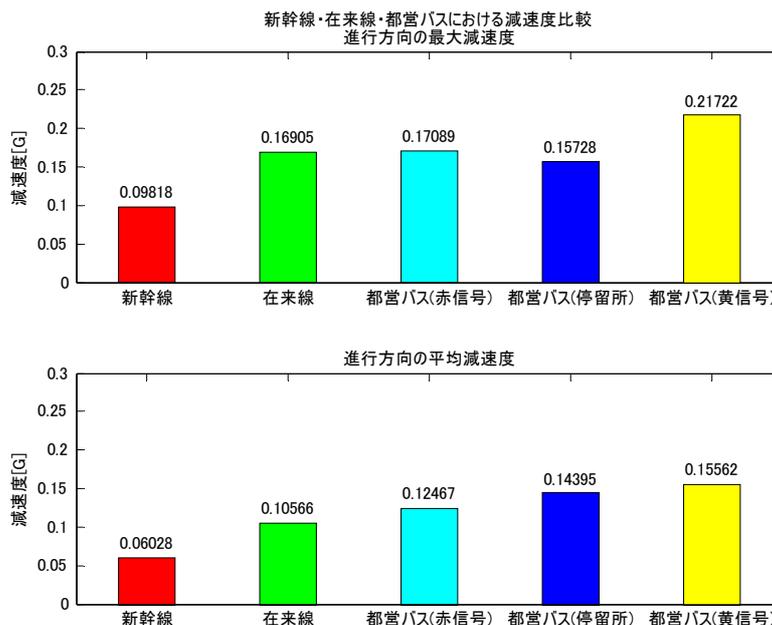


図3.1.2-2-17 新幹線・在来線・バスの減速度の比較結果

これらの結果を基にARTの加減速時における目標性能を考える。

前後の加減速は乗客のふらつき、転倒の原因とされ、発進、停止に問題のない範疇で小さくすることが望まれる。その点を踏まえると今回の測定結果から新幹線のデータを目標数値にするのが望ましいと言える。ただし、新幹線は駅間が長く、最高速度に達するのと、停止までのバスよりも長く開けられることを考慮に入れなくてはならない。

それらを考え目標性能は以下のように考える。

表3.1.2-2 加減速および乗り心地レベルの目標性能

項目	目標性能	
発進時の加速度	最大0.1 [G]	平均0.03~0.05 [G]
停止時の減速度	最大0.1 [G]	平均0.03~0.05 [G]

加減速度ともに最大0.1 [G] としたのは新幹線ほど小さくはなく、鉄道の在来線、バスよりも大きくならない範疇で決定した。

数値以外では加減速については信号時、停留所など、発進、停止位置や運転手などによって現状のようにばらつきではなく、どの場合の発進、停止時でも一定にできることが望ましい。またシフトチェンジでの加減速が、他の発進と同程度の加速度を出していたことから、できうるだけ加減速を小さくしスムーズなシフトチェンジにすることも目標性能の一つになる。

3.1.3 サービスレベルの向上に関する調査

(1) 待ち時間短縮に関する調査

ア. 現状の課題整理

バス利用において待ち時間の短縮は大きな課題のひとつである。待ち時間はそのままロスタイムとして扱われ、交通行動分析でも不効用として計測されている。待ち時間は限りなく短いことが望ましいが、そのためには無数のバスを運行せねばならず、運行費用が莫大になり相当数の利用者がいなければシステムとして成立しない。

利用者が、どの程度まで待ち時間を許容できるか、心理的な側面から取り組んでいる研究はないわけではないが、利用者の個人的な条件に左右されるため、一般的な目標設定に有用な知見は得られていない。

また、多くの交通行動分析で、待ち時間の不効用を乗車時間と独立に分析しているが、例えば、乗れば5分(=歩けば20分程度)のサービスを30分待つことはないものの、乗車時間2時間のサービスであれば30分待つことは、場合によっては厭わないかもしれない。このように、乗車時間となんらかの関係性をもって待ち時間の評価が決まることにも注意が必要となる。

バスの待ち時間の問題は、特に都市部において、軌道系交通機関と異なり、その定時性が極めて低いことになる。バスレーンや優先信号制御などにより定時性を高めることができない限り、この問題はつきまとう。

なお、待ち時間そのものを改善できないものの、待ち時間の負担感を軽減する技術として、バスの現在位置情報あるいは接近情報を提供する技術が普及しており、待ち客の心理的負担の軽減や、安心感の向上、そしてタクシーなどへの交通手段転換の抑止に貢献していることは報告されている。

海外事例のうち、デンマークの首都コペンハーゲンでは、中間管理法人MOVIAによってバス運営及び運行がなされているが、市内45路線のうち6路線を重要路線Aバスとして設定し、車体塗色を変更するほか、バス停でのカウントダウン表示(あと何分でバスが来るかを数字で表示)などの工夫をしている。Aバスでは、日中の運行間隔を5分間隔と規定して、使いやすさをアピールしている。このように都市内の特定路線を差別化する手法は、わが国でも一時期とられていた。東京では、1985年の都市新バス都01系統(渋谷、六本木、新橋線)が同様のコンセプトによるものであった。こちらでは日中は2~4分間隔での運行を売り物としていた。なお、例えば東京では、地下鉄銀座線の日中の運行間隔が3分、丸の内線が4分、日比谷線や東西線が5分となっており、5分間隔は間違いなく高頻度といえる。しかしながら、道路上の信号制御交差点をみると、信号サイクル長1分40秒の標準的な交差点があるとすると、5分というのはちょうど3サイクルに相当するので、信号3サイクルあたりバスが1台ということになる。これは、道路上で交通流を観察する視点からすれば、低頻度になる。この感覚的なギャップには注意が必要になる。交通工学的な視点と交通計画的な視点の差異ともいえる。

イ. 目標待ち時間検討

上記のように、目安となる数値が研究例として示されているわけではないため、目標待ち時間を設定することは困難である。しかしながら、海外の多くの事例などを参考にして、日中で5分間隔以内と設定することは問題ないといえよう。

(2) 乗り継ぎの改善に関する調査

ア. 現状の課題整理

鉄道とバスの乗り継ぎ、バスとバスの乗り継ぎに関しては、多くの実証的な研究がある。一般的に乗継時に確保すべき連続性は、物理的な連続性、時間的な連続性、経済的（費用面）連続性、心理的連続性に区別できる。最後の心理的連続性は、初めての利用者の安心感を高める情報提供とともに、他の3つの要素によって生じる負担感を弱めるような情報提供の課題も含まれる項目である。

海外を中心に、乗り継ぎの物理的な連続性を高めるような施設設計の事例が紹介されている。電車を降りたら向かい側のプラットフォームにバスが待っている、あるいはプラットフォームの両側にバスが同時に到着する、といった類の例はもはやめずらしくはない。わが国では、事業者が異なると施設の管理が複雑になる。広島バスセンターのように、バス協会のもとにバスセンターという管理会社を設置し、各運行事業者が施設を共同で利用する形態であればわかりやすいが、特定の運行事業者による施設の場合には、他の事業者の利用は厳しく制限されるのが常である。

時間的な連続性は、運行スケジュールのそもそもの調整と、もし遅れた場合の調整の2点がある。異なる事業者間の乗り継ぎでは、そもそも運行スケジュールが事業者の間で調整されていないことが問題になる。調整については、いくつかの駅で、夜間のバスについて、電車の到着が若干遅れた場合に微調整をする事例がある。これは夜間のバス利用者確保というニーズとともに、発車が若干遅れても体勢に大きくは影響しないという判断からなるものである。技術的には、列車が到着した際に、ターミナル内の専用ランプが点灯し、運転士が鉄道乗り継ぎ客の発生を認識できるというシンプルなものであるが、夜間時に、運行スケジュールの乱れやすい通勤鉄道線郊外駅などで重宝されている。

費用面については、多数の事業者が独立に会計を行っているわが国では、乗り継ぎごとに初乗り運賃が加算され割高になる。ICカードを利用しない場合には、それぞれ改札前で現金にて支払う、あるいは切符を購入する手間が生じる。近年はICカードが普及しており、また一部路線間、事業者間で乗り継ぎ割引もするようになった。ICカードが普及してきているが、隣国韓国のソウルでは、バス利用者の98%以上がカード利用者であり、わが国ではまだまだ課題が多いといえる。ICカードであれば乗り継ぎが割引にできる、コンビニエンスストアで購入やチャージができる、といった特典があることが重要といえる。

心理的連続性については、初めての訪問客の不安感を取り除く情報提供および、他の連続性要素の問題の程度を緩和する情報提供がいくつかの研究で論じられている。前者については、リアルタイムでの運行情報などよりは、乗り場がどこで、時刻表がどうなっていて、運賃がどうなっているのか、といった基本的な情報を、必要な場面

で難なく入手できることが課題であり、そうでない場面での問題の多さが指摘されている。後者については、前述のバス運行情報など、補完的なリアルタイム情報の提供により、他の要素の問題点が緩和される状況が報告されている。乗り継ぎ施設内の移動距離が長い場合にも、適切なタイミングで適切な情報揭示をすることで、想定ほどの苦痛なく乗り継ぎ施設内の移動がなされている場合などがある。

イ. 乗り継ぎに関する要求検討

前項での検討をもとに、乗り継ぎについては、①物理的な乗り継ぎ距離は極力短くすること、②運行スケジュールがダイナミックに調整できる機能とともに、ロスタイムの負担感を軽減するべくリアルタイム情報を適宜提供すること、③ICカード普及をより一層促進させ、乗り継ぎ時の手間や費用負担感の軽減に努めること、④初めての利用者への案内には十分に配慮することとともに慣れている利用者の負担感の軽減に寄与する情報提供に努めること、⑤以上の課題に個別運輸事業者でばらばらに対応するのではなく、全体で情報提供の仕組みをつくりあげ、トータルで設計するほうが費用を節約できることを示した上で、合意できる費用分担ルールを構築すること、等を要求項目としてあげることができる。

3.1.4 ドライバーの高齢化対応・労働環境の改善

ア. 現状および将来のドライバー高齢化動向調査

研究論文として、バスドライバーの高齢化動向や課題を扱っているものはない。国土交通省HPで公表されている勉強会資料や日本バス協会の資料に基づくと、バスドライバーの高齢化傾向は顕著である。バスドライバーに必要な大型二種運転免許取得において若年層の取得割合が低下しており、結果的に、バスドライバーの募集に対して応募が少ないという現状がある。

イ. 現状のドライバー労働環境調査

バスドライバーの労働環境については、交通計画分野では研究例がほぼないものの、労働問題を取り扱っている業界においては、いくつかの報告がある。少し前の関越自動車道でのいわゆる高速ツアーバスの単独死傷事故の後、国土交通省においてバス事業のあり方検討会（座長：中村文彦横浜国立大学教授）が設置され、ツアーバスの実質的な廃止や運輸安全マネジメントの強化などが国の方針として策定、実施されている。その中で、バスドライバーの労働環境については、労働衛生の観点から見直しが進められており、制度という点では改善されている。

ウ. ドライバー労働環境条件に関するニーズ整理

労働環境条件については、制度面では十分に改善されており、とりたてて新たに主張すべき課題は存在しない。バスドライバーの成り手が相変わらず少ないことに対して、職場待遇や給与などの面での課題が残されているといえる。

3.1.5 運行の効率化向上に関する調査

ア. 都市部および地方都市におけるバス需要変動の現状調査

都市部と地方部の定義は厳密には難しいが、日本バス協会等の資料に基づき、三大都市圏および政令市を都市部とし、他を地方部とすると、バス利用者数の経年変化は、多くの文献で報告されている。モータリゼーションの進展とともに地方部では激減、大都市部では、地下鉄などの整備の影響もあって、やはり激減している。

しかしながら、多くの地域において、バス利用者の減少にあわせて、運行本数の削減、路線の廃止など、サービス内容を縮小することで費用を下げ、かつ運賃を値上げすることで収入を増やす努力をしている。これらは事業者サイドの論理になっている。利用者からすれば、サービスが悪くなって運賃が上昇するわけであり、自家用車など代替移動手段があれば、そちらにシフトしていく（モーダルシフト）ので、バス利用者は加速度的に減少していくことになる。

このメカニズムを逆説的に実証したのが伊予鉄道である。同社資料によると、運賃値上げをやめ、格安の割引券や本数増加を実施した結果、すなわち、利用者側からみて費用を下げサービスを改善した結果、利用者数はいわゆるV字回復で増加している。結果的に増収になり、サービス改善で増加した費用を上回る収入を得ている。すなわち経営状況も改善している。

イ. 現状の平均バス運行経費調査

日本バス協会の資料において、地域ごとの費用の費目内訳が公表されている。しかしながら路線ごとのデータにはなっていない。同一の車両や運転士が、いろいろな路線を同じ一日の間に走行するため、費用の各項目について、どれくらいの割合がどの路線によるものなのか、正確な集計が困難なことが理由になる。地域による差や、公営事業者と民営事業者による差は顕著で、都市部の公営事業者では、人件費が占める割合がきわめて高い状態が続いている。分社化や再雇用制度などにより人件費を下げている事例があるが、前述のように、このことが運転士不足や、質の悪い人材による事故等問題点の増加につながっている面は否めない。

ウ. 運行の効率化に関するニーズ整理

運行の効率化においては、安全および求められる水準でのサービスの質の担保を前提に、運行にかかる費用を削減していくことが課題である。費用の大半を占める人件費は、バスの運行距離というよりは時間に比例して増減する。すなわち、バスの表定速度が向上すると、相対的に、運行にかかる人件費は低下する。また、定時性が高まると、予備車両や予備人員を節約できる。さらに車両のメンテナンス状況がより一層向上すると、予備車両のニーズはさらに下がる。よって、速達性及び定時性の向上と車両の信頼性向上が、運行効率化につながる事がわかる。

3.1.6 バリアフリー対応に関する調査

ア. 車椅子の乗降における現状と課題の調査（乗降時間等）

車椅子利用者のバス乗降にかかる問題は、日本福祉のまちづくり学会や交通エコロジー・モビリティ財団などでの報告で指摘されている。バス車両の車体構造だけでなく、歩道側の形状、運転士の操舵の結果によるところの車体と歩道との位置関係によって状況は大きく異なる。

ボゴタのBRTのようなプラットホームにおいては、ギャップがない限り、上下方向段差がないため、乗降に要する時間は数秒以下になる。現在のわが国のバスの場合には、運転士がスロープを操作するために時間がかかりかかる。また乗車時には指定された位置に車椅子を固定する作業も運転士によってなされるため、さらに時間がかかる。このことが、車椅子利用者にバス利用をためらわせている面は否めない。

イ. 車椅子の乗降における目標乗降時間および目標間隔距離の検討

前項で述べたように、単純に秒数では評価できない。乗降時においては、水平方向及び垂直方向でそれぞれ3cm以下のギャップが望ましい。しかしながら問題はそれだけでは解決されない。スロープの準備と収納、車内での車椅子固定や解除にかかる時間をいかに短くするか、あるいはプロセスを簡略化するかが課題となる。理想的には、健常者の乗降の場合の手間と限りなく同じ状況を技術的に実現することが求められる。ARTにおいては、プラットホーム乗降とし、車両側のスロープ操作が不要であること、車内レイアウト及び装置の工夫により、車椅子の固定及び解除の操作が限りなくシンプルであること、等が設計要件として求められる。

3.1.7 安全性の向上に関する調査

(1) ドライバーの漫然運転、居眠り運転および健康障害時に関する調査

ア. 現状のバスにおける事故状況調査

業務用バスのドライバーの漫然運転、居眠り運転などのドライバー状態による事故件数を図3.1.7-1に示す。

[出展：ITRDA（公益財団法人 交通事故総合分析センター）業務用自動車の交通事故統計]

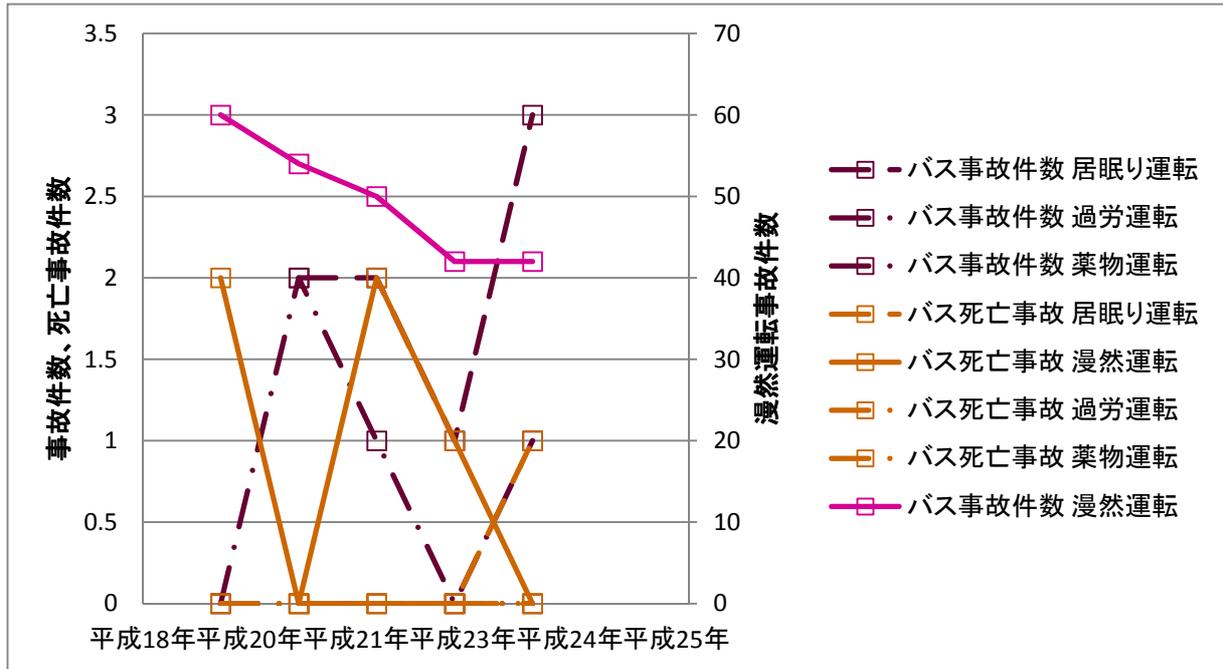


図3.1.7-1 業務用バスのドライバー状態による事故件数

業務用車全体のドライバーにおいても、漫然運転の事故件数は年間50件前後の事故が発生し、死亡事故も起きている。

また、居眠り運転、過労運転にても事故が起こっている。

更に、ドライバーの健康状態などの身体状態による事故件数と心疾患、脳血管疾患の死亡者数を図3.1.7-2に示す。

特殊自動車事故に分類されるドライバーの心臓マヒ、脳溢血やてんかん、その他の発作・急病による交通事故は、業務用バスにても、それぞれの分類別では散発的であっても毎年のようにいずれかの事故が発生している。

同様に、ドライバーの健康管理が行われている業務用自動車全体の事故件数を見ても、毎年それぞれの事故件数の変動が大きいですが、健康状態の事故は20件から30件の事故が起こっている。

日本における脳血管疾患死亡者数や心疾患死亡者数の傾向を見ても、今後も発生件数が全体では増加傾向にあり、運転中の発病が無くなる状態は難しいと考えられる。

[出展：事故件数は、ITRDA業務用自動車の交通事故統計。疾患死亡者数は、厚生労働省

HPより]

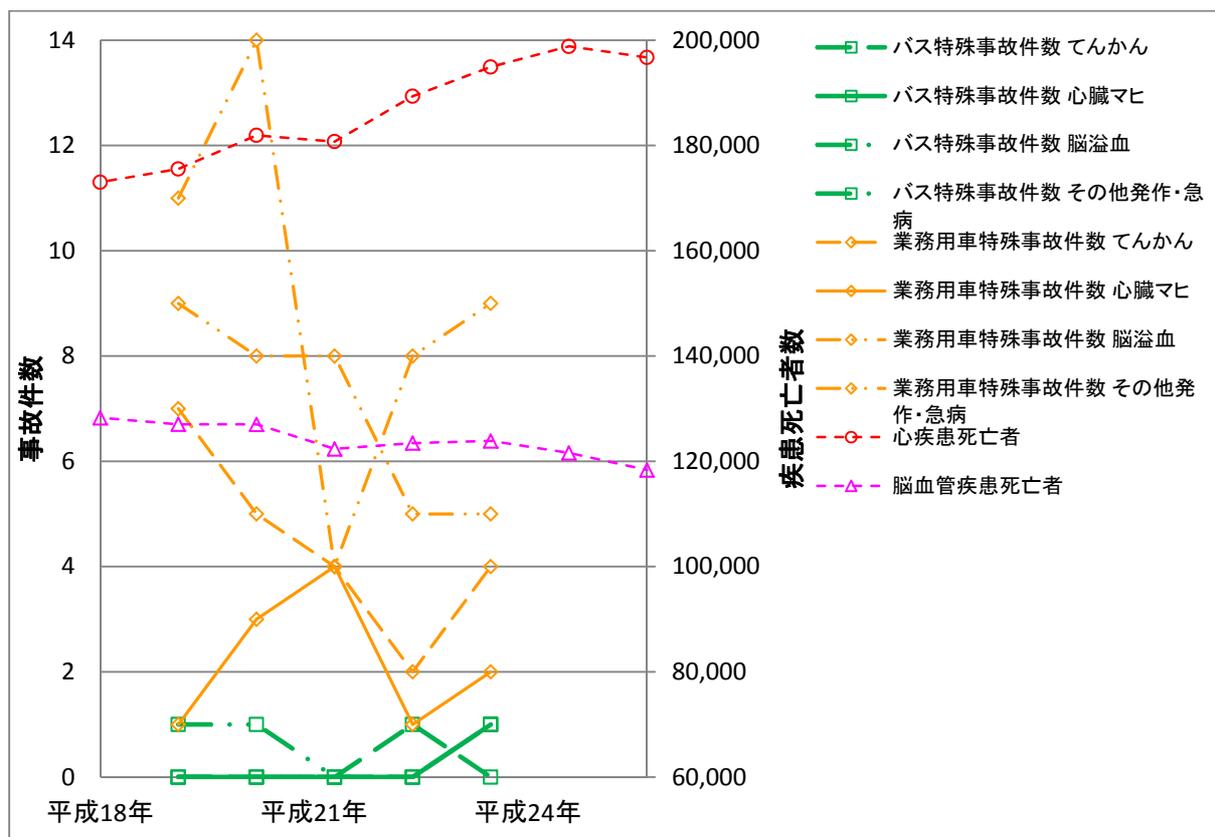


図3.1.7-2 ドライバー身体状態による業務用バス事故件数

イ. 事故に関する要件検討

業務用自動車や業務用バスに限っても、ドライバーも人間なので運転中の運転パフォーマンスや、脳の集中度合を常時長時間十分保たれた状態で運転できているとは限らない。

健康状態においても、定期健康診断で、100%の健康が保証されている訳ではなく、また、次回の定期健康診断までの健康状態が保証されているものではない。

人が運転する限り、何らかの身体的、また、健康上のリスクが残るため事故を0にすることは困難である。そのためには、何らかの運転支援による事故防止の機能向上や、ドライバー代替手段による運転技術開発が望まれる。

特にこれらに対応するため、ドライバー監視、ドライバーモニターと言われる、ドライバー状態を車側で検知・判断し、ドライバー状態が運転状態に不足の健康状態または意識が集中できない状態になった場合、安全な場所までの運転を代行する自動運転の一種の車両制御システムが求められる。

(2) 車内での乗客転倒の調査

ア. 現状の路線バスにおける事故状況調査

事故統計年報などの事故統計からは、バスなどの乗車中の乗員の事故発生状況は明

確な件数や状況が判明しないが、平成25年9月発行された消費者庁のNews Release『路線バスでの高齢者の転倒、骨折事故が多発!!』によると、平成21年度は54件、平成22年度は61件、平成23年度は59件、平成24年度は82件、平成25年度は7月までに17件と多くの事故が発生している。

これらの事故情報273件の事故の状況は、

- 「バス停から動き出すとき」78件、
- 「走行中の加減速・段差等」62件と突出しており、
- 「信号から動き出すとき」30件、
- 「バス停に停車する時」29件、
- 「交通事故」21件、
- 「信号等で停車する時」20件、
- などに続き「降りるとき」18件、
- 「乗る時」13件と続いている。

同資料により紹介された重大事故事例では、バス降車時にバランスを崩し転倒。降車時の確認不足によるドア閉めの動きによる降車中の転倒。バス停から動き出すときに席に着いた所でバスが発車し転倒。赤信号で減速していたが、青信号になりバスが加速したので転倒。バス前方の乗用車が急停車したので急ブレーキがかかり、手すりを持って立っていたが転倒。赤信号で停止していたので両替しようとして立ったところ、発進したので転倒。バス停が近づいたので、降車のため立ち上がったが、ブレーキで転倒。などの事例紹介が載っている。

更に、被害者の年齢構成では、

- 80歳代以上が33.3%、70歳代が31.9%、60歳代が12.8%と、
- 高齢者が大半を占めている。男女比では女性が過半数を占めている。
- また、受傷は86.4%が骨折であると分析紹介されている。

イ. 事故防止に関する要件検討

事故発生状況から、車内では走行中のなんらかの原因や状況での加速時や減速時に体制が維持できず転倒。また、乗降時の路面または乗降口の階段等の上り下り時の身体保持困難による転倒など、特に高齢者による事故防止が求められる。

車両としてはいわゆるユニバーサル化の推進や、発進・停止時の滑らかな速度の変化が、特に停留所や信号機の前後での速度制御に対する運転制御システムが求められる。

3.1.8 渋滞低減への貢献に関するニーズ検討

ア. モーダルシフト（自家用から公共交通へのシフト）による渋滞低減の調査

モーダルシフトについては、多くの論説等で唱えられているが、実現できた例は国内では必ずしも多くはない。パーク&ライド事例において、自家用車直行通勤や自家用車直行観光からの転換が報告された例はある。また、モビリティマネジメント策の導入により、自家用車から公共交通に転換する例はある。しかしながら、渋滞低減の効果をもたらした実績に基づく実証的研究は存在しない。

海外事例においても、新しい公共交通システムが自家用車からの転換を促せた事例の報告はあるものの、それによって渋滞緩和効果をもたらした報告事例はない。ここで注意すべき点がひとつある。特に海外の事例において顕著であるが、公共交通へのモーダルシフトと渋滞緩和問題が連動している例は少ない。定時性の高い公共交通の導入は、信頼性の高い移動の選択肢を市民に提供することによる生活の質の向上であり、自家用車から転換することによる、エネルギー消費の削減、環境負荷の低減、交通事故数の削減などが指摘されている。極論すると、渋滞が緩和されることを目標とはしていない。わが国では、従前の道路特定財源が、新交通システム整備などに用いられていた経緯や、ICカードシステム導入時にも当時の道路特定財源が活用されていたことなどの経緯から、渋滞緩和のための公共交通利用促進、というものの見方がなされる場合が多い。しかし、これは、世界的には主流ではない。もちろん結果的に道路混雑が緩和されている例もあるが、そこを目標には設定していない点に注意が必要である。

3.2 ART機能および技術開発要件の調査検討

ARTに求められ機能および技術開発要件の調査検討をした。

3.2.1 料金收受システム技術の検討

乗降時間の短縮化において、ICカードによる料金收受システム技術および不正乗車抑止技術を調査検討した。

3.2.1.1 鉄道およびバスにおける車内料金收受システム技術の現状調査

ア．鉄道における車内運賃收受

海外の郊外・長距離列車では、フリーフロー式の改札を通り駅で購入したチケットを車内検札する方式を一般的に採る。地下鉄を中心とする都市内交通では駅に改札を設けることもあるが、その場合でも改札にゲートを設けるのはパリ・ロンドン・ニューヨーク等の大都市に限られている。これらは、車外運賃收受を前提とした車内検札方式である。

一方、国内では乗降駅での自動改札が一般的だが、郊外路線では車内券発行機を用いた車内運賃・料金精算も行われている。郊外ローカル線ではバスと同様の区間運賃制に伴う降車時の前ドア位置精算も行われている。それ以外の特徴的な方式に指定席の車内検札が挙げられる。JR東日本の一部グリーン車では、座席指定券代が事前精算済みのICカードを座席頭上の装置に翳してLEDランプの色が変わることで支払確認を実施している。



図3.2.1.1-ア JR東日本グリーン車Suica指定席事例

今後は、普及が進むスマートフォンのアプリ類を利用して、運賃・料金決済済み情報を適切な通信で車載端末側に伝達して支払有無を確認する手法に期待が持たれる。

イ．バスにおける車内運賃收受

国内では、車内收受を基調に現金・回数券・定期・ICカードなどの方法が採られている。カード偽造が問題となった磁気カードによる運賃收受が順次終了した後、近年の主流方式はICカードとなっている。乗降ドアでの運賃收受は乗降時間ひいては路線走行時分に大きな影響を与えて運行定時性の確保を妨げる要因となる。さらに、道路上の停車は道路交通流をも阻害しうるため、運賃收受をスムーズに実施することが肝要である。国内で現行のバス運賃支払い方法をまとめると表3.2.1.1-イとなる。

表 3.2.1.1-イ 現行国内のバス運賃収受方式

	処理 時間	利用率 (関東都市部)	特徴
現金	×	約 1 割	両替の場合は時間がかかる
回数券	○	極少	割引率が高い
定期	○	約 1 割	多くの場合は紙面、目視確認で運用
IC カード (スマー トフォンを含む)	△	約 8 割	不足金額チャージの場合は現金並みに時 間がかかる
磁気カード	△	ほぼ廃止	金額不足時は精算に時間がかかる
シルバーパスなど	○	自治体ごと	紙の場合目視確認が必要
電子マネー	○	ごく一部	マルチマネー対応の場合、種類変更準備 時に 2 秒ほどかかる
QR コード	○	ごく一部	バスでの利用事例は確認できず



図 3.2.1.1-イ-1 車内運賃箱の例

海外の BRT では、乗降性を確保するためにバス停で改札を済ませ車内では運賃収受を行わない。国内では均一運賃／区間運賃、前払い／後払いなど様々な支払方法が存在する中、車体の長い連接バス（BRT）においては速達性と定時性を確保するための工夫を凝らした運用事例もある。この特徴的な運用方法を例にとり、LRT と併せて考察した。

神奈川中央交通が運行する湘南台駅～慶応大学湘南藤沢キャンパス線の連接バスでは、乗車利用する中扉左右に交通系 IC カード用 R/W を設置して 2 人左右並んでの乗車を可能にしている。また、京成バスが運用する幕張本郷駅～幕張メッセ間を走る連接バスでも降車利用の前部扉左右に交通系 IC カード用 R/W を設置して、2 人同時の降車を実現している。

前者路線の終点では全扉を開放する。この時、前扉では車内ドライバー脇 R/W での運賃精算を実施する一方で、中扉および後扉から降車した利用者は、前扉から降りた利用者とはロープで仕切られた通路を通り、車外歩行経路上に用意された可搬式運賃

収受器での支払いを実施する。こうすることで、実質的な乗降ドア部のフリーフロー状況を実現し、ターミナルでの降車時間短縮すなわちバス折り返し時間短縮に努めている。運賃収受器を車外で運用する類似の事例は、京都や川崎のバスや広島電鉄LRTなどでも見受けられる。



図3.2.1.1-イ-2 連節バスの特徴的な降車運賃収受事例

さらに一步踏み込んだ運賃収受方式が、富山ライトレールのLRT富山駅における信用降車方式である。通常は、終着駅である富山駅に到着すると最前部の扉を開け、運転手またはコンシェルジュが確認する横でR/Wへのタッチや現金での支払いとなるが、平日の通勤・通学時間帯には全屏を開放し、乗客は自己責任でR/Wへタッチして降車する信用降車方式を採用している。日本国内における不正乗車に対するペナルティは、鉄道営業法上の罰則として2万円の罰金、及び鉄道営業法・鉄道運輸規定・各社約款から、普通運賃及び増運賃の支払い（JRでは計3倍分）義務が生じる。このペナルティは諸外国と比較して低い値であり、これが信用降車方式の国内普及を妨げる大きな原因になっていると言われる。よって、法制度上の課題整理も視野に置きつつ、後述の新たなICTを活用した解決を図る必要がある。



図3.2.1.1-イ-3 信用降車方式を採る富山ライトレール

ウ．考察

国内バスにおける現行主流方式である車内運賃収受方式の最大のネックは、現金による支払いである。最近では高額紙幣対応運賃箱も存在するが、一般的に国内バスの運賃箱は千円札および硬貨の両替に対応している。均一運賃路線においては釣り銭方式の運賃箱も存在するが、多くの場合は細かく両替された小銭から区間運賃を乗客自ら投入する必要がある。こうした両替客が通路を塞ぎ、他の利用客の降車を妨げバス停での停車時間を延長することで、バスの定時性を阻害している。

近年はICカードの普及により、運賃支払い時間は、現金支払い時代と比較して大幅に短縮されている。関東都市部におけるバス利用者のおおよそ8割が交通系ICカードによる支払いを実施しており、定時性確保への効果は大きい。ただし、車内運賃收受方式を前提に、残高不足するICカードに車内で現金チャージまで対応する現行方式では、現金收受と同等の処理時間が発生しており、大型イベント時のスムーズな大量輸送には必ずしも適さない。

また、ICカードはR/Wアンテナと向き合わせた際の誘導電磁を利用している。このため、支払い時にはICカードをカバンやポケットから取り出して、約10cm以内の至近距離でR/Wにタッチしなくてはならず、高齢者や障がい者などにはその手間も大きなネックとなっている。よって、ICカードで直接R/Wにタッチせずに同等の効果を発揮できる代替技術に期待が持たれる。

例えば、人体の電界を活用した通信技術として近年開発が進められている準静電界等の技術を利用して、カード相当物を携帯していれば座席がその情報を読み取り運賃箱設置部分を通過するだけで料金支払いが完了できれば、乗降ドア部での運賃取り扱時間を削減できるものと期待される。この準静電界方式では、携帯カード端末と床・壁・座席・ドアなどに埋め込まれている受信用プレート(電極)との間で通信を行う。よって、例えば床に受信用プレートを埋め込み、その場所を通過するだけで料金收受が実現できれば、車椅子利用者も支払いの煩わしさから解放される。

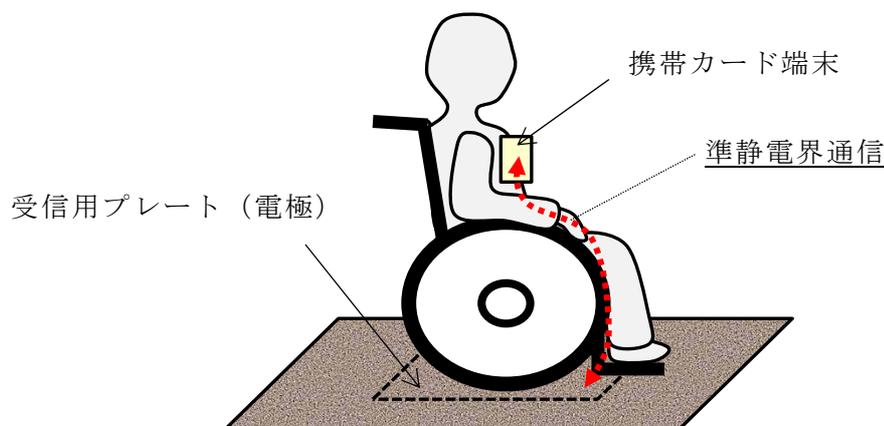


図3.2.1.1-ウ 車椅子利用者に親和的な運賃收受のイメージ (準静電界技術方式)

3.2.1.2 不正乗車抑止技術の現状調査

ア. 鉄道不正乗車抑止技術

日本の鉄道では、チケットを事前購入するか金額デポジットされたICカードを携帯し、駅に設置された自動改札機にそれらを通して駅構内へ入退場する方式が一般的である。この場合、無賃乗車は改札ゲートで抑止されている。ここで、事前購入した切符の乗り越し精算を、車内巡回する乗務員端末や降車駅で可能としている点が、欧米の完全事前購入式の信用乗車方式と異なる。欧米信用乗車方式の場合、改札機を設けないためチケット無しに駅構内への入場も車両への乗車も可能である。しかし、抜き打ちで行われる車内改札により、切符を購入していない場合や切符購入区間を逸脱し

た場合、日付印や消印が押されておらず切符が生起されていないと判断される場合などには、多額の罰金が科せられる。このように、不正乗車抑止技術を考えるにあたっては、前提とする乗降・ドア利用方法やチケットの発券・検札方式をセットで考える必要がある。

イ. チケット

乗車時に利用するチケットとしては、券売機で購入する磁気チケットもしくはデPOSITされた IC カードがある。チケットは、現在は磁気利用のものがほとんどであるが、ごく最近では、沖縄ゆいレールにおける QR コード利用ゲートなど、磁気切符利用を完全排除した改札方法も実用化されている。この QR コードは特殊紙を用いており、対応する読み取り機とのセットでないと読み取りができないため、QR コードのコピーによる不正使用が防止可能である。



出典：ゆいレール HP

図 3.2.1.2-イ QR コードによる改札

金額デPOSITされた IC カードの利用時には、乗車駅での改札機タッチ時に最小運賃区間分の運賃を超える残高があるかが機械判定される。残額不足の場合は、ランプ点灯・鳴音と共にゲートを締めて入場を抑止する。降車駅での改札機では、入場駅からの金額を計算して運賃金額を引き落とす。降車駅でデPOSIT金額が引き落とし額に足りない場合は、乗車駅と同様にゲートが締まり退場を抑止する仕組みとなっている。IC カードのデPOSIT額が足りない場合は、精算機で IC カードへのデPOSITチャージか不足額の現金精算で対応する。

磁気切符を利用して購入運賃区間以上の乗車となる場合は、車内で車掌に対して精算するか、降車駅に設置された精算機を使って正規運賃との差額を支払う。

前述の富山ライトレールにおける信用降車方式のように、利用者のモラルを頼る方式に完全依存できるには、信用降車運用時間帯の利用者がほとんど定期券を有する通勤・通学客であるといった特殊事情を要する。翻って国内外の来訪者をターゲットにイベント大量輸送時に適用できる不正乗車抑制としては、何らかの ICT を利用した技術の適用が期待される。

ウ. 改札ゲート

日本の鉄道では、駅に改札機を設ける方法が一般的である。その場合、チケットを購入していない利用者は駅構内に入れず、駅に不特定多数者が侵入出来ないなどセキュリティ面の効果も期待できる。

改札機には入場専用・出場専用・入出場両用の3種類が存在し、ICカード対応、磁気切符対応、QRカード対応型などがある。また、磁気切符対応型においては、1枚対応の改札機と複数枚対応の改札機があり、新幹線の改札機の場合など乗車券・特急券の

処理に対応できるのが複数枚対応機である。ここで、新幹線指定席特急券の場合、改札機の通過履歴が該当便車掌の持つハンディーターミナルに伝送されるため、最近では車内改札を省略している。小児運賃の切符やICカードが改札機タッチされた場合には、呼応した鳴音と共に所定ランプを点灯させる。割引運賃の場合も同様である。

車内運賃收受方式を採るワンマン運転の郊外型鉄道・路面電車・バスの場合は運賃收受機に改札ゲートは設けてない。路面電車については、鉄道総合技術研究所がドアバー付き簡易ゲートを備えた車載改札機を試作し、広島電鉄車両で模擬評価実験を行った研究事例もある。バス車内における改札ゲート運用は検証実績も無く、ARTで同様の方法を模索するような場合には、実物大モックアップなどを利用した乗降性能検証が必要となる。

3.2.1.3 ART料金收受システムにおける開発技術要件検討

ア. システムの技術課題

上述の分析から、国内外からのイベント来訪者の大量輸送分担を期待されるARTの利用運賃收受システムのポイントとして、

- ・スマートフォン連携：アプリ類の利用を念頭に置く
- ・コインレス：車内での現金支払いを排除するとともに不正抑止を実現する
- ・LRT並みの乗降容易性：全ドア乗降・フリーフロー方式並みの方式を技術的に実現する

があげられる。

ところが、従来型運賃收受システムの基本構成要素であるICカード・R/W端末・システム運用方法には、以下の通り技術的な課題がある

- ・現状の交通系ICカード：乗降バス停コード等の未定義情報を持たせるメモリ容量に乏しい。
- ・R/W端末：全設置場所において電源供給が必要。
- ・日本特有の乗降方式：信用乗車・全ドアフリーフロー方式に慣れた外国人の混入利用を想定していないドア利用・運賃收受方式。

イ. 考察

以上の課題解決に向けては、国内各地で取り組まれている先進的取組み事例も参考に、あるべき効果的な運用方法や関連制度の整備を一体的に進め、停留所での乗降時間を短縮しARTの定時性運行へも貢献を図るのが望ましい。とくにARTが路面電車並みの輸送力を確保する上では、現状の交通系ICカードや人海的なドアの利用区分型運用に代替する新たなICT活用型運賃收受方式の検討が必要である。

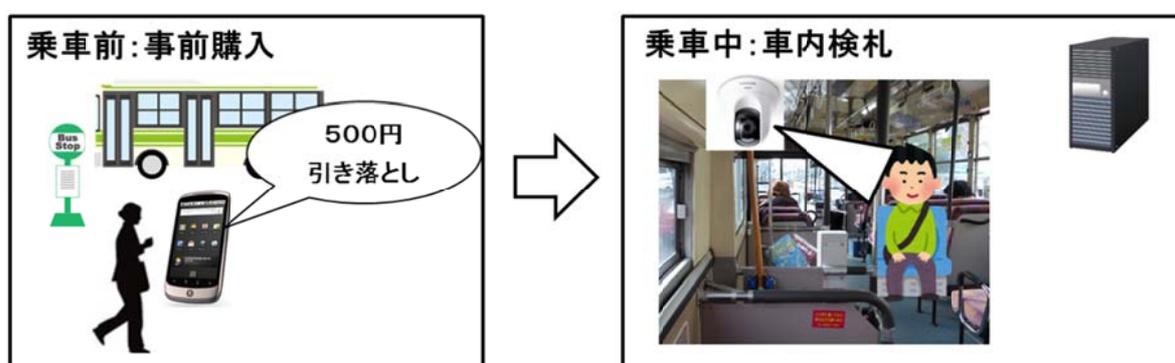
上述の提案を実現するICT活用型の車内検札方式信用乗車はいくつかのパターンが考えられる。

乗車バス停（ターミナル）、車内（座席等）、降車バス停（ターミナル）各々で認証することで、円滑な運賃收受・検札の実現が期待できる。しかし、無賃乗車等の不正乗車を抑止するには、顔認識技術等との組み合わせを前提として、乗車段階におい

て運賃以上の金額を引き落とし、車内では乗車を何らかの方法で判別して降車後に差額を返金するフローが現実的な解決案と考えられる。こうしたICTを活用した新たな信用乗車（降車）方式の確立に向けては、モデル機器や実物大モックアップを用いた検証実験も必要である。

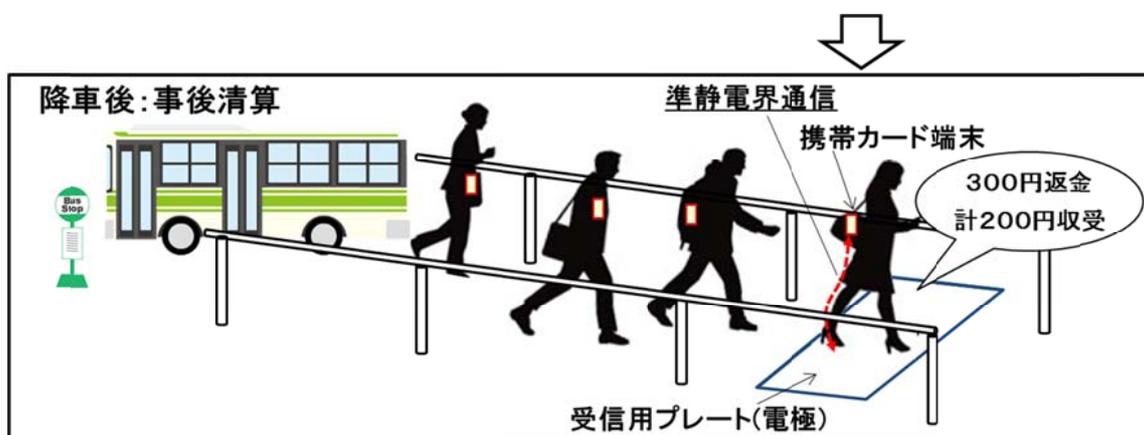
表3.2.1.3-イ ICT活用型の車内検札方式信用乗車の実現案

	導入コスト	事前登録	実現可能性	備考
i) 生体認証実施	×	必要	×	プライバシーの観点 などからも難しい
ii) 顔認証による個人照合	△	必要	×	
iii) デポジット&返金制	○	なし	○	



次世代運賃收受のフロー

右・車内カメラを用いた顔認証による不正乗車防止のイメージ



降車後の車外歩行経路における精算（返金）のイメージ

図3.2.1.3-イ ICTを活用した新たな信用乗車（降車）方式のイメージ

3.2.2 PTPS高度化技術の検討

高度化されたバス（ART: Advanced bus Rapid Transport）の平均速度を向上させ、輸送サービスとしての高速性とそのサービスの定時性（信頼性）を確保するため、公共交通優先信号（PTPS: Public Transport Priority System）の高度化技術、および、路車間通信を利用したPTPSとARTの適用型速度制御（ACC: Adaptive Cruise Control）との協調制御技術を調査検討する。

3.2.2.1 PTPSの現状技術調査

PTPSの現状について、信号機メーカーにヒアリングをおこなった。その結果得られた内容は以下の通りである。

現状では、PTPS対応車載器搭載バスが対応路線のある1箇所の対応ビーコン通過時にこのバスの接近を管制センターで検知し、このビーコンの下流の信号交差点に対して、光ビーコンから各交差点停止線に到達するまでの走行時間と、系統制御区間の信号タイミング情報にもとづいて、信号時間の延長または短縮を行っている。

なお、一部では1箇所の対応ビーコンを用いて下流の複数交差点の信号についてPTPSを実施しており、この場合は区間最上流交差点の信号の延長または短縮後の予測算出結果に基づいて、下流交差点の信号時間の延長または短縮を行う。

PTPSによる信号動作には、青延長動作、赤短縮動作、青短縮動作の3種類がある。

I. 青延長動作

図3.2.2.1-1に示すように、バスの想定速度で光ビーコン位置から対象信号交差点までに要する走行時間を考慮した交差点到着の想定タイミングが、赤信号開始から一定時間経過後までの間（青延長受付時間）にバスが到着したことを光ビーコンが検出すると、バスが想定速度でこの交差点に到着するタイミングの直後まで青時間を延長して、当該バスが青時

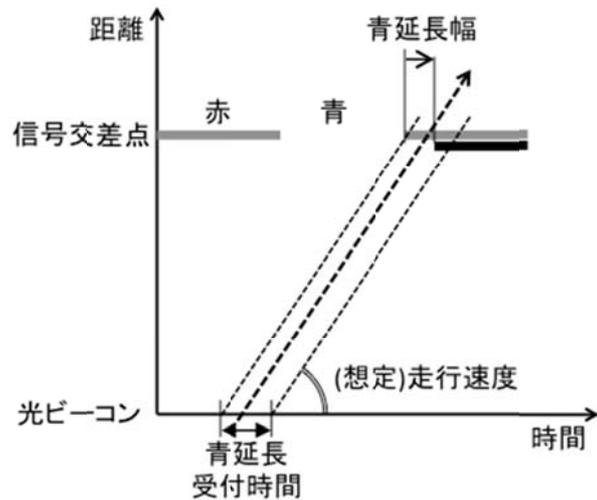


図3.2.2.1-1 青延長動作の概念説明

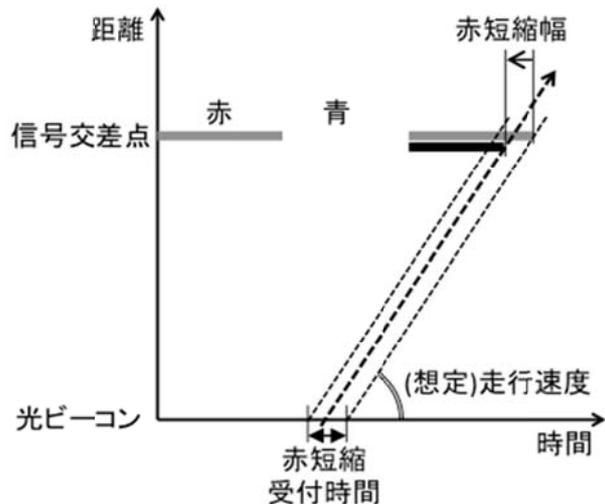


図3.2.2.1-2 赤短縮動作の概念説明

間で通過できるようにする。

II. 赤短縮動作

図3.2.2.1-2に示すように、バスの想定速度で光ビーコン位置から対象信号交差点までに要する走行時間を考慮した交差点到着の想定タイミングが、赤信号終了から一定時間前（交差方向の青表示で横断している歩行者の横断時間を確保できることが必要）までの間（赤短縮受付時間）にバスが到着したことを光ビーコンが検出すると、バスが想定速度でこの交差点に到着するタイミングの直前まで赤時間を短縮して青表示に切替えることで、当該バスが青時間で通過できるようにする。

III. 青短縮動作

光ビーコン位置にバス到着するタイミングが青延長受付時間よりも後（青短縮受付時間）に到着した場合は、想定速度で走行するバスが青時間で通過できるように対象交差点の時間を調整することができない。この場合、図3.2.2.1-3に示すように青時間を短縮して早く赤に切替えて交差方向の必要青時間を設定することで、対象交差点での当該バスの赤信号待ち時間を最小限になるように設定する。

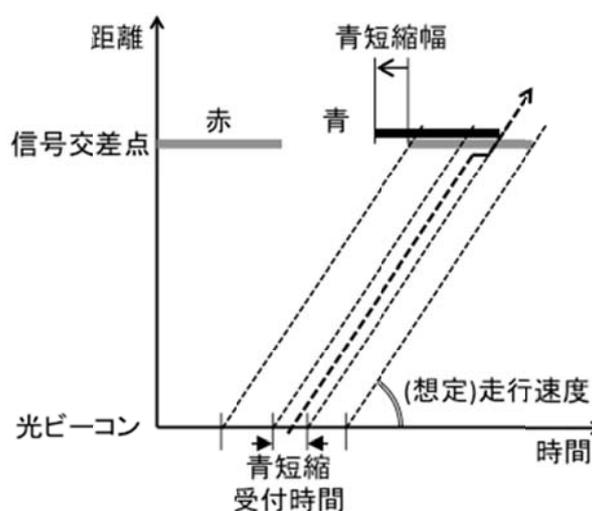


図3.2.2.1-3 青短縮動作の概念説明

IV. 複数交差点への適用

一部の路線では、1つの光ビーコンの通過情報を用いて、その下流複数の交差点の信号を調整している区間もある。この場合は、直近下流交差点でⅠ. からⅢ. のいずれかの動作を行うだけでなく、これによって想定される連続する下流の交差点についてもⅠ. からⅢ. のいずれかの動作により、できるだけバスを停車させずに青時間で通行させるように調整する。

3.2.2.2 PTPSの現状課題整理

ア. バス接近の検知は1地点のみ

ビーコン位置通過時でしか、バス接近情報を管制センターは検知し得ない。従ってビーコン位置から交差点までの間で想定速度での走行が実現できない場合、設定通り交差点を通過できる保証がない。こうした不確実性を減らすために交差点に近いビーコンを利用すると、信号タイミングを調整可能な時間帯が限定されてしまい、赤信号待ちをせざるを得ない可能性が高くなるため、交差点上流のある程度距離のある場所に設置された光ビーコンを利用しなければPTPSを有効に機能させることはできない。

イ. 光ビーコンの双方向機能を利用していない

バスは光ビーコン位置通過時に、バスからビーコンへ都道府県コード、事業所コード、営業所コード、系統番号を送信し、これが中央管制センターであらかじめ登録しているものと一致した場合にのみPTPSが作動するようにできている。しかし、センター側からは光ビーコンを介してバスには特に情報提供は行われていない。したがってバス側では、対象交差点が青で通過できるのか、赤信号待ちが生じるのかを知ることができていない。

ウ. 固定された想定走行速度

バスが光ビーコン位置通過後に、交通混雑、車両の流入・流出、横断歩行者や車両、路上駐停車などの影響で対象交差点に到着するタイミングがずれてしまうことがあるが、その場合にはⅠ. からⅢ. の動作で延長または短縮された信号のタイミングが、実際のバスの通過に対して有効に機能しないおそれがある。

エ. バス到着タイミングによってはバスの停止が免れない

既存のPTPS動作には、青延長、赤短縮、青短縮の3種類があるが、青短縮は基本的に赤信号による停止は免れない条件において実行されるものである。しかし、とくにバス路線が大規模な幹線街路で車線数が多い場合、これを横断する歩行者青時間が交差方向の青時間の最小値を規定してしまっていることが多く、交差側の青時間（＝当該方向の赤時間）を短縮する「赤短縮」の余地はほとんどない場合も多いものと想定される。この場合、青延長受付時間以外は、青短縮が可能な時間しか設定ができないことになるため、青短縮動作が生じやすい、あるいは当該方向の歩行者や歩行者需要の影響で青短縮も実現できなければ、いずれにしてもバスの停止は免れないことになる。これはバスの発進停止回数を増やすことになり、乗客にとっては不快な加減速の繰り返しとなり、またバス運行事業者としては燃費の悪化によるコスト増大、さらにCO2排出増大や消費エネルギーの増大といった社会損失にもなる。

オ. 専用車線運用が限定的

PTPSを設定しても、バス専用車線がない場合には、他の交通が混在してくる影響により想定走行速度で通行できる保証がない。こうしたバス専用車線無しで運用されているPTPS区間も多数存在する。

カ. 専用車線への左折車の流入

バス専用車線が設置されていても、一般に最路側車線に設定されるバス専用車線は、交差点で左折する一般車が交差点直近で流入して利用することは認められている。そのため、左折車が多いと専用車線でありながらやはり左折車の影響で交差点通過タイミングが遅れることがあり、とくに左折車と歩行者が干渉して待ちが生じる場合にその影響は著しく大きくなることもある。

キ. PTPS制御により一般車両に生じる不公平

現状のPTPS制御では、青時間はバスのみに表示されるのではなく、当該方向通過車両全てに青時間が与えられる。したがって、青延長の場合、本来の青終了時間からバスが到着するまでの時間の青時間は当該方向を利用する一般車両を余分に通過させ、一方で交差方向の余分な待ち時間を生む。また、赤短縮の場合、早められた青開始時間でバスが通過した後、本来の青開始時間までの時間の青時間は当該方向を利用する一般車両を余分に通過させ、一方で交差方向の余分な待ち時間を生む。さらに青短縮では、当該方向一般車の青時間が減って余分な待ち時間の発生と交差方向の待ち時間が減ることになる。このようにPTPS動作が生じなければ公平になるように信号設定が最適化されていれば、PTPS動作によって一般車両に不公平を生じることになる。

3.2.2.3 PTPSとACC協調制御技術の基本構成の検討

高度化されたバスサービスとしてARTを導入するにあたって、上記、3.2.2.2 に整理した課題に基づく、より確実にARTを青信号で通過させるため、あるいは赤信号待ちを無くすようにART側で速度調整を行ってできるだけ速度変動の少ない円滑な走行を実現することで、乗客が経験する加減速を最小限にし、これにより排気ガスの最小化と経済的な燃費走行を実現するため、PTPSとART側のACC協調制御技術として、以下の（あ）から（き）の7つの構成要素が基本的に必要だと考えられる。

- （あ）ARTの位置／速度情報を時々刻々と交通管制センターへ送る機能
- （い）PTPS動作で調整された信号タイミング情報を時々刻々とARTへ送る機能
- （う）上記（あ）・（い）の双方向通信情報を用いたARTの交差点到着タイミングの予測
- （え）PTPS動作だけではバス停止を免れない状況下でART側のACC制御により加減速を最小化する機能の導入
- （お）道路拡幅あるいは一般車用車線を削減するなどしてART専用車線の確保
- （か）交差点部におけるART専用車線の左折車混在を無くすため左折専用車線の確保
- （き）ARTのみを通過させるART専用の優先信号灯器の導入と割り込み制御機能

上記、（あ）、（い）、（う）については、光ビーコンの高度化による通信可能な情報量の拡大と車載器へのデータ蓄積機能、および光通信に加えて700MHzの電波を活用した双方向通信の導入が有効であり、これはこうした高度化光ビーコンや700MHz通信機の路側設置とARTに搭載する車載器の高度化により実現できるものと考えられる。これらはいずれも既存のUTMS開発によって既に技術開発は終わっており、実装は比較的容易だと考えられる。ただし、併せて速度推定やこれにもとづくART優先用の信号タイミングの正確な計算をする交通管制センターの機能強化も必要であろう。

上記の（え）については、上記の（い）によってART側が受け取ったPTPS動作内容が青短縮動作であった場合、そのまま想定走行速度で走行すると停止を免れられないのに対し、ARTにACC機能を搭載してPTPS動作情報と連動して、交差点到着前の速度

を事前に調整することで加減速を最小化して円滑でエネルギー効率の良い走行を実現できるものと考えられる。

一方、（お）と（か）については、道路空間の再配分、もしくは交差点部の道路拡幅を必要とするため、道路インフラの変更や改築のために多額の投資が必要となる。一方で、バスによる移動サービスの水準を高く（高い表定速度の実現とその信頼性向上）するには極めて有効な施策であり、こうしたサービス向上は、その他ART技術として本報告書で検討している料金収受の革新による停留場での停車時間の短縮と停車時間長の安定化や料金システムの柔軟性向上などと相乗効果をもたらして、ART利用者的大幅増大、それによる自家用自動車利用者の減少による道路混雑改善の可能性も期待できるため、こうした効果を適切に見積もることのできる技術開発は重要である。

最後の（き）については、（お）と（か）によるARTが交差点を通過する空間（車線）を一般車両用の空間（車線）から分離・独立化することと同時に、新たにART専用の信号灯を定義して設置・導入し、またARTの通過タイミングにのみ青を表示させ、そのART専用青時間ではこのARTの進行方向（動線）と交錯する全て方向の交通を一時的に赤表示で停止させる（通常の信号パターンに割り込み制御させる）動作を実現することで可能となる。このような信号制御システムの導入によってARTの移動サービス水準は極めて高くできることが期待され、こうした新たな信号システムの導入、こうした信号灯を認める制度改善の効果を適切に見積もることのできる技術開発は重要である。

以上のような構成要素をどのように組み合わせてPTPS機能の高度化を図ることができるか、いくつかの組み合わせの可能性がある。したがって以下では、最も高機能だが投資やルール改正などが必要な「ART優先信号・専用レーン方式（以下A方式という）」、中程度の機能強化だが比較的投資やルール改正においてハードルが低い「ART専用レーン方式（以下、B方式という）」、および最小限の機能強化だが最低限の現状からの追加・変更で実現可能な「一般混在方式（以下、C方式という）」、以上A、B、Cの3つの方式について、要求仕様の概略を検討する。

ART優先信号・専用レーン方式：[A方式]

これは、（あ）から（き）までの機能要件を全て装備したシステムである。

PTPSシステムを抜本的に高度化して、ARTに極めて高い優先通行権を与えるよう原則として（き）の専用信号灯を用いた割込制御を実現する案である。またそのためには、単に信号制御の高度化だけでなく、とくに交差点部におけるART専用車線の確保など道路管理者の協力による道路改築を行う必要がある。

ARTがPTPS対応ビーコンを通過から交差点通過までについては、高度化光ビーコンと対象交差点に設置された700MHz電波通信基地局によって、交通管制センターとART車載器との双方通信により路車間通信を実現させる。高度化光ビーコンを活用し、上流区間のビーコン間の速度変動情報を蓄積してART側から信号側へ送付し、上流区間の光ビーコン／700MHz通信により対象交差点の信号タイミング予定情報を信号側からART側へ送付し、ARTはこれに基づき速度調整制御する。

PTPSによる制御情報をART側に、ART車両の時々刻々の速度・位置情報を信号側に管制センターを経由して情報提供される。この間随時、センター側ではART車両の対象交差点の停止線通過時刻を推定し、停止線通過タイミングにおいてART専用信号ではARTに青表示を提供するために、適切なタイミングで一般交通に対する全て信号灯器を一時的に赤表示に切換えられるよう、順次、黄表示・赤表示と切り替えて、ARTの優先通過割り込み処理を実現する。ART通過直前からART車両の末尾が交差点出口まで達するまでは一般交通の信号灯器は赤表示であるが、ART車両が交差点を抜けたことを確認したら、即座にARTの優先通過の割り込み処理以前の状態に復帰し、通常の既存の系統制御・MODERATO制御によるサイクル長・スプリット・オフセットの設定に戻る。なお、ART車両が交差点を完全に抜けたことを確実にかつ効率的にセンシングし、これを信号制御システムに反映させる技術開発を行う必要がある。ただし、この技術開発はすでに一般信号交差点でも利用されることのある「半感応制御（ある方向にセンサを設置して流入交通を検知するとその方向に青表示を出す但し車両が途切れると青表示から黄表示へ切換えて通行権を停止する）」の応用技術とみなすことができるので、これほど難しいことでは無いはずである。

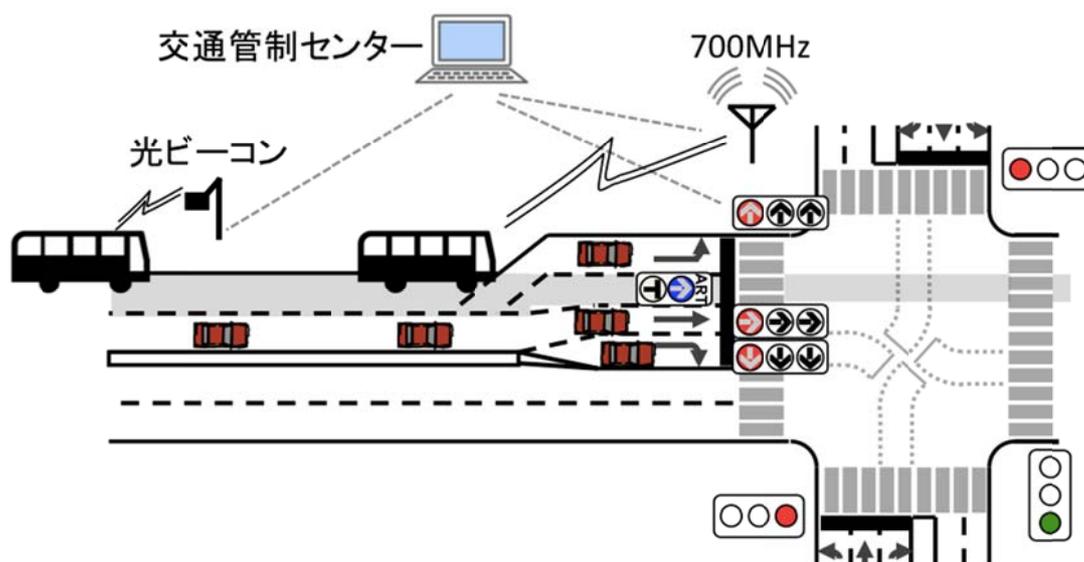


図3.2.2.3-1 A方式のイメージ

実際は、ARTが上流側光ビーコン位置を通過後も、ART通行に対する様々な擾乱（本線への出入り車両、駐停車・自転車等の想定外の影響による速度低下など）の影響によりARTの速度が変動し交差点進入タイミングが当初の推定からずれるおそれがあるので、常に双方向通信によって交通管制センター側でARTの位置と速度を把握し、ARTの停止線到達タイミングの予測を随時修正し、通常の制御からART専用信号制御による割り込み処理へ切換えるタイミングを更新する。一方でART側も、ART専用信号制御への切替わりタイミング情報に基づいて、ART自動制御により許容可能な範囲で速度調整制御を行い、一般交通に対する影響を最小化するよう配慮する。

とくに、歩行者現示を提示したら最小限の横断必要時間は確保しなければならない

ので、これを確保することは必須なので考慮が必要である。ただし、併せて安全島と2段階横断方式の導入による歩行者横断距離を短縮する道路改築の可能性は検討可能なはずであり、そうすることでこの制約条件は大幅に緩和できる可能性もある。

これらのARTの走行を実現するためには、少なくとも対象交差点前後ではART専用車線を確保し、これがとくに左折車の混入も認めない独立車線となるよう、ART専用車線とは別に左折専用車線を設けるような交差点の改築が必要となる。

図3.2.2.3-1はこれらA方式のシステムの概念をイメージ図に示したものである。なおこの図の場合では、左折専用車線をART専用車線より路肩側（外側）に設置しているが、これはART車線を左折車がまたぐことになるので、そうではなくてART専用車線を最も路肩側（外側）に配置して、左折車はART専用車線の内側隣接車線を利用させる方式も考えられる。この違いがどのような得失を持つかは、今後の研究・技術開発を必要とする。また、一般車を方向別に車線を分離することにより、同一流入路であっても方向別に青開始・赤開始タイミングを独立に決めることができ、交錯が生じない限りできるだけ有効に青時間を表示させるような柔軟な信号現示企画をたてることが可能となる。

ART専用レーン方式：[B方式]

これは基本的に、A方式から構成要素（き）に相当する「ART優先信号の割り込み処理」機能を持たない提案である。PTPSシステムの一部改良は想定するが、既存の系統制御・MODERATO制御のロジックは保持し、とくに交差点部におけるART専用車線の確保など道路管理者の協力による道路改築を行うことで、PTPS制御の有効性を高める案である。

PTPSでは、上流区間の高度化光ビーコンによりARTの蓄積走行情報を活用して、最も望ましいPTPS時間（青表示延長／赤表示短縮）を設定し、これを光ビーコンおよび700MHz通信により信号側からART側へ送付し、ART側は設定されたPTPS時間に対象交差点を通行できるよう、速度変動を最小化するよう自動速度調整制御を行う。

ART車両の接近に対して、既存制御ロジックに強制的な割込でARTに優先通行権を与えることはせず、あくまでも既存ロジックにおける青延長、赤短縮、青短縮で対応するので、PTPSによる信号制御ロジックには修正を加えない。一方で、A方式と同様に道路管理者の協力を得て、1) 特に交差点部における専用車線の設置、2) 安全島／2段階横断導入による歩行者横断距離の短縮、といった道路改築を行うことで、特に歩行者横断時間により制約される延長／短縮時間の設定範囲を広く取れるようにする。

途中の交通混雑、流入・流出車両による本線交通への影響、バス停での停止・発進などによる速度変動、交差点到着時刻の変動などは、光ビーコンと700MHzにより交通管制センター側でも可能な限りリアルタイムに把握する。これにより、最終的な交差点到着タイミングに青表示となるよう調節し、それでも青短縮動作で対応せざるを得ずそのままの走行速度ではARTが交差点で停止してしまう場合には、ART側のACC制御でエネルギー損失を極小化させるよう、緩やかな減速挙動などにより極力停止しないで済むような走行軌跡で走行する。ただし交差点付近ではART専用車線を確保して

いるので、次の青開始時には（原則として）先頭で発進することができる。

図3.2.2.3-2 に、この中間的なB方式のイメージ図を示す。

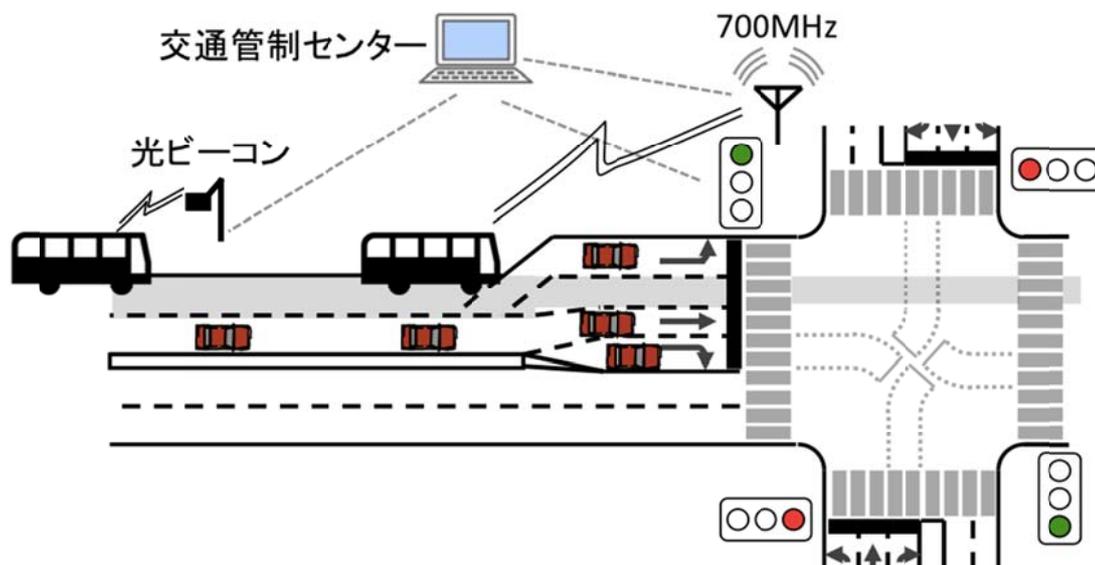


図3.2.2.3-2 B方式のイメージ

一般混在方式：〔C方式〕

A方式から構成要素（き）に相当する「ART優先信号の割り込み処理」機能を外したB方式に対し、さらに（お）と（か）による車道空間の再配分や平面交差点の幾何構造変更・道路改築を伴う対応もしない提案である。

基本的には、（あ）から（え）までの機能を実装するもので、ART側は、高度化光ビーコン／700MHz通信により信号タイミング情報を活用して速度変動を最小化するように自動速度調整制御を行う。一方、PTPS側はART側の速度調整結果を踏まえたPTPSの青延長・赤短縮・青短縮の時間の長さの調整は、こうした通信により時々刻々と修正されるARTの対象交差点通過タイミングに応じて再調整を行う点が、PTPS制御ロジックとしては少しの追加が生じる。

図3.2.2.3-3 に最も実現が容易と考えられるC方式のイメージ図を示す。

基本的に信号側は既存のPTPS動作と同じように青延長・赤短縮・青短縮のいずれかの動作を行うが、ART側はこうしたPTPS動作情報を双方向通信により時々刻々リアルタイムに把握することができるので、ARTのACC機能により適宜、最も適切な走行挙動を選択して、自動制御により交差点進入を試みる。他車両の影響などで到着タイミングがずれる（遅れる）場合もあり得るが、700MHz通信を通じて、随時PTPS信号制御へフィードバックされ、適宜、PTPS動作の選択とその延長・短縮幅の再計算を繰り返すことで、出来る限り停止を避けて交差点通過できるように走行する。それでも信号タイミングの調整が困難でARTが交差点で停止する計算となった場合には、ART側は可能な限りゆるやかな減速度を採用して停止時間を短くし、加減速による乗員の乗り心地の悪さをできるだけ生じさせないような挙動をする。

表3.2.2.3-1では、以上の3方式について、（あ）から（き）までの構成要素のどれを必要としているか、必要とするものを○、しないものを×として示し、要求仕様を整理する。

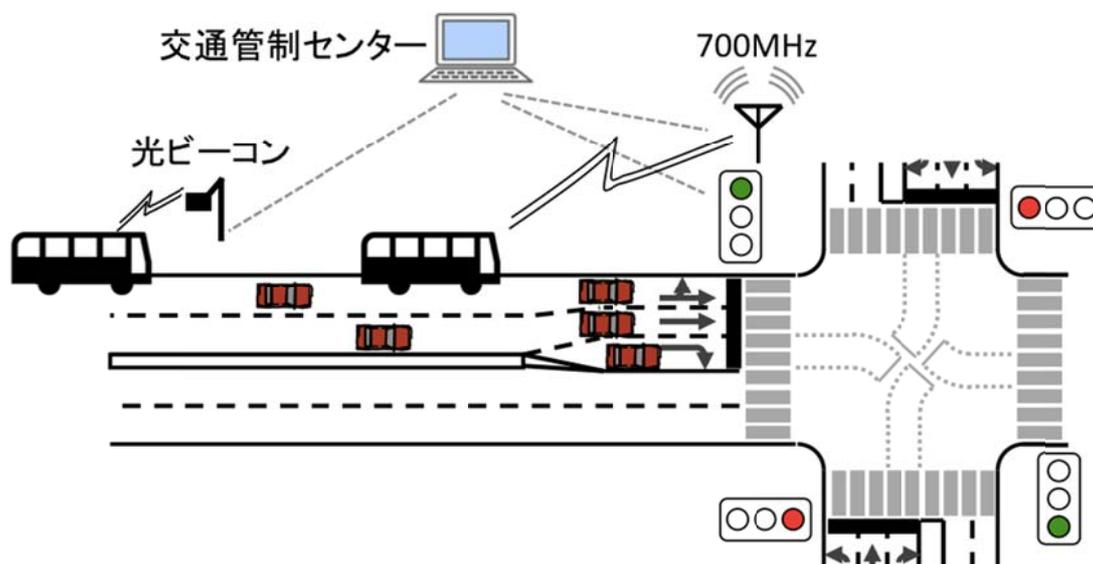


図3.2.2.3-3 C方式のイメージ

表3.2.2.3-1 PTPSとACC協調制御技術の構成要素と要求仕様

構成要素	A方式	B方式	C方式
(あ) ART位置・速度をインフラ側へ送信する機能	○	○	○
(い) PTPS信号タイミングをART側へ送信する機能	○	○	○
(う) 双方向通信によるARTの交差点到着の高精度予測	○	○	○
(え) 交差点停止を避けるARTのACC制御機能	○	○	○
(お) ART専用車線の導入	○	○	×
(か) 左折専用車線の導入(ART車線への左折車流入排除)	○	○	×
(き) ART専用の優先信号灯器の導入と割り込み制御機能	○	×	×

このような適用事例は、先進諸国では早くから導入が進んでいる。一例として、ドイツ・ダルムシュタット市におけるバス専用レーンとバス専用信号現示を使ったバス優先制御の適用事例を以下に簡単に解説する。

図3.2.2.3-4は、上段の2枚の写真では交差点流入部において、バス専用レーンが右折導流路を除く直進車線の最外側に設置されていることがわかる。下段の3枚の写真は、この専用レーンのバスに対する専用信号が、左側が「バスは進め」、真ん中が「バスに対する黄信号（クリアランス時間帯）」、および右側が「バスは止まれ」を表す信号が表示されている様子を表しており、黄信号は乗用車と同様だが、「進め」信号は白色の縦棒表示、「止まれ」信号は白色の横棒表示、とドイツ国内で統一されている。

この交差点の車線配置を図3.2.2.3-5に示す。この交差点例では少し変わった車線配置を適用しており、図の東西方向にバス路線が設定されているが、東側からの流入部の様子が図3.2.2.3-4の写真に示されていたものである。



図3.2.2.3-4 流入部の適用例（ドイツ・ダルムシュタット市）

東側から流入するバス専用路線の直進延長先には、「双方向バスレーン」としての路面標示が示されており、これが西側流入部へ数十メートル先まで延伸されている。したがってこの西側バスレーンは、東側から流入した西行バスに対しては交差点流出部のバス専用レーンとして機能し、この先、西端では右側へ合流することで一般車両レーンと一緒にになる。

一方、この東側流入部で直進する一般車は、バス専用レーンと並行してバス専用レーンの左側に流入部では設置されているが、交差点内通過動線がバスの直進方向を右へ斜め横断し、交差点流出部では一般車線が最外側の右端に設定され、バス専用レーンが右から二番目位置に配置されることになる。

逆に、西側から流入するバスに着目すると、双方向バス専用レーンの開始位置の数十メートル西側の位置で、バスは一般車両より左側へ分流して双方バス専用レーンに入り、交差点流入部ではこの双方バス専用レーンの左側車線は対向直進一般車、右側

には左折する一般車両用の左折専用車線が2つ設定されている。流入部から交差点内に流入したバスは、交差点内で大きく右へ蛇行し、交差点流出部では最外側の右端の一般車両との混用車線を使って流出していく。西側流入部の東行き一般直進車は、そのまま直進すれば東側流出部に到着する。

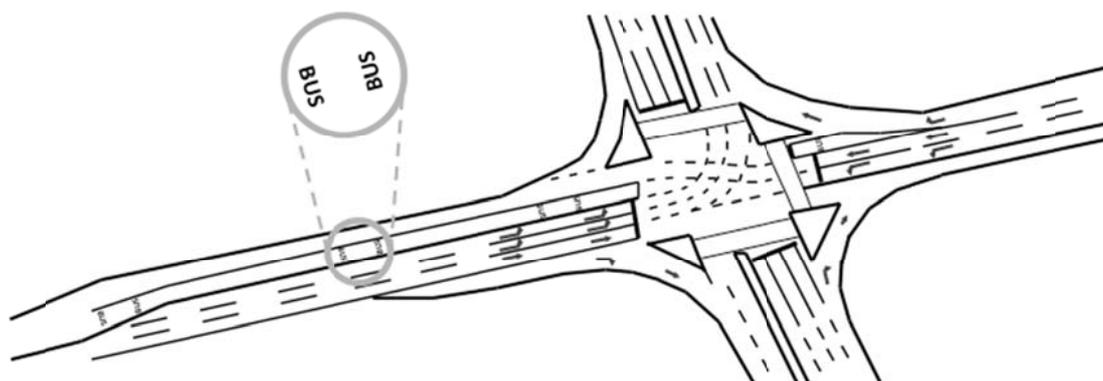


図3.2.2.3-5 専用レーン適用例（ドイツ・ダルムシュタット市）

その上で、こうした車線配置では、東側流入部から交差点へ流入する西行のバスが交差点を通過する信号が与えられる時間では、並行する同方向・西行の一般車とは動線が交錯するため一般車は赤信号で止められる。同様に対向のバス専用車線に万一、東行きバスが走行しているとバス同士が正面衝突してしまうので、西側上流では流入するバスが無いことを確認して東行きバスは流出部でバス専用レーンを使って流出していく。また、西側流入部から交差点へ流入する東行きのバスが交差点を通過する場合にも、流入部ではこの双方向バス専用レーンよりも外側（右側）に2車線整備されているので、東行きバスと西側流入部から流入して左折していく動線とが交錯しているので、東行きバスが交差点通過時には、一般車は左折できない用に信号を制御しなければいけない。

この場所の例では、西行き・東行き、いずれのケースでもバスが専用レーンにアプローチする少し前から、一般車両の現示を止めて東西いずれかのバス専用レーンのみ青信号を提示し、バスは交差点部で停止することなく、むしろ加速するようにして交差点部を通過し、しかし通過し終わると即座にバス専用現示は停止し、このバス動線と交錯する方向の一般車の流入交通が許されるようになる。このような運用を適用すれば、西行き・東行きのいずれのバスに対して、この対象交差点では停止が発生しないように信号制御がされるため、バスは全く停止時間が存在せず、むしろ加速するようにして短いバス専用現示を有効に活用するようにして交差点を抜けていくため、こうした交差点ではバスの遅れは存在しない、あるいは極めて少ない制御が可能となる。

以上見てきたように、交差点部でバス専用信号を用いてバスを徹底優先させて止まらずに通過させる信号制御方法の検討は、すでに欧州では10年以上まえから適用されており、日本においてもこうした公共交通の利便性、速達性の向上の努力は進められるべきである。

3.2.3 高度運行管制制御技術の検討

待ち時間短縮および乗り継ぎ性の改善等のサービスレベルの向上をはかるため、クラウド連携によるITCを利用した高度運行管制制御技術を調査検討した。

3.2.3.1 バスにおける乗客への情報提供技術の現状調査

ア. バス停における情報提供

最も原始的なバス停は、バス停車スペース前に置かれる棒状標柱である。最も基本的な照明設備類も無い標柱でもバス停名と時刻表が表示される。これらは、道路工事や電源工事などが不要で簡易に設置できるが、夜間視認性や強風時の安全性に乏しい等が欠点である。また、複数の会社が運行する路線では複数の標柱が同一箇所に乱立している。そこで、倒壊の危険性等への配慮として、棒状標柱を路面に埋め込むタイプが次パターンとして挙げられる。第三のパターンは、棒状標柱に照明を備えたり行燈型標柱の内部に照明を内蔵する等、LEDや蛍光灯等を利用して夜間視認性や周辺空間の安全性を高めるタイプである。中には上部にソーラーパネルを設置して災害時でも運用可能とした例もあり、内蔵型タブレット用の電源供給を実施している事例が上野駅前にある。



図3.2.3.1.ア-1 右・太陽光発電を利用した災害対応型棒状標柱

電源・照明の無いバス停では紙媒体のみでの情報提供となるが、電源利用できる場合はタブレットやサイネージ・LED表示装置等を利用して各種案内が可能となる。また、バス停上屋を整備することで、バス停は安全で快適な待合空間としての役割も果たすこととなる。バス停広告ビジネスも展開しつつある中、バス停が情報発信として生活に密着した空間へと変貌を遂げる上で上屋構造および電源の確保は今後欠かせないであろう。

バス停における一般的な情報コンテンツのうち、時刻表は行き先別、曜日区別に紙類で掲示されることが多い。

バスロケーションシステムを採用した路線の主要バス停では、バス接近情報表示機が設置されることもある。その場合、途中バス停では手前バス停までの到着をLED表示する方式が一般的であるが、バスターミナルなどの始発バス停では大型液晶表示機

を用いて複数便の案内を掲出している例もある。最近増えているサイネージは、広告配信により機器や通信コストなどのコスト負担の軽減を狙うなど、単なるバス情報案内以上に付加価値のある媒体としても考えられる。



図3.2.3.1.ア-2 バス停における時刻表掲示の例

さらに今後は、地震・津波・大雪等の災害情報掲出によるバス停の防災拠点機能化や、周辺観光情報発信や地元企業広告配信など地域密着化によるバス停の価値向上や、WiFi・BLE等を利用したバス停高機能化による待ち時間有効活用等も期待される。



図3.2.3.1.ア-3 京都駅バスターミナル・柏駅西口バスターミナルの表示例

イ. バス車内における情報提供

バス車内における情報提供は運転手による音声案内、ディスプレイ、紙での案内が一般的である。ほとんどの路線バスには音声合成装置が装備されており、運転手は出発前に一日の運行ダイヤをICカードや番号入力により、方向幕や車内音声案内を設定する。GPS技術等が進化した現在においても、バス停出発後次バス停到着までの間に運転手がボタンを押下して車内に音声案内を流す方式が維持されている。案内放送タイミングは運転者ごとにばらつき、サービスレベルが担保されていない。この音声合成装置による案内は次のバス停名を一度限りのため、聞き逃す恐れもある。

LEDディスプレイ上では、次バス停および運賃の情報表示、液晶ディスプレイ上では現在地から数個先までのバス停の案内表示（外国語表記含む）と共に、一部の路線では乗り継ぎ先電車時刻表も表示される。画面上に情報掲示が残るため、音声合成装置単体に比べるとサービスレベルは高いものと言えよう。

液晶ディスプレイはバス車内最前部の情報に設置されることが多いが、接続バスの場合には後方車両の前部にも二台目を設置されている。気仙沼BRTにおいては、天気予報、津波・地震情報の配信も行われている。また、最近では、車内に複数のサイネージを設置し、広告や地域情報などを掲出して中心市街地活性化に取り組んだ実験例も見られる。



図3.2.3.1.イ 京成バス接続バス車内・東武バススカイツリーシャトル車内の表示例

ウ．スマートフォンを利用した情報配信



図3.2.3.1.ウ スマートフォン画面の表示例

日本の携帯電話回線契約の半数がスマートフォンと言われる。従来のフィーチャーフォンより表示画面が大きくなると共に高度なアプリを実装できるようになり、通信速度の高速化も相まった個人端末の高機能化が進んでいる。アプリでの検索履歴をサーバに記録して個々人にあった情報のプッシュ配信や、GPSやその他の在圏把握機能を用いて個々人のニーズに合わせた情報配信等が可能となった。利用者側も、NFC端

末タッチをトリガーとしたWEBからの情報取得だけでなく、BLE等による能動的な操作を必要としない様々なトリガーを用いて情報へのアクセスも可能となりつつある。

3.2.3.2 バスにおける乗り継ぎのための情報提供の現状調査

ア．ART乗客への情報配信

目的地までの経路や乗り継ぎ案内を個人向けに調整したコンテンツで実施できることが理想的であるのに対して、現状の案内コンテンツは上記スマートフォンの場合ですら画一的である。バスからバスへの乗り換えに対応する案内アプリも現存しない。今後のバスサービス充実に向けては、バス・鉄道が結節する発着ターミナル等で、バスへとバスからと乗り継ぐ乗客を迷うことなく案内誘導する情報表示など、車内・停留所における有効な情報掲出方法の検討が求められる。

ここで、車両内に存在する乗客に対して乗車中車両の運行状況に合わせた情報をプッシュ配信する上では、R/Wへのタッチや各種在圏探知技術などによる利用者の状況把握が必要である。一方で、状況可変型の情報配信を行うには、連携する交通機関の運行情報を加味して配信することが乗り継ぎに際して必要となる。柏市などが社会実験で提供した公共交通情報連携アプリでは、柏駅に乗り入れる複数の鉄道会社と複数のバス会社のリアルタイムな運行情報を同一アプリケーション上で掲出した。同アプリはリアルタイムな最新運行情報を元に乗り継ぎ可能性などを利用者が判断利用する仕組みであった。これを進化させて乗車中のバスの運行状況に応じて案内内容を柔軟変更するなど、個々の交通利用状況に合わせた最適な配信へと高めていくことが期待される。

イ．車内外の乗り継ぎ情報配信

現状の乗り換え案内は、時刻表をベースとした乗り換え案内を基本としている。今後は、リアルタイムな遅れ情報を考慮した各種乗り換え案内や、バスーバス乗換案内対応等の高機能化対応が求められる。バス車内での情報配信媒体としては、各座席前部に設置したタブレットや個人のス마트フォンへの情報配信が有効と考えられる。現状では、車内WiFiやBLEを用いた画一的コンテンツ配信の実験が見られる程度だが、その他にも確立された通信技術を組み合わせることで、より環境と個人に適合したコンテンツ配信が実現可能な状況となっている。その際には、個人の行動予定情報を集め、リアルタイム運行情報等と組み合わせることで効率的な運行管制も可能になる。つまり、バス車内の乗客数、降車予定バス停、乗り換え先等の情報や各バス停での待ち乗客数、乗車予定者の降車予定バス停などの利用者情報、次便との運行間隔や終点バス停後の次便運行予定の変更等の運行情報を高度に組み合わせることで、次世代公共交通サービスに相応しい高度車両運行管制も実現できる。

車外における乗り継ぎに関する情報配信をスマートフォンへのリアルタイムな経路情報配信等の形で実施する場合には“ながら歩き”による接触事故抑止などへの考慮が必要であり、個別適合型案内に際しては、サイネージへの情報掲示や将来的にはメガネ型端末等へのMR表示も有効と考えられる。サイネージなどへ個人向け情報を掲出

する場合には、個人情報保護等の観点などからも、掲出するコンテンツ内容には十分な配慮できる配信技術が検討課題に残る。

個人の行動計画に沿った乗り継ぎ案内を実現することで乗客流のスムーズな誘導案内と車両の円滑運用が可能となる。そのためには、クラウド技術を駆使した個々人の移動の予測および事前情報収集が必須であり、想定する混雑状況に拠っては情報揭示による流動調整も必要になる。とくに、イベント会場へのシャトル輸送サービスにおいては、車両の運行状況だけでなく、結節する交通モードや会場周辺の交通状況等から来場者流動を短期予測・制御可能なロジックも重要である。

3.2.3.3 バス間、他交通機関との連動する高度運行管制技術の構成要素検討

現行のバスロケ（バスロケーション）システムは、運行管制室で個々のバス位置情報をセンターサーバに集約して司令員から運転手への各種運行調整指示に活用されるほか、乗客向け接近表示案内に活用される場合もある。

運用維持コストのかかる乗客向け接近表示機は、鉄道駅との乗り換えバス停留所等に限定して設置されることが多い。とくに、最近では個人ユース向けには事業者公式・個人開発の各種バスロケアプリも普及してきた。しかし、これらはいくまでバス現在位置情報を一定の処理時間遅れ付きで提供する一方的な情報案内である。西鉄バスグループが提供する「バス接近案内メール」のように一部のプッシュ情報配信事例を除くと、一般にバスロケはプル情報としての情報案内に留まっている。この場合の問題は、悪天時等で乗客が増えているにも拘らず、利用者ニーズを把握できず十分応えられないまま、定時性の確保を優先して車両減便・運賃減収を選択せざるを得ないという両者損の状況である。

運用維持コストのかかる乗客向け接近表示機は、鉄道駅との乗り換えバス停留所等に限定して設置されることが多い。とくに、最近では個人ユース向けには事業者公式・個人開発の各種バスロケアプリも普及してきた。しかし、これらはいくまでバス現在位置情報を一定の処理時間遅れ付きで提供する一方的な情報案内である。西鉄バスが提供する「バス接近案内メール」のように一部のプッシュ情報配信事例を除くと、一般にバスロケはプル情報案内に留まっている。この場合の問題は、悪天時等で乗客が増えるビジネスチャンスにも拘らず、利用者ニーズを把握できず十分応えられないまま、車両全体としての運行定時性確保等を優先して車両減便・運賃減収を選択せざるを得ない悪循環が起きていることである。

以上より、今後の高度運行管制システムの構成要素としては、下記の高度リアルタイム交通状況把握機能、高度到着予測機能、ターミナル高度運用管制、高度運行時間調整機能の装備が求められる。

- ・高度リアルタイム状況把握機能：道路交通プローブ情報等と連携することでバスロケを高精度化して精密に車両位置情報を把握し、必要な情報を乗客にも提供する
- ・高度到着予測機能：上記バスロケ情報に乗降状況・バス停待ち状況を加味することで、車両到着時刻を精密に予測し、必要な情報を乗客にも提供する
- ・高度ターミナル管制：上記到着予測情報と接続する交通モードの発着状況を元に、

- 発着ターミナルでの安全・円滑な車両入退場運用を実現する
- 高度運行時間調整：上記運行管制の下に、待ち合わせ・ダイヤ回復・増減便等各種の車両運行間隔調整を実現し、必要な情報を乗客にも提供する

【現行バスロケシステム イメージ図】

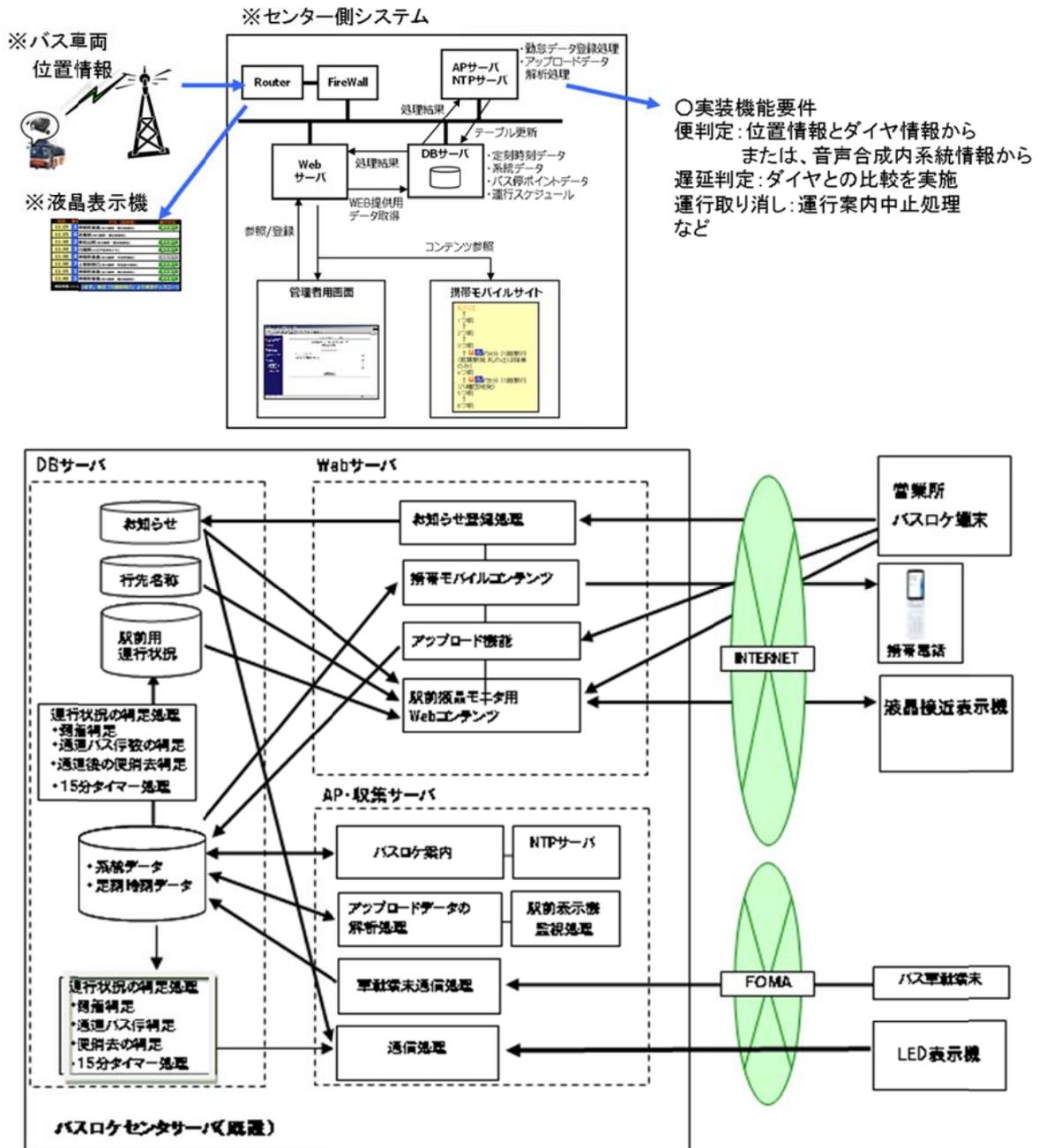


図3.2.3.3-1 現行のバスロケシステム

表3.2.3.3-1 現行のバスロケシステム構成イメージ

装置名称	機能概要
Webサーバ	運行管理者側端末と接続し、運行管理機能を提供する 表示機と接続し、運行状況案内を提供する
DBサーバ	バスロケに必要な情報を管理、蓄積する
収集・APサーバ	車載端末との通信処理を行う 営業所端末からのアップロードデータの処理を行う バスロケの案内データの作成を行う LED接近表示機との通信処理を行う

3.2.3.4 高度運行管制の要求機能の検討

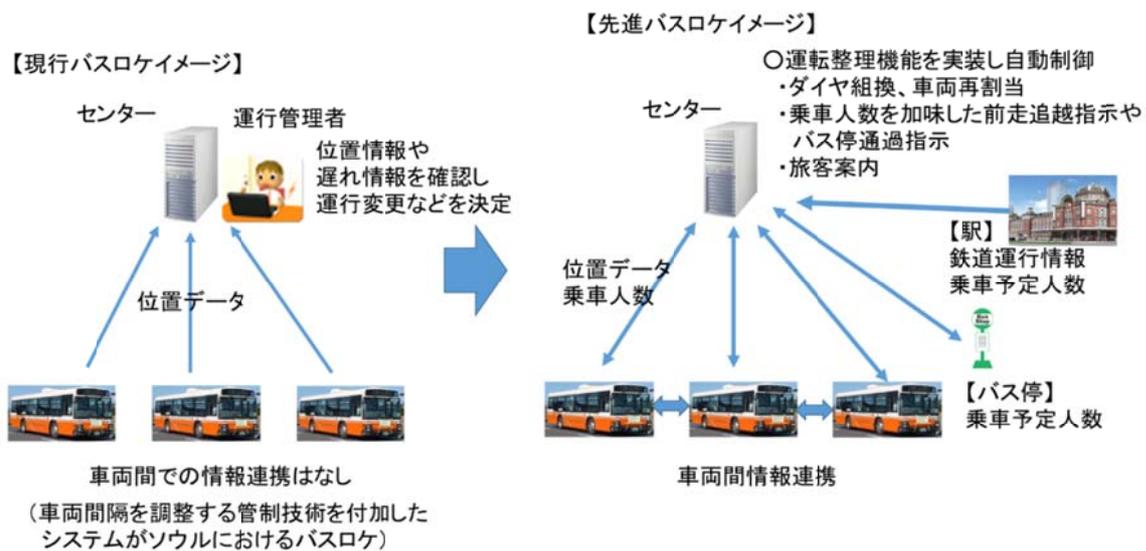


図3.2.3.4-1 高度運行管制システムのイメージ

現行バスロケは、車載器のGPS情報や音声合成装置の停留所案内などと連動して自車位置をセンター側に送信し、運行管理者の管制業務やスマートフォンや停留所設置の液晶表示機・LED表示機等への車両接近情報表示などにより、乗客の利便性向上にも役立っている。最近では、京都市営バスにおいてバス到着をBLEで判別し、発車済み停留所での接近表示消去や、かつて西鉄でのDSRC高速バスロケへの適用実験事例など、様々な取り組みが行われている。また、運行管理者側から運転手に対して文字メッセージを送信し、運転手は停車中に文字メッセージを確認して○×返答させるなど、バスロケの通信ネットワークを利用して簡易コミュニケーションを確立している事例も見られる。運行管理者画面上では各車両の位置情報や、走行ダイヤ、基準ダイヤとの遅れ時間表示や車両側で緊急スイッチが押された場合はその旨表示されるシステムもある。

しかしながら、バス車内の混雑状況を十分に把握できていないことが、バスサービスの信頼性を損ねている。バスがダンゴ運転状態時に車内の混み具合が判別できれば、

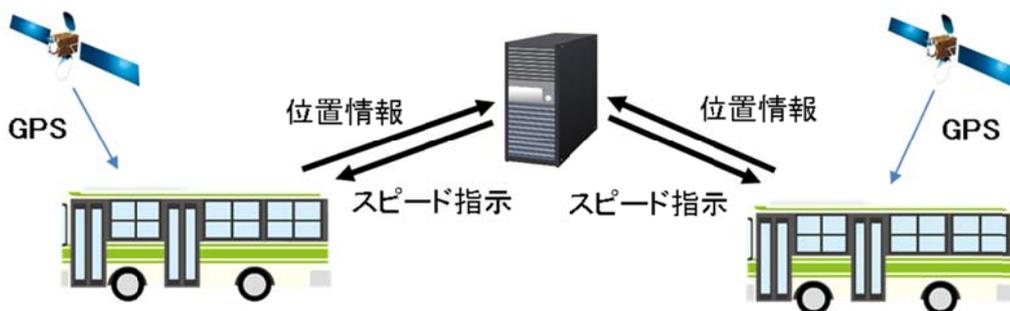
センターからの追い抜き指示等も実施可能となり、ダンゴ状態の解消効果が期待される。

車内の混雑状況把握は、車内R/Wへのタッチやカメラや車両重量センサによる人数カウント把握で実現可能である。車両混雑状況を、バスロケ検索画面への表示・途中バス停でのサイネージによる掲示、該当車両前方方向幕部分への掲示等を通して、途中バス停で待つ利用者に分かりやすいコンテンツで知らせ、満員バスはバス停に停車することなく通過できるような高度運行管制も実現可能である。満員バスや遅れの生じたバスを処理するためPTPSの優先度を高くするなど、PTPS弾力的な運用も求められる。

こうした高度運行管制が実現した暁には、信頼性確保の難しい現行の標準時刻表の文字列表示からダイヤヘッド間隔提示に換えることで、利用者にとっては乗車バス停へのバス到着遅れ時間を細かく気にすることがなくなる。これは、事業者にとってもバス同士の運行間隔が極端に詰まった場合などにおいて、途中バス停での運行時間調整が可能になるメリットがある。運行時間調整は、バスベイの存在有無によりその実施可否が異なるものではあり、高度な運行管制処理が求められる。また、バス停で待つ利用者などに対しては調整間隔についてサイネージなどを利用しての案内が必須であり、利用者が安心して合意できる情報の品質が重要である。



図3.2.3.4-2 同系統路線におけるダンゴ運転解消機能のイメージ



幹線での車群プラトウニング制御（PTPSと連携）

図3.2.3.4-3 車車間通信とCACCを用いた車間制御機能のイメージ

昨今JR東日本において、運転手がi-pad miniを携帯し、運用変更時に電子スターフをダウンロードして、その後の運転変更を実施するという取り組みが実施されている。バスにおいても、到着時間の変更などにより、その後の運用調整を実施し、電子スターフを利用することで運転手に指示するといった仕組みも検討が可能である。ただしその場合には、最も効率的なダイヤ組み換えを機械的に判断する、バス版次世代輸送管理システムが必要であり、各路線を面として捉え総合的に判断し指示する高度運用管制システムが欠かせない。

またバスターミナルにおいては入線する乗り場変更なども必要となる可能性がある。飛行場におけるオペレーションマネージャーによるスポット（搭乗口）変更のような柔軟な運用や、バス待機場所進入順の直近次便ダイヤ割り当てなど、車両運行管制を高機能化し、システムによる判断と運行管理者による確認を通した効率的な運用が求められる。

上記提案した高度運行管制システムを、適用する路線の車両運行密度・ターミナル配置・路線ネットワークなどの設計要件に応じて柔軟に実装するため、高度運行管制技術要素の組み上げ技術の検討が必要である。



図3.2.3.4-4 ITS世界会議2013東京ポストコンgresツアーに併せて実施された世界初の路面電車－自動車車車間通信型ASVデモ（広島地区ITS公道実証実験連絡協議会）

ここで、アナログ放送の停波に伴い安全用途ITS専用周波数帯として確保された700MHz帯車車間通信車載器の市販化を受けて、第5期ASV活動の一環として各地で通信型ITSサービスの公道実証実験が順次展開されている。こうした技術動向も踏まえて、従前に比べてインフラ投資を抑えた形で効率的・効果的な高度運行管制システムの構築を検討することが肝要である。

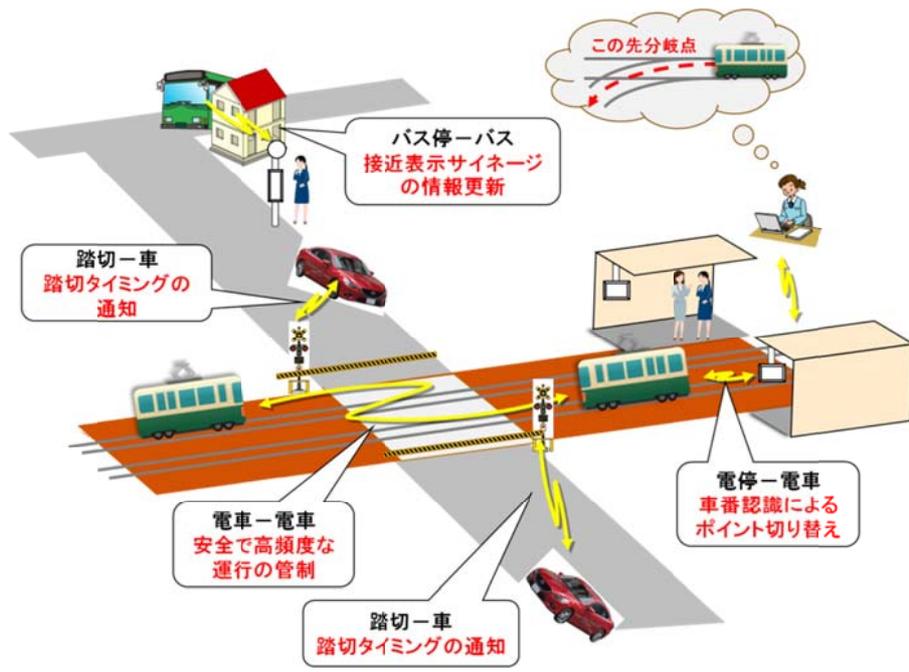


図3.2.3.4-5 協調走行技術による道路空間の効率利用と交通円滑化サービスのイメージ

3.2.4 自動走行技術の検討

ドライバーの高齢化対応、労働環境の改善のため適応型速度制御（ACC）や協調型ACC（CACC）および車線維持制御（LKA）を統合化した自動走行技術の検討をおこなう。

ア．バスにおける運転支援技術の調査

現在国内外の市販バスの搭載されている運転支援装置の調査を行った。結果を表3.2.4-イ-1に示す。

バス交通の性格上、都市内の交通と都市間の長距離交通によって搭載される運転支援装置も別れる傾向がある。特に、長距離交通用のバスでは、ドライバーの疲労や集中力低下の防止や支援を行う装置を搭載する車両も多く市販されている。一方、特に都市内の多くの歩行者が行きかう場所の通行が多い所での車両は、バスの運転席からの死角支援の装置搭載が目立つ車両も多く有る。

また、ABSを採用することによりEBS（electronic braking system）が装置の構成要素として用いられることから、ブレーキに係る多くの機能装置が同時に搭載されている車両が多く見受けられる。特に、バスの車両は都市内、都市間にかかわらず長時間の運転を支援するため、信号などの一時停止時のフットブレーキを足で押し続けての疲れ防止を支援するものや、低摩擦路や坂道での発進操作の煩雑さの低減支援をする停止支援装置が一般の車両に比べて搭載した車両モデルが多くみられる。

更に、先進的なバスの運転支援装置として、路線のルートプロファイルとトラフィックフローに応じて、省エネルギーを一段と支援する装置や、ドライバーの運転の癖をモニターし、省エネ運転を支援する装置も出て来て、長時間・長距離走行するバス交通の特性を補う運転支援装置も出現している。

イ．ARTにおける運転支援技術の要件整理

ARTにおいては、ドライバーの高齢化や労働環境の改善のため、従来の運転支援装置に加え、よりドライバー負荷の低減が必要とされている。更には、利用者の高齢者に対する利用時の利便性・安全性向上も必要となっている。

運転中の長時間運転、長距離運転の負荷低減のため、運転補助支援機能に於いては、ACCから発展し、協調型ACC（CACC）が望まれる。また、LKAやLDWとの機能も統合し、操舵操作の負荷低減が望まれる。

死角支援や視界補助の運転支援装置としては、周辺視界支援の高度化は基より、各種センサを搭載して、車両の進行方向に対して必要となる車両周辺監視の強化も必須になる。例えば、交差点での右左折時の横断歩道に侵入してくる歩行者の見落とし防止のため監視・警告が望まれる。そための広角度レーザレーダ等のセンサ監視装置が望まれる。

更には、交通密度の高い道路走行のために、隣接レーンの後方からの接近車両や、隣接レーンの死角支援のための検知・警報が必用になる。そのためにも隣接レーンや後方の各方向に向けて、長・中・短距離のミリ波レーダなどの搭載も必要になる。

一方、乗客側からのニーズで、乗車中の転倒防止のため、交差点の信号や停留所で

の速度の急変を無くし、滑らかな速度制御を行うために、これから侵入する信号の現時信号と変化までの時間の情報入手機能とその通信手段が望まれる。事前に信号までの距離と変化までの時間の情報が入手できれば、乗客に案内を流し、注意を促すことも可能になる。

表3.2.4-イ-1 国内外市販バス搭載の運転支援装置

大分類	装置名	装置概要
走行機能支援	ABS : Antilock Brake System	急ブレーキや低摩擦路等での減速時の車輪ロック低減装置。
	空転抑制装置	各社、TRC : TRaction Control、 TCS : Traction Control System、 ASR : Anti-Slip Regulationなど装置名称はまちまちだが、滑りやすい路面での発進時のスリップ防止装置。
	横滑り防止装置	各社、ESC : Electronic Stability Control、 ESP : Electronic Stability Program、 VSC : Vehicle Stability Control、 ASC : Active Stability Controlなど装置名称はまちまちだが、操舵時の姿勢制御を行い横滑りを防止する装置。操舵による緊急回避操作時の車両の姿勢安定効果が生まれる。
	坂道発進支援装置 または、停止時の停止支援装置	Hill Hold、 HAC : Hill-start Assist Controlなど装置名称はまちまちだが、坂道発進時の足の踏みかえ時の、スベリ落ち防止機能。 または、信号停止時や中扉開閉時の停止制動力を保持し、ブレーキの踏み続けや不要な移動防止を支援する装置。
	タイヤ空気圧監視装置	TPMS : Tire Pressure Monitoring System、 TPM : tire pressure monitoringなど装置名称はまちまちだが、タイヤ空気圧監視を行い、低下による警告を行う装置。
死角支援	側方視界カメラ	ウインカー連動などにより、巻込み防止などの運転席の逆側視界支援カメラ&モニター表示。
	バックモニターカメラ	後退時の後方視界支援カメラ&モニター表示。
	ドアカメラ	乗降中扉の画像による視界支援。

表3.2.4-イ-1 国内外市販バス搭載の運転支援装置（続き）

大分類	装置名	装置概要
ドライバー状態監視	ドライバーモニター	ドライバーの顔向きや瞬き度合などをモニターし、前方注意力の不足を警報。 または、操舵や操作の変調などからドライバーの疲労度合を推定し休息支援。 更には、運転補助支援の機能と融合し作動を早める情報としても利用。
	I-Coaching system	過度のアイドリングストップ、速度超過のカーブ走行など安全運転や燃費削減でドライバー支援する装置。
	alcolok	呼気検査による飲酒検査を行い、エンジン始動許可をする装置。
運転補助支援	衝突被害軽減制動制御装置：Autonomous Emergency Braking System (AEBS)	PCS (PreCrash System) と呼ばれ、前方障害物を検知しドライバーへの警報やブレーキの補助操作を行う、衝突被害低減ブレーキ装置。
	ACC：Adaptive Cruise Control	前方の車両との車間距離を一定に保つ追従走行。前方の車両が所定の距離より遠方の場合は、設定の速度で走行する適応型速度制御装置。
	LKA：Lane Keep Assist	走行車線を維持するようにハンドル操作を支援する車線維持支援装置。
	LDW：Lane Departure Warning	走行車線から逸脱する危険、または逸脱したことを警報する車線逸脱警報装置。

これらの機能を有機的に統合し制御するために、3次元の高精度地図情報と高精度の車両位置情報を、フェイルセーフに基づいた統合制御装置 (FS-ECU) によって高信頼に最適速度や車間距離の制御をする。また、これら場所と時間、及び走行環境の周辺混雑度合などの正確な情報で、停留所へ停止前の案内を精度良く自動案内が可能となり、乗客にとって利便性、安全性や、ドライバーにとっても負荷低減が図れ、安全性の向上した運転が期待できる。

もちろん、これらの運行情報は路車間通信やクラウド連携通信を用いて送信し、停留所で待っている乗客に待ち時間などのきめ細かいサービスも可能となる。また、各バス会社の管理センタに於いても、運行管理の精度が上がり、効果的なダイヤ運用も可能になる。

ウ．ARTにおける運転支援技術の構成要素の検討

上記で述べた運転支援機能を実現するための構成要素を検討する。

まずは、前方車両や障害物などの前方監視を行う。今後の車両装置としては街中の歩行者認識や、動きの速い自転車の認識なども必要になるので、センサフュージョンにて高精度な認識を行えるセンサ群の装備が必要になる。また、同様に自レーンや隣接レーン。または、歩道領域の分離認識が必須になってくるので、高分解能かつ広画角の画像センサとのセンサフュージョンが求められる。更に、右左折時の障害物認識のためには前側方監視のアクティブセンサも必要性がある。これらと併用する走行レーンが特定できるレーン高精度の位置認識技術も必要である。また、センサの認識に必要な道路の勾配変化情報やレーン配置情報が入手可能な高精度3次元地図情報の構築も必要になる。

これらのセンサは、道路の左右方向ばかりでなく、道路の上下変化部の対象認識精度確保や道路上の標識やガントリ等などの道路情報の対象物と走路上の対象物の分離認識のため、上下方向の分解能も求められる。

次に、ドライバーの前方または進行方向への注意状態の判定・認識のためのドライバー状態監視技術の高度化が望まれる。これには、ドライバーの視線、瞬きの状態変化などばかりでなく、運転操作を走行道路状況や変化に対応した操作を行っているかなどの判定技術の併用も望まれる。

これらの判定結果に基づき、他の運転支援装置がドライバーの前方または進行方向への運転継続に注意が不足した場合は、警報や支援操作の補助を強化するばかりでなく、危険な状況と判断される場合は、安全に停止できる所まで、自動走行で走行する運転支援技術も望まれる。

その他、基本的な運転支援の技術として、事故防止に対応する運転支援技術の搭載が望まれる。その基本が、進行方向に対する加速制御と減速と停止制御技術。これらと連動して、操舵制御を走行状態や高精度地図情報と高精度位置推定技術、及び、通信技術を用いて提供される道路交通情報などから、現在の走行位置とこれからの道路状況を判断し、レーン選択・右左折交差点選択・最適走行速度パターンなどの計画を推論する技術と、その結果に対応した走行制御技術も望まれる。また、周辺車両との走行情報の共有により、より滑らかな加速・減速制御やレーンチェンジ制御を実現するために、車両の制御状態の情報通信が行える車車間通信技術も欠かせない。

なおかつ、これらの従来に増して高度な認識・制御を行うための制御装置の高信頼性化技術が必要である。

3.2.5 自動走行用HMI技術の検討

自動走行⇄手動運転における運転モード切り替えをスムーズかつ安全におこなうためのHMI技術の調査検討をおこなう。

3.2.5.1 現状HMI技術の調査

ア. エネルギーITS推進事業のHMI研究（自動走行⇄手動運転）

NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）プロジェクトのエネルギーITS推進事業では、トラックの隊列走行についての研究を行っている。大型車のエネルギー消費の4割以上が空気抵抗から生じることに注目し、自動走行によって車間距離を極限まで狭めることにより、空気抵抗を軽減し、エネルギー消費を抑制することを狙いとしている。

隊列の形成⇄離脱は、手動運転⇄ACC（adaptive cruise control：車載レーダによって先行車との距離を計測し、一定の車間距離を保つ）⇄CACC（cooperative adaptive cruise control：ACCに加えて、車車間通信によって他車の加減速情報を共有し、より高精度に車間距離を制御する）というように段階的に行われる。この段階的な切り替えに応じて、車間距離制御の精度が向上していき、それに連れて車間距離が短くされていく。段階を踏んで車間距離を縮めることにより、ドライバーの精神的負荷が軽減することが期待される。また、自動走行から手動運転へ急に切り替えるのではなく、段階的に切り替えることにより、ドライバーに運転操作を再開するための精神的余裕を与えることが期待される。

この手動運転⇄ACC⇄CACCの段階的切り替えを対象に、それに適したHMIについての検討が行われている。ドライビングシミュレーター上で隊列の形成と離脱を行うという実験で、様々な情報をタッチパネルディスプレイに表示してドライバーに情報提供を行い、また、当該ディスプレイを操作してドライバーが運転モードの切り替えを行う。実験後、必要性の高い情報がどれかについてドライバー（プロのトラックドライバー）に聞き取りを行っている。調査結果によると、自車の運転状態、先行車との車間距離、先行車との車間距離が正常か、といった情報への要望が高いことが示されている。これに対して、後続車の有無についての情報等への要望は比較的低い。

また、自動隊列走行中に先行トラックが急制動をかけたとき、後続トラックのドライバーが緊急で手動運転を行い危険を回避する場面を想定し、ヒューマンファクターに関する研究も行われている。その研究では、ブレーキのみ、ステアリングのみ、ブレーキとステアリングの両方を操作の3通りで被験者に回避行動を取ってもらい、それぞれの操作による回避のしやすさを比較している。ドライビングシミュレーターを用いた実験結果によると、ブレーキのみの操作で緊急回避を行うことが最も実現性が高いことが示された。一方、ステアリングのみの操作では、先行車を回避できても回避後の車両挙動が不安定となり、その安定化を図るにはドライバーに相当の熟練が必要とされることが示唆された。また、ブレーキとステアリングの両方を操作する場合には、ブレーキによるロックでステアリングが効かないため、緊急回避には有効でないことが指摘されている。

イ. SARTREのHMI研究（自動走行⇔手動運転）

欧州のプロジェクトSARTRE（Safe Road Trains for the Environment）では、隊列走行についての研究を行っている。プロのドライバーが運転するトラックやバスを先頭として、その後ろに複数の乗用車を並べて自動追従させるための技術を開発しており、隊列形成による空気抵抗低減による燃費改善や、後続ドライバーが運転という作業から開放されることが期待される。

隊列に合流／離脱するためのHMIについての研究が行われており、ディスプレイ表示と音による情報提示が試みられている。合流の際には、隊列後方の適切な位置についてHMIがアドバイスを行い、適切な位置に着いたところでドライバーがステアリングホイールのカムを押すと、自動走行が開始される。隊列を離脱するためのボタン操作を行い、その指令をシステムが受け取ると、手動運転を行うようにHMIから指示が出される。

このようなHMIを用いて、隊列走行に関わるヒューマンファクターについての研究が行われている。隊列後方に自動追従している車のドライバーを対象に、どの程度の車間距離だと不快や危険を感じるかについてドライビングシミュレーターを通して分析したところ、80km/h～120km/hでの走行時に、車間距離が16m未満だと不快に感じ、7m未満だと危険に感じるということが報告されている。隊列走行の利点を活かすためには、それよりも短い車間距離を実現しなければならないため、そのような短い車間距離をドライバーが受容できるよう、ドライバーに対して特別な訓練を行う必要があることが指摘されている。

ウ. トヨタのHMI開発動向（自動走行→手動運転）

高速道路での安全運転を支援するシステムとしてAHDA（automated highway driving assist）を開発している。AHDAの要素技術としては、DRCC（dynamic radar cruise control：車載ミリ波レーダで先行車を検知し、一定の車速および先行車との距離を保つ）やLTC（lane trace control：車載のカメラやミリ波レーダを用いて白線や先行車を検知し、最適な走行ラインを算出して、ステアリングや加減速を自動制御する）の他、専用のHMIが含まれている。プレビューHMIと呼ばれる技術では、走行中の道路状況や、過去に蓄積されたセンサの作動実績データにもとづき、AHDAの動作が制限される場面を判断し（例えば、白線が消えかかっている道路では、白線認識を正しく行いにくい）、ディスプレイ表示と効果音でドライバーへ事前に警告を出す。

また、カメラやステアリング・タッチ・センサーによって、ドライバーの顔の向きやドライバーがステアリングに触れているかを計測し、運転への集中度を評価して、必要に応じてドライバーに警告を発する機能も盛り込まれている。

エ. ContinentalのHMI開発動向（自動走行→手動運転）

カメラによって自動運転中のドライバーの頭部位置や視野角を計測し、ドライバーの集中度を評価して、必要に応じてLED照明等によってドライバーに警告を出すシス

テムが考案されている。

また、HUDとAR (augmented reality) を組み合わせたAR-HUDを採用し、現実の景色に情報を重ねて表示するアプローチを志向している模様である。

オ. EASYのHMI研究 (自動走行→手動運転)

英国プロジェクトのEASY (Effects of Automated Systems on Safety) では、自動走行中に衰えるドライバーの運転への集中度を計測したり、その計測結果に応じてドライバーへ警告を出すシステムについての検討が行われている。検討対象とされたのは次の2つのシステムである。1つは、道路の中央をドライバーが見ているかを計測し、10秒以上見ていなければ手動運転に切り替えるというシステムである (Variable Driving)。もう1つは、自動走行開始後6分で強制的に手動運転に切り替え、手動運転開始後1分で再び自動走行に切り替える、という動作を周期的に繰り返すシステムである (Fixed Driving)。手動運転に切り替えた後のドライバーの運転成績を評価したところ、道路中央への注視度がFixed Drivingのほうでより高く、また、軌道補正するためのステアリング操作の頻度もFixed Drivingのほうでより高い結果となり、Variable DrivingよりもFixed Drivingのほうが優れていることが報告されている。

カ. デンソーのHMI開発動向 (半自動運転)

ドライバーと半自動運転システムが連携して運転を行うためのHMIを検討している。ドライバーとシステムの役割を状況に応じてスムーズに切り替えることを目指しており、そのためにはドライバーとシステムがお互いの状態を知ることが重要という考えから、HUDを使ったドライバーへの情報提供と、ドライバーの状態をモニタリングする技術の開発に注目している。半自動運転におけるドライバーの運転集中度低下を懸念し、これについての検討も進められている。情報提示技術としては、AR-HUDに注目している模様。また、認知負荷の低い音情報の提示についても開発に取り組んでいる。ドライバーモニタリングについては、ステアリング操作や車両のふらつき等の車体情報から漫然運転や居眠り運転を捉え、また、瞬き、顔の向き、表情、心拍、血圧等の生体情報から漫然や体調不良を把握するとしている。そして、半自動運転における過信／不信等の意識／感情レベルの状態把握が必要になってくると考え、心理面を考慮した状態遷移モデルに基づくドライバーモニタリング技術の開発に取り組んでいる。

キ. BMWのHMI開発動向 (自動走行→手動運転)

自動走行から手動運転へ切り替える場合のヒューマンファクターについてドライビングシミュレーターを用いた実験を行っている。

例えば、高速道路の自動走行中に突然前方に事故車両が現れるというシナリオを想定し (最初のうち、自車の先行車両に隠れて、事故車両は自車から見えないが、しばらくすると、自車の先行車両が車線変更し、事故車両が自車前方に突然現れる)、TOR (take-over request : 自動走行システムからドライバーへ発信される手動運転への切り替え要請) を出すタイミングの違いによるドライバーの回避行動の変化を分析してい

る。なお、TORの提示方法は、クラスター内のアイコンと効果音である。TORを出すタイミングが遅いと、事故車両を回避するために車線変更を行う際のサイドミラーの視認時間が短くなったり、加速度が大きくなったり、ブレーキ操作が激しくなったりし、ドライバーの運転成績が悪くなることが報告されている。

また、自動走行中に前方に現れた事故車両を回避するという同様のシナリオを想定し、ARによって提示される情報の違いによるドライバーの回避行動の変化について分析している。ARの提示情報は2つで、1つは事故車両に衝突するまでの軌道を危険軌道として赤色で表示するものであり、もう1つは事故車両を回避するまでの軌道を安全軌道として緑色で表示する。事故車両を回避するために車線変更を行う際の自車後方の確認ミスについて評価したところ、赤色表示のほうが緑色表示よりも多くの確認ミスを招くことが報告されている。

ク．SEIMENSのプレジジョンドッキング（自動走行⇄手動運転）

フランスのRouen市の接続バスにSIEMENSのステアリングアシストシステムが採用されており、これによりプレジジョンドッキングが行われている。路上の白線をカメラで認識するタイプのプレジジョンドッキングだが、白線が認識されるとインパネの緑ランプが点灯し、白線を追跡するための自動操舵が開始される。白線認識に失敗する等、ドッキングシステムが正常に動作しない場合には、赤ランプが点灯し警報が鳴るので、ドライバーが手動運転を行う。

ケ．PATHのプレジジョンドッキング（自動走行⇄手動運転）

カリフォルニア大学が主導するPATHプロジェクトでは、道路に設置された磁気マーカを検知するタイプのプレジジョンドッキングについて研究が行われ、そのためのHMIについての検討も行われている。考案されたHMIでは、手動運転や自動走行のモードが「M」や「A」の文字でディスプレイに表示される。また、磁気マーカを検出すると、道路を意味する2本線（線同士の距離が道路の幅を表す）と、自車の現在地を意味する長方形が、それぞれディスプレイ上に表示される。また、20m以内の自車の予想位置も小さな正方形で表示される。その他、ドッキング開始、ドッキング終了、ベイとの距離、速度等も表示される。道路や自車位置を表示する色は状況によって変わり、何らかの磁気マーカが検知されると両方とも黄色で表示され、ドッキング開始を指示する磁気マーカが検知されると道路は白で自車位置は赤で表示され、磁気マーカの検出ミスが多発すると両方とも灰色で表示されるというような設計になっている。

コ．マツダのHMI開発動向（運転支援）

自動車と路面電車とで車車間通信を行い、双方の安全性を高める安全運転支援システムを開発している。GPSから得られる位置情報の他、より位置精度の高い車載センサ（カメラ、ミリ波レーダ、マイクロ波レーダ、近赤外線レーザ）の計測情報や、進行方向、速度、ブレーキ、ウィンカー等の操作情報を700MHz帯通信機を用いて車車間

で通信することにより、自動車と路面電車とが道路空間を共用する場所における安全性を高めている。具体的には、自動車のドライバーに対しては、後方から接近してくる路面電車を知らせたり、路面電車のドライバーに対しては、見通しの悪い路地から自動車が出てきて軌道敷を横断するのを知らせたり、路面電車の前方で自動車が右折するのを知らせたり、駐車車両や障害物を回避するために自動車が軌道敷内に進入するのを知らせることを想定している。

ドライバーに他車の接近を知らせるためのHMIとしては、HUDが採用され、HUDに表示する内容については、ドライバーの直感的な理解を促すために次の3つのポイントが挙げられている。

- ・ 自車を中心に鳥瞰的に危険対象を表示する
- ・ ドライバーが経験し理解しやすいシンボルアイコン、色情報を統一的に用いる
- ・ 接近してくる方向からシンボルアイコンをスライドインさせることで、どちらの方向から何の危険対象が接近してくるのかを視覚的に表現する

なお、HUDに情報を表示するタイミングについては、TTC（Time to Collision：衝突までの時間）を基準に算出している。すなわち、自車と他車の相対距離と相対速度からTTCを計算し、これが予め設定した閾値を下回った時点でHUDに情報を表示する。

サ. まとめ

HMI技術の現状を調査したところ、技術開発の大きな観点として、a. 自動走行⇔手動運転を段階的に切り替えるためのHMI、b. 自動走行中のドライバーの運転集中度を監視して必要に応じて警告するためのHMI、c. 自動走行→手動運転の緊急切り替えに対応しやすくさせるためのHMIが見出された。

a. 自動走行⇔手動運転を段階的に切り替えるためのHMI

隊列走行における車間距離の制御を対象に、自動走行⇔手動運転の段階的切り替えについて研究された事例がある。手動運転→ACC（adaptive cruise control：車載レーダーによって先行車との距離を計測し、一定の車間距離を保つ）→CACC

（cooperative adaptive cruise control：ACCに加えて、車車間通信によって他車の加減速情報を共有し、より高精度に車間距離を制御する）と段階的に切り替える設計思想であり、この段階的な切り替えに応じて、車間距離の制御性能が上がっていき、車間距離が狭められていく。段階を踏んで車間距離を縮めることにより、ドライバーの精神的負荷が減り、スムーズかつ安全な運転モードの切り替えが行えると期待される。一方、ステアリング操作の自動走行⇔手動運転の切り替えについては、検討された事例は見当たらず、これは今後の重要な研究開発要素と考える。

b. 自動走行中のドライバーの運転集中度を監視し必要に応じて警告するためのHMI

自動走行中のドライバーは運転に対する注意を怠りやすいという共通の問題意識のもと、複数の機関が異なる監視・警告システムを考案している。監視の手法としては、ステアリング・タッチ・センサーや視線センサーを用いたものがあり、警告

の手法としては、ディスプレイ表示、効果音、LED照明等を用いたものがある。今のところ確立した技術は見当たらず、各組織がそれぞれの考えにもとづいてシステムを試作している模様だが、引き続き、より優れた監視・警告システムについて検討を進めていくことが重要と考える。

c. 自動走行→手動運転の緊急切り替えに対応しやすくさせるためのHMI

自動走行システムでは対応しきれない状況に直面したときに如何に迅速かつ安全に手動運転に移行するかという共通の問題意識のもと、複数の機関が対応策を検討している。先行研究としては、自動走行から手動運転へ切り替えるようシステムから告げられてからそもそもどのくらいの時間でドライバーは対応できるのかという分析や、緊急回避行動においてドライバーはブレーキ操作とステアリング操作のどちらを取りやすいのかという分析等、ヒューマンファクターに関する基礎的検討が行われている状況である。こうした基礎的な知見を積み重ねた上で、優れたHMIとは何かを具体化していくことになると予想される。また、緊急時におけるドライバーの状況把握を促すためにAR（Augmented Reality）を適用した事例も見られる。

3.2.5.2 ARTにおけるHMIの基本構成要素の検討と実用化に向けた課題の整理

公共交通における自動走行のHMI基本構成要素について検討を行い、それらの要素を実現するための課題を挙げる。3.2.5.1 で述べたa. b. c.の観点を踏まえつつ、先行研究の多くは乗用車を対象としているため、バスに特有の観点も加えて、以下に述べる。なお、ARTの自動走行に関する具体的仕様は現時点では定かでないが、自動走行が適用される場面として、バス停における停発車の場面と、バス停間を走行する場面の2つを想定し、以下に述べる。

ア. 基本構成要素の検討

バス停に正着する場面では、バス停付近までドライバーによる手動運転でアプローチを行い、システムによるプレジジョンドッキングが作動可能な状態となった時点で、その旨をドライバーへ通知し、ドライバーからシステムへの運転主権の移譲を行うことが考えられる。また、プレジジョンドッキングへの移行前後において、車外の歩行者や障害物への注意や、加減速や横揺れによる乗客の転倒への注意がドライバーに求められると想定される。正着が完了したら、ニーリングおよびドアの開閉が行われ、乗客が乗降を行う。この際も、ドライバーは車内外の安全性を確認するとともに、料金収受にも関与する可能性がある。乗客の乗降が完了したら、バス停からの発車を行う。この際も、ドライバーは車内外の安全性を確認する必要がある。

バス停間を走行する場面では、全区間での自動走行が実現されない限り、手動運転と自動走行との切り替えが生じることになる。このときも、自動走行が作動可能になったことをドライバーに知らせ、システムへの権限移譲を行うことが考えられる。一方、システムからドライバーへの権限移譲も行われる。また、バス停間の走行中においても、車外の歩行者や接近車両への注意や、加減速や横揺れによる乗客の転倒への注意がドライバーに求められると考えられる。

基本構成要素としては次のものが挙げられる。

- A. 自動走行の作動可能状態をドライバーに伝えるためのHMI
- B. 運転主権の移譲状態をドライバーに伝えるためのHMI
- C. ドライバーによる安全確認を支援するためのHMI

イ. 実用化に向けた課題の整理

自動走行を実用化するための大きな課題としては、前記のA.やB.を実現しつつ、いかにC.も両立するかということがある。すなわち、ドライバーは、車外の歩行者、自転車、物体の安全性の他、車内の乗客の安全性に注意しながら、自動走行の作動可能状態を確認し、運転主権の移譲を行わなければならない。大型車両の場合、後方等の安全確認が乗用車と比べて困難である。また、加減速や横揺れによって車内の乗客に転倒の恐れ等がないかを確認することもバスドライバーには求められ、広い車内に複数存在する乗客を監視する作業はドライバーにとって相当の負荷になると考えられる。乗用車と比べて作業負荷の大きい歩行者、乗客、障害物等の安全確認を従来のバスと同等以上の水準で行いながら、運転主権の切り替えを安全に行うためには、自動走行に関わる作業負荷を抑えるためのA.とB.の開発と、安全確認を支援するためのC.の開発が望まれる。

以下、A. B. C.について順に述べる。また、本節末尾に課題を整理した表を示す。

A. 自動走行の作動可能状態をドライバーに伝えるためのHMI :

3.2.5.1で紹介したRouen市で実用化されているプレジジョンドッキングのHMIでは、プレジジョンドッキングが作動可能な状態になるとインパネの緑ランプが点灯してドライバーの操作を介さずに自動操舵が始まり、システム故障時には赤ランプの点灯と警告音でドライバーに手動運転を行うよう指示するという方法が採用されている。

しかし、例えば、インパネのランプの代わりにHUDを使用すれば、ドライバーが自動走行の作動状態と車外の状況の両方に目をやる負担を軽減できる可能性がある。また、使用する情報提示機器の選択だけでなく、その情報提示機器を何処に設置するかもドライバーの視認負荷軽減という観点から重要であると考えられる。自動運転ではなくカーナビに関する研究だが、情報提示機器の設置位置がドライバーの視認性に与える影響を分析した先行研究によると、ドライバーの目に近い配置ではカーナビの視認回数が増える反面、平均視認時間が減るという傾向が報告されている。以上のように、情報提示機器の選択と配置はドライバーの視認性に影響すると考えられ、これが運転主権の切り替え前後に車外で発生する異常事態の認知と対応にどのように影響するか、今後研究を進めていくことが重要と考える。

B. 運転主権の移譲状態をドライバーに伝えるためのHMI :

手動運転と自動走行の間に運転支援を介在させることで段階的な運転主権の移譲を行えば、ドライバーからシステムへの権限移譲を一気に行う場合よりもドライバーへの負荷を軽減できる可能性がある。3.2.5.1の調査では、手動運転→ACC→CACCの段階

的切り替え、すなわち、ペダル操作の段階的切り替えについては先行研究があることを紹介した。しかし、ステアリング操作の段階的切り替えについて検討した先行事例は見当たらない。

プレジジョンドッキングを行う場合、また、バス停間の走行中にステアリング操作の自動化を行う場合、上記のステアリング操作の段階的切り替えは重要な検討課題であると考えられる。手動運転⇔操舵支援（ハプティックガイダンス）⇔自動操舵の段階的切り替えを行うことになるが、これは、ハプティックゲインを指標として、ゲインが0のときを手動操舵、ゲインが1のときを自動操舵とすると、その中間のゲインのときが操舵支援ということになる。一気に自動操舵に取って代わられてドライバーが違和感や不安感を抱かないように、また、一気に手動操舵に切り替わってドライバーが過度な緊張を強いられないように、段階的にハプティックゲインを調整することがポイントとなる。

また、ハプティックゲインを力覚から感じ取り、ドライバーとシステムそれぞれの操舵への寄与度をドライバーが大まかに理解することは可能かもしれないが、はっきりと寄与度が分からないことがドライバーにとって負荷となる可能性がある。そこで、操舵への寄与度（ハプティックゲイン）を数値やインジケーター等でドライバーへ提示することも含めて検討するべきと考える。

C. ドライバーによる安全確認を支援するためのHMI：

乗用車とは異なり、バスの場合には、車両が大きいため後方等の車外の安全確認が容易ではなく、また、広い車内に複数存在する乗客の転倒防止等に気を配るという車内の安全確認作業も生じる。このようにバスドライバーにとって安全確認の負荷は高い。その上、バス停においては、乗客の乗降のためのニーリングやドアの開閉の他、料金収受に関わる作業までドライバーに課せられることがある。

バスドライバーの安全確認を支援する既存のHMIとしては、複数のカメラを用いて車外全周囲を視野に入れ、撮影した画像をドライバーにモニターで提示するというシステムの他、超音波センサで車外前方（正面前方と側面前方）の歩行者や障害物を検知し、近接物体があればランプ点滅と警報音でドライバーへ知らせるといったシステム等が実用化されている。某バス会社におけるドライバーへの運転指導担当者に聞き取り調査を行ったところ、特に安全確認の負荷が大きいのは自転車の飛び出しとのことだった。バスが進行する道路に交差する狭い路地から飛び出してくる自転車の確認が難しく、慌てて急ブレーキをかければ車内事故に繋がる恐れがあり、ドライバーへの負担が大きい。視界の届かない場所から突然現れる自転車に余裕をもって対応するためには、例えば、バスと自転車との車車間通信を通して自転車の接近をバスに知らせるためのHMIが今後の技術開発課題として考えられる。

一方、車内の安全確認を支援するHMIの実用化事例は見当たらず、今後検討の余地がある。前述の某バス会社の運転指導担当者によると、現状では車内ミラーを用いるか、後方を振り返るかして乗客の安全状態を確認するしかないとのことだった。また、乗客が増えると運転席からの死角が増えるという問題がある。例えば、車内情報をカ

メラ撮影とモニター表示でドライバーに提供すれば、このような安全確認の負荷が軽減する可能性がある。特にARTが複数の車両を接続する構成を採るとすれば、ドライバーが車内全体の安全確認を円滑に行うためのHMIの開発要求が高まると考えられる。

以上のHMIは安全性に関わる情報をシステムが収集してドライバーへ伝達するという技術だが、他方、ドライバー自身の運転への集中度を監視して適宜警告を出すというHMIの開発も今後の検討課題として考えられる。前述の通り、安全確認についてバスドライバーには相当の負荷がかかると考えられる。バスの連続運転時間は4時間以内と厚生労働省の基準に定められているが、前述の某バス会社の運転指導担当者によれば、4時間以内であってもドライバーは疲労を感じ、業務時間のなかで運転集中度を一定に維持し続けるのは難しいとのこと。高負荷環境のもとで実際にドライバーが適切に安全確認を行えているのかを評価し、問題がありそうならばドライバーに注意を喚起するというHMIが実現すれば、安全性の確保に役立つ。例えば、ドライバーの視線を計測し、車外を直接目視しているか、ミラーを目視しているか、モニター（安全確認支援のためのHMI）を目視しているか等の評価を行い、目視が確認されなければ警告を出すというシステムの開発が検討対象となる。ただし、目視を行っていても適切に認識を行うまでに至るとは限らず、その違いを判別するための技術開発が重要と考えられる。

また、車両の安全性そのものを改善し、安全確認の負担を低減するためのHMIについても検討する意義がある。具体的には、バス停間の走行中を考える場合、大きな加減速が生じるのは信号での停発車時と考えられるが、PTPSを通じて近い将来に通過する信号の表示を予めドライバーに伝えられれば、ドライバーが余裕を持ってスムーズな加減速を行い、乗客の転倒を防止できる可能性がある。車内信号に関する先行研究によると、近い将来に通過する信号の表示を予測してドライバーへ伝えると、信号停止時における減速が緩やかになることが報告されている。ここに例示したHMIは手動運転向けのものだが、手動運転か自動走行かを問わず全ての運転状態で1人のドライバーが監視あるいは操作を行うことを考えると、いずれか1つの運転状態でも安全確認の負担を軽減できれば、そのぶんドライバーには余裕が生まれ、他の運転状態も含めて安全確認を行いやすくなる可能性がある。

表3.2.5.2 基本構成要素と、実用化に向けた課題

基本構成要素	実用化に向けた課題
A. 自動走行の作動可能状態をドライバーに伝えるためのHMI	・情報提示装置の選択と配置。作動可能状態の認知性異常の認知性の2つの指標をもとに有用性を検討。
B. 運転主権の移譲状態をドライバーに伝えるためのHMI	・ステアリング操作に関する手動⇄自動の段階的切り替えと、ドライバーの運転への寄与度の教示。
C. ドライバーによる安全確認を支援するためのHMI	・車内の安全確認の支援。 ・ドライバーの安全確認行動に対する監視と警告。

3.2.6 正着制御の検討

車椅子で直接乗降を可能とする自動操舵を利用した乗降場正着制御技術を検討する。
ア. 正着制御技術の構成要件の検討

車いすでの直接乗降を可能にするには、バス停縁石を車両の乗降口ステップとの隙間に車いすが嵌り込まずに通過できる必要がある。図3.2.6-1にキャスト輪と隙間の寸法関係を示す。キャスト輪の径は5インチである。この図の寸法関係から隙間目標を3cmにする。

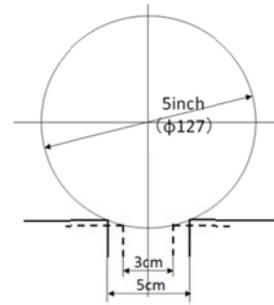
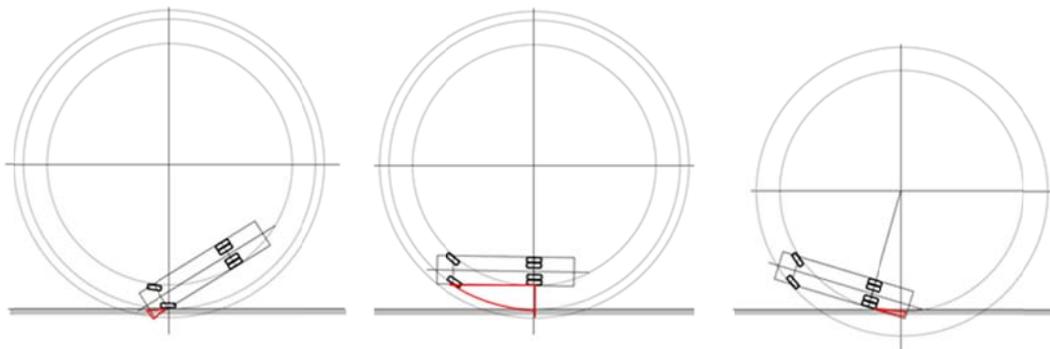


図3.2.6-1 キャスタ輪と隙間の寸法関係

この隙間目標は、どれか一か所の乗降口ではなくて、全ての乗降口に適用されるべきである。車いす使用者が交通弱者の負い目を感じることなく、乗降口を選ばず、どの乗降口からでも乗降できる。それが、バスにおける交通弱者対策の第1歩である。そのためには、縁石との隙間を小さく且つ、並行に接触する運転技術が必要になる。目視で隙間小さく且つ平

行に接触することは、車体を縁石にぶつけるリスクが増し困難になる。図3.2.6-2に示すように、(A) 前軸と後軸の回転半径の差 (内輪差) のために隙間縮小限界があること、(B) フロントオーバーハング (FOH) が縁石と接触するため縁石に寄りきれないこと、(C) 寄りすぎるとリヤオーバーハング (ROH) が縁石に接触してバス停から出られなくなることを踏まえなければならない。接触制御技術が必要になる。後軸操舵を備えた車両であるなら、蟹走りでの接触ができ物理的限界は無くなる。



(A) FOHと縁石の干渉 (B) 内輪差による隙間縮小限界 (C) ROHと縁石の干渉

図3.2.6-2 バス停縁石と車両乗降口ステップとの接触隙間の物理的限界

イ. 正着制御の現状調査

2001年に開業したRouen市 (フランス) の基幹バスTEOR (Transport Est-Ouest Rouennais) にSIEMENS製のドライバ操舵アシストシステム “Optiguide”が採用されている。2003年発行のCalifornia PATH Program論文 “Develop Precision Docking Function for Bus Operation” がある。2006年にEindhoven市 (オランダ) にデビューしたAPTS社

(オランダ大手VDL社のグループ企業) 製の連節バスPhileasのコンセプトがある。この三つのシステムにおける“車いすで直接乗降を可能とする自動操舵を利用した乗降場正着制御技術”は次の様である。

(1) SEIMENS社 “Optiguide”

システムは、Sony製のカメラで7m前方の白線を20mSec毎に検出して前軸の横位置をPID制御する。ハンドル角、前輪左右の実舵角を検出してブラシレスDCモータをトルク制御(油圧パワーステアリングではなく電動PSである)する。ハンドル角センサが主で実舵角センサは操舵系の機能監視のため設けている。

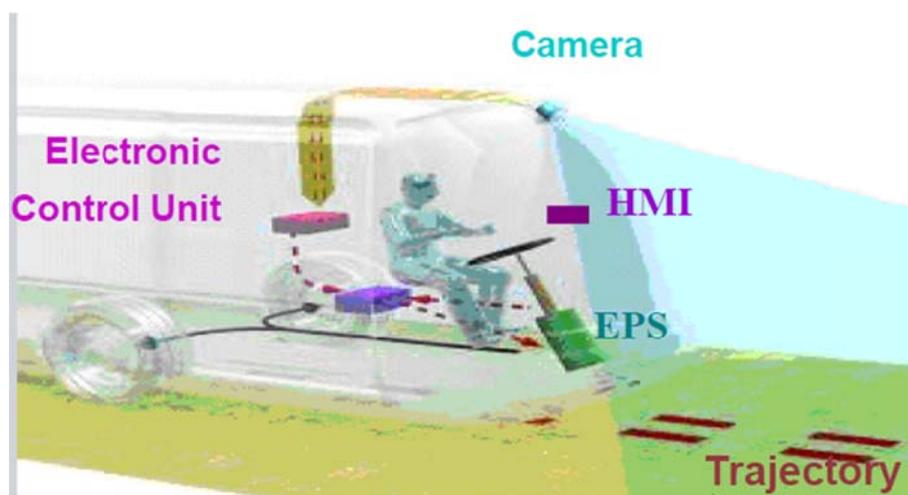


図3.2.6-3 SEIMENS社 “Optiguide”



図3.2.6-4 バス停テラス構造



図3.2.6-5 専用タイヤの実装

バス停縁石と車両乗降口ステップの目標隙間は $50 \pm 3\text{mm}$ 。これが前軸の横制御だけで車両姿勢制御を要せず実現している。そのポイントは次の①～⑤による。

- ① バス停の路面にはカントがついている (つけられている)
- ② 後車軸の整列はバス停に幅寄せするように“斜め整列”に保全整備している
- ③ バス停縁石はタイヤが当たって擦れる構造にしている
- ④ タイヤのサイドウォールはバス停縁石に擦れ、“斜め整列”のため生じる横すべりに対応するためトレッド溝のなくショルダエッジがある専用タイヤを用いる。
- ⑤ 斜め整列軸であるので前側と後側は微小交角がついて直進する

バス停は電車の駅のプラットホームの様に直線で長い“テラス型”になっている(図3.2.6-6)。旋回侵入するバス停のプラットホーム侵入部に割込み曲線を設けて図3.2.6-2

に示した接触隙間の物理的限界を解決している(図3.2.7-7)。



図3.2.6-6 電車の駅の様に直線で長いテラス型プラットフォーム

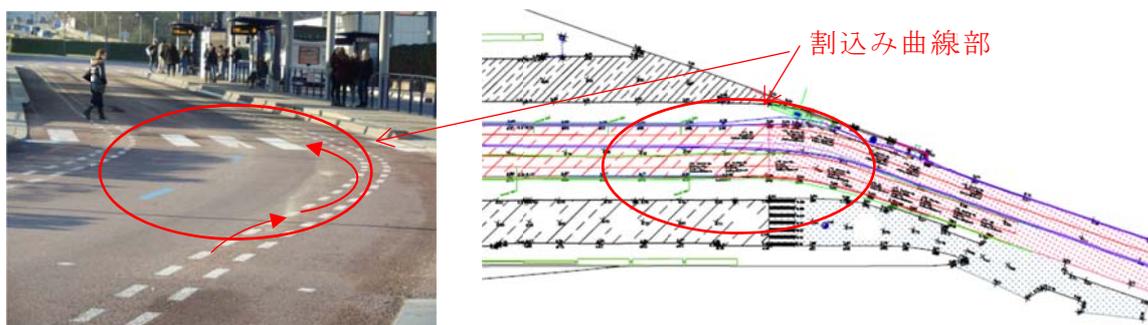


図3.2.6-7 割込み曲線を設けたバス停

(2) California PATH Program論文

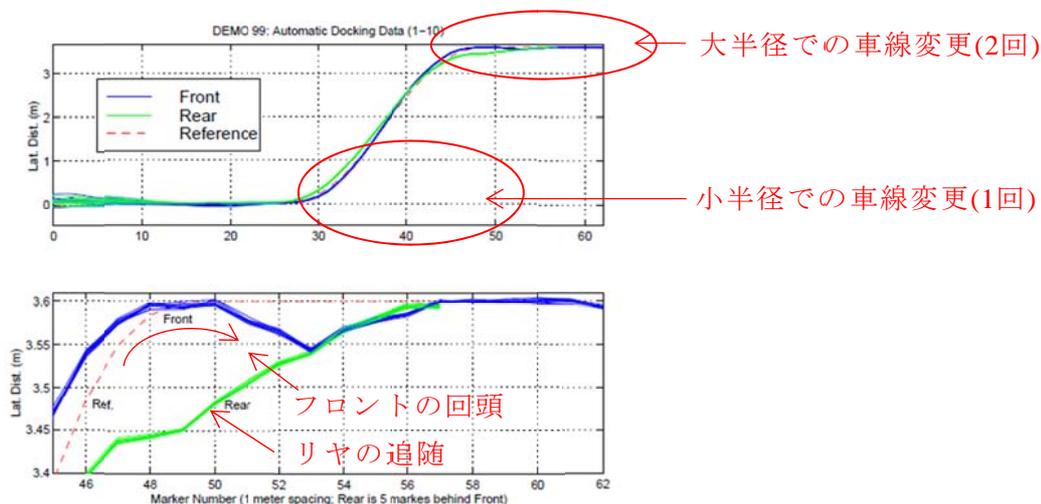


Fig. 1.3 Automatic precision docking demonstration data.

図3.2.6-8 PATHのバス停接舷のデモデータ

California PATH research Report UCB-ITS-PRR-2003-11 (ISSN 1055-1425) の報告がある。路面に埋め込んだ永久磁石の位置をマップとして持ちフィードバックをかけて走行する。図3.2.6-8のデモデータが掲載されている。

小半径での車線変更の後に大半径での車線変更動作をして巾寄せする状況が観察される。

(3) APTS社（オランダ大手VDL社のグループ企業）製の連節バスPhileas の調査

全輪操舵 $\pm 10^\circ$ で内輪差のない同軸走行とバス停隙間を吸収する巾寄せ走行が出来る。車輪回転（距離把握）と各輪舵角（方向把握）の実走行データから軌道モデルを用意して制御FF項としてフィードフォワード制御をし、路面に埋めた磁石の位置を検出して進路ずれを修正するフィードバック制御を行うシステムフィロソフィであるが、安全性政府認可が得られず手動運転で運行している。



図3.2.6-9 APTS社連節バスPhileas

ウ. 正着制御技術の構成要件と仕様の整理

(1) 対象とするバス停のタイプ

正着制御における正着精度はバス停の形状に大きく依存する。現在バス停の形状は図3.2.6-10に示す3種類が存在している。形状Bのバスベイは停車中のバスが他の一般車両の交通障害にならないよう配慮されたものであり、形状Cのバスベイは同様な目的であるが正着性の向上を目指したものである。

ARTが常時専用レーンで運行することが前提の場合はAタイプのみで検討すればよいが混在レーンでの走行も想定し、A、BおよびCのバス停での高精度な正着性能を実現することが求められると思われる。

(2) 正着制御に対する要求性能

正着制御の最大の目的は車椅子やベビーカー、高齢者などの交通弱者の乗降性の向上であり、バスのドア部とバス停を極力密着して停止することが求められる。

一方正着に対しては車両とバス停の段差の解消も求められが、この段差を常時一定の範囲に抑えることはタイヤの空気変化や乗客数の変化を考慮すると非常に困難である。そこで、この段差解消には車両からのステップやスロープ補助装置との組み合わせが必要となる。

車側のステップやスロープ補助装置がない場合は3cmの正着性が必要であるが、バス側のスロープ装置やステップ装置利用を想定した場合、平均10cm程度が妥当であり、バラツキを $\pm 5\text{cm}$ で制御するのが現実的と思われる。表3.2.6-1に正着性能目標をしめす。

表3.2.6-1 正着性能目標

	正着目標性能	
	段差解消装置がない場合	段差解消装置がある場合
中心間隔距離	3cm	10cm
バラツキ幅	$\pm 1\text{cm}$	$\pm 5\text{cm}$

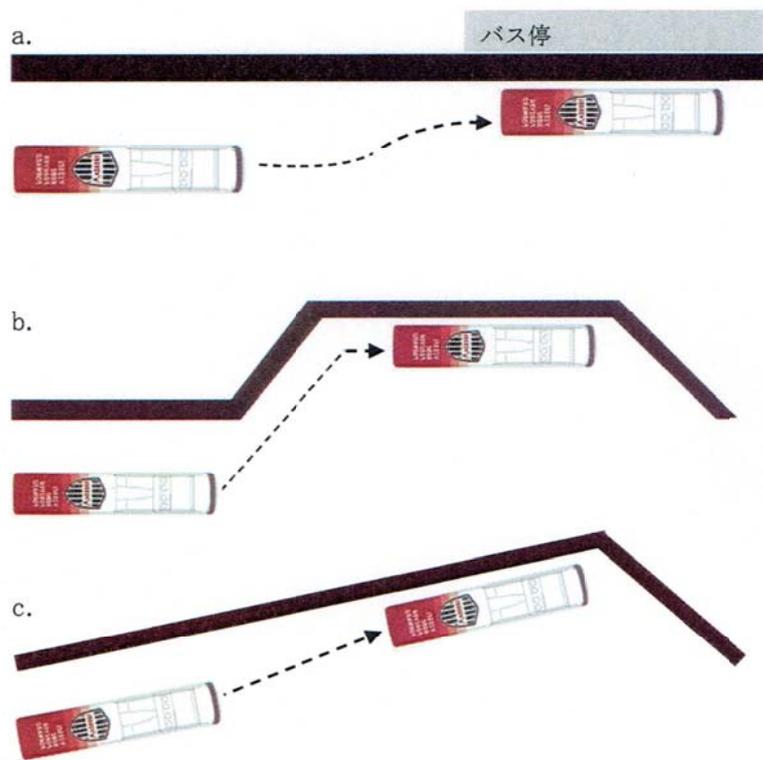


図3.2.6-10 検討すべきバス停形状

(3) 車両側の自動ステップや自動スロープ補助装置の実例について

欧州では乗降時の段差解消として図3.2.6-11 に示す自動ステップや自動スロープ補助装置が実用化され実際のバスに使用されており、ARTにもこのような段差解消装置の搭載が求められる。



(A) ステップ方式

(B) スロープ方式

(出典：東洋電機技報 第111号 2005-3 p. 36-37)

図3.2.6-11 鉄道車両用スロープ、ステップ

3.2.7 車椅子固定技術の検討

ア. 車いすの調査

日本工業規格のJIST9201に手動車いすについて、JIST9203に電動車いすについて、種類、性能、構造、寸法及び形状、外観、試験条件、試験方法などについて規定されている。国際規格ISO7193および7176を基礎として用いている。図3.2.7-1に示す種類がある。

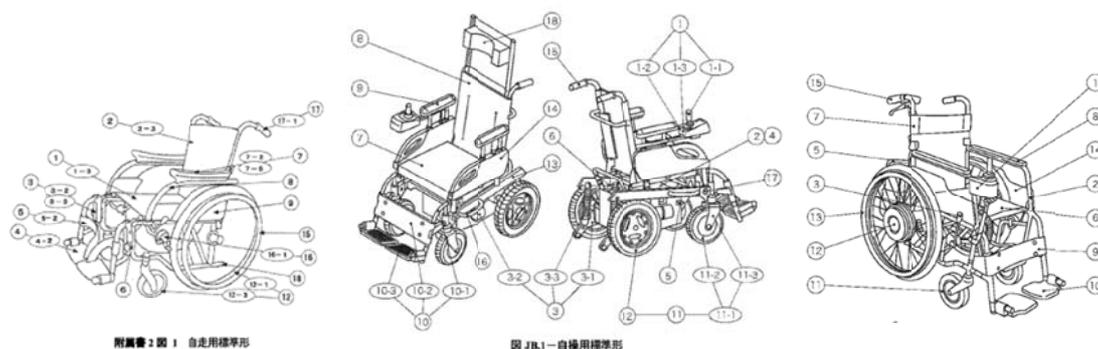


図3.2.7-1 JIS規格に記載される手動車いすと電動車いす

公益財団法人テクノエイド協会の福祉用具情報システム（TAIS）には図3.2.7-2に示す多くの種類が登録されている。

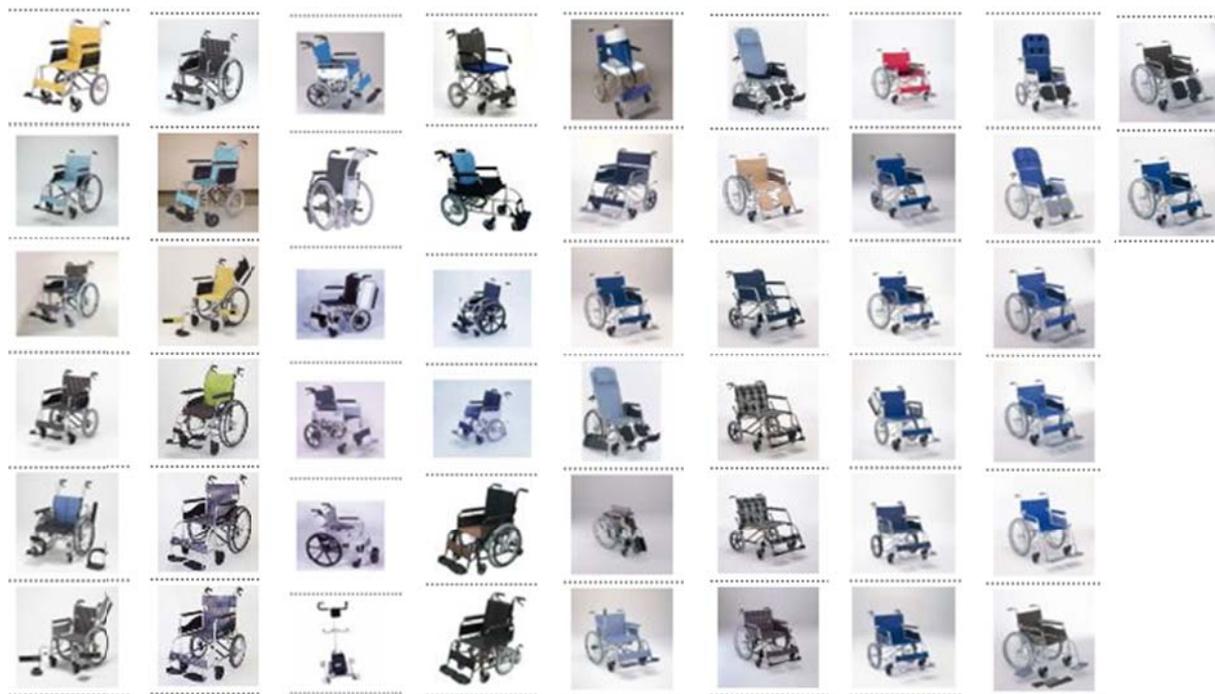


図3.2.7-2 公益財団法人テクノエイド協会福祉用具情報システム（TAIS）の車いすの種類

イ. 車両の車いす固定装置の調査

現在のノンステップバスの優先席の車いす固定スペースとコーションプレートの写真を図3.2.8-3に示す。左上に折りたたみ式優先席とベビーカー用ベルト及び車いす固

定用ベルトアンカー（2脚分設置）、左下に椅子の折りたたみ操作方法、右上にベルト装着のコーションプレート、右下に車いす固定方法を示す。車いすは4本のベルトを床の3か所のアンカーにかけて固定して、更に車いす利用者に腰ベルトを掛ける。



図3.2.7-3 現行ノンステップバスの優先席の車いす固定スペースとコーションプレート

平成14年度 次世代普及型ノンステップバスの標準仕様策定報告書（平成15年3月国土交通省自動車局）によると添付資料のように定義されている。

本報告書によると、標準仕様として後向き、前向きのいずれも可としいずれも仕様できる様にしておくのが合理的と報告されている。そこで、以下に、前向きでの迅速化の視点で車いす固定装置について国内外を調査検討する。

1) 国内調査

(a) アンクラージャパン株式会社

- ・セルフロック・セルフテンション：リトラクタの使用によるベルト張りの簡単化



ワンタッチ操作

簡単にしっかり固定！
 解除レバーを1回押すだけで、ベルトを最後まで引き出すことができます。ワンタッチで操作できるので、ベルトの引き出しの際、常に解除レバーを押し続ける面倒な手間がかりません。



セルフロック・セルフテンション

セルフロック・セルフテンションにより、自動的に巻き取りが開始されます。ベルト巻取りの際、リトラクターは任意の場所でロックするため、解除レバーによるロック作業が不要です。これらの操作はすべて片手で可能です。また、走行時の横みに対応してリトラクター自身で再びテンションとロックがかかります。



(b) 中央発條株式会社

床に埋め込んだ固定装置からワイヤロープを引出し車いすのフレームにかけて手動または電動でワイヤに張力をかけて固定する。

車いす固定装置は簡単なレバー操作で、安全・確実に車いすを固定するシステムです

中央発條株式会社
 Copyright © 2012 Chuo Spring Co., Ltd. All right reserved.
 CHUHATSUは中央発條株式会社の登録商標です

- 高強度のワイヤロープの使用により確実に固定
- 操作は簡単、約4秒！※（ワイヤを掛け、レバーを押し上げるだけ）
- すべての操作が車いすの後方から行えます。
- 車いすの大きさを問わず、さまざまな車いすに対応可能
- 独自のラチェット機構により、ワイヤのゆるみを防止。（アクシデント発生時も安全）
- コンパクト設計により、自動車をはじめ船舶・鉄道・リフト等にも取付可能

※1：機種や車いすの形状によっては若干の差が生じる場合があります。

床埋込みタイプ



(c) 株式会社オーテックジャパン

床に埋め込んだ固定装置からベルトを引き出してフレームにかける手動式と床に設置された装置に車輪のはめ込み電動固定する。多数の櫛が出て車輪のリムに嵌り固定する。

▶ 手動式固定装置

手動式固定装置(オーテックエルコ社, ワンタッチ・ロック)は, 床下に埋め込み形式で, マイクロバスやワンボックスカーに取り付けることができる固定装置です。車いすのフレームにフックを掛け, 固定レバーの操作によりベルトを引っ掛けて固定します。適切に操作されていれば, 車いすは床面にしっかりと固定されます。



手動式固定装置

▶ 電動式固定装置

電動式固定装置(オーテックエルコ社, 電動チェアロック)は, 路線バス用に開発された固定装置です。固定装置に車いすの後輪を入れ, 手元のスイッチを操作することで簡単に車いすの固定・開放ができます。スイッチは車いす使用者の手元に配置されるため, 車いす使用者自身が固定装置の操作を行うことができます。また, 片側の後輪だけが固定されるため, 手動式固定装置ほど, 強固には固定されませんが, 動揺する旅客船でも十分に使用できると考えられます。



電動式固定装置

(d) Q-STRAINT者/泰平電機株式会社



床面へのアンカーレール
(固定位置自在)



電動でセンター
リング固定



床に取り付け
る固定装置

椅子の下に
取り付ける
フック

World leading company in wheelchair solutionの会社。背もたれ、アンカー、アンカーレール、ベルト全般を揃える。上段右の写真は車椅子の外側をワンタッチ固定。下の写真は車いすの下にフックを取付け、そのフックが床に固定した固定装置に嵌り自動固定される。

(e) 欧州の調査



図3.2.7-5 ルーアン市のBRT（Bus Rapid Transit）の車内空間と乗客利用の事例

交通エコロジーモビリティ財団が毎月開催するバリアフリー推進ワークショップの第18回にて「子育てにやさしいまちを考えるイベント」があった。この中で、子連れで外出する時に困っていることの上位に「電車やバスなどの公共交通機関が子供連れの移動に配慮されていない」とある。ここでは、車いすの短時間固定技術の求めに単純に答えるのではなくて、ベビーカーへの配慮ほかとのかかわる答えを指向する。図3.2.7-5にフランスルーアン市のBRT（Bus Rapid Transit）の車内空間と乗客利用の事例を示す。乗降口とバス停縁石との段差、隙間は小さく乗降の負担がない（左上）。中

扉からフリースペースが広がる。フリースペースの車両先方に後向きの優先席がありその後ろに後向きの車いす・ベビーカースペースがある。中扉の奥は車両内側向きの立席が並ぶ。つり革は無い。後部席はタイヤハウス上に前向きに2列ある。フリースペース中央付近にポールがありタッチセンサがある。乗客はタッチセンサに触れて立席或いは着座する。乗客全員がフリースペースの内側を向いてお互いが顔を合わせるFace to Faceの輪ができる。車いす・ベビーカーの後向きが自然に映る。その仕掛けがフリースペース設計に潜む様である。車いす・ベビーカーの固定具の備えはない。必要ない感が湧く。横にインターホンがある。

車いす前方に目隠し板の必要と後向きへの方向転換のスペースの必要が報告されている。広いフリースペースとお互いが顔を合わせる立積・座席配置・優先座と車いす席の一体感が日本の後向き車いすスペースの課題解消方向を示しているのではないだろうか？

ウ. 自工会の意向

車いすスペースと固定装置、フリースペース、優先席について次のようである。

車いすスペースは前向き又は後向きを考慮する。前向きの場合は、3点ベルトにより床または車体に固定し、かつ人ベルトを用意して希望により装着でき、後向きの場合は、車いすの回転スペースを確保し、背もたれ板を設置して、横ベルトで固定する意向である。

フリースペースは、ベビーカーを折りたたまず乗車できるスペースを設け、車いすスペースと共用できるとし、共用スペースに備える座席は、常時跳ね上げ可能な座席、ベビーカーを固定するベルトを用意する意向である。

優先席は、乗降口に近い位置に3席以上前向きに設置し、対象乗客が安全に着座でき、かつ、立ち座りに配慮した構造とする意向である。

エ. ARTにおける車いす固定法の検討

平成14年度 次世代普及型ノンステップバスの標準仕様策定報告書（平成15年3月国土交通省自動車局）の5章各部位の要件の考え方の5.3車いすスペース・固定装置の(3)項のガイドラインを支持する。即ち、車いすの前向き固定と後向き固定を備え、前向きの簡単固定と後向きの目線が気になる点の対策が必要です。

以上の観点から固定法の検討を行った。

(a) 前向きの簡単固定

後車軸タイヤハウス前に背もたれ付の前向き車いすスペースを設ける。簡単固定は、車いす使用者が手を伸ばして引き込むことが出来るリトラクタブルベルトで対応する。このベルトは一方をバスの横壁、他方を背もたれに取付け、急制動の際の前跳び、急旋回の際の横跳びを防止する。

(b) 後向きの目線対策

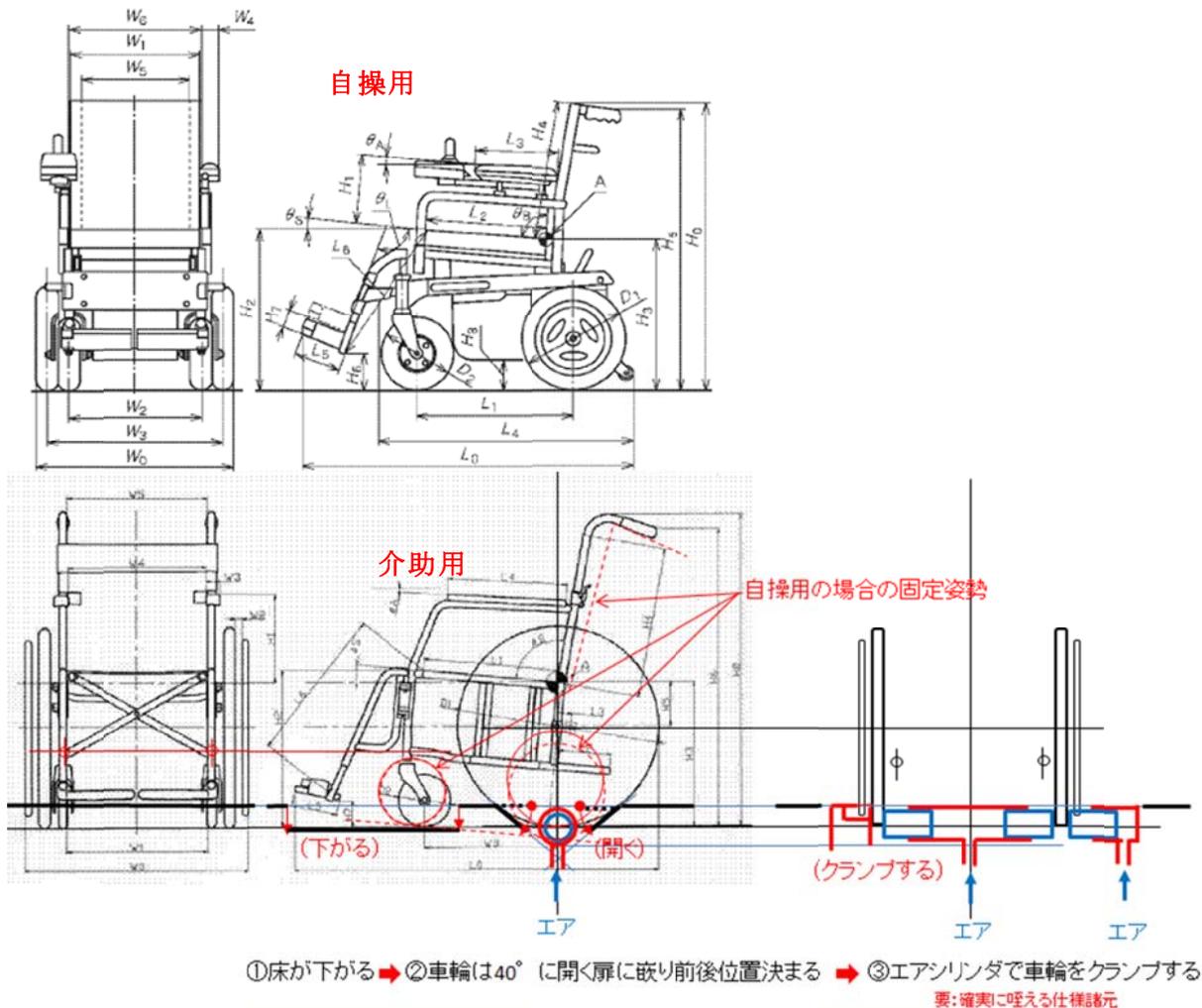
前車軸タイヤハウス後に背もたれ付の後向きスペースを設ける。急旋回の際の横跳びに備え車いす使用者が手を伸ばし引き出せるリトラクタブルベルトを用いる。ベル

トの一方はバスの横壁に取付、他方は背もたれに取り付ける。目線は後部段差の高見からの目線が無いフルフラット床仕様での採用を考慮する。

(c) 車イス固定方法の検討

検討案の図3.2.7-6に示す。車いすを車いすスペースに止めて手が届く場所に設けられたスイッチ等を操作すると床が下がりエアシリンダにより車輪がクランプされる。左右両輪の内側から自動芯出し拡張するシリンダと片側シリンダによって車輪をクランプする。再びスイッチ等を操作するとクランプ解除され床が戻る。床の上下とクランプの作動源は、運転者によって操作されるニーリング装置の空気システムを利用する。自動芯出し拡張するので車いすのトレッド近い、車輪太さ違いに適応する。被追突など車両後方からの衝撃が作用した場合の後転を防止する背もたれが必要である。

本案機構にて本人が自ら操作できるので、短時間での車いすの固定・解除が可能となり、ドライバーの手助けの必要性も大きく低減し、短時間での乗降も可能となる。



バスがニーリング中(運転者の安全監視責任を考慮)に・・・
 車いすを定位置に止めて、リリーススイッチをONにすると下記の①②→③がワンタッチ作動する

図 3.2.7-6 車イス固定案

3.2.8 車両構造の調査

ART で考慮が必要な車両構造の先行事例の調査を行った。

(1) 車室内空間の拡大に関する調査

日本ではノンステップバスの後軸から前の部分を低床化したセミノンステップバスがノンステップと称され、全長10.5m級と11m級がある。

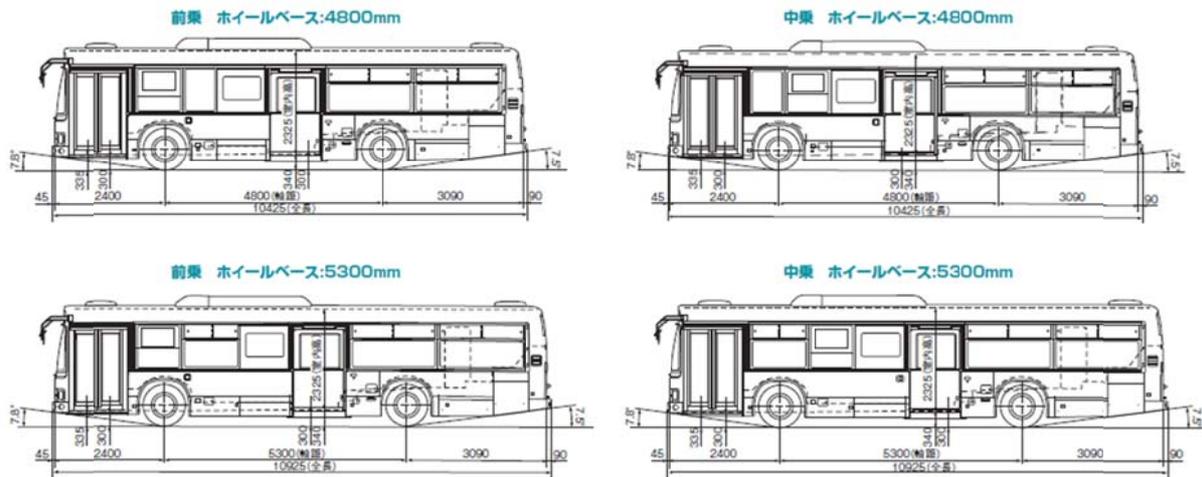


図3.2.8- (1) -1 日本の路線バス（ノンステップ）

平成20年度から平成23年度の国土交通省委託事業「地域のニーズに応じたバス・タクシーに係わるバリアフリー車両の開発」報告書がある。平成20年度版の33頁に現行のノンステップバスに対する不満（図3.2.8- (1) -2）が示されている。

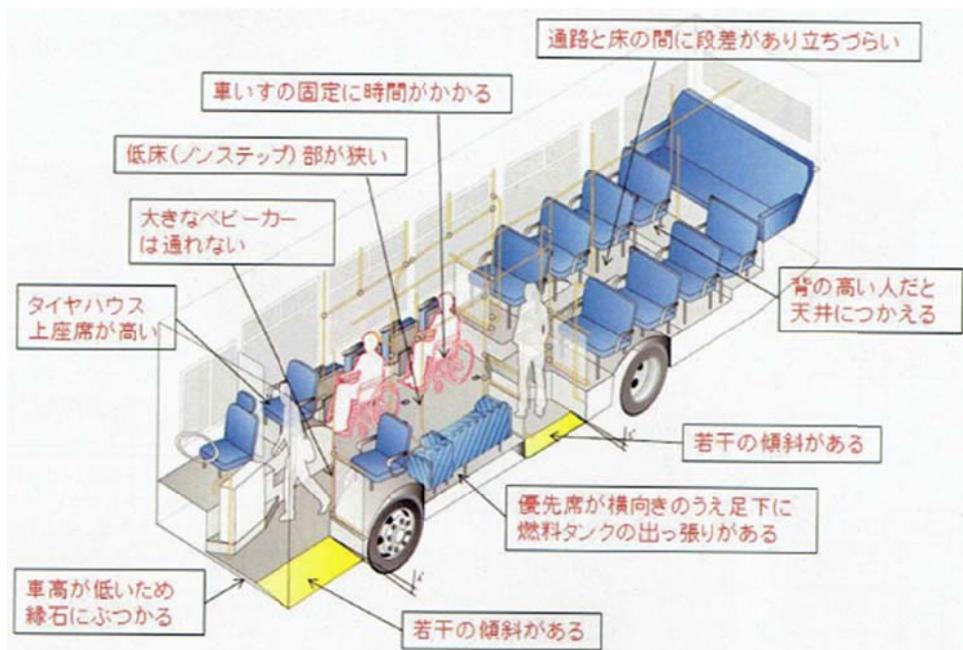


図3.2.8- (1) -2 現行のノンステップバスに対する不満

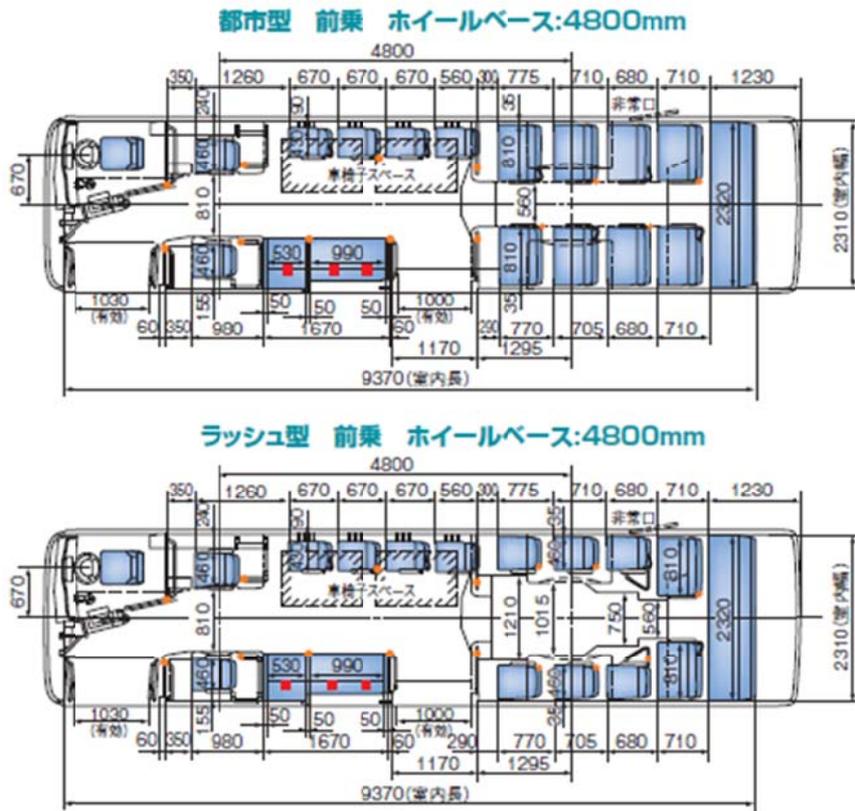


図3.2.8- (1) -3 実質定員減に対処するラッシュ型の導入



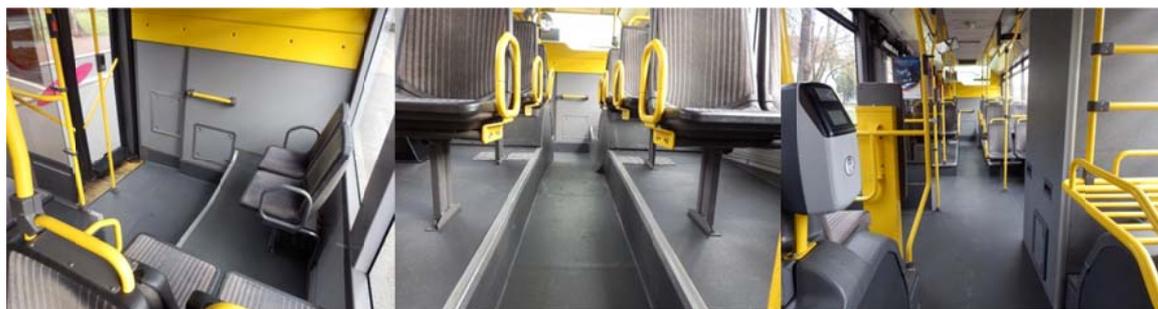
図3.2.8- (1) -4 フランス・ドゥーエ市の路線バスの外観

「車内空間に関すること」「ベビーカーや車いす等の優先席に関すること」「車高が低いために車両前部床を縁石にぶつけること」への不満に集約される。通勤混雑時

に後部段差への乗客移動がなく実質定員減になる状況対策のため、後部座席を二人掛から一人掛座席にして立席面積を増したラッシュ型が導入されて現在に至っている（図3.2.8-（1）-3）。

欧州では全長10.5mと12m級があるが、フロントオーバハング部とホイールベース間とリヤオーバハング部に扉がある三扉の低床バスが主体である（図3.2.8-（1）-4）。

車内空間は後部に若干盛り上がりあるも車両前端から後端までフラットである（図3.2.8-（1）-5）。



最後部扉

後軸部の若干の盛り上がり

前端から後部までフラット

図3.2.8-（1）-5 フランス・ドゥーエ市の路線バスの室内

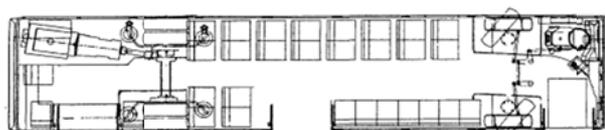
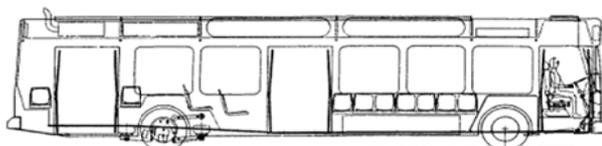
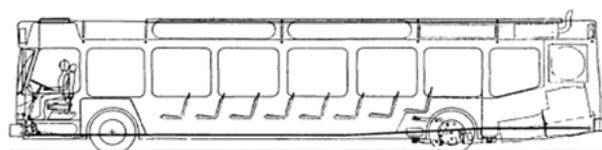


図3.2.8-（1）-6 欧米低床バスの動力系設計と搭載設計

（出典：Cooperative Resaech Program/Transportation Research Board Natinal Reseach Council）

バス停で購入する切符ないし磁気カードあるいはICカードによる信用乗車方式であるので車内での金銭授受はない。乗客は三つの扉から一斉に乗降するので停車時間は短い。

このような三扉と車両空間はリヤオーバハング部に配置されるエンジン・トランスミッション・リアアクスルの動力系のコンパクト設計とその搭載設計によっている。

通常、リヤオーバハング部の車両中心に縦に配置される動力系を左に寄せ、リヤアクスルを中央部にデフケースを備える通常方式から、中央部を低くした「ドロップセンタ・アクスル（図3.2.8-（1）-7）」にして前端から後端までの低床と三扉を可能にしている。

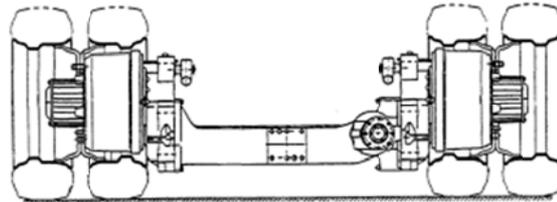


図3.2.8-（1）-7 低床バスのための“Drop Center Rear Axle”

この場合のエンジンは縦向きのまま左に寄せているがエンジンを横向きにして車両後部に搭載する方式もある。MANのLow floor chassisの横向きエンジン搭載例を図3.2.8-（1）-8示す。車両最後部にパワーユニットを横向き且つ立体的に格納して室内空間を拡大している。

Product segment: Chassis
Low floor

Model	Dimensions					Engine	Steering ¹⁾	Gearbox	Axes/suspension		Tank	Electrical system (alternators)
	Body length (m)	Wheel base (mm)	Overhang Front (mm)	Rear (mm)	Width (mm)				FA	RA		
NM xx3 F (A35)	9.70-10.40	4,410/5,110	2,378	2,728	2,350	D0836 LOH, EURO 4: 176/205 kW (240/280 hp) D0836 LOH, EEV: 184/213 kW (250/290 hp)	LHD	Voith: auto-matic ZF: auto-matic	Rigid axle/air suspension	Portal axle/air suspension	Diesel: 30 l (transfer tank)	2 x 120 A
NL xx3 F (A22)	10.50-12.00	5,875	2,510	3,305	2,430	D2066 LUH, EURO 4: 199/228 kW (270/310 hp) D2066 LUH, EURO 5: 235 kW (320 hp) D2066 LUH, EEV/EURO 6 ²⁾ : 206/235/265 kW (280/320/360 hp) E2876 CNG, EEV/EURO 6 ²⁾ : 200/228 kW (272/310 hp)	LHD/ RH-D	Voith: auto-matic ZF: auto-matic	Rigid axle/air suspension	Portal axle/air suspension	Diesel: 280 l (opt. 375 l) CNG: 4 x 294 l aluminium Dynatec 8 x 205 l aluminium Dynatec 6 x 214 l Raufoss 8 x 214 l Raufoss	2 x 120 A (opt. 3 x 120 A)
NG xx3 F (A24)	18.00-18.75	5,105/5,875	2,510	3,305	2,430	D2066 LUH, EURO 4: 228/257 kW (310/350 hp) D2066 LUH, EURO 5: 235/265 kW (320/360 hp) D2066 LUH, EEV/EURO 6 ²⁾ : 235/265 kW (320/360 hp) E2876 CNG, EEV/EURO 6 ²⁾ : 228 kW (310 hp)	LHD/ RH-D	Voith: auto-matic ZF: auto-matic	Rigid axle/air suspension	Portal axle/air suspension	Diesel: 350 l (opt. 100 l) CNG: 4 x 294 l aluminium Dynatec 8 x 205 l aluminium Dynatec 8 x 214 l Raufoss	2 x 120 A (opt. 3 x 120 A)

1) Steering configuration: LHD - left-hand drive, RH-D - right-hand drive
2) EURO 6 available over the course of 2013

図3.2.8-（1）-8 MANのLow floor chassisの横向きエンジン搭載例

EU委員会の下に地方自治体、バスメーカー、バス事業者によって組織されるUITP（Union Internationale des Transports Publics / International Association of Public Transport）が2008年9月から4年間のプロジェクト活動して成果報告したEBSF（The European Bus System of the Future）がある。図3.2.8-（1）-9にVolvoのBus System of Futureを示す。



図3.2.8- (1) -9 VolvoのBus System of Future



図3.2.8- (1) -10 ScaniaのUITP/the bus of the future

現在の欧州のバスの前車軸は運転手後部にあり、室内にタイヤハウスが張出し車内空間を阻害している。Volvo コンセプトでは前車軸を車両前端に移動して運転席の下に納めてタイヤハウスの張出を無くし車内空間を拡大している。大扉を配し一斉乗降を期している。このコンセプトは2007年5月のScaniaのUITP報告のthe bus of the future（図3.2.8- (1) -10）に遡る。

Scaniaコンセプトのバスは、運転席の下に前輪を配置してフロントオーバハングを無くし車体前端下部が縁石に接触する問題を解決して、車体後端に積上げその下に独立懸

架の後輪を配置してリヤオーバハングを無くし車体後端下部が縁石に接触する問題を解決している。広くフラットな床の究極を極め、長いホイールベースと独立懸架によって振動を抑え乗心地を良くしてAmbianceな空間（バリアフリー思考の原点）を生み出している。日本の日野の小型バスポンチョ（図3.2.8-（1）-11）は、Scaniaコンセプトを実現している。この大型バス版が実現すれば前述の現行ノンステップバスへの不満は解消される。



図3.2.8-（1）-11 Scania Conceptを先取りしている日野小型バス「ポンチョ」

(2) 連接バス等の調査

大都市圏、地方都市圏、過疎地域、それぞれの地域特性にあった「あるべき公共交通システム」に柔軟適応できる車両構造について述べる。基幹機能としての連節バスと補間機能としての単車バスの関係が考えられる。連節バスには、エンジンを前車に置いて後車を牽引するプルタイプと、エンジンを後車に置いて前車を押すプッシュタイプがある。プルタイプは連節角をリンケージで捉え第3軸を操舵して小回り性に優れる反面、エンジンスペースのため前側車両の客室空間面で劣る（図3.2.8-（2）-1）。

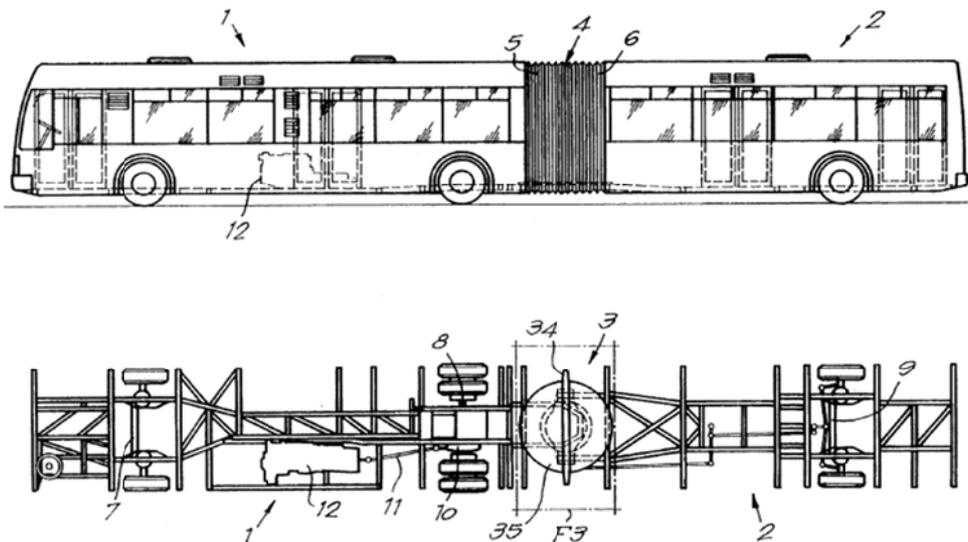


図3.2.8-（2）-1 プルタイプ連節バスの例

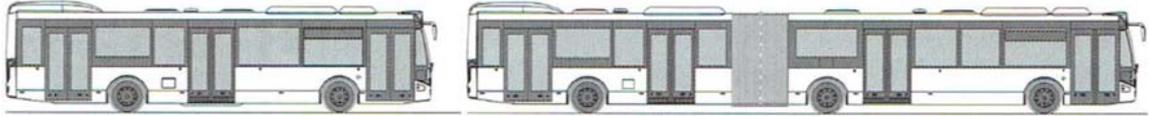


図3.2.8- (2) -2 連節バスモジュールとしての三扉ノンステップバスと連節バス構成

プッシュタイプは、エンジン動力ユニットを車両後部に収めてフラット床を車両前部から後端まで確保したノンステップバス単車をモジュールにして、後部エンジン動力ユニットが無い前車と前軸がない後車を連節して構成する。欧州では、この単車モジュール要件を満たす三扉ノンステップバス主流であり、これをモジュールとするプッシュタイプの連節バスが大勢を占める。図3.2.8 (2) -2はオランダのVDL社の例であるが、欧州の全てのコーチビルダが保有している。この連節機構を図3.2.8 (3) -3に示す。この機構はJointech Vehicle System Co.、Ltdの寡占状況にある。

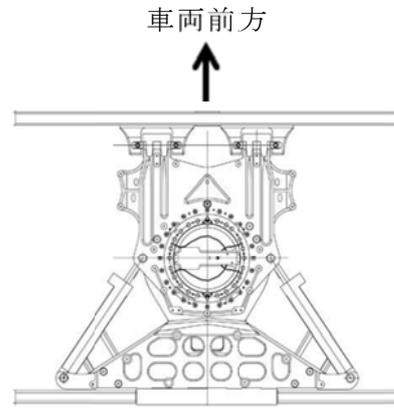


図3.2.8- (2) -3
プッシュタイプ連節バスの連節機構



外観

車内前方

車内後方

図3.2.8 (2) -4 フランス Douai市で稼働するダイムラ系Evea連節バス

フランスのDouai市で稼働するEvea（ダイムラ系）連節バスの車両外観と車両室内を図3.2.8- (2) -4に示す。前側車両のフロントオーバーハングとホイールベース間、後側車両の駆動軸前部と駆動軸後部の4か所に乗降口があり、車両室内は前方から後方までフラットである。エンジンは後側車両後部に収まっている。フラット通路を後端まで通す場合のエンジン搭載は図3.2.8- (2) -5の様にエンジン縦置きのままに左に寄せる対応と図3.2.8- (2) -6の様にエンジンを横置きにして収める対応がある。

エンジンの縦置き横置きいずれの場合も通常駆動軸中心にあるデファレンシャルギヤケースが邪魔になる。図3.2.8 (2) -7に低床バスのためのドロップセンタリヤアクス

ルの例を示す。デファレンシャルギヤはハブリダクションギヤと組合せることでコンパクトに纏め図の右下に収められている。この図のタイヤはダブルタイヤである。10トンアクスルを想定して275/70R-22。5を2本使用するダブルタイヤからスーパーシングルタイヤ455/45R22。5に置き換えるとタイヤ総巾が598mmから471mmになり通路幅を254mm拡大できる。

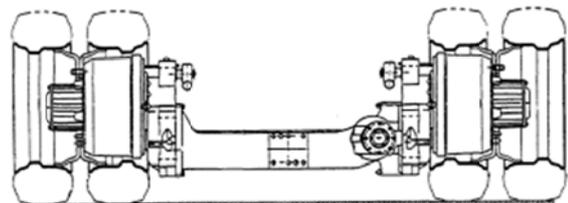
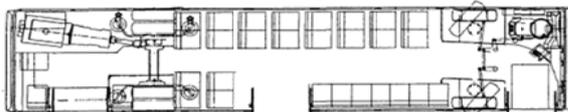
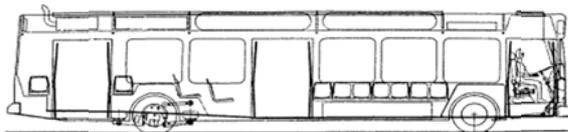
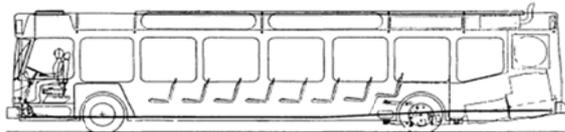


図3.2.8- (2) -5 エンジン縦置きのままに左に寄せる対応

図3.2.8- (2) -7に低床バスのためのドロップセンタリヤアクスルの例

Product segment: Chassis
Low floor

Model	Dimensions				
	Body length (m)	Wheel base (mm)	Overhang Front (mm)	Rear (mm)	Width (mm)
NM xx3 F (A35)	9.70-10.40	4,410/5,110	2,378	2,728	2,350
NL xx3 F (A22)	10.50-12.00	5,875	2,510	3,305	2,430
NG xx3 F (A24)	18.00-18.75	5,105/5,875	2,510	3,305	2,430

Engine	Steering ¹⁾	Gearbox	Axles/suspension		Tank	Electrical system (alternators)
			FA	RA		
D0836 LOH, EURO 4: 179/205 kW (240/280 hp) D0836 LOH, EEV: 184/213 kW (250/290 hp)	LHD	Voith: automatic ZF: automatic	Rigid axle/air suspension	Portal axle/air suspension	Diesel: 30 l (transfer tank)	2 x 120 A
D2066 LUH, EURO 4: 199/228 kW (270/310 hp) D2066 LUH, EURO 5: 235 kW (320 hp) D2066 LUH, EEV/EURO 6 ²⁾ : 200/235/265 kW (280/320/360 hp) E2876 CNG, EEV/EURO 6 ²⁾ : 200/228 kW (272/310 hp)	LHD/ RHD	Voith: automatic ZF: automatic	Rigid axle/air suspension	Portal axle/air suspension	Diesel: 280 l (opt. 375 l) CNG: 4 x 294 l aluminium Dynatec 8 x 205 l aluminium Dynatec 6 x 214 l Raufoas 8 x 214 l Raufoas	2 x 120 A (opt. 3 x 120 A)
D2066 LUH, EURO 4: 228/257 kW (310/350 hp) D2066 LUH, EURO 5: 235/265 kW (320/360 hp) D2066 LUH, EEV/EURO 6 ²⁾ : 235/265 kW (320/360 hp) E2876 CNG, EEV/EURO 6 ²⁾ : 228 kW (310 hp)	LHD/ RHD	Voith: automatic ZF: automatic	Rigid axle/air suspension	Portal axle/air suspension	Diesel: 350 l (opt. 100 l) CNG: 4 x 294 l aluminium Dynatec 8 x 205 l aluminium Dynatec 8 x 214 l Raufoas	2 x 120 A (opt. 3 x 120 A)

¹⁾ Steering configuration: LHD = left-hand drive, RHD = right-hand drive
²⁾ EURO 6 available over the course of 2013

図3.2.8- (2) -6 エンジンを横置きにして収める対応

3.2.9 先読み運転制御技術の調査検討

近年、Deep Learningをはじめとする人工知能（AI）技術の発展により自動運転に応用しようとする試みが始められている。ここでは衝突防止のための危険予測法として、AI技術において中核を成すANN（Artificial Neural Network）について調査するとともに高度運転支援技術への適応を検討した先読み運転制御技術への適用を検討した。

ア. 人工知能全般における現状について

AIとは、生物が数多くの経験から特徴や規則性を学習により獲得し、それに基づいて認識を行う能力を機械で実現することを目指した技術の総称である。近年注目を集めているDeep Learningは教師有り学習により駆動される多層型ANNで構成されている。海外の事例では、Audi社がnVidiaとの共同開発によってこれを車載化することに成功している。

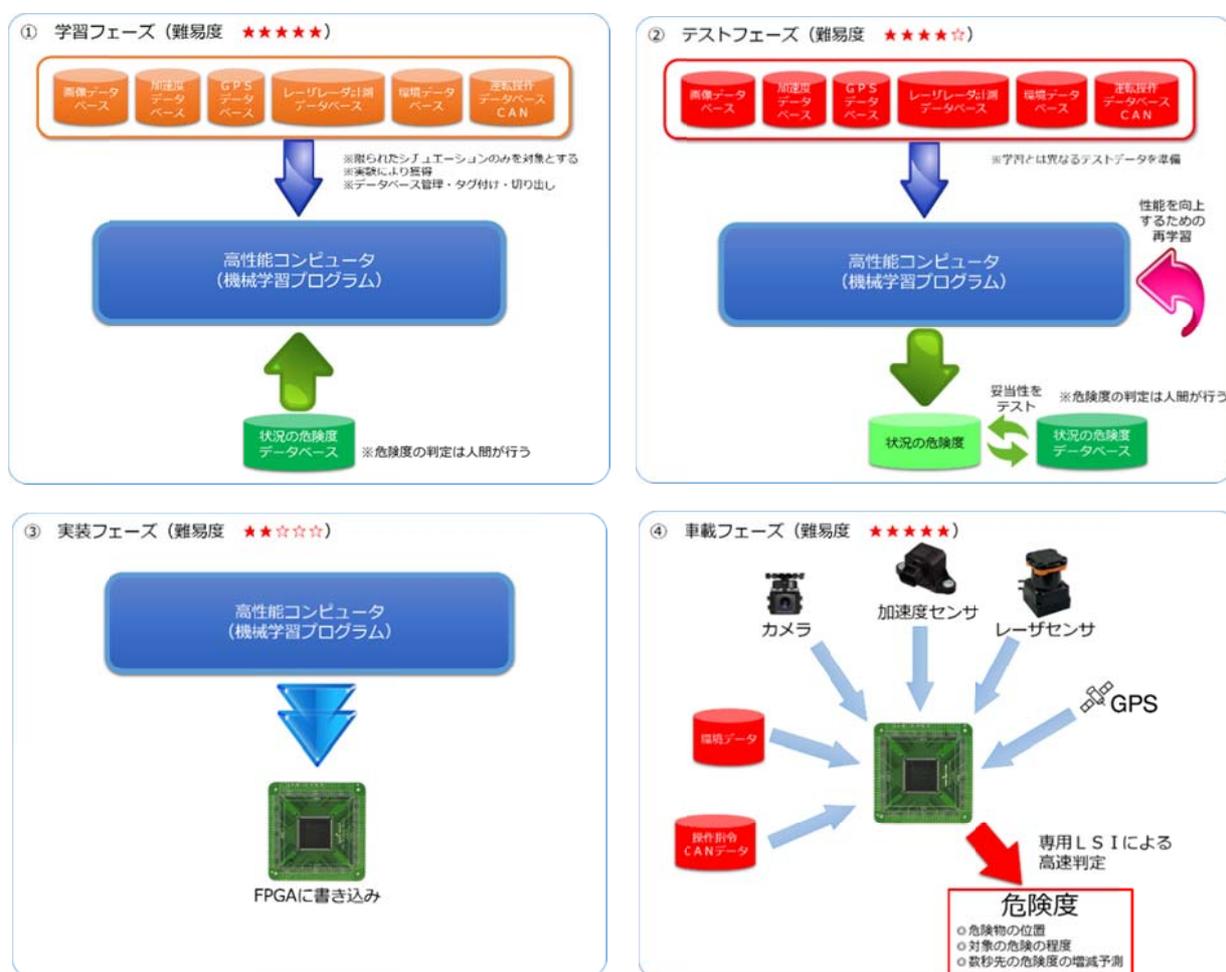


図3.2.9-1 機械学習により開発された機器を車載するまでの流れ

この技術を車載用危険予測に用いることを考えてAIを構成する手順としては、予め収集した様々な場面のセンサ信号（ビッグデータ）から各場面の危険度を評価して分類するためのプログラムを構築して訓練し（学習フェーズ）、そのプログラムが未経験の場面に遭遇した際にも、適切にその危険度を予測できるよう調整する（テストフ

ューズ) という流れで行う。さらに構成されたANNプログラムを車載し利用するためには、高速化と低消費電力化が必要である。一般に、ANNは膨大だが単純な並列計算を伴うため、一般的なCPUでは動作が非常に遅い。そのために、テストフェーズで調整が終わったプログラムを集積回路化して車載し試験を行う開発段階を経る必要がある。以上のANNの構成の方法論によって交通状況を判断する装置を車載するまでの手順を図3.2.9-1に示す。

一方で、種々の交通状況に対する自動車の制御方策を人間がプログラムする場合には、すべての場合分け(クラスタリング)の境界超平面を設計するのが困難もしくは実務上不可能である。通常、人間によるプログラムでは、各種センサの閾値を超えた場合の処理を場合分けして構成するのが精いっぱいである。それに対するANNの長所は大きく三つあげられる。まず、学習能力である。これは、ANNが入力に応じた出力を定める境界面を学習により適切に構築する能力であり、その能力をプログラミングするのは比較的楽である。次に、クラスタリング能力である。すなわち、分類の境界面設計が学習の本質であるので、どこかにクラスタリング漏れが発生するプログラミングミス回避できる。三つめの長所は汎化能力である。ANNによる認識時には、未知のデータに対しても学習データの補完によって出力することが可能であり、また入力データの欠損に対しても補完能力がある。

イ. 危険予測手法の概要

1) システムの目的、仕様

バスが急ブレーキをかける大きな要因の一つに、バス停からの発信時に自転車やバイクの接近に関する事例がある。そこでここでは「バス停からの発進(車線合流)時に、バスに接近してくる自転車やバイクとの衝突の危険度を予測し、急ブレーキを回避するシステム」を具体的な開発仕様として仮定し、その構成方法について説明する。また、その他の場合(信号待ちからの発進、右左折時など)へ拡張するための技術的な方法論を検証する。

構成するANNは2種類に大別される。一つ目は対象物を環境から検出するためのANNであり、自転車とバイクなどの特定の物体をリアルタイムで抽出する機能を有するものである。これを**検出用ANN**と呼ぶ。二つ目は、その対象物の位置や振る舞いなどから、近未来の危険度を予測するためのANNである。これを**予測用ANN**と呼ぶ。これらのANNは連動して実時間で駆動される必要がある。

2) センサシステムの仕様、開発

バスの右後方の情報を取得するため、カメラ、レーザセンサ、加速度センサを設置し、それらを同期させた信号を取得する。昼間のみであればカメラのみでも対応可能であると考えられるが、夕暮れ時から夜間にかけてはカメラの他にレーザセンサも必要である。また、加速度センサは、バスの加減速の情報を取得するために必要である。

ウ. 学習データ収集

上記センサシステムをバスに搭載し、実環境でのデータ収集を行う。対象を自転車

とバイクのみに限定し、必要なデータ量の見積もりを行う。危険な状況につながる、もしくはその恐れのある状況をシーンと呼び、1000シーンほど収集する。予測用ANNの学習に用いる具体的な学習データは、例えば、入力を10秒間のカメラ画像やセンサ信号の時系列データとし、出力をそのシーンの結果として、自転車やバイクなどがバスに急接近して衝突したり、バスが緊急操作を行ったりしたかどうかで設定する10段階の危険度などを想定する。検出用ANNは同じシーンを利用して学習が可能である。この際、路線バスの様々なバリエーションのシーンや、貸し切りバスを利用して人工的にシーンを作り出し利用する。

エ. 学習データベース構築

上記で収集した動画データから危険な場面、危険につながる場面、危険につながる可能性のある場面を手動で切り出し、画像中の自転車やバイクの座標の抽出、危険度の割り当てを行う。

さらに、オントロジーの利用により交通状況に関する情報の埋入も検討する。オントロジーとは、「計算機で知識レベルの処理を行うための基礎となる知識」の記述である。オントロジーを導入することにより、データの検索や分析を高度化することが可能となる。たとえば、私道は一般道を特殊化した概念であるが、オントロジーを記述しておくことにより、一般道で通用する通常交通ルールを私道に適用しながら、私道特有の交通ルールを記述することが可能になり、そのルールを元に推論、意思決定などが可能となる。さらにオントロジーの利用は、知識や推論方法の明示化という段階を経るため、一定の安全保証、動作保証が可能となるという利点がある。

オ. 予測用ANNの構築

検出用ANNの学習やテストは予測用ANNの構築に付随して同様の手法で行うことが可能であるため、ここでは特に予測用ANNの構築方法について記述する。

1) 学習フェーズ

収集・データベース化されたシーンを用いて、各シーンの危険度を予測する学習を行う。具体的には、画像中の自転車とバイクの位置・速度と危険度の関係を抽出することである。

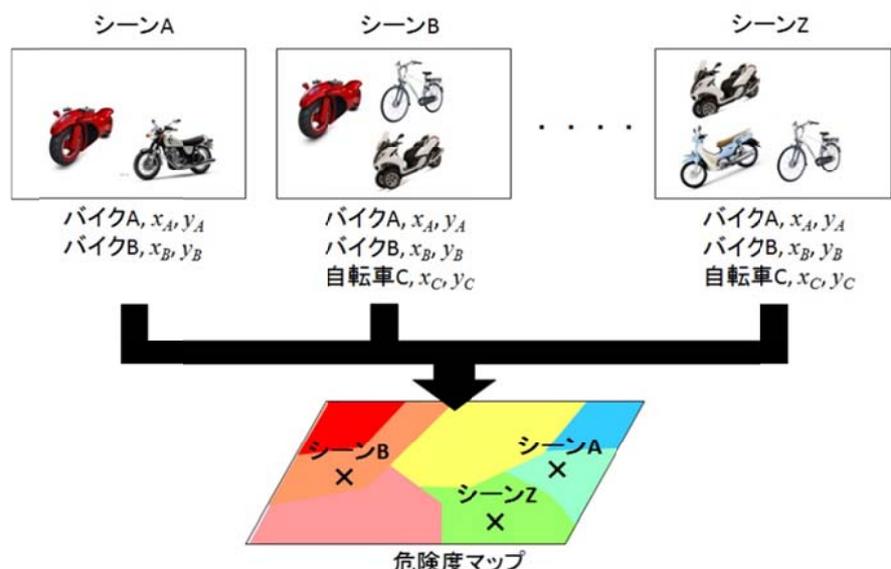
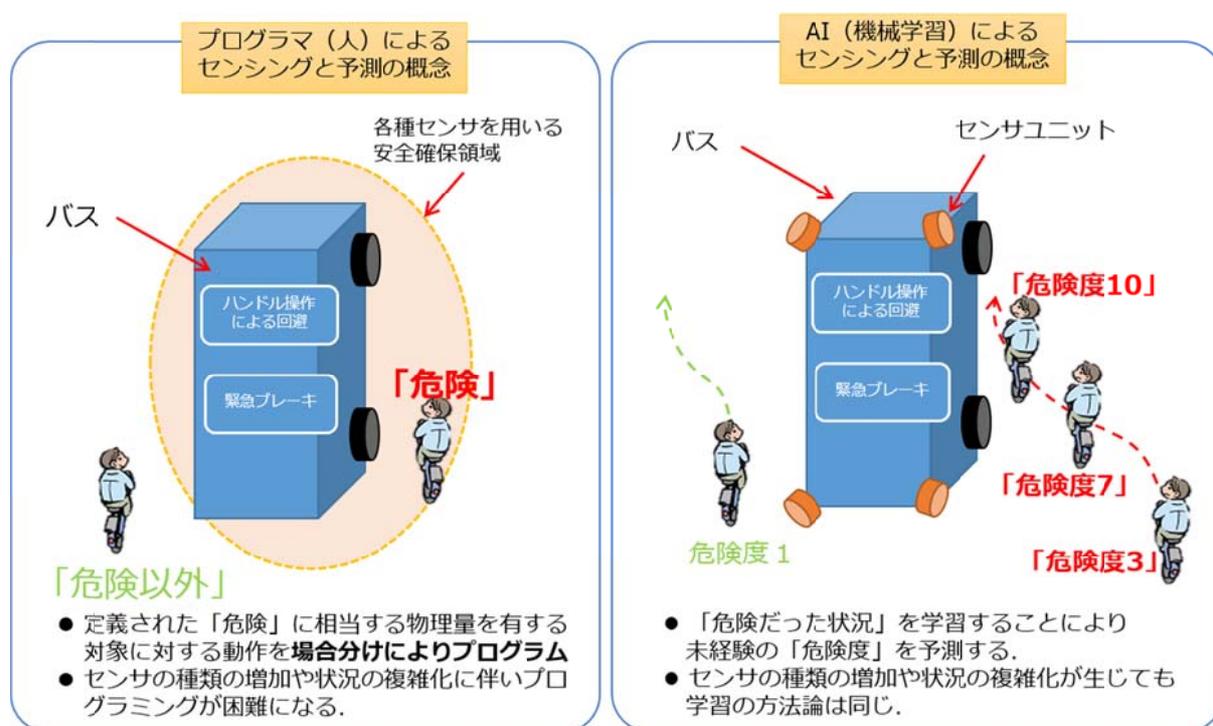


図3.2.9-2 AIの長所の概念

個々の対象の抽出と追跡に関しては、これまで多くの研究が行われているが、画像中に複数の対象が存在し、その台数、位置、速度が動的に変化する場合は危険度の算出に新しい手法が必要である。解決案として、(1) シーンの種類マップを作成し、マップ上に危険度を割り当てる方法(図3.2.9-1)、(2) ディープラーニングを適用する方法、が考えられる。本開発では、双方の方法で検討を行っていき、精度、計算時間、ハードウェア実装などを総合的に判断して最終的に決定する。

2) テストフェーズ

ANNに種々の観測シーンを入力して危険度などを出力させ、それが妥当であるか検証する。妥当でない場合には、適切な出力が得られるよう学習の一部を修正する。テストフェーズで用いるデータは、実際のバスの運用において得られるデータが望まれる。したがって、路線バスに搭載した各種センサからの実データを膨大に収集して実験する。



(各シーンから対象物の位置、速度を抽出し、それらの画像上の分布に基づき危険度マップを作成)

図3.2.9-3 シーンの種類マップ

カ. FPGA実装とシステム化

前項までで得られた危険度推定アルゴリズムとデータベースを車載化するために、FPGA(Field Programmable Gate Array)によるハードウェア化を行う。FPGAは内部の論理回路が書き換え可能な半導体である。学習機械やこれに用いるデータベースは、前項までの研究の進展に従い良いものに更新されていくため、hw/sw複合体を適用して実時間処理と省電力化の両方を実現する(図3.2.9-1)。これにより、ワークステー

3.3 交通システムにおけるARTの調査検討

3.2 で整理したARTの機能と技術開発要件との関係をブロック線図によるアーキテクチャ構造として示すとともに各開発技術に対するシステム要求仕様を調査検討した。

3.3.1 導入対象とする都市域での交通体系全体設計

3.2項で抽出された技術抽出要件をもとに大都市圏および地方都市を想定した場合のARTにおける交通体系全体設計をおこなった。

(1) 大都市部を導入対象とした交通体系設計の実施

大都市圏におけるARTの交通体系全体設計にあたり、以下の項目を前提条件として全体設計をおこなった。

- ・輸送量を1時間当たり1500人以上と想定
- ・幹線道路を主路線とした鉄道駅間の輸送

図3.3.1-1に大都市圏における幹線道を主路線としたARTを想定した交通体系全体設計をしめす。

大都市圏における交通体系全体システムは主に鉄道系、ART系、一般路線バス系および自動車系で構成され、ARTの定時性、速達性および輸送量を維持するため、開発技術要件は主に高度PTPS—ACC連動制御技術、CACC、高度運行管制技術等より構成される。

定時性、速達性を向上するため、主路線と交差する道路においてはPTPS装置が設置され、ART車両通過に同期して信号機の現示状態が制御される。

PTPS制御を実施した場合において発生することが想定される交差側道路での渋滞発生を抑制する必要がある。一方、大都市圏のARTには時間あたり1500人以上の最大輸送力が求められる。これは2分毎の運行に相当し、信号現示サイクル時間内に2台のART車両が通過する可能性がある。

このため、進行現示時間内に2台のARTを通過させるため、CACCによる車群を形成して運行される。

大都市圏では鉄道の運転間隔が短いため、鉄道の到着時間に合わせたARTの運転制御は行わず、各鉄道の運行状況が車両内およびバス停表示装置にリアルタイムに情報提供される。

ART車の走行位置や速度情報はクラウドサーバ等を経由してART運行センターにて管理されており、運行間隔にバラツキが出ないように用発車時間が調整されている。

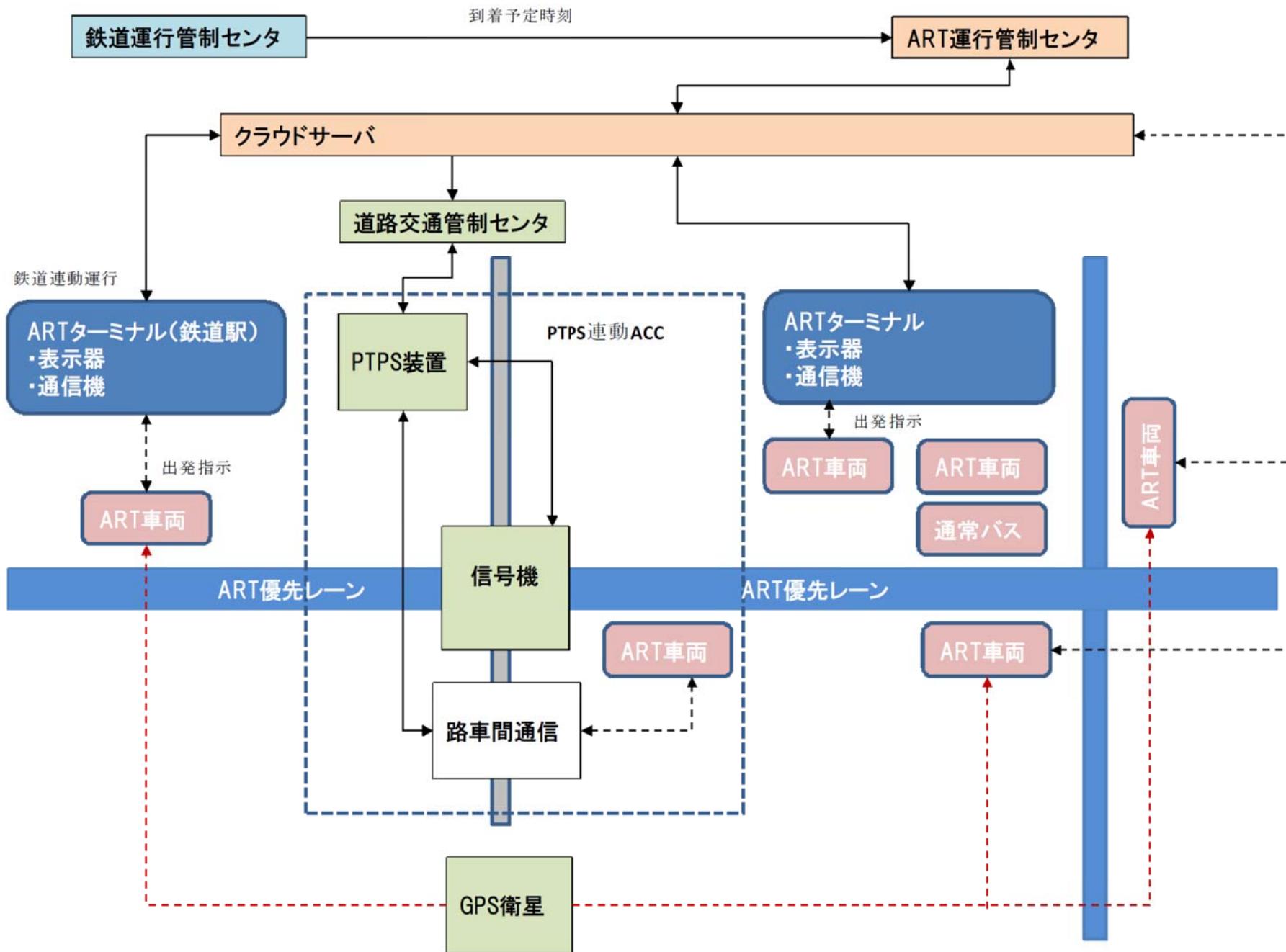


図3.3.1-1 大都市圏における幹線道を主路線としたARTを想定した交通体系全体設計

またART運行センタに集められたART路線における各車両の位置情報や速度情報は道路交通情報センタに送出され、渋滞情報に利用される。

(2) 地方都市を導入対象とした交通体系設計の実施

地方都市におけるARTの交通体系全体設計にあたり、以下の項目を前提条件として全体設計をおこなった。

- ・輸送量を1時間当たり500人程度と想定
- ・主要鉄道駅を中心とした放射上の輸送

図3.3.1-2に地方都市における交通体系全体設計をしめす。

大都市圏と同様交通体系全体システムは主に鉄道系、ART系、一般路線バス系および自動車系で構成され、ARTの定時性、速達性および輸送量を維持するため、開発技術要件は主に高度PTPS-ACC連動制御技術と高度運行管制技術等より構成される。一方大都市圏のARTに必要なCACCによる車群走行は信号1サイクルがARTの台当たり運行時間間隔より短いため不要と考えられる。

定時性、速達性を向上するため、主路線と交差する道路においてはPTPS装置が設置され、ART車両通過に同期して信号機の現示状態が制御される。

大都市圏では鉄道の運転間隔が短いため、鉄道の到着時間に合わせたARTの運転制御の必要性はないが、地方都市では鉄道の運行間隔が長い。また鉄道駅を中心にバス路線が構成されているため、バス各路線の乗り換えターミナルとして使用される。このため、単に各鉄道の運行状況に関する情報提供だけでなく、ARTは鉄道の運行時間に合わせて運行制御される。

ART車の走行位置や速度情報はクラウドサーバ等を経由してART運行センタにて管理されており、鉄道の運行状況に合わせた発着制御や運行間隔にバラツキが出ないよう発車時間が調整されている。

またART運行センタに集められたART路線における各車両の位置情報や速度情報は道路交通情報センタに送出され、渋滞情報に利用される。

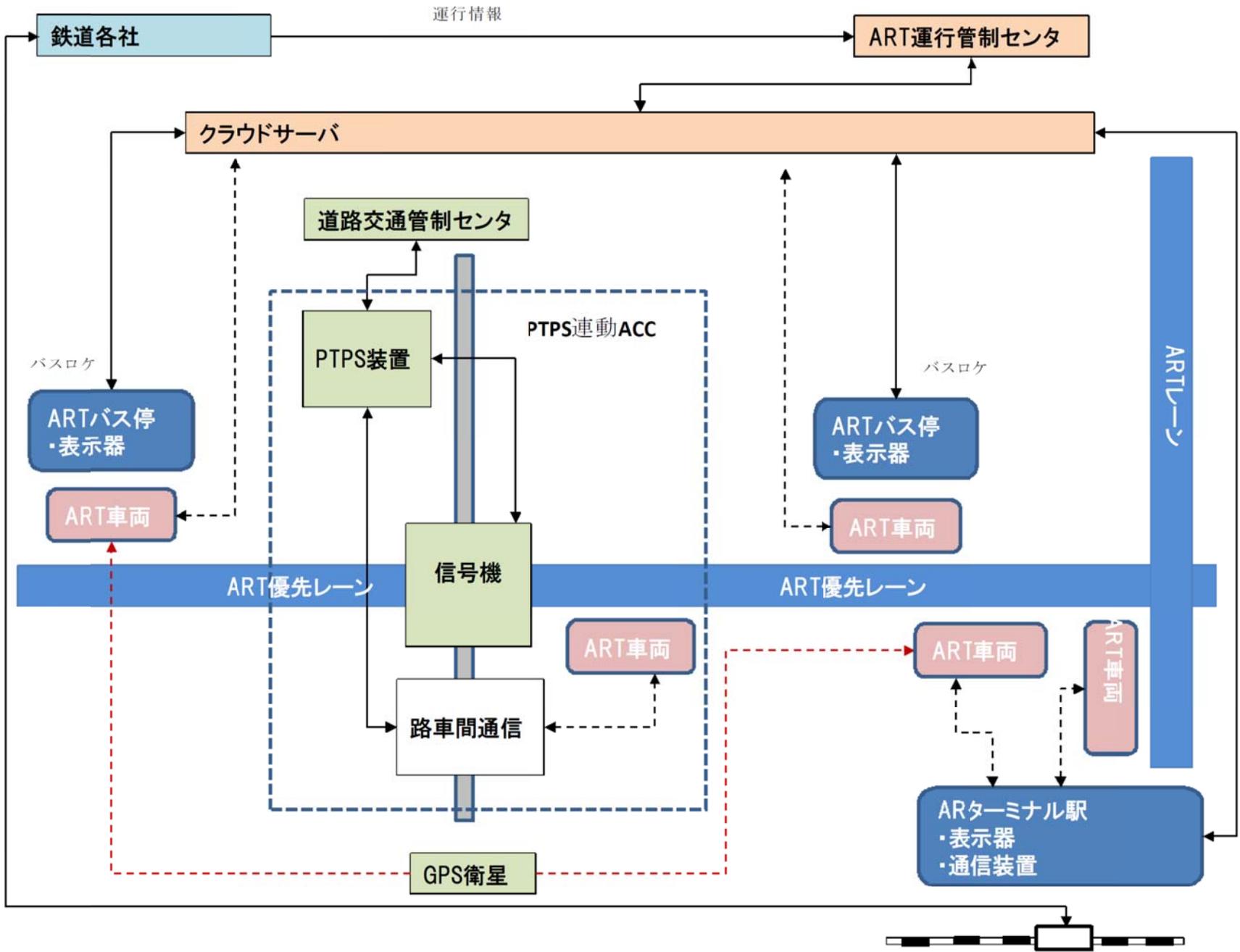


図3.3.1-2 地方都市における交通体系全体設計

3.3.2 公共交通システムとしての性能設計

交通システム全体設計をもとに大都市圏および地方都市におけるARTに求められる性能設計検討を実施した。

大都市圏のARTはLRTとオールタナティブの関係にあるため、求められる輸送力はLRTと同程度と想定される。

そこで国内および欧州で運用されているLRTの輸送力データをもとにARTに求められる平均的輸送性能を想定した。

表3.3.2-1に想定したARTの要求性能をしめす。

表3.3.2-1 大都市圏におけるART性能設計仕様

項目		設計仕様	備考
輸送需要	日平均	20000人以上	
	ピーク需要	2500人/時間以上	
	最大乗員	60人	
必要運行本数		30本/時間	単車は2台車群
路線延長		5km以上	
駅間隔長		500～700m	
表定速度		30km/h	
定時性		誤差3分以内	
ピーク時運行頻度		2分	
ピーク時輸送容量		2800人/時間	
車両	定員	単車：70人程度	
		連接：130人程度	
	ステップ数	ノンステップ	
	ドア数	2以上	
	乗降時間	3秒/人	含む料金収受

この結果、朝夕の通勤、通学時間帯のピーク時需要を2500人/時間とし、この需要を満たすため、ART1編成の最大乗車数を120人とするると運行間隔3分以内の運行がもとめられる。

中間ART停留所での乗降時間を平均1分（乗降者20人）と想定すると、後続車両のバスベイへの進入待機状態は解消され、快適な運行が確保される。

次に地方都市におけるARTの性能設計をおこなった結果をしめす。

地方都市におけるARTに求められる輸送能力を現在国内に導入されているBRTの代替用として検討した。

次に地方都市におけるARTの性能設計をおこなった。

基本となる輸送需要については地方都市における主要バス路線の需要実績をもとに設定した。

設計した地方都市における性能設計仕様を表3.3.2-2にしめす。

運行としては大都市圏が車群または接続車両での運行に対し、地方では単車での運行が基本となる。

運行間隔は最少でも5分間隔であり信号現示の1サイクルより長いため、この意味からも車群走行の必要はない。

表3.3.2-2 地方都市におけるART性能設計仕様

項目		設計仕様	備考
輸送需要	日平均	5000人以上	
	ピーク時需要	500人/時間以上	
	最大平均乗員	60人	
必要運行本数		12本/時間	単車にて走行
路線延長		5km以上	
駅間隔長		500～700m	
表定速度		30km/h	
定時性		誤差3分以内	
ピーク時運行頻度		5分	
ピーク時輸送容量		700人/時間	
車両	定員	単車：70人程度	
	ステップ数	ノンステップ	
	ドア数	2以上	
	乗降時間	3秒/人	含む料金收受

3.3.3 自動走行技術を活用した効率的な運航設計

ARTの運行における基本は速達性、定時性の確保にあり、これを効率的に実現する上において以下の自動走行技術が極めて重要である。

- ・PTPSを効率的に運用するためのACC制御技術
- ・バス停での乗降時間を短縮するための正着制御技術
- ・事故を防止する安全支援制御技術
- ・悪天候時に対する走行制御技術
- ・安全交通信号進行現示時、複数ART車両を通過させるための車群走行技術

以下に各技術の基本的技術内容と目標要求性能をしめす。

(ア) PTPSを効率的に運用するためのACC制御技術

・制御技術概要

PTPSからの注意走行現示までの時間、または進行走行現時までの時間を基に、交差点通過又は交差点侵入までの距離をもとにリアルタイムに必要速度、加速度を算出し、高精度な速度制御をおこなう。一方交差点通過に必要な速度や加速度が最大許容範囲を超えた場合、速やかに緩やかな減速走行をおこない、停止線にて自動停止する。

- ・目標要求性能

信号通過には精度の高い速度制御が求められる。具体的には速度検出精度の関係より目標速度制御精度は $\pm 0.5\text{km/h}$ が必要と想定される。

- (イ) バス停での乗降時間を短縮するための正着制御技術

- ・制御技術概要

車椅子やベビーカーが直接バス停から車両に乗降できるようにするため、バス停縁石に沿って敷設された白線レーンマーカに沿ってハンドルが自動制御される。なお、バス停縁石と車両ドア間の離隔距離精度である正着精度をより高精度かするため、車両の速度も自動制御される。

- ・正着精度

車椅子やベビーカーが直接バス停から車両に乗降できるようにするため、目標正着精度は 3.0cm 以内が求められる。なお、車両側にバス停に渡すステップを設けた場合、ステップ長さより目標の正着精度は 6.0cm 程度が妥当と考える。

- (ウ) 事故を防止する安全支援制御技術

- ・制御技術概要

ART車の前方の歩行者や車両との衝突を防止するもので事故を防止することにより間接的に定時性、速達性を向上する。

ミリ波レーダやカメラを用いて前方の障害物や白線を検出するとともに、ドライバーが衝突の危険を見逃したり、心臓麻痺等の健康障害により運転ができなくなった場合、速度および操舵制御をおこないART車両を安全に停止する。

- (エ) 悪天候時に対する走行制御技術

- ・制御技術概要

大雨や降雪および濃霧等悪天候により前方視界が不良の場合、車載センサにより走行白線を認識すると共に、レーダ等の前方障害物センサを用いて走行環境を認識することにより自律的に走行する。

- ・目標制御仕様

ドライバーにとり前方視界確認が困難な豪雨時、降雪時および濃霧時において、最大速度 50km/h にて自律走行をおこなう。

- (オ) 複数ART車両を通過させるための車群走行技術

- ・制御技術概要

PTPSによる優先信号の効率を高めるため、車車通信および車間距離センサ、GPSを用いて2~3台のART車両により車群を形成するとともに車群内の各車両との車間距離を一定に保持しながら走行する。なお車間距離は一般車両の割り込みが困難な車間距離

に制御される。

- ・ 目標制御仕様

車群内の車間距離を約10mに制御し、一般車両の割り込みを防止するとともに最高速度50km/hにて走行する。

またバス停での発進時および停止時において乗客の車内転倒を防止するとともに快適な乗り心地を実現するため、最大の加減速度は0.03G以下に制御する。

3.3.4 ARTの車両に求められる基本要件の整理

交通全体体系の中でのART交通システムを支える要素技術として、車両構造、車両制御システム、センシング等の制御要素および通信システムについて、その要求機能や目標性能および車両制御システム全体のアーキテクチャを設計する。

(ア) 車両構造

大都市圏で運用されるARTには大きな輸送力が求められるため、通常のバスに比べ2倍以上輸送能力を有する連節構造をもつ連節バスがARTの車両として必要になると考えられる。

またARTの運行を効率的におこなう上で乗降時間の短縮による定時性、速達性を実現する必要があり、乗降をスムーズにおこなう上で極力フロアのフラット化をはかる必要があるが、一方路線バスではバリアフリー法の関係でノンステップ化をおこなう必要があるがこれはフロアのフルフラット化と相反する。ノンステップバスでのフロアのフラット化の観点からも単車より連節機構を有するノンステップ連節バスがARTとしふさわしいと思われる。

なお、乗降時間の短縮より、料金収受はカード方式とし、すべての乗降口からの乗降を可能にするとともに、連節車両では4個の乗降扉の設置がこのまじいと考えられる。

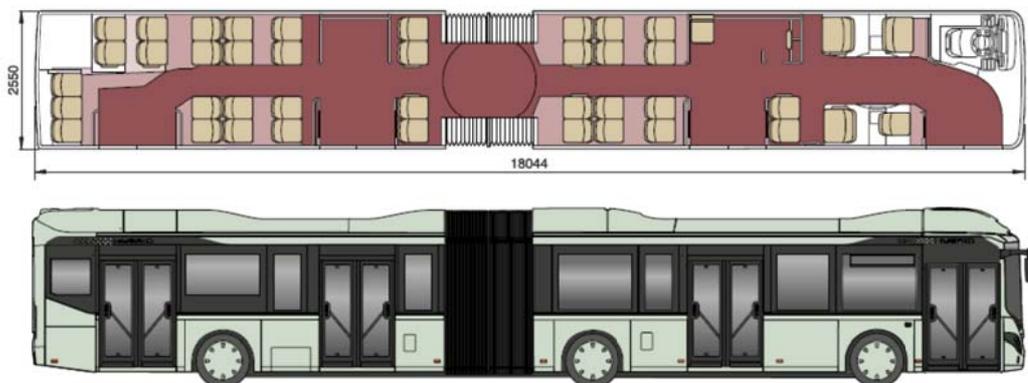


図3.3.4-1 ボルボ 7900連節バス室内配置

ノンステップ連節バスの一例として、図3.3.4-1にボルボ社のノンステップ連節バス7900の概観と車室内シート配置をしめす。

このバスの定員は154人で内座席数は41である。タイヤハウス部を除き床はフルフラットである。図3.3.4-2にこのバスの室内および運転席の様子をしめす。またバスの乗降扉は各車両に2個設置され、全乗降扉数は4個である。

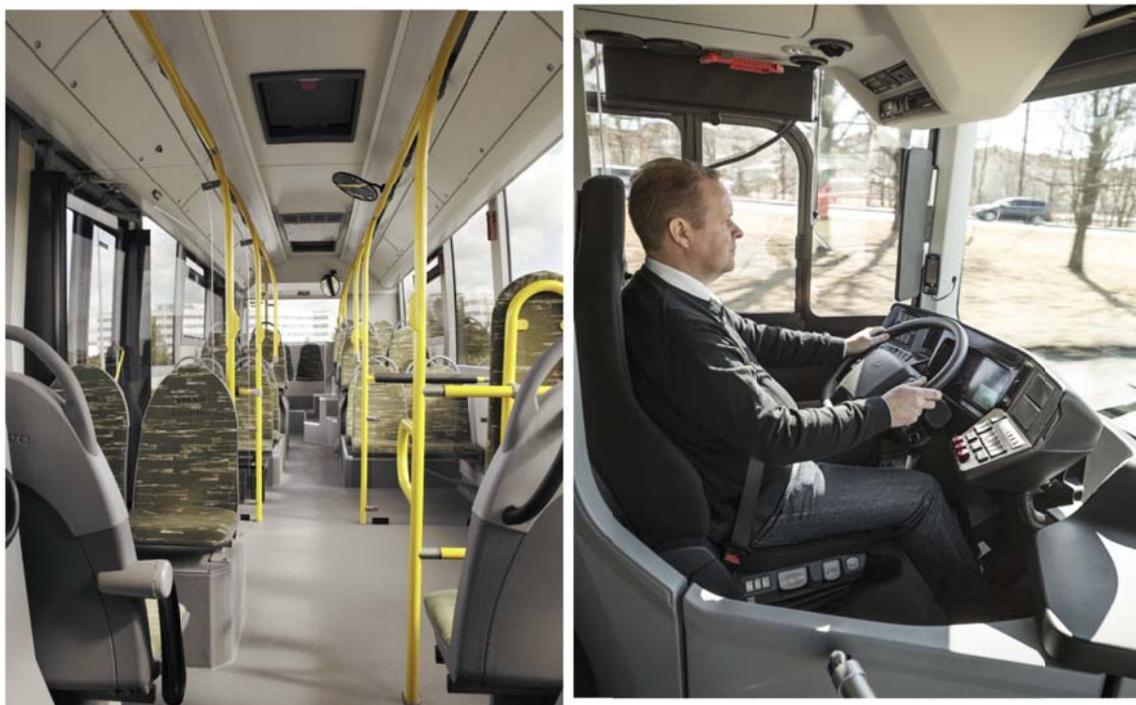


図3.3.4-2 ボルボ 7900連節バスの室内およびドライバー席

(イ) 制御システム

公共交通として、効率的な運行を可能とする制御システムにおける技術開発要件として、バスベイでの正確な正着を可能とする正着制御システム、横揺れや速度変動が小さく快適な乗り心地を実現するとともに安全な走行をおこなう走行制御システム、高度化されたPTPSと連動しながら交差点での停止を極力なくすPTPS-ACC連動制御システムおよび、PTPSの効率を高めるとともに輸送力を向上するCACC制御システムがあげられる。

・正着制御システム

正着制御システムはバスベイに停止時、バス停縁石と車両ドアとの離隔距離を近接距離に維持する制御システムで、バス停手前より前輪タイヤ操舵角度および速度が高精度に自動制御される。

正着制御システムはバスベイに敷設された白線等のレーンを検出するレーンマーカ検出センサ、制御開始位置を決定する位置検出センサおよび前輪タイヤを自動操舵する自動操舵装置および速度制御するブレーキ制御装置等から構成される。

・走行制御システム

走行レーンに沿って敷設されたレーンマーカと車両の離隔距離を一定に保って正確に走行する車線維持制御 (Lane Keep control) および前方を走行する車両との車間距離を安

全な車間距離に保つ車間距離維持制御（Adaptive cruise control）、障害物と衝突する可能性がある場合、自動的に減速および停止をおこなう衝突防止制御等の走行制御システムにより安全を確保する。

・PTPS-ACC連動制御システム

PTPS-ACC連動制御システムは公共交通優先信号システムPTPSと車両側の走行制御の協調制御システムで、ARTから送出される交差点到達時間等をもとにPTPS側ではARTが信号を停止することなく通過できるよう信号現示を制御するとともに、車両側ではPTPSから送出される信号現示時間をもとに、交差点を通過できる速度を算出し、速度制御をおこなう。

・CACC制御システム

複数のARTがそれぞれ単独で交差点を通過するとPTPSによりARTが通過する度に優先信号となるため、一般車側信号が停止状態になり、渋滞が発生する可能性がある。したがって複数のART車両が車群走行すれば、一般車側信号が停止信号になる頻度が低下する。この車群走行をする技術がCACCと呼ばれる制御システムである。

CACC制御システムは複数のART車が車群を形成して走行制御するシステムで、車群内のART各車の車間距離は車車間通信と車間距離センサを用いて一般車が容易に車群内に割り込めない車間距離に制御される。また車群内のART各車には先頭車から最後尾車までの車群内IDが振られ、この車群内IDに応じた制御モードにて走行制御が行われる。

3.4 ARTに求められる制御システムにおける要求仕様の調査検討

ARTを実現する上で特に技術的に重要と思われる、制御技術における性能や機能、安全性、信頼性における要求仕様や概略構成および解決すべき課題を検討した。

なお、要求仕様を策定するに当たってはエネルギーITS事業や欧州FP7等の過去の研究開発で得られた成果等を参考に策定した。

また、要求性能や機能を検討する上で上位層である技術開発要件やニーズとの整合性をはかりながら要素技術や要求仕様を検討した。

なお、技術開発要件毎の車両および道路側インフラを含めた全体システムおよび車両側システムの制御精度や応答時間等の目標性能、および自然環境や道路環境等の作動環境条件、安全性や信頼性に関する要求仕様について検討をおこなう。またシステム構成やインフラ構造にも合わせて調査検討する。具体的には以下制御システムについて調査検討した。

調査検討にあたっては国内外で開発された類似の制御システムの事例、具合的にはフランスルーアン市で実用化されている乗降場スリ寄せ制御システムやエネルギーITS事業でのCACC制御システム、車線維持制御システムを参考に要求仕様を策定した。

3.4.1 高精度車線維持制御技術の調査検討

優先レーンの拡大を図るため、狭小幅員の優先レーンでの高精度なレートレースを可能とする高精度車線維持制御技術について検討する。

ア. 車線維持制御技術の構成要素整理

車線維持制御技術は、車両が車線に従って自動運転ができるように車両と車線の間の距離を一定に維持しながら走行制御を行う技術である。この車線維持制御を行うためには、白線と車両ダイナミクスを計測するセンサと車線維持制御ロジックを通して、目標車線距離を維持できる制御システムが必要である。

車線維持制御は道路線形に沿って車両を走行させるように操舵装置を自動制御するものである。エネルギーITS推進事業「協調走行（自動運転）に向けた研究開発」に適用された制御システムは、極力既存の道路インフラを利用した車線維持システムとするため、走行レーンの左右に敷設された既存の区画白線と前輪軸中心が一定の間隔を維持す

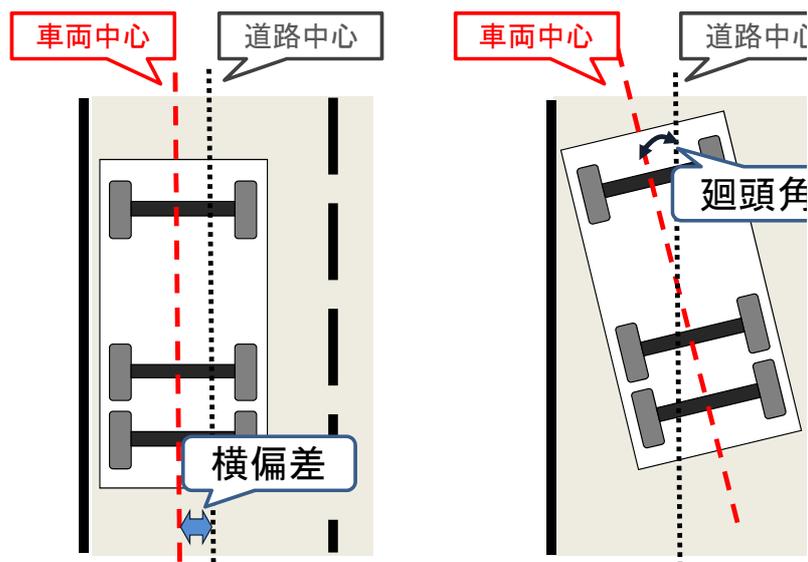


図3.4.1-1 横偏差と迴頭角

るよう前輪タイヤ角を制御するものである。この車線維持制御は制御精度およびロバ

スト性の両立が可能な制御アルゴリズムとしてロボットの移動制御等に用いられている非線形制御理論のPath following制御を基本としたモデルベース制御アルゴリズムである。操舵制御により図3.4.1-1に示すように目標軌道（図中では道路中心）からの位置に関する横方向の偏差（横偏差）と、目標車両角（道路中心と成す角）からの偏角（廻頭角）が0になれるように制御を行う。

車線維持制御装置のシステム構成は図3.4.1-2に示す。追従対象となる白線は車両の前部・後部のサイドに取り付けた白線認識カメラにて撮像し、画像認識装置にて白線認識カメラと白線エッジとの距離を検出する。また、車両の前部・後部カメラと白線エッジとの距離より、車両と白線との傾き角度（廻頭角）を検出する。

車両制御装置では車両の前部・後部と白線エッジ間の距離が一定になるよう前方横偏差および廻頭角、ヨーレート、車速、道路曲率などのデータを用いて前輪タイヤ角をフィードバック（以下FB）制御する。なお、前輪タイヤ角はステアリングコラムに取り付けた自動操舵モータにて駆動させる。また、曲線部においてFB制御の遅れ等により車線維持制御性能が低下するのを防止するため、道路曲率および縦断勾配、速度、車両重量等の走行状態で当て舵量を決定するフィードフォワード（以下FF）制御を行う。FF制御およびFB制御による前輪タイヤ角の制御式を以下に示す

$$\text{タイヤ制御角度} = \mathbf{K f} (\text{横偏差、廻頭角}) + \mathbf{T f} (\text{曲率、カント})$$

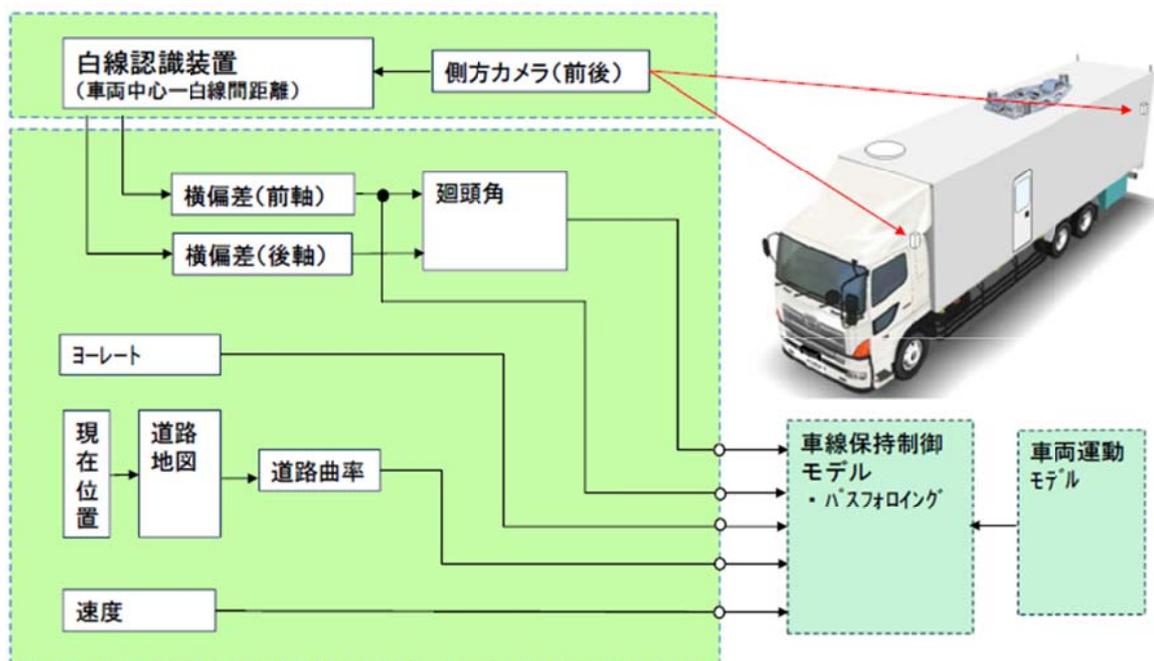


図 3.4.1-2 車線維持制御装置の基本システム構成

イ. 車線維持制御技術の要求仕様の検討

以上の制御方法により市街地走行における道路構造令に対する車線維持制御システムの要求仕様を検討した結果を表3.4.1-1にしめす。

表3.4.1-1 車線維持制御技術の要求仕様

項目	線形	仕様
横偏差精度 (除く正着)	直線	±0.15m (@50km/h)
	100R以上	±0.30m (@50km/h)
	30R以上	±0.30m (@30km/h)

3.4.2 正着制御システムの検討および性能評価

正着制御システムの検討にあたり、自動運転トラックを用いて現在の正着制御技術および性能について調査をおこなった。

3.4.2.1 正着制御用操舵制御システムと制御アルゴリズム

正着制御用の操舵制御システムは車線維持制御システムと同様、車線位置センサ、速度センサ、ヨーレートセンサおよびコントローラ、操舵モータで構成される。

正着制御用のアルゴリズムとしてはまだ論文レベルで公表されていないため、本調では車線維持制御に用いたPath Following制御に基づき、等価二輪モデルによる動特性を考慮できる形に発展させたアルゴリズムに基づいて横方向制御（自律操舵制御）をおこなった。

ア．正着制御アルゴリズム

車両の操舵系制御では、非ホロノミック制御や劣駆動制御を発展させた経路追従制御（Path Following Control）に基づく制御法を用いている。

制御系の設計に用いる車両モデルとしては、図 3.4.2.1-1 に示すような二輪等価モデルを用いる。

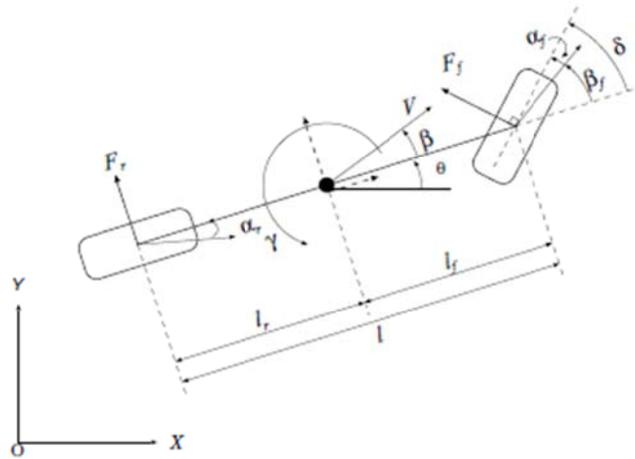


図3.4.2.1-1 Single-track model

二輪等価モデルの横すべり角とヨーレートに関する車両ダイナミクスは次式のように表される。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \gamma \\ \beta \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \gamma \\ \beta \end{bmatrix} + B\delta \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2}{JV}(K_f l_f^2 + K_r l_r^2) & -\frac{2}{J}(K_f l_f - K_r l_r) \\ -\frac{2}{MV^2}(K_f l_f - K_r l_r) - 1 & -\frac{2}{MV}(K_f + K_r) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{J} K_f l_f \\ \frac{2K_f}{MV} \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここで、 V は進行速度、 M は車両質量、 β は横滑り角、 γ は重心回りのヨーレート、 F_f と F_r は前後輪にかかるタイヤの横力、 l_f と l_r はとは重心から前後輪軸までの距離、 J は重心回りの慣性モーメント、 K_f と K_r は前後輪のコーナリングパワーである。

Path Following 制御は、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奇跡を実車両に追従させる制御である。

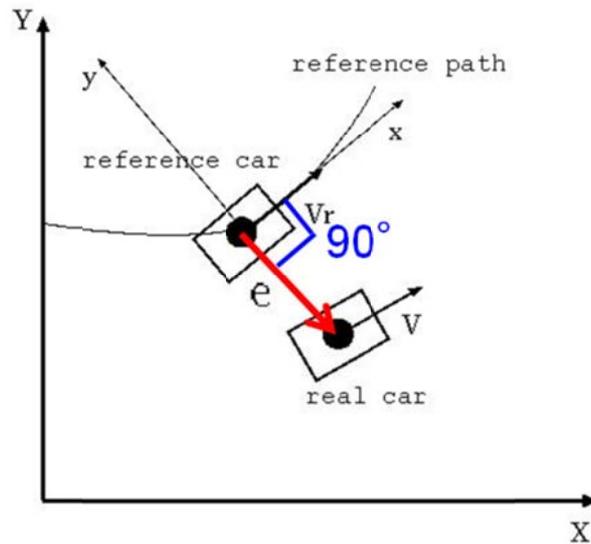


図3.4.2.1-2 Path following control

参照車両の車両モデルを等価二輪モデルとすると、図3.4.2.1-2のように、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 を定義すると次式のようにになる。ただし、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。

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_r + \beta_r) & \sin(\theta_r + \beta_r) & 0 \\ -\sin(\theta_r + \beta_r) & \cos(\theta_r + \beta_r) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_r \\ y - y_r \\ (\theta + \beta) - (\theta_r + \beta_r) \end{bmatrix} \quad (4)$$

また、 e_1 、 e_2 、 e_3 の時間微分は次式のようにになる。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \cos e_3 - V_r + e_2 \omega_r \\ V \sin e_3 - e_1 \omega_r \\ \omega - \omega_r \end{bmatrix} \quad (5)$$

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、誤差微分方程式は次式のようにになる。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \sin e_3 \\ \omega - \omega_r \end{bmatrix} \quad (6)$$

このときリアプノフ関数の候補を次式のように定義する。ただし、 K_2 は正の定数である。

$$V_1 = \frac{1}{2} e_2^2 + \frac{1 - \cos e_3}{K_2} \quad (7)$$

この時間微分は次式のようにになる。

$$\dot{V}_1 = e_2 \dot{e}_2 + \dot{e}_3 \frac{\sin e_3}{K_2} = \frac{\sin e_3}{K_2} (K_2 e_2 V + \omega - \omega_r) \quad (8)$$

ここで K_3 を正の定数として次式のようなコントローラを導入する、ただし、 $\omega_r = \dot{\theta}_r + \dot{\beta}_r$ である。

$$\omega_c = \omega_r + K_2 e_2 V_r + K_3 \sin e_3 \quad (9)$$

これより V_1 の時間微分は次式のようにになる。

$$\dot{V}_1 = -\frac{K_3}{K_2} \sin^2 e_3 \leq 0 \quad (10)$$

以上より、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。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、式(1)を用いて次式のような舵角入力へと変換し、制御入力とする。

$$\delta_c = \frac{MV}{2K_f} \left[\frac{2(K_f l_f - K_r l_r)}{MV^2} \gamma + \frac{2(K_f + K_r)}{MV} \beta + \omega_r + K_2 e_2 V + K_3 \sin e_3 \right] \quad (11)$$

さらに横偏差制御に加えてバスベイ用正着制御のため、当て舵制御であるフィードフォワード制御を追加したが、走行すべき線形の軌跡曲線が不明のため、今回はドライバーの操作に基づく教師学習による当て舵制御を負荷した。

3.4.2.2 実験車両とシステム構成

ア. 実験システム構成

本検証で用いるシステム構成を図3.4.2.2-1に示す。車載器機として、車両左前方と左後方にカメラ、車輪軸部分に車輪速センサ、助手席のダッシュボード内にヨーレートセンサを取り付けている。カメラより得られる道路白線の画像はViscontiにより画像処理が行われ、道路白線との距離情報を取得することを想定している。また、ヨーレートセンサ、車輪速センサではそれぞれ車両ヨーレートと車両速度を得ることができる。各種センサから得られた情報は図3.4.2.2-1のように処理されてdSPACE社製のAutoBoxへと送られる。AutoBoxはMATLAB/Simulinkで作成したブロック線図からECU用のコードを自動で生成でき、車載制御実験時にリアルタイムでデータのグラフ表示やパラメータのチューニングができるソリューションである。本システムにおいては、MATLAB/Simulinkで作成された制御モデルのブロック線図をdSPACEにコンパイルしておき、各種センサから得られる情報より操舵・速度制御に必要な制御指令値を計算し、CANを通じて操舵制御では操舵ECUへと制御指令値が送られ、ステアリング部に取り付けられたモータを制御することにより操舵制御を行うことを想定している。なお、操舵の手動運転と自動運転のそれぞれ切り替えは車内の切り替えスイッチ1つで切り替えることができるようになっている。

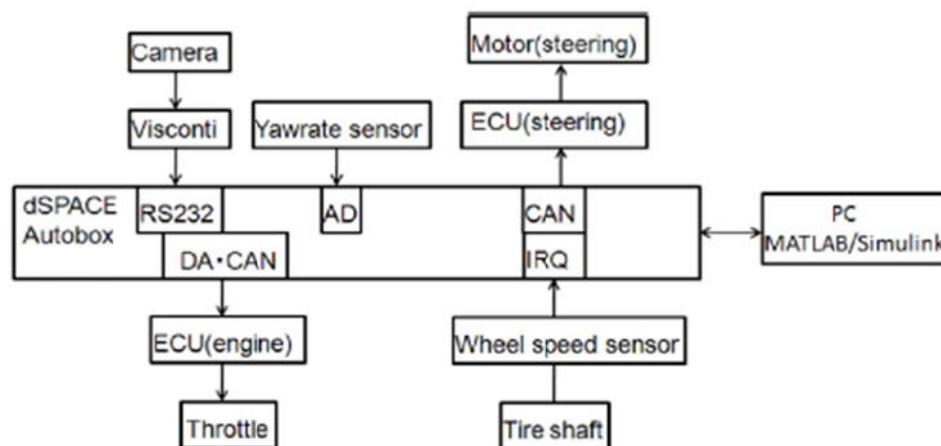


図3.4.2.2-1 システム構成

本評価実験では、図3.4.2.2-2に示すような日野自動車製プロフィアカーゴの25tクラスを利用した。本車両は、全長11.87m、全幅2.48m、全高3.7mの大型トラックを改造したものである。

追従対象となる白線は車両サイドミラー部に取り付けた小型TVカメラにて撮像し、画像認識装置にて白線を認識するとともに、カメラ位置と白線エッジとの距離を検出する。また、車両後部に取り付けたカメラから撮像した画像をもとに画像認識装置にて後部カメラと白線エッジとの距離を検出し、サイドミラー部カメラと白線との距離および後部カメラと白線エッジとの距離より車両と白線との傾き角度（廻頭角）を検出する（図3.4.2.2-3）。



図3.4.2.2-2 実験車両（プロフィア）

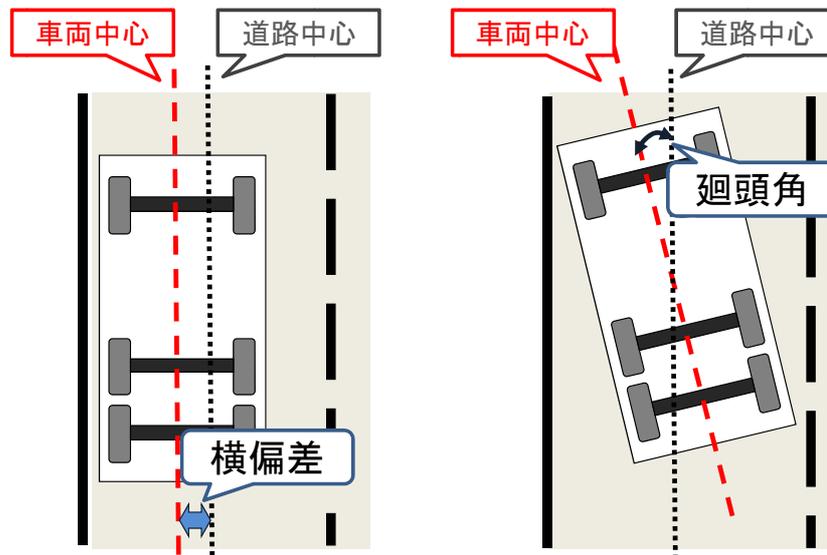


図3.4.2.2-3 横偏差と廻頭角

操舵制御装置ではサイドミラー近傍の車両と白線エッジ間の距離が一定になるよう前方横偏差および廻頭角を用いて前輪タイヤ角をフィードバック（以下FB）制御する。具体的には、制御目標は、目標軌道（図3.4.2.2-3中では道路中心）からの位置に関する横方向の偏差（横偏差）と、目標車両角（道路中心と成す角）からの偏角（廻頭角）を0にすることである。

なお、前輪タイヤ角はステアリングコラムに取り付けた自動操舵モータにて駆動させる。また、曲線部においてFB制御の遅れ等により車線維持制御性能が低下するのを防止するため道路曲率および縦断勾配、速度、車両重量等の走行状態で当て舵量を決定するフィードフォワード（以下FF）制御を行う。

FF制御およびFB制御による前輪タイヤ角の制御式を以下に示す。

タイヤ制御角度 = $K f$ (横偏差、廻頭角) + $T f$ (曲率、カント)

イ. 正着制御のための自己位置推定アルゴリズム

本操舵制御システムでは、図3.4.2.2-4のように車両の前後に取り付けられた2つのカメラから白線を認識して道路中心からの偏差（横偏差 e_2 ）と道路白線に対する車両の姿勢角（廻頭角 e_3 ）の計測を行う。太陽光や雨などの影響を抑え、安定して白線を認識するためにカメラは鉛直下向きに設置されている。そのため、バスベイ型の形状（図3.4.2.2-5の白線形状）の場合、正着中に白線がカメラとレーザの視野角の範囲外となり、白線を捉えることができない状況が生じる。また、バスベイ型の停留所への正着を開始する場合は、車両の左側は実線は存在しないため、図3.4.2.2-5のように常に前後のカメラで白線を捉えることができない。そのため、安定した制御のためには自己位置の推定が必要となる。

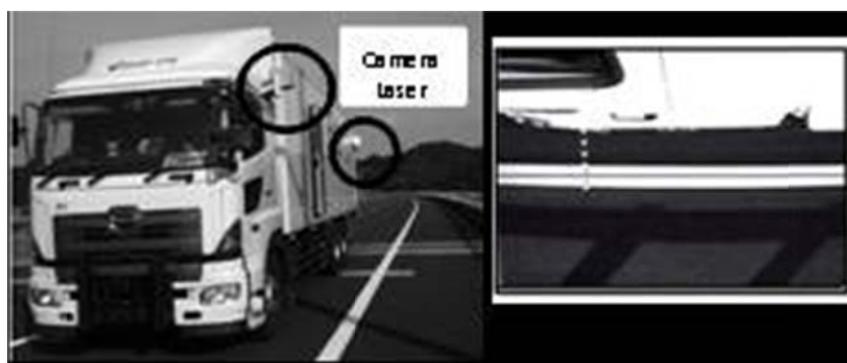


図3.4.2.2-4 白線カメラ映像

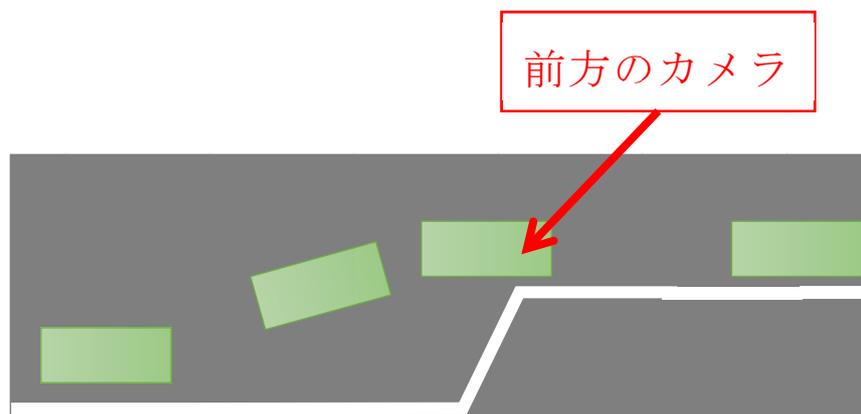


図3.4.2.2-5 正着時に前方カメラで白線が検出できないケース

式 (11) への入力となる e_2 と e_3 が白線検知により得られない場合、等価二輪モデルを利用したオブザーバにより e_2 と e_3 を推定する。車両の運動の状態方程式は次式で表すことができる。

$$x_o = [e_2 \quad e_3 \quad \gamma \quad \beta]^T \quad (12)$$

$$\dot{x}_o = A_o x_o + B_o \delta \quad (13)$$

$$y_o = C_o x_o \quad (14)$$

$$A_o = \begin{bmatrix} 0 & V & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 - a_{21} & -a_{22} \\ 0 & 0 & a_{11} & a_{12} \\ 0 & 0 & a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$B_o = [0 \quad -b_2 \quad b_1 \quad b_2]^T \quad (16)$$

$$C_o = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

この系のオブザーバは次式として構成される。

$$\dot{\hat{x}}_o = A_o \hat{x}_o + B_o \delta + G(y_o - C_o \hat{x}_o) \quad (18)$$

ここで、 G はオブザーバゲインであり、 $(A_o - GC_o)$ が安定行列となるように選ぶ。また、 G は定常カルマンフィルタによる方法を用いて決定した。

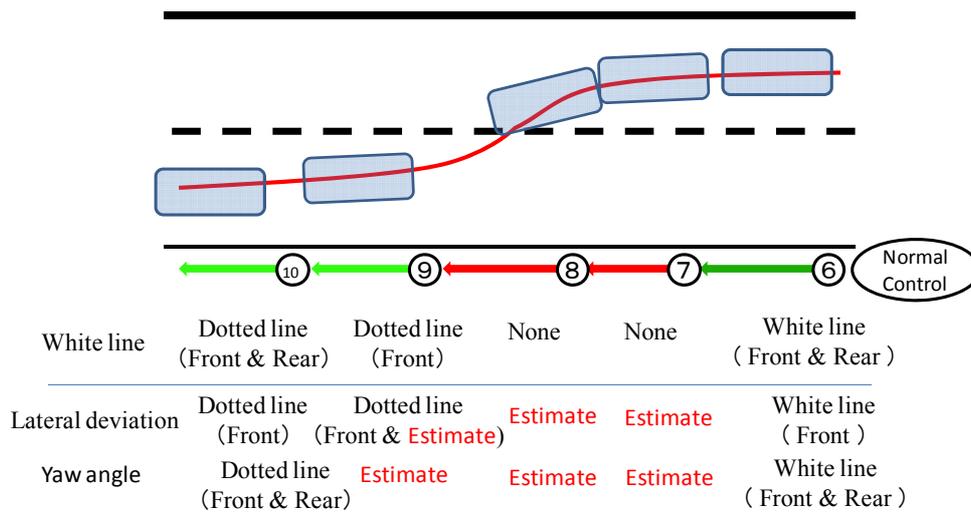


図3.4.2.2-6 自己位置・姿勢角の実測と推定の正着制御時の切り替え

自己位置・姿勢角の実測と推定の正着制御時の切り替えの概要を図3.4.2.2-6に示す。

図3.4.2.2-6の括弧内のFrontは車両の前方の白線認識センサ（SF）で計測された値、Rearは車両の後方の白線認識センサ（SR）で計測された値、Front&RearはSRとSFにより計測された値、推定はオブザーバにより推定された値であることを示す。

正着制御時の実測と推定の切り替えは、次に示すように行う。

- (1) SFが白線を見失うまで実測値を利用
- (2) SFが白線を見失った時より推定開始
- (3) SFが白線を再発見した場合、 e_2 は実測値を利用
- (4) SFとSRが2つとも白線を捉えた場合、 e_3 は実測値を利用（SFとSRのどちらかが白線を見失っている場合は推定値を利用）

3.4.2.3 正着制御評価実験

前述したアルゴリズムと車両を用いて、正着制御に対する性能を検証するため、産総研テストコースにて走行制御実験を実施した。本実験では、操舵制御のみ自動で行い、速度制御については手動で行った。

なお、実験は以下の条件でおこなった

①速度条件

車両速度を10km/hもしくは20km/hとし、以下の3条件にて実験を行った。

②停留場形状

- ・テラス型の停留所
- ・直線型の停留所
- ・バスベイ型の停留所

ア. テラス型の停留所での正着制御実験結果

図3.4.2.3-1に示すようなテラス型の停留所を想定し、制御実験を行った。制御に対するハードルは最も低く、低速域での車線制御が実現できれば大きな問題は生じないと考えられる。本評価実験では、停留所のテラスの幅を0.60mに想定して20km/hより減速および停車する条件とした。なお、道路幅は3.75mであり、プロフィアの車両幅は約2.5mのため、道路中心を走行できれば±3cm以内の正着が可能な条件となる。



図3.4.2.3-1 テラス型の停留所

図3.4.2.3-2と図3.4.2.3-3、表3.4.2.3-1に10回の停止距離に関する結果を示し、図3.4.2.3-4と図3.4.2.3-5、表3.4.2.3-2に10回の横偏差に関する制御結果を示す。

車両の速度についてはドライバーが手動により行ったため、ばらつきが存在しているが、いずれも目標値に対して±3cm以内での制御を実現している。減速開始から20m以内での正着が可能と考えられる。

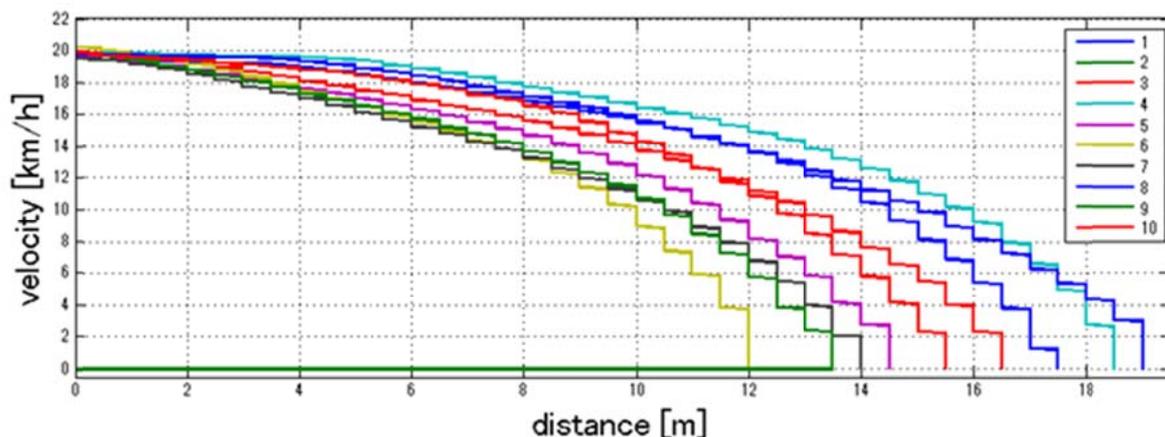


図3.4.2.3-2 テラス型の停留所に対する停止距離

表3.4.2.3-1 停止距離（テラス型）

No	Distance [m]
1	17.5
2	13.5
3	16.5
4	18.5
5	14.5
6	12
7	14
8	19
9	13.5
10	15.5
Ave.	15.45

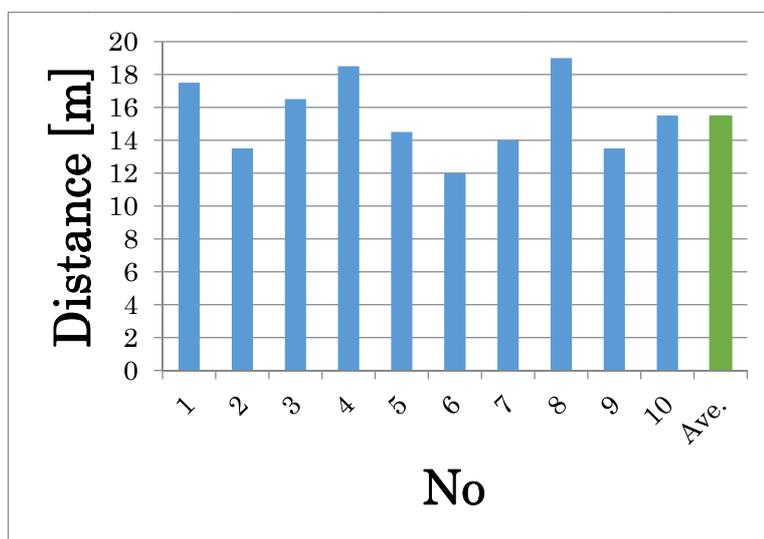


図3.4.2.3-3 テラス型の停留所に対する停止距離のばらつき

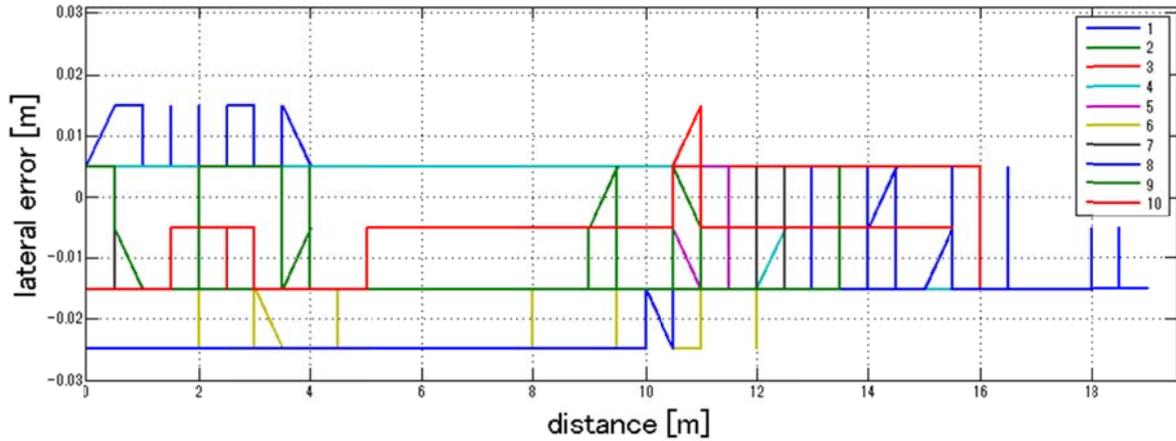


図3.4.2.3-4 テラス型の停留所に対する制御結果（横偏差）

表3.4.2.3-2 横偏差（テラス型）

No	Error [m]
1	-0.015
2	-0.015
3	-0.015
4	-0.015
5	-0.015
6	-0.015
7	-0.015
8	-0.015
9	-0.015
10	-0.005
Ave.	-0.014

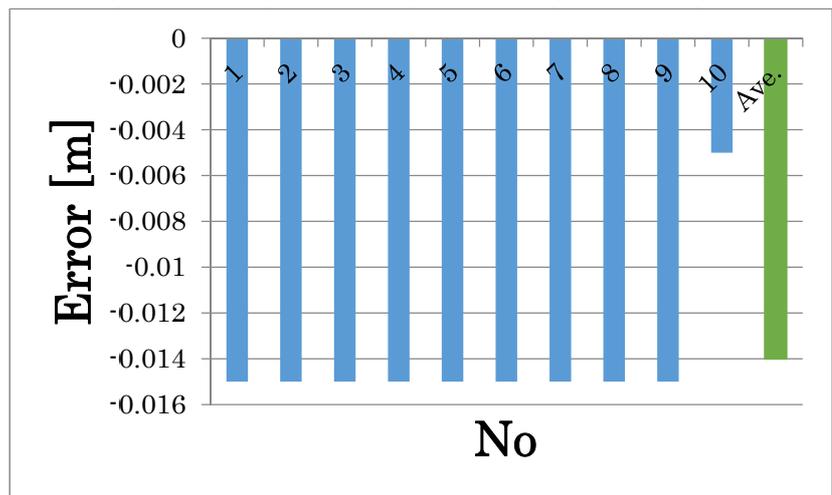


図3.4.2.3-5 テラス型の停留所に対する横偏差のばらつき

イ. 直線型の停留所

図3.4.2.3-6に示すような直線型の停留所を想定し、制御実験を行った。制御に対するハードルはテラス型の次に低い。通常の走行（車線中心が目標）から直線型の停留所への正着制御を想定し、20km/hおよび10km/hより減速および停車する条件とした。また、正着に関するマニュアル運転を繰り返し、FF制御量（ハンドル操舵角）を試行錯誤により決定して制御に利用した。

図3.4.2.3-7と図3.4.2.3-8、表3.4.2.3-3に6回の停止距離に関する結果を示し、図3.4.2.3-9と図3.4.2.3-10、表3.4.2.3-4に6回の横偏差に関する制御結果を示す。No.1とNo.2が車速10km/h、No.3からNo.6が車速20km/hの実験結果である。車両の速度についてはドライバーが手動（40m付近をおよその目標として設定）により行ったため、テラス型と同様にばらつきが存在しているが、いずれも目標値に対して±3cm以内での制御を実現し

ている。また、車速を10km/hとし、目標停止距離を20mとした実験結果を図3.4.2.3-11と図3.4.2.3-12、表3.4.2.3-5に示す。目標停止距離40mの時と同様に速度制御を手動により行っているため、減速についてはばらつきが生じ、停止距離も安定はしていないが、この条件下でも正着の精度に対する影響は少なく減速開始から20m以内での正着が十分可能と考えられる。

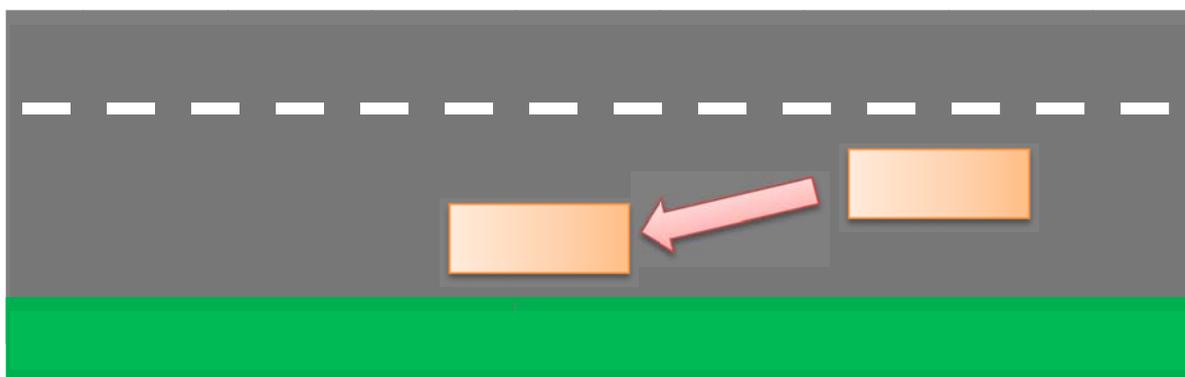


図3.4.2.3-6 直線型の停留所

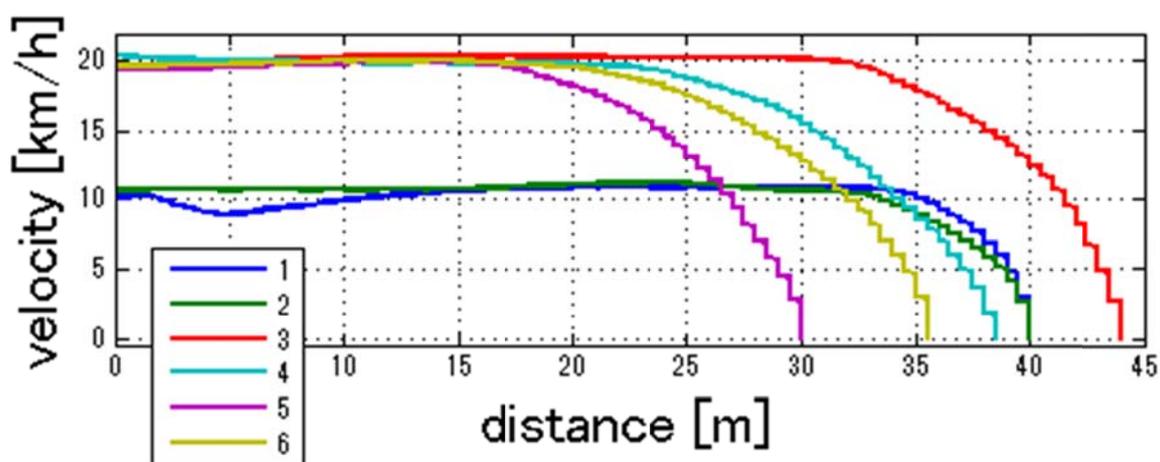


図3.4.2.3-7 停止距離40m目標の直線型の停留所に対する停止距離

表3.4.2.3-3 停止距離40m目標の停止距離（直線型）

No	Distance [m]
1	40
2	40
3	44
4	38.5
5	30
6	35.5
Ave.	38

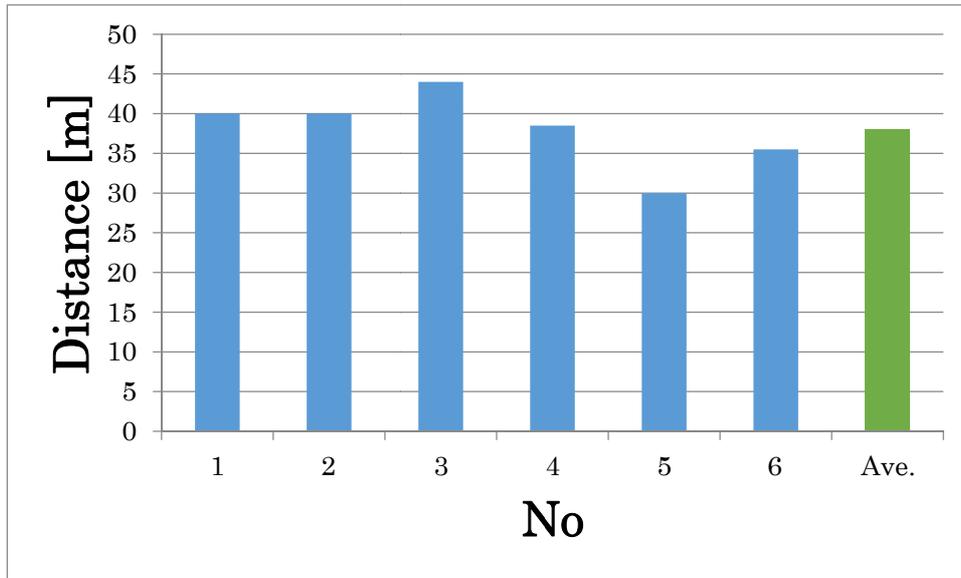


図3.4.2.3-8 停止距離40m目標の直線型の停留所に対する停止距離のばらつき

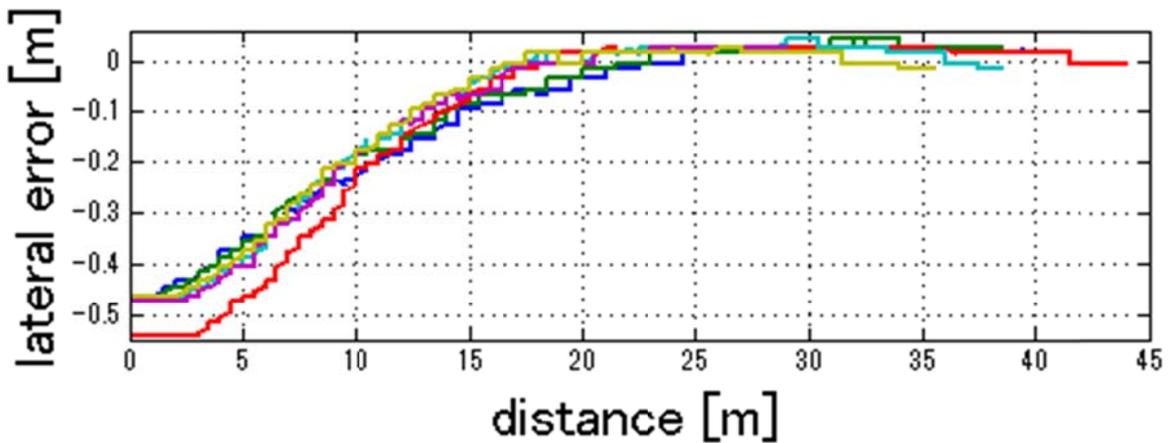


図3.4.2.3-9 停止距離40m目標の直線型の停留所に対する制御結果（横偏差）

表3.4.2.3-4 停止距離40m目標の横偏差（テラス型）

No	Error [m]
1	0.015
2	0.015
3	-0.005
4	-0.015
5	0.015
6	-0.015
Ave.	0.001666667

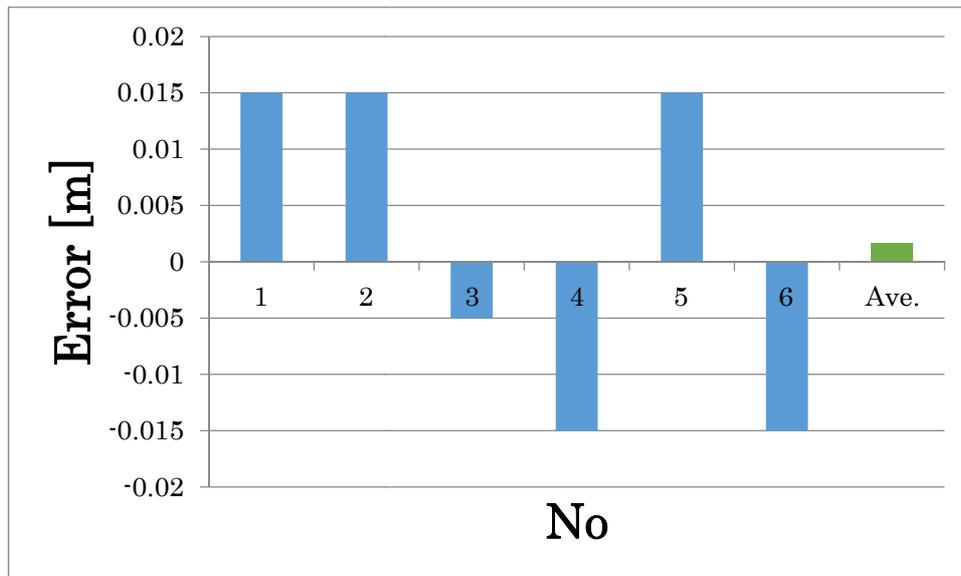


図3.4.2.3-10 停止距離40m目標のテラス型の停留所に対する横偏差のばらつき

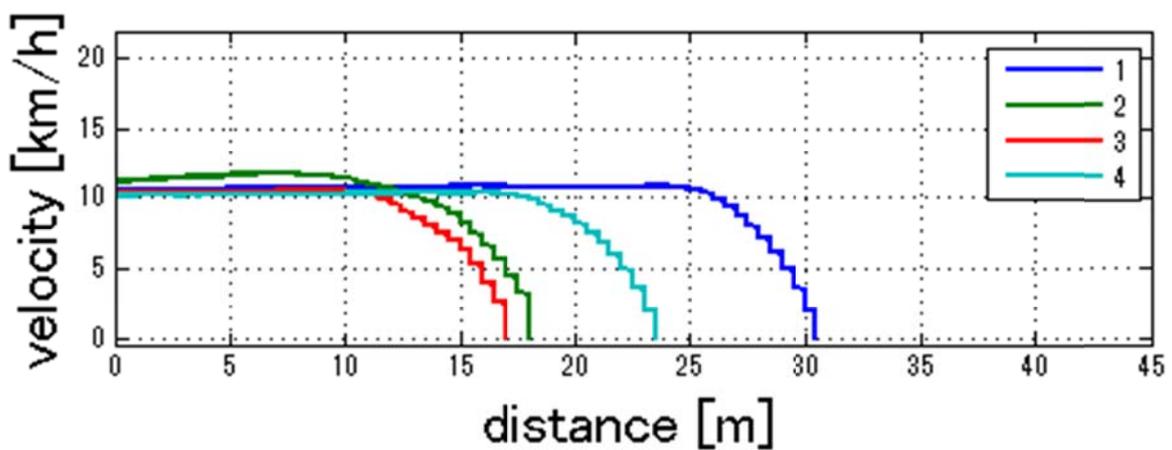


図3.4.2.3-11 停止距離20m目標のテラス型の停留所に対する停止距離

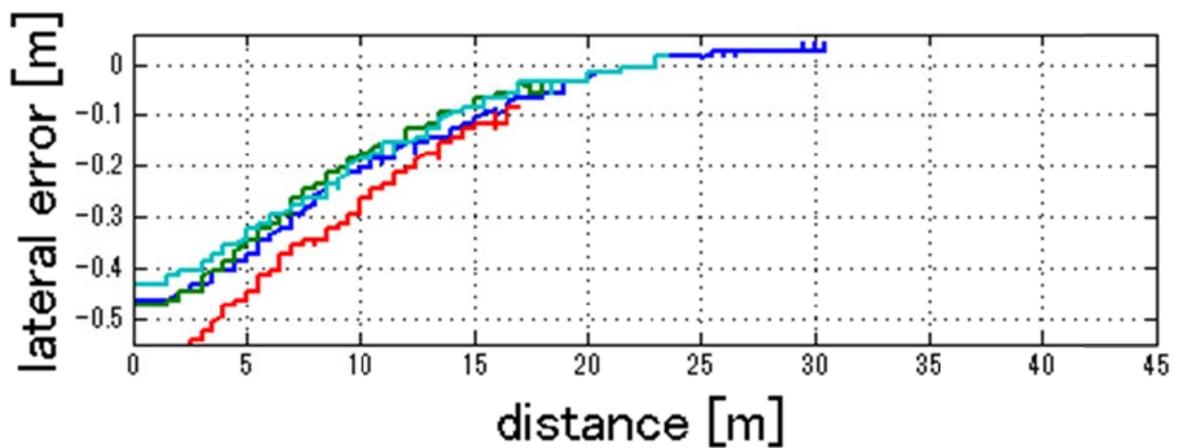


図3.4.2.3-12 停止距離20m目標のテラス型の停留所に対する制御結果（横偏差）

表3.4.2.3-5 横偏差（停止距離20m目標のテラス型）

No	Error [m]
1	0.015
2	-0.035
3	-0.085
4	0.015
Ave.	-0.015

ウ. バスベイ型の停留所

図3.4.2.3-13に示すようなバス型の停留所を想定し、制御実験を行った。制御に対するハードルは他の2種類と比べて最も高い。通常の走行（車線中心が目標）からバスベイ型の停留所への正着制御を想定し、車速10km/hより減速および停車する条件とした。バスベイの進入角度は20度を想定している。本制御では、バス停への進路変更時に白線を見失う（ロスト）ため、その間は前述した自己位置推定を行って目標軌跡に対するFB制御を行っている。また、正着に関するマニュアル運転を繰り返し、FF制御量（ハンドル操舵角）を直線型と同様に試行錯誤により決定して制御に利用した。

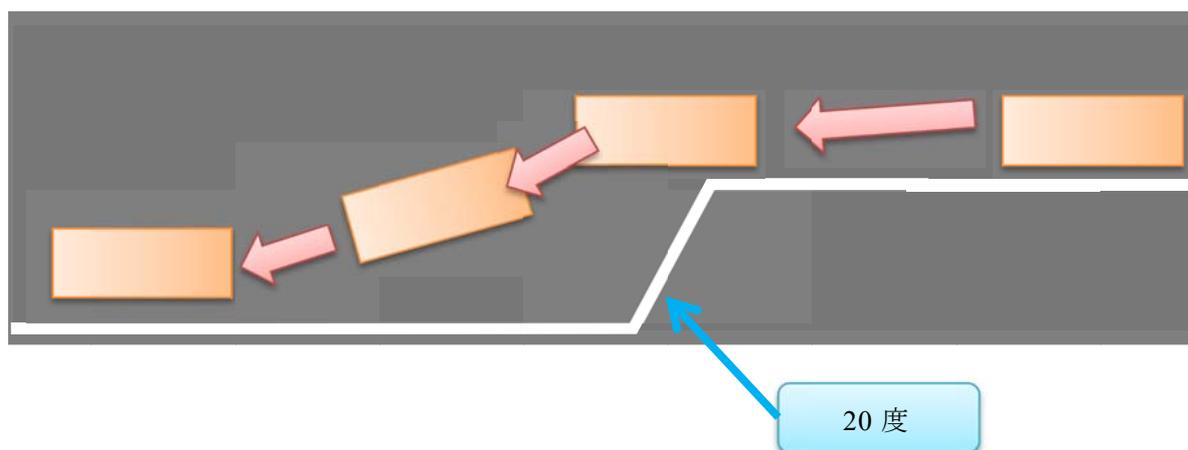


図3.4.2.3-13 バスベイ型の停留所

図3.4.2.3-14と図3.4.2.3-15、表3.4.2.3-6に5回の停止距離に関する結果を示し、図3.4.2.3-16と図3.4.2.3-17、表3.4.2.3-7に5回の横偏差に関する制御結果を示す。図中のFFはマニュアル運転で採用した時の実験結果である。車両の速度についてはドライバーが手動（20m付近をおよその目標として設定）により行ったため、誤差が生じているとともにテラス型と直線型と同様にばらつきが存在しているが、カメラの性能としては0.01m精度のため、いずれも目標値に対してほぼ±3cm以内での制御を実現していると考えられる。他のバス停と同様に減速についてはばらつきが生じ、停止距離も安定はしていないが、FFの停止距離位置では誤差が収束しているため、FFより距離が伸びているのは速度の調整の整合が取れていないためと考えられる。そのため、この条件下でも正着の精度に対する影響は少なく減速開始を早めれば20m以内での正着が十分可

能と考えられる。

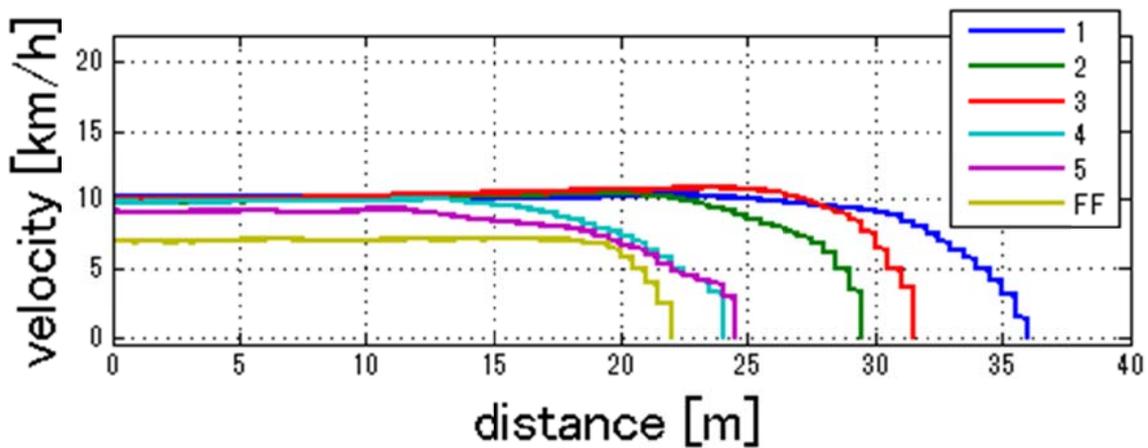


図3.4.2.3-14 バスベイ型の停留所に対する停止距離

表3.4.2.3-6 停止距離（バスベイ型）

No	Distance [m]
1	36
2	29.5
3	31.5
4	24
5	24.5
FF	22
Ave.	29.1

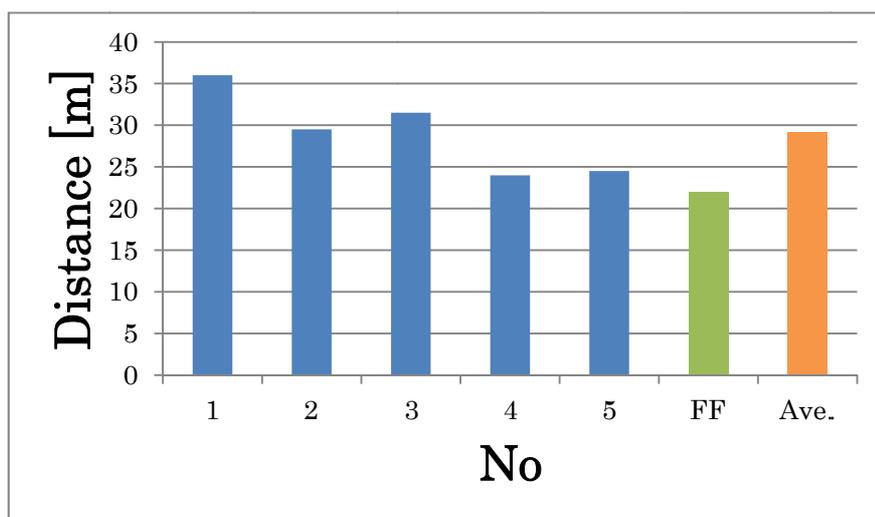


図3.4.2.3-15 バスベイ型の停留所に対する停止距離のばらつき

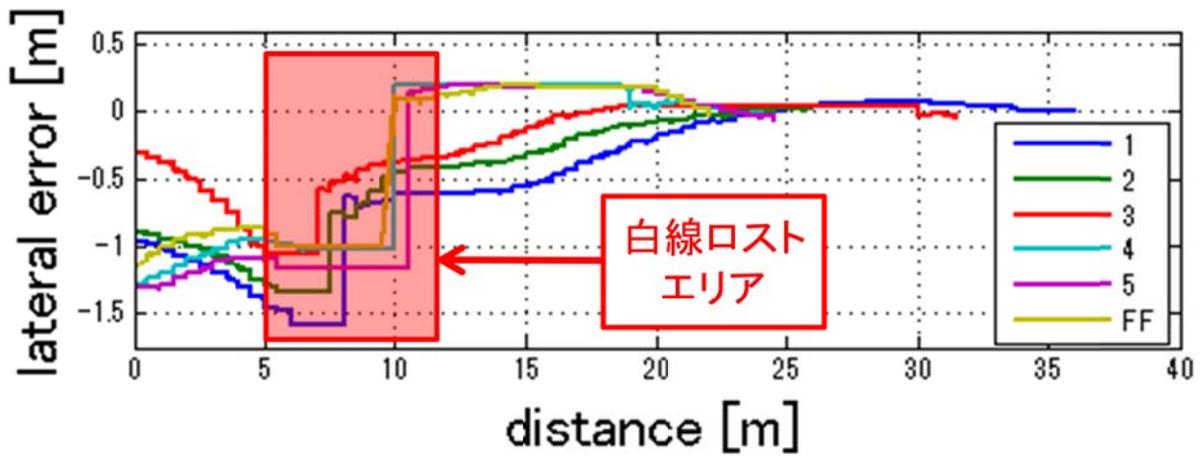


図3.4.2.3-16 バスベイ型の停留所に対する制御結果（横偏差）

表3.4.2.3-7 横偏差（バスベイ型）

No	Error [m]
1	0.015
2	0.035
3	-0.035
4	-0.005
5	-0.0055
FF	-0.025
Ave.	0.0009

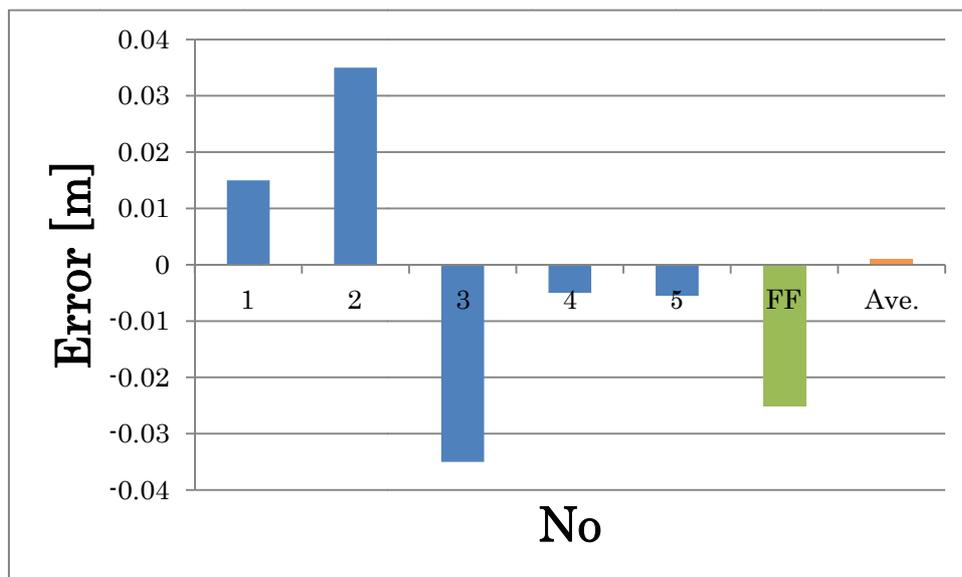


図3.4.2.3-17 バスベイ型の停留所に対する横偏差のばらつき

エ. 正着制御に関する実験結果総括

本検証では、エネルギーITSで研究開発した実験車両と制御アルゴリズムを用いて、難易度ごとにテラス型、直線型、バスベイ型の停留所に対する評価実験の実施を行った。その結果、表3.4.2.3-8に示すように各停留所について現状の技術レベルでも正着の実現が十分可能であることが示された。正着制御の実現レベルとしては、やはりテラス型が最も精度が高く、安定した制御が可能である。一方で、最も難易度の高いバスベイ型のバス停に対しても進入角度を20度とした場合、速度制御がばらついていても正着制御の実現が可能であることが示された。

本評価実験により正着制御の実現性が示されたが、最後に今後の課題について記述する。エネルギーITSでは、車両に対して各車両パラメータの同定実験を行い、高精度な値が得られている。本制御アルゴリズムでは、この高精度なモデルに基づいて制御が設計されている。本正着実験の結果も、車両モデルに基づいて操舵制御を行うことにより達成されている。同様に、ART車両の正着制御に対しても車両モデルが重要となる。車両の動特性を把握することにより、高精度かつ再現性の高い正着制御が可能となる。また、エネルギーITSでは低速域の速度制御は対象外であったため、本実験では速度は手動により行った。その結果、停止距離にばらつきが生じた。速度に対する操作のばらつきは単純な停止距離だけでなく、FF制御に対する精度にも影響する。つまり、正着制御の安定性に影響を与えるため、正着制御において低速域の制御の実現もまた今後の課題である。

表3.4.2.3-8 正着制御結果のまとめ

バス停の種別	精度	停止距離
テラス型	◎	△ ドライバに依存
直線型	○	△ ドライバに依存
バスベイ型	○	△ ドライバに依存

3.4.2.4 正着制御のシミュレーションの実施

目標接触隙間を決めると接岸する際の回転半径が決まる。図3.4.2-4-1に隙間と回転半径との関係図を示す。

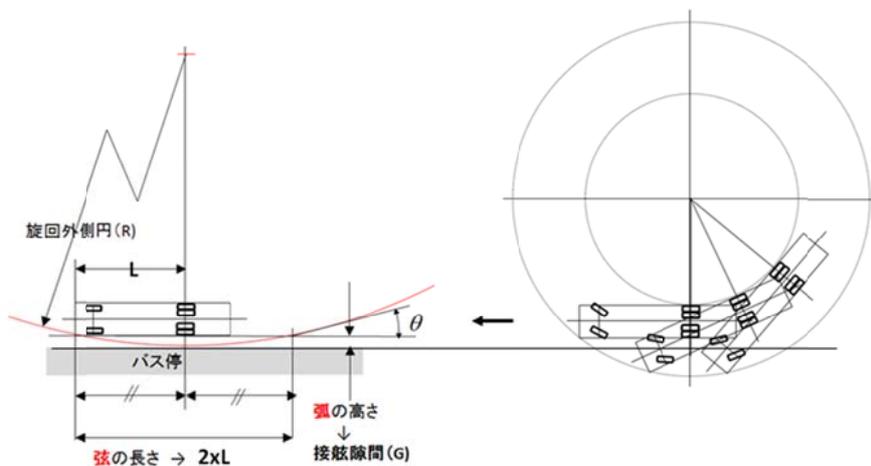


図3.4.2.4-1 バスの寸法Lと接触隙間 (G) と旋回外側円Rおよびバス停侵入角θの関係

接触隙間Gと旋回外側円Rとバスの寸法Lおよびバス停侵入角θの関係は次の様になる。

$$R^2 = L^2 + (R - G)^2 \dots\dots(3.4.2-1)$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{L}{R} \approx L/R \dots\dots(3.4.2-2)$$

展開整理して

$$R^2 = L^2 + R^2 - 2RG + G^2$$

$$2RG = L^2 + G^2$$

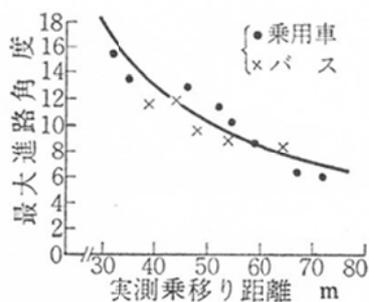
$$R = \frac{1}{2} \cdot \frac{L^2 + G^2}{G} \dots\dots(3.4.2-3)$$

実際のバス寸法Lは7.745mである。目標隙間Gを0.03mとおくと回転半径Rは1000m、バス停侵入角は0.44°になる。通常車両が車線変更をする際の車両姿勢変化はバスも乗用車も大きくても10°との報告がある(図3.4.2.4-2)。

バス停侵入角を仮に10°(20°)とすると回転半径Rは44.4m

(22.6m) になり、隙間Gは0.07m

(1.37m) になる。更に1回以上の巾寄せのための進路変更が必要になる。バス停が走行車線から路側に入り込んだ“路側帯バス停”の場合は、接触円弧がバス停縁石にか

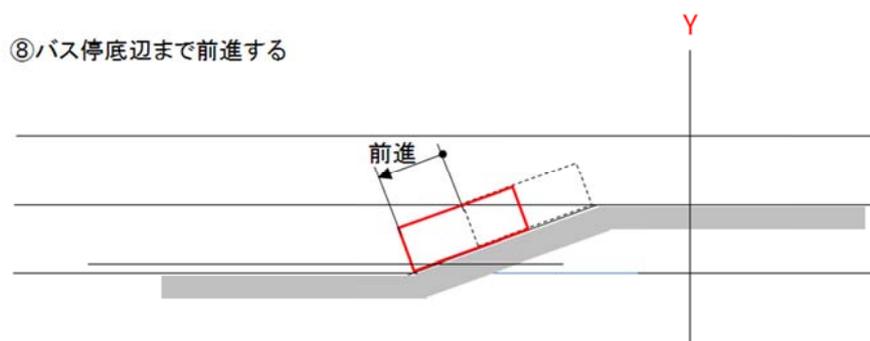
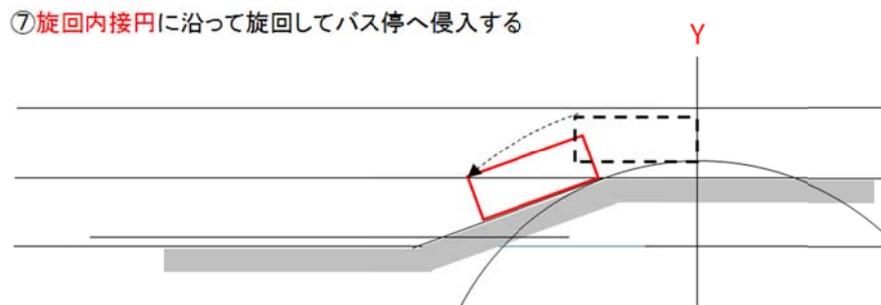
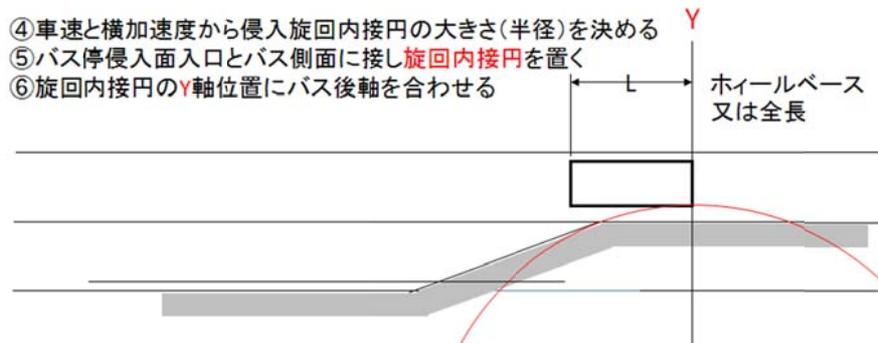
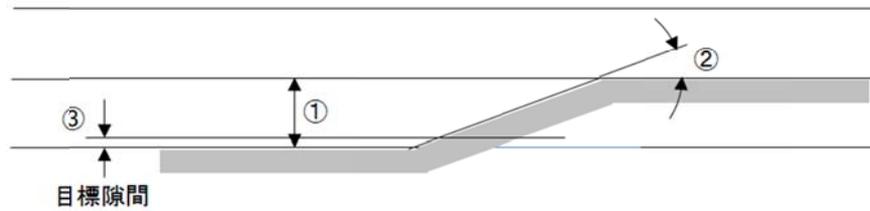


(近藤政市：基礎自動車工学後期編p.150養賢堂)

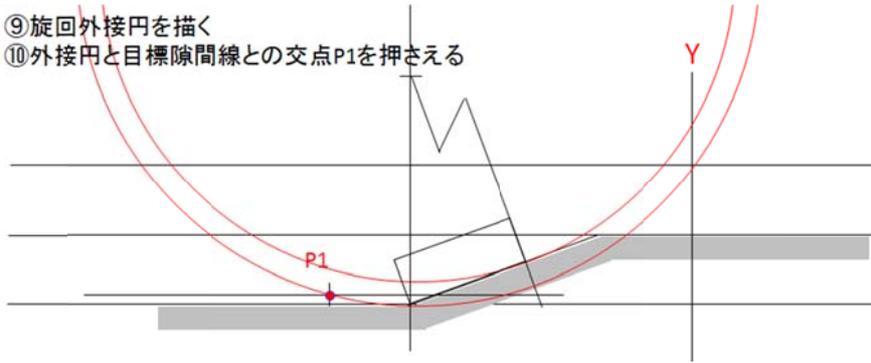
図3.4.2.4-2 最大進路角と車線乗移り距離の関係

かり円弧に乗ることが難しくなる。押さえるべきポイントがある。図3.4.2.4-3も①から⑯のポイントを順に示す。

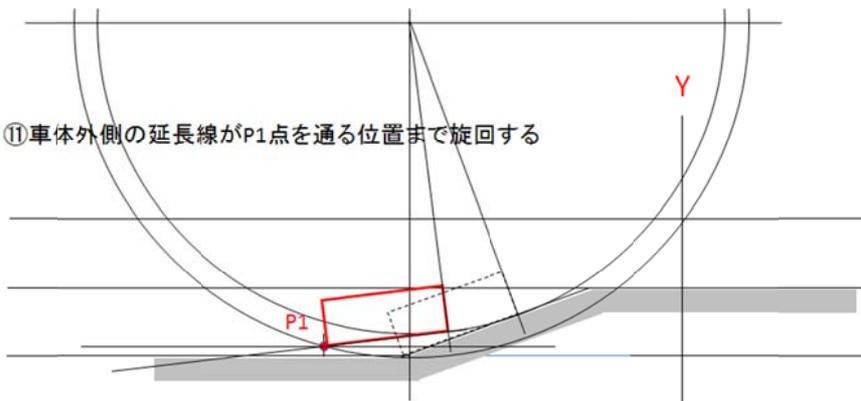
- ①バス停深さが与えられる
- ②バス停侵入角が与えられる
- ③目標隙間が与えられる



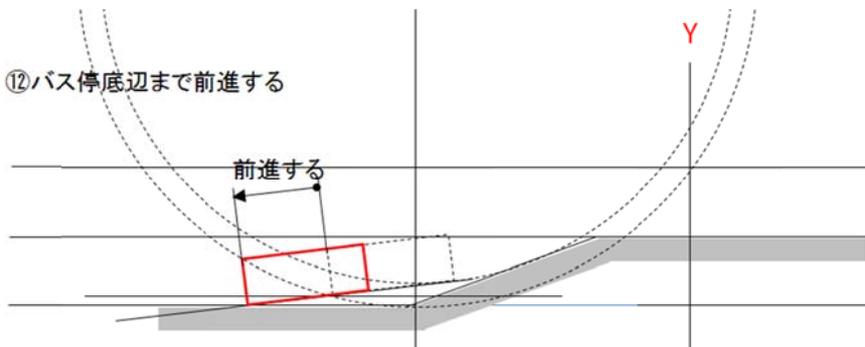
- ⑨ 旋回外接円を描く
- ⑩ 外接円と目標隙間線との交点P1を押さえる



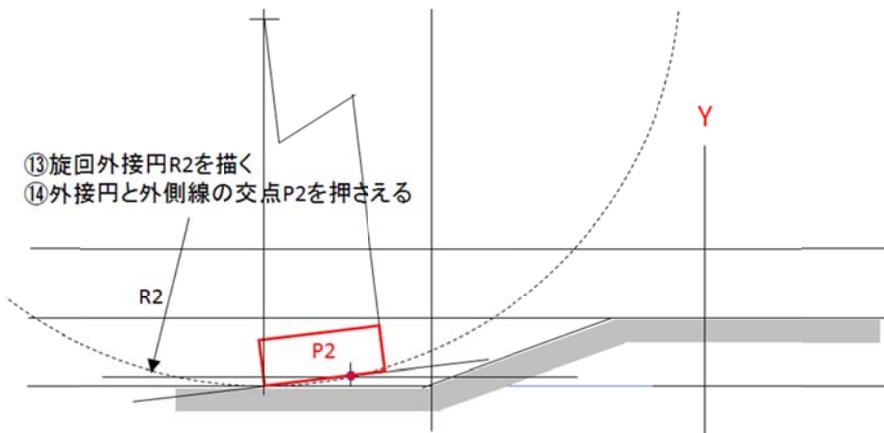
- ⑪ 車体外側の延長線がP1点を通る位置まで旋回する



- ⑫ バス停底辺まで前進する



- ⑬ 旋回外接円R2を描く
- ⑭ 外接円と外側線の交点P2を押さえる



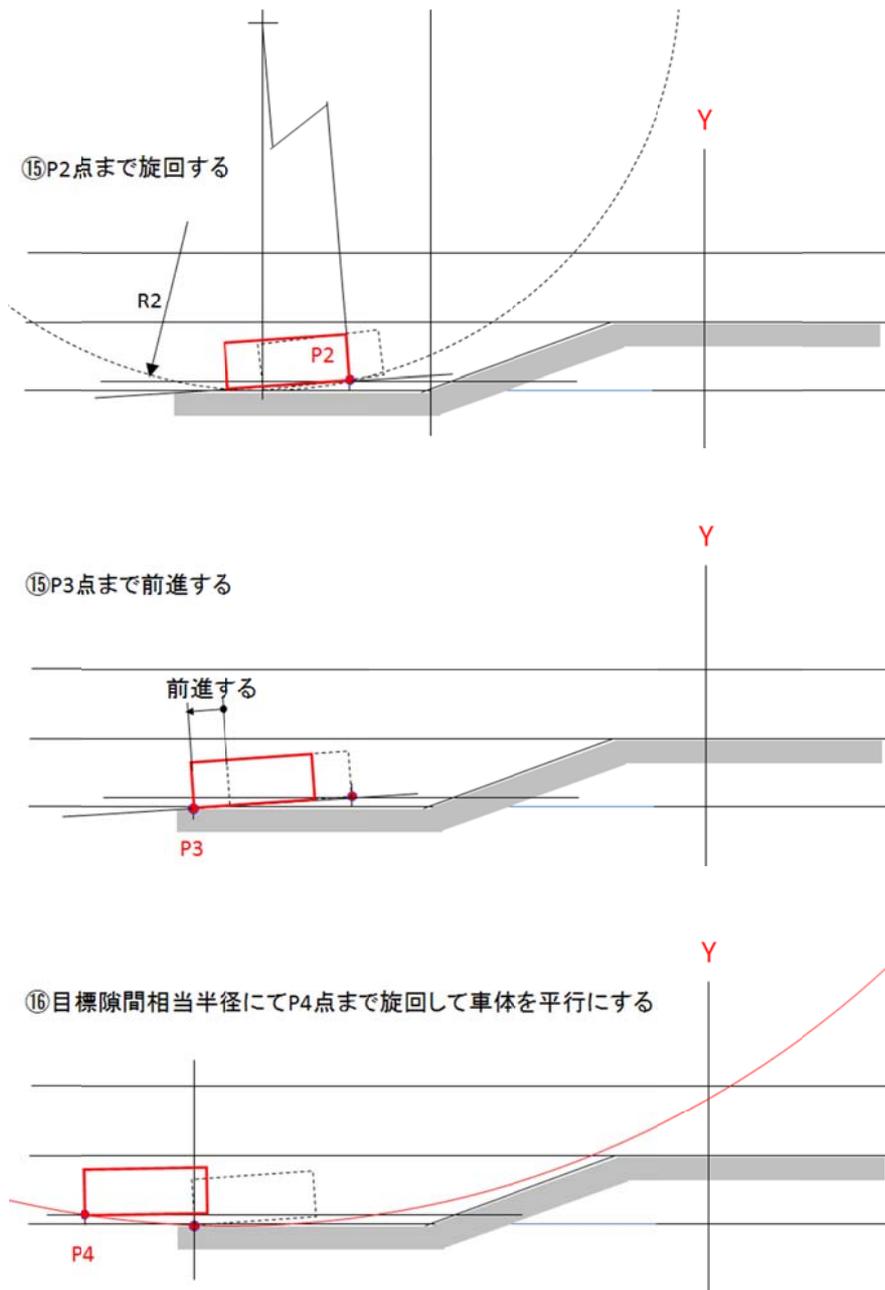


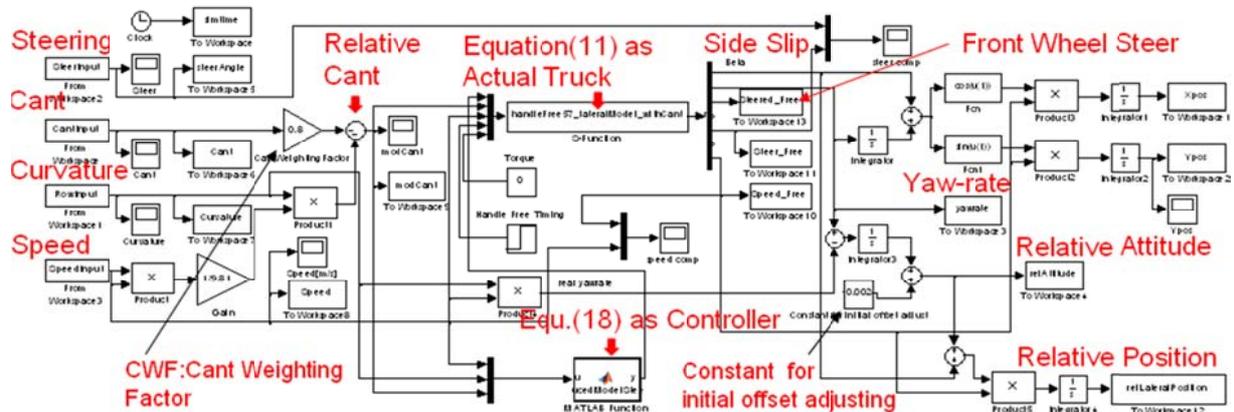
図3.4.2.4-3 押さえるべきポイントとプロセス

②から⑯に至る経路を、②—⑫までの行程と⑫—⑯までの行程の車線変更を2回繰り返すと捉える。2回目の行程は曲線長と半径 $R2$ が反比例するクロソイド曲線になるが、1回目を通常巾の車線変更、2回目を車線内での巾寄せで構成する連続進路変更と捉え簡単化指向する。

実際の道路には道路横断勾配（カント）がついている。このカントによって生じるカント横力が車両の巾寄せ距離に影響する。その影響も含め車両力学モデルを用いて解析する。

図3.4.2.4-4にカント路での車両挙動を解析するシムリンクモデルを示す。詳細は出典による。ここでは要点のみ述べる。この図の左から路面カント角、道路曲率、車速を入力する。この入力に対応するハンドル角を図面中央下側のEqu. (18) の幾何モデル

が算出する。そのハンドル角を受けて図面中央上側のEqu. (11) の車両力学モデルが走る。



(出典：自動車技術会論文集、Vol.45,No.6,November2014,No.21144800,p.1027-1034)

図3.4.2.4-4 カント路での車両挙動を解析するシムリンクモデル

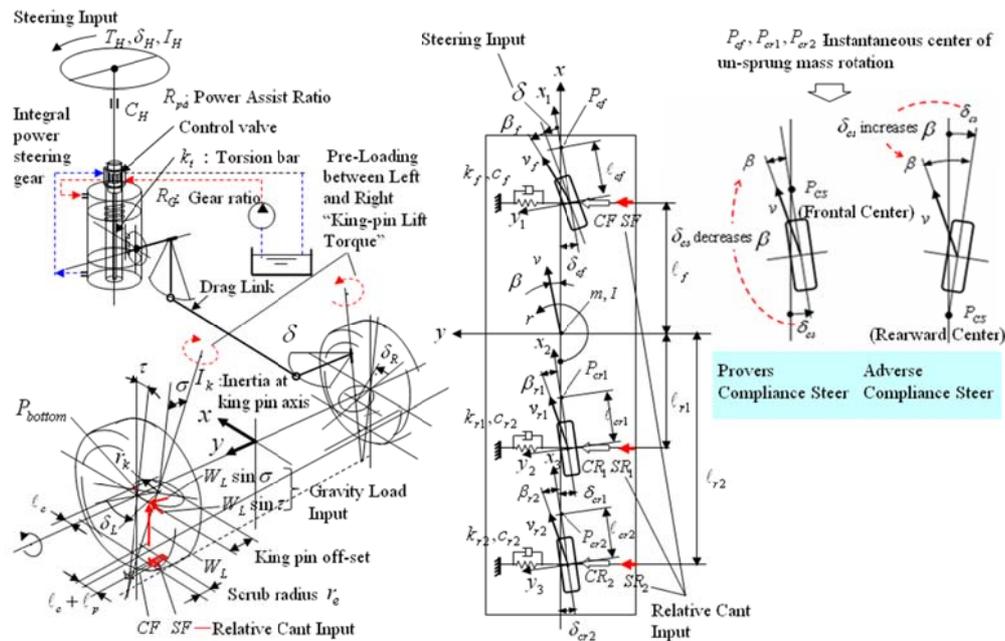


図3.4.2.4-5 車両力学モデル

車両力学モデルを図3.4.2.4-5に示す。詳細は出典による。ハンドル側から作用するハンドルトルク・ハンドル角と路面側から作用するカント横力の双方に対応するバイラテラルモデルである。前1軸後2軸の3軸モデルである。2軸モデルの用意はないため暫定的である。

道路の曲線は車線変更の式(近藤政一著:基礎自動車工学-後期編-p.151-152、養賢堂)を用いる。

$$x = \int_0^t v \cos \varphi \cdot dt \approx vt$$

$$y = \int_0^t v \sin \varphi \cdot dt \approx v \int_0^t \varphi dt$$

ここに φ は進路角であり、進路変更巾 D と進路変更所要時間 T および最大進路角 φ_m として次式で表現する。

$$\varphi = \varphi_m / 2 \cdot (1 - \cos 2\pi t / T)$$

進路変更の終点で $x = VT, y = D = v\varphi_m / 2 \cdot T$ であるから

$$\varphi = D / vT \cdot (1 - \cos 2\pi t / T)$$

車線変更の時間と横変位の関係の例（車速60km/h）

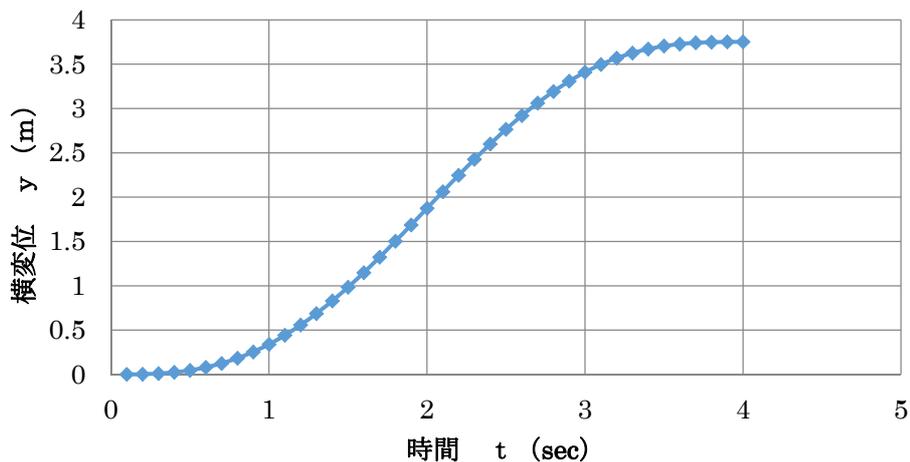


図3.4.2.4-6 車線変更の規範曲線

この曲線を実車と照合して規範曲線として設定してバス停定着のシミュレーションに用いる。解析事例を図3.4.2.4-7に示す。

バスの代用として後2軸大型トラックを用いての手動運転でのバス停正着サーベイ実験の事例を図3.4.2.4-8 (a) 及び (b) に示す。(a) は横軸に時間をとる時間軸グラフ、(b) は横軸に距離をとる距離軸グラフである。車速20km/hでバス停に入り図3.4.2.4-3の①から⑩のプロセスをたどる操作をして接舷停止する運転をしている。時間軸の10秒（距離軸の20m）付近から狙いをつけて20秒（50m）から一旦頭を右外に振り出してから左旋回してバス停に侵入する大型車運転者の傾向が出ている。25秒（80m）付近でバス停底辺に車両前端が至り右に切り戻している。その右舵角を戻しながら前進して（準クロソイド曲線でハンドルを戻しながら前進して）停止している。

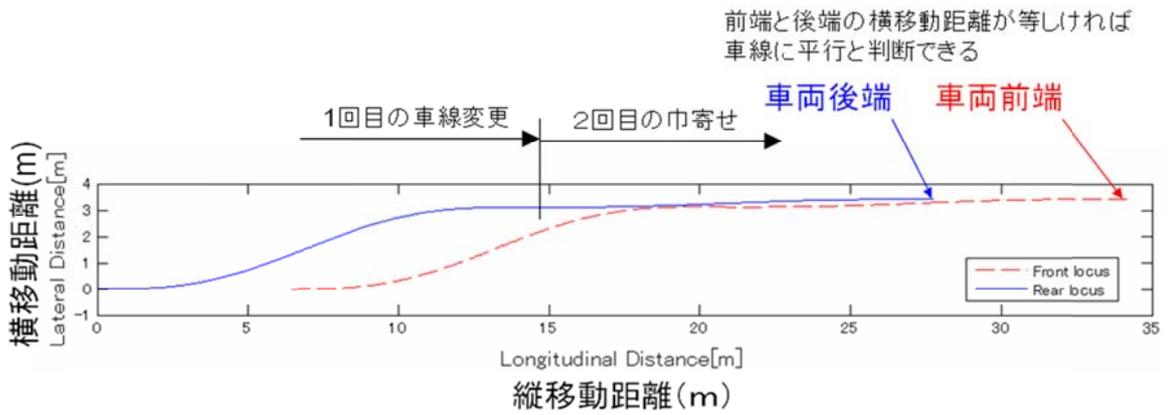


図3.4.2.4-7 通常巾の車線変更と車線内での巾寄せで構成する連続進路変更計算例

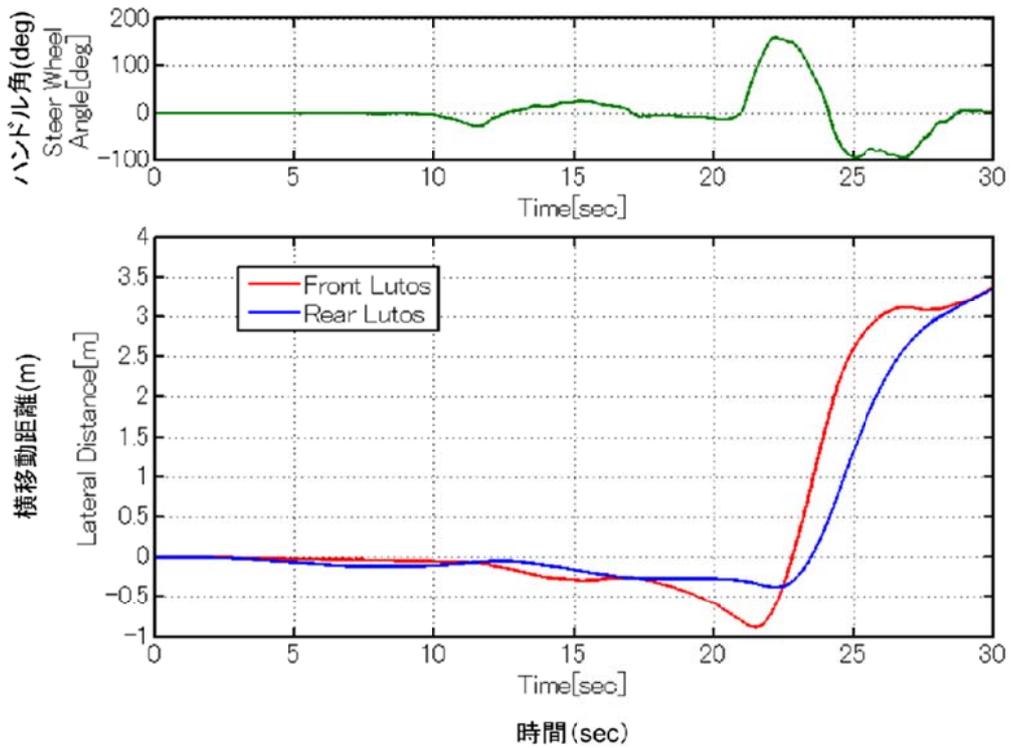


図3.4.2.4-8 (a) 後2軸大型トラックを用いての手动運転でのバス停止着サーベイ実験の事例（時間軸表現）

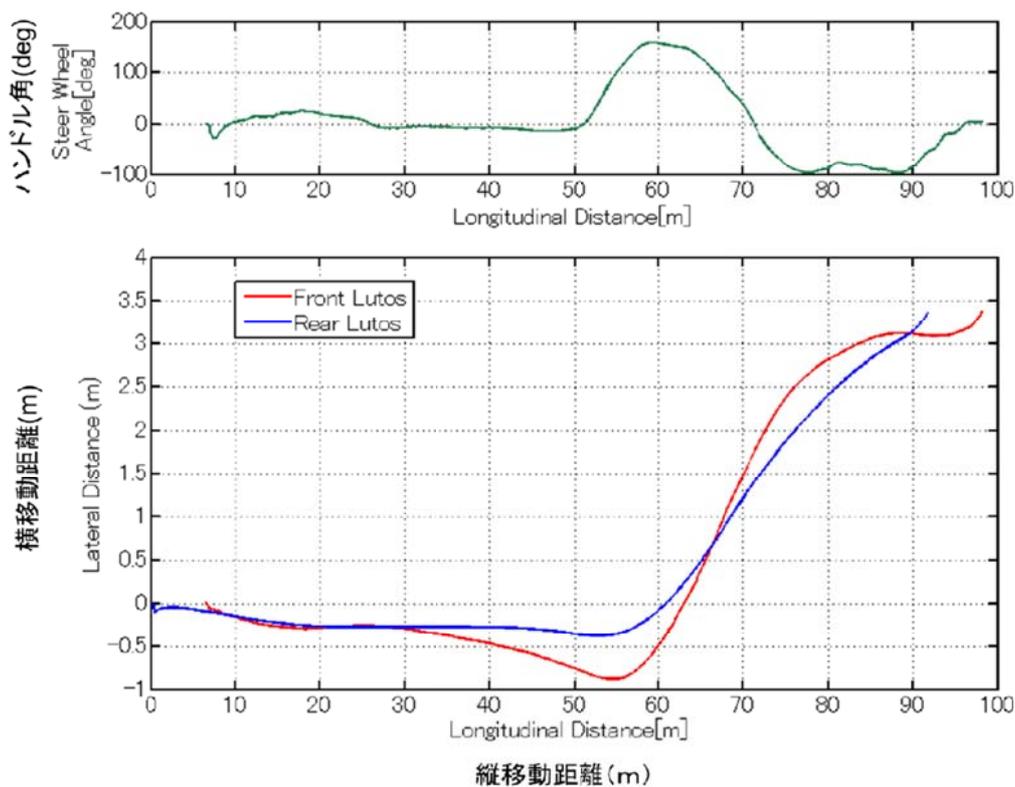


図3.4.2.4-8 (b) 後2軸大型トラックを用いての手動運転でのバス停止着サーベイ実験の事例（距離軸表現）

以上、正着制御のシミュレーションを試みた。走行軌跡が与えられて、与えられた軌跡からハンドル角を算出してフィードフォワード操舵をして走行するモデルである。車線変更のための開発中のトラックモデルを改造して対応した。軌跡からハンドル角を出すプログラム、車両の姿勢角（偏向角）の車速依存性のモデル表現の実車検証など課題を残して実車との整合を論じるまでには至っていない。引き続き検討して、実車整合性の解析、制御のための簡単モデルとしての使用など今後の必要に備える。

3.4.3 車群形成技術の調査検討

朝夕のラッシュ時と日中では輸送需要が大きく異なるため、一日の輸送需要変動に応じてフレキシブルな運行管理が可能な電子連結による車群形成技術および隊列走行技術を検討する。

ア. 車群形成技術の構成要件整理

電子連結による車群形成に必要な技術は、車群形成、離脱または車群走行維持に必要な走行制御情報を車群間でお互いに伝達するための車車間通信装置。前方の車両や障害物の検知、更には車間距離認識に必要な前方監視装置や相互の走行位置を確認する位置認識装置が構成要素として必要である。

また、これらの情報により、シーケンスに従って対象車両の同定、および車間距離センサで判別できない対象車両までの車間距離検出シーケンスが車群形成技術構成要件である。

イ. 車群形成技術の要求仕様の検討

要求仕様は、エネルギーITS推進事業で行われた協調走行の開発結果を参考にして、都市内交通に対応した要求仕様を検討すると、以下のように考えられる。

ARTは市街地走行を主体にした公共交通機関としてのバスの車群運転なので、車間距離は最短10m、最高速度は60km/h を要求仕様の検討条件とした。

(1) CACC同定シーケンス

前方走行車がCACC車（先頭車の場合ACC車）を認識する場合、以下のシーケンスに従って確定する。図3.4.3-1にCACC同定シーケンスを示す。

- 1) CACC車からの情報受信を受信。（車両は手動運転、ACC運転とも常時受信状態）
- 2) 自車とCACC送信車両の位置関係（GPS座標位置及び進行方位より前方車のみ抽出）
- 3) GPS情報からの車間距離と自車車間距離との値が一致（±10m程度）する場合、直前CACC車（直前に一般者はいない）と認識する。

なお、一致、不一致の判定においては一定の確信度を導入し判定する。

- 4) 認識したCACC車が30～60mの範囲にある場合、HMIを開始、ドライバに直前車がCACCであることを通知する。
- 5) ドライバがCACCスイッチをONにし、前方車にCACCランプ点灯を指示する。



図3.4.3-1 CACC同定シーケンス

(2) GPSによる車両間距離検出シーケンス

GPSによる20mから200m範囲の車両間距離は以下のシーケンスにて行う。

- 1) 緯度、経度を基点（今回は関東エリア）からの距離座標に変換
 - 2) 距離座標の移動変化（2～3秒）より進行方位角度を算出
 - 3) 自車の距離座標及び方位（角度）より50m,100m、及び200m先の距離座標を算出。なお、方位角度幅は道路半径を180Rとして、 $\pm 8^\circ$ （@50m）、 $\pm 15^\circ$ （@100m）、 $\pm 30^\circ$ （@200m）とする。
 - 4) 前方車の距離座標及び同一進行方位角度が上記のどの範囲に存在するか判定する。
- 図3.4.3-2に車間距離検出シーケンスを示す。

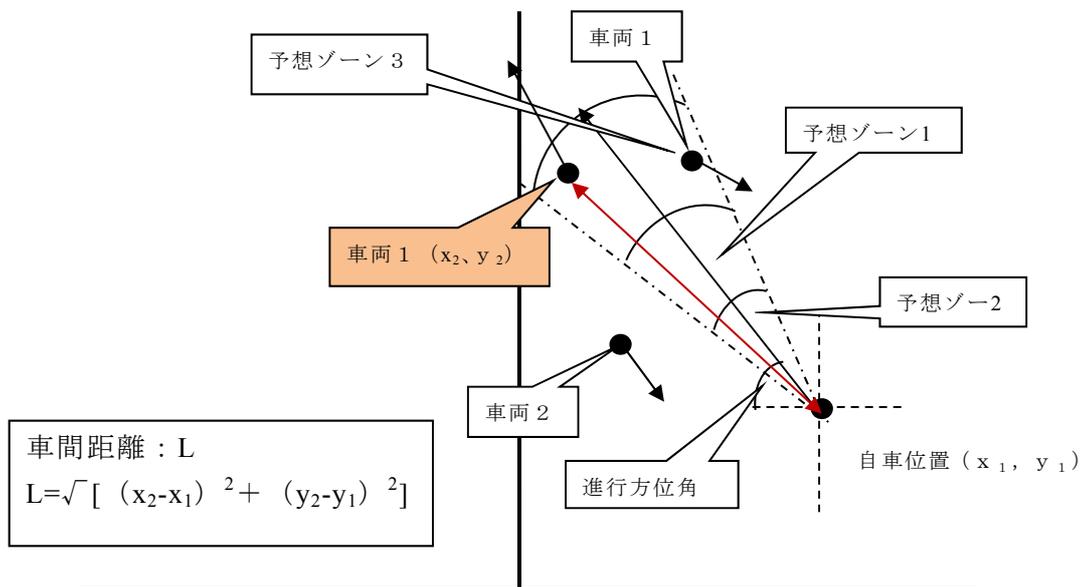


図3.4.3-2 車間距離検出シーケンス

3.4.4 ACC高度化技術の調査検討

先行車との車間距離を安全車間距離に維持する ACC では先行車が急加速をした場合、車間距離を一定に保持するため、自車も急加速をおこなう。また車間距離制御をおこなうにはエンジンの出力を制御する必要があり、ACC では通常アクセル開度指示を変更することによりエンジン出力が制御される。しかしエンジン出力とアクセル開度は非線形な関係にあるため、一定の速度で追従する定常走行と、先行車の加速状態に応じて速度制御をおこなう過渡走行の両方の状態において安定な制御をおこなうのは困難である。

そこでこれらの要求を満たす方法として、加速度フィードバックを基本とした制御方式がエネルギーITS 自動運転・隊列走行プロジェクトで開発されている。

図 3.4.4-1 に ACC 制御アルゴリズムの構成をしめす。

ここでは先行車の速度および車間距離より自車の目標加速度を算出するとともに、加速度からタイヤに発生する駆動力を算出するとともに、現在のミッションシフト位置よりエンジンに要求されるトルクを算出する。さらにエンジン回転数とエンジントルクよりアクセル開度を算出することによりアクセル開度のフィードフォワード制御をおこない、スムーズな加速制御が行われる。

またスムーズな加速をおこなうため、先行車の速度変化に対してフィルターをかけた速度変化を緩和する補正もあわせておこなう必要がある。

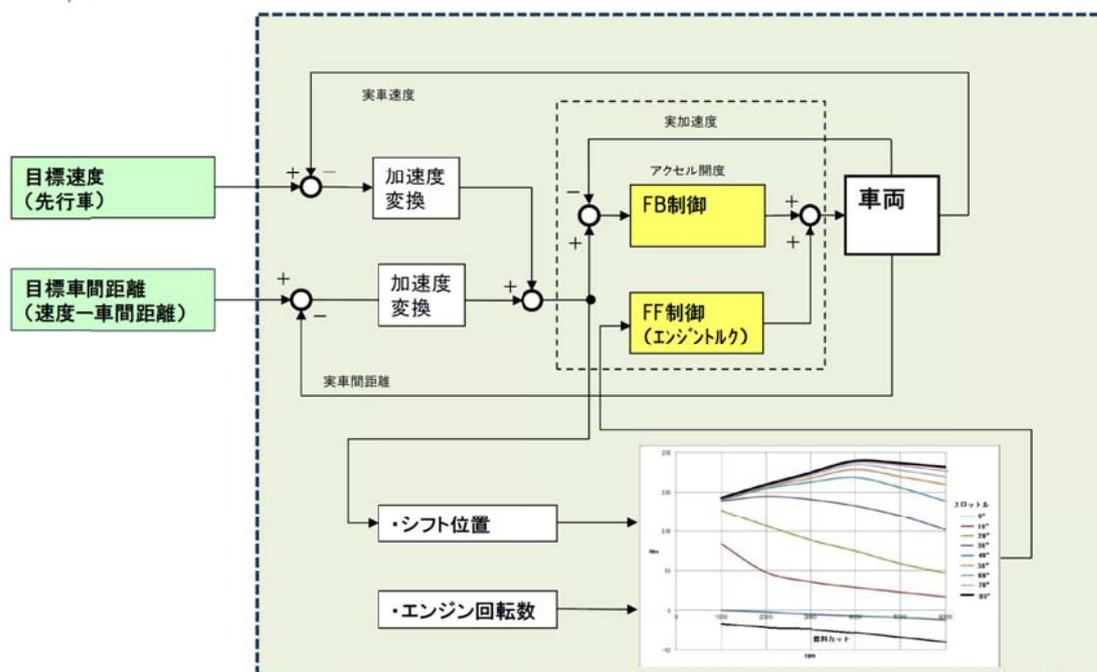


図 3.4.4-1 ACC 制御アルゴリズムの構成

3.4.5 車群走行CACC（Cooperative Adaptive Cruise Control）システムの調査検討

車間距離制御をおこなう場合、車間距離情報だけの制御では、前方車の減速度の発生開始から車間距離に変化が現れるまでには大きな遅れ時間が発生するとともに自車の減速度の発生するまで遅れがおこるため、衝突を防止するには長い車間距離が必要となる。一方ARTにおける車群制御ではART車の間に一般車が割り込むのを防止するため、車間距離を短縮する必要があり、このためARTの車群走行では前方車両の速度情報や加速度情報を後続車に通信を用いて伝送し、この前方車情報と車間距離を用いて車間距離制御をおこなうCACC（Cooperative Adaptive Cruise Control）が必要となる。

CACCの一例として、図3.4.5-1にエネルギーITSにて開発されたCACCのシステム構成を示す。

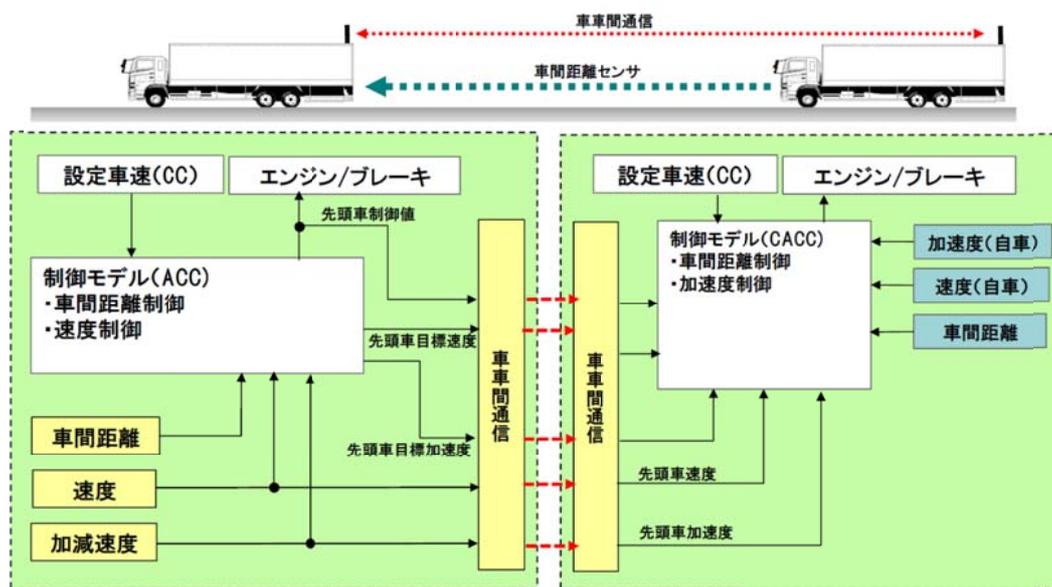


図3.4.5-1 エネルギーITSでのCACCシステム構成

CACCでは先頭車の速度や加減速度および変速装置のシフト位置が後続車に送信され、車間距離を一定にするため後続車の速度は常に先頭車と同じ速度になるよう制御されるとともに速度制御誤差により発生する車間距離誤差が車間距離センサからの情報をもとに補正される。

次にARTにおけるCACCの要求性能について検討する。ARTにおけるCACCの目的は一般車が車群内に割り込まない車間距離を保持することであるとともに、先頭車が前方障害物との衝突を回避するため、急減速をおこなった場合にも衝突しないことである。

エネルギーITS自動運転隊列走行プロジェクトにおいて、時速80kmで先頭車が0.6Gの減速した場合、車間距離の制御精度は $\pm 2\text{m}$ 以下と報告されており、この成果を参考にARTにおけるCACCの目標性能を検討した。

表3.4.5-1にARTにおけるCACCの目標性能をしめす。

0表3.4.5-1 CACC目標性能

性能項目	目標性能・機能	備考
車群内最大車両数	2台	単車での走行時
最高速度	50km/h	
車間距離	10m～15m	一般車が割り込み困難な車間距離
最大加速度	0.1G	
通常減速度	0.03～0.05G	
最大減速度	0.1G	

3.4.6 PTPS連動ACC制御システムの調査検討

ア. 基本システム構成

PTPS連動ACC制御システムの概念を図3.4.6-1に示す。

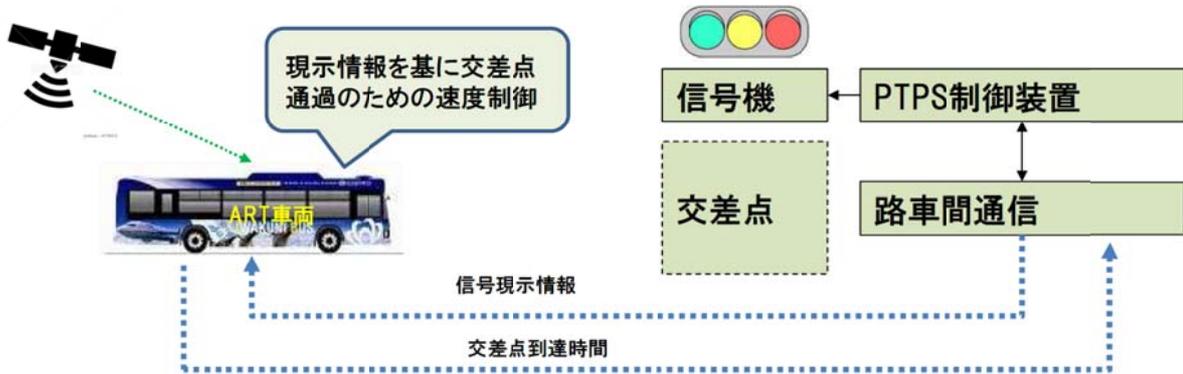


図3.4.6-1 PTPS連動ACC制御システム概念

ART車両が極力交差点で停止しないようPTPSからは赤信号に変化するまでの青信号残り時間又は赤から青に現示に変化するまでの赤の残り時間がART車両に伝送されるとともに、ART車両では交差点までの速度が計算され、高い精度で速度制御される。

この制御全体のシーケンスを以下にしめす。

1. PTPSからの信号現示情報（残り青時間、青が変わるまでの時間）を基に停止をしないための速度を算出し速度制御をおこなう。
2. 交差点で停止せざるを得ない場合、ACC装置を利用して減速・停止制御をおこなうため、交差点に仮想障害物を生成する。
3. 常時、交差点到達までの時間および交差点通過終了をPTPSに送出し、信号時間制御等に反映する。

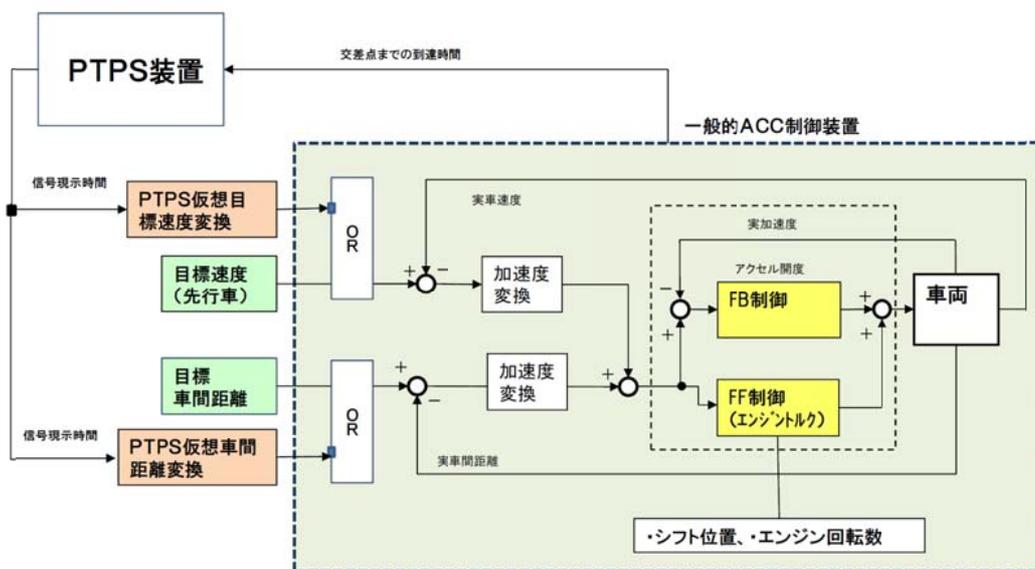


図3.4.6-2 PTPS連動ACC制御ブロック

また図3.4.6-2にPTPS連動のためのACC制御ブロックを示す。

PTPSからの信号現示時間情報および信号までの距離より交差点で停止しないための目標速度が算出されると共にACC制御装置に入力され、速度および加速度が制御される。

また同時に車両から交差点までの時間がPTPSに送出される。

イ. 車両制御の要求仕様の検討

PTPS連動ACC制御による自動運転を実現するため、信号機から上流方向道路に設置されたビーコンがARTの速度を送出する。PTPSではサンプリング時間100msで、車速60km/hまで検知できることにする。PTPS連動ACC制御システムの要求性能については表3.4.6-1で表す。

表3.4.6-1 PTPS連動ACC制御システムの基準

項目	基準
車速	50km/h
サンプリング時間	100ms

PTPS連動ACC制御を行うバスが交差点を走る場合には、次の問題について検討が必要である。

① 上流のビーコン通過後にPTPS車両の車速が変わる場合

PTPS車両の速度が交差点を通る時に一定の場合には、車両が交差点を進入する時間を把握することができるので予測可能な信号制御ができる。しかし、交差点を通過時間が変わる場合には予測通過時間のずれが発生する。この場合、他の車線から来る車両が速度制御による乗客に違和感を与える場合があるし、事故まで発生する可能性があるため検討が必要である。

② 交差点で自車より早く進入する車両が、自車より高速で進入する場合には優先的に交差点を通過させる。しかし、交差点に進入する車両が自車より低速の場合は自車の車速制御の検討が必要である。

③ 交差点で一般車が他の車線から右折・左折後に自車の進行方向の前に進入する場合、PTPSバスの車速制御の検討が必要である。

ウ. システム要求仕様実現へ向けた検討

前記調査検討に基づいて、以下に各方式の実現に向けてのPTPSシステム構成の要求仕様を検討した。表3.4.6-2に一覧表で示す。

最も要求仕様水準の低いC方式においては、現在、UTMSで開発が進められているPTPSの高度化において、(あ)・(い)を実現する「高度化光ビーコン」と「700MHz通信」を路側と車載器側のハードウェア・ソフトウェア開発が進められている。

したがって、これらの基本機能の上にPTPSとACC協調制御機能として、(う)・(え)

の機能開発が必要となる。(う)の機能では、ART車の走行軌跡情報から交差点に至るまでの走行軌跡を予測して停止線通過タイミングを予測する計算アルゴリズム、およびこれを双方向通信でリアルタイムに得られる情報で時々刻々更新する方法などの技術開発が必要である。(え)の機能では、とくにPTPS動作が「赤短縮」となる場合に、停止線通過タイミングの予測計算だけではなく、ART側がACC制御により自動的に交差点通過に至るまで最も加減速の少ない走行パターンを算定し、可能な限り停止せずに通過できるよう、あるいは停止時間を短く加減速度を小さくなるような自動制御アルゴリズムの開発が必要となる。

表3.4.6-2 PTPSとACC協調制御技術の構成要素と要求仕様

構成要素	A方式	B方式	C方式
(あ) ART位置・速度をインフラ側へ送信する機能	○	○	○
(い) PTPS信号タイミングをART側へ送信する機能	○	○	○
(う) 双方向通信によるARTの交差点到着の高精度予測	○	○	○
(え) 交差点停止を避けるARTのACC制御機能	○	○	○
(お) ART専用車線の導入	○	○	×
(か) 左折専用車線の導入(ART車線への左折車流入排除)	○	○	×
(き) ART専用の優先信号灯器の導入と割り込み制御機能	○	×	×

以上の技術開発は比較的その目標がはっきりしており、技術的な課題のみを克服すればよいので、基本的な技術開発に1年程度、実装へ向けた実用化に2年程度で十分に実現可能だと考えられる。

なお、本技術開発では路側とART側で相互作用が生じるので、制御システムとしての安定性や、相互作用を考慮した全体システム設計開発も極めて重要と考えられる。また、他の一般車両による様々な影響を排除できないため、計算どおりの自動運転では実際には運用できず、様々なノイズに対してロバストに運用できるACC技術、PTPS高度化ロジックである必要があり、典型例による事前チェックのみならず、実交通環境下における試験導入を比較的長期間運用しつつ、ロジックのチューニング、パラメータ調整などが必要になることが想定される。さらに、これらを行っても、交通混雑による旅行速度の低下、表定速度の信頼性の確保が困難であることが見込まれるため、高度なART技術導入をしても、必ずしも旅客輸送サービスとして高いサービス水準を維持できる保証がない。こうしたリスクについても適切に考慮した、PTPS高度化・ARTのACC協調制御の導入効果評価を行う必要がある。

中間的な要求仕様のB方式は、道路改築などがどこまで可能かによって(お)のARTの専用車線確保の成否が大きく決まる。また(か)の左折車のART専用車線からの排除のための方策には、いくつかの交差点部もしくはその上流部でのART専用車線と左折する一般車の交通方法について、道路交通法関連の法令の改正または運用の見直しが必要となる可能性があり、こうした制度面の検討も必要となる。(あ)～(え)ま

ではC方式と同じであるので、技術面だけで考えればC方式と同じロードマップで検討可能であるが、道路改築を必要とする場合には、用地確保の必要性の有無によっても要する期間は大きく変わり得るし、制度変更についてもそのロードマップを描くことは容易ではない。ただし、具体的なART導入路線が想定された場合には、十分に実現可能な一部交差点を対象にB方式を導入することによって、とくにこうした一部交差点が渋滞の原因になるようなボトルネック交差点である場合に、ARTの定時制確保、旅行速度向上に大きく寄与し、サービス速度向上とその信頼性向上することで、イメージアップや利用者増に繋がって、導入効果が高まることが期待される。したがってこうしたサービス低下リスクが軽減される効果も踏まえた、PTPS高度化・ARTのACC協調制御の導入効果評価を行うことが重要である。

最後に全ての要求仕様を満たすハイスペックな仕様のA方式では、(き)の新しいタイプのART専用の信号灯器の提案と製作・導入、およびこれを道路交通法の法令上どのように位置づけるか、法令の改正が必須となり、そのハードルは一気に高くなるものと想像される。また、このART専用の優先制御として、既存の信号制御ロジックに対して割り込み処理でARTのみに青信号表示を挿入するためには、既存の交通管制システムの信号制御ロジックを大きく改変する必要がある、システム改修のコストと時間を要することになる。基本的な機材・システム改変・ロジック開発には3年程度、その実装・実用化にも3年程度を要するものと考えられる。また制度改正のためには、PTPS高度化・ARTのACC協調制御について、多角的かつ定量的に精度高く、この仕様による導入効果評価を行うことが極めて重要である。しかし、A方式をART路線全体で実現することができれば、ARTは基本的に交差点で停止することなく走行でき、また一般の走行車両や流入流出、路上駐停車などの影響を極力抑えて、高い旅行速度の実現と、その信頼性の確保が期待されるので、道路上を走行する高度化されたバスシステムとして考案されるARTが、既存のバスの概念を打ち破って欧州の先進的なLRT並みの高い機能性を持つとともに、LRTほどインフラ投資を伴わずに実現できる可能性があり、こうしたコスト・便益の詳細かつ正確な評価を丁寧に行う価値は極めて高いものと考えられる。

3.4.7 車群走行—PTPS連動化技術の調査検討

PTPS実施時における非PTPS側一般車走行の交通円滑化を図るため、ARTの車群走行とPTPSの連動を可能とする車群走行—PTPS連動化技術を検討する。

公共車両優先システム（Public Transportation Priority Systems：PTPS）は、高度道路交通システム（Intelligent Transportation System：ITS）の最先端の情報通信技術を活用し、光ビーコンを用いた個々の車両と交通管制システムとの双方向通信等の高度な情報通信技術により、公共バスの定時性の確保を支援するためにバスが信号交差点を優先的に通過できるように制御するシステムである。

CACC（Cooperative Adaptive Cruise Control）による車群走行PTPS連動化は、交通密度が高い場合には同一の青信号で複数の車両が通過するために、一台のみ青信号でPTPS連動に対して、複数の車両で車群組んでPTPS連動し信号を通過するシステムである。

本検討では、PTPSがCACCと連動し、PTPSのメリットとCACCのメリットを結合した新しい交通システム技術開発を行い、公共バスの交通効率の向上を目指す。PTPS - CACCの連動化技術を構築するためには、交通信号制御の高度化が必要である。

次世代交通システム（Advanced Rapid Transit：ART）は、ART車両が交差点を通過する場合、ART車両のみ通行権を与えるような制御を行うシステムが必要である。具体的には、車群走行するART車両の最後尾車両が交差点を通過するまで青色信号を維持し、全車両が交差点を通過した後に信号を切り替わるように信号を制御するアルゴリズムが必要である。このアルゴリズムを検討する上で、どの様に車群が通過するか検討した。

PTPS - CACCの連動の概要を次に示す。

A：交差点がない道路を通過する場合

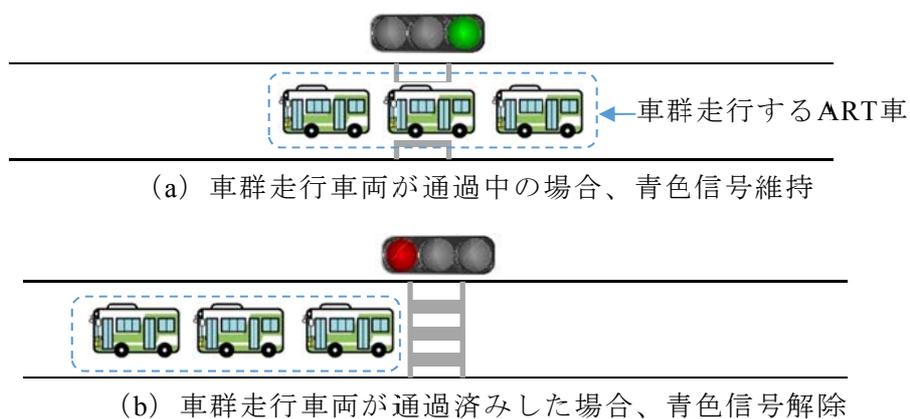


図3.4.7-1 交差点がない道路を通過する場合の車群走行制御

車群走行するART車両が信号機を通過する際、車両の車速と加速度、信号機と車両の間の距離を検知し、車群走行する全ART車両が車両停止することなく通過できるように信号制御を行う。図3.4.7-1のように、車群走行するART車両の最後尾車両が信号機を通過するまで青色信号を維持し、全車両が交差点を通過済した後に青色信号の維持を解除するように信号制御を行う。

B：交差点を通過する場合

1) 車群走行するART車両が交差点で一方向のみ走行する場合

上記の「交差点がない道路を通過する場合」と同様に信号制御を行う。その際には図3.4.7-2のように交差点の他の方向(例：十字路で南北方向)の信号は停止信号を出して、ART車両が円滑に通過できるように信号制御する。

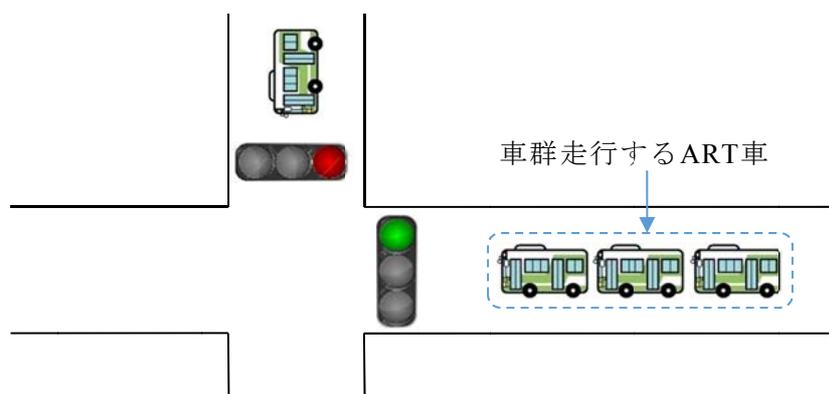


図3.4.7-2 交差点で一方向のみ通過する場合の車群走行制御

2) 車群走行するART車両が交差点の両方向に進入する場合

①交差点の両方向から信号機に向うART車両の通過時間が異なる場合

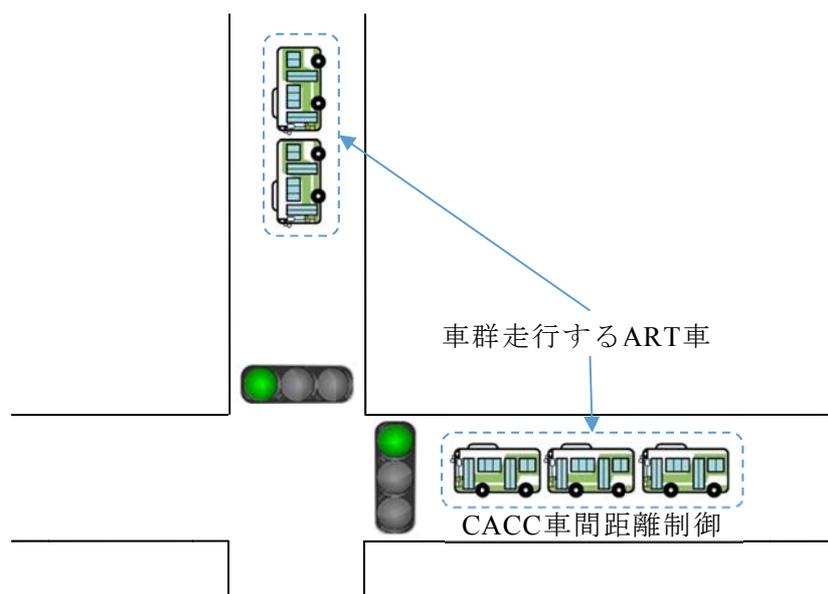


図3.4.7-3 交差点の通過時間が異なる場合の車群走行制御

図3.4.7-3のように交差点をより早く通過する方のART車両(例：十字路で東西方向)は車速を上げて全車群が優先的に交差点を通過させることで、他の車線(例：十字路で南北方向)のART車両の車速制御に影響しないようにする。

②ART車両が同時に交差点を進入する場合

両方向のART車両が交差点に接近する速度を比較し、より早く交差点に接近するART車両(例：十字路で東西方向)には図3.4.7-4のように車速を上げて全車群が優先的に交差点を通過させるようにする。他の方向(例：十字路で南北方向)から交差点に接近するART車両は、次の番に交差点を通過するように交通管制センタから車両への車速指示及び交差点の信号制御を行い、交差点の円滑な通行ができるようにする。

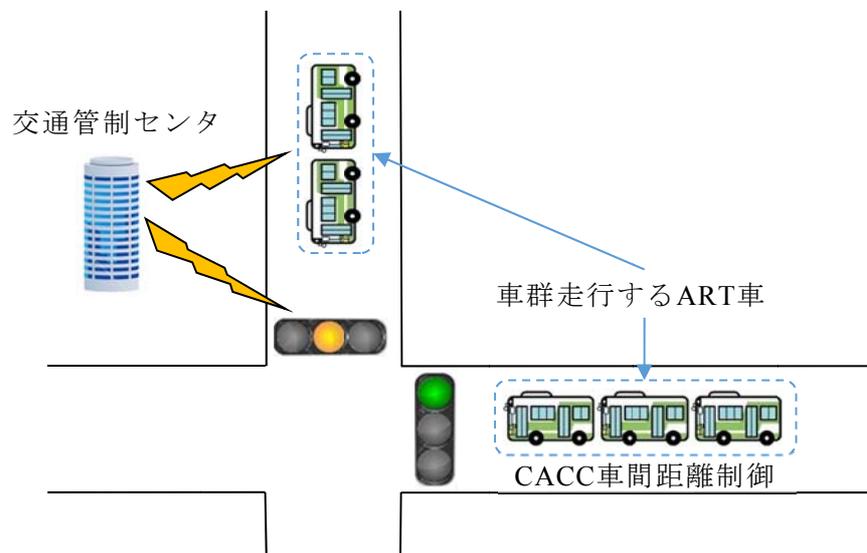


図3.4.7-4 同時に交差点を進入する場合の車群走行制御

3.4.8 省エネ運転制御技術の調査検討

エンジンの最適燃費率領域を使用して省エネ運転をおこなうためのエンジン・駆動最適制御を実現する省エネ運転制御技術を調査検討する。

ア. 省エネ運転制御技術の構成要素の検討

省エネ運転制御技術に対する検討を行うためには、各運転パターンにおける走行距離と走行時間を管理し、車両運転状態と燃料消費量を正確に知ることが重要である。エネルギーITS推進事業「協調走行（自動運転）に向けた研究開発」では、車輪パルス・レーザーレーダによる距離データと高精度GPS情報を元に、積算走行距離と時間を管理する。車両の運転状態と燃料消費量は車両のCAN情報及び各種センサから収集し、運転パターンと燃料消費量の関係が確認する。省エネ効果の確認は、ドライバ運転と自動運転における運転操作方法や走行パターンの違いによる燃料消費量の差を相対的に確認する。燃料消費量は車両CAN情報よりインジェクタの燃料噴射量の指示値を基に演算する。車両の制御指示値として、アクセル回路にアクセル開度、ブレーキアクチュエータにブレーキ制御電圧、操舵アクチュエータに操舵角の制御値を使用する。速度制御部は速度と加速度の目標値に対し、自車両の状態から目標の状態に加減速させるのに必要なタイヤトルクを車両モデルで演算してアクセル制御とブレーキ制御を行う。横制御は目標とする道路線形に対する自車位置を元に、目標位置における横偏差と偏揺角の誤差が最小となるよう操舵制御を行う。

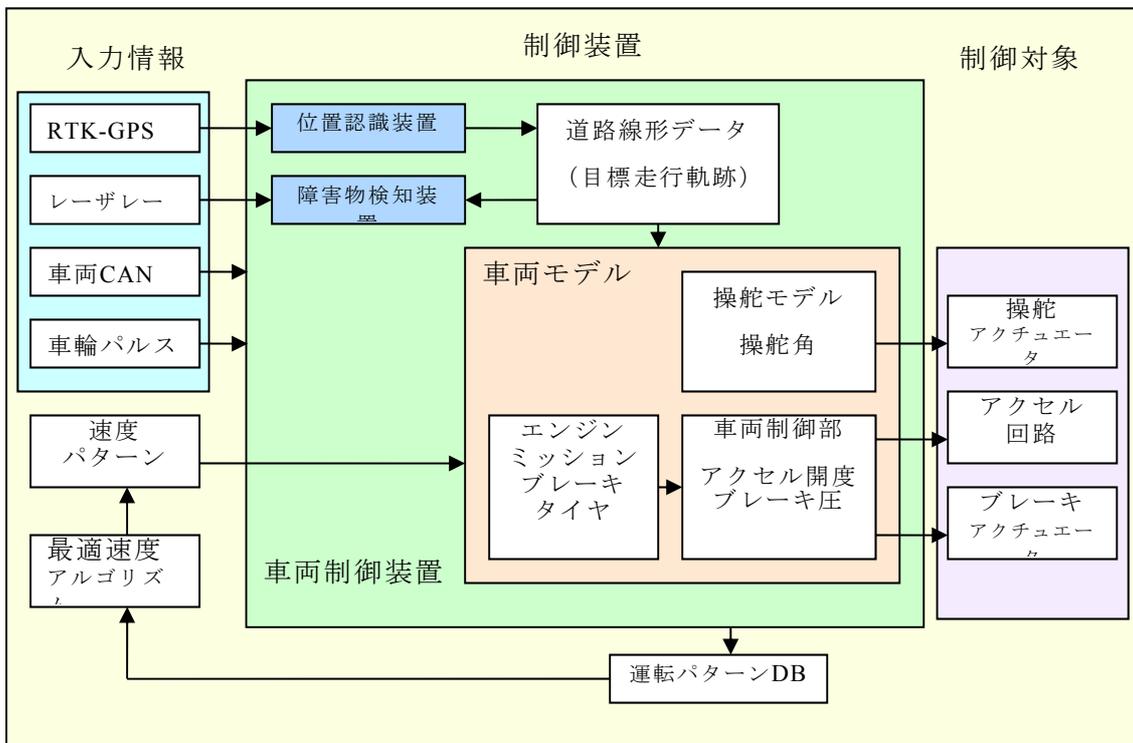


図3.4.8-1 省エネ運転制御システムの構成

省エネ運転制御のシステム構成では、車両走行状態の計測機能、車両の速度制御機能、障害物の検知機能、測位機能を搭載するシステムである。図3.4.8-1は省エネ運転

制御システムの構成を示す。

省エネ運転速度制御技術の実現するため、省エネ目標速度生成アルゴリズムとは前後車両や規制速度等、与えられた周囲交通環境の拘束のもとで、スムーズな速度（緩加速度）となるように構成する。制御加速度は、前後車両がセンサの検知範囲に存在しない場合は、規制速度と道路勾配情報により目標速度パターンを生成し、制御側から目標加速度を生成する。また、前後車両が存在する場合は、それに加えて、目標車間距離を生成し、目標速度パターン生成と共に制御側に入力され、目標加速度を生成する。制御側は、これらの目標速度、目標車間距離に対して、実速度、実車間距離との誤差、及び目標加速度を最小にする最適制御となる。省エネ目標加速度自動生成アルゴリズムの概要を図3.4.8-2に示す。

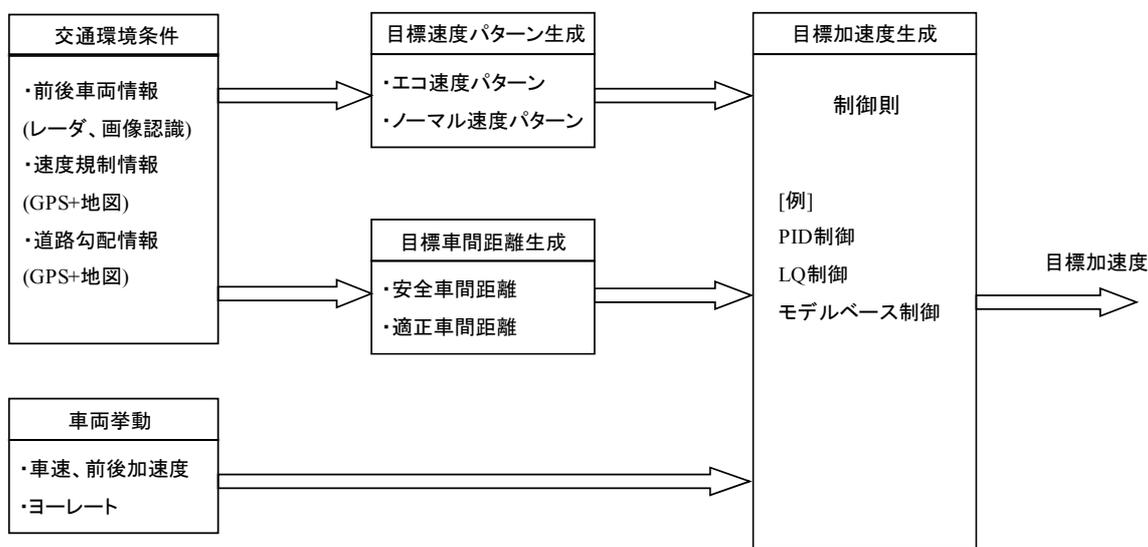


図3.4.8-2 省エネ目標加速度生成アルゴリズムの概要

省エネ運転速度制御モデルは、与えられた目標加速度に対して、ターゲット車両のアクセル開度、ギヤ位置、ブレーキ油圧を制御するモデルである。実験車両は多段トランスミッションが付いている車である場合、任意のギヤ比を選択できないので予めマップに設定したエンジンの最適燃費曲線と目標出力線の交点のギヤ比に最も近いギヤ段を選択することで、燃費最適なアクセル開度とエンジン回転数が求まる。省エネ運転車両制御モデルの基本構成を図3.4.8-3に示す。

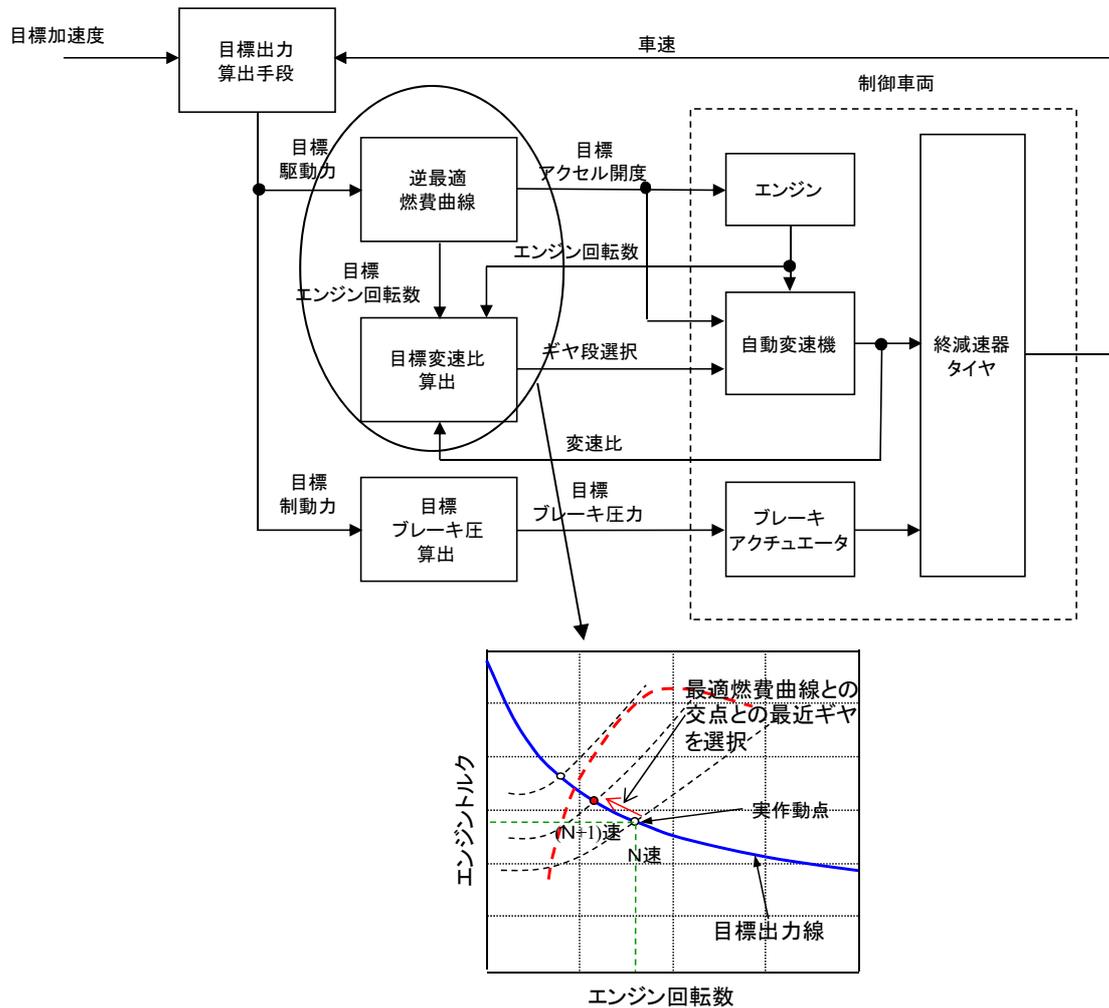


図3.4.8-3 省エネ運転車両制御モデルの基本構成

3.5 ARTに求められる要素技術の調査検討

ARTに求められる制御システムを構成するには幾つかの重要なセンシング技術や要素技術が必要となる。ARTを実現する上で特に技術的に重要と思われる、技術要素における性能や機能、安全性、信頼性における要求仕様や概略構成および解決すべき課題を検討した。

なお、要求仕様を策定するに当たってはエネルギーITS事業や欧州FP7等の過去の研究開発で得られた成果等を参考に策定した。

以下にARTに必要な要素技術について記載する。

3.5.1 障害物検出技術

障害物検出技術は、以下の様に二つの機能が求められ、センサ機能の兼用が求められる。また、耐候性や障害物検出性能の安定性と信頼性を確保するために検出媒体や方式の異なるセンサを用いて最終的にセンサフュージョンによる認識を行う必要がある。

ア. 車間距離センシング技術

ACC制御に用いられる車間距離センサとして、既に76GHzミリ波レーダやレーザーレーダ、ステレオカメラ等が実用化されており、ARTのACC制御用として量産品の利用は使用可能である。

イ. 障害物センシング技術

ARTでは通常のバスに比較し高い安全性が求められている。特に一般車や歩行者と混在する交通環境区間での走行では、一般車の急な割り込みや交差点での歩行者の飛び出しなどによる事故を防止する必要がある。

更に急な割り込みや飛び出しの発見が遅れると急制動により立席の乗客が転倒し負傷する可能性もある。

従ってARTでは急な割り込みや飛び出しをいち早く検出するだけでなく、あらかじめこれらの発生を予測することが求められる。

このため、ARTでは障害物までの距離や方位を検出するだけでなく、障害物の形状や移動速度ベクトルを検出できる性能が求められる。

以下に車載検討されている障害物検出技術として、調査したセンサ構成例を示す。

3.5.1.1 障害物センシング技術の調査

先進的な障害物センシング技術の事例について海外の調査をした。

ア. Mercedes - Benz DaimlerのFuture Truck 2025

最近の開発プロジェクトの障害物検知技術の搭載状況は、仕様が明示されている一例として、Mercedes - Benz DaimlerのFuture Truck 2025 では、広報資料に示されたセンサ構成とその特性を示した図面を図3.5.1.1-1に示す。

前方監視： Full Range Radar	検知角幅 18°、250m
Front Stereo Camera	検知角幅 45°、100m
Short Range Radar	検知角幅 130°、70m
側方監視： Lateral Radar on both sides	検知角幅 170°、60m

後方監視は搭載されておらず検出漏れ領域が存在する。また、前側方監視は、前方と両側方に超広角度のレーダを搭載しカバーする構成である。更に、サイドミラーの代わりに、左右それぞれに広角と近距離用の2カメラ画像を液晶ディスプレイに表示する構成である。その他に、車車間通信用に 5.9GHz帯の Wi-Fi、通信距離 500mと、路車間通信に同じく Wi-Fi 通信距離 500m の搭載が公表されている。

障害物検出センサの構成と要求仕様の大きな違いは、ARTは市街地走行が中心で、Future Truck 2025 は高速道路走行向けの要求仕様の違いが主な要因と考えられる。

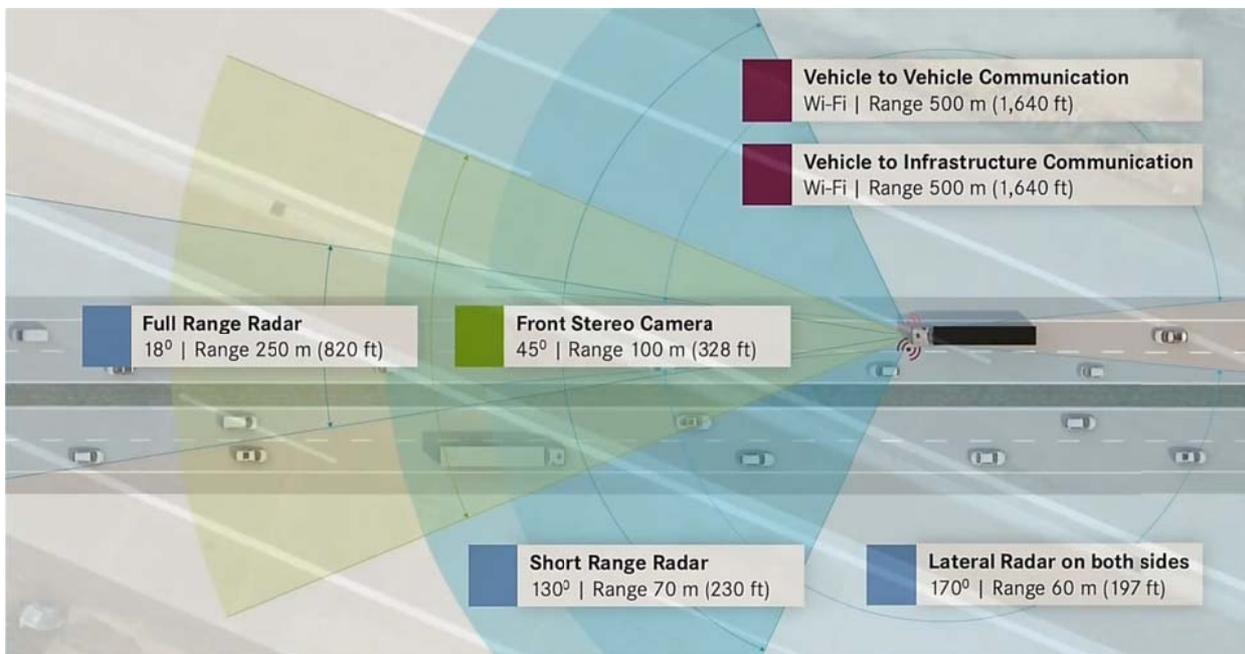


図3.5.1.1-1 Mercedes - Benz DaimlerのFuture Truck 2025の障害物検知構成

イ. FP7のinteractIVe プロジェクト

FP7のinteractIVe プロジェクトでは事故の無い交通を狙って、ADAS (advance drivers assistance system : 先進運転支援システム) の開発を対象にプロジェクトの色々な報告資料に統一的に用いられている障害物センサ構成の図面を図3.5.1.1-2に示す。

前方監視： 76GHz Radar (遠距離用)	200m、検知角幅 約2車線幅×3ビーム
76GHz Radar (中距離用)	60mわ、検知角幅 約90° ×3ビーム
Front Camera	40m、検知角幅 約3車線幅
側方監視： Ultraschall on both sides	約1.2レーン長、検知角幅 約半レーン幅
後方監視： 24GHz Radar	80m、検知角幅 約3レーン幅

interactIVe プロジェクトでは先進運転支援が中心のコンセプトで走行中の障害物や走行車両の検出が主眼であり、レーン変更に対する信頼性のある検出能力を備えたセンサや、交差点での歩行者巻き込み防止保護などの事故防止に対応するセンサ構成までは要求されていないと思われる構成のコンセプトである。

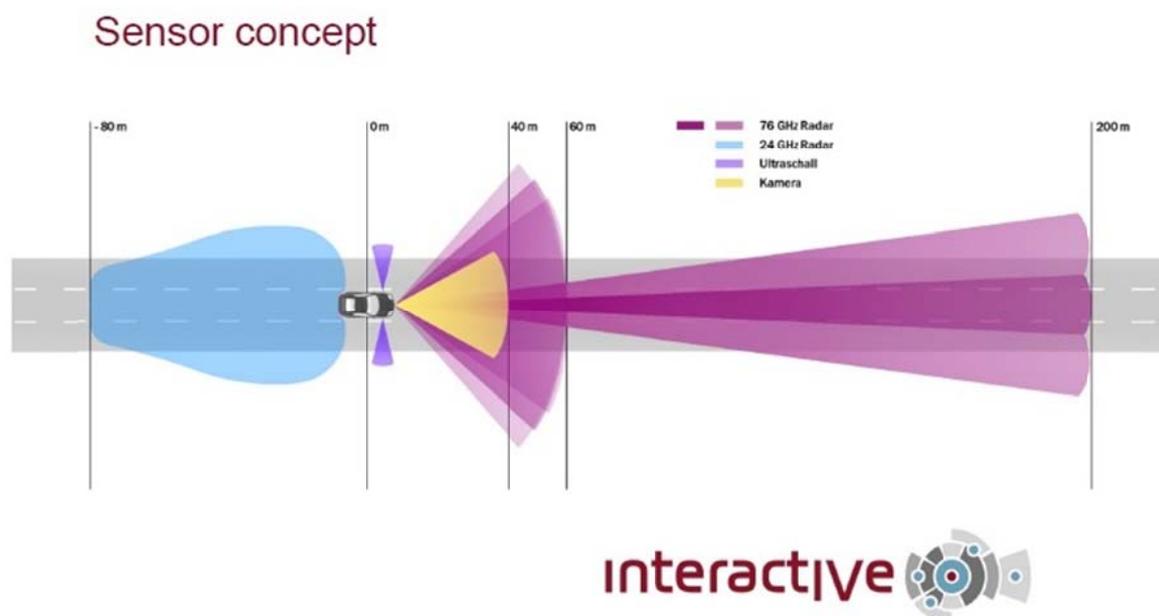


図3.5.1.1-2 interactIVe project の障害物センサコンセプト

先行検討されている障害物センシング技術は、複数の対象物と検出範囲をカバーするために複数の媒体によるセンサを搭載しており、内部処理にてセンサフュージョン処理認識を行っていると考えられる。また、高速域に比べて中・低速域用のセンサは検出距離は順次短くなると共に、検出角度を広げ広角度の検出範囲を確保し、周辺の対象物検知に注力している。これらを参考にATRの要求仕様検討の参考とする。

3.5.1.2 車間距離センサ技術の調査

ミリ波レーダ、レーザーレーダ、画像センサの車間距離センシングの要素技術の調査を行った。

ア. ミリ波レーダ

ミリ波レーダは波長が1から10mmのミリ波帯の電波を用いたセンサである。

ミリ波レーダによる距離検出方式には、図3.5.1.2-ア-1に示すようパルス方式、FM (Frequency Modulated) -CW (Continuous Wave) 方式、2周波CWおよびUWB (Ultra Wide Band) を用いたSS方式 (Spectrum Spread) 等が実用化されている。ミリ波レーダに使用されている搬送周波数は26GHz、76-77GHzおよび79GHzであるが現在は76-77GHzが主に使用されている。

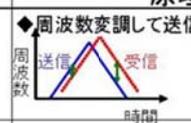
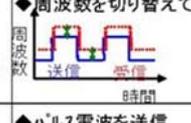
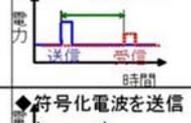
パルス (モノパルス) レーダでは一定間隔で電波を発信後、電波が物体で反射し帰って来るまでの時間を計測して距離を検出する。

一方FM-CW方式はドップラー効果を利用して、障害物までの距離と相対速度を検出するもので、ドップラー効果を用いるために搬送周波数は線形的に増加するように周波数変調した

up-sweep信号と周波数が線形的に減少するdown-sweep信号の電波が出力される。アンテナで受信された障害物からの反射信号は送信信号の一部とミキシングされてビート信号がえられる。ここでup時とdown時に発生するビート信号の周波数により障害物までの距離や相対速度が検出される。

現在実用化されているミリ波レーダの検出距離を表3.5.1.2-ア-1に示す。

ミリ波レーダ ～距離・相対速度の検知方式の違い～

方式	原理	得失
FM-CW	 <p>周波数変調して送信 送信と受信の周波数差 距離, 相対速度</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○構成が簡単 ○距離と相対速度を一度に計測 ○相対速度ゼロも計測可能 ×発振器の直線性精度が必要
2周波CW (多周波CW)	 <p>周波数を切り替えて送信 ドップラ周波数, ドップラの位相差 相対速度, 距離</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○構成が簡単 ○距離と相対速度を一度に計測 ○距離分解能高い ×相対速度ゼロは計測不可
パルス (パルスドップラ)	 <p>パルス電波を送信 送信と受信の時間差 距離 (相対速度)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○構成が簡単 ○相対速度ゼロも計測可能 ×距離分解能低め
スペクトル拡散	 <p>符号化電波を送信 送信と受信の時間差 距離, 相対速度</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○送受の相関を使うため 干渉に強い ○相対速度ゼロも計測可能 ×構成複雑

(出典 : https://www.toyota.co.jp/jpn/company/history/75years/data/automotive_business/products_technology/technology_development/electronics_parts/details_window.html)

図3.5.1.2-ア-1 ミリ波レーダによる距離検出方式

up-sweep信号と周波

表3.5.1.2-ア-1 各レーダの検知エリア

	前後方 (狭角)	前後方 (広角)	側方
用途	遠距離	中距離	近距離
検知距離	200m以上	70~100m	35~40m
検知角度	18~20°	90°	36~130°

(出典 : 富士通テック技報Vol.31 No.1、デンソー2012.11公表資料)

また、近年車載用の3次元電子スキャンミリ波レーダが開発されており、上下方向の分解能を持たせた3次元電子スキャン方式のセンサを用いて、陸橋、ガントリや標示板などの道路上部に設けられているものと、走路上の障害物との分離検知が可能な、誤検知の特性を向上した認識性能の高い障害物検出が可能となった。

更に現在は、76-77GHz帯 (ARIB STD-T48) の1GHz幅 (内占有帯域500MHz) に比べ、帯域幅が4GHz幅 (内占有帯域3GHz) と広く取れる79GHz帯ミリ波レーダ (ARIB STD-T111) は、距離分解能が約1~2mに対して約0.2mと高くとれることが出来るため、車両の直前にいる歩行者や自転車などの車両に比べて小さい物体に対しても検知性能が向上する高分解能ミリ波レーダとして開発が推進されている。

イ. レーザレーダ

レーザレーダはレーザ光の発光から障害物で反射された反射光が受光されるまでの時間を計測することにより障害物までの距離を検出するセンサである。

表3.5.1.2-イ-1に現在実用化されているレーザレーダを示す。

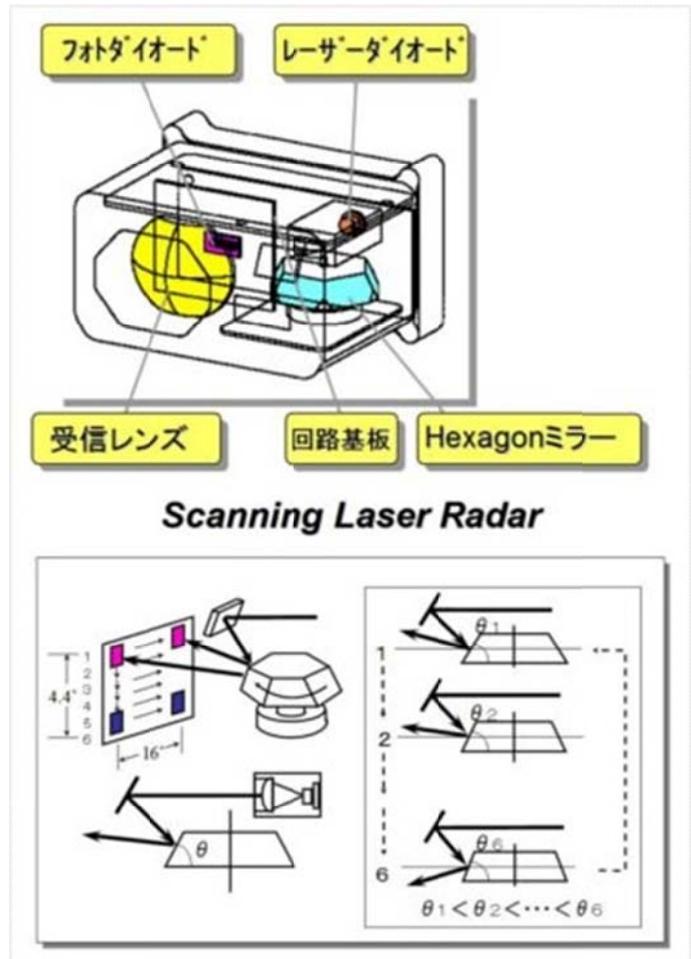
遠方100m程度までの距離検出をおこなうためレーザ光はレンズ等を用いて絞られているため、100m遠方でも数平方センチの面積の物体面で反射するため、曲線区間や勾配がある道路では前方の障害物を検出することができない。そこでレーザレーダではレーザ光は水平方向又は水平・垂直方向に可動するミラーを用いてスキャンされている。

図3.5.1.2-イ-1にポリゴンミラーを用いたレーザレーダの構造をしめす。ポリゴンミラーは回転され、回転面1面により水平方向に連続的にレーザ光がスキャンされる。またポリゴンミラーの傾き角はミラー面ごとに異なり、このミラー面の傾き角の違いによりレーザ光は垂直方向に離散的にスキャンされる。

通常レーザレーダのレーザ光は1個の半導体レーザ素子よ

り構成され、ポリゴンミラーによりスキャンされるが、垂直方向のスキャン分解能を向上するため、複数のレーザ光を持つレーダレーダがVelodain社より実用化されている。

図3.5.1.2-イ-2にVelodain社のH型レーザレーダの概観と構造をしめす。



(出典：https://www.toyota.co.jp/jpn/company/history/75years/data/automotive_business/products_technology/technology_development/electronics_parts/details_window.html)

図3.5.1.2-イ-1 ポリゴンミラー方式レーザレーダ

表3.5.1.2-イ-1 レーザレーダ性能

センシング方式	性能						
	周期	検出距離		水平		垂直	
		範囲(m)	精度	範囲	分解能	範囲	分解能
ペロダイン HDL-64E 	66ms	120	2cm	360°	0.09°	±13.4°	0.4°
IBEO社 :LUX 	40ms	0.3~200	4cm	±42.5	0.125	±1.6°	0.8°
N社 (ACC用)	100ms	120		±18°	0.08°	±4.4°	1.46°

このレーザーレーダは垂直方向の検出分解能で、出力される距離データよりおよその障害物の形状認識が可能である。

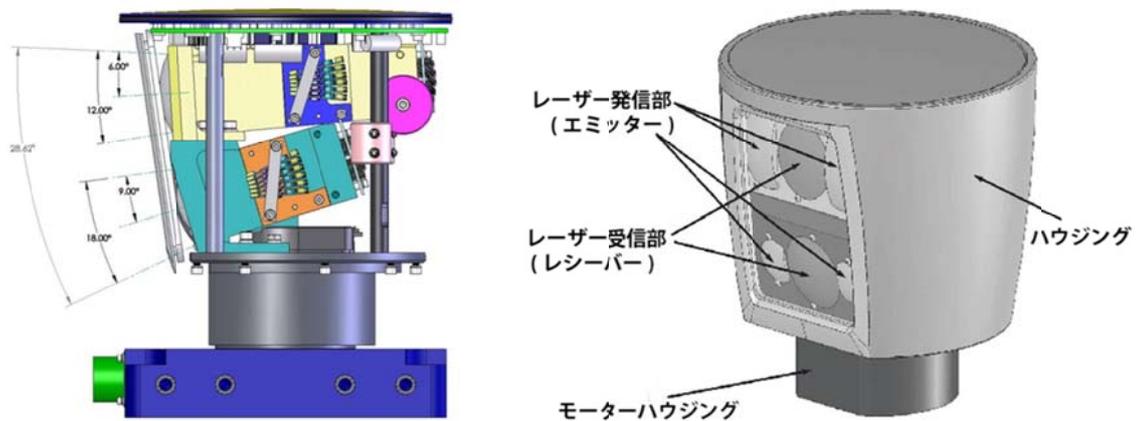


図3.5.1.2-イ-2 Velodain社H型レーザーレーダ構造（出典：Velodain社HP）

Googleカーなどに使われている角度分解能が高く3DスキャンのVelodain社H型は構造が複雑で価格も高価であり、エネルギーITS推進事業の協調走行（自動運転）に向けた研究開発では、IBIO社のLUXレーザーレーダの横角度分解能は 0.125° で 85° 幅、縦分解能は 0.8° で 3.2° の範囲で4層のスキャンの性能を持ったレーザーレーダが用いられた。

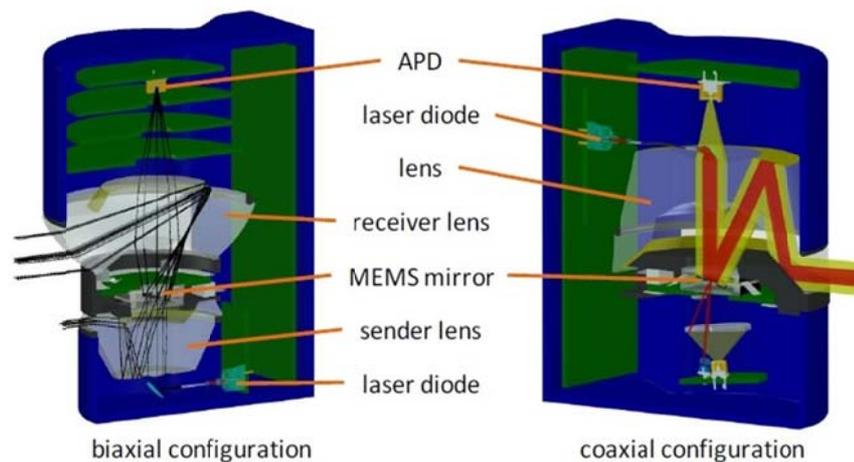
欧州ではFP7の関連プロジェクトMiniFarosが開発しているレーザースキャナは高分解能の3Dスキャン方式で、歩行者検知を狙っており、広角の横検出角度は幅で 250° 以上、角度分解能は 0.25° が公開されている開発目標の仕様である。

MiniFarosプロジェクト

開発のキーデバイスは高分解能・広角度の検出範囲をカバーし、低価格で車載性を確保するため

MEMSミラーを開発した。

MEMSミラーの両面を使用する送受別光学系の二軸システムと、MEMSミラーの片面を使用する共用レンズ方式の同軸システムのコンセプト



Proposed design concepts. A biaxial system with separate sender and receiver (left). A coaxial system based on a single shared lens (right).

図3.5.1.2-イ-3 MiniFarosセンサ構成 2つのコンセプト

で開発を進めている。図3.5.1.2-イ-3 に MiniFarosの構成コンセプトを示す。

欧州で進められているMEMSミラー使用の広角度・高分解能3Dレーザレーダは日本でも先進交通システムのセンシングに必要である。ARTでは昼夜かかわらず微細な計測制御を行うためにはMEMSミラーの3Dレーザレーダ必要である。

レーザビームの投光反射から対象物までの距離と方位角を検知するセンサは、レーザレーダ、レーザスキャナと呼ばれるが、明確な定義はされていないが主に高速道路向けの比較的狭い角度範囲の検知をするものはレーザレーダと呼ばれる。広い検知角度能力をもったものはレーザスキャナと呼ばれることが多い。ARTでは、後述するように広い検知範囲が必用であるが、要求構成や仕様ではレーザレーダの表現を用いる。

ウ. ステレオビジョン

画像センサは立体物と距離検出のため主にステレオ方式で用いられる。ステレオビジョンは一定の間隔で配置された2個のカメラからの画像を用いて、極小画像エリアにある物体までの距離を検出する技術である。



図3.5.1.2-ウ-1 ステレオビジョン距離検出原理

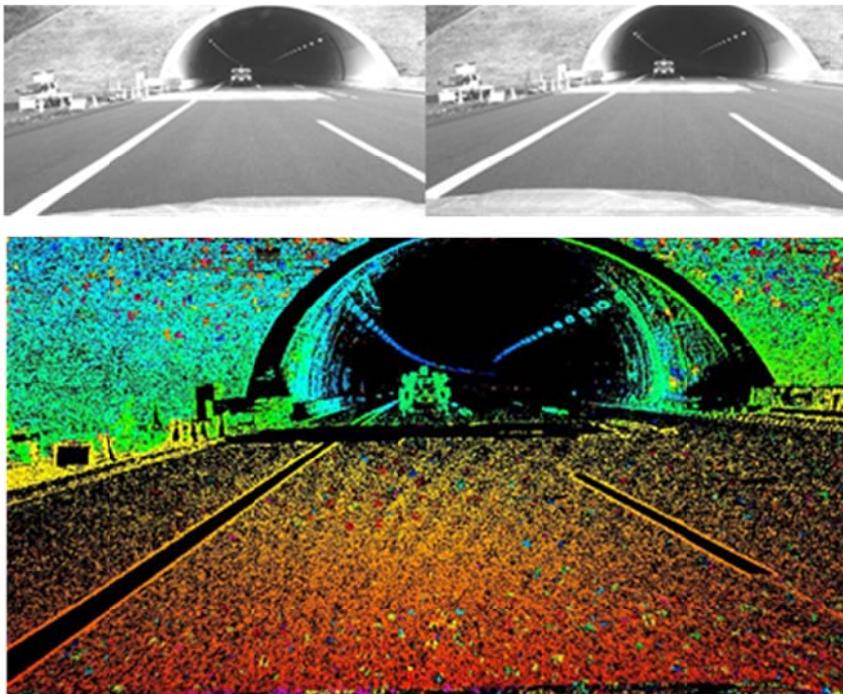


図3.5.1.2-ウ-2 ステレオビジョンによる距離性能事例

右カメラと左カメラは基線長と呼ばれる一定間隔で配置されているため、基線長のため右カメラ像と左カメラ画像には視差が発生し、基線長に応じた異なった画像が撮像される。

図3.5.1.2-ウ-1にステレオビジョンにおける極小画像エリアを用いた距離検出の原理をしめす。例えば右カメラ像のある極小画像エリアをxとするこのx画像を左カメラ画像の同じ垂直位置で1画素ごと水平方向に移動

し、極小エリアにおける輝度の累積誤差を算出する。算出された累積誤差が最少とな

る水平移動量は距離に反比例するため、極小画像エリアにある物体までの距離が算出される。通常この極小画像エリアは3×3の9画素である。

図3.5.1.2-ウ-2はステレオビジョンにより検出された距離性能の一例を色の違いにより示したものである。

ステレオビジョンの特徴は近距離ほど距離検出精度が高く、遠距離になる程視差が小さくなるため精度が下がる。また夜間は日中と比べて輝度差が低下するため距離精度も低下する。一方ステレオビジョンはレーザレーダやミリ波レーダに比較し垂直方向の分解能が高いため物体の形状認識が容易である特徴を有している。

ステレオカメラを用いた障害物検出による衝突被害軽減システムの実用化事例として、図3.5.1.2-ウ-3にスバル「アイサイト」にて搭載されたステレオカメラをしめす。ステレオカメラは室内ミラー付近に設置されている。



図3.5.1.2-ウ-3 スバル「アイサイト」ステレオカメラ（出典：スバルHP）

画像センサに用いられる撮像素子は進化を遂げており、画像センサの課題である西日やトンネル、橋梁部など照度の急変や広い照度に対する高ダイナミックレンジを持った撮像素子が求められる状況であったが、近年高ダイナミックレンジの素子が提供され、また、フルHDカメラの高画素数のものも出て来ている。

3.5.1.3 環境理解技術の調査

車両周辺に存在する物体の認識性能の向上も自動運転における課題である。

図3.5.1.3-1に示す非常に複雑なシーンにおいて自動運転をおこなうには交通信号や道路標識、電柱、ガードレール等の構造物と道路および道路上の自動車や歩行者、自転車等を区別するとともに道路上の物体がどの方向に移動しているかを認識することが求められている。

現状画像センサやミリ波レーダ、レーザレーダ等のセンサ単独で複雑な環境認識することは困難なためこれらのセンサを複数用いて認識性能を向上するセンサフュージョン技術が開発されているがこれらを完全区別することは極めて困難である。そこでセンシングと高度化された道路地図の組み合わせた「ローカルダイナミックマッピング」と呼ばれるセンサと詳細3次地図のフュージョン技術によりこの問題を解決する方向が開発されている。



図3.5.1.3-1 走行環境シーン

このローカルダイナミックマッピングの概念を図3.5.1.3-2にしめす。

GPSからの位置情報をもとに電柱や信号機等の道路構造物情報をもつ周辺詳細道路データが出力される。また車載された3次元レンジセンサにより車両から周辺物体までの3次元距離が検出される。

この3次元レンジセンサからの距離データと道路地図をリアルタイムに重ね合わせるにより、3次元レンジセンサにて検出された物体が道路構造物か道路上の物体かが正確に区別することが可能となる。

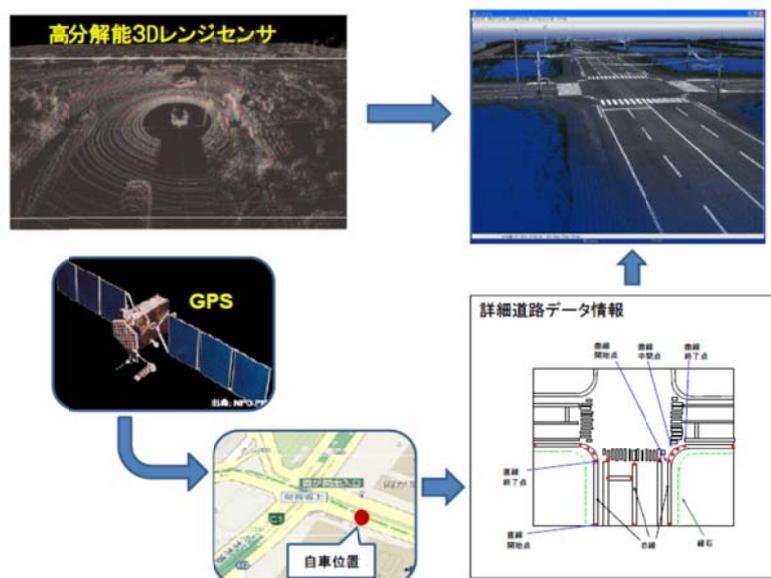


図3.5.1.3-2 ローカルダイナミックマッピング

3.5.1.4 障害物検出技術の要求仕様の検討

障害物検出は、耐候性や障害物検出性能の安定性と信頼性を確保するために検出媒体や方式の異なるセンサを用いて最終的にセンサフュージョンによる認識を行う必要がある。

そのためにセンサフュージョン後の検出性能は、エネルギーITS推進事業の協調走行（自動運転）に向けた研究開発の最終成果報告書にも研究目標とされた仕様のよう、一日走行しても誤検出を生じず常用可能なように、1秒間に10フレーム以上の認識性能に対応出来るよう、誤検出率 10^{-6} 以下、未検出率 10^{-4} 以下を要求仕様とする。

前方監視用のセンサは、ARTでは市街地走行が主体なので法規通りの最高速度60km/hの前提で仕様検討する。従って、対向車に対しては120km/hの相対速度に対して、認識処理するために3秒以上の車間距離から認識を行えることが求められる。そこで、認識が始まる前から対象物が検出領域に入る必要があり、検出距離としては120m以上の検出距離が必用距離となる。また、横方向の検出角度は、道路構造物から設計速度60km/hの道路では最少曲線半径150mの規定がある。この曲線道路において検出必要距離まで検出可能となる横方向の検出角度は ± 24 度以上が要求仕様となる。

また、自動走行に対しては、車両ばかりでなく走路上の障害物に対する検知能力が必用である。自車速に対して減速停止距離には不足するが、少なくとも約3秒前にレーンチェンジまたは、減速等の判断が出来ることが望ましいので、ARTは大型車であるが障害物としては約50m先の5cm角の以下の小さな物体に対してまでの検出能力が要求される。

ARTにおいては、走行に支障のある障害物の大きさも検知するためには角度分解能も仕様として要求する必要がある。前記の障害物大きさ5cm角までも捉えるとして、この障害物を認識するのにスキャン2点以上の検出データが必用であり、このためには、 0.02° 未満の角度分解能が望まれる。障害物の高さ認識も必要なので、縦方向の

角度分解能も同様の仕様特性が求められる。

また、伏角、仰角範囲については、道路構造令の 60km/h の道路に対しては、最少凹路曲線半径は1000m、凸路は800mである。センサ搭載高さも要求仕様値に影響するが、仮に高さ1mとすると、凸路は伏角で路面の先が影になる所の路面上の障害物が検出できる角度。凹面路に関しては、必用検出距離以上の車両等の高さのある障害物が検出できる角度から、伏角は2.6° 以上、仰角は3.5° 以上が要求仕様になる。

表3.5.1.4-1 障害物検出センサ 前方監視要求仕様

項目		仕様	
前方監視	ミリ波レーダ	最大検出距離	120m 以上
		最少水平検知角度	±24°以上 (@R150以上)
		縦方向検知角度	仰角 3.5° 以上 伏角 2.6° 以上
	レーザーレーダ	最大検出距離	100m 以上
		最少検知角度	±30°以上
		横縦方向角度分解能	0.02° 以下
		縦方向検知角度	仰角 4° 以上 伏角 6° 以上
	画像センサ	最大検出距離	90m 以上
		最少水平検知角度	±45°以上
		横縦方向角度分解能	0.02° 以下
		垂直検知角度	仰角 4° 以上 伏角 21° 以上
	センサフュージョ ン総合	検出精度	10% 以下
		検出遅れ時間	0.1秒以下
		誤検出率	10 ⁻⁶ 以下 @10,000 フレーム
		未検出率	10 ⁻⁴ 以下 @10,000 フレーム

単独のセンサで要求仕様を満たすことは困難であるので、各センサの特徴を合わせて仕様を満たす。画像センサは進化を遂げており、フルHDカメラは、水平分解能が1920画素、垂直分解能1080画素が定義されている。画像センサは、前方の障害物の他、道路周辺の標識や標示の情報取得も求められるので、水平検知範囲は90° 以上が望ましいが、90° に対する角度分解能は0.046875° と不足する。しかし、水平検知範囲を38° とすると0.019792° と要求仕様を満たすことが可能となる。水平画角に対して、フルHDカメラは16：9であるので、水平検知範囲38° のケースでも、約21° の垂直方向画角なので、手前まで検知が必用なのは比較的狭い範囲なので、伏角分に大半を割り当てれば手前の路面まで検知範囲に入る構成も取れる。不足分は前側方でカバーする構成でも可能である。

小さな障害物の検知が必用なのは、前方、前側方、後退時の後方、後側方の監視に

要求される仕様であり、側方は、接近する歩行者や自転車の検出・認識能力までの要求となる。もちろん、トンネル内や夜間などばかりでなく、昼間でも輝度差の大きい状況に対応するため画像センサは高ダイナミックレンジの素子が必用で、最新の技術を用いた画像センサを考慮する必要がある。

表3.5.1.4-2 障害物検出センサ周辺監視要求仕様

項目		仕様
前側方監視範囲	最大検出距離	80m 以上
	最少検知角度	250°以上
側方監視範囲	最大検出距離	30m 以上
	最少検知角度	80°以上
後側方監視範囲	最大検出距離	30m 以上
	最少検知角度	80°以上
後方監視範囲	最大検出距離	80m 以上
	最少検知角度	±30°以上
センサフュージョン総合	検出精度	10% 以下
	検出遅れ時間	0.1秒以下
	誤検出率	10 ⁻⁶ 以下 @10,000 フレーム
	未検出率	10 ⁻⁴ 以下 @10,000 フレーム

レーザレーダはそのままでは雨などの耐候性に弱いとされているが、最近マルチリードなどの認識アルゴリズムで、雨天時でも対象物の検知が可能な耐候性の高い処理法が適用できるものが出てきている。ARTに用いるものは、是非これらのように耐光性に強い処理機能を包含したレーザレーダ信号処理方式も搭載とする

他方、耐候性の高い電波系のミリ波レーダ、サブミリ波レーダであるが角度分解能については、光と異なり媒体とする電波の周波数が相対的に低い関係で、画像センサやレーザレーダには及ばない。電波系のセンサ単体では検出距離と、検出角度範囲を主に要求仕様を満たすこととし、センサフュージョン後の総合の認識性能にて角度分解能などの総合の要求仕様を満たすことを要求仕様とする。そのためには、電波系のセンサも既に近年車載用の3次元電子スキャンミリ波レーダが開発されており、上下方向の分解能を持たせた3次元電子スキャン方式のセンサを用いて、陸橋、ガントリや標示板などの道路上部に設けられているものと、走路上の障害物との分離検知が可能な、誤検知の特性を向上した能力を有する電波系センサの物をARTでは要求仕様とする。

以上をまとめ、表3.5.1.4-1と表3.5.1.4-2に前方監視とその他の監視を分けて要求仕様を示す。この要求仕様にそった検知領域の概要を図3.5.1.4-1 障害物検出センサ要求仕様による検知領域概要に示す。図では、薄緑がミリ波レーダ、薄青がレーザレーダ、薄黄が画像センサの検知領域の概要を示している。図の道路は曲率半径150mの曲線路と交差点の重ね書きをして検知範囲の判断の参考材料となる図としている。なお、主道路側はレーン幅3.5m、交差道路側は3.0mのそれぞれ路側帯を含む片側一車線道路で、

レーン中央を示す参照線も描画している。

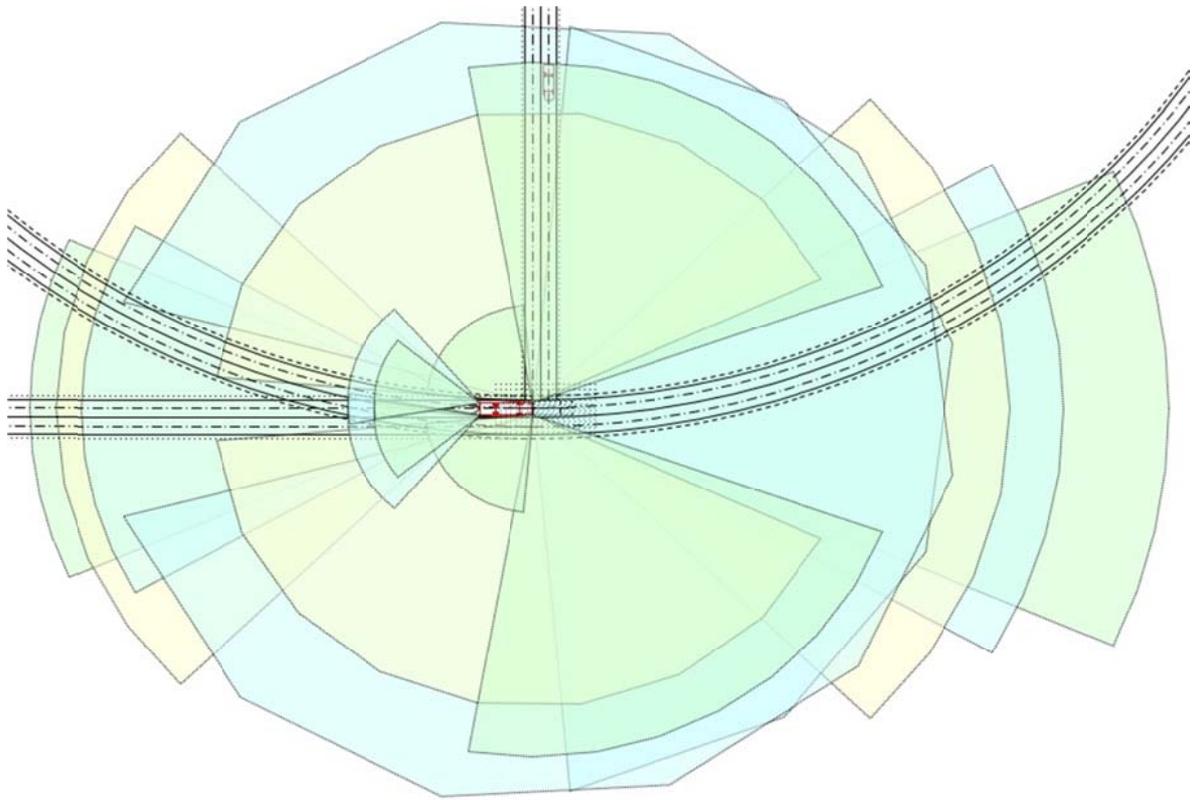


図3.5.1.4-1 障害物検出センサ要求仕様による検知領域概要

3.5.2 白線認識技術

区画白線検出技術は走行レーンに敷設された区画白線を検出するとともに車両と区画白線との離隔距離を検出する技術である。

区画白線検出技術としてはカメラにて撮像された画像より白線を検出する画像認識方式とレーザ光より白線を検出するレーザ検出方式がある。

3.5.2.1 白線認識技術の現状調査

ア. 前方白線画像認識技術

前方注視白線認識技術は現在製品化されている車線維持支援装置（Lane Keep Assist : LKA）に採用されている区画白線検出技術で、ルームミラー近傍に設置されたカメラからの画像より白線を認識する技術である。

図3.5.2.1-1にカメラにて撮像された画像と白線認識処理画像の一部をしめす。



図3.5.2.1-1 カメラ画像と白線認識処理画像

白線は隣接画素の濃淡変化割合を検出するエッジフィルタおよび直線成分を検出するソーベルフィルタと呼ばれる画像処理アルゴリズムを用いて検出される。

クリアな画像が得られる自然条件において白線認識率は高い反面、雨天や西日、照度変化の激しい走行環境では白線認識率は大幅に低下してしまう問題を抱えており、様々な自然環境においても高い白線認識率が要求される自動運転においては大幅な性能改善が要求される。

イ. 直下白線画像認識技術

直下白線認識技術は西日や雨天等の自然環境においても高い白線認識率が得られる白線画像認識技術である。西日や雨天等の影響をなくすため、カメラは車両の側方を撮像するように路面

に対しほぼ垂直に取り付けられる。直下白線画像認識技術の一例として、「エネルギーITS推進事業」における自動運転・隊列走行開発プロジェクトで開発された

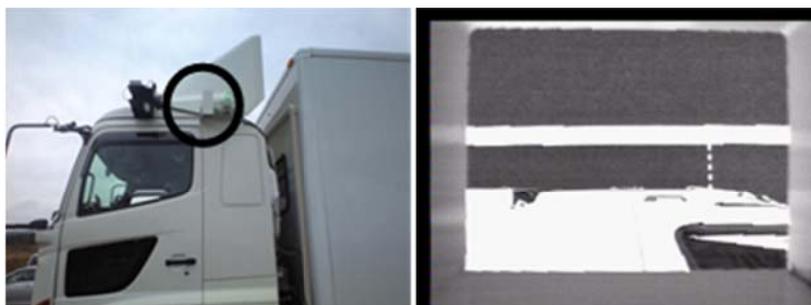


図3.5.2.1-2 エネルギーITSにおけるカメラおよび白線画像

実験車に搭載されたカメラを図にしめす。この例ではカメラは大型トラックのキャビン左側方部に取り付けられ、垂直方向の路面が撮像される。

図3.5.2.1-2にカメラ搭載状態と撮像されたカメラ画像をしめす。この画像より前方白線認識で用いられた画像認識アルゴリズム等を用いて白線が認識される。また白線と車両との離隔距離を求めるため、撮像された画像を道路座標系に極座標変換をおこない車両と白線との離隔距離をもとめる。図3.5.2.1-3に直下白線画像認識により得られた離隔距離検出性能をしめす。この方法では約±2cmの誤差で白線と車両間の離隔距離が得られた。

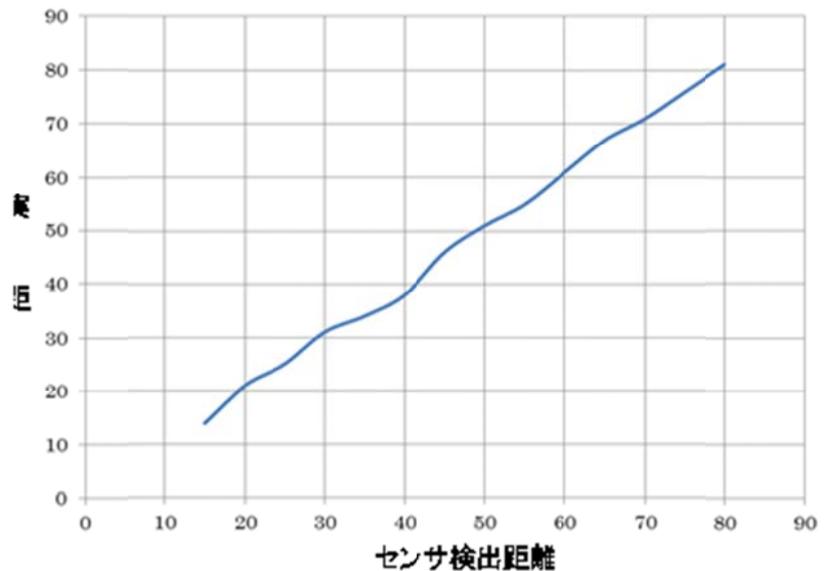


図3.5.2.1-3 直下白線画像認識方式の離隔距離検出性能

ウ. レーザ方式白線認識技術

照度変化や路上影により白線認識性能が影響されるカメラ画像を利用した白線認識技術の対策として、レーザ光を用いて白線認識をおこなうレーザ方式白線認識技術が開発されている。レーザ方式白線認識技術の一例として、エネルギーITS推進事業で開発されたレーザ方式白線認識技術を図3.5.2.1-4に示す。

車両のルーフ部にレーザ発受光装置が搭載されており、レーザ光は進行方向に対し、垂直方向にスキャンされている。レーザ方式による路面白線反射特性を図

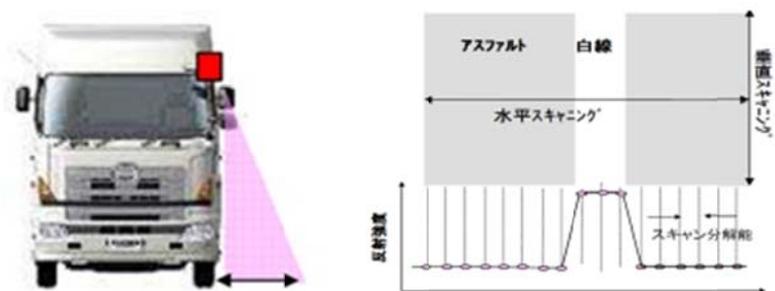


図3.5.2.1-4 レーザ方式白線認識技術

3.5.2.1-4にまた、レーザ方式の白線認識性能を図3.5.2.1-5にしめす。

夜間でのドライバの視認性を向上するため、白線の表面層にはガラス粉が塗布されており、外光に対する反射率を高めている。従って、アスファルトと白線では外光に対する反射率が異なるため、路面からのレーザ光反射強度はアスファルト部に対し白線部は強くなる。従ってスキャン1回あたりの反射強度波形より白線を認識することが

可能となる。開発されたレーザ方式白線認識装置における1スキャンあたりの実際の路面からの反射強度を図にしめす。ここで白線と車両との離隔距離はレーザ装置の取り付け高さからレーザ光のスキャン角度より算出される。

図3.5.2.1-6に通常環境下における画像認識とレーザ方式の白線—車両間離隔距離検出の性能をしめす。図から明らかなようにレーザ光方式は画像認識と同一の検出性能が得られている。

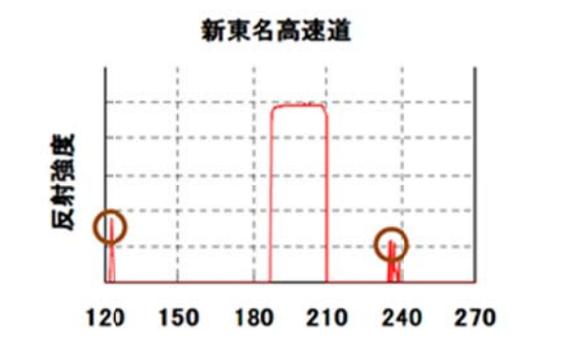


図3.5.2.1-5 レーザ光路面反射特性

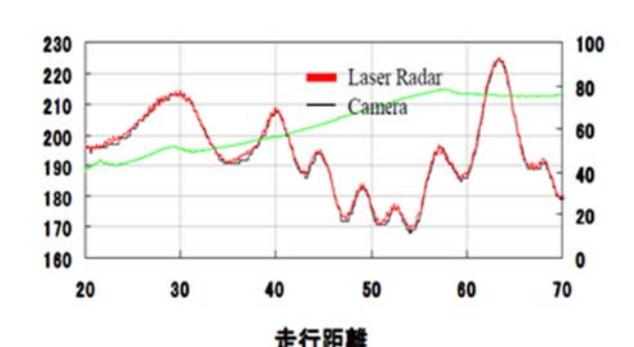


図3.5.2.1-6 レーザ方式白線認識性能

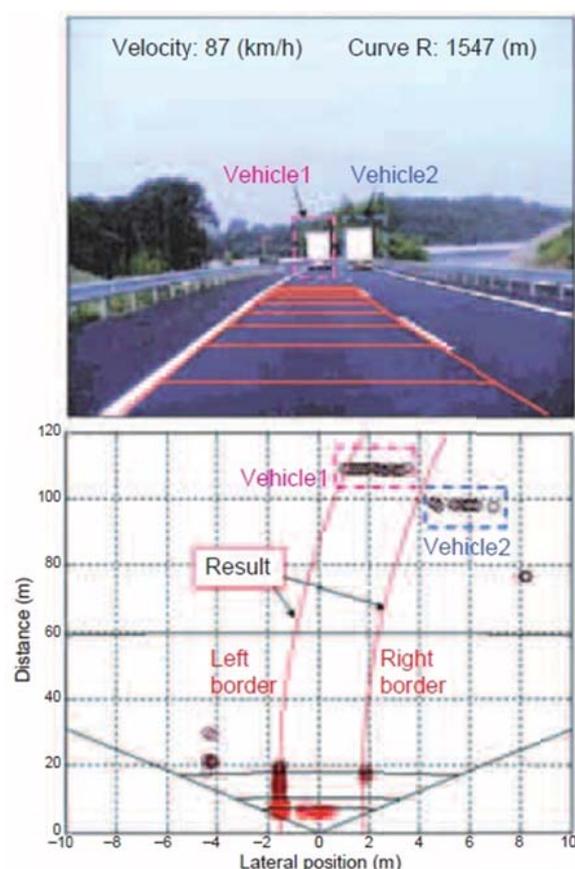
一方、前方監視のレーザーレーダによる白線検知も搭載センサの低減を狙って検討されており、車両の移動する座標を基準に白線からの反射が安定的に得られる所を白線と認識する手法で略画像センサと同等の精度結果が得られている。図3.5.2.1-7 前方レーザレーダによる白線検知の結果例を示す。

3.5.2.2 白線認識技術の要求仕様検討

ARTは公共交通だがバスなので降雪時は除外される。また、カメラとレーザレーダとのフュージョンによる白線認識により、従来の通常カメラ方式より認識範囲の拡大した方式がのぞましい。このときのレーザレーダ（またはレーザスキャナ）は障害物センサと共用機能とする。

将来的には、ミリ波レーダともフュージョン認識を行い降雪時の使用範囲の拡大も狙う検討は、別途必要である。

ARTでは自動走行の区間走行がある。また、ARTは電子連結走行時も最短10mの車



(出展：デンソーテクニカルレビューVol.12 No.1 2007)

図3.5.2.1-7 前方レーザレーダによる白線検知

間距離走行が予想されるので、耐環境性を確保するばかりでなく、前方監視や前側方監視をする画像センサやレーザスキャナと兼用して白線検知情報も、白線との相対位置の認識を行う検知の高信頼性の向上した認識処理が望まれる。そのため要求仕様は、表3.5.2.2-1 の性能を要求する。

表3.5.2.2-1 白線認識技術要求仕様

項目	仕様
環境条件	晴天、曇天、雨天、逆光 (但し10mm/h以上の強い雨、降雪は除く)
道路条件	橋梁下、トンネル内、ゼブラ部 (道路環境100Lux～10万Lux)
検出精度	近点 ±3cm、中点 ±10cm 以下
白線認識正当率	99.9% 以上 (除く、雨、霧、逆光) 99% 以上 (上記その他の環境)

3.5.3 位置測位技術

正着制御や他ART車両との車群走行制御、PTPSとの連動制御には精度の高い走行位置検出が必要である。特に正着制御では白線に沿った車線維持制御から白線がない区間当て舵制御をおこなう必要があるが、この当て舵制御を精度よくおこなうにはあらかじめ設定された走行軌跡座標のフィードバック制御をおこなうことが求められる。このため、走行位置を高精度に検出できる走行位置センシング技術として、準天頂衛星を利用した測位技術が必要となる。

3.5.3.1 位置測位衛星の調査

ア. 海外の位置測位技術の調査検討

測位技術として衛星を利用して測位をおこなう全地球航法衛星システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）技術が使用されている。現在運用されている主なGNSSには、GPS（米国）、GLONASS（ロシア）、Galileo（欧州）等がある。

表3.5.3.1-1に運用又は準備中のGNSSをしめす。また、地域航法衛星システムとして、日本が構築中の準天頂衛星システムQZSS（Quasi-Zenith Satellite System）がある。

表3.5.3.1-1 GNSSの概要

システム	国	信号方式	軌道	衛星数	周波数
GPS	米国	CDMA	20,200km、 12.0h	≥24機	L1：1,57542GHz L2：1,2276GHz L5：1,17645GHz
GLONASS	ロシア	FDMA/ CDMA	19,100km、 11.3h	24機（最終 30機）	L1：1,592-1,610GHz L2：1,239-1,254GHz
Galileo	欧州	CDMA	23,600km、 14.1h	2機（22機 の運用予 算認可）	E1：1,5895+ E2：1,561GHz E6：1,260-1,300GHz E5a：1,176+E5b：1,2015GHz

（出展：GNSsシンポジウム2007 ENRI、Wikipediaなど）

GPSはアメリカ合衆国が軍用に打ち上げた約30個のGPS衛星のうち、上空にある4個の衛星からの信号を受信し、発信-受信の時刻差に電波の伝播速度（光の速度と同じ30万km/秒）を掛けることによって、その衛星からの距離を求めると共に3個のGPS衛星からの距離を元に地球上の一点の位置を決定する。

衛星からはL1信号と呼ばれる電波（1.57542GHz）の送られてくるC/Aコードを用いて衛星との距離をもとめるが様々な誤差のため、測位精度は約10m程度である。カーナビでは主にL1信号を用いた測位である。

一方測位精度を向上するため、D-GPSやRTK-GPS技術が開発されている。

DGPS（Differential GPS）は測位対象となる移動局のほかに、位置のわかっている基地局でもGPS電波を受信し、誤差を消去する測位方法である。基地局で生成された補正情報を移動局に送信し位置の補正処理を行うことができる。

RTK-GPS (Real Time Kinematic GPS) はDGPSと同様に、電子基準点が受信する電波の位相差を計測し、生成された補正情報を移動局に送信し、測位計算する方法で約数cmの測位精度が得られる。米国で行なわれた自動運転レース「アーバンチャレンジ」では多くの自動運転車にRTK-GPSが用いられた。

なお、測位情報を用いて右折や左折、レーンチェンジ等の目標軌跡走行制御をおこなう場合、GPSからの信号は約0.1毎秒の間隔でしか受信できないため、時速100kmで走行した場合、位置情報がない状態で約2.7m走行してしまうため、軌跡走行の制御精度は低下する。またGPSからの情報が受信できない場合も想定される。このため、GPSから求めた位置情報のほかにヨーレートや速度より走行位置を求める慣性航法が併用されている。

イ. 準天頂衛星の調査

日本に於いては、GPSによる測位精度や性能低下を改善するために構築された航法衛星システムの準天頂衛星「みちびき」計画が推進されている。準天頂衛星「みちびき」は約8時間常に仰角約80°で受信できる位置に存在するように衛星軌道が制御されている。このため、高層ビルが林立する地域や山間部など、GPS衛星からの信号が受信しにくい地域でもかならず1個の衛星からの信号を受信できるため、測位ができない状態を大幅に改善できる。

また準天頂衛星「みちびき」からはGPS用衛星には含まれていない測位補正情報が送信されている。D-GPSやRTK-GPSでは固定基準局で得られた補正情報を電話回線等を用いて移動体に送信して測位精度の向上が図られているが、準天頂衛星「みちびき」からはD-GPSと同等のサブメータの測位精度を得るためのL1SAFE信号と呼ばれる補正情報とRTK-GPSと同等の数cmの測位精度を得るためのLEX信号と呼ばれる位置補正情報が送られてくる。このため、GPSによる測位情報の信頼性や品質は大幅に向上される。

国内で実用性を増すために、2010年9月に準天頂衛星初号機「みちびき」が打ち上げられたのを機会に、2013年1月の宇宙基本計画で、2016年から衛星打ち上げが計画され、2018年には4機(準天頂軌道3機、静止軌道1機)体制運用を整備する計画が進んでいる。

GPS衛星は4機以上の衛星からの信号が受信出来れば衛星側位は可能であるが、安定した位置情報を得るためには8機以上の衛星が見えることが必要とされている。従来の

GPS衛星はどの地点でも軌道の関係でおおむね6機程度しか見ることができ、ここに今後準天頂衛星が加わり4機体制になると、アジアオセアニア地区では常時8機が見えることになり、また準天頂衛星から補正信号を受信し処理することにより、高精度の位置情報が安定して得られることになり、期待されている。

表3.5.3.1-2 GNSSの概要

信号名称	中心周波数(MHz)	概要
L1C/A	1575.42	GPS補間信号
L1C	1575.42	
L2C	1227.60	
L5	1176.45	
L1-SAIF	1575.42	高速移動体向け
LEX	1278.75	高精度補強信号

(出展：国土地理院 準天頂衛星による測量向け補正技術の開発及びマルチGNSS測量への取り組み) 表3.5.3.1-2に「みちびき」から送信

される補正情報をしめす。

エネルギーITS推進事業の協調走行(自動運転)に向けた研究開発では、GPS測位センサおよび慣性航法センサには、高精度を得るためRTK (Real Time Kinematic) -GPSに、携帯電話にて補正情報を入手し高精度GPSとして機能させ、また、IMU (Inertial Measurement Unit) からの相対角速度、加速度と車輪パルスを使った慣性航法を用いてGPSの結果遅れの補正と、走行環境の影響でGPS信号が受信できない間の慣性処理を行う装置が開発された。

更に、RTK-GPSに変わり、準天頂衛星 (QZS) による構成へと進化した位置標定装置に変更された。これは多周波受信をすることに加え、準天頂衛星自体から送信される補正情報を受信することで、サブメータ級測位補強サービスやcm級測位補強サービスが行われるので、衛星受信機のみで、外部からの携帯電話などの補助的通信手段を用いずに補正情報を得ることが出来るよう構成になる。これにより衛星受信のみで高精度の測位が可能となり、エネルギーITSの最終年度の実験走行に用いられた。

準天頂衛星システム (QZSS) は、幾何学的に天頂付近に衛星が配置される補間。補正情報の送信による高精度化を図る補強の働きが主たる衛星測位システムである。

一方、現在IMUのユニット構成として、MEMS素子を用いた各種製品が幾つかのメーカーから出てきており、小型で実用性に配慮した構成が実現できる状況が揃って来ている。従来のように、比較的大きな装置として扱わねばならなかった高価なリングレーザージャイロ、光ファイバージャイロや、ガスレートジャイロを使ったIMUを使った慣性航法センサから脱する事が可能となって来ている。

3.5.3.2 位置測位技術の要求仕様検討

ARTは精度もされことながら、信頼性も求められます。従って、準天頂衛星の利用は必要である。エネルギーITSの要求仕様を参考に、ARTで求められるGPS利用の位置認識の要求仕様を、表3.5.3.2-1に示す。

表3.5.3.2-1 位置認識技術要求仕様

項目	仕様
静止精度	±0.1m 以下
動的精度	±0.3m 以下 @50km/h

3.5.4 ブレーキアクチュエータ

最新の市販のバスに搭載されているブレーキアクチュエータは、3.2.4 自動走行技術の検討 ア. バスにおける運転支援技術の調査 の表3.2.4-イ-1 国内外市販バス搭載の運転支援装置 に示されたように、電子制御ブレーキシステムが用られている。

電子ブレーキ制御システムは車間距離や速度制御をおこなう走行制御コンピュータからの減速度指示にしたがいブレーキ力の制御をおこなうシステムで、大型車用の空気圧制御式自動ブレーキシステムと乗用車用のブレーキ油圧制御式ブレーキシステムが実用化されているので電子ブレーキの調査を行った。

3.5.4.1 電子ブレーキの調査

ア. 空気圧制御式ブレーキシステム

空気圧制御式自動ブレーキシステムはブレーキチャンバと呼ばれるブレーキシリンダの空気圧を制御することにより自動ブレーキ制御をおこなうもので、一例として図 3.5.4.1-1にWABCO社の自動ブレーキシステムEBSのシステム構成図をしめす。

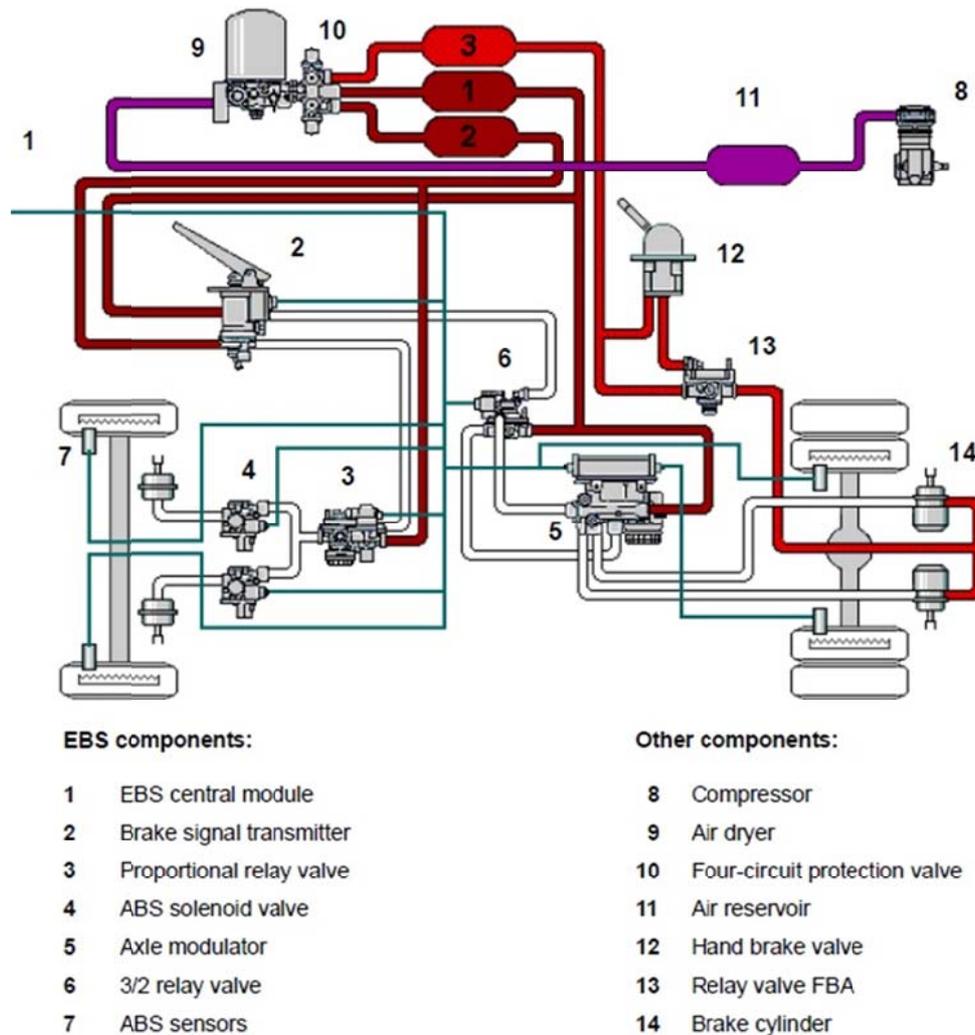


図3.5.4.1-1 WABCO社自動ブレーキシステムEBS（出典：WABCO Publicationより）

このシステムでは車間距離や速度を制御する走行制御コンピュータからの減速度情報

報に基づいて車両の加速度が指示された減速度と一致するようブレーキ圧が制御される。

システム故障時の安全確保のため、フロント輪のブレーキ圧力は4のプロポーショナル・リレーバルブと呼ばれる制御弁にて制御され、リア輪のブレーキ圧はモジュラーシヨナルバルブと呼ばれる制御弁により制御される。

図3.5.4.1-2にプロポーショナル・リレーバルブの構造をしめす。

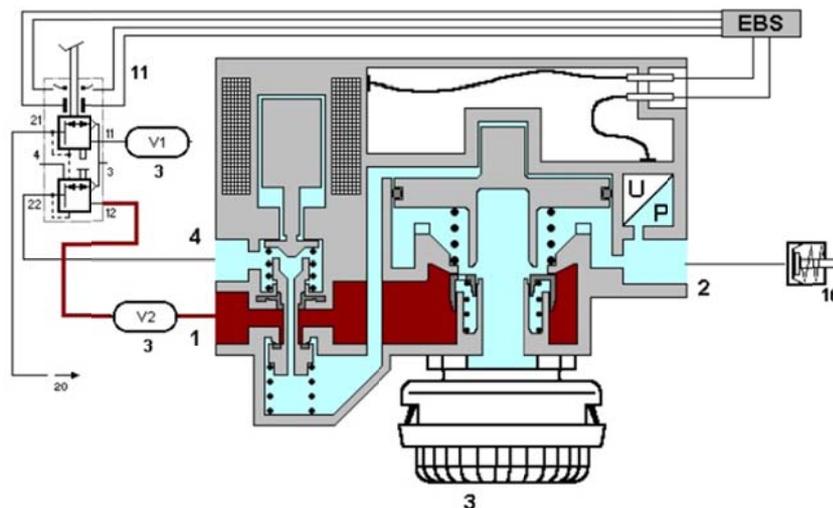


図3.5.4.1-2 プロポーショナル・リレーバルブの構造（出典：WABCO Publicationより）

3.5.4.2 電子ブレーキの仕様の検討

エネルギーITS推進事業の協調走行（自動運転）に向けた研究開発の実験車も電子制御ブレーキが用いられている。実験車は最大発生油圧 0.65G相当、応答性 最大発生油圧を 500ms以内に発生、出力油圧精度 要求油圧 ± 0.5 MPa、制御系のブレーキシステムとしては2重系で搭載されている。その他、保安系のブレーキも装備されている。

ARTはバスで、市街地走行が主である。ブレーキアクチュエータには同様の制御精度、応答性が要求仕様として求められる。ただし、混在交通で立客もいるので急ブレーキは制限される。要求仕様を表3.5.4.2-1にしめす。

表3.5.4.2-1 電子ブレーキ要求仕様

項目	仕様
最高速度	60km/h
最大減速度	0.3G
応答時間	最大発生油圧500ms以内
分解能	0.001G

3.5.5 自動操舵モータ

車線維持制御をおこなうには走行制御コンピュータからの指示に基づいて、タイヤ操舵角度の制御をおこなうハンドル制御システムが必要である。

ハンドル制御システムの構造は大型車用と乗用車用ではことなる。以下に大型車のハンドル制御システムの構造と制御方法について調査検討を行った。

3.5.5.1 大型車用自動操舵モータの調査

大型車用の操舵制御は油圧パワーステアリング装置とハンドル制御システムを併用して行なわれる。図3.5.5-1に大型車用ハンドル制御の全体構成をしめす。ハンドル制御システムはステアリング軸部にとりつけられた操舵モータとモータの回転角度を制御するサーボコントローラで構成される。車線維持制御コンピュータからのハンドル回転角度指示に基づいて、サーボコントローラは指示角度と一致するようハンドル回転角度を制御する。操舵モータはステアリング軸にギヤを介して結合されており、ステアリング軸の回転角度は油圧パワーステアリングを介し、タイヤの操舵角度に変換される。

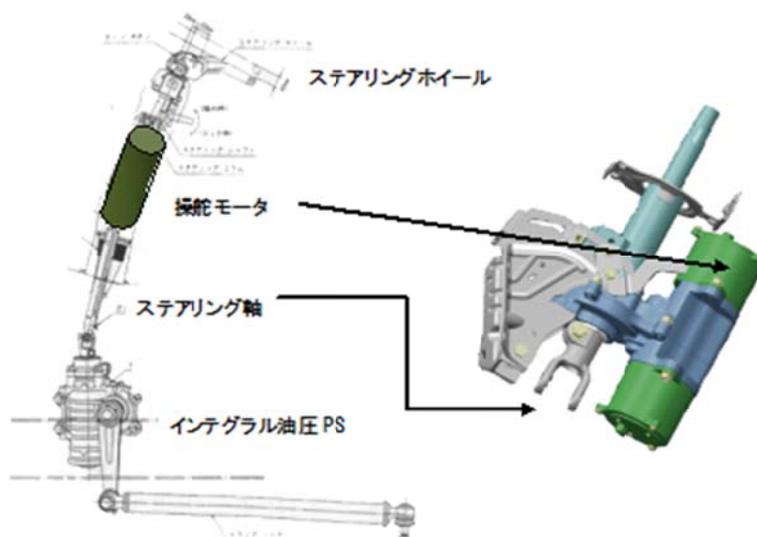


図3.5.5-1 大型車用ハンドル制御の全体構成

図3.5.5-2にサーボコントローラの制御ブロックの一例をしめす。

エネルギーITS事業にて開発された車線維持制御用の自動操舵モータには直流ブラシレス同期モータが使用されている。操舵サーボユニットからの信号により、指示された前輪操舵角度になるよう操舵モータを制御する。はすば歯車を介してステアリング軸を駆動する構成で搭載されている。操舵モータは操舵サーボユニットが故障した場合でも異常動作をしないよう PM (Permanent Magnet : 永久磁石) 型直流同期モータが使用されている。

PM型直流同期モータは、磁極分割して磁化した永久磁石で回転するロータで構成し

ている。ロータ周辺のステータは電磁石のコイル巻線に、駆動される電流をコイルの駆動位置の位相を高速にずらしながら駆動電流を流すことで、ロータが回転する。その構造上の性格から、駆動電流が流れなければ、ロータは回転せずその位置で停止している。従って、駆動開始時にも、周波数制御で低い周波数から始動する方法や、別に始動用のモータを備えるなどの工夫が必要である。このことから、操舵サーボユニットが故障した場合、サーボユニット出力がフリーになり、異常動作が発生しないのが特徴で、操舵モータとして採用されている。

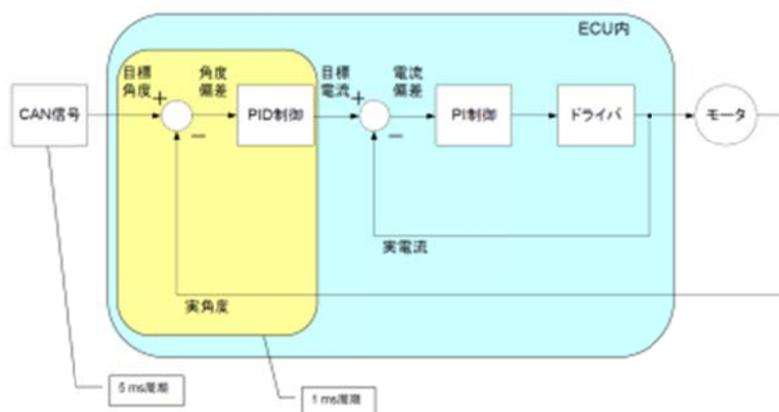


図3.5.5-2 サーボコントローラの制御ブロック

3.5.5.2 自動操舵モータの要求仕様検討

エネルギーITS推進事業の協調走行（自動運転）の操舵モータは、ステアリング軸は 0.1° の分解能で制御、これは実験車のタイヤ操舵角度換算で約 0.005° に相当している。最大トルクは10N-m以上、定格回転数は $310^\circ/\text{sec}$ （モータ3100rpm）、ステップ応答性は $200^\circ/\text{sec}$ 以上としている。また、操舵サーボユニット故障時モータ出力はフリーな状態になるよう出力される。また、安全性を向上するために並列2重構成でモータを取り付ける構造で設計搭載されている。

ARTにても同様にシステム信頼性からPM型直流同期モータが好ましい。また、モータ要求仕様としては正着制御を行うため、モータの最大トルクは20N/m以上が求められる。上記駆動仕様を満たす構成を仕様とする。

表3.5.5-1 操舵サボモータ要求仕様

項目	仕様
最大トルク	20N-m 以上
定格回転数	$310^\circ/\text{sec}$
ステップ応答性	$200^\circ/\text{sec}$ 以上
操舵サーボユニット故障時	フリー出力

3.5.6 フェイルセーフECU

3.5.6.1 フェールセーフECU技術の調査

自動運転システムには異常動作を起こさない「フェールセーフ」機能とシステムが故障した場合、残された系で自動走行を継続する冗長機能がもとめられる。エネルギーITS推進事業の協調走行（自動運転）に向けた研究開発では、フェールセーフの考え方で、CPUユニットがA系、B系の二系で実装されている。両系の演算結果の一致により装置の健全性を確認しているフェイルセーフECUの構成をとった。

A系、B系の両系それぞれで演算されたデータの比較照合を行うために、それぞれのDPRAM（Dual Port RAM）を介してフェールセーフ比較器にセットされる構成をとっている。比較結果が両系に通知され、通知を受けたCPUは、比較一致の場合は次の処理へ進み、また、比較不一致の場合は停止となり故障系としてシステムから切り離される。この動作により、CPUの故障や一過性ノイズ等による誤動作を防止している。

フェールセーフ比較器の照合が正常に行われている間は、リレードライブ回路に対しパルスの出力（交番信号）が供給される。比較不一致の場合は、その出力が”High”または”Low”レベルに固定される。また、A系、B系のCPUからのWDT（watchdog timer）も実装され、こちらも正常時はパルス出力を行う。リレードライブ回路は、これら2つのパルスが入力されることでリレー駆動に必要な電力を生成し、リレー打上させている。どちらか一方のパルスが停止した場合、生成電力も停止しリレーを落下させる。このリレーの接点で出力ポートの最終段を切断し、誤出力を防止する構成である。

更に、上記CPU二系統で1ユニットとし、2ユニットで、1ユニットの故障でも走行不能に陥らず、走行を継続できるように二重系の冗長度を持たせた冗長二重系構成としてフェールセーフECUとして設計・製作された。

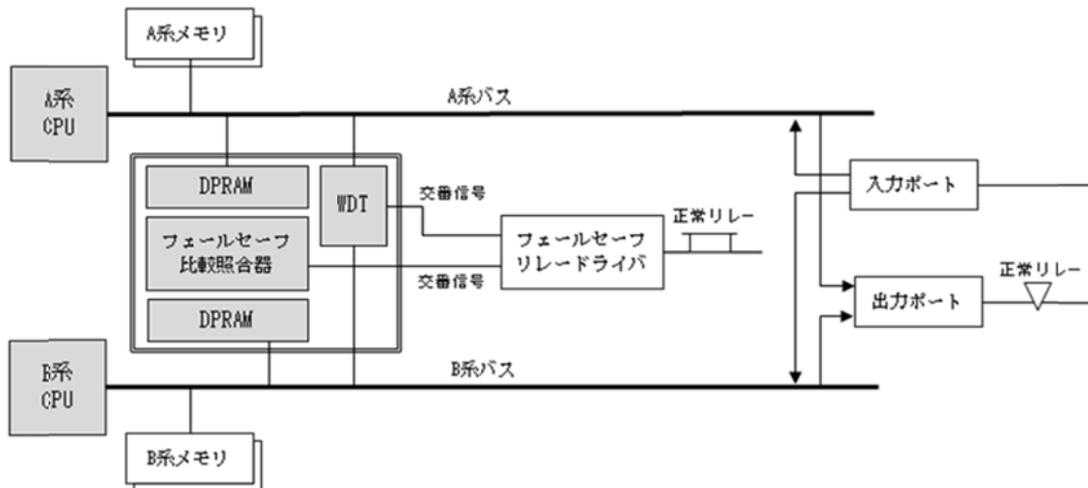


図3.5.6 フェールセーフCPUユニット構成（1系分）

3.5.6.2 フェールセーフECUの要求仕様検討

ARTにおいては、公共鉄道と同程度の信頼性を求められるとともに、同様のフェールセーフの考え方による走行制御ECUの構成をとる必要がある。最近ではプロセッサメーカーも、車載システムの機能安全規格 ISO 26262 の最も安全要求レベルの高いASIL D 向けに開発され互いに動作を監視する構成を含んだデュアルプロセッサ構成

を二組の4CPU搭載や、CPUの故障検知の充実した回路内蔵などのチップを製造するメーカーも充実して来ている。これらを用いたフェールセーフ機構をを要求仕様とする。以下に、要求仕様を示す。

表3.5.6.2-1 フェールセーフECUの要求仕様

項目	仕様
CPU異常発見率	10^{-20}
故障率	10^{-10}
発見時間	100ms

3.5.7 通信システム技術

ARTには基本的に車車間通信システム、路車間通信システムおよびクラウド連携通信の3種類の通信システムが必要になる。

3.5.7.1 車車間通信システム

車車間通信はART車両間のデータ通信をおこなうもので、主にCACC制御システムに必要となる。通常CSMA/CAと呼ばれる通信プロトコルを使用した同報通信と呼ばれる放送型の通信方式が用いられ、データを受信していないタイミングでデータ送信がおこなわれる。CACC制御では速度や加速度情報が送信され、先行車のこれらの情報をするとともに車間距離や速度制御がおこなわれる。なお我が国では、車車間通信用周波数として760MHzおよび5.8GHzが割り当てられている。

ア. 車車間通信システムの調査

欧州のEVITAプロジェクトでは、主に車両と車両、または車両と路側との通信に対する妨害や情報漏れに対するセキュリティ保護技術開発が中心である。そこで使用されている通信規格は、

Radio spectrum dedicated to ITS Communications

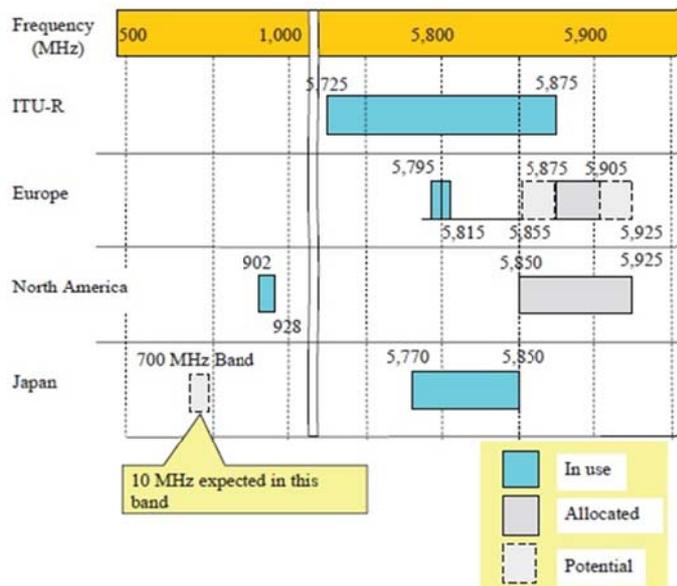


図3.5.7.1-1 各地域のV2X周波数

通信(V2X)通信規格の比較検討をした報告も多く有り、例えばINRIA(フランス国立情報学自動制御研究所)から2013年のJNCTで報告された資料「ITS Standardization」によれば、それぞれの地域で使用される周波数は、図3.5.7.1-1に示され様に、いわゆる5GHz帯とUHF帯の周波数が使われている。

この中で欧州と北米で検討されている5GHz帯のV2Xの通信方式は、通信規格のベースとなる周波数は異なるが、通信方式はOSIの1~2層は IEEE 802.11pで同じである。一方、3~7

IEEE802.11ワーキンググループが推奨・規格化を推進している 802.11p と呼ばれる車両ネットワークの物理層および媒体アクセス制御層のための標準規格を欧州の提案規格として開発を進めている。プロジェクト内の検証実験では、市街地走行を模擬した速度で走行する車両に対してパケット長を振つての伝送で、300m 以上の距離まで 8Mbit/sec 以上の通信速度が確認できているなどの報告がある。

また、EVITAプロジェクトでは、欧州、北米、日本との車車間通信または路車間

層はそれぞれ異なる仕様となっており、欧州はETSI(欧州電気通信標準化機構)にてITS-G5との名称で、北米では IEEE WAVE(wireless access in vehicular environments)との名称でよばれ規格検討が推進されている。

これらV2Xの通信方式は、EVITAプロジェクト、IEEE、ITS FORAM (ITS情報通信システム推進会議) ガイドラインやARIB (一般財団法人 電波産業会) 規格などから、国内で規格化されたものは国内規格のデータを用いて概要をまとめ直すと、表3.5.7.1-1に示す概要になる。

この表に示されたV2X通信の中でエネルギーITS推進事業の協調走行(自動運転)に向けた研究開発にて、5.8GHz帯を用いた電波車車間通信技術開発のため、高信頼性通信システムを構築するためパケット到達率 99.2%の目標通信品質を達成するためシミュレーションにて他の電波車車間通信方式(760MHz帯 ITS FORUM RC-006、及び5.9GHz帯 IEEE802.11p)を自動運転・隊列走行用の車車間通信システムに適用した場合の検討がなされている。

表3.5.7.1-1 V2X関連規格概要

規格番号 名称	ITS FORUM RC-005	ITS FORUM RC-006	IEEE802.11p WiFi	IEEE802.16e Mobile WiMAX
周波数	5.8GHz帯	760MHz帯	5.9GHz帯	2.5GHz帯
変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK	OFDM(QPSK 1/2)	OFDM(QPSK 1/2)	OFDM(QPSK 1/2)
送信電力	10dBm	20dBm	20dBm	26dBm
アクセス方式	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
備考	IEEE802.11p参照	ARIB STD-T109 準拠	Europe ITS-G5 North America WAVE	ARIB STD-T94準 拠

シミュレーション検討は、電波伝搬シミュレータと物理層とMAC層を考慮した通信シミュレータを統合した全系シミュレータを開発し、車両サイズ、アンテナ設置位置等は実車での品質評価実験での条件を参考に、トンネル内、入口/出口付近走行のパターンで評価されている。

シミュレーション検討は、パケット到達率、通信伝搬遅延、受信電力の評価が、車両隊列での送受信の条件で行われた。

電波車車間通信の二重化における品質評価も同様に実施され、二重化によるトラフィック増大に伴うパケットエラー率の増加や連送回数依存性を評価し、二重化で連送回数2または4回で隊列台数4台までは最終目標の通信品質が得られることが確認されている。

交通流を考慮し、複数の隊列が行きかう状況での評価では、周辺車両も安全支援のため同様に車車間通信を同一または別のチャンネルで使用している。車線は片側3車線、2秒に1台各レーンに走行の密度で、一般車80%で、残り20%の大型車が車間4mで1隊列4台の隊列で走行する条件で実施。

連送2回では、RC-005はパケット到達率が目標値より良好。RC-006、IEEE802.11pでは目標値を下回る。連送4回では、3つの方式とも目標を上回った。

最終的にエネルギーITS推進事業の協調走行(自動運転)では、高信頼化のために通

信の二重系を図り、更に通信媒体の異なる通信機として、一方の電波車車間通信はRC-005ベースの通信機を開発し、もう一方は近赤外光による車車間通信機を開発し、同時に外乱を受けない車車間通信系を構築し搭載・使用した。

イ. 車車間通信システムのキャリア周波数

現在車車間通信は、5.8GHzと760MHz帯が認められているが、5.8GHzはETCで全14ch使われている。一方、760MHz帯は1ch仕様で認められている。CSMA/CAアクセスにより通信不能が発生することが予測される。

ARTは車両速度が一般道走行で運行は50km/h車間距離は10から15mと比較的高速道路走行に比べて制御余裕がある。また、ARTの隊列台数は2台。適用路線も主要路線と適用台数も少ないと想定される。

760MHz帯は1chでの使用性を上げるため100msの制御周期を設けて送信タイミングを制限するCSMA/CAアクセスの衝突防止の軽減策がとられている。従って、例えば停止開始のタイミングで300msの連続通信途絶が発生しても、車間距離の1/3から1/5の車間距離が短くなる恐れはあるが、適切な対応制御をすることで大きな問題は発生しないと考えられる。

760MHz帯の詳細仕様は国内で規格化されているITS FORUM RC-006、ARIB STD-T109を参照されたい。

3.5.7.2 路車間通信システム

バス停でのARTへの出発指令や、PTPS-ACCの連動制御等に路車間通信が用いられる。路車間通信に用いられる周波数として車車間通信と同一の760MHz及び5.8GHzが割り当てられている。

ア. 路車間通信システムの調査

欧州のEVITAプロジェクトでは、車車間通信と同じ仕様で路車間通信も同様に適用されている。また、最新のITS FORUM RC-006に適用される準拠のARIB STD-T109規格は、チャンネルが1chのCSMA/CA方式なので、車車間・路車間通信制御のためタイマ管理を取り入れている。このため基地局にあっては、1秒周期タイマ値が送信禁止期間を設定し、移動局からの送信タイミングを制限している。このため、タイマ周期1秒に対して、路車間通信と車車間通信期間の制御周期は100ms毎に規定されている。従って、同報通信的アプリケーション向けの性格が強い通信方式になっている。想定アプリケーションも交差点付近に基地局を設け、交差点に侵入する車両同士の出会い頭事故防止の情報伝達のアプリケーションなどが示されている。使用する周波数的にもUHF帯であり、見通し外へも電波伝搬する性質が5GHz帯より強い周波数帯であり、交差点での安全支援情報のやり取りにより事故防止に役立つことが期待されている。

イ. 路車間通信システムのキャリア周波数

ARTでは、路車間通信も同様に現在国内で規格化され、車車間通信機能も含まれている760MHz帯方式による路車間通信が、PTPS制御にこのましいARTの要求仕様となる。

3.5.7.3 クラウド連携通信システム

ARTの走行位置を確認するために、センタとの通信にクラウド通信が必要になる。クラウド連携通信として、LTEやスマートホン等が用いられる。

ア. クラウド連携通信システムの調査

ARTの走行位置把握や各バス停でのART運行情報等おもにARTの運行管理用として広域の通信が可能なクラウド連携通信が必要になる。

ART車両の運行管理をおこなうため、路線内を走行するART車の走行位置情報がクラウド連携通信を用いて運行管理室等に送信される。また他の交通機関の運行情報やバス停到着時刻等の情報がART車内やバス停に設置された情報表示版等に情報提供される。

クラウドと連携するための通信は、管制センター等のクラウド側と走行中の広域な領域に存在する車両との通信を行うための通信回線を確保が出来る広域無線通信が必要になる。また、車車間通信のような高品質で通信遅延の許されない通信システムのレベルは要求されない。従って、無線による公衆回線、例えば携帯機器で使用されている LTEや Mobile WiMAX回線などの利用が可能で、最適と考えられる。

ART運行の地域に於いて複数の通信事業者がサービス提供を行っているケースが殆ど思われる。利用にあたっては、通信方式からだけでなく、運行コース全域に対する通信エリアカバー率や通信利用時の支援・サービス力などから適切な業者の提供する広域データ通信を選択可能と考える。

クラウド連携通信は、クラウド側または車両側からのリクエストやイベントに伴って通信情報が発生したり、通信要求が起こる。従って、常時接続系の通信回線ではなく、LTEや Mobile WiMAX回線利用のデータ通信を利用する通信システムは整合性が高い。

イ. 通信システムのセキュリティ

無線通信の車両制御や運行指令に利用する場合、ジャミングなどの電波妨害や、通信情報に侵入して情報の書き換えなど制御に混乱を招くことに対するセキュリティを考慮しなければならない。

欧州FP7ではEVITAやPRESERV projectにてセキュリティ仕様の検討が推進されている。国内においても自動車技術会、電子情報技術産業会、情報処理推進機構などにより国際標準と整合のとれた標準の検討がなされている。ITS FORAMがガイドラインを発行しており、車車間・路車間通信のしくみと利用想定が詳しく紹介されている。

ARTでの通信利用にあたっては、検討されている制御に適用できる通信セキュリティに配慮した適切なシステムを要求仕様とする。

3.6 技術開発項目の開発規模検討

3.6.1 開発規模の評価

上記 3.4の制御技術と3.5の要素技術のうち、評価すべき比重の大きい対象について、以下の観点で技術開発の規模を評価する。

(1) 開発レベルの評価

基礎レベルからの開発、既存技術の応用による新規開発、既存技術の改良、既存技術の流用について、どのフェーズかを専門誌や国内外の学会発表、論文等公表されたデータや専門家へのヒヤリング等を基に評価する。

重要と思われる項目の開発レベルの評価結果を、表3.6.1 (1) -1 開発レベルの評価にしめす。

表3.6.1 (1) -1 開発レベルの評価

#	項目名	基礎レベルからの開発	既存技術の応用による新規開発	既存技術の改良	既存技術の流用
a	車両構造			○	
b	高精度車線維持制御システム			○	
c	乗降場正着制御システム		○		
d	料金収受システム		○		
e	PTPS連動ACC制御システム			○	
f	車群走行CACCシステム			○	
g	車椅子固定技術			○	
h	高精度3Dレーザレーダ		○		
i	白線認識センサ			○	
j	GPS利用測位技術				○
k	自動操舵モータ				○
l	フェールセーフECU		○		
m	環境理解技術		○		
n	HMI技術			○	
o	車車間通信システム		○		
p	先読み (AI) 制御技術	○			

a 車両構造：

ARTで必要とされる、接続バス方式と電子連結方式の車両開発が必要であり、既存の車両構造に改良を加える開発になり、既存技術の改良で対応可能。

b 高精度車線維持制御システム：

エネルギーITS推進事業の協調走行（自動運転）にて開発適用された技術の高度化を

行い、ARTでは市街地の交差点での右折左折の制御アルゴリズムなど開発が必要であり、既存技術の改良で対応が可能。

c 乗降場正着制御システム：

バスベイ等での正着性を向上するためには、白線が見えない区間での高精度のフィードフォワード・フィードバック制御が必要となる。また、正着性を上げるには微速域での精密な速度制御が必要である。また、本評価では単一車両での評価は行ったが、接続バスでの正着制御も必要になり新たな正着制御アルゴリズムの開発が必要である。以上をまとめると、以下の新たな、

- 1) 高精度フィードフォワード・フィードバック制御技術、
- 2) 高精度低速速度制御、
- 3) 接続バスでのフィードフォワード・フィードバック制御などが必要で、既存技術の応用による新規開発となる。

d 料金収受システム：

ARTの定時制、乗降時間の短縮を得るには、料金収受に信用乗車方式の適用が重要であり、そのためには準静電界技術方式による通過検知式の改札口方式の構築が欠かせず、これらの開発は既存技術の応用による新規開発となる。

e PTPS連動ACC制御システム：

PTPS連動のためには、交差点までの距離と時間の変化にもとづいた制御ともに、既に関係しているACC制御装置との新たなインターフェース装置の開発が必要であり、既存技術の改良で対応可能。

f 車群走行CACCシステム：

エネルギーITS推進事業の協調走行（自動運転）にて開発適用された技術を更にバス隊列としての加減速制御の高精度化を行う必要があり、既存技術の改良で対応可能。

g 車椅子固定技術：

ARTの定時制、乗降時間の短縮を得るには、車椅子乗客に対して、本人自ら短時間で固定できる車椅子固定技術の開発が必要であり、既存技術の改良で対応可能。

h 高精度3Dレーザーレーダ：

ARTには車両周辺の歩行者検知が必要なので、より広角・高分解能のスキヤナ機構が必要なる。既存の広角度、高分解能の3Dレーザーレーダは非常に高価で、大型である。車載用には、小型・低コスト、及び広角・高分解能の3Dレーザーレーダが必要となる。そのためにMEMSミラーの開発を含めた新構成のスキヤナが必要であり、既存技術の応用による新規開発となる。

i 白線認識センサ：

既存カメラは照度変化の影響が大きい。その対策のためには120dBレベルの高ダイナミックレンジカメラの開発が必要であり、既存技術の改良で対応可能。

j GPS利用測位技術：

ARTのためには準天頂衛星を利用した高精度位置標定技術は必要である。準天頂衛星の補正信号受信機は既に開発されているが、小型低コストの車載用の開発が必用であり、既存技術の流用で対応可能。

k 自動操舵モータ：

エネルギーITS推進事業の協調走行（自動運転）にて開発適用された技術があるが、ARTとしてはモータのトルクアップが必要であり、既存技術の流用で対応可能。

l フェールセーフECU：

エネルギーITS推進事業の協調走行（自動運転）にて開発適用された技術はシングルチップのCPUで対応している。最新プロセッサはデュアルCPUの例えばインテルH850を用いたフェールセーフECUを開発する必要があり、既存技術の応用による新規開発となる。

m 環境理解技術：

環境理解には高精度3次元マップと合わせて、高精度3Dレーザレーダを融合した、ローカルダイナミックマッピングが必要であり、。環境理解技術の開発は既存技術の応用による新規開発となる。

n HMI技術：

乗用車用のMHIは開発されているが、公共交通機関のバス用の安全運航のためには、ドライバーの確認負荷の低減が重要であり、バス用HUD方式表示装置の開発。更にART用として、市街地運行時に、乗客または周辺の車両や歩行者などへのドライバー安全確認の支援も含め、新たな実用化に向けてのHMIの技術開発が必用であり、既存技術の改良で対応可能。

o 車車間通信システム：

既に760MHz帯の車車間通信は既に乗用車のCACCに開発されているが、ARTでは制御に用いるため高速セキュリティチップ開発が必用で、既存技術の応用による新規開発となる。

p 先読（AI）制御技術：

急な飛び出しや、後方からの接近に対しての急ブレーキによる乗客転倒防止のため、先読み制御技術が必要となる。このためには、様々な環境条件の収集と学習のためAI技術の開発が必要であり、AI技術は開発されていないため基礎レベルからの開発となる。

(2) 開発規模の評価

開発費用に関する概算の積算を実施し、開発規模を大規模、中規模、小規模に分類した。なお、大規模は1億万円以上、中規模は1億万円から1千万円、小規模は1千万円以下の規模として分類した。

前節までの報告内容より、エネルギーITS推進事業の協調走行（自動運転）の開発規模に比べ既存技術の応用による新規開発や、もう一步実用化に向けての開発も加わってくるので更に開発規模は大きくなる。重要と思われる項目の開発規模の評価結果を、表3.6.1 (1) -2 開発規模の評価 にしめす。

表3.6.1 (1) -2 開発規模の評価

#	項目名	大規模	中規模	小規模
a	車両構造	○		
b	高精度車線維持制御システム		○	
c	乗降場正着制御システム		○	
d	料金收受システム		○	
e	PTPS連動ACC制御システム		○	
f	車群走行CACCシステム		○	
g	車椅子固定技術		○	
h	高精度3Dレーザレーダ	○		
i	白線認識センサ		○	
j	GPS利用測位技術		○	
k	自動操舵モータ		○	
l	フェールセーフECU	○		
m	環境理解技術	○		
n	HMI技術	○		
o	車車間通信システム		○	
p	先読み（AI）制御技術	○		
q	実験車の製作		○	

a 車両構造：

連接バスは国内では製造されておらず、0からの開発になる。通常数億円以上の開発となり、大規模開発。

b 高精度車線維持制御システム：

アルゴリズム・ソフトの開発であり、殆んど人件費なので開発規模は約3千万円と推定されるので、中規模開発。

c 乗降場正着制御システム：

アルゴリズム・ソフトの開発であり、殆んど人件費なので開発規模は約3千万円と推定

されるので、中規模開発。

d 料金収受システム :

信用乗車方式に必要な準静電界技術方式による通過検知式の改札口方式の構築のための、通信技術とシステム開発になる。開発規模はおよそ数千万円と推定される。中規模開発。

e PTPS連動ACC制御システム :

アルゴリズム・ソフトの開発であり、殆んど人件費なので開発規模は約3千万円と推定されるので、中規模開発。

f 車群走行CACCシステム :

アルゴリズム・ソフトの開発であり、殆んど人件費なので開発規模は約3千万円と推定されるので、中規模開発。

g 車椅子固定技術 :

車室内搭載の車椅子固定装置の開発になり、装置開発が主になるので、開発規模は約2千万円と推定されるので、中規模開発。

h 高精度3Dレーザレーダ :

従来のポリゴンミラーではARTに必要な小型で高分解能かつ広画角の要求仕様を達成することは出来ず、新規にMEMSミラーの開発と光学系の開発が必用であり、総額4億万円台の規模と推定されるので、大規模開発。

i 白線認識センサ :

高ダイナミックレンジカメラは民間では開発されており、総額数千万円台の規模と推定されるので、中規模開発。

j GPS利用測位技術 :

準天頂衛星から送られてくる測位サービス信号を受信し、高精度な測位標定が可能となる測位補強サービスを受けられる車載化開発に開発費など総額3千万円台の規模と推定されるので、中規模開発。

k 自動操舵モータ :

大型バス用の自動走行が行える安全性と信頼性を考慮した大出力の自動操舵モータが必用であり、総額2千万円台の規模と推定されるので、中規模開発。

l フェールセーフECU :

車両制御の中核をなす信頼性とフェイルセーフ性をもったECUが欠かせなく、最新のプロセッサの選択検討をし、ECU新規開発など、この開発は設計、製作、評価のため2

億万円台の規模と推定されるので、大規模開発。

m 環境理解技術：

走行路の周辺環境を動的に正確に認識するために高精度の3次元マップとセンサ情報の統合処理のリアルタイム化の開発が必用。その処理認識用に専用チップの開発などが必用であり、総額3億万円台の規模と推定されるので、大規模開発。

m HMI技術：

オーバーヘッドディスプレイで車載型のドライバー視認負荷が少なく適切な情報提供が出来るHMI表示のハードソフト開発が必用。そのためには、総額2～3億万円台の規模と推定されるので、大規模開発。

o 車車間通信システム：

ATR実現のため国内規格に整合した760MHz帯の車車間通信システムに加えセキュリティチップの開発が必用で、総額4千万円と推定されるので、中規模開発。

P 先読み（AI）制御技術：

ディープラーニングで得られた危険度推定アルゴリズムをリアルタイム動作のためにはAIチップ開発が必用で、アルゴリズム開発も含め総額1億円台の規模と推定されるので、大規模開発。

q 実験車の製作：

自動運転車の開発に必要な実験車製作に約5千万円の規模なので、中規模開発。

(3) 難易度の評価

関係する技術分野における専門家へのヒヤリングや過去の研究開発事例を参考に、難比較的難、比較的容易、容易の4段階で評価する。

重要と思われる項目の開発難易度の評価結果を、表3.6.1 (1) -3 開発難易度の評価にしめす。

a 車両構造：

ARTで必要とされる、接続バス方式と電子連結方式の車両開発が必要で車両構造の開発は、走行性とユニバーサル化の整合も含めた開発であり、特に接続バスの開発国内例がない新規開発であり、比較的難開発と予想される。

b 高精度車線維持制御システム：

レーチェンジアルゴリズムの改造で、比較的容易開発と予想される。

c 乗降場正着制御システム：

要求仕様に求められている乗降場とバスの隙間少なく正着する制御は接続バスと電

子連結バスと合わせ、高精度のシステム開発は、比較的難開発と予想される。

d 料金収受システム：

ARTの定時制、短時間乗降実現のために信用方式の導入が必用で、そのために新たな改札方式の開発が必用。その通信方式として準静電界通信が最適と考えられ、この方式による信用乗車改札システム開発は、比較的難開発と予想される。

表3.6.1 (1) -3 開発難易度の評価

#	項目名	難	比較的難	比較的容易	容易
a	車両構造		○		
b	高精度車線維持制御システム			○	
c	乗降場正着制御システム		○		
d	料金収受システム		○		
e	PTPS連動ACC制御システム			○	
f	車群走行CACCシステム			○	
g	車椅子固定技術				○
h	高精度3Dレーザレーダ		○		
i	白線認識センサ			○	
j	GPS利用測位技術				○
k	自動操舵モータ				○
l	フェールセーフECU		○		
m	環境理解技術		○		
n	HMI技術		○		
o	車車間通信システム				○
p	先読み（AI）制御技術		○		

e PTPS連動ACC制御システム：

PTPSとの信号変化時間情報と到達・通過時間から算出される速度に対するなめらかなACC制御のアルゴリズム開発は、比較的容易開発と予想される。

f 車群走行CACCシステム：

市街地走行での車群形成したCACC走行の安全性を確保したシステム開発は、比較的容易な開発と予想される。

g 車椅子固定技術：

ARTで要求される車椅子固定技術は、乗客自らの固定操作が簡便にできる方式の装置であり、開発は容易開発と予想される。

h 高精度3Dレーザレーダ：

ARTで要求する広画面角狭ビームの3次元スキャンに必要なMEMSミラーの開発は国内では先行事例がなく、高精度3Dレーザレーダ開発は比較的難開発と予想される。

i 白線認識センサ：

民間で開発されている高ダイナミックレンジの撮像素子があるので、ART用の白線認識センサの開発は、比較的容易な開発と予想される。

j GPS利用測位技術：

準天頂衛星からの信号を十分に生かしたGPS測位は実用化開発が主体の開発内容であり、容易と予想される。

k 自動操舵モータ：

ART向けの信頼性の高く大出力の自動操舵モータは既存技術の改良で、容易開発と予想される。

l フェールセーフECU：

ART向けの信頼性とフェイルセーフアルゴリズムが確率されていなので、信頼性を確保し実用化を狙い搭載性も考慮したフェールセーフECUの開発は、比較的難開発と予想される。

m 環境理解技術：

グーグルで高精度の3次元マップと障害物センサの情報をAI処理認識する環境理解技術が先行しているが、特に検出情報の認識アルゴリズムの開発と、リアルタイムな走行環境理解技術開発は、比較的難開発と予想される。

n HMI技術(車載プロジェクタ等)：

ドライバへのHUDに対する情報表示と反応入力部の最適化や、周辺車両ドライバ、歩行者等各方面への情報提供の最適化など、人間特性解析を含め、HMIの最適化開発は、比較的難開発と予想される。

o 車車間通信システム：

エネルギーITSで開発された車車間通信システムをベースに、国内で規格化されている760MHz帯V2X規格を利用し、更に一段実用化を進める開発は、容易開発と予想される。

p 先読み(AI)制御技術：

デープラーニングのAI技術を使い各種情報から先読みする技術は、アルゴリズム開発とリアルタイム処理用のチップ開発を行う開発で、比較的難開発と予想される。

まとめ

ARTに関するニーズ調査およびARTに求められる開発技術要件、制御システムおよび要素技術調査を実施した。

この結果、ほぼ既存技術の応用の範囲でARTの開発が可能であると考えられる。

添付資料

○平成14年度 次世代普及型ノンステップバスの標準仕様策定報告書（平成15年3月
国土交通省自動車局）要部抜粋：

-----以下抜粋-----

(3) 車いす固定装置

路線バスの定時運行を確保する上で、車いすの乗降車及び車いすスペースへの固定に要する時間の短縮化がバス事業者から要望されている。一方、車いす使用者はもちろん、周囲の乗客の安全性確保はそれ以上に重要であり、標準仕様の策定にあたっては、車いすサブWGを編成して安全性と迅速性が両立できる方法を模索した。

車いすサブWGでは、まず目標とする性能について検討を行い、以下のような目標を設定した。

- ① 走行時に想定される急停止、急旋回、急発進において、車いす使用者及び周囲の乗客の安全性が確保できること。
- ② 衝突時の安全性は他の乗客と同程度であること。
- ③ 車いすスペースへの固定に要する時間（スロープ板設置→車いすの乗車→スペースへの誘導→固定）は概ね1分以内であること。
- ④ 装置はできるだけ安価（10万円以内）に提供できること。

次に、この目標を達成するための数種の方法を検討し、実際に走行試験を行って上記の目標を満足しているか否かを評価した。この詳細は本報告書別冊の付録3に示してあるが、最終結果は表5.2であり、これより以下の2方式を提案した。

a. 後ろ向き背もたれ板式

図5.5のように車いすを進行方向後ろ向きに乗車させ、車いす使用者の背中が背もたれ板に保持されるようにする方法であり、欧州ではこの方式が主流となっている。通常の走行時に発生する最大の衝撃力は急停止の際の減速加速度であるが、この方式では、その衝撃を背もたれ板が受け止めるようになっているため、車いすを特に固定する必要はない。ただし、旋回時に車いすが車両の通路側に回頭するのを防止するため、車いすの肘掛け部とバス側壁をベルトで結ぶなどして振れ防止策を講じる必要がある。この方式では、車いすを車体に固定するような作業が発生しないため介助は容易であり、また、慣れれば乗車後10秒足らずでスペースに収まることも可能である。

表5.2 車いす固定装置の評価結果

方式	安全性	操作性	低価格	汎用性	備考
前向き4点ベルト式	○	×	×	○	米国製、人ベルト併用
前向き3点ベルト式	○	△	○	○	現行標準品、人ベルト併用
前向き片輪挟込式	×	△*1	×	×	市販品、人ベルト併用
前向き背面固定式	○	△	未調査	未調査	試作品、人ベルト併用
後ろ向き背もたれ板式	○	○	未調査	△*2	試作品、人ベルト不要

*1: 人ベルトなしの場合は○ *2: 背もたれ板の幅による



図5.5 後ろ向き背もたれ板式固定装置の例



図5.6 前向き3点ベルト式固定装置の例

b.前向き3点ベルト固定式

図5.6のように車いすを前向きに乗車させ、バスの床に設置したアンカーと車いすのフレームとをベルトにより固定し、さらにアンカーから延ばしたシートベルトにより車いす使用者を固定する方式である。この方式には、ISOで採用しているような前後2点ずつ計4点で固定する方式と日本の現行車によく採用されている前1点後2点の計3点で固定する方式がある。試作した試験車には当初4点式と3点式の2方式を用意していたが、試験の結果では両者の安全性に差異は見られず、むしろ操作時間は3点式の方が優れていた。

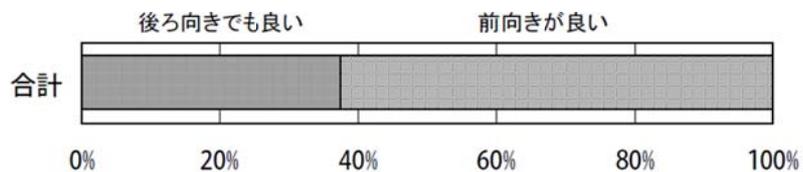
この方式ではベルトを固定するための作業が必要となり、また、車いす下部の狭くて低い位置での作業となるため作業者の負担は大きい。また、車いすの種類や大きさに関係なく固定できる柔軟性がある。

上記の後ろ向き背もたれ板式と前向き3点ベルト固定式を試験車に装備して東京モーターショーに展示し、試乗及びアンケートを実施した。車いすでの来場者、会場に用意した車いすを体験した一般来場者ともに、後ろ向き方式は「他人の手を借りないで迅速に乗車できる」と好評であったが、車いす使用者へのアンケートでは図5.7に示すように、「前向きの方が良い」とする回答が多い結果となった。また、その理由として「車酔いしそう」「他人の視線が気になる」が挙げられていた。ただし、展示してあるバスに乗りたいかについては、ほぼ全員が「乗りたい」と回答していた。

以上の結果を総合的に検討したところ、後ろ向き方式には迅速性、簡便性に優れている反面、車いす使用者の不安感があり、前向き方式にはどの車いすにも対応できる柔軟性がある反面、作業性や迅速性に欠けるところがあって、どちらかに絞ることは難しい状況にあった。そこで、標準仕様では2005年以降の標準仕様として、後ろ向き、前向きのいずれも可とした。採用にあたっては、投入される路線や車いす使用者の要望によって選択することが望ましい。また、後ろ向き方式を採用した場合でも、床には3点ベルト固定式用のアンカーを装備し、いずれも使用できるようにしておくのが合理的と考える。

《設問》

展示の大型ノンステップバスの後ろ向き固定装置は、他人の手をあまり借りずに短時間で乗り降りすることができます。ただし、後ろ向きに乗車していただくことになります。この装置をどう思われますか(乗車時間30分以内の場合を想定してお答え下さい)。



(前向きが良いとする理由)

- ・不安
- ・首が弱いから
- ・打ったら大怪我をしそうだから
- ・気分が悪くなる
- ・車に酔いそうだから
- ・1人だけ他人の視線をあびなくてはいけない
- ・乗客と目が合う
- ・目線が気になる
- ・乗客の1人として他の乗客と同じ方向をむいていたい

図5.7 車いす固定装置展示バスアンケート結果

-----以上抜粋-----