

第1章 序論

1.1 本研究の背景

本研究は、自動車の自動運転システムに関するものであり、複数台の自動運転車両間で車両間通信を行い、柔軟な協調走行システムを実現するための新しい車両間通信アルゴリズムと車両の速度・車間距離制御アルゴリズムを提案する。この研究で扱う柔軟な協調走行システムの目的は、自動車交通の安全性と効率、すなわち渋滞の抑制にある。

自動車の自動運転に関するこの研究の背景は、現在世界各国で国家プロジェクトとして推進されている ITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) にある [1] ~ [3]。ITS とは、エレクトロニクス技術や情報技術、通信技術、制御技術など様々な技術を用いて自動車交通を知能化、情報化するシステムのことである。ITS に関する研究開発は、基礎研究から実用化に至るまで、幅広い範囲において活発に行なわれている。これほどに高い関心が ITS に向けられているのは、ITS が道路交通問題を解決するだけでなく、新しい産業の創生に貢献する可能性を持っているからである。ITS は、当初道路交通問題だけを対象に考えられていたが、現在ではヨーロッパを中心に道路交通だけでなく、広く陸海空における人と貨物のよりよいモビリティを目指したシステムとして考えられるようになっている。

ITS にはいろいろなシステムが含まれるが、米国運輸省の諮問機関として 1990 年に組織された ITS アメリカ (旧 IVHS アメリカ) が作成したシステムの分類に基づいて本研究で扱う課題の位置づけを明らかにする。ITS アメリカは、ITS に含まれるシステムを縦断的な ATMS、ATIS、AVCSS と、横断的な CVO、APTS、ARTS の 6 分野に分類している。

- ATMS (Advanced Traffic Management Systems : 先進交通管理システム)
代表的システム : 交通信号制御, 自動料金収受
- ATIS (Advanced Traveler Information Systems : 先進旅行者情報システム)
代表的システム : ナビゲーションシステム, 経路誘導システム
- AVCSS (Advanced Vehicle Control and Safety Systems : 先進車両制御安全システ

ム)

代表的システム：運転支援システム，自動運転システム

- CVO (Commercial Vehicle Operations：商業車運行)

代表的システム：トラックなどの商業車両運行管理

- APTS (Advanced Public Transportation Systems：先進公共交通システム)

代表的システム：公共交通システムの情報化

- ARTS (Advanced Rural Transportation Systems：先進地域交通システム)

代表的システム：天候・路面状況情報提供，メーデーシステム

AHS (Automated Highway System：自動化高速道路システム) が，道路交通システムの一部として機能するようになれば 7 番目のシステムとなる．概して，ATMS は普及段階，ATIS は実用化段階，AVCSS は研究段階にある．これらシステムの中で，道路交通問題を本質的に解決するのは AVCSS とされている．本研究は，自動運転システムのための要素技術を扱っており，従って，AVCSS に関する研究と位置付けることができる．

AVCSS は，ドライバ支援システムと自動運転システムの 2 つのシステムに大別することができるが，これらの違いをドライバが自動車を運転する時の過程に基づいて説明する．ドライバが自動車を運転する際に行なっている動作は，認知 (走行環境の検出，走行状況の認識)，判断 (状況の判断，ハンドル操作やアクセル操作等の行動の計画，走行速度や走行軌跡の制御目標の設定)，操作 (ハンドルやアクセル等アクチュエータの操作) の三段階に分かれる．これらの段階の一部を代行するシステムが運転支援システムであり，全てを代行するのが自動運転システムである．運転支援システムは，さらに，認知だけを代行する情報提供システムと，認知と判断を代行する警告システムに分けられる．

本研究は自動運転システムを前提としているが，ここで提案するシステムは運転支援システムにも適用することができる．

AVCSS のための要素技術は，ドライバが自動車を運転するときの過程から，センシングと制御に大別される．センシングの対象は，走路，先行車や周囲の車，歩行者，障害物 (駐車中の車も含む) などであり，用いられる技術は，走路検出のためのセンシング技術と先行車や周囲の車，歩行者，障害物等の検出のためのセンシング技術に大別される．前者には，マシンビジョンに代表される車載型センシング (自律型) と，道路に埋設した誘導ケーブルや磁気マーカと，それに対応した車側のコイルや磁気センサを組合せたセンシング (車インフラストラクチャ協調型) とがある．後者は，マシンビジョン，レーザレーダ，

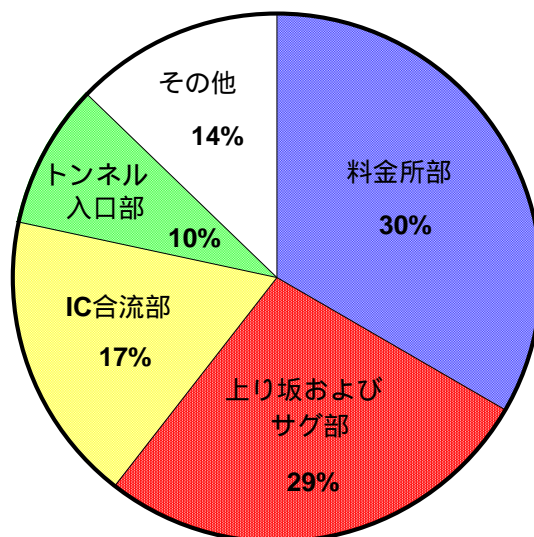


図 1.1: 構造別渋滞発生場所

レーダ，超音波などの媒体を用いた車載型センシングが主であるが，センシングの対象物から発射された媒体を受信して検出するセンシングも考えられる．

制御には，ラテラル（操舵）制御とロンジチューディナル（速度・車間距離）制御がある．さらに，本研究で扱う複数台の自動運転車両による協調走行のための要素技術には，上述したセンシングと制御に加えて車両間通信が含まれる．車両間通信は，他車から直接測定できない車両の制御に必須の加減速度をはじめとするデータの送受のために必要となる．ここでの協調走行システムとは，車両が群をなして小さな車間距離を保ちつつ，ランプからの流入時や車線変更時の合流，群からの離脱をスムーズに行うことができる走行システムを指す．

1.2 本研究の目的

自動運転車両群の協調走行の目的は，自動車交通の安全に加えて，効率，すなわち渋滞発生を抑制し，自動車交通における省エネルギー化や環境負荷の低減にある．協調走行のための技術は，センシング，制御，車両間通信にまとめられる．本研究で扱うのは，制御のうちのロンジチューディナル制御と車両間通信で，本研究の目的は協調走行のためのロンジチューディナル制御アルゴリズムと車両間通信アルゴリズムの提案とその実験による有効性の検証にある．

協調走行システムの必要性を高速道路における主な渋滞原因から考えてみる．図 1.1[4]

は、高速道路における渋滞発生場所の割合である。この中で最も大きな割合を占めている料金所における渋滞は、ATMSの代表的システムである自動料金収受システムの導入により解決されることが期待されている。しかし、その他の場所については、料金所における自動料金収受システムのようなATIMS/ATIS分野の技術による解決は困難であり、AVCSS関連システムの一つである車両走行制御による解決が必要とされている。

このような背景から本研究では、協調走行システムの中でも、特に高速道路の本線を走行している車両群にランプから車両群が合流する場合と隣接する車線間での車線変更によって行われる合流に焦点をあてて、ロンジチューディナル制御とその車両間通信を扱う。高速道路における合流制御は、ITSにおける車両走行制御の中でも重要なテーマの一つである。車両群のスムーズな合流は、自動車交通において最も優先すべき安全を実現することができると共に、効率、すなわち渋滞の発生を防いで道路容量を増すことができるからである。これは、渋滞が与える経済的損失だけでなく、エネルギー消費や環境負荷の観点からも極めて重要なことである。

本研究で提案するアルゴリズムを実際に自動車交通に適用する場合、次のような機能が前提となる。

- 自動運転システム

- ラテラル制御機能

自律型、インフラストラクチャ協調型、いずれでもよい。

- ロンジチューディナル制御機能

- ローカリゼーション機能

自車の絶対位置を常時認識する機能で、自車の走行制御だけでなく他車との協調走行にも必要な情報である。

- 詳細な地図情報

自車位置と道路のマッチングに必要である。

- 通信システム

- 局所的な通信システム

車両制御を行う場合、近接した車両間において通信が行われる。そのため台数に関係なく自車を中心とした一定範囲内の車両と通信ができなくてはならない。

– 大域的な通信システム

合流制御を行う時，合流を予測するために遠距離に位置する車両間で情報交換が行われる．大域的な通信システムは遠距離における情報交換を目的としているため，車両間通信システムだけでなく車路車間通信システムを使用することも可能である．

これらの機能は，現在研究されているものが多いが，本研究の前提として十分に合理的な技術である．

1.3 従来の研究

自動車の単独自動運転を行うためには，走行コースを検出しそれに沿って走行するためのラテラル制御機能，速度と車間距離を制御するロンジチューディナル制御機能，障害物を検出しそれを回避する機能が必要である．車両群の協調走行のためには，さらに車両間通信機能が必要となる．本研究ではこれら自動運転システムの要素技術のうち，ロンジチューディナル制御と車両間通信を扱っている．

ロンジチューディナル制御

自動運転システムにおいて，ロンジチューディナル制御は車両群を小さな車間距離を保って走行させる場合の速度・車間距離制御として重要視されている[5]．我が国の自動運転道路システムや PATH でのプラトゥーン走行では，1 車線上の車両群内の車間距離制御としてロンジチューディナル制御を使用しているが，車両の合流制御は扱っていない．ここで使用された制御アルゴリズムは，スライディング制御や PD 制御である．

自動車交通流における合流を理論的に扱った研究はいくつか行われている[6]．Posch [7]は合流に関するアプローチを行った．ここでは路車間通信を用い，合流地点付近において合流車両間で合流順序を決定し，ロンジチューディナル制御を行うことで合流を実現している．彼らはコンピュータシミュレーションによりその有効性を示した．Shladover [8]は，軌道での合流におけるロンジチューディナル制御を提案した．この研究では，合流制御にロンジチューディナル制御を使用すると，交通流の効率を上げることが可能であることをシミュレーションにより示している．しかし，この研究は軌道を前提としているため，そのままでは自動運転システムに応用することができない．

ランプや車線変更時の車両制御に関する研究はまだほとんど行われていない。本研究では、仮想車両という新しい概念を用いた車両の合流制御時のロングチューディナル制御アルゴリズムを提案する。

車両間通信

車両間通信は、複数台の自動運転車両による協調走行には必須の技術である[9]。車両間通信を用いると車両を群として走行させる柔軟なシステムを構成することができるからである。

これまでに、車両間通信を用いた車両群制御の研究はいくつか行われている。津川らは、1980年代に車両間個別通信を複数台の自律車両で使用して、ソフトリンクビークルシステムを開発した[10]。このシステムでは車両間通信に赤外線を使用し、車間距離を小さく保った状態で車両群の追従走行を制御することができた。ヨーロッパのITSプロジェクトであるPROMETHEUSでは、1990年代前半に57GHz帯のマイクロ波を使い、100ms周期のTDMAを利用して4台の車両による協調走行のデモが行われた。(財)自動車走行電子技術協会(JSK)の研究グループは、1997年に車両間通信を用いた複数台の自動運転車両による追従走行の実験を行った[11]。この実験では通信媒体に赤外線を使用し、TDMAに基づく車両間通信が用いられ、4台の車両による協調走行を行うことができた。

これらの研究では、通信媒体として無線や赤外線を、プロトコルとしては既存の無線パケット通信で使われているTDMAやALOHAなどを使用している。プラトーン内の複数台車両の制御は考えられているものの、車両群間の協調まで考えられているものはほとんどない。

本研究では、車両群間の協調(合流/分離)を取り扱っている。車両制御を目的とした車両間通信方式として、ラウンドロビン方式を基本にスケジューリング方式を拡張し、車両群の構成台数に合わせて動的に通信経路を変化させるデータ伝達アルゴリズムを提案する。

1.4 本論文の構成

本論文は第2章以下、次のような構成になっている。

まず、第2章では、車両間通信について述べる。ここで提案する車両間通信システムは車両群内通信と車両群間通信の二つから構成されている。

つぎに第3章では，合流制御について説明する．ここでは仮想車両の概念を提案する．
そして第4章では，第2章で述べた車両間通信システムと第3章で述べた合流制御アル
ゴリズムを3台の屋内小型移動車両上の実装して行なった実験とその結果を示す．
最後に第5章で結論を述べる．