自動バレー駐車開発の進展

水谷　友一
Yuichi Mizutani

概　要

将来の自動運転時代の到来を見据え，自動バレー駐車システムの開発を行っている．本稿では，開発中のシステムの特徴と実現に向けた取り組み内容について紹介する．

1.　はじめに

近年，日米欧を中心に自動車業界のみならず，IT業界や電機業界も参入し，自動運転技術の開発が加速してきている．自動運転は周辺監視も含めた運転の権限をドライバとシステムがどのように担うかでレベルが定義されている．SAEのレベル定義を表1に示す．レベル1やレベル2ではドライバが運転権限を保有しており，前車自動追従や衝突回避緊急ブレーキなどOEM各社による製品化が進んでいる．一方，レベル3以上になってくると徐々にシステムが保有する運転権限の領域が拡大していき，レベル5になるとシステムが全ての運転権限を保有する完全な自動運転となる．レベル3以上の自動運転を実現するためには安全性と機能性を両立する技術と法規の整備などが必要不可欠となってくる．

本稿では将来の自動運転を実現するために現在開発を進めている自動バレー駐車システム（レベル4）について紹介する．

表1　自動運転のレベル定義

レベル	名称	運転操作の主体	走行環境監視	緊急時のバックアップ	システム制約
0	非自動化	運転者	運転者	運転者	あり
1	運転支援	運転者＋システム	運転者	運転者	あり
2	一部自動化	システム	運転者	運転者	あり
3	条件付自動化	システム	システム	運転者	あり
4	高度自動化	システム	システム	システム	あり
5	完全自動化	システム	システム	システム	なし

2.　自動バレー駐車システム

2.1　システム概要

バレー駐車とはホテルなどで係員に車を預け駐車してもらったり，帰りに車をエントランスまで移動してもらうサービスのことである．このバレー駐車を自動運転で行おうというのが自動バレー駐車である．アイシンの自動バレー駐車システムの構成を図1に示す．本システムはインフラ設備と車両の2つに大別される．インフラ設備は車両の動きを管理する駐車場管制，走行中の車両や歩行者を認識するためのインフラカメラ，車両が現在の位置を推定するためのマーカで構成される．車両は駐車場内の走行および駐車を自動で行うために必要なセンサ（ソナー×12，カメラ×4）と駐車場管制から目標駐車位置までのルート情報や歩行者，他車両など安全に関する情報の受信や駐車場管制に対し走行速度，制御状態の送信を行うための通信機で構成される．

図1　自動バレー駐車システムの構成

2.2　アイシンの自動バレー駐車システムの特徴

自動バレー駐車を行うためには駐車場地図配信, 目標位置決定, 走行ルート生成, 車両位置推定, 走行経路生成, 車両制御, 場合によっては障害物認識に基づいた運行判断といった基本タスクが必要である. これらの基本タスクをインフラと車両でどのように分担するかについては国際標準を決めるISO/TC204/WG14の場でも議論が進められており, 図2に示すような3タイプが挙がっている.

インフラ重視型では駐車場地図配信から走行経路生成までをインフラ側で行い, 経路に追従する制御のみを車両側で行う. この方式はBenzとBoschが開発を行っており, Benzミュージアムで行われている実証実験では駐車場に5m置きにLiDARを設置し, 車両の位置推定を行っている.

一方, 車両重視型では駐車場地図配信のみをインフラ側で行い, それ以外のタスクは車両側で行う. この方式はAudiが開発を行っており, Audiの開発車両では車両に搭載されたLiDARで高精度な地図生成を行い, インフラから配信された地図と照合することで車両位置推定と走行経路生成を行っている.

これらの方式に対し, 現在開発中のシステムはその中間の方式を採用している. 今後, 自動駐車システムの普及が見込まれ, 車両側で走行経路生成や車両制御を行うセンサ, ECU等の搭載が進むと考えられる. 車両側は従来の自動駐車システム構成を前提とし, 駐車場地図配信～走行ルート生成はインフラ側, 車両位置推定や障害物認識はインフラ側と車両側の双方, 走行経路生成～車両制御は車両側で行うことで, インフラ設備と車両設備にかかるトータルコストを抑え, 早期の普及を目指している. また, 車両側で行う車両位置推定はあらかじめ駐車場に配置されたマーカを用いて行う方式を採用しており, GPSの使用できない立体駐車場や地下駐車場でも高精度な車両位置推定が可能となっている. マーカは非常に安価であるため, インフラ設備にかかるコストを抑制できる.

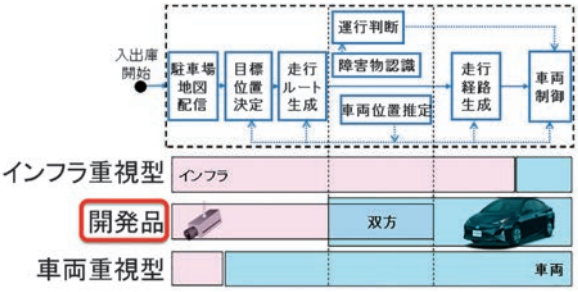

図2　自動バレー駐車システムのタスク分担

3.　自動バレー駐車システムの要素技術

3.1　駐車場地図配信, 目標位置決定, 走行ルート生成

駐車場管制は駐車場地図情報（マーカ位置も含む）を保有し, 場内の駐車状況を踏まえ, 車両が最終的に到達する目標位置（駐車位置もしくは出庫完了位置）, 走行可能なエリア, 目標位置までの通過点を決定し, 車両に対し, 駐車場地図情報とセットでこれらの情報を配信する.

3.2　走行経路生成

駐車場管制から配信された情報に基づき, 自動走行制御するために必要となる走行経路生成を行う.

走行経路は車両の最小旋回半径や最大舵角, 走行する際の車速などを考慮し, 駐車場管制から送られてきた走行可能なエリアの範囲内で通過点のできるだけ近くを通過するように車両が生成する. なお, 走行経路として駐車場の地図上におけるX座標, Y座標, 曲率, 上限車速が生成される.

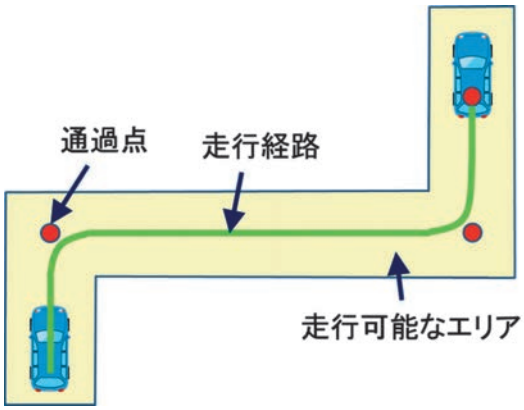

図3　走行経路

3.3　車両位置推定

車両位置推定は車両側とインフラ側の双方で行う.

車両側では加速度･角速度センサと車輪速センサ情報に基づいた自律航法に車載カメラによるマーカ認識を利用した補正を組み合わせることで高精度な車両位置推定を行う.

自律航法では, 加速度･角速度センサと車輪速センサの情報に基づき算出した方位変化量と移動距離を用いて相対移動量を算出することで車両位置を推定している. しかし, 自律航法による車両位置推定は走行距離が長くなるにつれて誤差が蓄積されていってしまうため, マーカ認識を利用した補正を行う. マーカは通路に任意の間隔で配置され, そのマーカを車載カメラで認識する. マーカは駐車場地図上の座標と紐づいており, この情報に基づいて車両位置推定の補正を行う.

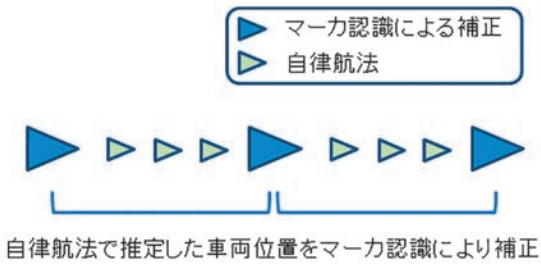

図4　車両側の車両位置推定方法

インフラ側では駐車場に設置されたインフラカメラを用いて車両の認識および, 車両位置座標を特定. また, 自動走行車両とそれ以外の車両との切り分けも行っている.

3.4　車両制御

車両は目標経路に沿って走行し目標位置に到達するように舵角と車速を制御する.

舵角制御は目標経路上を追従走行できるように舵角の制御を行う. 目標曲率に基づいてフィードフォワード(以下, FF)舵角を算出するFFコントローラと目標経路と車両位置との横位置誤差, ヨー角誤差を抑制するためのフィードバック(以下, FB)舵角を算出するFBコントローラで構成される.

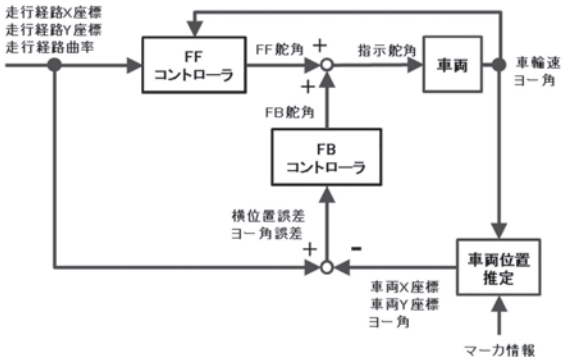

図5　舵角制御構成

車速制御は目標経路上における現在の車両位置に基づいて最適な加速/減速/停止を行うために目標車速生成を行い, この目標車速に車速を追従させる. 目標車速生成にて算出される目標加速度に基づき指示制駆動力を算出するFFコントローラと目標車速と車速との誤差を抑制するように指示制駆動力を調整するFBコントローラで構成される.

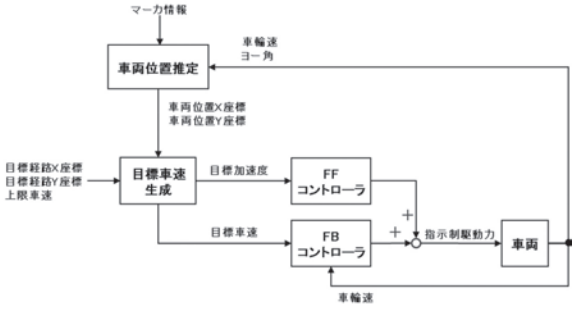

図6　車速制御構成

3.5　障害物認識

障害物認識はインフラ側と車両側の双方で行う.

インフラ側ではインフラカメラを用いて車両や歩行者の認識を行い, 状況に応じて自車両の停止や回避行動などを行う(3.4節で記述). この際ディープラーニングにより障害物が車両であるか歩行者であるかの切り分けを行うと同時に, 時系列の検出結果から障害物の移動速度や移動方向を算出する. 障害物が歩行者であり, 自車両に近い位置に存在する場合は停止して待機, 障害物が車両であり, 前方から近づいてくる場合は路肩に回避するなどの指示を車両に対して行う.

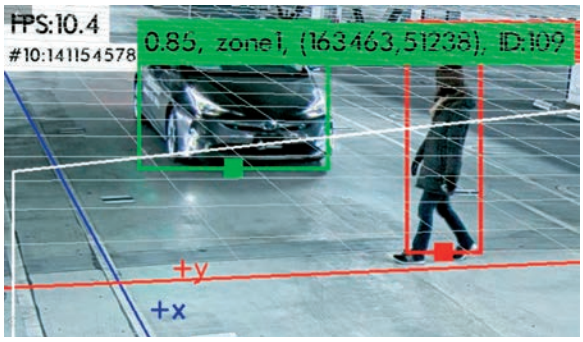

図7　インフラカメラによる障害物認識

車両側では車体に取り付けられたソナーを用いて車両や歩行者に加え, 駐車場内の壁や柱などの認識も行い, 距離に応じた警告および衝突の危険性がある場合には緊急停止を行う.

4.　実証実験

本システムを運用する際に想定されるシーンにおける課題を抽出するために2018年6月と12月に名古屋市営金城ふ頭駐車場にて実証実験を行った. 両実験とも安全面を考慮して運転席には人が乗車したが, ハンドル, シフト, アクセル, ブレーキなどの操作は全て車両が自動で行った.

6月の実証実験では駐車場管制～車両間で通信を行い, 駐車場管制から指示された目標駐車位置と走行ルートに従って自動走行および駐車を実施した. 自動走行の途中でインフラカメラにより歩行者を検出した場

合にはドライバに注意を促す警報を鳴らすというような動作の検証を行った.

12月の実証実験ではより実際に遭遇するシーンを想定し, 自車両と歩行者との接近, 他車両との交差点交互通行, 他車両の入出庫待ち, 他車両とのすれ違いなどの動作検証を行った. 歩行者や他車両が接近するようなシーンでは自動で停止を行ったり, 対向車とのすれ違いでは対向車に道を譲る形で路肩に寄せるなどの動作確認を行った.

両実験を通じて市場駐車場で使用される際の走行性能および安全性の確認を行い, 走行経路への追従精度やインフラカメラによる認識精度などの課題も抽出できた.

図8　実証実験の様子

5. おわりに

今日までの開発により自動バレー駐車の実現に必要な要素技術の構築および実際の使用環境での課題出しができた. 今後は現状の課題を解決してよりよいシステムに仕上げ, 一日でも早く便利で快適な駐車システムを世の中の皆様に提供できるように尽力していきたい.

参考文献
1) Society of Automotive Engineers International：Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems J3016(2014)

筆　者

水谷　友一
走行安全第一制御技術部
自動駐車システムのロジック開発に従事