

自動バレーパーキング管制制御技術の開発

Development of Control Technology for Controlling Automated Valet Parking

山崎 晃央
Akio YAMAZAKI

泉 佑樹
Yuki IZUMI

山根 克弥
Katsuya YAMANE

野村 徹也
Tetsuya NOMURA

清家 康
Yasushi SEIKE

要旨

駐車場の事故低減、効率化を図るため自動バレーパーキング（以下、AVP）の開発が国内外で進んでいる。一般財団法人日本自動車研究所（以下、JARI）が2016年からAVPシステム開発を受託し推進することとなった。

AVPを実用化するにあたっては、「自動駐車車両」「管制センタ」「駐車場インフラ」の三者が協調して安全確保することで、AVPの早期実用化検証が可能だと考えた。

当社はJARI第81研究室として「管制センタ」の開発を担当し、三者の最適な機能分担、機能安全を配慮した管制制御技術、運行管理技術の検討と実証実験を行うことで機能要求を満たす仕様になっているか妥当性を検証した。

検証した結果、ユースケースを想定したデモンストリオ動作は73回中51回成功した。管制制御技術の評価では、ノード通過時間や車間距離の算出精度が設計意図通りの精度であることを確認できた。

Abstract

Development for Automated Valet Parking (hereinafter, "AVP") is progressing in Japan and overseas to reduce accidents and improve efficiency in parking lots. The Japan Automobile Research Institute (hereinafter, "JARI") has been entrusted with AVP system development and has promoted it since 2016.

For putting the AVP to practical use, we, DENSO TEN Limited, considered that it would be possible to verify the early practical use of AVP by coordinately operating the following three elements "AVP equipped vehicles," "Control center," and "Parking lot infrastructure" for ensuring safety.

We were in charge of the development of "Control center," serving as the JARI 81st laboratory, and verified the validity whether the specifications met the functional requirements by performing the review and demonstration experiment of the control technology for control and operating management technology, in consideration of the optimal functional sharing and safety for the three elements.

As a result of the verification, the operation of demonstration scenario for assuming the use case was successful 51 times out of 73. In the evaluation of control technology for control, it was confirmed that the calculation accuracy of node transit time and inter-vehicle distance met design intent.

1. はじめに

自動運転の実用化は交通事故の減少、渋滞の緩和、高齢社会への対応などに大きな期待があり、国を挙げた早期実用化に向けた取組みの一つとして、産学官で検討する「自動走行ビジネス検討会」が設置され、一般財団法人日本自動車研究所（以下、JARI）が、2016年から自動バレーパーキング（以下、AVP）システムの開発を受託し推進することになった^{1), 2)}。

AVPを実用化するにあたっては、「自動駐車車両」「管制センタ」「駐車場インフラ」の三者が協調して安全確保することで、AVPの早期実用化検証が可能だと考えた。当社は、「管制センタ」の開発を担当し、三者の最適な機能分担、機能安全を配慮した管制制御技術、運行管理技術の検討と実証実験を行うことで機能要求を満たす仕様になっているか妥当性を検証した。

本稿では、AVPシステム構成、管制センタの主な機能、今回考案した管制制御仕様、実証実験の評価結果について説明する。なお、本稿にて紹介する成果は、経済産業省製造産業局自動車課からの委託業務「高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業：自動バレーパーキングの実証および高度な自動走行システムの実現に必要な研究開発」で得られたものである。

2. AVPシステム

2.1 AVPとは

ユーザが目的の施設入口などで乗降車場にてスマートフォン操作で入庫や出庫のリクエストを行うと、管制センタから指示される経路で駐車枠まで無人走行・駐車や迎車を行うサービスである。

図1に示すように、AVPシステムは「自動駐車車両」「管制センタ」「駐車場インフラ」の三者で構成され、それぞれが役割を分担し協調して自動運転ならびに自動駐車制御を行う。



図1 AVPの構成要素

2.2 三者の機能分担

AVPシステムの機能分担は、自動駐車車両のセンシングや制御機能など車両に依存する車両依存型、駐車場に備え付けられたセンサなどを使って車両を遠隔操作するインフラ依存型、両方式の間を取ってバランスよく機能分担する車両インフラ協調型などが考えられる。開発関係者で協議した結果、今後の商品展開がすでに見込まれている自動駐車システム搭載の車両をベースに改良を加え、安全を担保できる限定空間に対応した管制センタと駐車場インフラを構築すれば設備投資をできるだけ抑えることができると考え、車両インフラ協調型を採用した（図2）。

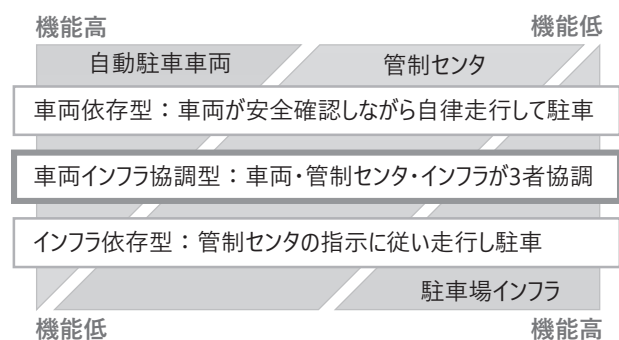


図2 機能分担イメージ

3. 実証実験計画と仕様検討

AVPシステムを実際に構築して機能実証実験を行い、設計したシステムや機能が期待通りに動作するかを確認する。この章では機能実証実験のデモシナリオ、システム構成、管制センタ機能の検討内容について説明する。

3.1 デモシナリオ

ユースケースを想定したデモシナリオを以下のように設定した（図3）。

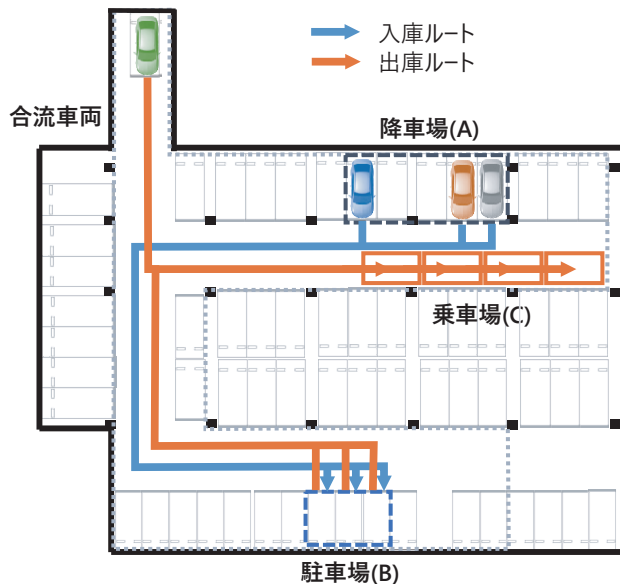


図3 入庫・出庫デモシナリオ

3.1.1 入庫

- 1) 商業施設などに用意された AVP 専用駐車場の降車場 (A) に AVP 車両を停車させ、入庫リクエスト。
- 2) 管制センタが各車両へ経路、駐車場所、ランドマーク情報を配信し、車両が低速自動走行で駐車場 (B) まで移動し駐車する。

3.1.2 出庫

- 1) ドライバが出庫指示を出すと低速自動走行を開始する。
- 2) 管制センタが出庫優先順位を考慮して、ほかの駐車エリアからの合流車両を含め管制制御し、緊急停止・復旧の確認を行う。
- 3) 施設の車寄せをイメージした乗車場 (C) に縦一列に並んで停車し出庫を完了する。

3.2 システム構成

ユーザからの入庫・出庫指示を管制センタが受け、管制センタで地図情報や満空情報を利用して各車両の誘導経路を設定する。管制センタと自動駐車車両はLTEで接続され、誘導経路やランドマーク情報などが管制センタから車両に配信される。車両は全周囲カメラとソナーを使って周辺の障害物や駐車スペースを認識し、管制センタから送られた経路情報やランドマーク情報を基に自己位置を補正しながら自動運転で走行する（図4）。

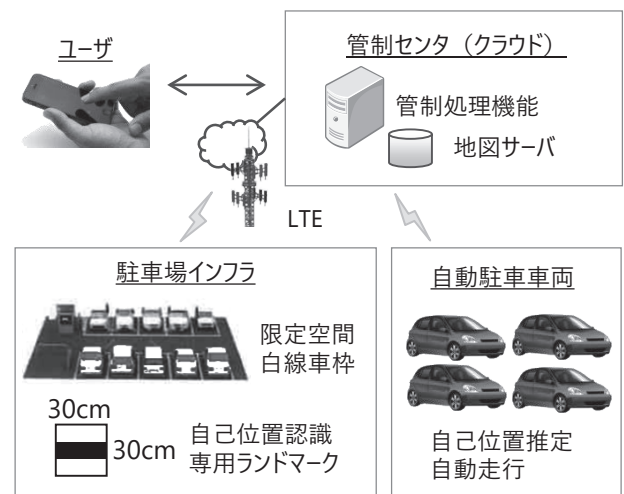


図4 実証実験システム構成

3.3 駐車場地図の構成要素

管制センタが経路算出に利用する地図は、ノードとノード間を結ぶ線、構造物を除いた通路、駐車枠、降車場、乗車場、ランドマークの情報を保有している。実証実験で用いた地図を図5に示す。赤い点 (A) は車両の経路を示すためのノード、グレーの領域 (B) は車両が構造物を回避できる走行境界を表している。

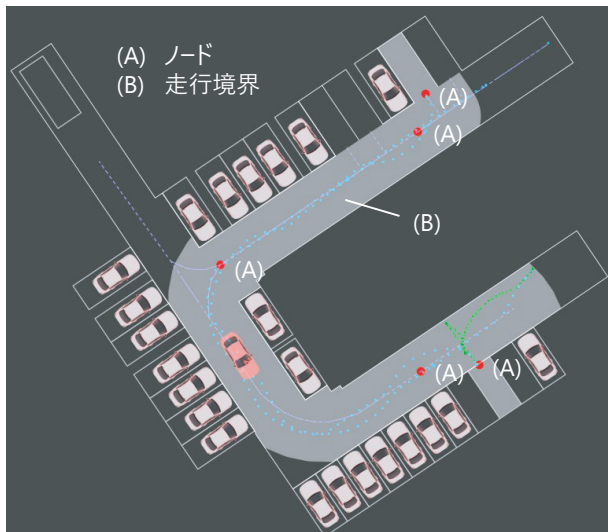


図5 ノードと走行境界

3.4 低速自動走行の管制制御方式

管制センタがAVP車両に走行計画を指示する方式として4案が挙げられ、今回は案1を採用した(図6)。案1はノード通過時刻を車両に指示する方式で、時間指定通りに車両が移動できれば計画的な運行管理がしやすい。ユーザが出庫したい時刻に合わせて精度よく経路計画を引きやすいと考えた。



図6 自動走行車両の管制制御案

3.5 管制制御の課題と方策

管制制御の課題は、①車両が管制の指示通りの時間に正確にノード到着・通過することが難しいため管制で余裕を見た経路計画を立てること②複数車両が同時に走行するケースでも安全に配慮して各車両を運行させること③車両が計画通り走行できなくても復旧できることである。

上記に対する解決方策として、

- ①車両は等速で動作するわけではなく、駐車場の形状（カーブ、スロープなど）の影響を受けながら加減速するため、管制指示通りの時間に正確に合わせるのが難しい。そこで、管制が算出するノード通過時間には幅を持たせるようにし、実証実験の事前評価で、運行計画が冗長にならないよう各種パラメータを適正な値に絞り込んだ。
- ②車両の位置精度や移動開始タイミングのずれなどで接触する恐れがある。車両長や速度、移動開始までの時間を考慮して安全な車間距離を設定し、駐車待ちや交差点で各車両を調停し効率よく動かす必要があると考え、先行車両が通過するまで後続車両は指定のノード間隔未満のノードは予約できないようにした(図7)。
- ③車両が計画通りに走行できずノードに遅着した場合、ほかの車両の走行計画にも影響が出る。問題が発生した時点で影響が出る車両を全て停止させ、経路を再計算・再配信し、運行を継続できるようにした。

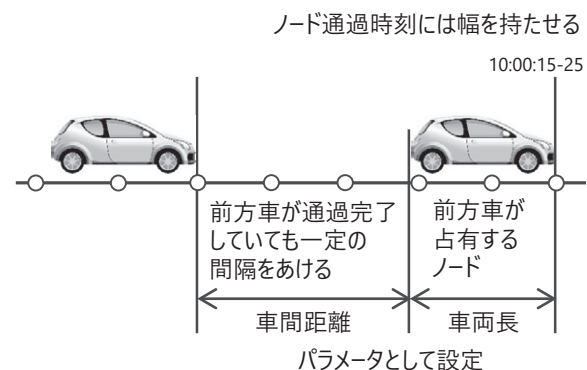


図7 車両間隔とノード通過時間

4. 機能実証実験の実施

実証実験でデモシナリオに含まれる「入庫・出庫の通常動作」「緊急停止」「複数車両協調」が正しく行えることと、管制センタが算出したノード通過時間とノード間隔を、車両が指示通りに通過できることを評価する。

4.1 デモシナリオ実施結果

試行回数 73 回のうち、51 回がシナリオ通りに「入庫・出庫の通常動作」「緊急停止」「複数車両協調」が期待通り動作することを確認できた。期待通り動作しなかった主な原因としては、車両の自己位置推定の問題である³⁾。車両は場内に設置されたランドマークを全周囲カメラで認識し、位置を照合することで自己位置を補正する。照明の照り返しなどでランドマークを正しく認識できず、自己位置を間違えた結果、走路を逸脱するケースがあった。詳細は参考文献を参照のこと。

4.2 管制技術の評価結果

指定時間以内でのノード通過、指定ノードでの停止、駐車待ち時の車間距離 6.5m ～ 9.0m の保持ができていることを確認でき、全体を通して設計仕様通り動作できていることを確認できた。評価結果の例を図 8 に示す。

また、デモシナリオの実施時間を測定した結果、駐車を含まないシナリオ時間は管制算出とほぼ同じ時間で車両は移動できるが、駐車にかかる時間は車両ごとに異なり、また駐車環境に応じて切り返し回数が変わり、時間にバラツキが発生することがわかった（表 1）。



駐車目標ノードに指定時刻までに到着できているか 管制指示時刻からの遅れ（秒）

	ノード	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均
2号車	2-14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

待ちノードを指定時刻通り通過できているか 管制指示時刻からの遅れ（秒）

	ノード	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均
1号車	1-12	2.5	2.8	3.2	2.2	2.8	2.0	2.5	1.8	2.7	2.1	2.5
2号車	2-12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4号車	4-12	3.2	2.7	1.9	2.1	2.3	0.0	3.0	2.5	3.1	2.6	2.3

先行車と後続車の待ちノード間隔は設計通り 6.5m～9.0mか

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
2～4号車	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4～1号車	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

図 8 評価観点と結果の例

表 1 デモシナリオ測定結果

No	往路 シナリオ時間 (駐車時間含む)	往路 シナリオ時間 (駐車時間除く)	往路シナリオ 駐車時間				復路 シナリオ時間
			車番	切り返し	駐車時間	3台合計	
1	0:05:01	0:01:57	1	0回	0:00:50	0:03:04	0:02:51
			2	1回	0:01:00		
			3	1回	0:01:14		
2	0:05:16	0:01:55	1	0回	0:00:52	0:03:20	0:02:50
			2	1回	0:01:12		
			3	1回	0:01:16		
3	0:04:52	0:01:55	1	0回	0:00:50	0:02:57	0:02:51
			2	1回	0:00:52		
			3	1回	0:01:15		
4	0:05:14	0:01:56	1	1回	0:01:32	0:03:18	0:02:54
			2	0回	0:00:29		
			3	1回	0:01:17		
5	0:04:47	0:01:55	1	0回	0:00:52	0:02:52	0:02:51
			2	1回	0:00:56		
			3	1回	0:01:04		
6	0:04:30	0:01:55	1	0回	0:00:45	0:02:35	0:02:52
			2	1回	0:00:46		
			3	1回	0:01:04		
7	0:04:27	0:01:57	1	0回	0:00:47	0:02:30	0:02:52
			2	0回	0:00:41		
			3	1回	0:01:02		
8	0:04:36	0:01:56	1	0回	0:00:45	0:02:40	0:02:47
			2	0回	0:00:37		
			3	1回	0:01:18		
9	0:04:55	0:01:56	1	0回	0:00:47	0:02:59	0:02:54
			2	1回	0:00:54		
			3	1回	0:01:18		
10	0:04:40	0:01:55	1	0回	0:00:46	0:02:45	0:02:51
			2	1回	0:00:41		
			3	1回	0:01:18		

4.3 今後の課題

駐車時間が車両ごとにばらついており、このバラツキを解消し管制センタの時間算出精度を高めることが今後の課題である。対策案としては駐車に必要な時間の最大値を設け、駐車完了時刻を多めに見積もる方法などがある。例えば、駐車の手返し動作が通常は一回程度であるが、最大三回発生すると仮定し、三回手回しの時間をあらかじめ計上しておく。この場合、ユーザ希望時刻に合わせることができるが、経路の占有時間が増加するため影響がないか確認する必要がある。

5. おわりに

本稿では、AVP システム全般についてと管制制御技術、実証実験の評価結果からわかったこと、今後の課題について述べた。考案した車両インフラ協調型のシステムおよび管制制御仕様で4台の車両を AVP 動作させることができた。管制制御の課題としては、入庫・出庫の算出時間精度を高めるために車両ごとに異なる駐車時間の算出精度を高めることである。今後も引き続き AVP システムの普及に向けて技術開発を行っていきたい。

最後に本稿で紹介した研究は、JARI をはじめとした関係各社のご協力のもとに実施したものであり、各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 平成 28 年度スマートモビリティシステム研究開発・実証事業（自動バレーパーキングの実証及び高度な自動走行システムの実現に必要な研究開発）成果報告書
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H28FY/000539.pdf
- 2) 平成 29 年度高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業（自動バレーパーキングの実証及び高度な自動走行システムの実現に必要な研究開発）成果報告書
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H29FY/000362.pdf
- 3) 平成 30 年度高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業（自動バレーパーキングの実証及び高度な自動走行システムの実現に必要な研究開発）成果報告書
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H30FY/000350.pdf

筆者紹介



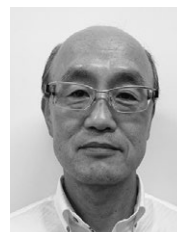
山崎 晃央
やまざき あきお

コネクティッド事業本部
先行システム開発部
商品企画室



泉 佑樹
いずみ ゆうき

コネクティッド事業本部
先行システム開発部
商品企画室



山根 克弥
やまね かつや

経営企画部



野村 徹也
のむら てつや

日本自動車研究所
出向中



清家 康
せいけ やすし

コネクティッド事業本部
先行システム開発部
商品企画室