

自動運転普及期の都市中心部交通の一検討

清原 良三^{†1} ウェトクルラパット ティーラパット^{†2} 古川 義人^{†3}

概要: 自動運転の研究開発の進歩は著しい。また、実車による実験も様々な国で積極的に進められている。一方で事故も報告されている。様々な責任問題が解決されると、普及期に入ると考えられ、普及期に起こるであろう様々な課題の研究開発も盛んになりつつある。本論文では、自動運転の普及のプロセスに着目し、そのプロセスの中で起こるであろう都市部の課題に着目するとともに、その課題の影響を明らかにする。

キーワード: 自動運転, 普及期, 都市部

A Study of Traffic flow in the City for Autonomous Vehicles

RYOZO KIYOHARA^{†1} TEERAPAT WETKULLAPAT^{†2}
HIROTO FURUKAWA^{†1}

Abstract: There are many studies of autonomous vehicles and many experiments in many countries. Moreover, there are some reports of traffic accidents of autonomous vehicles. However many issues of safety will be solved and it will become popular. Therefore, we focus on the issues of problem of traffic flow of autonomous vehicles. In this paper, we show the problem traffic flow of autonomous vehicles in the cities.

Keywords: Traffic Flow, Autonomous vehicle, City

1. はじめに

自動運転の研究開発が盛んに行われている。世界各国で積極的に実験もされている。将来の普及に向けて、基本的には自律型走行および隊列走行に代表されるような協調型運転の両方において実用化のレベルに近い。自動運転は米国運輸省道路交通安全局(NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration)や日本政府などにより、表1に示すようにレベルが定義されている。本論文ではレベル3以降自動運転車両として扱い、その普及期の検討を行う。

自動運転の普及には、現在普及している車両の寿命が12年以上と言われている[1]ことや、2045年でも普及が9割を超えることはない[2]と分析している例もある。自動運転が普及したときの効果は、渋滞削減、CO2削減、事故削減の他に、高齢層の利用など様々な考えられており、その普及は重要である。

そのため、従来から完全に自動運転車両が普及した場合を想定した、各種走行アルゴリズムの研究[3]や、期待される効果を解析する研究[4]などが盛んに行われてきた。しかし、これらの研究のベースとなっているのはすべての車両が自動運転車両であった場合を仮定している場合が多く、現実的でないことが多い。

そこで、最近では、人が運転する車両と自動運転車両が混

在するケースを対象とした研究が実施されている[5][6]。我々も丁字路を対象とした混合環境での課題を中心に研究をしてきた[7]。さらに混合環境での通信への攻撃などに関しての研究[8]まで進められており、自動運転車両のマーケットへの投入が期待されており、市場投入寸前まで来ていることがわかる。

しかしながら、多くの人は安心を要求する。そのため事故が少しでもあると、通常の交通による事故の確率より低

表1 自動運転技術のレベル別定義

Table 1 Definition of the autonomous technology level

レベル	概要	操作主体
レベル0 手動運転	運転者がすべてのタスクを実施	人間
レベル1 運転支援	前後・左右いずれかの車両制御のサブタスクをシステムが実施	人間
レベル2 部分運転自動	前後・左右両方の車両制御のサブタスクをシステムが実施	人間
レベル3 条件付き 自動運転	システムがすべての運転タスクを実施。緊急時は人間が介入	システム 人間
レベル4 高度自動運転	システムがすべての運転タスクを実施。緊急時の人間介入なし	システム
レベル5 完全自動運転	システムがすべての運転タスクを実施。人間の操作は一切なし	システム

^{†1} 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology

^{†2} チュラロンコーン大学
Chulalongkorn University

^{†3} 神奈川工科大学大学院
Graduate School of Kanagawa Institute of Technology

き手も安心できず、受け入れできないことが考えられる。そこで、我々は、普及には次の2つの面から進むと考えている。電気自動車であることも前提となると考える。

- (1) 交通量が少なく、高齢者も多いため一般的に自動運転のニーズが高い地域での導入。
こういう地域では、エネルギー全体の消費も考えたCO2削減を考慮した街全体のシステムという方向性となるであろう。
- (2) 都市部で交通量も多く、渋滞などの削減が要求される地域。
都市部では、交通量を削減するために、電気自動車の自動運転車両のみが入れる地域を作る。これにより通り抜けるだけの自動車はなるべく排除し、クリーンな交通環境を実現できる。

前者の(1)に関しては過疎地が対象になると考えられ、公共交通機関のバスの不便さ、コスト高のタクシーとの間に入るようなライドシェアなどが対象になると考えられる。

一方、後者の(2)は日本も対象だが、むしろ東南アジアなどの地下鉄などの公共交通機関があまり発達しない地域などで導入される可能性があると考えられる。そこで、本論文では後者の(2)に着目し、このような都市部でのスムーズな交通の妨げとなる事象に関して検討し、シミュレーションによりその影響を明らかにする。

2. 自動運転車両限定地域を設けた場合の課題

都市部において、自動運転車両のみが限定的に入れるとした場合にも、人、自転車、2輪車などは自動運転を補助するような歩車間通信機能や、車車間通信機能は保持しない場合が大多数と考えるのが妥当である。一方車両は協調型自動運転車両で、自律型でも走行可能な電気自動車が想定できる。

これらの車は都市部のエリアの中が目的地となり一定時間滞在するとともに、充電も必要となる。日本ではそうでもないが、タイをはじめとする東南アジアなど渋滞のひどさで困っている地域などでは、駐車場スペースが圧倒的に足りず、多数の違法駐車の影響で渋滞がさらにひどくなっていると想定される[9]。

違法駐車の影響は道路の狭さ、違法駐車による人の飛び出しの認識しにくさ、駐車時および発信時の交通の流れの妨げのために影響がでると考えられる。自動車側からすれば、速度を上げられない、頻繁にレーンチェンジが必要となるといった状態のため流れが悪化すると推定できる。

しかしながら、今後自動運転車両かつ電気自動車限定などといった施策がとられた場合、地域を目的とする車両が増加するため、欧米のような路上駐車兼充電スタンドの導入は必須であると考えられる。

そこで、本論文では自動運転車両かつ電気自動車が導入された場合の駐車場利用方式を検討するとともに、路上駐車の影響をシミュレーションによって検証したのでその結果を報告する。

3. 提案方式

都市周辺から都市部へ行く場合の駐車場予約システムを提案する。駐車場予約システムの要求を以下に示す。駐車場ではあるが、路上駐車を想定する。そのため、都市全域が駐車場となる。

- (1) 駐車場の予約により、駐車スペースを確保する。その代わりに、都市部への流入の台数を事前にシステムは把握できる。(限定した都市部では、通過車両を認めないため、必ず進入する車両は駐車することが前提となる。)
- (2) 流入車両台数が多い場合は流入を拒絶する可能性がある。この場合は遠い場所の広い駐車スペースを利用してパーク&ライドを利用させる。
- (3) 要求に応じて、充電することができる。

こういった要求を満たす以下のようなシステムを考える。

- (1) 都市部に入ろうとする車両は自動運転車両であり、通信機能を備えているため、LTEや近隣の路側器を利用して駐車スペース確保の要求をする。その際、目的地および駐車時間と電池の状況から決まる充電時間の要求を送る。
- (2) 要求を受けたシステムは、現在の車両数、スペースを要求した車両数などから駐車可能かどうかを判定するが、元の車両の駐車スペースの要求した場所から、到着時間を推定し、その時間の空き状況を確認的に提示して予約を受け付ける。
- (3) 駐車スペースを要求した車両は目的地に近づけば駐車可能な確率が上がるとともに、確実に止められる場

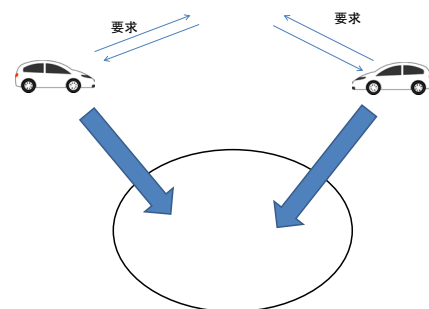


図1 システム概要
Fig1 Overview of the system

所の推薦を受ける。

- (4) 駐車には費用がかかり、混雑状況、時間に比例するとともに、申告した時間との差はペナルティとしてその車両あるいはドライバの次の予約時に影響する。
- (5) 車両は確率を考えて、途中でも確率の高いところに空車し、そこから歩くか公共交通機関での移動を検討することができる。

道路が駐車場であるため、離れたところに駐車する可能があり、目的地との距離で確率が変わる。また目的地に近づいた時点で、どこに駐車できるかの情報も入手可能となる。このプロトコル中にさらに、充電情報も加味され、適切な情報が送られる必要がある。また、荷物の有無、同乗者の有無といった情報も利用したプライオリティの導入も必要であろう。この方式は詳細な検討をするための各要素の検証もできておらず、ラフなアイデアに過ぎないが、CO2削減、道路の混雑解消、安心して都心に向かえるといったニーズを考えると、似たようなシステムの導入が必ずあると考える。

そこで、本論文ではこのようなシステムを考える上で駐車スペースの有効利用のための路上駐車に関して焦点を絞り検討をするとともに、簡単な基礎的なシミュレーションを行った。

4. 路上駐車の影響

4.1 路駐の影響モデル

前節で述べたような路上駐車予約システムを考えた場合、道路による路上駐車の影響を調べておく必要がある。図 2,3,4 に示したケースにおいて影響があると考えている。

- (1) 図 2 に示すような道路の脇への駐車で 2 レーンあるところを 1 レーン塞いでしまうような路上駐車。これは違法な場合が多い。本研究で提案するような路上駐車では、路肩を駐車スペースとするため、そもそもレーンが存在しないことになる。しかし、違法駐車がないともいえないので、影響は検証しておく必要がある。
- (2) 図 3 に示すような駐車時、発進時の交通流への影響は考慮する必要がある。自動運転車両といえど、一定の時間の交通流遮断がなければ駐車できない。特に、スペースを有効利用しようとした場合で、既に多くの車が駐車している場合には、バック移動が必要な縦列駐車が必要となる。一方で、駐車中の車の一定範囲内での前後の動きを自由に認めることができれば、駐車要求に対して車両が自動的にスペースを開けて、バック移動が必要な縦列駐車をなくすという工夫もできるであろう。しかし、通行車両数が多ければ、影響は避けられない。

- (3) 人が運転する車であれば、死角があるとその道幅により速度を落とさざるを得ない。しかし、自動運転車両であれば、駐車中の車からも情報が得られるとすれば危険予知が可能となり、一定の速度での走行が十分可能であると考えられる。

このように考えると比較的道路幅があるようなところでは路上駐車による駐車スペース確保は現実的な解になると考えられる。東南アジアの町を見ていると、町中の広い道路と細い路地の組み合わせからなっており、広い道路での違法な駐車が渋滞の原因を生んでいると考えられる。その理由を確認することにより対策が検討できると考える。

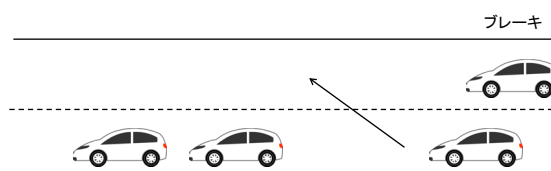


図 2 レーンチェンジの影響

Fig. 2 Influence of lane change

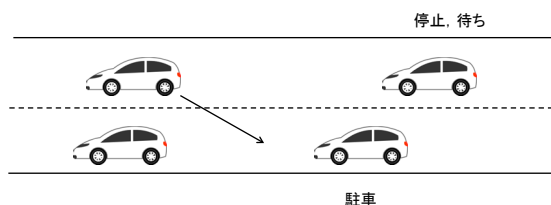


図 3 駐車, 発進時の影響

Fig. 3. Influence of parking and starting

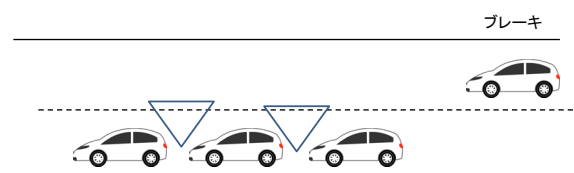


図 4 死角の影響

Fig. 4 Influence of dead space

一方、地方の高齢化社会を救う目的で導入するようなケースでは、自動車そのものが少なく、このような路上駐車の影響は全く考慮する必要がない。

4.2 路駐影響に関する関連研究

欧州では路上駐車は当たり前のように合法的にある。これは駐車スペースが明確に作られており、交通流に影響を与えないと考えられている。しかし、駐車スペース不足から違法にレーン上に駐車する場合もあるようで、この違法駐車の影響を調査した研究がある[10]。日本でも路上駐車と交差点の関係など調査した研究[11]がある。ただし、自動運転時代を想定したものはなく、現在では駐車中の車も各種センサは通信機器を保持している可能性があり、状況は変わるものと考えられる。

4.3 シミュレーション

そこで、簡単なシミュレーションを行うことにより、路上駐車による交通流への影響は若干あるものの、主に交通量に依存するところが大きいことを示す。ここで、レーンチェンジは式(1)で示すような Intelligent Drivers Model(IDM)[12]を利用した。

$$a_{IDM} = a[1 - (\frac{v}{v_0})^4 - (\frac{s^*(v, \Delta v)}{s})^2] \quad (1)$$

Note : $s^*(v, \Delta v) = s_0 + vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}} \quad (2)$

そこで、また表2示す条件でシミュレーションを実施した。シミュレータはスペースタイムエンジニアリング社の提供する Scenargie のマルチエージェント機能を利用したものであり、基礎実験であるため、車車間や路車間の通信機能までは同時にシミュレーションすることはなく、自律

表2 シミュレーション条件
 Table 2 The properties of simulation

Simulator	Scenargie
Simulation time	1800s
Car quantity	200
Speed	20-60 km/h
Road	3 lanes 500 meters

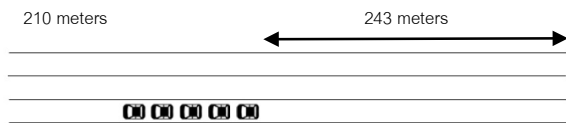


図5 道路のモデル
 Figure 5 Road environment

走行を想定したシミュレーションである。レーンチェンジに関してはシミュレータ自身の持つモデルと、前方や後方の車間距離の式(1)(2)のモデルを組み合わせる形で実装した。違法駐車は、1台から5台と増加させる形でシミュレーションしているが、駐車は連続してすることと想定している。また、駐車車両はあらかじめ存在するものとし、駐車をしようとする車の影響や、発進しようとする車の影響、駐車スペースを探す車の影響はまずは想定していない。

4.4 シミュレーション結果

図6に平均の通過車両速度を駐車台数ごとに示す。また表3に示す道路がせまくなる区間の長さ(駐車車両台数)の影響ごとの平均速度も示す。

駐車台数が多ければ、少し狭くなる区間が長くなるため影響を受け、全体としての平均速度は落ちる。ことがわかる。

また、この速度が、1台から5台の車が並んでるとして、速度がどの位置でどうかわるかを調べた。視界から見える

表3 駐車台数の平均速度への影響
 Table 3 Average velocity per number of illegal parking equation

Influence (car/s)	Equation
0.67	y = -0.8256x + 21.663
0.65	y = -0.7594x + 22.997
0.60	y = -0.4298x + 23.811
0.53	y = -0.4364x + 25.223
0.46	y = -0.4384x + 26.878
0.40	y = -0.3283x + 28.241

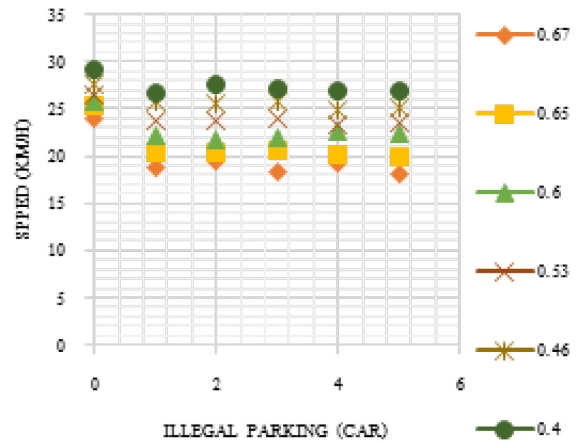


図6 車両の平均速度
 Figure 6 Average velocity of simulation road

道路の広さが影響することは明確であり、またレーンチェンジ後の場所での影響も明確である。図7に各位置ごとの平均速度を示す。レーンチェンジ手前では平均速度が遅くなっていることが良くわかる。

しかし、これらの差異は、車両数全体を多くした場合に比べるとごくわずかな違いとなる。いかえると、都市における違法駐車や路上駐車が交通流に与える影響よりも流入する車両数の影響がより大きい。あるいは、道路の幅の影響による速度減速の影響が大きいといえる。

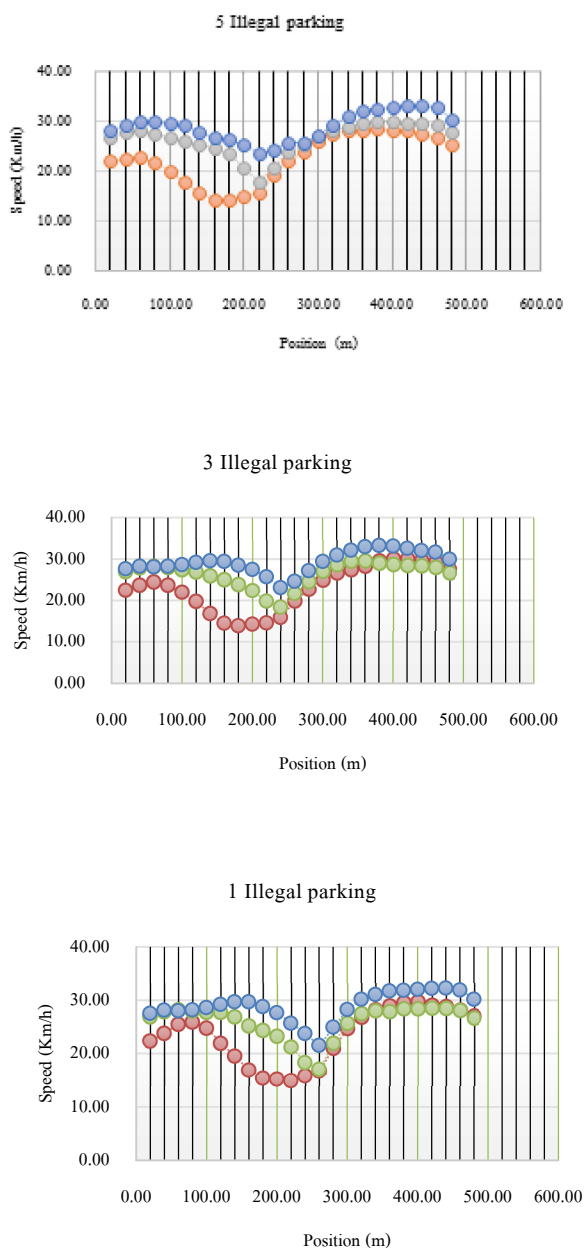


図 7 路上駐車, 5,3,1 台の時の位置と平均速度の関係
 Figure 7 Average velocity per area of 5,3,1 illegal parking

5. 議論

都市部において自動運転車両のみ進入を許可するモデルにおける課題として駐車スペースの問題があることを述べた。そこで路上駐車の活用を提案したが、路上駐車は交通流に影響があるものの、流入量に比べると小さい。電機自動車、自動運転車両に限定することにより自動運転普及期には進入車両は目的地がそのエリア内にある自動車に限られると想定でき、路上駐車の活用を提案した。

このような場合には、シンプルなシミュレーションでは路上駐車の影響は流入量による影響に比べ小さいことがわかった。しかし、厳密なモデルでは実施していないため、今後、道路幅の状態や、人が多い場合の影響などを含めて再度検証する必要がある。

また自動運転車両であると、路上駐車の影響を極限的に小さくもできるのではないかと考える。死角が消え、安全が確保されれば速度も上げられる。縦列駐車なども要求が発生してから最短時間で駐車でき、周辺車両への影響も最小限に抑えられると考える。

6. まとめ

本論文では、自動運転が普及するにあたっての都市部の自動運転車両の扱いに関して検討し、都市部では限定地域では自動運転車両以外は進入を認めないという手法に着目した。その場合、該当都市部では、通過車両はなく、目的地がその都市であるため、駐車スペースが必要になり、そのスペースでは充電も必要になることを述べた。そのため、路上駐車の活用が重要であることを示した。

路上駐車は交通流に対して大きな影響があると言われる場合もあるため、レーンチェンジの必要なケースなどにおいて実際に交通流に影響があるかどうかをシミュレーションすることにより確認した。シミュレーションの結果、進入台数の影響の方が平均速度への影響ははるかに大きいため、路上駐車の影響は小さいことを示した。ただし、厳密性にかけるため、より詳細な条件でシミュレーションして確認すべきであることも述べた。

参考文献

- [1] 自動車検査登録情報協会:”平均使用年数”. 自動車検査登録情報協会(オンライン), 入手先 <http://www.airia.or.jp/publish/file/r5c6pv000000g7wb-att/r5c6pv000000g7wq.pdf>, (参照 2018-07-24)..
- [2] P.Bansal, and K.M.Kockelman, “Forecasting Americans’ long-term adoption of connected and autonomous vehicle technologies,” In Transformation Research Board 95th Annual Meeting, number 16-1871, 2016
- [3] K. Dresner, P. Stone, ” Multiagent Traffic Management: A Reservation-Based Intersection Control Mechanism,” AAMAS '04 Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 2
- [4] H. Baker, R. Cornwell, E. Koehler, J. Patterson, “Review of low carbon technologies for heavy goods vehicles,” A report for

- Department for Transport, Ref. RD, 2009, 9.182601.7., <http://bit.ly/2O7687U>(参照 2018-07-24).
- [5] G. Sharon, P. Stone. “A Protocol for Mixed Autonomous and Human-Operated Vehicle at Intersection”, In ABMUS 2017, Sao Paulo, May,2017.
- [6] 西村 友佑, 藤田 敦, 廣森 聡仁 ほか, “自動運転車両と従来車両の混在が相互の走行にもたらす影響の検討,” 情報処理学会研究報告, 2017-ITS-68
- [7] Hiroto Furukawa, Ryoza Kiyohara, Yuich Tokunaga, Masashi Saito, “Vehicle Control Method at T-Junctions for Mixed Environments Containing Autonomous and Non-Autonomous Vehicles,” The 32nd IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (IEEE AINA-2018)
- [8] 濱崎 福平, 陳 ヒョンテ, 奥田 裕之, 鈴木 達也, 石原 進, “自動運転車・手動運転車の混在環境における隊列制御への通信妨害攻撃の影響調査,” 情報処理学会研究報告, 2018-ITS-72
- [9] P. Luathep, P. Taneerananon, P. Thongchim, “APPLICATION OF IN-DEPTH CRASH ANALYSIS TO IMPROVE SAFETY CONDITION AROUND A COMMUNITY: A CASE STUDY IN HAT YAI, THAILAND,” The 7th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2007
- [10] B. Lu, J. Viegas, “The Analysis of the Influences of the Double Parking Vehicles to the General Traffic Flow,” International Conference on Transportation Engineering 2007
- [11] 鹿田 成則, 片倉 正彦, 大口 敬, “信号交差点の交通容量に及ぼす路上駐車の影響分析,” 総合都市研究, 74 号, pp.147-157, 2001
- [12] R. Malinauskas, “The Intelligent Driver Model: Analysis and Application to Adaptive Cruise Control,”. Clemson University Theses. 1934. https://tigerprints.clemson.edu/all_theses/1934, 2014