

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04299

研究課題名(和文) ハンドルの切り返しを必要とする道路右左折における車両の走行経路計画手法

研究課題名(英文) Path Planning Method for Vehicles at Right/Left Turn that Requires Repetitive K-Turn

研究代表者

林 隆三 (Hayashi, Ryuzo)

東京理科大学・工学部機械工学科・准教授

研究者番号：80505868

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、狭隘な生活道路における自動車の運転に際して難しい課題の一つであるとされている、ハンドルの切り返しを要する道路右左折時の走行経路計画手法の検討を行った。極低速において車両は前進時と後退時で同じ軌跡となることに着目し、後退で出口側から入口側に向かうように軌跡を計算していくことで、必要な切り返し回数と走行経路が同時に求まるような計算手法を開発した。開発した手法の有効性について数値シミュレーションによる検証を行い、その結果、理論に誤りがないことや、本手法の適用可能範囲などが明らかとなった。さらに、一人乗り電気自動車による自動運転実験により、実車での実現が可能であることも示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の経路計画手法は車両が切り返しを行うことを想定しておらず、そのため、狭隘な環境では経路計画が不可能な場面も多く存在した。本研究は、複数回の切り返しを活用することで、従来の手法では不可能な環境でも経路を算出することを可能としたことから、経路計画問題に対しその解法の幅を広げたという点で学術的意義がある。また、現状の自動運転は、高速道路など、道路幅に余裕のある状況に限定されているが、本研究は日本特有の狭隘な道路環境での自動運転を可能にするものであることから、より多くの人々に対して出発地から目的地までの完全自動運転を提供でき、社会全体としての移動コストを大幅に低減できるという社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, we discussed a driving path planning method when turning left or right on a road that requires repetitive K-turn, which is considered to be one of the difficult problems in driving a car on narrow community roads.

Focusing on the fact that the vehicle follows the same trajectory when moving forward and when reversing at extremely low speeds, we developed a calculation method in which the trajectory is calculated from the exit side to the entrance side. The proposed method obtains necessary number of turns and the driving path at the same time.

The effectiveness of the developed method was verified by numerical simulation, and as a result, it was clarified that there is no error in the theory and the applicable range of this method. Furthermore, the result of experiments using a small electric car indicates that the automated driving using repetitive K-turn can be realized in the real world.

研究分野：機械力学・制御

キーワード：交通機械制御 自動車 予防安全 自動運転

### 1. 研究開始当初の背景

自動車のような前輪操舵型の四輪車では、住宅密集部のような狭小な道路での右左折の際に、図1のようにハンドルの切り返しが必要となることがある。将来的に自動運転レベル5の完全自動運転を実現するためには、このようなハンドル切り返しが必要な道路でも適切に走行できる自動運転技術が求められる。

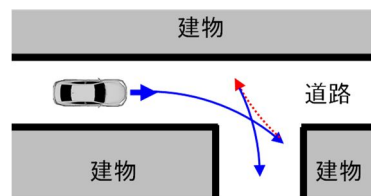


図1 切り返しを含む右左折

また、別の例として、高齢者の近距離移動における歩行補助のためのハンドル形電動車いす(シニアカー)においては、スーパーマーケットやショッピングモール、役場などの公共建物内の狭小な通路の右左折でハンドル切り返しが必要となる。シニアカーのユーザの12%は認知障害の疑いがあるという報告もあり、また、自動車の運転経験のない高齢者も多いことから、切り返しを含む右左折の運転操作が簡単にできるように支援する装置が望まれる。

これらの技術を実現しようとした場合、技術の核となるのは切り返しを含む走行経路計画である。経路計画問題は特に移動ロボットの分野において古くから盛んに研究がなされており、複雑な地形のコースにおいてもスタート位置からゴール位置までの経路を探索的に計画する手法がいくつも提案されている。また、車両の障害物回避問題という観点から、比較的狭い領域内で、円弧やクロソイド曲線を用いて車両運動幾何学に基づいた障害物の回避経路を計画する手法が開発されている。

しかしながら、いずれの研究においても、上述のような超狭隘道路における前輪操舵車両特有の切り返し動作を含む経路計画問題は検討されておらず、したがって、「道路幅等の走行可能領域の制約に対し、最低何回の切り返し動作が必要か」、また、「必要な切り返し回数が与えられた場合、どのように車両を操作するのが最適か」という問いに対する解は得られていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、図2のような、切り返しが必要な右左折場面における最適な走行経路を幾何学的に定式化することを研究の核とし、これを実験車両に実装することで狭小路におけるハンドル切り返しを含んだ自動走行システムを実現することを研究の目的とする。

本研究で得られる知見は、狭小交差点における自動右左折技術として直接的に使用するのみならず、狭小部分を含む地域における広域的な経路探索問題や、自動駐車技術との組み合わせによる狭隘地での自動バレーパーキング技術に発展的に使用可能であり、また、教習所等において、狭隘地での運転技術向上に向けた定量的な実技指導にも活用できるものである。

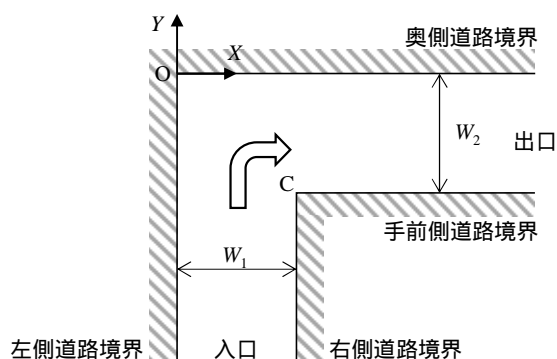


図2 想定するL字路

### 3. 研究の方法

本研究では、狭隘L字路における経路生成を出口側からの逆算により設計する。これは、L字路脱出の最終前進旋回の軌道は道路幅と車両諸元の条件から一意に定まるためである。

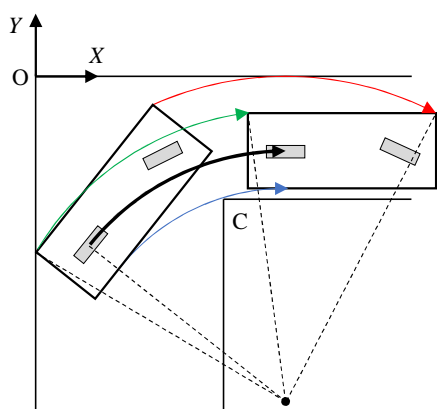


図2 最終前進旋回

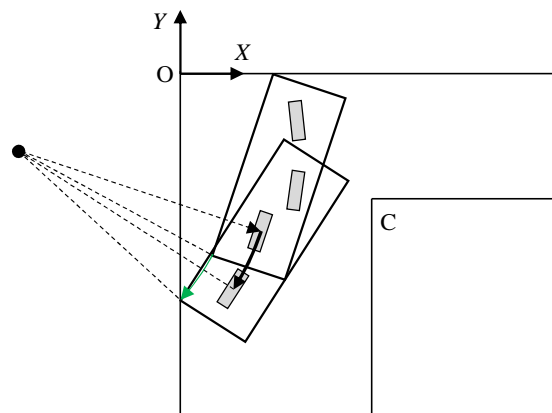


図3 最終前進旋回の1行程前の左操舵後退

最終前進旋回の前は、車両は切り返しを行っていたはずであることを考えると、最終前進旋回の始点は図 2 のように、車両の左後点が左側道路境界と接する状態からの右旋回軌道として定式化できる。

車両がどのようにして図 2 の旋回開始位置に到達したかを考えると、最終前進旋回の 1 行程前の右操舵後退は図 3 のように、車両の左前点が奥側道路境界と接した状態であったと考えることができ、その前の行程は図 4 のように、左後点が左側道路境界と接する状態から車両左前点が奥側道路境界と接した状態への右操舵前進であったと考えられる。

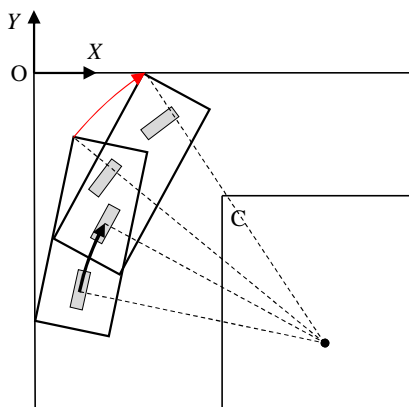


図 4 最終前進旋回の 2 行程前の左操舵後退

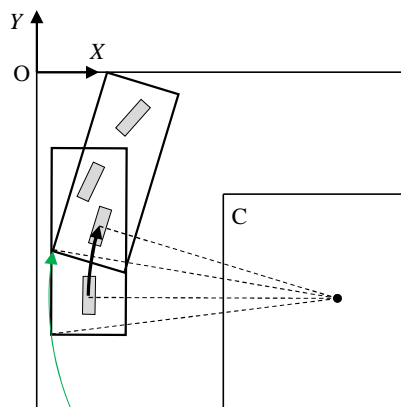


図 5 最初の右操舵前進

さらにその前の行程は、車両左前点が奥側道路境界と接した状態から車体左後点が左側道路境界と接する状態への旋回であるので、図 3 と同様の旋回である。したがって、さらにその前の行程は図 4 のような旋回であるということになり、図 3 と図 4 の旋回を交互に繰り返すうちに、図 5 のように右操舵前進において車両左後点の軌跡が左側道路境界と接せず、旋回開始点が定まらないという幾何学的関係となる。車両は L 字路への進入時、Y 軸に平行に前進していたものと考え、図 5 のように車両が Y 軸に平行になる位置が切り返し走行の開始位置であったと考えることができる。

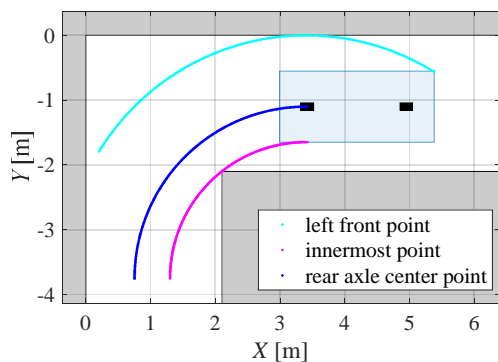
つまり、図 2 の状態から図 3 と図 4 の経路生成を繰り返して図 5 の状態に至る経路を順次計算していき、その逆順をたどるような経路を取ることで、狭隘 L 字路を通過できる経路が生成できる。

#### 4. 研究成果

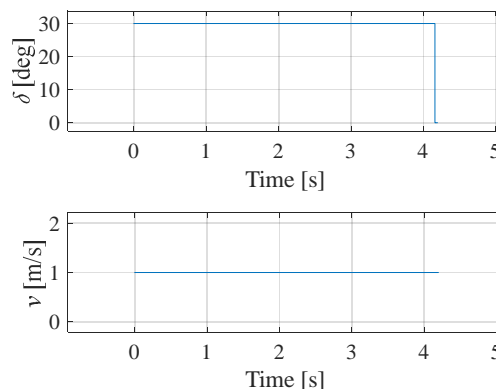
構築した経路生成手法による L 字路走行シミュレーションを行った結果を図 3 から図 7 に示す。図 3 は比較的道路幅が広く、切り返しが必要ない条件である。構築した手法では、切り返しが必要ない場合は図 3 のように切り返しを行わない経路として生成されることがわかり、無駄な切り返しは生じないことが分かる。

図 4 は道路幅が比較的狭く、切り返しを 3 回要する場合である。図 4(b)において操舵角  $\delta$  と車速  $v$  の符号が 3 度反転していることがわかる。

図 5 は道路幅がかなり狭く、7 度の切り返しを要した場合である。切り返しが多くなると、車両の左前点が奥側の道路境界に沿うような軌跡を取るような挙動となる。また、図 7(b)から、最初や最後の切り返しに比べ途中の切り返しでは走行時間が短く、細かい切り返しとなることが分かる。

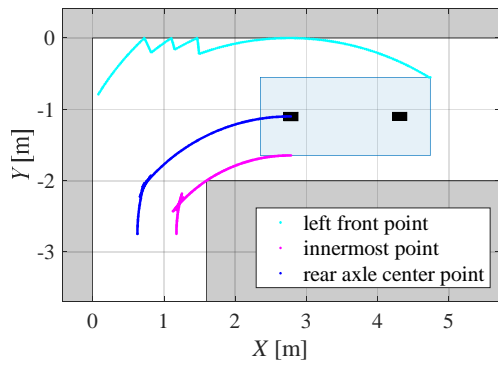


(a) 走行軌跡

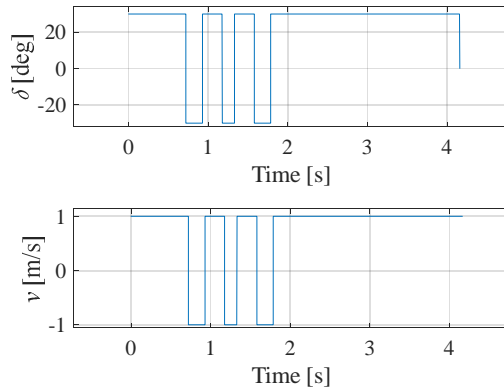


(b) 操舵角と車速の時刻歴図

図 3 切り返しを行わない場合

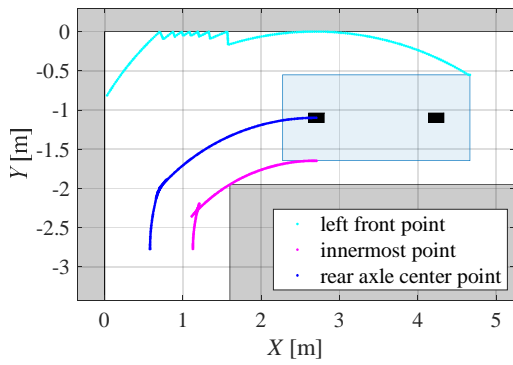


(a) 走行軌跡

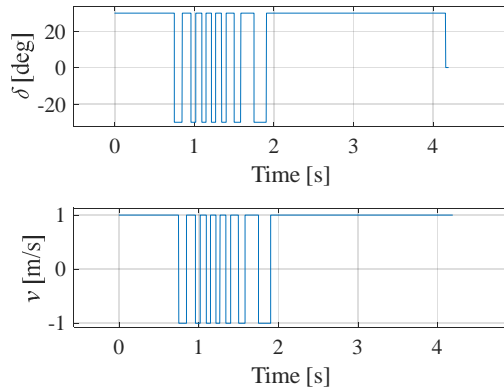


(b) 操舵角と車速の時刻歴図

図 4 3度切り返しを行う場合



(a) 走行軌跡



(b) 操舵角と車速の時刻歴図

図 5 7度切り返しを行う場合

実施した一連のシミュレーションにおいて、通過できた道路環境での最高の切り返し回数は74回であった。これは、一般のドライバーでは現実的に通過は困難な環境であり、本研究の成果を用いることで、人間の運転では困難な狭隘L字路でも自動運転により通過できる可能性が示唆された。

シミュレーションの結果を踏まえ、本手法が現実の車両で実現可能かどうかを検証する実験を行った。図6に実験車両を、図7に実験に使用した模擬狭路を示す。なお、本実験においては外界センサを用いず、道路幅は既知であるものとして経路生成を行い、走行距離に応じて前進・後退と舵角を制御した。



図 6 実験車両

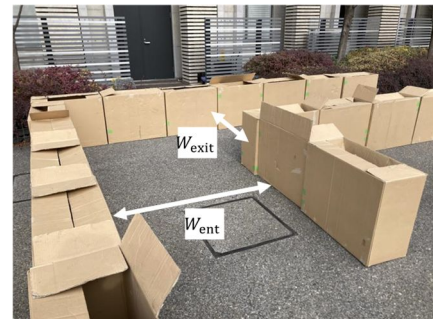


図 7 模擬狭路

実験結果の一例を図8に示す。車両の軌跡はドローンによる空撮動画から運動解析ソフトDipp-Motion Vを用いて計測を行った。本実験結果では、経路生成結果の通り、2回の切り返しにより走路境界と接触することなく模擬狭路を通過することができた。

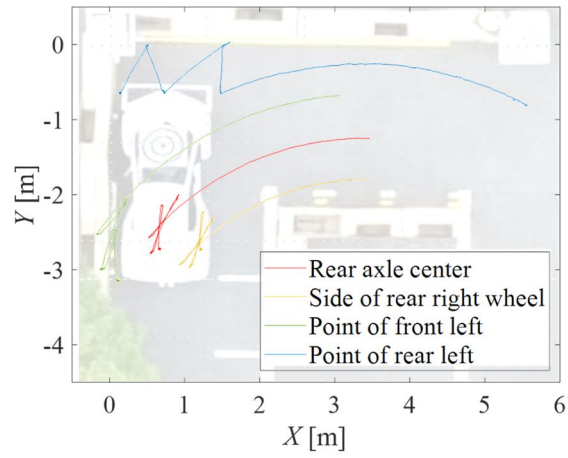


図5 実験における車両の軌跡

以上の結果から,本研究の成果により,複数回の切り返しを用いながら狭隘L字路を自動走行する手法が確立できたことが示された.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田平航幹, 林隆三
2. 発表標題 狭隘L字路における反復切り返しを用いた自動走行手法
3. 学会等名 第30回交通・物流部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田平航幹, 船田健悟, 林隆三
2. 発表標題 切り返しを必要とする狭いL字路における車両の自動走行手法の基礎的検討
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------