

Path planning model を用いた 特殊車両の折進可否判定の自動化

志野 有¹・塩見 康博²

¹ 学生会員 立命館大学 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)
E-mail: ce0005fk@ed.ritsumei.ac.jp

² 正会員 立命館大学教授 理工学部環境都市工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)
E-mail: shiomi@fc.ritsumei.ac.jp

特殊車両の走行にあたっては事前の通行許可の申請が必要であるが、交差点の折進条件判定などは道路管理者がマニュアルで実施するため、審査期間が長いことが課題となっている。本研究では、交差点での折進可否判定の省力化を図るため、シミュレーションを用いて折進可否を判定する手法を構築した。これは、交差点上の通行不可空間を指定したマップを作成し、その中で別途指定した起点終点間の経路を、車両力学を考慮した Path-finding algorithm によって探索を行うものである。本シミュレーションによって描かれた車両走行軌跡による折進条件判定結果、特殊車両通行許可に関する電子データ収集支援ツールを用いた判定結果、および道路情報便覧に登録されている折進条件をそれぞれ比較した結果、シミュレーションで出力した走行軌跡による判定結果は支援ツールを用いて目視判定した判定と 89.5%の交差点で一致する一方、道路情報便覧への登録状況との比較では 36.8%の一致にとどまることが明らかとなった。

Key Words: Over-size/Over-weight Vehicle, Turning Maneuver, Path Planning, Intersection

1. はじめに

近年、物流需要が高まり、特殊車両といった大型車両の需要が年々増加している。特殊車両とは車両の構造が特殊である車両、あるいは輸送する貨物が特殊な車両で、車両制限令第3条第1項に基づく車両の幅、長さ、高さおよび総重量のいずれかの一般的制限値(表-1)を超えたり、橋、高架の道路、トンネル等で総重量、高さのいずれかの制限値を超えたりする車両のことをいう。

コロナ禍で物流の重要性が高まっている一方で、効率的・機動的な輸送が特車通行許可申請の手続きが必要となるため妨げられている。道路法第47条の2¹⁾²⁾によると特殊車両は道路を通行するには特殊車両通行許可が必要であり、国及び地方自治体に申請を提出しなければならない。事前に経路を申請し、経路に含まれている橋梁に問題はないか、高架下は十分な高さがあるか、交差点を右左折することはできるかを一つ一つ判定し、認可が下りて初めて走行することができる。また、交差点折進の判定時には、図面に走行軌跡を写し、目視により折進の可否を判定する手法がとられることの一般的である。そのため、申請して認可が下りるのに約28日(令和元年度の平均審査日数³⁾)かかる。国道など、主要な道路は電子データで管理されており、道路や橋、橋梁、交差点などの構造、特殊車両の通行を想定した交通条件の情報

などを収録した審査用のデータベース(道路情報便覧)に登録されている。一方、市町村道などでは、基本的には紙ベースで管理されているため、紙資料を閲覧せざるを得ないのが現状であり、特殊車両申請し、走行認可が下りるまで時間がかかる要因の一つとなっている。

特殊車両申請期間の問題は、平時の特別車両通行に対する負荷はもちろん大きいですが、災害時の陸上輸送に対する影響は甚大なものである。2016年の熊本地震⁴⁾では被災地を発着する特殊車両について最優先で審査するように措置したが、審査が間に合わず、審査を中止せざるを得ない状況に陥った。

表-1 車両諸元と一般的制限値

車両諸元	一般的制限値
幅	2.5m
長さ	12.0m
高さ	3.8m(高さ指定道路は4.1m)
重さ	総重量 20.0t(重さ指定道路は25.0t)
	軸重 10.0t
	隣接軸重 18.0t
	輪荷重 5.0t
最小回転半径	12.0m

出典：国土交通省道路局道路交通管理課ホームページ

(https://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/oto/otodb/japanese/houseido/hou/1h_06070.html)

特殊車両の申請処理を早める主な対策として、自動審査が可能となる電子データの整備、申請書自動チェック機能の追加、審査内容の簡素化などを行っている。自動審査が可能となる電子データの整備は、例えばスパン情報と呼ばれる特殊車両交差点間の道路の情報は MMS (モービルマッピングシステム) の活用が進められている。しかし、折進については効率化の見通しが定かでないのが現状である。そこで本研究では、交差点における車両の折進可否を判定の効率化を図るため、経路探索シミュレーションを用いた折進判定手法を構築する。具体的には、歩道や中央分離帯、対向車線など車両の進入が望ましくないエリアと進入しても問題ないエリアに分けた二値画像を作成し、出発点から到達点までの最適な経路を、Path finding model を用いて探索・描画する。また、判定の精度を確かめるために、道路情報便覧に登録されている判定値との比較検証も行う。これにより、交差点で特車通行許可申請に関わる時間をなるべく抑えられるほか、停止線位置や中央線、横断歩道などの道路電子データがない所でも空中写真から容易に走行軌跡を作成できるようにすることが期待される。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

本章では特殊車両に関する研究、および特殊車両通行許可制度に基づいた適正な道路利用による維持管理について既存研究を整理するとともに、既存研究に対する本研究の位置づけを明確にする。

(1) 特殊車両に関する研究

Matuszkova et al.⁵⁾は輸送需要の高まりにより、近年、世界中で見られるようになった寸法制限を大きく超過する特大車両、通称 LHV に関して、安全上のリスクと交通流動性の問題の両方を引き起こす可能性のある道路区間について、各国の特殊車両許可システムの現状を交えながら述べている。ここでは、LHV の走行は高速道路のインターチェンジやジャンクションのランプは問題なく通行できる一方、交差点通行に問題が発生することが分かった。左折時は勿論、カーブの曲径に余裕のある右折時に対向車線はみだしが見られない場合でもトレーラの後端部が歩道にぶつかるリスクがあるということを明らかにしている。

(2) 特殊車両通行許可制度に基づいた適正な道路利用による維持管理

特殊車両通行許可制度に基づいた適正な道路利用による維持管理について考察している研究はいくつかある。石井ら⁶⁾は道路構造物の老朽化が急速に進行しているこ

とに対し、道路維持管理の長期化対策について述べている。道路の劣化を早める要因として重量制限を超過した特殊車両に着目し、これら違反車両が道路構造物に実際に与える影響について言及している。また、鈴木ら⁹⁾は、プローブデータにより作成される推定走行経路と、許可証データから作成される規定走行経路を照合する手法を提案している。特殊車両が許可経路を外れて走行している状況を模擬した実験車両のプローブデータを用いて、複数手法の比較・制度検証を行っている。さらにこの検証により、違反走行抽出率と判定正解率を明らかにしている。

(3) 本研究の位置づけ

貨物需要の高まりによる特殊車両の需要が増加していることがわかり、申請許可システムの整備や特殊車両が通行する箇所の維持管理について様々な研究がなされていることが分かったが、様々な道路の中で交差点での通行がより周りへの衝突リスクが高く、より複雑な因子があることがわかり、また通行許可システムの審査短縮効率化の対策や研究があまりなされていないことが分かった。本研究では特殊車両の通行時に接触リスクが比較的大きいとみられる交差点により着目した研究を行う。

3. 交差点における折進軌跡探索手法

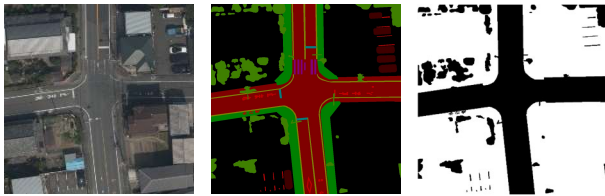
交差点平面図の作成と、車両軌跡の探索・生成方法について以下に示す。

(1) 使用するデータの概要

本研究では、国際航業株式会社が撮影した高解像度オルソ画像を使用した。地上解像度 5cm の空中写真で、1メッシュ当たり 8000×6000 (pixel) の画像となっている。また、1024×1024pixel にトリミングされた交差点画像を扱った。対象地域は①高槻市、②東大阪市、③枚方市とし、全 120 交差点を扱った。

(2) バイナリイメージの生成

図-1 の様に、衛星画像・航空画像を活用し生成されたセグメンテーション画像からバイナリイメージを作成した。バイナリイメージとは別名二値画像とも呼ばれ、ピクセルごとのデータが 0 か 1 のみでできているデジタル画像 (0 が黒色背景、1 が白色物体) のことである。一般的に扱われる色は白と黒である。今回の場合、バイナリイメージは、進入可領域と進入不可領域にレイヤ分けした画像のことを指す。セグメンテーション画像は別途教師画像として作成したアノテーション画像を用いた。セグメンテーション画像は表-2 の様に RGB 値でレイヤ分



(a) 四差路交 (b) セグメン (c) 二値分類し
差点のサンプル テーション画像 た画像

図-1 航空写真から二値分類するまでの画像

表-2 アノテーション画像のカテゴリとそのRGB 値

カテゴリ	R	G	B
区画線	128	128	0
停止線	0	128	128
横断歩道	128	0	128
道路標示	192	0	0
道路 (路側帯を含む)	128	0	0
道路外 (歩道など)	0	128	0
ゼブラゾーン	128	128	128
車	64	0	0
中央分離帯	0	0	128
オクルージョン	0	0	0
その他	64	128	0

表-3 進入可・不可領域の設定

進入可領域	進入不可領域
区画線	歩道
停止線	中央分離帯
横断歩道	オクルージョン
道路標示	
道路 (路側帯を含む)	
ゼブラゾーン	
車両	
その他	

けされている。進入可領域と進入不可領域は表-3 の様に分類した。一般に車両が通行して問題ない領域を進入可に、車両が通行すると問題があり、衝突や事故の恐れがある領域を進入不可と定義した。

(3) 進入不可領域輪郭線の抽出

バイナリイメージ内の1つのオブジェクトの境界をトレースする。これは、コストマップを作成するのに進入不可領域を構成する図形の頂点座標を出力するためである。白黒画像のバイナリ形式への変換やバイナリイメージ内のオブジェクトの輪郭線抽出はモルフォロジー再構成⁷⁾をベースにしたアルゴリズムを使用した。モルフォ

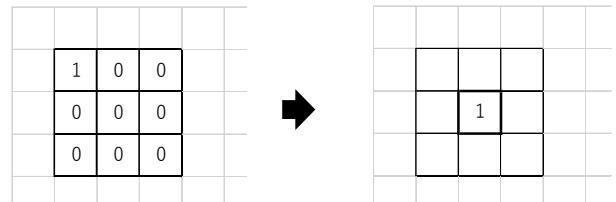


図-2 モルフォロジー (膨張処理)



(a)元画像 (b)膨張処理後 (c)収縮処理後

図-3 元画像とモルフォロジー画像処理後の画像



(a) 元画像 (b) 輪郭抽出

図-4 元画像と進入不可領域輪郭線抽出画像

ロジー画像処理はデジタル画像の加工や解析に用いられ、イメージ内のオブジェクトを強調したり小さな物体や線などのノイズ除去を行ったりする。

モルフォロジー画像処理の基本演算として膨張と収縮の二つの演算がある。膨張は、二値画像の白色領域を減らす処理である。注目画素の近傍に 1 (白色物体) が存在すれば、注目画素を 1 (白色物体) に置換する。一方、収縮は膨張の逆で注目画素の近傍に 0 (黒色背景) が存在すれば、注目画素を 0 (黒色背景) に置換する。

元画像の輪郭は膨張と収縮の差をとれば抽出することが出来る。輪郭抽出後の白色物体の座標を抽出する。座標点はシミュレーション上に障害物を設定する際の障害物を囲む座標として入力する。

(4) Path planning model を用いた軌跡の作成

進入不可領域を構成する図形の頂点座標を求めた後、Navigation Toolbox⁸⁾ でグリッドマップを作成する。グリ

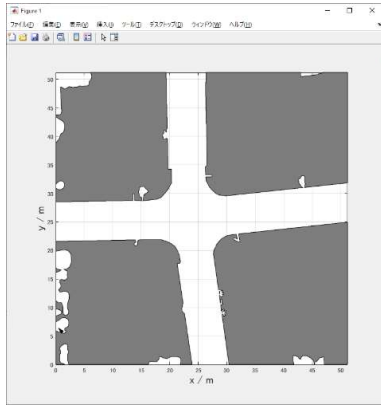


図-5 グリッドマップ

ッドマップとは、格子地図の一種で、各セルが障害物に基づいてコストを持つグリッド状のマップである。二値画像からグリッドマップに変換する時、ピクセル一つあたり 1[m]*1[m]としてマップに書き換えられる。ただし、空中写真の1ピクセルは5[cm]*5[cm]に相当し、出力されたグリッドマップは実際の20倍(1[m]/20[cm])であるため、進行不可領域の輪郭座標をすべて20分の1に直し、解像度5cmに合わせた。

Bai Li et al.⁹⁾ は、Extended Hybrid A path planning を用いてトラクタ・トレーラに拡張しており、トラクタ・トレーラ車両の軌道計画問題を、(i) 車両運動制約、(ii)境界条件、および(iii)衝突回避制約のもとで、時間-エネルギーコスト関数を最小化する一般的な最適制御問題として定式化している。

i) 車両運動制約

トラクタがトレーラを牽引している状況を考え、トラクタには0というインデックス、i番目のトレーラにはi(i>0)というインデックスをそれぞれつける。車両は低速で走行していると仮定し、横滑りの効果は無視する。時間tに下式(1)が成り立つ。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_0(t) \\ y_0(t) \\ v_0(t) \\ \phi_0(t) \\ \theta_0(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0(t) \cdot \cos \theta_0(t) \\ v_0(t) \cdot \sin \theta_0(t) \\ a_0(t) \\ w_0(t) \\ v_0(t) \cdot \tan \phi_0 / Lw_0 \end{bmatrix}, t \in [0, t_f] \quad (1)$$

xとyは後輪車軸の中心座標、vは車両速度、fは前輪の操舵角、θは車両方位角、aは加速度、ωは操舵率を表す。今回はトラクタを扱わない為、インデックスはi=0のみで設定している。

ii) 境界条件

出発状態 $x_0(0), y_0(0), v_0(0), \phi_0(0), \omega_0(0), \theta_0(0)(i=0, \dots)$ が指定されていれば、t=0における全体の構

成を一意に決定することができる。また、t=f(目的地に到達するとき)の状態において、トラクタ・トレーラ車両は以下のことを以下の式(2)を満たして、安定して停止する。

$$[v_0(t_f), a_0(t_f), w_0(t_f)] = [0, 0, 0] \quad (2)$$

また、車両が最終的に特定の位置に駐車することを以下の式(3)で指定する。

$$\begin{aligned} lb_x &\leq X \leq ub_x \\ lb_y &\leq Y \leq ub_y \\ \forall X \in \{x_{Ai}(t_f), x_{Bi}(t_f), x_{Ci}(t_f), x_{Di}(t_f)\} & \\ &= 0, \dots, N_V \\ \forall Y \in \{y_{Ai}(t_f), y_{Bi}(t_f), y_{Ci}(t_f), y_{Di}(t_f)\} & \\ &= 0, \dots, N_V \end{aligned} \quad (3)$$

iii) 衝突回避制約

トラクタ・トレーラが障害物に衝突しないためには、トラクタ・トレーラに含まれる点Qが障害物である多角形に内包しなければよい。トラクタ・トレーラの一部が障害物を回避することを表す変数の定義は以下になる。

$$S_{\Delta QW_m W_1} + \sum_{l=1}^{m-1} S_{\Delta QW_l W_{l+1}} > S_{W_1 W_2 \dots W_m} \quad (4)$$

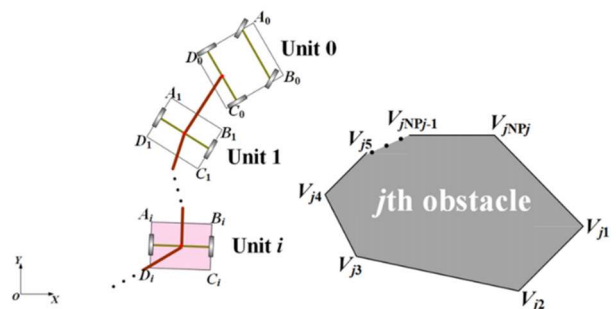


図-6 トラクタ・トレーラと障害物の衝突回避制約 (Bai Li et al.の論文から引用)

4. 判定検証

(1) 交差点画像の選定と出力軌跡

シミュレーション時に必要な、車両の大きさや旋回半径を指すエージェント規格パラメータ、エージェントの走行パラメータ、コストマップ出力範囲、Extended Hybrid A* path planning に関わるパラメータを設定する。

表-4 エージェント規格パラメータ

パラメータ	設定
ホイールベース 車両の前輪軸と後輪軸の距離	7.2[m]
フロントオーバーハング 前輪軸と車両前端部の距離	1.94[m]
リアオーバーハング 後輪軸と車両後端部の距離	1.855[m]
車体幅	2.490[m]
車体長	10.995[m]
旋回半径	3.018[m]

日野自動車 10t トラック車型 LDG-GK8JWAA¹⁰⁾を参考、車両分類Ⅱ^{*}に相当。

※車両分類は同章の 5 節 1 項「7.5.1 シミュレーション出力軌跡の折進判定」を参照。

表-5 走行パラメータ

パラメータ	設定
最高速度	2.5[m/s]
最大加速度	0.5[m/s ²]
前輪の操舵角	0.7[rad]
操舵率	0.5
最小旋回半径	$\frac{1}{\kappa_{max}}$ [m]

表-6 出力範囲パラメータ

パラメータ	設定
コストマップ出力範囲 x 最小値	0
コストマップ出力範囲 x 最大値	51.2
コストマップ出力範囲 y 最小値	0
コストマップ出力範囲 y 最大値	51.2
コストマップ x スケール	51.2
コストマップ y スケール	51.2

表-7 ペナルティパラメータ

パラメータの詳細	設定
後進時のペナルティ	10
方向転換時のペナルティ	0
ハンドル角変更時のペナルティ	0

シミュレーションする交差点は以下の 5 つの条件が満たされているものとする。

- i) 折進情報が掲載されている
折進後の道路が未収録道路であったり、左折方向の折進情報が掲載されていなかったりする場合は対象外とする。
- ii) 折進方向は左折のみ
折進時に対向車にはみ出してしまう危険性が高く、通行条件は右折より左折の方が通行条件は厳しい傾向にあり、対向車線のみだしの程度をシミュレーションで確かめるため。
- iii) 車両分類に限らず通行条件が A, B または C であり、個別審査ではない
通行条件 A, B, C それぞれが、シミュレーションで出力される軌跡にどう影響するかを見比べるため。
- iv) 進入禁止の制限がない
- v) 元の交差点画像の画角ができるだけ広くとられている

車両が発着時に画角内に入りきらなければならないためシミュレーションが行われやすい程度で元の交差点航空画像に停止線や区画線、横断歩道など交差点付近まで遍く写っている交差点を選ぶ。これらの条件を踏まえ、以下の 18 の交差点をシミュレーションすることにした。

出力軌跡の一例として東大阪市長田駅付近交差点のシミュレーション結果を図-7 に示す。起終点座標の指定は車線内を目分量で指定し、流入側流出側共に停止線から

表-8 Extended Hybrid A* path planning に関わるパラメータ

パラメータの	設定
x ノード間隔	0.2
y ノード間隔	0.2
θノード間隔	0.2
x ノード数	$(\text{scale_x_scale} / \text{resolution_x}) + 1$ の小数点以下繰り上げ
y ノード数	$(\text{scale_y_scale} / \text{resolution_y}) + 1$ の小数点以下繰り上げ
θノード数	$(2 * \pi / \text{resolution_theta}) + 1$ の小数点以下繰り上げ
後進時のペナルティ	1
方向転換時のペナルティ	3
ハンドル角変更時のペナルティ	3

離

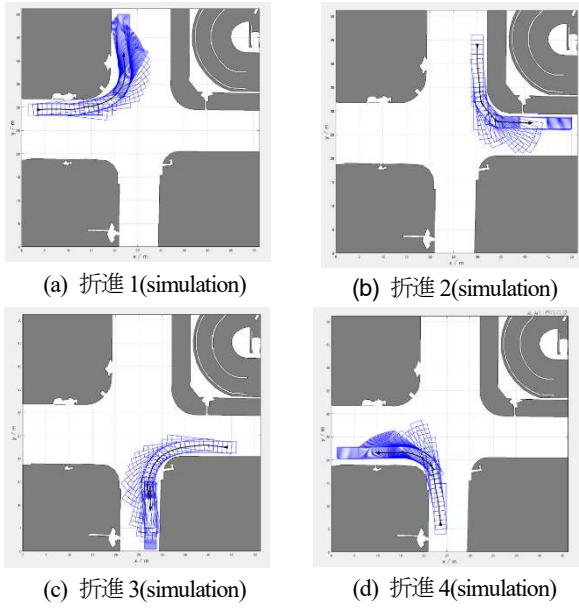


図-7 各交差点折進のシミュレーション結果

表-9 各折進の折進元と先の交差点番号の整理

折進	折進元交差点番号	折進先交差点番号
1	5235040749	5235040704
2	5235040704	5235040667
3	5235040667	5235040703
4	5235040703	5235040749

れた場所を指定した。表-9は図-7の各折進の折進元と折進先の交差点番号を示す。交差点番号とは、国土交通省が全国の交差点にそれぞれ振り分けられた番号である。

(2) シミュレーション出力軌跡の折進条件判定

シミュレーションで出力された軌跡が、特殊車両通行許可審査で扱ううえで有効か検証する。検証方法としては、シミュレーション、特殊車両通行許可審査で実際に扱われる特殊車両通行許可に関わる電子データの収集支援ツールそれぞれで出力された軌跡の目視による折進判定、道路情報便覧に登録されている通行条件の3つの折進条件を比較する。

特殊車両は車両寸法から4つに分類されており、判定は車両分類ごとに行われている。本研究では車両分類IIに相当する日野自動車 10t トラック車型 LDG-GK8JWAA¹⁰⁾単車が走行することを想定した。その上で、対向はみだしが見られない場合、通行条件 B と判定し、対向はみだしが見られる場合、通行条件 C と判定した。

その結果、全体の 69.2%の折進で対向はみだしがみられ、通行条件 C と判定された。

(3) 軌跡ツール出力軌跡の折進条件判定

次に、特殊車両通行許可に関わる電子データの収集支援ツール（以後「軌跡ツール」と呼ぶ）は、特殊車両通行許可の審査を行う際、交差点の図面を出力と車両走行軌跡の書き込みの手間を省くために地図に特殊車両の走行軌跡を転写することができるツールである。本研究では、車両分類IIの単車を扱った。出力軌跡の一例として同じく東大阪市長田駅付近交差点の軌跡ツールによる走行軌跡図を示す(図-8)。表12は図-10の各折進の折進元と折進先の交差点番号を示す。

表-10 通行条件の区分

区分記号	内容
	寸法に関する条件
A	徐行等の条件を付さない。
B	徐行を条件とする。
C	徐行及び当該車両の前後に誘導車を配置することを条件とする。

(国土交通省)

(<https://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/sgml/078/79000359/79000359.html>) を加工して作成。

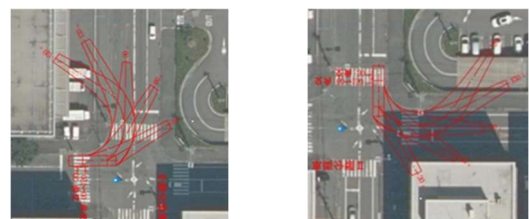
表-11 車両寸法による分類

分類	0			I			II			III
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
車両幅	2.50	3.00	3.50	2.50	3.00	3.50	2.50	3.00	3.50	
トラック	-	-	-	1≦16.0	1≦15.0	1≦14.0	1≦12.0	1≦11.0	1≦10.0	1≦10.0
トラッククレーン	-	-	-	1≦16.0	1≦15.0	1≦14.0	1≦13.0	1≦12.0	1≦11.0	1≦11.0
セミトレーラー	1≦20.0	1≦19.0	1≦18.0	1≦17.0	1≦16.0	1≦15.0	1≦14.0	1≦13.0	1≦12.0	1≦12.0
フルトレーラー	-	-	-	1≦19.0	-	-	1≦16.0	-	-	1≦14.0
ダブルス	-	-	-	1≦21.0	-	-	1≦18.0	-	-	-

(注) 車両幅が上記分類の車両幅 (2.50, 3.00, 3.50) と異なるときは、当該車両長は、補間により求めた長さとする。

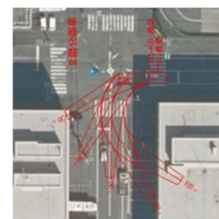
(国土交通省)

(<https://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/sgml/078/79000359/79000359.html>) を加工して作成



(a) 折進1(軌跡ツール)

(b) 折進2(軌跡ツール)



(c) 折進3(軌跡ツール)

(d) 折進4(軌跡ツール)

図-8 各交差点折進の軌跡ツールによる走行軌跡図

表-12 各折進の折進元と先の交差点番号の整理

折進	折進元交差点番号	折進先交差点番号
1	5235040749	5235040704
2	5235040704	5235040667
3	5235040667	5235040703
4	5235040703	5235040749

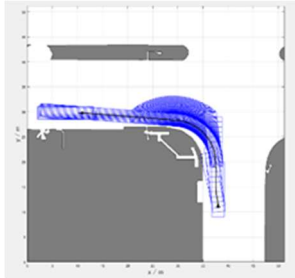


図-9 判定 B の例

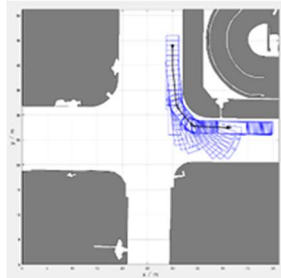


図-10 判定 C の例

表-13 折進条件判定一覧 (シミュレーション)

交差点	折進 1	折進 2	折進 3	折進 4
1	B	C	C	B
2	C	B		
3	C	B	C	B
4	C	C	C	B
5	B			
6	B			
7	C	C	C	C
8	B			
9	C			
10	B	C		
11	C			
12	C	C		
13	C			
14	C			
15	C	C		
16	B	C		
17	C	C	C	C
18	B	C		

シミュレーション出力軌跡の折進条件判定と同様、対向はみだしが見られない場合、通行条件 B と判定し、対向はみだしが見られる場合、通行条件 C と判定した。

(4) 折進条件判定の比較

シミュレーション、軌跡ツール、道路情報便覧（電子データ）それぞれの折進判定を比較した。それぞれの判定の適合率は表-15 の様になる。

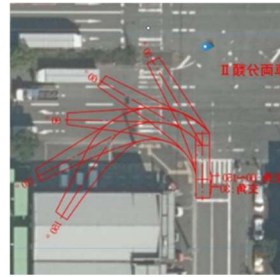


図-11 判定 B の例

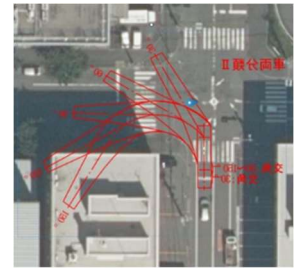


図-12 判定 C の例

表-14 折進条件判定一覧 (軌跡ツール)

交差点	折進 1	折進 2	折進 3	折進 4
1	B	C	C	B
2	C	B		
3	C	B	C	B
4	C	B	C	B
5	B			
6	B			
7	C	C	C	C
8	B			
9	C			
10	B	B		
11	C			
12	B	C		
13	C			
14	B			
15	C	C		
16	B	C		
17	C	C	C	C
18	B	C		

表-15 折進条件判定の適合率

	電子データ	シミュレーション	軌跡ツール
電子データ			
シミュレーション	36.8%		
軌跡ツール	47.4%	89.5%	

シミュレーションと軌跡ツールの適合率は 89.5% になった。ほとんどの交差点折進で判定結果が同じである。大半の折進で判定 C であり、対向車はみだしが多く見られた。シミュレーションが判定 B の時は軌跡ツールでも判定 B になり、シミュレーションが判定 C の時、軌跡ツールでは 85.1% の確率で判定 C になった。

一方、電子データに収録されている判定は、シミュレ

表-16 折進条件判定一覧 (道路情報便覧電子データ)

交差点	折進1	折進2	折進3	折進4
1	B	B	B	B
2	B	B		
3	B	B	B	B
4	B	B	B	B
5	B			
6	B			
7	B	B	B	B
8	B			
9	B			
10	B	B		
11	B			
12	B	B		
13	B			
14	B			
15	C	B		
16	B	C		
17	B	B	B	B
18	C	C		

ーションとは 36.8%，軌跡ツールとは 47.4%と適合率が低い結果になった。大半の交差点の判定結果が異なり、電子データでは対向はみ出しとみなされる判定が 10%しか見られなかった。(表-14 参照) シミュレーションが判定 B の時、電子データでは 91.2%の確率で判定 B になり、シミュレーションが判定 C の時、電子データでは 11.1%の確率で判定 C になった。軌跡ツールが判定 B の時、電子データでは 93.8%の確率で判定 B に、軌跡ツールが判定 C の時、電子データでは 13.0%の確率で判定 C になった。

5. 結果と考察

セグメンテーション画像からシミュレーションへの入力が正しく行うことができた。また、シミュレーションと軌跡ツールの判定適合率が 89.5%であったことからシミュレーションと軌跡ツールの折進判定がほとんど一致したと言える。対向車線はみ出しが見られたが、電子データでは対向車線はみ出しが見られない折進判定がなされている交差点が多いことから、電子データの見直しが必要なのではと考えた。また、本研究での課題点として以下の4点を挙げる。

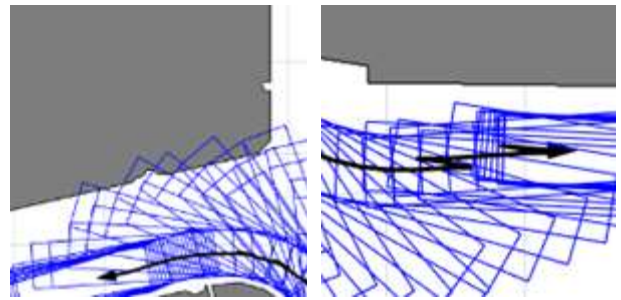


図-13 障害物衝突

図-14 後退

(1) 不明瞭な発着点の定義に関する課題

発着時の位置はコストマップ上で選択しており、目分量で行っているため、正確性にかかる部分がある。また、発着時の向きも曖昧である。こちらも目分量でコストマップから大体の交差点の交差角度を測り、入力しており、今後はこの作業も自動化する必要がある。

(1) アノテーション画像のレイヤ分けに関する課題

中央線と車両境界線の区別がされていない。中央線と車両境界線の区別がされているのであれば、中央線が進入不可の時と進入可の2つのシミュレーションを行い、折進時の対向車線はみだしを分かりやすく判定することができる。特に、通行条件 B と C、すなわち誘導車ありかなしかを判断することができる。

(2) 連結車両の考慮に関する課題

本研究では単車のみ扱っており、連結車両について考慮されていない。様々な車両形態すべて網羅すべきである。

(3) シミュレーション結果に関する考察と課題

シミュレーション結果は対向車線にはみ出さず滑らかに折進した軌跡もあったが、対向車線にはみ出したり、障害物に当たったり、後退したりしたものがいくつか見受けられた。

特殊車両通行許可に関する電子データの収集支援ツールで出力した軌跡と比較したところ、対向車線に入り込んだり隅角部に入り込んだりと比較的同じような軌跡が確認され、整合性のある結果となったものの、今後の精査が必要である。

6. 結論

特殊車両通行許可が物流需要に追いついておらず、長期間かかることが問題視されている。自動審査や審査内容の簡素化など、様々な工夫はなされているも道路情報

が収録されている道路情報便覧には未収録道路も多く、自治体審査として人手で行うことが長期審査の原因となっている。そこで、航空画像から仮想空間を作成し、車両が通行できるかどうかのシミュレーションを作成した。

航空画像からセマンティック・セグメンテーションで横断歩道や道路中央線など検知物のレイヤ分けを行ったアノテーション画像を用いる。車両通行の際、進入可か進入不可かどうか領域を定義した。今回は、区画線や、停止線、横断歩道、道路標示、路側帯を含む道路、ゼブラゾーン、車両、その他の 8 つのレイヤは通行可領域に、歩道などの道路外側、中央分離帯、その他建物など黒く検知されたものの 3 つのレイヤは通行不可領域に設定し、Python で二値画像を作成した。MATLAB を用いて二値画像を元にエージェントの環境であるコストマップを作成し、大型車を走行させた。この時、Extended Hybrid A* path planning という経路探索を用いて軌跡を出力した。経路探索には様々な手法が提案されているが、Extended Hybrid A* path planning は車両挙動を忠実に再現した軌跡を描く経路探索であったため採用した。Extended Hybrid A* path planning を用いて左折のみ経路探索したところ、綺麗に折進はしたものはあったが、対向車線にはみ出ししたり、障害物に衝突したり、後退したりする軌跡も多く見られた。シミュレーションで出力した走行軌跡は特殊車両通行許可に関する電子データの収集支援ツールで出力した軌跡と 89.5%一致し、走行パラメータに問題はなないと考えた。しかし、出力軌跡の正確性、有用性が確かめられていないため、Extended Hybrid A* path planning 折進判定で軌跡作図に用いられるプロッタ法、(二)(C)法との関係を調べる必要があると考えた。

以上より、交差点の二値画像の作成、走行軌跡の作成共にできたが、走行軌跡は対向車線に入り込んだり、隅角部に侵入したり、障害物に衝突したりなどの不具合が生じ、通行条件との差異が見られた交差点がいくつか見受けられ、シミュレーションプログラムの改善が必要であると考えられる。

本研究では道路中央線と車線境界線が同じレイヤとして扱われたアノテーション画像を用いたが、通行条件の振り分けの基準となる対向車線はみ出しの判定の素材として道路中央線を扱いたかった。今後のシミュレーションでは道路中央線を通行可領域、通行不可領域の 2 パターンを段階的に行い、通行判定が分かるようなシステムにしたい。発着地点の座標と向きを曖昧であったことも大きな課題である。どれぐらいの余地があって走行可能なかどうかをもう少し吟味しながら座標の定義をしたり、道路角度を画像から測り自動的に発着の向きを出力したりすればよりよいシミュレーションができると思われる。自動化という点では、今回は二値画像出力では、画像名を入力したり、出力画像の保存先も手打ち

で行い、軌跡出力では、発着座標を目分量で測って入力したりとかなりアナログな方法であり自動化とは程遠いように思われた。またシミュレーション実行時間も約 2 分を要した。今後は、航空画像からセマンティック・セグメンテーションによりアノテーション画像を自動で作成できることはもちろん、二値画像、軌跡出力に至るまでの一連を、交差点を指定するだけで自動的に行えるようにしたい。

謝辞：本研究は国土交通省道路局の「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」制度により実施されたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省, “特車通行許可の審査の現状について”. <https://www.mlit.go.jp/common/001296085.pdf>
- 2) 国土交通省関東地方整備局, “特殊車両の通行許可申請”, 19 8 2021. Available: https://www.ktr.mlit.go.jp/road/sinsei/road_sinsei00000011.html: 3 1 2022.
- 3) 国土交通省, “特殊車両の通行許可・取り締まり実績”, . Available: <https://www.mlit.go.jp/road/to-kusya/pdf/kyoka-jisseki.pdf>. 2 2 2022.
- 4) 国土交通省, “第 54 回基本政策部会配布資料資料 2 熊本地震を踏まえた課題と論点,” 著: 第 54 回基本政策部会配布, 2016.
- 5) Matuszkova, R. ; Heczko, M. ; Cepil, J. ; Radimsky, M., Issues of using Longer Heavier Vehicles on Roads, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 317, Issue 1, pp. 012040 (2018), 5 2018.
- 6) 石井充, 米川高広, “特殊車両通行許可制度の遵守による戦略的維持管理,” 著: 第 57 回(平成 25 年度)北海道開発技術研究発表会, 2014.
- 7) Soille, P., Morphological Image Analysis: Principles and Applications, Springer-Verlag, 1999, pp. 173–174.
- 8) The Math Works, Inc. MATLAB. Version 2021b, The Math Works, Inc., 2021 Computer Software. <https://jp.mathworks.com/products/navigation.html>.
- 9) T. A. Y. L. Z. C. Y. Q. K. Bai Li, "Tractor-Trailer Vehicle Trajectory Planning in Narrow Environments With a Progressively Constrained Optimal Control Approach," IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, vol. 5, no. 3, pp. 414–425, 2019
- 10) “行列のできるトラック相談所,” Available: <http://torack7.blog.fc2.com/blog-entry-144.html>.
- 11) 国土交通省, “特殊車両通行許可に関する電子データ収集支援ツール,” Available: <https://lg47web.tokusya.ktr.mlit.go.jp/binrangis/main.php>.

12) 国土交通省, “道路情報便覧表示システム,”

Available: <https://www2.tokusya.ktr.mlit.go.jp/roadinfo/>.

AUTOMATION OF THE DECISION WHETHER OR NOT TO TURN IN OVER-SIZE/OVER-WEIGHT VEHICLES USING A PATH PLANNING MODEL

Tamotsu SHINO and Yasuhiro SHIOMI

However, the road administrator manually determines the conditions for turning at intersections, which results in a lengthy examination period. In this study, we developed a method for determining whether or not a vehicle can turn at an intersection using simulation in order to reduce the amount of labor required to determine whether or not a vehicle can turn. This method creates a map that specifies the impassable space at an intersection and searches for a path between a separately specified starting point and an end point using a path-finding algorithm that takes vehicle dynamics into account. The results of the turnaround condition judgment using the vehicle travel trajectory drawn by this simulation, the judgment result using the electronic data collection support tool for special vehicle permits, and the turnaround condition registered in the Road Information Handbook were compared, and the judgment result using the travel trajectory output by the simulation was not different from the judgment result using the support tool. The results showed that 89.5% of the intersections were judged to be in good agreement with the visual judgments made by the tool, while only 36.8% of the intersections were judged to be in good agreement with the conditions registered in the Road Information Handbook.