車両諸元を考慮した 特殊車両の折進軌跡推定手法の構築

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

特車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．そこで，先行研究では，車両力学を考慮した Path planning algorithm を用い，交差点折進時の軌跡を作図し，折進条件の目視判定を行う手法を構築した．本研究では，さらなる自動化・省力化を図る為，車両の発着時の状態や折進判定について主観的な目算を極力排除するための手法を新たに提案するものである．本研究では，予め通行不可領域を段階的に少なくなるような複数の図面に対して，折進軌跡を作図する．また，path planning algorithm のパラメータ感度分析を行い，実観測の軌跡と比較することで提案手法に基づく折進判定結果の妥当性を検証した．

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

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．

道路法第 47 条の 2 [1)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が一般的である．このようなプロセスが必要となるため，申請してから通行許可が下りるのに約 28 日（令和元年度の平均審査日数 [3)]）がかかり，効率的・機動的な輸送が妨げられている．この弊害は平時のみではなく，災害時の陸上輸送に対する影響も甚大なものとなる．たとえば，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．

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，審査の効率化を図っている．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

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/lh_06070.html)

パン情報と呼ばれる特殊車両交差点間の道路情報の生成にあたっては 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 [5]．しかし，折進については効率化の見通しが定かでない．

そこで，本研究では折進条件判定に着目し，審査の効率化として DX 促進を図り，設計車両ごとの交差点折進走行軌跡を描画するシステムの構築を提案する．先行研究 [3]では，車両力学を考慮した Path finding algorithm を用い，交差点折進時の軌跡を作図し，折進条件の目視判定を行う手法を構築した．本研究では，さらなる省力化を図る為，予め通行不可領域を段階的に少なくするような複数の図面に対して，折進軌跡を作図する．また，軌跡の初期条件・終端条件について車両角度は交差点角度に合わせ自動的に付与する機能を追加した．それに基づいて，折進条件を目視ではなく，自動的に判定する為の手法を提案する．

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.[6]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 [7] 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 [8] 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. 折進判定アルゴリズム

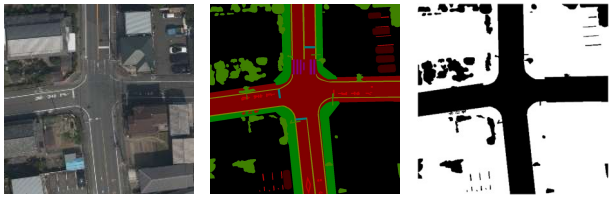
本研究では折進判定を自動的に判定するシミュレーションの構築を行う．空中写真からセグメンテーションした画像を生成し，それに基づいてシミュレーションのベースマップとなる進入可・不可領域を識別したバイナリイメージを生成し車両軌跡を描画した．先行研究では，進入可･不可領域の振り分けレベルを 1 種類のみ用意し，目視による判定を行ったが，本研究ではより機械的に判定を行うため，進入可領域を拡大させながら path finding algorithm で軌跡を描画し，段階的に折進条件を判定するアルゴリズムを提案する．本章では交差点平面図の作成と，車両軌跡の探索・生成方法について示す．

(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，空中写真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



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

図-1　空中写真から二値分類するまでの画像



(a) 元画像　(b) 膨張処理後　(c) 収縮処理後

図-2　元画像とモルフォロジー画像処理後の画像

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 値でレイヤ分けされている．進入可領域と進入不可領域は**表-2** の様に 4 種類分類した．段階 1 が最も進入不可領域の多い段階であり，段階が進むにつれ進入可領域を増やしている．

(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 [9]をベースにしたアルゴリズムを使用した．モルフォ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．



(a)　元画像　(b)　輪郭抽出

図-3　元画像と進入不可領域輪郭線抽出画像

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．

表-2　4 段階進入可不可振り分け

段階 1 条件なし	段階 2 対向はみだし許容しない	段階 3 対向はみだし許容	段階 4 隅角部侵入許容
背景	背景	背景	背景
中央分離帯	中央分離帯	中央分離帯	中央分離帯
歩道	歩道	歩道	歩道
区画線（センターライン）	区画線（センターライン）	区画線（センターライン）	区画線（センターライン）
区画線（車両境界線）	区画線（車両境界線）	区画線（車両境界線）	区画線（車両境界線）
車道	車道	車道	車道
横断歩道	横断歩道	横断歩道	横断歩道
停止線	停止線	停止線	停止線
ゼブラゾーン	ゼブラゾーン	ゼブラゾーン	ゼブラゾーン
自動車	自動車	自動車	自動車
その他白線	その他白線	その他白線	その他白線
オクルージョン部分	オクルージョン部分	オクルージョン部分	オクルージョン部分

進入可領域　　進入不可領域

(4) 背景地図の作成（バイナリイメージに基づく障害物の設定）

背景地図の種類として，”Occupancy Map”，”Vehicle Costmap”の 2 種類がある．

“Occupancy Map”は，2 次元占有マップ内の値に基づいて，状態および離散化された運動を検証する．マップの占有されている場所は，無効な状態として障害物や車両が通過できない領域などの環境に関する情報を保持される．

“Vehicle Costmap”は，車両周辺の計画検索スペースを表すコストマップである．“Occupancy Map”と同様，マップの占有されている場所は，無効な状態として障害物や車両が通過できない領域などの環境に関する情報を保持しているが，障害物の際の走行を避ける為に障害物を膨張させる特徴がある．

先行研究では，背景地図として”Occupancy Map”を作成していたが，物理的・力学的な経路計画を行うためには”Vehicle Costmap”を活用する．

(5) Path planning model を用いた軌跡の作成

Hybrid A* アルゴリズムを用いた軌跡図作成を行う．Hybrid A*アルゴリズムは，自律型ロボットや自動運転車などの移動する物体が最適な経路を見つけるためのアルゴリズムである．イメージとしては，ロボットが迷路の中を進んでゴールにたどり着くための最良の道筋を見つける方法である．2 つの要素を組み合わせて使う．1 つ目は，A*アルゴリズムというもので，グリッド状のマップ上で最適な経路を見つけるための手法である．2 つ目は，連続空間のサンプリングという手法で，物体が移動する連続的な空間での制約や障害物の回避を考慮する．具体的には，Hybrid A アルゴリズムでは，まず連続空間上でいくつかのポイントをサンプリングする．即ち物体が進む可能性のある位置や向きをいくつか選ぶ．次にそれぞれのポイントに対して A*アルゴリズムを適用する．A*アルゴリズムは，スタート位置からゴール位置までの最適な経路を見つけるための手法で，ヒューリスティック（経験的な判断）を使って探索を効率化する．このように，Hybrid A*アルゴリズムでは，連続空間上でサンプリングしながら A*アルゴリズムを適用することで，最適な経路を見つけることができる．

(6) 発着点の走行車両向き指定の自動化

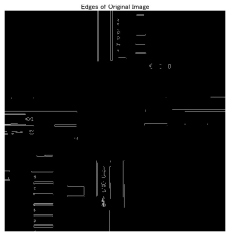
これまで発着点での車両角度は目視で交差角を判断し，手入力で行っていた．交差角を目算ではなく，機械的に出力する必要がある．ここではラドン変換を使用したラインの検出を行い，機械的に交差点角度を求める方法について述べる．ラドン変換は，一般的なコンピュータービジョン演算のひとつで画像中の構造を知るための方法である．

はじめに交差点画像（セグメンテーション画像）のグレースケールからソーベル近似を用いてエッジの検出を行う（図-4）．

エッジイメージのラドン変換[10]を計算する．図-5 はラドン変換の結果を表し，縦軸が画像中心からのピクセル数，横軸が物体の中心からの照射角度を示す．曲線で示す変換のピークの位置は，元のイメージ内の直線の位置に対応する．



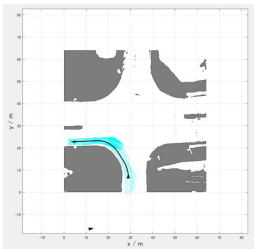
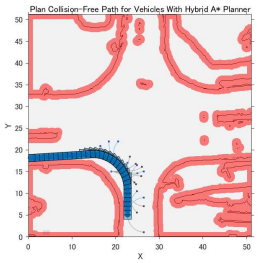
(a) セグメンテーション画像グレースケールイメージ



(b) バイナリエッジイメージ

図-4 線角度を抽出するための各物体のエッジ抽出

表-3 新旧背景地図の比較

Occupancy Map（旧）	Vehicle Costmap（新）
	
• 障害物の際を走行 • 不自然な走行 • ノイズ箇所が一目ではわかりにくい	• 障害物から余裕をもって滑らかに走行 • 自然な走行 • ノイズ箇所が明確

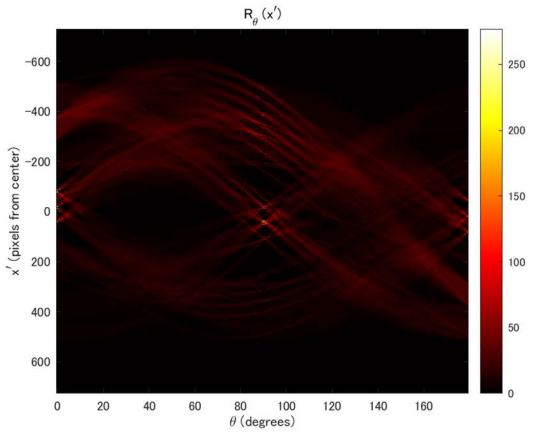


図-5 ラドン変換の結果

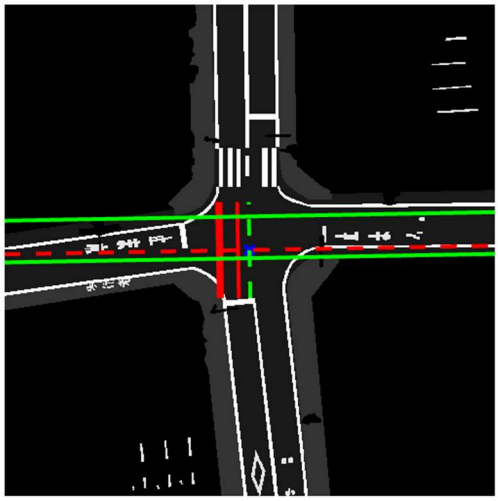


図-6 エッジのピーク箇所

ラドン変換に基づいて，強いピークを示す箇所を角度を図示する. 図-6 は計 5 つのピークの箇所を示しており，"θ"=6 度，オフセットが中心から-66，59，および-24 ピクセルのところに 3 つの強いピークが，"θ"=98 度，オフセットが中心から-17，70 ピクセルのところに 2 つの強いピークが存在することが分かった．交差点角度はそれらの角度に 90 度，直行回転した角度，即ち 96 度，8 度（mod180）であることが分かる．例えば，図-6 の交差点で南（図の下の道路）から西（図の左の道路）への折進の場合，交差点角度に合わせ，始点車両角度を 96 度，終点車両角度を 188 度（8+180）と設定する.

4. 判定制度の検証

(1) 交差点画像の選定と出力軌跡（車長 7.0m）

表-4，表-5 の様に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，Hybrid A* path planning に関わるその他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	4.0[m]
フロントオーバーハング 前輪軸と車両前端部の距離	1.3[m]
リアオーバーハング 後輪軸と車両後端部の距離	1.7[m]
車体幅	2.5[m]
車体長	7.0[m]

表-5 その他パラメータ

パラメータの詳細	設定
車両最小回転半径	4
生成される運動プリミティブ長	3
運動方向切り替え用の加法コスト	500

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，対向車線は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

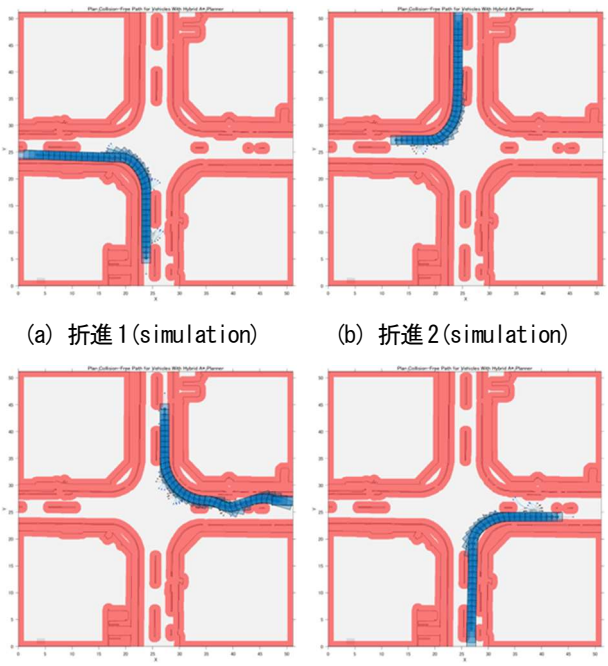
v) 元の交差点画像の画角ができるだけ広くとられている

通行条件とは折進時のレベルであり，表-6 の様に車両が対向車線にはみだす恐れがあるかどうか危険度を各交差点折進ごとに振り分けている．区分記号が C の場合，車両前後に誘導車を配置し，周囲の安全を確保する.
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空中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，18 の交差点を選定し，シミュレーションを行った.

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

表-6 通行条件の区分

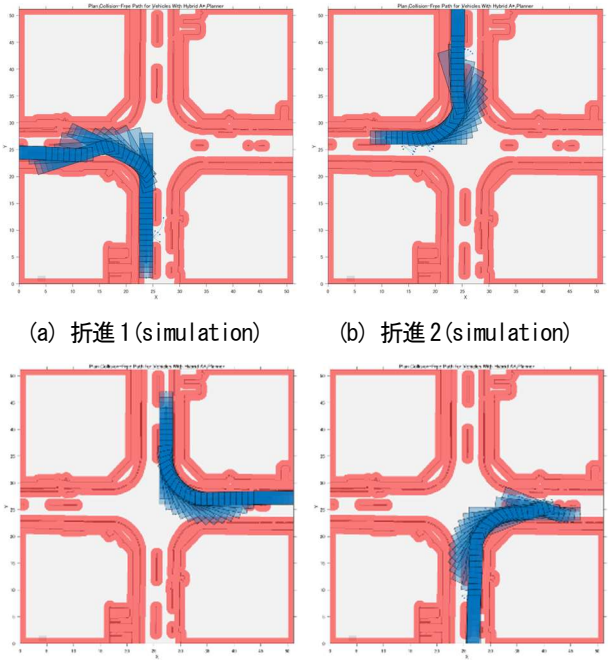
区分記号	寸法に関する条件
A	徐行等の条件を付さない.
B	徐行を条件とする.
C	徐行及び当該車両の前後に誘導車を配置することを条件とする.



(a) 折進 1(simulation)　(b) 折進 2(simulation)

(c) 折進 3(simulation)　(d) 折進 4(simulation)

図-7　各交差点折進のシミュレーション結果(車両分類Ⅱ)



(a) 折進 1(simulation)　(b) 折進 2(simulation)

(c) 折進 3(simulation)　(d) 折進 4(simulation)

図-8　各交差点折進のシミュレーション結果（車両分類Ⅰ）

止線から離れた場所を指定した．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-GK8JWAA 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，即ち段階 2 までに軌跡が描画された場合，通行条件 B と判定し，対向はみだしが見られる場合，即ち段階 3 以降で軌跡が描画された場合，通行条件 C と判定した．その結果，全 25 折進中，1 つの折進のみ対向はみだしがみられ，通行条件 C と判定された．一方で先行研究では，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．

(2)　交差点画像の選定と出力軌跡（車長 12.0m）

車両の大きさを変え，より大きな車両についても検証を行った．車両の大きさに関するパラメータは表-7 に示す．その他パラメータは表-5 と同様である．

表-7　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	7.5[m]
フロントオーバーハング 前輪軸と車両前端部の距離	2.0[m]
リアオーバーハング 後輪軸と車両後端部の距離	3.0[m]
車体幅	2.5[m]
車体長	12.0[m]

出力軌跡の一例として図-8 に示す．結果，全 25 折進中，3 つ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．一部の軌跡では複雑に蛇行するものが見られた．これは，画像中の小さなノイズ（障害物）が影響しているためである．

5.　結果と考察

シミュレーションでの折進判定が先行研究と大きく異なり対向はみだしが見られない判定 B が本研究では多く見られる結果となった．先行研究と軌跡を比較したものを図-9 に示す．先行研究時のシミュレーションの課題点は大きく次の 2 つが挙げられた．一つ目は 1 つ目は後輪部の不自然なふくらみが見られ，経路探索において改善の余地があるという点である．2 つ目は車両向きの設定が毎回目視であり，精度に影響を与えるという点である．経路探索のプログラムを改善することにより，不自然なふくらみがなくなり，図-10 の様に車両軌跡描画ソフトと比較しても新シミュレーションの方がより自然な軌跡を描いたことが明らかとなった．

また，本研究での課題点として以下の 3 点を挙げる．

i)　発着位置座標の定義

発着時の車両方向は交差点角度を基により精度よく自動化鶴ことが出来たが，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

確性に欠
ける部分がある．今後はこの作業を自動化する必要がある．

ii) アノテーション画像のレイヤ分けに関する課題

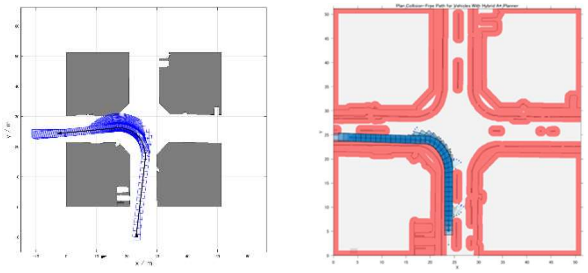
中央線と車両境界線の区別がされていない．中央線と車両境界線の区別がされているのであれば，中央線が進入不可の時と進入可の 2 つのシミュレーションを行い，折進時の対向車線はみだしを分かりやすく判定することができる．特に，通行条件 B と C，すなわち誘導車ありかなしかを判断することができる．

iii) 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．ただし，連結した車両の場合，後方車

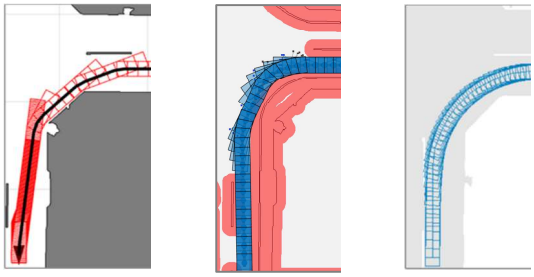
表-6 各手法の判定比較

交差点		先行研究 車長 7.0m	本研究 車長 7.0m	本研究 車長 12.0m
交差点 1	折進 1	C	B	B
	折進 2	C	B	B
交差点 2	折進 1	C	B	B
	折進 2	C	B	B
	折進 3	C	B	B
	折進 4	B	B	C
交差点 3	折進 1	C	B	B
	折進 2	B	B	B
	折進 3	C	B	B
	折進 4	B	B	B
交差点 4	折進 1	C	B	B
交差点 5	折進 1	B	B	B
交差点 6	折進 1	C	B	B
	折進 2	C	B	B
	折進 3	C	B	B
	折進 4	C	B	B
交差点 7	折進 1	B	B	B
交差点 8	折進 1	C	C	C
交差点 9	折進 1	C	B	B
	折進 2	C	B	B
交差点 10	折進 1	C	B	B
交差点 11	折進 1	C	B	B
	折進 2	C	B	B
交差点 12	折進 1	C	B	B
交差点 13	折進 1	C	B	C



(a) 先行研究時の軌跡　(b) 新シミュレーション軌跡

図-9 新旧シミュレーションの比較



(a) 旧シミュレーション　(b) 新シミュレーション　(c) 車両走行軌跡描画ソフト

図-10 折進時のふくらみ比較

両は Hybrid A*アルゴリズムに基づいて動く前方車両に引っ張られる力（または押される力）が働き，動いている為，図-11 の様に連結車両走行経路は Hybrid A*に力学

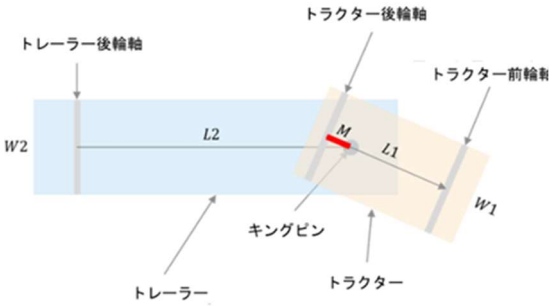


図-11 連結車両イメージ

的要素を追加した Path Planning を構築する必要がある．様々な車両形態すべて網羅すべきである．

6. 結論

本研究では，空中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の大枠を構築し，単車実装をおこなった．空中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，軌跡描画を行った．Hybrid A* path planning を用いて左折のみ経路探索したところ，車両軌跡描画システムと比較してもきれいに折進軌跡を描画した．先行研究では対向車線にはみ出したり，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が，本研究でのシミュレーションはそのような不自然な軌跡は特に見られなかった．また，車両の大きさを変えた時，走行軌跡は大きく膨らみ蛇行するようなものが見られた．

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．発着地点の座標定義が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のかどうかをもう少し吟味しながら座標の定義すればよりよいシミュレーションができると思われる．軌跡出力では，発着座標を目分量で測って入力し，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．今後は，空中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．また，連結車両に対応したシステムの構築も今後の課題として取り組む．

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る．

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) 久保田誠也・須﨑純一, "三次元点群データの空間的自己相関を考慮した樹木の葉の有無の判別", 土木学会論文集 F3, vol. 73, no. 2, pp. I_1-I_11, 2017.
3) 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.
4) 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/tokusya/pdf/kyoka-jisseki.pdf. 2 2 2022.
5) 志野有,塩見康博: Path planning model を用いた特殊車両の折進可否判定の自動化， 第 66 回土木計画学研究発表会論文講演集，2022.
6) 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.
7) 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.
8) 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.
9) 鈴木彰一，田中良寛，佐治秀剛，牧野浩志, : “ITS スポットを用いた特殊車両の走行状況確認方法の提案と実験データによる検証,” 交通工学論文集, 第 1 巻, 第 2 号（特集号 B）, pp. B_47-B_52, 2015.
10) MathWorks, ラドン変換を使用したラインの検出 https://jp.mathworks.com/help/images/detect-lines-using-the-radon-transform.html, 2023
11) Soille, P., Morphological Image Analysis: Principles and Applications, Springer-Verlag, 1999, pp. 173–174.

A method to estimating turning trajectories of oversize/overweight vehicles considering vehicle specifications at intersections

Tamotsu SHINO and Yasuhiro SHIOMI

It is necessary to apply for the passage permission in advance in the running of the special car, but the examination period is long because the road manager carries out the turning condition of the intersection in the manual. In this paper, we construct a method to visually judge the turning condition by drawing the trajectory at the turning of the intersection using the path planning algorithm considering the vehicle dynamics. In this study, in order to save more labor, we construct the turning trajectory for multiple drawings in which the impassable area is gradually reduced in advance. In the previous study, the condition of the arrival and departure of the vehicle and the turning decision were judged by the subjective estimate, but it became clear that it is not an ideal method for automating the turning decision because of the possibility of subjective error. Then, the parameter sensitivity analysis of the path planning algorithm was

carried out, and the validity of the turning decision result based on the proposed method was verified by comparing with the actual observation trajectory. Furthermore, the decision algorithm adapted to all special cars was constructed by applying the model corresponding to the trailer tractor.