

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02254

研究課題名（和文）冬期の自動運転を支援する道路管理システムに関する研究

研究課題名（英文）Research on road management system to support automatic driving in winter

研究代表者

萩原 亨（Hagiwara, Toru）

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：60172839

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,400,000円

研究成果の概要（和文）：自動運転システムを冬期において運用するための道路条件の課題は3つある。雪氷路面・視界不良（吹雪）・路肩の堆雪である。自動運転システムに含まれるAdaptive Cruise Control（ACC）・Lane Keeping Assistant System（LKAS）が3つの課題の条件下で動作するための必要条件が何かを、明らかにする必要がある。このため、自動運転システムに含まれる進行方向制御システムACCと横方向制御システムLKAS）の2つに着目し、冬期道路環境下における動作条件を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、自動運転システムが冬期において運用されるようになるための動作条件を検証した。ACCとLKASが、雪氷路面で運用可能となるには、道路線形・路面条件を踏まえたACCの速度設定と車間距離設定および道路の狭窄状況のデータが必要と言えた。そのため、車載カメラでモニタリングする装置を開発し、かつ画像データから路面状況・視界状況・道路の狭窄状況を判別できるようにした。道路を走行する多数の車両からこれらのデータを得ることから、自動運転のODDをダイナミックに変更することが可能となる。以上から、本研究によって、冬期においてもレベル3などの運転が可能となる仕組みを提案できた。

研究成果の概要（英文）：There are three road condition issues that must be addressed in order to operate automated driving systems in winter. These are snow and ice on the road surface, poor visibility (blizzard), and snow on the shoulder. It is necessary to clarify what are the necessary conditions for the Adaptive Cruise Control (ACC) and Lane Keeping Assistant System (LKAS) included in the automated driving system to operate under the three issues. For this purpose, we focused on two of the automated driving systems, ACC (Adaptive Cruise Control) and LKAS (Lane Keeping Assistant System), and verified their operating conditions under winter road conditions.

研究分野：交通工学

キーワード：自動運転システム 路面状況 視界状況 道路の狭窄状況

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

圏域中心都市間の距離が長い北海道では、SAE レベル 2・3 による冬期におけるドライバの負荷軽減は、安全・安心な道路交通として不可欠である。しかし、SAE レベル 2・3 で使われている現在の自動運転システムは冬期に動作することが保証されていない。SAE レベル 2・3 が可能な車両マニュアルには、冬期には運転支援装置を動作させないよう注意書きが記載されている。この制限を解消するため、冬期道路を対象とした自動運転システムのテストが北米・北欧で行われている。このような事例は多くはなく、冬期における自動運転システムの運用テストは始まったばかりである。

### 2. 研究の目的

自動運転システムを冬期において運用するための道路条件の課題は 3 つある。雪氷路面・視界不良（吹雪）・路肩の堆雪である。自動運転システムに含まれる Adaptive Cruise Control (ACC)・Lane Keeping Assistant System (LKAS) が 3 つの課題の条件下で動作するための必要条件が何かを、明らかにする必要がある。一方、冬期において、これらの動作条件は気象条件によってダイナミックに変化する。例えば、降雪と気温の低下によって自動運転システムが作動可能な条件から、そうではない条件に瞬時に変化する。ODD のダイナミックな変化が、冬期の道路条件の特徴となる。そこで、ODD の判定をダイナミックに変える戦略が考えられる。自動運転システムの作動しない条件に変化したとき、システムによる運転からドライバによる運転に変更する。逆に、自動運転システムの作動条件となったときドライバによる運転からシステムによる運転に変更する。DDT をダイナミックに変更する戦略を実現するため、時間的・空間的に道路の ODD 判定を連続して行う基礎的なシステムを検討した。具体的には、前述の 3 つの課題である冬期の路面状況・視界状況・堆雪状況を車載カメラを使ってリアルタイムにモニタリングし、先読み情報として自動運転システムに提供する技術を本研究で開発した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 冬期の一般道（雪氷路面）における ACC を用いた走行実験

ACC を用いた運転において、雪道でドライバが ACC を利用できる状況を探ることを目的とし、2018 年度冬期に一般道で走行試験を行った。その結果を科研の研究内容として分析した。冬期路面におけるドライバによる ACC への介入は路面のすべりが低くなると発生しやすくなった。また、カーブや勾配などの道路線形が厳しい区間で発生しやすくなった。一方、道路線形が良好であり、かつ路面のすべりがあまり低下しない状況であれば、ACC が動作していてもドライバによる介入はそれほど多くならなかった。ACC を冬期に使用するためには、路面のすべりと道路線形の両者を考慮する必要がある

ることが明らかになった。

## (2) 冬期におけるカーブ区間を対象とした ACC を用いた走行実験

冬期の SAE レベル 2 以上の運転支援・自動運転導入にはドライバーが危険を感じる走行環境の把握が必要である。雪氷路面におけるカーブ区間を対象とした ACC を用いた走行実験を 2019 年度に実施した。公道において走行調査を行い、カーブ区間に着目し冬期道路環境で ACC 動作中にドライバーがとった介入（調査参加者：6 名）と、そのときの道路線形、路面のすべりやすさ、気象条件について検討した。走行調査の結果から道路線形が厳しい区間やすべり抵抗値が低い区間ではシステムが予め走行速度を低下させることでドライバーの介入を減らせることが明らかとなった。

## (3) 雪氷路面における先行車との車間距離設定（進行方向制御）

雪氷路面における ACC のタイムギャップ設定を探ることを目的とし、2019 年度に高速道路、2020 年度にテスト走路で走行実験を行った(5-8)。先行車の速度と減速度、先行車との車間距離設定を組み合わせ、雪氷路面におけるドライバーの ACC への介入と先行車接近に関する主観的危険感を計測した。圧雪路面における網羅的な走行条件を想定し、実車走行実験によるドライバーの主観的危険感と TTC 最小値から、ACC 走行中の先行車両減速におけるドライバーの危険感を求め、冬期路面における ACC の設定（車間時間・速度）の適応条件について検討した。

乾燥路面では、ACC(S)・ACC(M)のとき、RF 増大に起因したドライバーによる ACC への介入が発生することが分かった。イレギュラーな車両の錯綜が想定される事象に関する情報提供を行い、情報を受け取った車両は、事象の手前で ACC(L)へと自動で変更し、その意図をドライバーに伝えることで、ドライバーの危険感を増大させずに走行させる仕組みが必要なことを示唆した。一方、圧雪路面では、走行速度が速いときに、現在の市販車両に搭載されている ACC(S)～ACC(L)では、ドライバーによる ACC への介入が発生することを明らかにした。圧雪路面では、ACC の車間時間設定は少なくとも 2.3 秒以上必要となることを示唆できた。圧雪路面では、ACC(SL：車間時間 2.3 秒)、ACC(ML：車間時間 2.8 秒)、ACC(LL：車間時間 3.3 秒)といった長い設定が必要となった。路面凍結地点に関する情報を受け取った車両は事象の手前で走行速度を落とし、ACC(ML：車間時間 2.8 秒)、ACC(LL：車間時間 3.3 秒)のような設定へと自動で変更し、その意図をドライバーに伝えるといった連携が必須となることが明らかとなった。

## (4) 冬期走行環境における車両の横方向走行位置に関する研究

雪氷路面では、車線境界線の認知ができなく、通常の LKAS 装置は動作しない。その中で、高度道路地図と車両センサーなどの制御で、雪氷路面であっても横断歩行制御は可能である。しかし、車線位置センシングが可能となっても、雪氷路面では、車線中央

位置を走行する LKAS の左右制御が課題となる。LKAS 制御で走行している車両は乾燥路面において車線中央を走行する。しかし、雪氷路面では LKAS 制御を使った車両は、雪氷路面に形成されている軌跡（わだち）と異なる位置を走行してしまう。軌跡（わだち）となっていない箇所は深雪の箇所となり、その走行は不安定となる。この状況において、一般ドライバーは雪氷路面に形成されている軌跡（わだち）を走行する。自動運転時においても冬期路面に形成された軌跡（わだち）を走行する横方向制御の検討が必要となる。そこで、本研究では、冬期における自動運転車の横方向制御の実現に資する基礎的研究として、実際の冬期道路環境で路面に形成される軌跡（わだち）の位置を明らかにし、冬期路面における横方向制御のあり方を検討した。実際の冬期道路環境で路面に形成される軌跡（わだち）の位置を明らかにすることを試みた。調査車両のダッシュボードに設置したビデオカメラによって撮像された画像を用いて、実際の冬期道路環境で路面に形成される軌跡（わだち）の位置を取得し、車線中央位置からの偏り（以降、横方向偏差）の程度を定量化した。ただし、わだちの輪郭形状が明確でない積雪状況などの条件では轍位置は計測できない。今後、さらなる検討が必要となった。

#### (5) 冬期の路面状況・視界状況・堆雪状況のモニタリング・システムの開発

冬期における DDT をダイナミックに変更する戦略を実現するため、時間的・空間的に道路の ODD 判定を連続して行う基礎的なシステムを検討した。具体的には、車載カメラによる路面状況・視界状況・堆雪状況の判別システムの開発を行った。以下において、3つの個別の判別システムについての成果を示す。

##### ・車載カメラを用いた吹雪時の視界状況の推定

道路を走行する車両に搭載した車載カメラの道路画像（静止画）を用いて冬期道路上の視界を評価し、視界情報を生成するシステムを開発し、車載カメラの静止画から自動的に道路の視界状況の評価した(10-12)。道路前方の視界を車両から評価するシステムを、エッジコンピューティング環境下で開発した。このシステムを道路パトロールカーおよび宗谷バスに搭載し、道路上の視界の変化を分析した。この車載システムから得た視界評価指標と気象データの変化から、冬期道路上で視界不良の変化を示すことができ、道路区間で視界状況が悪化しやすい区間を明らかにできた。これらの結果から、車載カメラの道路画像を視界評価に用いることで、ドライバーの運転感覚に近い視界情報を、道路路線に沿って生成できる可能性を示唆した。

##### ・車載カメラを用いた冬期道路の路面状態の識別

冬期道路の路面状態を車載カメラの画像から識別する手法を提案した。車載カメラ画像として、走行中の車両に搭載されているカメラを用いて取得されたものを用いている。それらの画像を用いて Mobile Nets を構築し、雪氷路面を 6 種類の路面状態に分類し、それらの路面状態を識別した(13-14)。本研究で開発した手法では、識別器のモデルとして Mobile Nets を用いた。Convolutional Neural Network（以降、CNN）の一種で計算量が

少ないという特徴があり、小型 PC 上での実装が期待できる。6 種類の各々の路面状態の識別における正解率は 70%から 80%となった。その中で、Semi-wet, Slush の識別精度が低かった。これらの路面状態では、照度が低いことによる路面の変色などが原因で誤識別が発生していた。今後は、ODD の設定に対応するための路面の識別精度を明らかにしつつ、本手法による識別精度の向上を目指すことが必要となる。

#### ・堆雪状況の把握

積雪寒冷地において路肩に堆積した雪は、車両の走行位置に大きく影響する。一方、路肩に生じた堆雪の状況の収集の自動化はなされていない。本研究では、道路有効幅員（以降、狭窄状況）を車載カメラから撮像された映像より識別する手法の開発を試みた。本研究では、堆雪に着目した特徴ベクトルと識別器 ELM の導入により狭窄状況を高精度に識別する手法を開発した。3つのレベルに分類した道路の狭窄状況に関するデータを生成し、識別を行った。提案手法により、識別精度が向上し、80%程度の精度となった。今後、様々な道路条件で、検証を重ね識別手法のレベルを高めることを行っていきたい。

#### 4. 研究の成果

(1) ACC（縦断方向制御）が、雪氷路面で運用可能となるには、道路線形・路面条件を踏まえた ACC の速度設定と車間距離設定が必要と言えた。そのため、路面状況・視界情報を車載カメラでモニタリングする装置を開発し、かつ画像データから路面状況と視界状況を判別することができるようになった。道路を走行する多数の車両から路面状況と視界状況に関するデータを得ることから、ACC に関する ODD をダイナミックに変更することが可能となる。

(2) LKAS（横断方向制御）が、雪氷路面で可能となるには、雪氷路面における一般車の車両軌跡を自動獲得するシステムの開発が最初の段階として必要と言えた。本研究では、雪氷路面に走行軌跡の路面が現れたときのみ車両軌跡取得手法を開発したが、基礎的な検討にとどまった。本研究で開発した車載カメラを用いて走行軌跡を自動的に取得する手法を開発する必要がある。

(3) 雪氷路の道路狭窄を車載カメラから評価する手法を試みた。狭窄状況の数値化には至っていないが、狭窄レベル（3段階）評価が可能となる結果を得た。

(4) 本研究で検討した ACC および LKAS の利用条件を踏まえ、冬期道路における ODD の動作領域を具体的に検討することが必要である。そのため、車両に道路状況をモニタリングするセンサーを搭載するプロジェクトを新たに開始した。2021年10月から、稚内一札幌間を走行するわからない号（3台）に本研究で開発した小型 PC と車載カメラを用いた前方の路面状況・視界状況・堆雪状況をモニタリングするシステムを搭載している。今後、時空間的に変化する冬期の ODD のレベル設定が可能となるよう、さらに研究を進めていきたい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

|   |                          |
|---|--------------------------|
| 1. 著者名<br>白石 直之, 高橋 翔, 萩原 亨, 岡田 稔, 内藤 利幸, 宗広 一徳   | 4. 巻<br>38               |
| 2. 論文標題<br>ACCによるカーブ走行時における冬期路面の影響に関する研究  | 5. 発行年<br>2021年          |
| 3. 雑誌名<br>土木計画学研究・論文集   | 6. 最初と最後の頁<br>1409, 1416 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2208/jscejipm.76.5_1_1409  | 査読の有無<br>有               |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                |
| 1. 著者名<br>中村 裕貴, 萩原 亨, 永田 泰浩  | 4. 巻<br>37               |
| 2. 論文標題<br>固定カメラと車載カメラによる 冬期道路管理向け視界情報評価に関する研究  | 5. 発行年<br>2020年          |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文集D3 (土木計画学)   | 6. 最初と最後の頁<br>599, 607   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2208/jscejipm.75.6_1_599   | 査読の有無<br>有               |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                |
| 1. 著者名<br>和田 脩平, 高橋翔, 白石直之, 宗広一徳, 岡田稔, 内藤利幸, 萩原亨  | 4. 巻<br>7                |
| 2. 論文標題<br>冬期道路環境へのACC(Adaptive Cruise Control)の適用条件に関する研究  | 5. 発行年<br>2021年          |
| 3. 雑誌名<br>交通工学論文集   | 6. 最初と最後の頁<br>289, 297   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.14954/jste.7.2_A_289   | 査読の有無<br>有               |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                |
| 1. 著者名<br>Shuheii Wada, Sho Takahashi, Tomonori Ohiro, Kazunori Munehiro, Minoru Okada, Toru Hagiwara                                       | 4. 巻<br>14               |
| 2. 論文標題<br>Effects of Time-Gap Settings of Adaptive Cruise Control (ACC) on Driver 's Risk Feeling Estimated by the Car-Following Situation | 5. 発行年<br>2022年          |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies  | 6. 最初と最後の頁<br>2133, 2148 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.11175/easts.14.2133  | 査読の有無<br>無               |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>高橋翔、白石直之、萩原亨                                 | 4. 巻<br>54            |
| 2. 論文標題<br>冬期走行環境における車両の横方向走行位置に関する研究                  | 5. 発行年<br>2023年       |
| 3. 雑誌名<br>自動車技術会論文集                                    | 6. 最初と最後の頁<br>622,627 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.11351/jsaeronbun.54.622 | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                 | 国際共著<br>-             |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Yuki NAKAMURA, Toru HAGIWARA, Yasuhiro NAGATA, Sho TAKAHASHI  | 4. 巻<br>14              |
| 2. 論文標題<br>Development of Poor Visibility Assessment Method in Winter Using Images Taken by On-Board Video Camera | 5. 発行年<br>2022年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies  | 6. 最初と最後の頁<br>1824-1841 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.11175/easts.14.1824  | 査読の有無<br>無              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-               |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>佐藤 諒, 高橋 翔, 萩原 亨, 永田 泰浩, 大橋 一仁                    | 4. 巻<br>3             |
| 2. 論文標題<br>複数識別器の確信度に基づくLate-fusionによる車載カメラ映像を用いた夜間の視界レベル推定 | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>AI・データサイエンス論文集                                    | 6. 最初と最後の頁<br>534,542 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.11532/jsceiii.3.J2_534       | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                      | 国際共著<br>-             |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>石附将武, 高橋翔, 萩原亨, 石井啓太, 岩崎悠志, 森徹平, 花塚泰史         | 4. 巻<br>3             |
| 2. 論文標題<br>複数の車載センサーデータを統合した冬期の路面状態のLate Fusionによる推定モデル | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>AI・データサイエンス論文集                                | 6. 最初と最後の頁<br>642,649 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.11532/jsceiii.3.J2_642   | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                  | 国際共著<br>-             |

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1. 著者名<br>木下洋輝, 八木雅大, 高橋翔, 萩原亨                          | 4. 巻<br>78             |
| 2. 論文標題<br>車載カメラを用いた道路空間の画像解析に基づく堆雪による狭窄状況の識別に関する研究     | 5. 発行年<br>2023年        |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文誌 D3 (土木計画学)                            | 6. 最初と最後の頁<br>119, 127 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2208/jscejipm.78.5_1_119 | 査読の有無<br>無             |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                  | 国際共著<br>-              |

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>坪田啓吾, 高橋翔, 和田脩平, 萩原亨                             |
| 2. 発表標題<br>冬期路面におけるACC利用時のドライバの危険感を考慮した 交通シミュレーションに関する基礎的研究 |
| 3. 学会等名<br>土木学会北海道支部令和3年度年次技術研究発表会                          |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Shuhei WADA, Sho TAKAHASHI, Tomonori OHIRO , Kazunori MUNEHIRO, Minoru OKADA, Toru HAGIWARA                                      |
| 2. 発表標題<br>Effects of Time-Gap Settings of Adaptive Cruise Control (ACC) on Driver 's Risk Feeling Estimated by the Car-Following Situation |
| 3. 学会等名<br>Eastern Asia Society for Transportation Studies (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>白石直之, 高橋翔, 萩原亨                              |
| 2. 発表標題<br>路面のすべりと道路線形がACC動作時のドライバの危険回避行動に 与える影響に関する研究 |
| 3. 学会等名<br>自動車技術会春大会2020                               |
| 4. 発表年<br>2020年  |



|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Naoyuki Shiraishi, Sho Takahashi and Toru Hagiwara  |
| 2. 発表標題<br>Effects of Winter Road Surface on Driver's Risk Avoidance Behavior when the Vehicles Are Entering a Curve operated with Adaptive Cruise Control |
| 3. 学会等名<br>Annual meeting of Transportation Research Board, 2021 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小島 怜、萩原亨、高橋 翔、有村幹治、和田脩平          |
| 2. 発表標題<br>VISSIMを用いた自動運転車が冬期交通に与える影響に関する研究 |
| 3. 学会等名<br>2020年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会         |
| 4. 発表年<br>2021年                             |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>白石 直之、萩原 亨                                 |
| 2. 発表標題<br>路面のすべりと道路線形がACC動作時のドライバの危険回避行動に与える影響に関する研究 |
| 3. 学会等名<br>自動車技術会・2020年春季大会                           |
| 4. 発表年<br>2020年                                       |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>川島彰悟、萩原 亨                                       |
| 2. 発表標題<br>ドライビングシミュレータを用いた冬期道路・ACC利用時のドライバの危険回避運転行動に関する研究 |
| 3. 学会等名<br>土木学会土木計画学研究委員会・2020年春大会                         |
| 4. 発表年<br>2020年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                      | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                             | 備考 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 宗廣 一徳<br>(Munehiro Kazunori)<br><br>(00414194) | 国立研究開発法人土木研究所・土木研究所(寒地土木研究所)・主任研究員<br><br>(82114) |    |
| 研究分担者 | 高橋 翔<br>(Takahashi Sho)<br><br>(00708018)      | 北海道大学・工学研究院・准教授<br><br>(10101)                    |    |
| 研究分担者 | 有村 幹治<br>(Arimura Kanji)<br><br>(40548062)     | 室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授<br><br>(10103)                 |    |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|