

研究課題事後評価結果（令和6年度）

I. 評価対象研究課題の概要

後 01

1. 研究課題名：習熟した注意深い人間ドライバの運転行動に基づく自動運転車の安全性評価に関する研究
2. 研究代表者：田中 信壽
3. 研究期間：令和4年度及び5年度
4. 研究予算：(R4年度) 5,037千円、(R5年度) 5,810千円
5. 研究の種類：経常研究
6. 研究の要旨 UN-R157(Automated Lane Keeping Systems)にて「自動運転車は、習熟した注意深い人間ドライバ（The competent and careful human driver、以下、C&Cドライバ）が他車等との衝突リスクを最小限に抑えることができるレベルの車両制御を少なくとも保証しなければならない」と位置づけられた。これを受け、「C&Cドライバが他車等との衝突リスクを最小限に抑えることができるレベル（以下、C&Cドライバレベル）の定量化と試験方法の開発を目指し、以下の個別課題を設定して研究を行った。 【個別課題（1）】判例分析に基づくC&Cドライバレベルの検討 ・主に車線変更に関連する交通事故の判例分析に基づいたC&Cドライバに求められる要件の整理 【個別課題（2）】コンピュータシミュレーション技術の利用法の検討 ・VR環境を搭載する実車を用いたC&Cドライバレベルの車線変更制御の定量化に関する検討。 ・C&Cドライバの運転行動分析をドライビングシミュレータ（以下DS）で実現するための環境整備（DSのVR空間の歪解消のための再設計、速度感を正しく被験者に生起させるための視覚情報設計法の検討及びシミュレータ酔いを生じやすい被験者を重心動揺特性から事前に判定する手法に関する検討） 【個別課題（3）】センサの認識性能に関する試験法の検討 ・センサの認識性能の評価手法及び試験環境の検討
7. 研究計画の変更等に関する説明 当初3年の研究計画であったが、実施内容に目途がついたため研究期間を2年に短縮した。
8. 得られた主な成果とその効果 本研究を実施し、個別課題毎に以下の成果が得られた。 【個別課題（1）】 <成果> ・主に車線変更に関連する交通事故の判例について、具体的な事故発生状況と道交法に基づく判断との関連を分析し過失認定の流れを整理した。回避義務の発生は、事故の予見が可能となった時点からの行動によって決定するが、事故の予見が可能となる時点は、ドライバの特性（一般ドライバやタクシードライバの違いなど）によって変化することを明らかにした。これによって、自動運転車の性能が過失認定を左右する可能性を法的な視点から示唆されることを示した。 <効果> ・C&Cドライバレベルの運転では少なくとも過失が問われない運転が求められることを法的な判断をもとに明確に示せるようになったことで、国連（WP29 GRVA）等で行われるC&Cドライバの概念や定義に関する議論において、日本の主張としてこの点をC&Cドライバのベースとなる概念として示すことが可能となった。 【個別課題（2）】 <成果> ・C&Cドライバレベルの車線変更制御を、後方を走行するドライバの主観評価を用いて定量的に特定する実験環境を構築し、被験者実験を実施した。結果、C&Cドライバレベルの車線変更制御の定量的な特定には至らなかったが、一定の目安をえることができ次回の実験で検討すべき条件を特定することができた。 ・被験者に速度感を正しく生起させる視覚情報の設計方法を検証するVR環境を構築し、被験者実験を実施した。結果、設計方法の特定までは至らなかったものの、検証方法を

確立し、課題点を明らかにした。

- ・シミュレータ酔いを発症しやすい被験者を重心動揺特性から事前に判定するための指標を明らかにするための実験環境を構築し被験者実験を実施した。指標の特定までは至らなかったものの、実験方法を確立し課題点を明らかにした。

<効果>

- ・C&C ドライバが行う車両制御を周辺車両のドライバの主観評価から定量的に特定する手法を、車線変更制御を例として確立することができた。今後、他の自動運転車の車両制御に関しても同様のスキームで検討できる環境を構築できた。
- ・より安全で現実空間の再現度の高いDSを整備できたことで、C&C ドライバの運転行動の測定を行う被験者実験からより妥当性の高いデータを得ることが可能となった。

【個別課題 (3)】

<成果>

- ・センサの性能評価として重要となる降雨条件を再現する人工降雨装置の特徴及び課題点の明確化を行った。
- ・降雨時の Radar 及びカメラセンサの性能評価を行う際に重要となる再現すべき環境条件の明確化を行った。

<効果>

- ・人工降雨装置の適切な利用方法及び活用場面の特定並びに新規整備方針の立案が可能になった。
- ・センサの性能評価条件の絞りこみが可能になり評価の効率化が図られ、これに伴って評価コストの削減が可能となった。

【学術論文等】

- 1.中川正夫, 自動運転・運転支援機能に用いられるカメラの認識性能評価, 画像ラボ, 日本工業出版, Vol.35, No.1 (2024), 掲載決定済み
- 2.中川正夫, 山本裕之, ステレオカメラを用いた ADAS 機能の降雨環境下における認識性能に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol.88, No.10 (2023), pp.789-794.
- 3.中川正夫, 自動運転に用いられるセンサ類の認識性能評価, 電気工学会誌, Vol.143, No.8 (2023), pp.521-524.
- 4.中川正夫, 山本裕之, 自動運転車に用いられるミリ波レーダの認識性能評価手法に関する研究, 精密工学会誌, Vol.89, No.5 (2023), pp.411-416.
- 5.中川正夫, 杉本岳史, 実交通環境下における人間ドライバの認知反応時間に関する研究, 設計工学, Vol.58, No.6 (2023), pp.249-264.
6. NAKAGAWA Masao, YAMAMOTO Hiroyuki, Investigation on the recognition performance of the stereo camera under rainfall environment, FAST-Zero 23.
7. Nakagawa Masao, Yamamoto Hiroyuki, Niikuni Tetsuya, Investigation of the influence of artificial and natural disturbances on the radar perception for automated driving vehicle, ESV2023.

【特許】

- 1.特願 2023-149691 (VR テストシステム高解像度化)
- 2.特開 2023-038706 (VR テストシステム及び VR テスト方法)

II. 評価結果

1. これまでの研究の進め方 (手順、手段、手法) は適切であったか [評価委員からのコメント] ・C&C ドライバの定義を交通事故裁判分析から導き出したことは良いと思う。ただ、いくつかの条件検討では明確化 (確定化) は難しいようだ。 ・C&C ドライバレベルの見直しは今後発生するか。	4. 3
2. 研究のレベルはどうであったか (最終結果の到達度を含む) [評価委員からのコメント] ・判例分析等でどこまで過失を定義できるか等の納得性のある説明ができると良いと思う。 ・「課題2」と「課題3」は検討の環境が整ったということであり、これからの検討課題ということと理解。 ・成果が複数の査読付き論文として公開されている。センサに関する実験が	3. 8

<p>多くなされている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・貴重な気づきは得られたが、明確な成果を得るためには方向性を含めて検討等が必要。 	
<p>3. (当初の計画からの変更があった場合、) その理由・内容は適切か [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一年前倒しに完結させたことは良いが、課題が残ったものの方向性をもう少し整理したら良かった。 ・個別課題3の追加は自然な流れである。 	<p>4. 7</p>
<p>4. 研究成果の発表状況は適切か [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海外も含め、成果発表が行われていると考える。 ・査読付き論文を含め数多くの対外発表があることが確認できた。 ・論文発表、特許出願等、発表状況は良好である。 ・個別課題1、2も是非成果発表をして頂きたいと思う。 	<p>4. 5</p>
<p>5. 得られた成果から社会的効果が期待されるか (社会的有用性) [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動運転の社会受容性に関わる重要なテーマなので、成果の発信等の認知度向上につなげて頂きたいと考える。 ・大切な研究だと思う。 ・追加されたセンサについての研究は雨天時の対応などまだ難しい課題があると感じた。法律の専門家との具体的議論の場があるとの説明にも説得力があった。 ・今後の深度化に期待したい。 ・自動運転を社会実装する上で、各種の定量的なデータが必要になるが、方向性も含めてさらに検討が必要と思う。 	<p>3. 8</p>
<p>○ 評価委員のその他コメント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・結果を実際の自動運転システム (ADAS を含む) の評価、研究開発あるいは基準作成に活かすかを明確にして頂きたい。 ・自動運転の安全基準として C&C ドライバレベルをものさしにしたことは良い着眼点である。特に高齢者に合わせようとする、様々な条件で検討するとどんどんクリアすべきレベルが高く求められるような気がする。 ・ここまでの達成度は高く良い成果が得られていると感じる一方、キーパーソン2名が退職でチームを去った中で今後の継続性、発展の可能性についても明確に言及されると良かったと感じた。研究に対する自信と熱意が感じられる発表であった。自動運転の社会受容性への貢献が期待される一方、納得感のある基準の具体化の困難さを感じさせる議論だった。 ・個別課題3については、成果物・課題点が多く出ており、論理的に研究が行われていると感じる。一方、個別課題1～2については、定義や客観的な評価が難しいのではないかという印象を持った。研究期間を1年短縮したからかもしれないが、個別課題同士の関係がバラバラに見え、ややまとまりを欠いているように感じた。 ・C&C ドライバではないと判断する被験者が多かったとのことだったが、ドライバレベル設定、被験者、シミュレータのいずれの問題であるか。またどのような解決策があるか。 ・C&C ドライバについては、Competent なドライバの定義が難しいと感じた。優秀とは、事故を起こさない、マナーが良い、運転上手 (スムーズ) など、何をもって優秀とするかにより、一概に交通法規を厳守するドライバや、事故時の過失が少ないドライバが該当するとは限らないと思う。シミュレータについては、実際の運転は非常に複雑な環境下で行われるため、すべての環境条件をシミュレータでパラメータ化して再現するのは困難であり、リアルな運転と異なる部分はどうしても発生すると感じた。何が異なるかを明確にし、より正確、効率的にシミュレータを利用するための研究として興味深かった。 ・もっと減速度の低い方の結果を見てみたい。リスク感と主観評価との相関を分析されると面白いかもしれない。 	

Ⅲ. 評価委員のコメントに対する意見、対応等

1) C&C ドライバの定義や C&C ドライバレベルについて

個別課題 1 の交通事故の判例分析は、C&C ドライバの概念を交通事故の判例という社会受容性の高い判断をベースとして定性的に明確化するために調査を行いました。即ち、C&C ドライバとは少なくとも裁判において過失が問われるような運転は行わない、と位置付けられることで、過失が問われる運転行動を具体的に特定する重要性が明確になり、C&C ドライバレベルの検討を行うべき車両制御を具体的に特定することが可能になると考えております。一方、C&C ドライバレベルの定量化は、個別課題 2 で車線変更制御に関し試みしました。具体的には、車線変更制御のパラメータである「車線変更時に後方車両に強いても良い減速度」と「後方車との最接近時の車間時間」に対する C&C ドライバレベルの定量化を試みしました。本検討では、ACSF で許されている車線変更の最低条件を中心に実験条件（すべての条件で減速度の発生を想定）を設定して調査を行いました。後方車のドライバに減速を強いた時点で、両パラメータの値に関わらず車線変更車のドライバは C&C ドライバではないという判断が半数以上となることが明らかとなりました。よって、C&C ドライバが行う車線変更制御は、今回検証を行った実験条件には無く、減速度が発生しない条件にて実験を行う必要であると考えます。また、車線変更において後方車のドライバが減速を強いられたかどうか、C&C ドライバの判定に大きく影響を及ぼすことを踏まえると、他の車両制御においても周辺ドライバに危険感や不安感といった事故の発生を想起させるような感情が生起させるかどうか C&C ドライバの判定に寄与してくることが予想されます。よって、事故の発生を想起させるような感情を主観評価の指標として用いることが重要であると考えております。こちらの研究については、先行研究と合わせて論文発表を行っていく予定です。

コメントでもご指摘頂いておりますが、過失が問われない運転は、C&C ドライバの必要条件であって十分条件ではないと考えております。つまり、この運転からさらに「習熟した注意深い」運転に達するまでにさらなる一段の条件があるように我々も考えております。この部分は、なかなか定性的に定義するのは難しく思っており、周辺車両のドライバの判断を直接取り込むことができる個別課題 2 で開発した手法にて実験レベルで明らかにしていくのが良いと考えております。但し、本手法は、被験者が常日頃運転している交通環境のルールに左右される可能性があり、国ごとに判断が分かれる可能性があるため注意が必要だと考えております。

2) 個別課題 1 の判例分析に関する報告について

判例分析に関しては以下の発表を行っており、これらについて深化させました。

- 【1】中川正夫, 河合英直; 自動運転車の社会受容性について -事故判例の分析から-, 自動車技術, No. 74(5), pp.42-46 (2020年5月)
- 【2】中川 正夫; 自動運転車の社会受容性について<事故判例の分析から>, 精密工学会, 成形プラスチック歯車研究専門委員会, 第 142 回研究会(2021年2月)
- 【3】中川 正夫; 裁判例の分析による過失要件と自動運転車の社会受容性に関する研究, 交通安全環境研究所フォーラム講演概要, pp.35-38(2021年11月).

3) 各個別課題の関連性について

個別課題 1 と 2 の関係は、個別課題 1 で C&C ドライバの定性的な定義を明確にすることで、個別課題 2 で行う C&C ドライバレベルの定量化を検証すべき具体的な運転行動とその実験条件が明確となります。つまり、個別課題 2 の実験条件は、まず過失を問われない運転条件に絞り込むことが可能となることで、この条件の中から C&C ドライバレベルを検証する実験条件を絞り込むことが可能となります。個別課題 3 は、個別課題 2 で特定された C&C ドライバレベルの車両制御を実現するために求められるセンサの性能を評価するための試験法を明らかにする位置づけです。特に、雨天等気象状況によってセンサの性能は変化することが予想され、これを含んだ試験方法の検討が必要なため、現

状の試験方法及び実験装置について課題点を検討しました。

4) 基準策定への貢献について

C&C ドライバが行う車両制御と同等の運転を自動運転車で実現するためには C&C ドライバレベルの定量化が必須であると考えております。この点に対して本研究で構築した実験環境から得られた成果、また、今後得られる成果を用いて貢献していく予定です。特に、自動運転車の車両制御では安全性と利便性の関係が背反となる可能性が高く、利便性を優先させようとする議論が生じた場合に、安全性を確保するために必要な車両制御を定性的及び定量的に提案できるようにしたいと考えております。

研究課題事後評価結果（令和6年度）

I. 評価対象研究課題の概要

後 02

1.	研究課題名：衛星測位をはじめとする車上位位置検知技術の評価に関する研究
2.	研究代表者：山口 大助
3.	研究期間：令和3年度～令和5年度
4.	研究予算：（R3年度）4,521千円、（R4年度）3,721千円、（R5年度）3,188千円
5.	研究の種類：経常研究
6.	<p>研究の要旨</p> <p>衛星測位の利活用にあたっては性能（測位精度、信頼性等）を事前に評価する必要がある。本研究では、①衛星測位をはじめとする車上位位置検知技術の性能評価手法の検討、②電波遮断時等への対応を考慮した車上位位置検知技術の検討を通じて、車上位位置検知技術の要件等を明確にすることを目的に実施した。</p>
7.	<p>研究計画の変更等に関する説明</p> <p>変更なし。</p>
8.	<p>得られた主な成果とその効果</p> <p>本研究で得られた成果は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○既往の経常研究の成果を採り入れつつ、衛星測位の測位精度を長期的に評価可能な手法を提案し、営業車両を利用したモニタリング試験の結果を交えながら評価手法の有用性を明確にした。 ○衛星からの電波の受信がしづらい箇所において有用な衛星測位と LiDAR センサを組み合わせた位置検知技術を提案し、車庫内及び営業線において実車による評価実験を行った。その結果から提案した技術の実現可能性を示した。また、走行速度がこの技術の位置検知性能に影響を及ぼす可能性があることを明確にし、LiDAR センサの検知データに基づく走行速度の推定情報を利用することで位置検知性能が向上することを確認した。 ○衛星測位単独での列車位置検知の実現に向けて、地上側で衛星測位の健全性を判定する健全性判定手法を提案した。 ○衛星測位の健全性を逐次確認できれば衛星測位単独による車上位位置検知の実現可能性があること、測位精度の評価を単発的なフィールド試験だけでなく長期のモニタリング試験を交えて重ねていくことで許容される測位精度を具体的に検討できること、許容される測位精度が満たされなければ、本研究で提案した補完手法をはじめ、衛星測位と他のセンサを組み合わせた補完手法を採用することで車上位位置検知技術の導入可能性が広がることをしめした。 ○対外発表を19件、学会誌執筆を1件、特許出願を2件行った。

II. 評価結果

<p>1. これまでの研究の進め方（手順、手段、手法）は適切であったか [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・衛星の時系列を考え、長期的確認は良かった（必要だった）。 ・LiDAR を用いたターゲットマーカも良いが、カメラ画像を用いることはできないか。 	4. 5
<p>2. 研究のレベルはどうであったか（最終結果の到達度を含む） [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・具体的な成果のイメージを明確にして進めて頂きたい。 ・路面電車、LRT 等への適用が期待される。位置補正方法は、設置箇所数を含め更に検討が必要ではないか。 	4. 1
<p>3. （当初の計画からの変更があった場合、）その理由・内容は適切か [評価委員からのコメント]</p>	
<p>4. 研究成果の発表状況は適切か [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・論文発表や特許化等、適切な手段で成果が公表され、権利化も進められていると考える。 ・投稿中の査読付き論文を含む数多くの成果公開の実績がある。 	4. 5

<ul style="list-style-type: none"> ・ 口頭発表は非常に多く良好である。一方で査読付き論文がないのは理由があるか。特許出願は評価できる。 	
<p>5. 得られた成果から社会的効果が期待されるか（社会的有用性） [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 協力事業者の期待度が大きければ良かった。 ・ 今後の応用の具体化の研究成果に期待したい。 ・ 実用化すれば効果が大きい、費用等からより効率的な実装方法の検討が必要と感じた。 	<p>3. 8</p>
<p>○ 評価委員のその他コメント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 車上位位置検知技術について、実際面での活用を具体的に検討して頂きたい。 ・ 早くどこかで実用化できるとメリットが周知され、適用の拡大が期待される。 ・ 衛星測位には不確定性、見えない場合の確率をゼロにはできないという問題が否定できないため、他の車上位位置検知との複合を明確に述べる方が良いと感じた。議論にあった列車速度や価格などのレベルによる応用毎のセンサの使い分けなどの系統的なシステム設計の議論に発展してほしいと感じた。 ・ 測量実習で GNSS 測量を扱っており、本研究課題に興味を持った。静的な位置情報の場合、受信できる衛星の数が測位精度に影響するが、動いている車両の位置情報を測位する場合、こういった要因（走行速度など）が、どの程度影響するのか明らかにしてもらうと面白い。 ・ 車両位置検出の重要性はよく理解できたが、特に中小事業者への実装を考えると、GPS を始め、より簡易的な手法も含めた検討が必要と感じた。 ・ 海外の技術はどうなっているか、比較などができると良いかもしれない。 	

総合評価：4. 2

III. 評価委員のコメントに対する意見、対応等

<p>【「1. これまでの研究の進め方」のご意見・ご指摘について】</p> <p>衛星は地球の周りを常に航行し、同一地点、同一時刻であっても日によって衛星測位の精度は変化することから、これまでの1~2日程度の単発的な評価だけでなく、長期的に衛星測位データを取得して評価することも衛星測位の利活用を検討する上で有用であると考え、長期的な評価が可能な手法を提案しました。</p> <p>衛星測位の補完技術として、ご指摘の通りカメラ画像の活用が考えられますが、LiDAR センサやカメラ等の得失を検討したところ、カメラは逆光時や夜間時の性能低下が予想され、これを回避するために本研究では LiDAR センサを選定しました。</p> <p>【「2. 研究のレベルはどうであったか」のご意見・ご指摘について】</p> <p>今後は車上位位置検知技術をいかに安全かつ高い信頼度の下で利用していくかなどの観点に立ち、車上位位置検知技術を実用する場面に焦点を当てて研究を進めていく予定です。具体的には、路面電車等の走行を円滑にするシステムへの車上位位置検知技術の活用について、本研究の成果を活かしつつ、ご指摘いただいた位置補正方法の更なる検討も含めて取り組んでまいります。</p> <p>【「4. 研究成果の発表状況は適切か」のご意見・ご指摘について】</p> <p>長期的な測位精度評価手法については営業車両を利用したモニタリング試験によって手法の有用性を検証しましたが、学術的よりも実践的な内容が多かったことから、多くの鉄道関係者へ情報提供するために口頭発表に重きを置いて成果発表を重ねてまいりました。</p> <p>一方、衛星測位と LiDAR センサを組み合わせた位置検知技術については提案もさることながら、当該技術による位置検知性能を向上するための手法も複数検討し、実車実験を通じて提案技術や手法の実現可能性を確認できたことから、これらの成果を整理し、査読付き論文</p>

の投稿に向けて現在、原稿執筆を進めております。

【「5. 得られた成果から社会的効果が期待されるか」のご意見・ご指摘について】

長期モニタリング試験にご協力いただいた鉄道事業者は本研究に関心をお持ちになっており、車上位位置検知技術の活用をテーマとした共同研究の実施に向けて当該事業者と現在調整を進めております。

衛星測位の精度や信頼度と衛星測位機材の導入に係る費用は比例の関係にあると認識しており、実装に向けては費用対効果の確認が求められるものと予想します。前記の通り、今後は路面電車等の走行を円滑にするシステムへの車上位位置検知技術の活用を想定して研究に取り組む予定ですが、ご指摘を踏まえて、実装の観点から費用対効果について何らか示すことができると考えております。

【「評価委員のその他コメント」のご意見・ご指摘について】

衛星測位には不確定性があり、使いにくいという印象を持たれやすい懸念があります。これに対して、要求精度や用途とセンサの使い分けを整理することや、本研究の成果の一つである衛星測位の健全性判定手法を活用することで、実装可能な路線は限定されるかもしれませんが、衛星測位の車上位位置検知技術への活用の可能性は十分にあると考えます。また、早く実用化できればメリットの周知につながり、導入が増えるという好循環が期待されます。これらにつなげるため、ご指摘いただいたシステム設計の系統的な議論、列車走行が車上位測位の精度に及ぼす影響や簡易的な実装手法の検討、海外の技術動向の把握に取り組み、早期の実装を念頭に置いて研究を進めてまいります。

研究課題事後評価結果（令和6年度）

I. 評価対象研究課題の概要

後 03

1. 研究課題名：モニタリングシステムによる索道の運転状態の評価に関する研究
2. 研究代表者：千島 美智男
3. 研究期間：令和3年度～令和5年度
4. 研究予算：(R3年度) 1,115千円、(R4年度) 809千円、(R5年度) 1,170千円
5. 研究の種類：経常研究
6. 研究の要旨 索道施設の稼働状態を記録し、その記録を保守の優先順位の策定や運転規制等へ活用することにより事故防止を図るとともに、事故発生時には事故原因の究明に活用するため、以下の研究を行う。 (1)走行中の搬器の動揺について画像解析技術や各種センサを活用したモニタリングを行うことにより、動揺の変化から異常を検知し運転の停止や点検整備に活用できる搬器動揺の省力化監視手法を検討する。 (2)索道システムの各種保安設備の状態を常時記録し、蓄積したデータを基に予防保全に活用することや事故が発生した場合の原因究明に活用できるシステムの技術要件の整理を行う。
7. 研究計画の変更等に関する説明 予算査定に伴い、個別課題(1)における搬器動揺等のモニタリングシステムの構築を令和4年度から令和5年度までに延長した。
8. 得られた主な成果とその効果 (1)搬器動揺の省力化監視手法に関する技術要件を整理した。搬器の動揺、搬器走行位置、搬器走行速度、搬器位置における風向及び風速のデータを搬器上で収集し、各測定データをリアルタイムに搬器から運転室等の搬器から離れた場所へ伝送し、運転室等では受信した情報を表示する搬器動揺等モニタリングシステムを製作した。さらに、製作したシステムの検証試験を実施し、搬器動揺等を実際の索道搬器上で測定できること、及び運転室等で各測定データを遠隔監視できることを確認した。 提案手法によって搬器動揺等をモニタリングし、その結果をもとに異常を検知し運転停止や点検整備へつなげれば、走行する搬器と支柱等構造物との接触の防止や、搬器が受ける風の実態に基づいた運転規制につながり、索道施設の安全性向上への貢献が期待される。さらに、従来は支柱等に設置され保守管理に手間のかかる風速計に代わるものとして提案システムが活用されれば、索道施設維持管理の省力化への貢献が期待される。 (2)各種保安設備の動作状態のモニタリングについて現状調査を行い、事故や異常が発生した場合の原因究明に活用できるシステムの技術要件を整理した。現状の各種保安設備の動作に影響を及ぼさずにその動作状況を記録するための測定方法等を検討し、索道システムに後付け可能なモニタリングシステムを構築した。研究所内の索道用ロープ試験機を用いて検証試験を実施し、各種保安設備の動作状況が記録可能であることを確認した。 提案手法にもとづき索道の各種保安設備の状態をモニタリングし、その動作状況の履歴を記録すれば、索道システムが停止した原因を遠隔で把握でき、迅速な保守や運転再開につながられる。さらに万一の事故の時には当時の各種保安設備の状況把握に活用するなど、事故調査への貢献が期待される。

II. 評価結果

1. これまでの研究の進め方（手順、手段、手法）は適切であったか [評価委員からのコメント] ・事業者の事故防止ニーズが大きいと本研究は進むと思われる。	4. 2
2. 研究のレベルはどうであったか（最終結果の到達度を含む） [評価委員からのコメント] ・動揺のモニタリングシステムの情報が運行管理に使えるレベルなのかどうかを明確にしていきたい。既存のシステム以上に制度の高いシステムをローコストで成立させる技術を確立したことは大きな成果と考える。 ・動揺センサーと風速の関連性が把握できれば安全性向上につながり、風速以外の状態モニタリングも可能になるかもしれない。期待したい。	4. 0

<p>3. (当初の計画からの変更があった場合、) その理由・内容は適切か [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 予算の査定に起因する研究期間の延長は自然な流れで現成果に結実している。 	<p>4. 5</p>
<p>4. 研究成果の発表状況は適切か [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ハンドブックや研修会テキストなど実務的で有用な形で成果公開がなされていることは良い。分野として難しいところがあると感じるが、学術論文としての成果のまとめに結実することも中長期的に期待したい。 ・ 発表状況は良好と考えられる。査読付き論文も期待したい。 	<p>3. 8</p>
<p>5. 得られた成果から社会的効果が期待されるか (社会的有用性) [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実際のニーズを明確にして社会実装につながれると良いと考える。 ・ 索道の事故防止として大切な研究だと思う。 	<p>4. 2</p>
<p>○ 評価委員のその他コメント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 搬器の動揺の程度と安全性の確保との関連をどのように評価するかを考慮して頂きたい。 ・ 今回の研究成果が、風速を適確に測定できる位置に風速計を移設するだけでも大きい。 ・ 遠隔監視や自動モニタリングが保守点検作業の省力化やコスト低減にどのような好影響を与えたか具体的な例示があると良いと感じた。国際的な議論 (特に欧州) との関係性についても明示的にアピールをされると良いのではないかと。 ・ 事故や異常が発生した場合の原因究明に活用できるシステムとのことだが、モニタリングしたどの要素が何に影響しているのかという整理が欲しかった。人手不足の解消につながる効果についてももっとアピールしてほしい。 ・ 動揺のモニタリングをどのように活用するか、特に長期的なモニタリングが重要だと思う。 ・ 日本においては索道の安全に関する研究が貴重なことと分かった。現状、運転判断の基準として活用されている風速について、より正確に活用していくことはとても重要と思う。 	

総合評価： 4. 0

Ⅲ. 評価委員のコメントに対する意見、対応等

本研究課題では索道運転状態のモニタリング方法を提案しましたが、動揺のモニタリングデータの変化から異常を検知し、現在は目視等人力によって行われている運行管理 (運転停止及び徐行運転) の判断や点検整備につなげるなど、安全性向上に資するよう研究を進めて参ります。風のモニタリングについては、交走式においては支柱に取り付けられている風向風速計を搬器へ移設することでコストの低減や保守点検する人員の削減が見込めるが、国内により多く設置されている自動循環式においても同様に保守点検の省力化につなげられるかについては引き続き検討を進め、その成果を索道業界に広めるよう努めてまいります。

また、ご指摘の以下の点については今後も取り組んでまいります。

- ・ 搬器の動揺の程度と安全性の確保との関連を評価する方法
- ・ 動揺のモニタリングをどのように活用するか、特に長期的なモニタリングの実施
- ・ モニタリングしたどの要素が何に影響しているのか
- ・ 国際的な議論との関係性
- ・ 査読付きの学術論文として取りまとめ

研究課題事後評価結果（令和6年度）

I. 評価対象研究課題の概要

後 04

1.	研究課題名：新たな列車制御システムを用いた交通システムの安全性評価に関する研究
2.	研究代表者：工藤 希
3.	研究期間：令和3年度～令和5年度
4.	研究予算：(R3年度) 1,670千円、(R4年度) 3,215千円、(R5年度) 2,402千円
5.	研究の種類：経常研究
6.	<p>研究の要旨</p> <p>地上設備の保守点検の効率化・省力化が期待できることから無線式列車制御システム（CBTC等）をはじめとした新しい列車制御システムの導入検討が進んでいる。本研究では、製品の信頼性を含む安全性評価を通じて、国内外の新たな列車制御システムの導入に貢献することを目指し、新しい列車制御システムに対応できる安全性評価手法の深度化を図った。これまで得てきた知見に加え、国内外の規格、法令等を調査した上で、無線式列車制御システムを含む新しい列車制御システムに対応できる安全性評価手法の体系化を実施した。また、鉄道の自動運転に向けた列車制御システムにも対応可能な安全性評価手法の素案の検討を実施した。</p>
7.	<p>研究計画の変更等に関する説明</p> <p>鉄道の自動運転に関する業界の検討状況を踏まえ、自動運転における安全性評価の評価基準を検討する必要性が高まった。そのため、自動運転の評価基準になり得るデータの収集及び、総合的な評価手法の検討を追加した。また、これらに注力するため、令和4年度に実施予定であった「無線式列車制御システムを対象とした安全性評価手法案の作成」は、「国際規格に対応した安全性評価手法の深度化」の一部として実施することとした。</p>
8.	<p>得られた主な成果とその効果</p> <p>(1) 国際規格に対応した安全性評価手法の深度化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・これまでの安全性評価の類似事例から確認すべき事項が抽出され、国内外の規格、法令等を踏まえて新しい列車制御システムに対応できる安全性評価手法として、抽出された項目群を活用する手法を提案した。 <p>(2) 無線式列車制御システムを対象とした安全性評価手法の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安全解析手法 STAMP/STPA (System Theoretic Accident Model and Processes / STAMP based Process Analysis) を用いた試行を行った。無線式列車制御システムの安全性評価の場合、車両と地上などの装置間の相互関係や、空間波を使うため装置外からの影響を考慮する必要があることから、STAMP/STPA を行うことで、システム全体のどこに安全上の課題があるのか俯瞰することができることを確認した。 <p>(3) 鉄道の自動運転に対応する列車制御システムの安全性評価手法の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既存の鉄道を自動運転化する場合に、従来、運転士が担っていた機能を抜けないようにシステムに割り付けるため、運転士が担っていた機能の整理、及びシステム(及び添乗員等の係員)にどう割り付けるべきかの整理が必要である。そのため、鉄道の自動運転に関して動向調査を行い、現行の運転士業務についてこれらを調査した結果を示した。 ・従来の鉄道における運転士業務の状況把握のため、列車運行システム安全性評価シミュレータを用いた被験者試験及びゴーグルを用いた視線計測による運転士の運転状況の把握を実施した。 ・安全性評価手法素案の提案につなげるため、一例として車上カメラ・センサ類の評価基準につなげる考え方を整理した。ISO 12100(JIS B 9700)の段階的安全方策の考え方を参考に整理をした結果、信号機等の確認を目的としない、人立入りの検知に使用する車上カメラ・センサ類は、緊急・非常停止押しボタンと同様に、「付加保護方策」に分類されるため、「本質安全対策」や「安全防護対策」が十分行われている場合には、必ずしも車上カメラ・センサ類の故障時安全性が高い必要はないと考えられる。 <p>これらの成果は、CBTC 及び自動運転等の新しい列車制御システムに対する安全性評価に活かすことができる。</p>

II. 評価結果

1. これまでの研究の進め方（手順、手段、手法）は適切であったか [評価委員からのコメント]	4. 2
2. 研究のレベルはどうであったか（最終結果の到達度を含む） [評価委員からのコメント] ・システム自体の安全性を担保できているかどうかの評価という観点で着実な成果が出ていると考える。	4. 2
3. （当初の計画からの変更があった場合、）その理由・内容は適切か [評価委員からのコメント] ・業界の状況を踏まえて、研究内容を適切に見直している。 ・CBTC を中心とする評価手法から無線によらない一般的な自動運転に係るテーマに重点を移す変更であったと理解した。社会の要請に適切に応じる合理的な計画変更と考える。	4. 8
4. 研究成果の発表状況は適切か [評価委員からのコメント] ・発表状況は非常に良好である。	4. 6
5. 得られた成果から社会的効果が期待されるか（社会的有用性） [評価委員からのコメント] ・実際に現在活発に行われている各事業者の自動運転技術の安全評価で重要な貢献が認められている。 ・今後の成果の活用方法は。ガイドラインのようなものに深度化できるか。 ・自動運転の進化、拡大に欠かせない研究と思う。	4. 5
○ 評価委員のその他コメント ・ 今後は自動運転の実用化に向けた取組みを進めるための努力を期待する。 ・ 今後の自動運転化に向けて、本研究は大きな位置付けとなると期待できる。動きが早まっているので、検討を急がりたい。 ・ 社会の要請に的確に応じている貢献が大きい一方、学術的成果に結実させる系統的な研究としてまとめていくことには本質的な困難があり、各論の積み上げ、ケース・バイ・ケースの事例の集積になりがちという難しさを感じておられることと拝察される。しかし、鉄道の自動化の推進に資する研究としての記述は細部に神が宿るということから個別事例で出された議論のまとめが重要なので、国の中立性を持つ研究グループとして、今後の汎用センサ活用の研究も含め、着実な検討の継続に期待したい。 ・ 安全性評価手法の検討とのことなので、評価の方法論（ガイドライン等？）が成果物だとすれば、評価項目とその基準が示されると良かったと感じた。一方で、評価委員会での議論を通じて、その前段階の大きな整理を実施したのだと理解した。今後の自動運転の実用化に貢献できるよう取組みを進めて、成果をまとめてほしい。 ・ 人口減、労働者不足という社会状況から、鉄道の省人化が急がれる状況と思う。特に中小事業者においては早急な対策が必要であり、施策の一つとして自動運転は非常に重要と思う。 ・ 他のモビリティ（自動車、飛行機など）の自動運転との比較、情報交換ができると良いと思う。	

総合評価： 4. 4

III. 評価委員のコメントに対する意見、対応等

- ・ 本研究課題により、安全性評価の類似事例から確認すべき事項が抽出され、国内外の規格、法令等を踏まえて新しい列車制御システムに対応できる安全性評価手法として、抽出された項目群を活用する手法を検討したものの、ご意見を頂いた通り、学術的な成果として系統的に示すことについてはまだ課題が残っていると認識しており、引き続き検討を進めてまいります。

- ・ 本研究の成果は、評価項目とその基準を示したガイドラインのようなものを作成できることが理想ですが、ご意見を頂いた通り、本研究ではその前段階にとどまっております。安全性評価の方法論として取りまとめられるよう、引き続き検討を進めてまいります。
- ・ 自動運転については社会的ニーズが高いことを踏まえ、本研究成果を踏まえて、今後の研究において着実に実施してまいります。また、所内において鉄道と自動車の自動運転に関する研究員同士の情報交換は実施してまいりましたが、飛行機など他のモビリティとの比較も含めて、今後の研究において情報収集を踏まえて研究を実施してまいります。

研究課題事後評価結果（令和6年度）

I. 評価対象研究課題の概要

後 05

1.	研究課題名：地方鉄道の踏切における安全性向上技術評価の検討
2.	研究代表者：長谷川 智紀
3.	研究期間：令和3年度～令和5年度
4.	研究予算：(R3年度) 1,368千円、(R4年度) 2,648千円、(R5年度) 901千円
5.	研究の種類：経常研究
6.	<p>研究の要旨</p> <p>鉄軌道輸送において安全の確保は最大の使命であり、近年、関係者の努力の結果事故件数は減少傾向にあるものの、令和3年度においては、542件の運転事故が発生している。そのうち踏切事故は217件発生し、運転事故の約2/5を占めている状況である。また、踏切事故の約1/5は地方鉄道で発生している。地方鉄道においては、低コストかつ効果が高い踏切の安全性向上策が必要である。</p> <p>そこで、自動車分野で普及が進められている車車間通信及び路車間通信、ならびに汎用技術を利用し、低コストな安全性向上策を検討して支援モデルシステムの基本設計を行うとともに、向上策の効果評価を行うための指標の検討及び評価方法の検討を行い、それらを適用したケーススタディの手順を考察した。その結果に基づき、踏切事故を削減可能な支援システムの技術的要件の提案及び効果評価手法の骨子の提案を行った。</p>
7.	<p>研究計画の変更等に関する説明</p> <p>当所、地方鉄道で利用されている第一種踏切及び第三種踏切における安全性向上支援システムの効果を評価するための評価指標、評価手法、及び必要とされる安全性向上支援システムの技術的要件の提案を行う計画としていたところ、「第四種踏切の対策を優先すべき」とのご意見のもと、第四種踏切を対象として計画変更を行った。</p>
8.	<p>得られた主な成果とその効果</p> <p>(1) 効果評価手法の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄道総合技術研究所鉄道技術推進センターでデータベース化されている「鉄道安全データベース」を利用して分析を実施。 ・その結果、踏切種別毎の事故割合と踏切箇所数から、踏切種別毎の事故確率を求めた結果、第4種踏切は第1種踏切及び第3種踏切の2倍近い事故確率があることが確認された。 ・第4種踏切の自動車等の支障原因は、8割以上が直前横断であることが確認された。 ・これらの結果を踏まえ、第4種踏切自動車等に対する「直前横断」対策における、評価指標及び評価方法について検討を行い、以下の通りとなった。 ・報知可能範囲、報知タイミング、報知方法、処理遅れ、通信タイミング、列車位置精度 <p>(2) 技術要件の検討と具体的システムの基本設計</p> <ul style="list-style-type: none"> ・(1)で検討された第4種踏切自動車等に対する「直前横断」対策について、第4種踏切に対する評価モデルシステム要素設計・試作を行った。 ・以下に示す仕様を元に、各要素設計を行うとともに、試作機を作成し、要素技術の機能確認試験を実施した。 <ul style="list-style-type: none"> ・列車位置・速度情報の取得方法 : GPS の利用 ・列車位置・速度情報の伝達方法 : WiFi の利用 ・踏切における支援情報の提供方法 : IoT 技術、モバイルバッテリー、太陽光発電の利用 ・踏切を模擬した地点から800m手前において列車の位置を検知開始することが確認された。 <p>(3) 技術要件と効果評価手法の提案</p> <ul style="list-style-type: none"> ・(2)で検討された第4種踏切に対する基本設計したモデルシステムに対し、WiFiにおける要件不足に対応するために沿線装置を利用する構成に変更を加え、技術要件を取りまとめ、その妥当性について検証を行った。 ・また、協力いただいた鉄道事業者からの意見及び安全関係に詳しい弁護士と意見交換の結果、本システムを実用化するにあたり必要とされる事項について整理を行った。 <p>これらの成果は、今後、通信を利用した第4種踏切支援装置を開発されるにあたり、今回提案した技術要件に基づき開発されることにより、第4種踏切の安全性向上につながる支援装</p>

置の開発が期待できる。また、モデルシステムの実用化を目指したシステムの具体化を行った上で、本システムの長期モニタリングを行うことにより効果評価を行うことができる。

II. 評価結果

<p>1. これまでの研究の進め方（手順、手段、手法）は適切であったか [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 指摘のあった「通過台数を考慮」はその通りである。列車数を考えたかどうか。 	<p>4. 3</p>
<p>2. 研究のレベルはどうであったか（最終結果の到達度を含む） [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 技術的な成立性はある程度見極められているので、今後は社会受容性を含めた適用の方向性（ガイドラインの提案等）の検討に期待する。 ・ 低コストを念頭に検討されていた。 ・ 技術的検討としては実験検証も含め良い成果が得られている。 	<p>4. 1</p>
<p>3. （当初の計画からの変更があった場合、）その理由・内容は適切か [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 優先度の高い対象にテーマを変更していることは適切だと考える。 ・ 優先度を第4種踏切に与えたというのは社会的要請に応じた適切な変更であったと考える。これが第3種踏切の検討にどのようなプラスの影響を与えるかについての言及があると更に良かったと思う。 	<p>4. 5</p>
<p>4. 研究成果の発表状況は適切か [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 予稿集が6ページある研究会や部門大会など、より本格的な成果公開ができると望ましいと思う。 	<p>3. 8</p>
<p>5. 得られた成果から社会的効果が期待されるか（社会的有用性） [評価委員からのコメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 社会的問題となっている第4種踏切に対する対策の研究成果は期待される。 ・ 現時点の成果のみでは限定的な社会的効果に留まるが、この成果に基づく補助金による実装の進展など継続的な取組みを通じて、大きな広がりを持った実装に結実することを期待したい。重要性が高く社会的インパクトの大きなテーマである。 ・ 実用にはさらに検討が必要だが、第4種踏切事故対策の一つの方向性として重要と思う。 	<p>4. 4</p>
<p>○ 評価委員のその他コメント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 社会的にも極めて重要な課題であり、実用化に向けた取組みを加速させることを強く期待する。 ・ 言及されていたが、普及のためには有限責任に留まる。「ガイドライン」の検討が急がれる。 ・ 熱意を感じさせる発表は説得力があった。本質的に社会的重要性の高い研究テーマであるとする。国土交通省の受託など、より規模の大きな外部資金の獲得による本格的な研究の推進も積極的に考えても良いのではないかと感じる。 ・ まず、運行頻度と事故発生数の関係を見て、どういう現場において事故が起きやすいかを明らかにできないか。警報機の無いことが第4種踏切の事故が多い原因だとすれば、第4種踏切を通過する際に列車が音を出すなどの対応ができないか。踏切側だけではなく、列車側での対策も考えられるのではないかと感じた。 ・ 第4種踏切対策は最重要課題の一つであり、今後の鉄道事業者への展開が重要。鉄道システムの省力化と併せて全体で考える問題である。 ・ 第4種踏切の事故対策は難しい課題であるが、事故が続く以上、考えられるところから実現していく必要がある。システム的に行うもの、視覚的、人力的な単純な工夫、渡る側の教育も含めて、総合的に対策を検討していくことが重要と思う。 	

Ⅲ. 評価委員のコメントに対する意見、対応等

- ・「事故が起きやすい現場」という観点で、運行頻度と事故発生数等の関係については確認していき、より効果の高い場所、より効果の高い対策などを引き続き検討をしていきたいと思えます。
- ・第4種踏切支援装置は社会受容性を十分に検討する必要があることが、今回の研究を行うに当たり確認された事項の一つでしたので、如何に社会受容性を高めることができるか、鉄道事業者に不要なリスクを与えないかという点について、あらゆる視点から、引き続き検討を進めていきたいと思えます。
- ・評価委員の方々からも本テーマに対し、高い期待をいただいたと認識しております。更なる研究開発の実施とともに、早急に実用化できるよう、資金面も含め関係者への協力を仰ぎながら進めてまいりたいとおもいます。また、成果についても、幅広く発表できるよう努力してまいりたいと思えます。
- ・なお、今回の成果の第3種踏切への適用についてですが、今回の実態把握の結果から第3種踏切は警報機があるにも関わらず直前横断による事故が多いことから、今回の成果とは別の検討が必要ではないかと考えております。
- ・今回は第4種踏切にフォーカスして研究を進めてきたが、地方鉄道においては、ご指摘の通り鉄道システム全般の省力化を考える必要があるかと思えます。今後、そのような視点で検討を進めていきたいと思えます。