

JARI Research Journal

2024年
12月
特集号
Journal

特集：「自動運転の技術開発と社会実装を支える」



表紙デザイン：

[illustAC](#) 様の[フリー素材](#)を利用させていただきました。ありがとうございます。

JARI Research Journal 2024 年度 12 月 特集号

特集：「自動運転の技術開発と社会実装を支える」

◆特集記事

【巻頭言】	特集「自動運転の技術開発と社会実装を支える」にあたって	p. 1～ (1 p)
	内田 信行（自動走行研究部）	JRJ20241201
【研究速報】	What Makes Conditional Automation Drivers Decide to Intervene? — A Driving Simulation with Expert Participants on Urban Streets — 何が条件付き自動運転への介入をドライバーに決断させるのか？ — 都市道路におけるエキスパートドライバによる運転シミュレーション —	p. 2～ (16 p)
	ムスリム フサム，安部 原也，北島 創，内田 信行（自動走行研究部）	JRJ20241202
【技術資料】	自動運転の安全性評価フレームワーク（Ver.3）の安全論証構造分析	p. 18～ (12 p)
	北島 創，中村 弘毅，村田 智良（自動走行研究部） 田口 研治（株 UL Japan），ウォレン 郁恵（UL Solutions）	JRJ20241203
【技術資料】	安全性評価シナリオ作成に向けたドローンデータ処理技術	p. 30～ (7 p)
	坂村 祐希，遠藤 駿，北島 創，中村 弘毅（自動走行研究部）	JRJ20241204
【研究活動紹介】	自動運転安全性評価のためのシナリオデータベースの開発	p. 37～ (6 p)
	安達 章人，古性 裕之，小西 薫（自動走行研究部）	JRJ20241205
【研究活動紹介】	レベル4自動運転移動サービスの社会実装に向けた安全設計・ 評価に係る取り組み —RoAD to the L4 における事例—	p. 43～ (12 p)
	長谷川 信，赤津 慎二，平岡 敏洋，谷川 浩（新モビリティ研究部）	JRJ20241206
【トピックス】	第30回 ITS 世界会議参加報告	p. 55～ (4 p)
	長谷川 諒，中村 弘毅（自動走行研究部）	JRJ20241207

●一般記事

- | | | |
|----------|--|-----------------|
| 【研究活動紹介】 | ヒト・モビリティ・ソサエティに関わるシミュレーション技術の高度化コンソーシアムの活動紹介 | p. 59 ~
(7p) |
| | 北島 創 (自動走行研究部) | JRJ20241208 |
| 【エッセイ】 | 東京大学高齢社会総合研究機構の経験 | p. 66~
(4p) |
| | 鎌田 実 (研究所長) | JRJ20241209 |
-

特集

「自動運転の技術開発と社会実装を支える」
にあたって*自動走行研究部 部長 [内田 信行](#)

近年、自動車産業における DX (Digital X- (Trans) formation : デジタル化により社会や生活の形・スタイルが変わること) への取り組みは、国際的な競争を勝ち抜く上で不可欠な状況となっています。特に SDV (Software Defined Vehicle) の登場によって従来のハードウェア中心の自動車開発から大きく変わりつつあります。具体的には、シミュレーション活用など開発過程のデジタル化により、自動化を含めた自動車技術の高度化が極めて効率的に進められるようになってきました (例えば、欧州 Tier1 サプライヤを対象とした調査では開発期間の削減効果が従来比で 3, 4 割減といわれています)。さらに米国・中国では、実用化の技術的難易度が高い一般道でのロボットタクシーの有償サービスが既に開始されており、無人自動運転によるモビリティサービスの社会実装が急速に拡大しています。

このような海外動向に対して、国内でも自動車産業の競争力を維持・拡大するために政府主導によるさまざまな活動がおこなわれ、直近では 2024 年 5 月に経済産業省と国土交通省から新しい産業戦略である「[モビリティ DX 戦略](#)」が発表されています。ここでは、「SDV」や「モビリティサービス」などの領域において業種を超えた議論を深め、自動車開発に関わる協調的な取り組みを拡大・推進していくという戦略が策定されています。「SDV」の領域については、とりわけコストや時間を要する自動運転開発でのシミュレーション活用促進がうたわれ、開発効率を加速するシミュレーション環境の整備において経済産業省「[SAKURA \(Safety Assurance KUdos for Reliable Autonomous Vehicles\) プロジェクト](#)」などの成果活用が期待されています。また「モビリティサービス」の領域については、2025 年度を目処に無人自動運転サービスの国内 50 カ所程度での実現や、高速道路でのレベル 4 トラックの実用化、さらには市街地で歩行者や他車両と混在する空間へのサービス拡張が計画され、省庁連携の国プロジェクトである「[自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス開発・社会実装プロジェクト \(RoAD to the L4\)](#)」で社会実装への取り組みが進められています。

一般財団法人日本自動車研究所 (JARI) では、研究事業戦略での目指す姿として『2050 年カーボンニュートラル / 事故死者ゼロ / 自由で便利な移動と物流』を掲げて研究・試験に取り組んでおりますが、自動運転における技術開発と社会実装の促進はこれら全てに関連する重要な課題です。JARI は先の「モビリティ DX 戦略」の SDV 領域での貢献が期待される SAKURA プロジェクト*1 での中心的な役割を担い、自動運転システムの安全性に関するシミュレーション評価に資するシナリオデータベースを自動車業界の協力のもとで開発しています。また、同プロジェクトでは社会実装の際に不可欠な安全性評価に関する基準や標準についても一般社団法人日本自動車工業会 (JAMA) と緊密な連携のもとで知見を提供しています。さらにはモビリティサービス領域における RoAD to the L4 などさまざまな国のプロジェクトに参画しており、国内における自動運転の社会実装に向けた取り組みをおこなっております。

今回の特集号では、上記のプロジェクト成果の一部と共に JARI 独自の研究・取り組みの成果についてもまとめております。関係各位の一助となれば幸いです。

* 2024年11月14日受理

*1 内田 信行, 北島 創: JARIシンポジウム JARI取り組み紹介: 自動運転車の安全性評価について—SAKURAプロジェクトの現状報告—, JARI Research Journal, JRJ20240801 (2024), [doi:10.60458/jarijrj.JRJ20240801](https://doi.org/10.60458/jarijrj.JRJ20240801)

What Makes Conditional Automation Drivers Decide to Intervene? *

— A Driving Simulation with Expert Participants on Urban Streets —

何が条件付き自動運転への介入をドライバーに決断させるのか？

— 都市道路におけるエキスパートドライバーによる運転シミュレーション —

[ムスリム フサム](#)*1

Husam MUSLIM

[安部 原也](#)*1

Genya ABE

[北島 創](#)*1

Sou KITAJIMA

[内田 信行](#)*1

Nobuyuki UCHIDA

Abstract

As the deployment of conditional Automated Driving Systems (ADS) becomes increasingly prevalent, particularly in urban settings, there is a potential that users may not comply with the system's behavior and may manually override it based on their own judgment, even without a Request to Intervene (RtI) from the system. Such driver-initiated interventions could pose a risk to the safety of automated driving. This study simulated a scenario where a conditionally automated vehicle overtook a parked vehicle on a two-lane street with oncoming traffic to examine the circumstances surrounding driver-initiated interventions. The results revealed that all instances of manual override were executed by pressing the brake pedal and seizing the steering wheel while the automated vehicle was approaching the parked vehicle in close proximity to the oncoming traffic traveling in the opposite direction. Out of the 23 participants, 12 expressed confidence in the system's decision-making and performance, 9 felt generally safe but experienced specific apprehensions and discomfort about the system's operation, and 2 expressed concerns about safety issues related to the system's perception and proximity to surrounding vehicles. These findings offer valuable insights into the factors and patterns of driver intervention and can inform the design of ADS.

KEYWORDS: automated driving behavior, automation disengagement, driver expectation, overtaking gap, open-ended questionnaire, trust

1. Introduction

Automated driving systems (ADS) have garnered significant attention owing to their potential to revolutionize transportation by improving safety, efficiency, and accessibility. As these systems evolve, it is crucial to understand human-automation interactions in complex and dynamic scenarios¹⁾. This study contributes to this understanding by investigating the effects of surrounding traffic on driver interactions with conditional automation (Level-3 automated driving) for different overtaking maneuvers on a two-lane, undivided street. The focus is on Level-3 automated driving, where the system can handle specific driving tasks without human monitoring, but requires human intervention in certain situations, particularly when the system issues a Request-to-Intervene (RtI)²⁾.

Allowing users of conditional automation to disengage from the primary driving task presents unique challenges related to the RtI protocols³⁾. Drivers may struggle to regain situational awareness and take control promptly, particularly if the system unexpectedly requests intervention or in critical situations⁴⁾. On one hand, time constraints

* 2024年8月19日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士(工学)

Dr.Eng Autonomous Driving Research Division Japan Automobile Research Institute

coupled with the need to comprehend the situation and take appropriate action can introduce cognitive overload and increase the risk of errors⁵). On the other hand, drivers' trust in ADS may be undermined if they experience frequent or untimely RtI requests, impacting the overall system reliability and human acceptance of the technology⁶). While addressing these issues is crucial for enhancing the safety, usability, and acceptance of ADS, understanding driver interventions in automated driving, even without system prompts, is crucial for optimizing human-automation interactions⁷).

Studies have indicated that driver trust in ADS can fluctuate based on system performance and prior experience⁸). Over time, drivers may develop trust in automation, leading to reduced vigilance⁹). However, when faced with uncertain or risky situations, they may intervene to maintain their sense of control and mitigate perceived risks. Loss of situational awareness or perceived loss of control can trigger driver intervention in ADS¹⁰). Factors such as unexpected system behaviors or environmental uncertainties can prompt drivers to intervene, reflecting their desire to reassert their role in driving tasks¹¹). In addition, individual traits, such as preference for control or propensity for complacency, play a significant role in intervention decisions¹²). Drivers' over-trust in automation or sense of complacency can lead to interventions as a means of maintaining a perceived level of safety and control¹³).

Instances of system errors, malfunctions, or perceived unreliability can trigger proactive interventions from drivers¹⁴). Ensuring safety and preventing accidents in the face of automation failures or uncertainties can motivate drivers to take over driving tasks¹⁵). Legal and ethical concerns surrounding ADS usage can also influence drivers' intervention behaviors¹⁶). Compliance with regulations mandating human oversight in certain driving contexts, or ethical dilemmas regarding automation decision-making, may prompt interventions even without direct system requests¹⁷).

Poor communication between the ADS and driver regarding system limitations and RtI can hinder effective human-automation collaboration¹⁸). Inadequate feedback mechanisms or the vehicle's unclear signaling of system limitations may impede drivers' understanding of when and why interventions are required¹⁹). The transition point between automated and manual driving modes may be unclear, leading to challenges in determining when and how drivers should intervene²⁰). These challenges become particularly pronounced during role transitions between humans and automated controls, where mismatches in perception, expectations, and system behavior can compromise safety²¹).

Moreover, the potential for drivers to intervene in controlling the vehicle, even when the system deems a maneuver safe²²), raises questions about the extent to which human perception conflicts with ADS actions. This highlights the need for investigations into the subjective assessments of the system under potentially hazardous scenarios. These investigations were guided by the following three research questions.

- (1) Why do drivers intervene in automated driving without an RtI?
- (2) How do drivers' overtaking behaviors compare with those of ADS in the same traffic situations?
- (3) To what extent does the mismatch between driver perception and ADS action impact subjective assessments of the system?

This study aimed to address these questions by conducting a driving simulation experiment, exploring human-automation interactions in scenarios where human intervention is not required. The experiment involved participants with academic and professional backgrounds in related fields. The investigated scenarios simulated a conditionally automated vehicle approaching a stopped vehicle, blocking its driving lane on a two-lane, undivided city road. The ADS demonstrated different overtaking behaviors depending on the surrounding traffic conditions, particularly the overtaking gap in the opposing lane. This study investigated the impact of ADS behavior and surrounding traffic on driver perception, expectations, and motivation to override automation. Participant feedback is expected to provide nuanced insights into the design and deployment of automated vehicles in real-world scenarios.

2. Method

2.1 Driving Simulation Experiment

The experiment involved 23 participants (one female; $\text{Mean}_{\text{age}} = 41.47$; $\text{STDEV}_{\text{age}} = 10.99$), all of whom were researchers at Japan Automobile Research Institute (JARI). The inclusion criteria were a minimum of five years of driving experience and three years of research experience in automotive engineering, human factors, psychology, or related fields. This background ensures a sophisticated understanding of the technical and human-centric aspects of automated driving. The study adhered to ethical guidelines and the participants provided informed consent before participating. Confidence in participant data was maintained throughout the study, and any identifiable information was anonymized during data analysis and reporting.

The experiment was conducted using JARI's driving simulator equipped with high-fidelity graphics, motion simulations, and a comprehensive set of vehicle controls (Fig. 1). The simulator provided a realistic virtual environment for participants to experience various driving scenarios using a 360-degree projected field of view. The participants and experimental situation were monitored by two experimenters from a separate control room. During the experiment, communication between the participants and experimenters was maintained using microphones and speakers. The experimental data were recorded at 60 Hz.

In this experiment, we implemented conditional driving automation on an urban (residential) roadway with two opposing lanes separated by a white dotted lane. Automated driving could be activated and deactivated using a button attached to the right side of the steering wheel (see the bottom right part of Fig. 1). The status of the system and surrounding traffic were displayed via a human-machine interface (HMI) on the dashboard (see the bottom left part of Fig.1). When the HMI changes from manual driving mode to automated driving mode, drivers can relax and enjoy any activity they like to do, except leaving the driver's seat, unbuckling the seatbelt, or falling asleep. The automated driving mode can also be deactivated when the driver rotates the steering wheel or pushes the brake or gas pedals.



Fig. 1 Top left: structure of the driving simulator.
Top right: simulator's interior.
Bottom left: HMI screen used to display the status of the system and the surrounding environment.
Bottom right: red circled button used to activate and deactivate automated driving mode.

2.2 Experimental Scenarios

The driving environment simulates a residential area with a straight roadway containing two lanes (Lane-1, Lane-2) with opposite directions of travel separated by a white dotted lane marks, as shown in Fig. 2. All drives were conducted in daylight with clear weather and visibility conditions at a maximum speed limit of up to 40 km/h. The scenarios started with a conditionally automated vehicle (AV) traveling at 40 km/h in Lane-1 in the presence or absence of a leading vehicle (LV), and with other oncoming vehicles (OV) traveling in the opposite direction in Lane-2. Participants had to start the AV manually, shift the gear to drive, and press the system activation button while releasing their hands and feet. When the HMI changes from manual driving mode (HMI-1 in Fig. 2) to automated driving mode (HMI-2 in Fig. 2), drivers can practice hands, feet, and eyes-free driving. The HMI continuously shows changes in the surrounding traffic conditions, such as the existence of a leading vehicle or passing and approaching oncoming vehicles (HMI-3 in Fig. 2). When the AV approaches a stopped vehicle (SV) blocking Lane-1 (HMI-4 in Fig. 2), the system decelerates to check the safety and availability of Lane-2 to perform an overtaking maneuver. If there is no OV in Lane-2, the AV changes lanes to overtake the SV without the need to make a full stop (HMI-5 in Fig. 2). However, if there are one or more OVs, the AV makes a full stop until Lane-2 becomes clear in order to perform the overtaking maneuver.

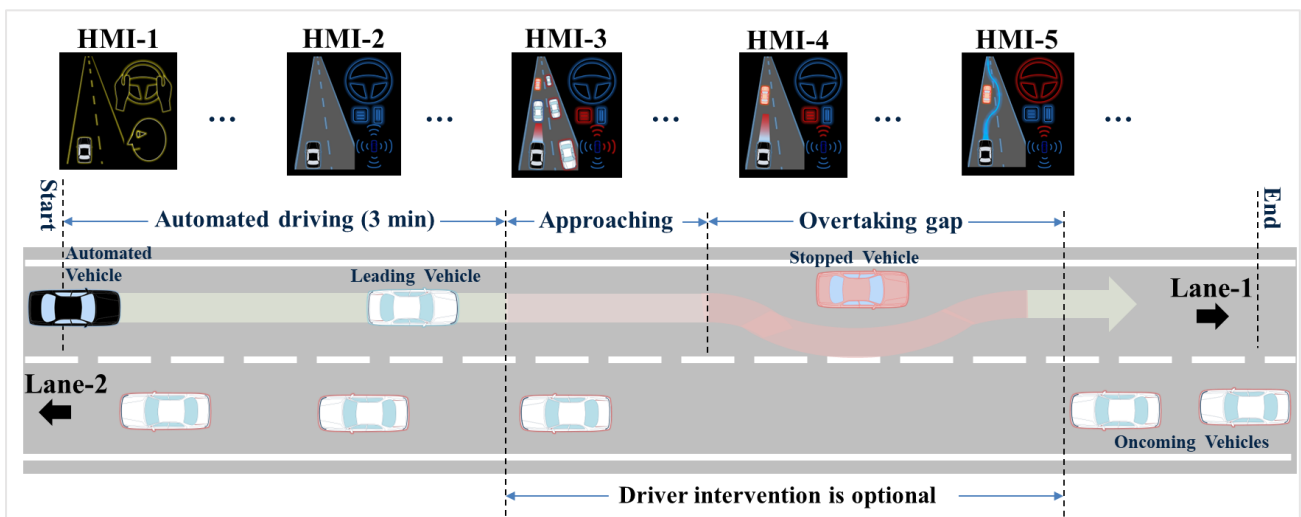


Fig. 2 The investigated scenarios and samples of HMIs are displayed to the driver during manual and automated driving. Lane-1 and Lane-2 represent opposite directions of the roadway. An automated vehicle travels at 40 km/h in Lane-1. Oncoming vehicles pass at 40 km/h in Lane-2. A stopped vehicle is blocking Lane-1 entirely or partially. A leading vehicle may or may not exist in front of the automated vehicle.

The lateral position of the SV differed between the scenarios. The SV can be stopped at the center of Lane-1, leaving a tight clearance space to the right or slightly to the left of Lane-1, such that the SV blocks half of Lane-1 leaving a wider space to the right. The AV overtaking decision was based on the available longitudinal clearance distance in the opposite lane (the overtaking gap), disregarding the lateral position of the SV. For the LV, as a manually driven car, the overtaking decision was made based on the lateral position of the SV and the longitudinal clearance distance in Lane-2. For example, if the SV is stopped at the center of Lane-1 with an insufficient overtaking gap in Lane-2, both the AV and LV stop behind the SV until a sufficient gap becomes available, whereas if the SV is stopped on the left side of Lane-1 with a wider space to the opposite traffic, the LV may overtake the SV without a full stop using the lateral space between the SV and the oncoming traffic, disregarding the overtaking gap. However, the AV, as a system-driven car, may not overtake the SV by driving close to the oncoming traffic, as the system considers it a dangerous maneuver, and hence, it cannot be performed under the automated driving mode.

The participants were informed that while alerts and RtI are expected in conditional automation, the current system would not issue an RtI throughout all scenarios; therefore, the participants had the option to continue automated driving unless they felt the need to intervene for safety reasons or disagreed with the system's decision and behavior. This was because the system was designed to handle all scenarios, even if the participants did not intervene. However, the participants were not informed of this.

2.3 Experimental Design

This study employed a $2 \times 2 \times 3$ within-subject factorial design, utilizing three independent variables to generate 12 distinct scenarios, as shown in Fig. 3. The three independent variables under investigation were the lateral position of the stationary vehicle (two levels), presence of a leading vehicle (two levels), and availability of an overtaking gap in the opposing lane (three levels). The lateral position of the SV and availability of an overtaking gap were set to investigate the effects of space and time constraints on driver responses. However, the reason for setting the presence and absence of an LV was to investigate the effects of other drivers' behavior on participants' perceptions, expectations, acceptance, and willingness to intervene.

The SV was positioned either at the center of the lane, fully obstructing the path of the AV, or slightly to the left of the center lane, partially obstructing the path of the AV. In both scenarios, the AV was required to deviate its course towards the opposing lane to overtake the stationary vehicle, irrespective of the presence or absence of an LV.

The AV's overtaking behavior varied depending on the available overtaking gap in the opposing lane, which was categorized based on the time headway (THW) between consecutive OVs. If the AV deemed this gap sufficient to execute a full overtaking maneuver at a speed of less than 20 km/h, the system performed a flying overtaking without necessitating a full stop before the SV. This type of overtaking was referred to as a one-step overtaking maneuver. However, if the AV considered this gap insufficient for a full overtaking maneuver, the system opted to wait behind the SV until an appropriate overtaking gap materialized. Once a sufficient gap in the oncoming lane was identified, the system accelerated to overtake SV. This type of overtaking was referred to as a two-step overtaking maneuver. The categories and their corresponding overtaking maneuvers (one-step or two-step overtaking) are as follows:

Stopped vehicle position	No Leading Vehicle			Leading Vehicle		
	No oncoming vehicle	Near oncoming vehicles	Far oncoming vehicle	No oncoming vehicle	Near oncoming vehicles	Far oncoming vehicle
Center	Scenario-1 	Scenario-2 	Scenario-3 	Scenario-4 	Scenario-5 	Scenario-6
Left-side	Scenario-7 	Scenario-8 	Scenario-9 	Scenario-10 	Scenario-11 	Scenario-12

Legend: Automated vehicle AV Stopped vehicle SV Leading vehicle LV Oncoming vehicle OV

Fig. 3 The 12 investigated scenarios. The AV performs one-step overtaking in Scenarios (1, 4, 7, and 10) and two-step overtaking in Scenarios (2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, and 12). The LV performs one-step overtaking in Scenarios (4, 6, 10, 11, and 12) and two-step overtaking only in Scenario 5.

No oncoming vehicles: The THW between consecutive OVs was measured at 36 s, providing an overtaking gap of approximately 400 m (Scenarios 1, 4, 7, and 10 in Fig.3). The AV deemed this gap sufficient to execute one-step overtaking at a speed of less than 20 km/h, without necessitating a full stop before the SV.

Near-oncoming vehicles: The THW between consecutive OVs was measured at 3 s, providing an overtaking gap of approximately 33 m (Scenarios 2, 5, 8, and 11 in Fig.3). The AV considered this gap insufficient for one-step overtaking; thus, the system opted to wait behind the SV until an appropriate overtaking gap materialized. Once a sufficient gap in the oncoming traffic was identified, the system accelerated and overtook the SV.

Far-oncoming vehicle: The THW between consecutive OVs was measured at 24 s, providing an overtaking gap of approximately 266 m (Scenarios 3, 6, 9, and 12 in Fig.3). The AV deemed this gap insufficient for one-step overtaking unless the system maintained its speed at 40 km/h throughout the overtaking maneuver, which could potentially be hazardous. Consequently, the AV performed a two-step overtaking process.

For the LV, as a manually driven car, the overtaking decision was made based on the lateral position of the SV in addition to the overtaking distance in the opposing lane. In Scenarios 4 and 10, the LV overtook the SV at 40 km/h without deceleration, because there was no OV in the opposing lane. In Scenario 5, the LV stopped behind the SV because of the near-passing OVs. In Scenarios 6 and 12, the LV overtook the SV at 40 km/h to avoid a far-approaching OV. However, in Scenario 11, where the SV was located on the left of the lane center, the LV decelerated to 20 km/h and overtook the SV using the lateral gap between the SV and OVs. The overtaking behavior of the LV in Scenarios 6, 11, and 12 is considered risky by the system; therefore, the AV may not follow the LV's behavior in these scenarios.

2.4 Procedure

Upon arrival, all participants signed an informed consent form and were briefed on the study objectives, procedures, and safety measures before the driving experiment. Each participant underwent two familiarization sessions (10 min each) with the driving simulator to ensure that they were comfortable with the simulator controls and environment as well as with the activation and deactivation of the conditional driving mode. To introduce the participants to autonomous overtaking, their vehicles approached a blocked lane with traffic cones. Accordingly, the system decelerated and overtook the traffic cones using the opposing lane.

The 12 testing scenarios were presented in a randomized order to minimize potential order effects. After each scenario, participants were required to answer Likert-scale and open-ended questions to assess their subjective experiences, perceptions, expectations, and feelings of safety, contributing to a comprehensive evaluation of driver interactions with conditional automation in the given scenarios.

The participants were given a 10-minute rest after completing six of the 12 scenarios. The total duration of the experiment was two hours per participant. Throughout the experiment, participants were informed that the system would not issue an RtI; therefore, they had the option to continue automated driving unless they felt the need to intervene for safety or preference reasons.

2.5 Data Analysis

A power analysis was conducted to determine the sample size required to detect any significant effects. Accordingly, a selected sample size of 23 expert participants was deemed sufficient (non-centrality parameter $\lambda=8.40$, critical F-test = 2.11, numerator df = 3, denominator df = 30, and actual power = 0.80). Quantitative data obtained from the driving simulator, including driving behavior metrics and driving performance measures, were analyzed using statistical methods. Descriptive statistics and inferential analyses, such as t-tests and ANOVA, were employed to compare conditions and assess significant differences. Likert-scale questionnaires were analyzed using the rank-sum method. Qualitative data from the open-ended questions were analyzed thematically using Atlas.ti (version 22.0.2) to identify recurring patterns and themes related to driver perceptions and experiences during the simulated scenarios.

3. Results

3.1 Objective Data

Table 1 details the number of system disengagements due to driver interventions, which also represents the number of manual overtaking maneuvers categorized by the three experimental conditions. Of the 276 overtaking events, 219 were performed by the system and 57 were performed by the participants who intervened. Among the 12 scenarios, the minimum number of driver interventions was 1/23 (scenarios 4 and 7) and the maximum number was 9/23 (scenarios 3 and 9). In terms of the SV's lateral position, there were 30 driver interventions when the SV was in the center of the lane, and 27 driver interventions when the SV was located to the left of the lane center. There were 31 driver interventions when there was no LV, compared to 26 interventions that occurred when the AV was following an LV.

More takeovers occurred during two-step overtaking scenarios than during one-step overtaking scenarios. Such a difference can be attributed to drivers' safety concerns owing to approaching OVs in the opposing lane. Drivers tended to override the system more when there was a distant OV than when there were nearby OVs. They expressed concerns regarding the system's ability to detect distant OVs.

Table 1 Number of driver interventions categorized by driving conditions (stopped vehicle position, existence of a leading vehicle, and overtaking gap)

SV Position	No LV			LV			Total
	No OV	Near OV	Far OV	No OV	Near OV	Far OV	
Center	3/23	6/23	9/23	1/23	3/23	8/23	30/138
Left	1/23	3/23	9/23	3/23	3/23	8/23	27/138
Total	31/138			26/138			57/276

The behavior of AVs during an overtaking event can be delineated into four discrete stages: approaching the SV, changing lanes toward the opposing lane, passing the SV, and returning to the original lane. More than half of the driver interventions occurred during the approaching stage. Specifically, 32% of the interventions occurred when the AV veered into the opposing lane, 5% during the passage through the opposing lane, and 12% during the return to the original lane. These intervention patterns indicated diverse individual perceptions and preferences in comparable situations. For instance, some drivers intervened because they perceived a considerable longitudinal gap between the AV and SV during the approaching stage, whereas others intervened because they perceived the distance as too close.

Fig. 4. presents the average time taken by the driver and system to complete an overtaking maneuver starting from the point where the vehicle started deviating toward the opposing lane, intending to overtake the SV to the point where the vehicle returned to its original lane and started traveling straight forward. The data indicate that drivers completed the overtaking maneuvers faster than the ADS. However, the analysis revealed significant differences only when the overtaking gap was critical for the system and confusing for the driver (Scenarios 3, 6, 9, and 12).

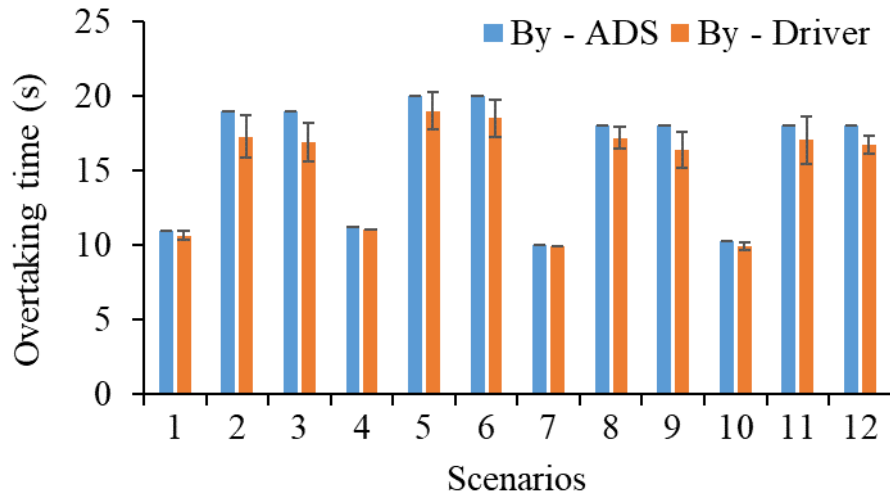


Fig. 4 Mean and standard deviation of the time required to complete a full overtaking maneuver by the driver and ADS.

Fig. 5 shows the AV's maximum lateral speed (bottom) and acceleration (top) during overtaking maneuvers by the driver compared with those performed by the ADS. The maximum lateral speed and acceleration were measured as the maximum values of the AV's speed and acceleration on the y-axis while changing lanes toward the opposing lane (positive values) and returning to its driving lane after passing SV (negative values). The lateral speed and acceleration of the ADS were set for a smooth lane change and lane return performance, considering the lateral position of the SV and the overtaking gap. ADS performed one-step overtaking at a higher longitudinal speed, and hence, a higher lateral speed. Generally, human drivers maintain a higher lateral speed than the ADS. The analysis indicated significant differences in the lateral speeds of the driver and ADS in all scenarios, except for Scenarios 1 and 5.

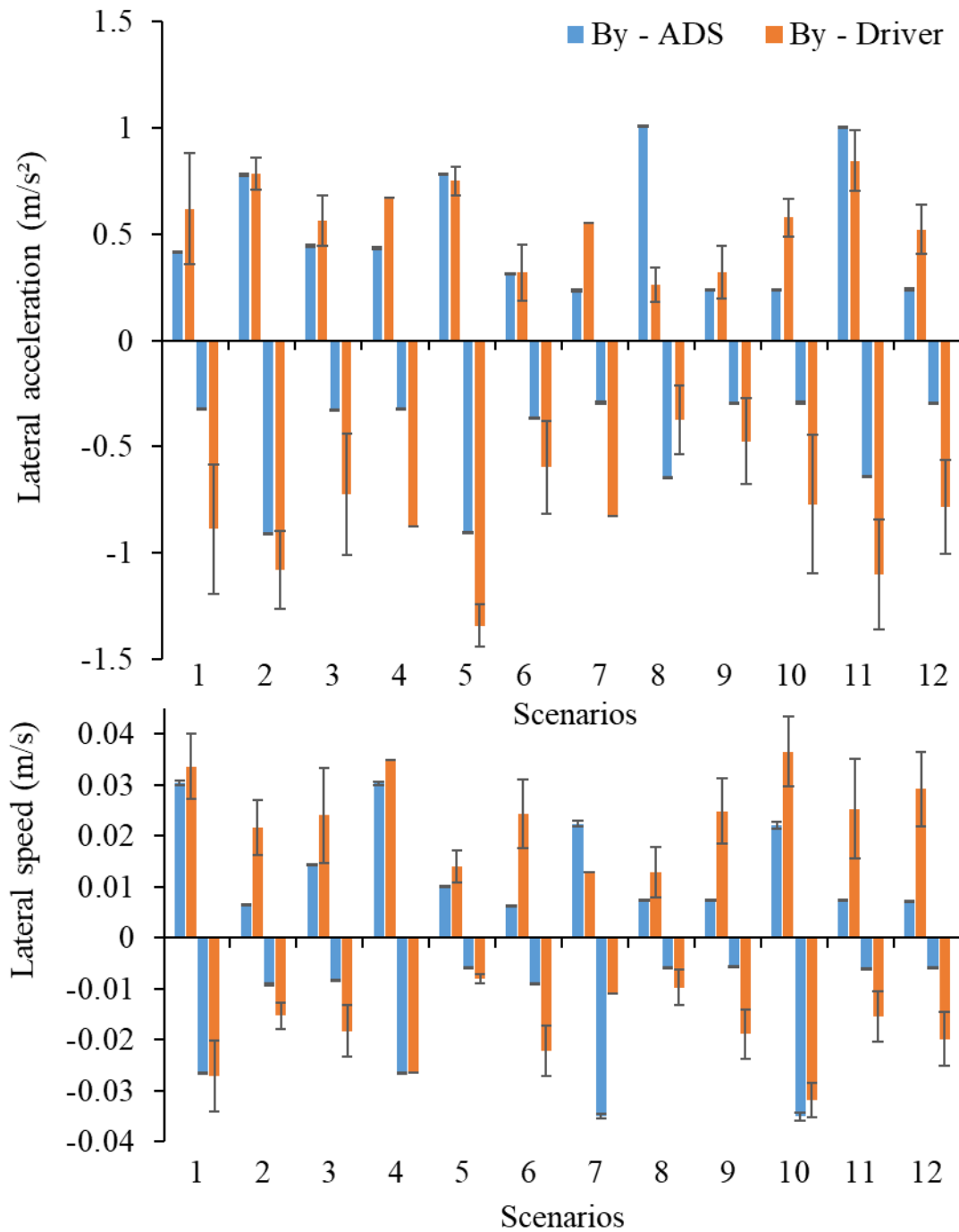


Fig. 5 Mean and standard deviation of lateral vehicle speed (bottom) and acceleration (top) during autonomous and manual overtaking maneuvers. Positive values refer to lane changes, and negative values refer to lane returns.

In all scenarios, the lateral acceleration values were within the normal range required to perform nonhazardous overtaking maneuvers at speeds lower than 40 km/h²³). In accordance with the lateral speed values, the lateral accelerations maintained by the drivers were generally higher than those of ADS. The T-test revealed significant differences ($p < 0.05$) in the lateral accelerations between the driver and ADS in Scenarios 1, 3, 4, 7, 9, and 11.

3.2 Subjective Data

The participants' trust in and willingness to use automated vehicles were subjectively assessed before the driving experiment (i.e., based on the participants' general knowledge and experience) and after the driving experiment (i.e., based on experiencing the current experiment). The results indicated that trust in automated vehicles after the driving experiment (mean = 4.56, SD = 0.63) was higher than before the driving experiment (mean = 3.69, SD = 0.61). However, their willingness to use automated vehicles before the driving experiment (mean = 4.34, SD = 0.73) was comparable to their ratings after the experiment (mean = 4.80, SD = 0.61). Previous studies have found that driving experience can increase self-reported trust in automation ²⁴). However, depending on the context, driver experience may lead to a decrease in other measured constructs such as the feeling of safety and willingness to use ²⁵).

Fig. 6 illustrates the drivers' ratings on how satisfied they were with the ADS overall performance, and whether ADS driving behavior was consistent with their expectations and why. While most of the ratings were above the ideal average (3.5), the participants tended to rate the system in scenarios where the SV was located to the left of the lane center higher than in scenarios where the SV was in the lane center. Statistically significant differences were found between Scenarios 1 and 7 and Scenarios 2 and 8 ($p < 0.05$), indicating the potential effect of the lateral position of the SV. The effect of the overtaking gap on the participants' ratings became stronger in the presence of a leading vehicle, particularly when the overtaking gap was insufficient. In addition, the data show that the effect of the LV's existence became stronger when the SV was in the lane center, reducing the driver's ability to check the oncoming traffic.

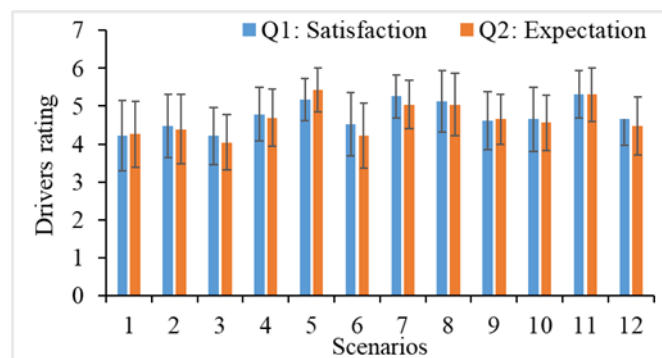


Fig. 6 Subjective evaluation of driver satisfaction and expectations of ADS in the situation.

Fig. 7 presents the driver's desire to intervene and resume control over the vehicle. In general, there were 57 "I intervened" responses, 108 "I wanted to intervene" responses, 110 "I did not want to intervene" responses, and one "I do not know" response. In terms of the SV's lateral position, the results of the rank-sum test indicated a significant difference between Scenarios 1 and 7 and between Scenarios 2 and 8 ($p < 0.05$). Considering the existence of an LV, the analysis revealed significant differences between Scenarios 1 and 4, 2 and 5, and 7 and 10 ($p < 0.05$). The analysis showed a significant effect ($p < 0.05$) of the overtaking gap on driver motivation to intervene under all the driving conditions. It is apparent from this figure that drivers are more motivated to intervene under challenging overtaking gap conditions (far oncoming vehicles) than under sufficient or insufficient overtaking gap conditions (no oncoming and near oncoming vehicles, respectively). It can also be observed that the driver's desire to intervene when the SV is in the lane center is greater than when the SV is to the left of the lane center. Interestingly, the effect of the LV existence on driver intervention when the SV was in the lane center was the opposite of its effect when the SV was to the left of the lane center. The former effect caused a decrease in driver intervention, whereas the latter caused an increase in driver intervention and a desire to intervene.

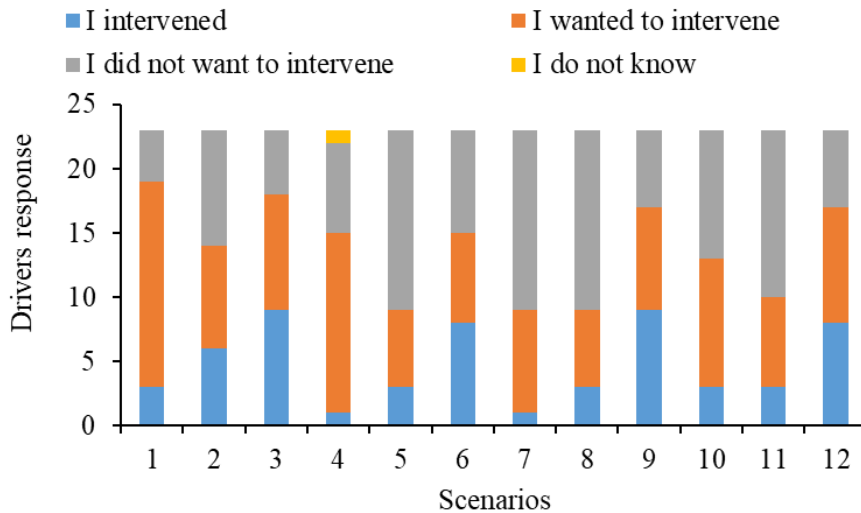


Fig. 7 Driver reaction or feelings towards system decisions and behavior under each driving condition.

Fig. 8 provides summary statistics for the drivers' expectations of the AV's response to a stopped vehicle. The responses rates were 83% of the responses were "I expected that AV will overtake SV," 11% of the responses were "I did not expect that AV will overtake SV," and 6% of the responses were "Neither." No significant differences were observed between the scenarios. This can be attributed to participants' prior knowledge of the system's capability to perform overtaking maneuvers. In addition, participants experienced automated overtaking during the familiarization drive. Interestingly, the participants' responses to question three and question four did not show similar trends. For example, the majority of those who intervened or wanted to intervene expected the system to overtake the stopped vehicle. Therefore, it can be inferred that the drivers' tendency to override the system was not affected by their expectation of whether the system could perform the maneuver required in the situation. In terms of the investigated scenarios, the drivers' tendency to override the system can be related more to trust and complacency or HMI issues, leading to miscommunication between the driver and system.

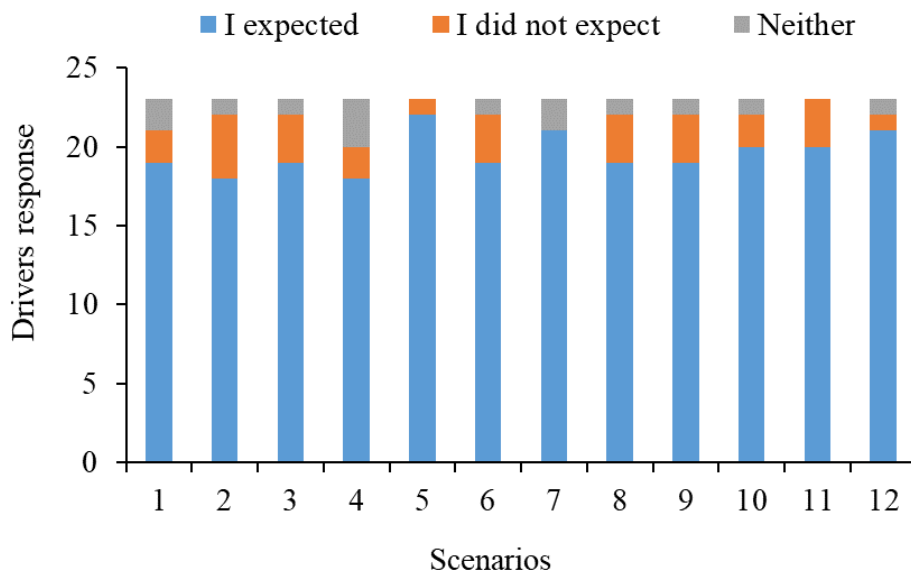


Fig. 8 Evaluation of driver expectations of the system's ability to overtake the stopped vehicle.

Table 2 summarizes the participants' responses to the open-ended questions. Participants expressed their preferences for faster deceleration and smoother overtaking maneuvers as well as the desire for the system to provide more timely and accurate information about the surrounding traffic. There were concerns about the system's ability to perceive and respond to the situation properly, particularly regarding far-approaching oncoming vehicles and lane-change timings. While some participants expressed a willingness to take control in specific situations where they felt the system was too slow or cautious, others indicated satisfaction with the system's overall behavior, particularly in managing the overtaking process and recognizing the surrounding traffic.

Table 2 Categorization of participants' responses to self-report questionnaires after each driving condition. The count column represents the number of participant responses in each category for the corresponding question.

Questions	Category	Description	Count
1)	How satisfied were you with the autonomous driving system?		
A	Positive Feedback	Participants were satisfied with the system's overall performance	120
B	Concerns about Speed	Participants expressed concerns about the system's speed (higher or slower than required)	30
C	Concerns about Deceleration	Participants expressed concerns about the system's deceleration when approaching the stopped vehicle (harder, slower, or earlier than required)	48
D	Concerns about Lane Change	Participants expressed concerns about the system's overtaking behavior using the opposite lane	60
E	Concerns about Perception	Participants expressed concerns about the system's ability to perceive oncoming vehicles	48
2)	Was this system consistent with your expectations of the ADS?		
A	Positive feedback	Participants expressed satisfaction with the system's driving	120
B	Concerns about Speed and Spacing	Participants expressed concerns about the system's speed, inter-vehicle distance, and lateral clearance distance	31
C	Concerns about Deceleration and Braking	Participants expressed concerns about the system's deceleration when approaching the stopped vehicle	48
D	Concerns about Lane Change and Lane Return	Participants expressed concerns about the system's lane changing to the opposite lane and returning to the original lane.	60
E	Concerns about Perception	Participants expressed concerns about the system's ability to perceive oncoming vehicles	30
3)	When approaching the stopped vehicle, did you want to take control of the vehicle (e.g., want to respond by yourself)?		
A	Safety Concerns	Responses that express safety concerns about the system's performance	216
B	Driving Control	Responses that express a desire to take over control due to concerns about the system's speed and reaction to oncoming vehicles	192
C	Trust in System	Responses that express trust in the system's performance and no need to intervene	36
4)	Did you expect the system to overtake the stopped vehicle?		
A	Expectations Met	Responses that express that the system met their expectations	108
B	Expectations Unmet	Responses that express that the system did not meet their expectations	108
C	Concerns about Safety	Responses that express safety concerns about the system's ability to overtake	60
5)	Was it safe?		
A	Safe	Responses that express a feeling of safety	198
B	Unsafe	Responses that express a feeling of unsafety	48
C	Slightly Unsafe	Responses that express a feeling of having slight safety concerns	30

Fig. 9 captures the range of responses from the participants and provides a basis for understanding their overall perceptions of ADS. Participants' feedback on the system behavior during the experiment encompassed several key themes. Positive appraisals were frequent, with participants commending with the stability of the system and smooth driving. They noted its effective waiting behavior for oncoming vehicles, appropriate reactions to stopped or front vehicles, and commendable timing and deceleration, particularly in scenarios requiring lane changes and overtaking maneuvers. The participants also appreciated the system's adherence to safety protocols, such as proper stopping to allow oncoming traffic to pass before changing lanes. Additionally, the participants found the system's behavior to be reflective of their driving styles, a factor contributing to their overall positive perceptions.

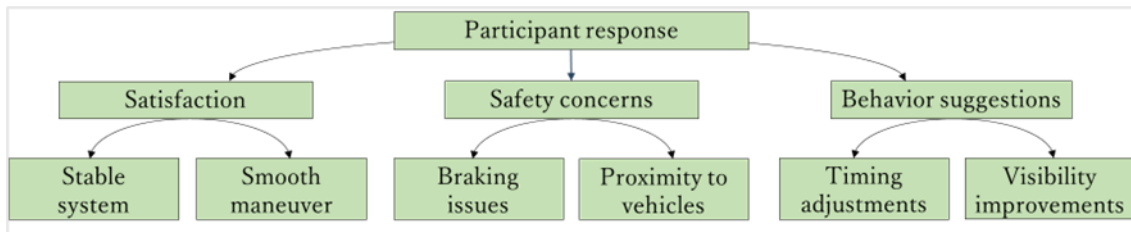


Fig. 9 Summary of participants' responses to the open-ended questions after each scenario.

However, concerns regarding the speed of certain maneuvers were prevalent. Participants expressed dissatisfaction with the perceived slowness of lane changes and braking, along with perceived delays in returning to the original lane after completing the overtaking maneuvers. These concerns underscore the importance of efficient and timely system response to ensure driver confidence and comfort.

Safety-related apprehensions were also prominent among the participants. These included concerns regarding the ability of the system to accurately confirm the presence of oncoming vehicles, leading to feelings of uncertainty and unease during overtaking maneuvers. Participants also raised visibility issues related to the lead vehicle and expressed worries about the system's proximity to oncoming vehicles, emphasizing the critical role of clear communication and perception in enhancing driver trust in automated systems.

Additionally, participants identified HMI issues, particularly instances in which the HMI failed to display oncoming vehicles or provide sufficient information for safe maneuver execution. These observations suggest the need for intuitive and informative HMIs in ADS to enhance driver situational awareness and decision making.

Suggestions for system improvement included enhancing the system's proactive deceleration capabilities and providing more detailed information, such as indicating the distance to the lead vehicle, through the HMI. These recommendations highlight the potential of iterative refinement of ADS to address user concerns and improve the overall system usability and safety.

Overall, the participants' responses exhibited mixed opinions, with some expressing satisfaction with the system's performance, whereas others remained neutral or identified areas for improvement. These findings underscore the multifaceted nature of user perceptions and experiences with ADS, and highlight the importance of addressing usability and safety concerns to enhance user acceptance and trust in such systems.

Based on these responses, we established specific categories by grouping similar responses, as shown in Fig. 10. The categorization of responses provides valuable insights into user trust and the acceptance of autonomous driving systems. By analyzing these categories, developers and researchers can prioritize areas of development and user education to increase ADS adoption.

- (1) *Safe and Satisfied*: Participants who felt safe and satisfied with the autonomous driving system's performance, with no major concerns or issues. This group's positive feedback is crucial for promoting technology.
- (2) *Safe with Concerns*: Participants who felt safe overall but had specific concerns about certain aspects of the system's behavior or performance. Addressing these concerns is essential for system improvements and user

reassurance.

(3) *Unsafe and Unsatisfied*: Participants who expressed feelings of unsafety or dissatisfaction with the system's performance, citing specific instances where they felt the system did not meet their expectations or caused discomfort. Understanding the issues faced by this group is critical for enhancing safety measures and user experience.

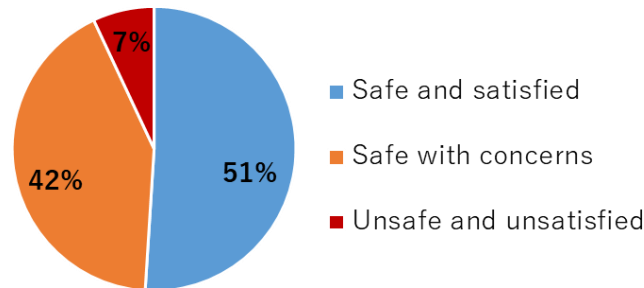


Fig. 10 User perception categories. The proportion of each category was calculated by gathering similar responses.

4. Discussions

This study investigated driver interventions in automated driving without RTI, compared drivers' overtaking behaviors with those of ADS in similar traffic situations, and assessed the impact of mismatch between driver perception and ADS action on subjective system assessments. Driver interventions primarily occurred when the AV approached the SV for overtaking. The study revealed a higher frequency of interventions during two-step overtaking scenarios, attributed to driver safety concerns owing to the presence of oncoming vehicles. Furthermore, in scenarios with far-oncoming vehicles, drivers tended to override the system more frequently, expressing worries about the system's ability to detect far-oncoming vehicles.

The lateral position of the SV, the presence of the LV, and the availability of an overtaking gap significantly influenced driver intervention. Drivers tended to intervene more when the SV was positioned at the center of the lane than when it was positioned slightly to the left of the lane center. Moreover, the presence of an LV affected driver interventions, showing varying behaviors in response to differences in other traffic participants.

The durations of manual and automated overtaking maneuvers were compared. While the drivers completed the overtaking maneuvers faster, no significant differences were found. Additionally, an analysis of the lateral vehicle speed and acceleration during overtaking revealed significant differences between the human drivers and the automated system in various scenarios.

Participant feedback indicated varying levels of satisfaction and concerns regarding the ADS. While most participants expressed satisfaction with the system's overall performance, concerns were raised about the system's ability to perceive and respond to the surrounding traffic, emphasizing the need for smoother overtaking maneuvers and timely and accurate information about traffic conditions.

In summary, the results showed that drivers were more likely to intervene in automated driving without a request issued by the system when they perceived the system's behavior as unsafe or when there was uncertainty regarding its ability to handle the situation. Additionally, drivers were more likely to intervene if they encountered complex traffic conditions, such as heavy traffic or unpredictable behaviors of other road participants. The findings suggest that driver perception of the system's behavior and surrounding traffic conditions plays a crucial role in driver-initiated automation disengagements. Participant feedback indicated varying levels of satisfaction and concerns regarding the ADS. While most participants expressed satisfaction with the system's overall performance, concerns were raised about the system's ability to perceive and respond to the surrounding traffic, emphasizing the need for smoother overtaking maneuvers and timely and accurate information about traffic conditions.

The results of this study have implications for the development of automated driving technologies. To improve user experience and encourage the adoption of ADS, it is crucial to address users' concerns and preferences for smoother and safer overtaking maneuvers. However, it should be noted that the results were obtained from participants who are experts in driving automation. The results may differ if the experiment involves general participants without any academic or professional background in the field. Moreover, the study only focused on car-to-car interactions and did not consider conflicts with other traffic participants, such as pedestrians, cyclists, and motorcyclists, who are commonly present in urban areas.

In future research, it may be beneficial to concentrate on the development of safer and more intuitive ADS and educate users to increase their trust in and acceptance of ADS technology. In summary, our findings emphasize the importance of comprehending driver interventions, satisfaction, and concerns in shaping the future of automated driving. Addressing these aspects is critical for improving safety and user experience and gaining widespread acceptance of ADS technology.

5. Conclusions

The drivers did not override the ADS because they wanted to perform a maneuver that was considered unsafe by the system. Rather, they interrupted the automated overtaking, considered safe by the system, to perform it manually because they perceived the ADS performance as unsafe. The driving performance results of the participants were inconsistent with their subjective assessments, which were influenced by mismatches between driver perception and ADS actions. Overall, the drivers maintained full engagement in all scenarios regardless of the experimental conditions. This behavior may be attributed to the relatively short duration of each driving scenario. However, such behavior is expected in urban settings because of the more dynamic environment compared with highway driving.

The findings of this study recommend that the system should operate with flexible safety boundaries, similar to those of human drivers. Otherwise, drivers may be reluctant to use a system that deviates from their natural driving behavior, even if the system is safe. In summary, tailoring automation to align driver expectations and natural behaviors is important for enhancing user acceptance and safety.

References

- 1) Betz J, et al. : A new Taxonomy for Automated Driving: Structuring Applications based on their Operational Design Domain, Level of Automation and Automation Readiness, arXiv:240417044 (2024), [doi:10.48550/arXiv.2404.17044](https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.17044)
- 2) SAE International. J3016B: Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles: SAE International (2018), https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/, (accessed 2024-8-19)
- 3) Inagaki T, Sheridan T B : A critique of the SAE conditional driving automation definition, and analyses of options for improvement, *Cognition, technology & work*, Vol. 21, No. 4, p. 569-578 (2019), [doi:10.1007/s10111-018-0471-5](https://doi.org/10.1007/s10111-018-0471-5)
- 4) Yi B, et al. : How to identify the take-over criticality in conditionally automated driving? An examination using drivers' physiological parameters and situational factors, *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol. 85, p. 161-178 (2022), [doi:10.1016/j.trf.2021.12.007](https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.12.007)
- 5) Gerber MA, et al. : A human factors perspective on how to keep SAE Level 3 conditional automated driving safe, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Vol. 22, 100959 (2023), [doi:10.1016/j.trip.2023.100959](https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100959)
- 6) Ayoub J, et al. : An investigation of drivers' dynamic situational trust in conditionally automated driving, *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, Vol. 52, No. 3, p. 501-511 (2021), [doi:10.48550/arXiv.2112.04095](https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.04095)
- 7) Kraus J, et al. : The more you know: trust dynamics and calibration in highly automated driving and the effects of take-overs, system malfunction, and system transparency, *Human factors*, Vol. 62, No. 5, p. 718-736 (2020), [doi:10.1177/0018720819853686](https://doi.org/10.1177/0018720819853686)
- 8) Manchon J, et al. : From manual to automated driving: how does trust evolve? *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, Vol. 22, No. 5, p. 528-554 (2021), [doi:10.1080/1463922X.2020.1830450](https://doi.org/10.1080/1463922X.2020.1830450)
- 9) Wörle J, Metz B: Misuse or abuse of automation? Exploring drivers' intentions to nap during automated driving, *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol. 99, p. 460-472 (2023), [doi:10.1016/j.trf.2023.10.023](https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.10.023)
- 10) Eilers M, et al. : Dynamic Model of Situation Awareness During Automated Driving, *ATZ worldwide*, Vol. 126, No. 5, p. 58-63 (2024), [doi:10.1007/s38311-024-1916-5](https://doi.org/10.1007/s38311-024-1916-5)

-
- 11) Boggs A M, et al. : Exploring the who, what, when, where, and why of automated vehicle disengagements, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 136 (2020), [doi:10.1016/j.aap.2019.105406](https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105406)
 - 12) Chu Y, Liu P: Automation complacency on the road. *Ergonomics*, Vol. 66, No. 11, 1730-49 (2023), [doi:10.1080/00140139.2023.2210793](https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2210793)
 - 13) Liu P.: Reflections on automation complacency, *International Journal of Human–Computer Interaction.* , p. 1-17 (2023), [doi:10.1080/10447318.2023.2265240](https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2265240)
 - 14) Wei R, et al. : Modeling driver responses to automation failures with active inference, *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, Vol. 3, No. 10, p. 18064-18075 (2022) , [doi:10.1109/TITS.2022.3155381](https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3155381)
 - 15) Beller J, et al. : Improving the driver–automation interaction: An approach using automation uncertainty, *Human factors*, Vol. 55, No. 6, p. 1130-1141 (2013), [doi:10.1177/0018720813482327](https://doi.org/10.1177/0018720813482327)
 - 16) Kyriakidis M, et al.: A human factors perspective on automated driving, *Theoretical issues in ergonomics science*, Vol. 20, No. 3, p. 223-249 (2019), [doi:10.1080/1463922X.2017.1293187](https://doi.org/10.1080/1463922X.2017.1293187)
 - 17) Alawadhi M, et al. : A systematic literature review of the factors influencing the adoption of autonomous driving, *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, Vol. 11, p. 1065-1082 (2020), [doi:10.1007/s13198-020-00961-4](https://doi.org/10.1007/s13198-020-00961-4)
 - 18) Tinga AM, et al. : Human machine interface design for continuous support of mode awareness during automated driving: An online simulation, *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol. 87, p. 102-119 (2022), [doi:10.1016/j.trf.2022.03.020](https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.03.020)
 - 19) Roche F, et al. : What happens when drivers of automated vehicles take over control in critical lane change situations?, *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol. 84, p. 407-422 (2022), [doi:10.1016/j.trf.2021.11.021](https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.11.021)
 - 20) Zeeb K, et al. : What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving, *Accident analysis & prevention*, Vol. 78, p. 212-221 (2015), [doi:10.1016/j.aap.2015.02.023](https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.02.023)
 - 21) Endsley M R: Autonomous driving systems: A preliminary naturalistic study of the Tesla Model S, *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, Vol. 11, No. 3, p. 225-238 (2017), [doi:10.1177/1555343417695197](https://doi.org/10.1177/1555343417695197)
 - 22) Nordhoff S: A conceptual framework for automation disengagements, *Scientific Reports*, Vol. 141, p. 8654 (2024) , [doi:10.1038/s41598-024-57882-6](https://doi.org/10.1038/s41598-024-57882-6)
 - 23) Choudhari T, et al. : Modeling overtaking distance and time along two-lane undivided rural highways in mixed traffic condition, *Transportation letters*, 14, No. 2, p. 75-83 (2022), [doi:10.1080/19427867.2020.1815142](https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1815142)
 - 24) Gold C, et al. : Trust in automation–before and after the experience of take-over scenarios in a highly automated vehicle, *Procedia Manufacturing*, Vol. 3, p. 3025-3032 (2015), [doi:10.1016/j.promfg.2015.07.847](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.847)
 - 25) Molnar LJ, et al. : Understanding trust and acceptance of automated vehicles: An exploratory simulator study of transfer of control between automated and manual driving, *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Vol. 58, p. 319-328 (2018), [doi:10.1016/j.trf.2018.06.004](https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.004)

自動運転の安全性評価フレームワーク（Ver.3）の 安全論証構造分析*

北島 創^{*1}

Sou KITAJIMA

中村 弘毅^{*1}

Hiroki NAKAMURA

村田 智良^{*2}

Tomoyoshi MURATA

田口 研治^{*3}

Kenji TAGUCHI

ウォレン 郁恵^{*4}

Ikue WARREN

自動運転システムの実用化に向け、社会が受容するに値する安全性をいかに確保するかがシステム製作者に対して問われている。その問いに答えるべく、一般社団法人日本自動車工業会（JAMA）では日本の自動車産業界のベストプラクティスをフレームワークとして文書にまとめて公開している。2022年に最新版である Ver.3 が公開され、その内容はシナリオベースの安全性評価の国際標準や国際基準の策定に積極的にインプットされている。国際的な議論を継続してリードすることの意義は非常に大きいと、本稿では将来的な Ver.4 更新に向けた課題を特定するため、現状の内容が安全論証構造として必要十分なものであるかを分析した結果について述べる。

KEY WORDS: 自動運転, 安全性評価, 論証構造, Goal Structuring Notation

1. はじめに

さまざまな社会課題の解決が期待されている自動運転システムの実用化に向け、社会が受容するに値する安全性をいかに確保するかがシステム製作者に対して問われている^{1),2)}。その問いに答えるべく、一般社団法人日本自動車工業会（JAMA）では日本の自動車産業界のベストプラクティス（最大限の努力）を自動運転の安全性評価フレームワーク（ADSEF: Automated Driving System Evaluation Framework）として文書にまとめて公開している。2022年12月に最新版である Ver.3 が公開され³⁾、その内容はシナリオベースの安全性評価の国際標準（ISO 34502）⁴⁾ や国際基準（UN-R157）⁵⁾ の策定に積極的にインプットされた経緯がある。今後も引き続いて国際的な議論をリードすることは日本の自動車産業の振興にとって意義は大きく、そのためには国際連携・協調に向けた場で日本のプレゼンスを高めておくことが不可欠である。Ver.3 が 2022 年 12 月に公表されてから約 2 年経過するため、その間に得られた日本の安全性評価手法・手段に関する成果に基づいて更新する必要がある。ここで、Ver.1 のフレームワークを作成した当時の状況をふりかえると、国際標準・基準の議論にいち早く対応することを重視したため、記載内容の論理展開・構成に十分な時間が割けなかった側面があったと推察される。

ただし、海外勢の取り組みに着目すると、ドイツにおいて自動運転の安全性評価手法を開発する PEGASUS プロジェクト後継の VVM プロジェクト⁶⁾、北米で大規模にロボットタクシー事業を展開している Waymo⁷⁾ が「自動運転システムに不合理なリスクがないこと」を主張するための安全論証構造を提示している。彼らと議論するための日本としての拠り所が必要であり、今回のアップデートの主要な項目として安全論証構造に関する内容を含めることが重要であると考えられる。

そこで、本稿では JAMA の ADSEF Ver.3.0 に記載されている内容が安全論証構造を構築するために必要十分な内容になっているかを分析した結果と、今後のアップデートに向けて改良が必要な課題について述べる。なお、今後の国際的な議論をリードすることを見据えて論証構造を分析する対象は ADSEF の英語版⁸⁾とした。

* 2024年11月14日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士（工学）

*2 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

*3 株式会社UL Japan

*4 UL Solutions

2. 自動運転の安全性評価フレームワークの安全論証構造の分析方法

2.1 安全性評価フレームワークの概要

自動運転システムの安全性評価・保証に向けたさまざまなアプローチの一つとして、JAMAが発行するADSEFがある。ADSEFのVer.1が2020年に発行されて以降、2022年には現時点の最新版であるVer.3が発行されている。図1はADSEFの変遷を示しているが、ADSEFの内容を国際標準および国際基準の議論の場へ日本案として提案を行い、ISO34502（シナリオに基づく安全性評価フレームワーク）やUNR157（高速道路等における運行時に車両を車線内に保持する機能を有する自動運行装置に係る協定規則）に反映された。一方、2022年のVer.3発行からこれまでに約2年が経過しており、その間の国連WP29から今後の国際基準策定に向けたガイドラインドキュメント⁹⁾が合意に至ったことなどを踏まえると、昨今の国内外の動向に対応できるようなアップデートが必要な時機である。

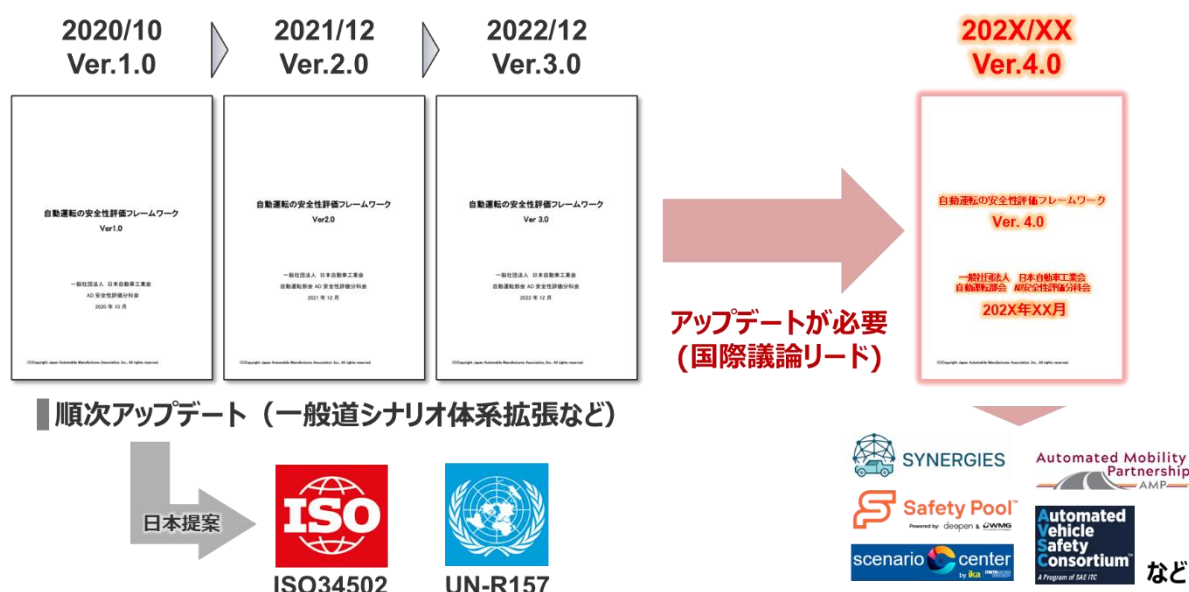


図1 自動運転の安全性評価フレームワーク（ADSEF）の変遷（2020年～）

表1は、ADSEF（Ver.3）の章立てを示している。本文は5章で構成されており、主に2章が示す安全論証構造を3章/4章/5章とAnnex（A～G）に記述された内容によって実現できることを主張している。今回の分析はADSEF本体とし、Annexは対象から外している。

表1 ADSEF（Ver.3）の記載内容の一覧

【ADSEF本体】	【ADSEF Annexes】
1章 本稿の位置づけ	Annex A 道路形状
2章 自動運転システム安全論証構造 原理原則に基づくシナリオベースアプローチなど	Annex B 二輪車特有のシナリオ
3章 シナリオベースの安全保証プロセス 安全保証のスキーム（V字モデルのステップ）	Annex C 交通外乱の複雑なシナリオへのアプローチ
4章 シナリオ体系 交通外乱シナリオ、認識外乱シナリオ、車両運動外乱シナリオの考え方など	Annex D 事故データに基づくシナリオデータベース 完全性検証
5章 シナリオデータベース 構造、フォーマット、インタフェースなど	Annex E 認識外乱の原理モデルと評価シナリオ
	Annex F 認識外乱評価用仮想環境の妥当性検証ガイドライン
	Annex G 協定規則第157号に係るシミュレーションツールの妥当性確認/シミュレーション試験方法

2.2 Goal Structuring Notation記法に基づく論証構造分析

本稿では、Goal Structuring Notation (GSN : ゴール構造表記法)¹⁰⁾ を用いて ADSEF の安全論証構造を分析した。GSN を用いる理由は、GSN は議論の構成要素 (ゴール, ソリューション, 文脈など) とそれらの関係性を明確に記述することで議論をグラフィカルに表記できるためである。GSN で記述した議論は、セーフティケース (安全性を示すテスト結果や検証結果を根拠資料としてシステムが安全であることに関する構造化された議論)¹¹⁾ の作成に活用できる。

セーフティケースは、安全性がどう保証されるかを構造化された議論で示すもので、鉄道や航空機などのさまざまな分野で義務化されている。自動車業界でも車載組込みシステムの機能安全規格である ISO 26262 のなかで、安全ゴールと機能安全要件の定義のために GSN を活用している。

GSN ではゴールをどのように満たすのかについて、階層的に下位のゴールに分割し、それ以上分割できないゴールには根拠となるソリューションを示す。ADSEF に記載されている内容を GSN の形で安全論証を表記するために図 2 に示すような構成要素を用いた。GSN が提供する、ゴール (Goal), 戦略 (Strategy), 文脈 (Context), 仮定 (Assumption), 正当性の根拠 (Justification), ソリューション (Solution), 未達成 (Undeveloped) という構成要素を用いる。論証としてはトップゴール (主張すべき言明) から演繹的に始まり、証跡 (論証を支持する根拠資料, データ) に至る構造を持つ。さらに、文脈 (論証する前提となる情報) と戦略 (どのような戦略で論証するかの説明) が利用される。

ADSEF の安全論証の体系を構築するために採用した分析方法は、以下の通りである。筆者らは分析者として ADSEF の説明文の GSN の構成要素に基づいて分析・分解し、安全論証の構造に関連する情報を抽出した。抽出した情報を GSN 図として関係性を整理することによって論証構造を組み立てた。これにより、現状の ADSEF の記述内容をどのような根拠・どのような判断に基づいて、分析・抽出・論証構造の組み立てを行ったかの過程を示すことができる。

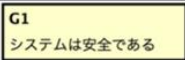
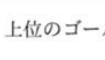





ノードの種類	図表現	内容
ゴール (goal)		ステークホルダー間で合意したい主張
戦略 (strategy)		上位のゴールの分解の仕方を説明
文脈 (context)		議論の前提となる情報
仮定 (assumption)		議論の前提となる仮定
正当性の根拠 (justification)		ゴールや戦略自体の妥当性の根拠
ソリューション (solution)		ゴールが達成できていることを示す証拠
未達成 (undeveloped)		論証がまだ具体化できていないことを示す

図2 GSNによる安全論証構造の構成要素

GSN を用いて自社が開発する自動運転システムの安全性を説明するセーフティケースを公表した事例として米国の Aurora 社の例¹²⁾ が挙げられる。Aurora は米国国防高等研究計画局 (DARPA) 主催のロボットカーレースである DARPA アーバンチャレンジ優勝チームのテクノロジーディレクターを務めた Chris Urmson 氏が 2016 年に立ち上げた企業である。また、Aurora は 2023 年 5 月にドイツサプライヤー

大手のコンチネンタルと提携し、トラック運送業界向けの自動運転システム（Aurora Driver）の設計・開発・検証・提供・サービスを米国全土で展開することを目指している。

図3は、Aurora が公開している Safety Case Framework であるが、「Aurora の自動運転は公道走行が受け入れられるレベルで安全である」をトップゴールとして定めて GSN を用いて論証するにあたり、トップゴールを以下の5つのサブゴールに分けている。

- G1:Proficient（意図した通りの動作の安全性の論証）
- G2:Fail-safe（安全分析に関する論証）
- G3:Continuously improving（運用における改善の論証）
- G4:Resilient（ミスユース／サイバーセキュリティの論証）
- G5:Trustworthy（規格への準拠，レビュー方式の論証）

上記の各サブゴールを論証できるように根拠となるデータや資料を構造化している。



図3 Aurora社のSafety Case Framework

3. 自動運転の安全性評価フレームワーク（Ver.3）の分析結果

3.1 安全論証構造の分析

(1) 説明文に基づく構成要素の抽出事例

ここでは、ADSEF の英語版を対象として、その内容が安全論証構造を構築するために必要十分であるかを分析するが、英語での説明が不明確な場合や不足している場合には、ADSEF の日本語版を含めてさまざまな関連文献を参照することとした。解釈にあたっては原典になるべく忠実に行うことを原則としたが、説明が不足している点などによって独自の解釈をせざるを得ない箇所があった。独自の解釈も含めて得られた分析結果に基づいて、安全論証のための構成要素（Goal, Context, Assumption, Strategy, Solution）を抽出した。

分析の例を表2に示す。本例は、ADSEF の2.3.5章の Safety evaluation method for vehicle disturbance（車両運動外乱の安全性判定手法）に関する箇所である。まず ADSEF のテキスト部分から Goal と

して(Goal #2.3.5-1) が抽出されている。このゴールをサブゴールに展開することが可能な Strategy として(Strategy #2.3.5-1)が筆者らによって抽出され、さらに詳細な Goal (Goal #2.3.5-1-1)が抽出されている。この説明文は、Goal, Strategy, Sub-goal の関係が直接的に抽出できた点で良い事例といえるが、その他の説明文からは関係が直接的に抽出できない場合が多く、分析できたとしても GSN の論証構造にするためには、分析者の意識を付け加えるなどの調整が必要であった。

表2 ADSEFからの論証構造の分析例

<p>[ADSEF説明文] 2.3.5 Safety evaluation method for vehicle disturbance</p> <p>As shown in Figure 6, 'collisions must be avoided in any of the traffic disturbance scenarios, even when experiencing vehicle disturbance.' In the current standards, the collision avoidance strategy under the foreseeable and avoidable scenarios and collision mitigation strategies for predictable but unavoidable scenarios are of particular consideration. Henceforth, when a vehicle behaviour changes because of a vehicle disturbance within the scope of avoidable conditions, the AD vehicle is required to possess a controllability that can stabilize the vehicle without halting driving. However, when these disturbances cause instability that cannot be avoided, the AD vehicle must adapt to the 'best effort' strategy to mitigate the possible collision.</p>
<p>[構成要素の抽出結果]</p> <p>Vehicle disturbance に関するトップゴールとして以下を設定。 他のゴール (G #2.3.3-1, G #2.3.4-1) と同等の表現として記述。 (Goal #2.3.5-1) All safety risks associated with the operation DDT sub-task are identified and systematized through vehicle motion disturbance scenarios.</p> <p>上記のゴールは、オリジナルの文章を利用すると、以下になる。 Collisions must be avoided in any of the traffic disturbance scenarios, even when experiencing vehicle disturbance.</p> <p>(Strategy #2.3.5-1) Argue all supporting rationales related to vehicle motion disturbance scenarios.</p> <p>vehicle disturbance に関する安全基準 以下の G #2.3.5-1-1 と G#2.3.5-1-2 はゴールとしたが、継続する論証は抽出できなかった。</p> <p>Preventable エリアのケース (Goal #2.3.5-1-1) When a vehicle behaviour changes because of a vehicle disturbance within the scope of avoidable conditions, the AD vehicle is required to possess a controllability that can stabilize the vehicle without halting driving.</p> <p>Unpreventableのエリアのケース (Goal #2.3.5-1-2) When the disturbances cause instability that cannot be avoided, the AD vehicle must adapt to the 'best effort' strategy to mitigate the possible collision.</p>

表2に示した抽出された構成要素に基づいて、図4のような GSN 図を作成した。自動運転システムにとって全てのリスク要因を特定し、車両運動外乱シナリオによって体系化するというゴールに対して、体系化したことを説明するエビデンスによって論証する戦略を立てる。この戦略にしたがって Preventable (防止可能) エリアのケースは、車両外乱によって車両の挙動が変化しても車両を安定させることができる制御を実行できることが要求される。一方、Unpreventable (防止不可能) なエリアのケースは、車両外乱によって回避できないほどの不安定性が生じたことに対して衝突の可能性を軽減するためのベストプラクティスを実行することが要求される。ただし、現状の ADSEF の説明文からこれ以上の論証を継続する要素は抽出されなかったため、GSN 図はここで論証終了となった。

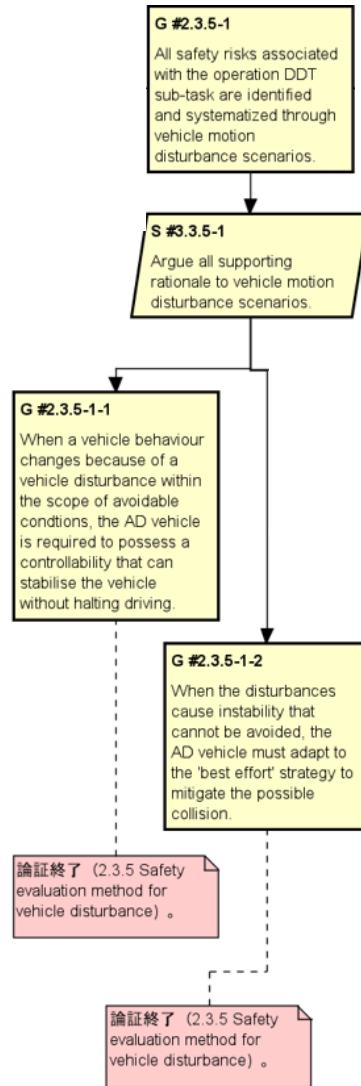


図4 ADSEFの2.3.5項の説明文から抽出・分析した論証構造の例（GSN図）

(2) GSN図を作成するために抽出した要素の分類

ADSEF の記載内容に基づいて GSN 図作成用の構成要素を抽出する作業はかなり複雑であった。ADSEF の解釈については可能な限り原文に忠実に行ったが、直接の解釈が難しい箇所が多く含まれた。したがって、GSN 図作成用の構成要素を抽出するために、記載内容に新たな解釈を追加した箇所も多くなった。GSN 図を作成するための構成要素には、忠実に抽出できたもの、新たな解釈を追加したもの、該当する記載のなかったものが混在している。そこで、図5に示すように構成要素の特徴に応じた分類を設け、GSN 図のどの箇所がどのような解釈に従ったかを明示するようにした。

- 1) 忠実に解釈（黄色）
- 2) 説明文に課題がある場合の意識（青色）
- 3) 説明が無いが、図などの他情報から追記（赤色）
- 4) 記載が無いが、安全論証の構造上必要と判断し追記（緑色）

このように分類することによって、作成された GSN 図が忠実に解釈された要素で構成されているのか、意識や新たな解釈が含まれた要素で構成されているのかをはっきり区別できる。

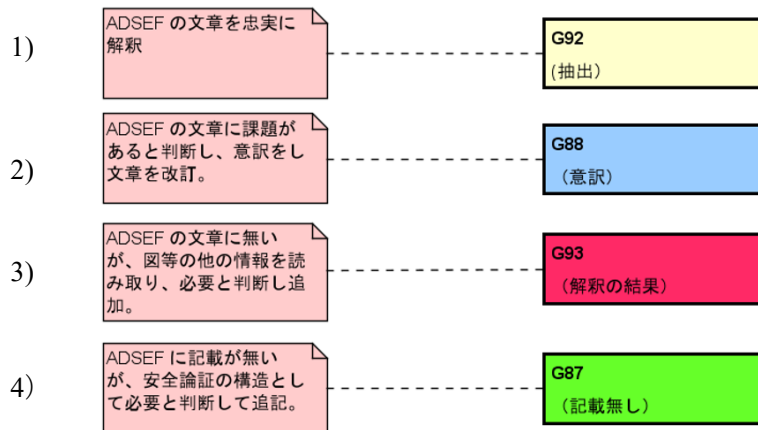


図5 記述内容の種類

また、GSN による論証構造では、ソリューション を記述することで論証が終了することが一般的であるが、そのような論証構造に至らなかった箇所が該当した。そのため、論証が終了していることを明記するために、コメント（テキストを記述するモデル要素を利用）として、「論証終了」というマーカーを GSN 図に記述するようにしている。なお、このマーカーは GSN 図の構文には表れないもので、今回の分析で独自に追加したものであることには注意が必要である。

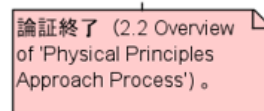


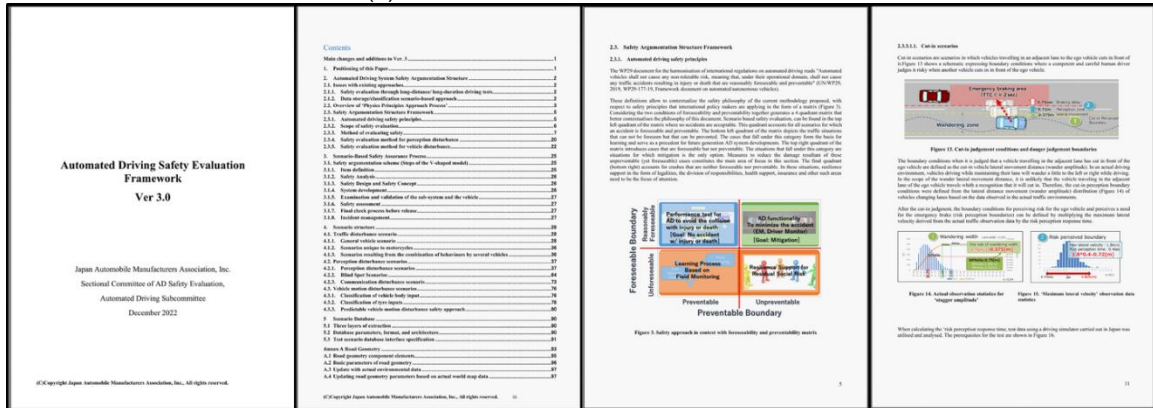
図6 論証終了マーカー

3.2 ADSEFの分析結果に基づく安全論証のGSN全体図

図7は、分析対象であるADSEF、その記載内容に基づいて分析した結果、分析結果に基づいて作成したGSN全体図の関係を示している。(1)のADSEFに記載されている説明文・図表を分析対象とし、(2)説明文・図表の原文と分析によって抽出された構成要素の関係を示す表を作成し、(3)抽出された構成要素の関係性に基づいて安全論証構造を示すGSN全体図を作成した。この全体図がVer.3のADSEFの安全論証の全体像を示すGSN図として今回の作業を通じて作成された成果物である。前述したように、Ver.3のADSEFは本文が5章、7つのAnnexによって構成されており、今回分析した本文は約90ページにわたる膨大な情報が記載されたドキュメントから作成したGSN全体図も広範囲にわたるものとなった。

図7のGSN全体図は忠実に抽出された要素とそれ以外の要素が混在して構成されており、この図を俯瞰することによって現状のADSEFの安全論証構造の課題を把握できる。例えば、分析者の意識や解釈の追加によって抽出された構成要素については説明文を改訂することが必要であり、該当する記載がない構成要素については説明文を新たに追記することが必要であり、論証終了マーカーが記述されている箇所についてはゴールが達成できていることを示す証拠であるソリューションにあたる内容を用意することが必要である。

(1) 分析対象 : ADSEF (Ver.3) 英語版



(2) 構成要素の抽出 : ADSEFの説明文の分析結果

[ADSEF説明文] 2.3.5 Safety evaluation method for vehicle disturbance	[構成要素の抽出結果]
<p>As shown in Figure 6, 'collisions must be avoided in any of the traffic disturbance scenarios, even when experiencing vehicle disturbance.' In the current standards, the collision avoidance strategy under the foreseeable and avoidable scenarios and collision mitigation strategies for predictable but unavoidable scenarios are of particular consideration. Henceforth, when a vehicle behaviour changes because of a vehicle disturbance within the scope of avoidable conditions, the AD vehicle is required to possess a controllability that can stabilize the vehicle without halting driving. However, when these disturbances cause instability that cannot be avoided, the AD vehicle must adapt to the 'best effort' strategy to mitigate the possible collision.</p>	<p>Vehicle disturbance に関するトップゴールとして以下を設定。 他のゴール (G #2.3.3-1, G #2.3.4-1) と同等の表現として記述。 (Goal #2.3.5-1) All safety risks associated with the operation DDT sub-task are identified and systematized through vehicle motion disturbance scenarios. 上記のゴールは、オリジナルの文章を利用すると、以下になる。 Collisions must be avoided in any of the traffic disturbance scenarios, even when experiencing vehicle disturbance. (Strategy #2.3.5-1) Argue all supporting rationales related to vehicle motion disturbance scenarios. vehicle disturbance に関する安全基準 以下の G #2.3.5-1-1 と G #2.3.5-1-2 はゴールとしたが、継続する論証は抽出できなかった。 Preventable エリアのケース (Goal #2.3.5-1-1) When a vehicle behaviour changes because of a vehicle disturbance within the scope of avoidable conditions, the AD vehicle is required to possess a controllability that can stabilize the vehicle without halting driving. Unpreventable のエリアのケース (Goal #2.3.5-1-2) When the disturbances cause instability that cannot be avoided, the AD vehicle must adapt to the 'best effort' strategy to mitigate the possible collision.</p>

(3) ADSEF GSN全体図

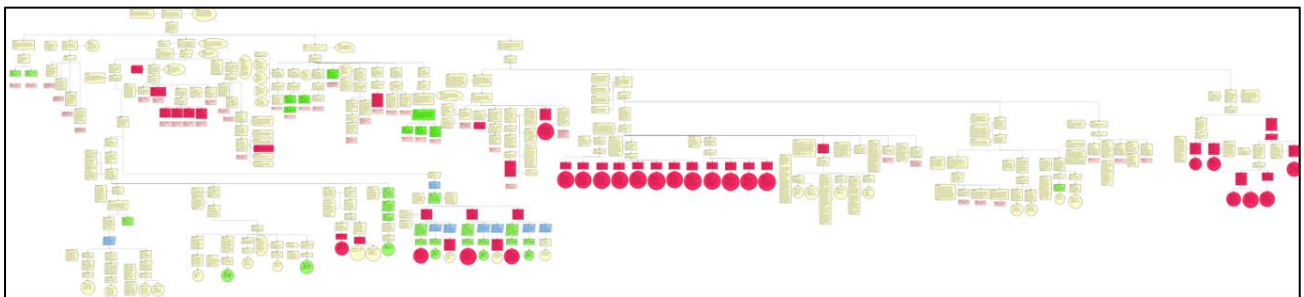


図7 ADSEF GSN全体図

図8が示すように Aurora社の安全論証のサブゴール1であるG1 (Proficient)のGSNのみを展開した場合でも広範囲になる。G2~G5のサブゴールも展開するとさらに大きな論証構造図になる。なお、Aurora社のGSN図はソリューションを省略したバージョンのみ公開している点に留意が必要である。

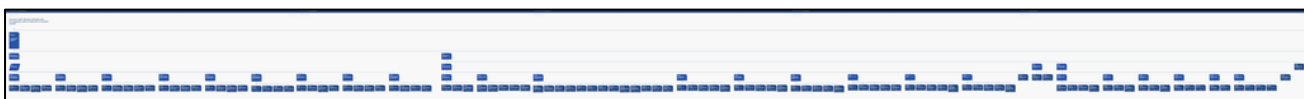


図8 Aurora GSN全体図 (G1: Proficientのみ論証構造を展開)

図9は、図7に示したGSN全体図とADSEFの記述内容の対応関係を示したものである。ADSEFの

安全原則をトップゴールにし、安全性評価範囲・WP29の安全要件・安全性判定手法・安全保証のスキーム・シナリオ体系の関係性をまとめた。このうち、代表的な部分に関する論証構造として、図9の(a)安全原則と(b)安全性評価範囲の部分について説明する。

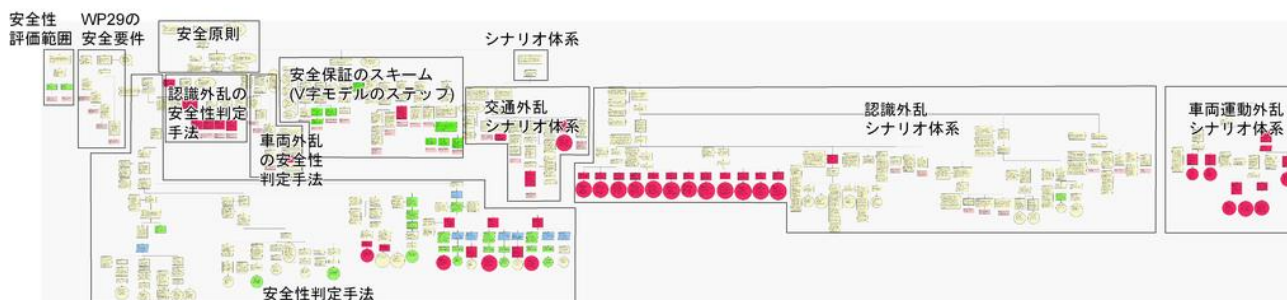


図9 GSN図とADSEFの記述内容の対応関係

(a) 安全原則：Overview of ‘Physics Principles Approach Process’ (Safety Principle)

ADSEFの安全論証のトップゴール構造においては、国連WP29のフレームワークドキュメントがADS（車両レベル）に求める安全ゴールをADSEFの安全原理、安全性評価方法、開発プロセス、シナリオ構築方法によって満足することを述べている（図10）。これらの構造の構成要素は、いずれもADSEFの説明文から抽出できている。

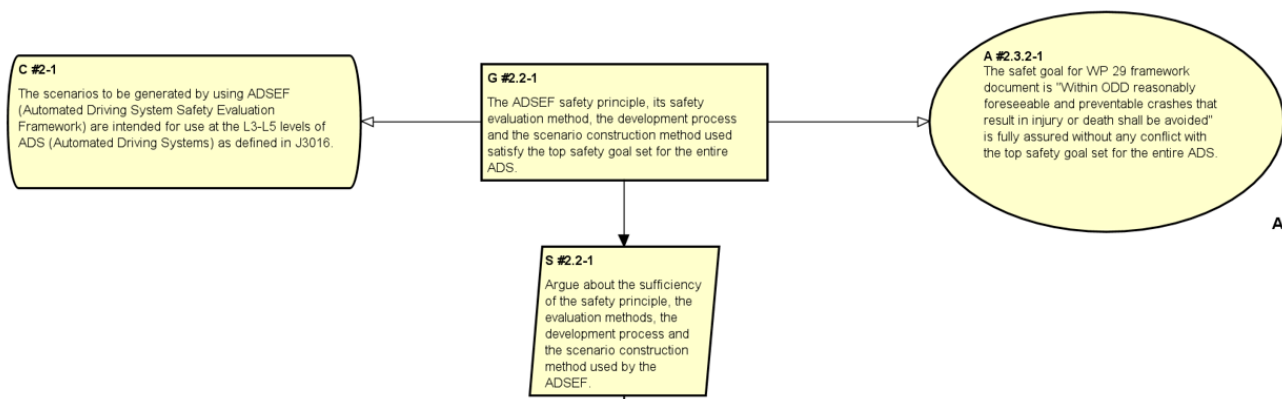


図10 ADSEFの安全論証のトップゴール構造（安全原則）

(b) 安全性評価範囲：Overview of ‘Physics Principles Approach Process’ (Evaluation Scope Sufficiency と Explainability in Emergency)

2.2節においては、Evaluation scope sufficiency（評価の十分性）と Explainability in emergency（危険事象の説明性）を保証する必要があることを主張しているが、これらを保証する・しないに関する判断基準の記載は見当たらなかった。これらの判断基準はPhysical principles approach process（原理原則に基づくアプローチ）の対極として2.2節で述べられている。また、論証構造の終点として求められるソリューションが見当たらないため、論証が終了しているマーカーを付けている（図11）。

図11を参照すると、ADSEFを改訂する場合には評価の十分性と危険事象の説明性を保証したことを論証するためのサブゴールの設定と論証できたことを示す証拠の記述が必要と分かる。

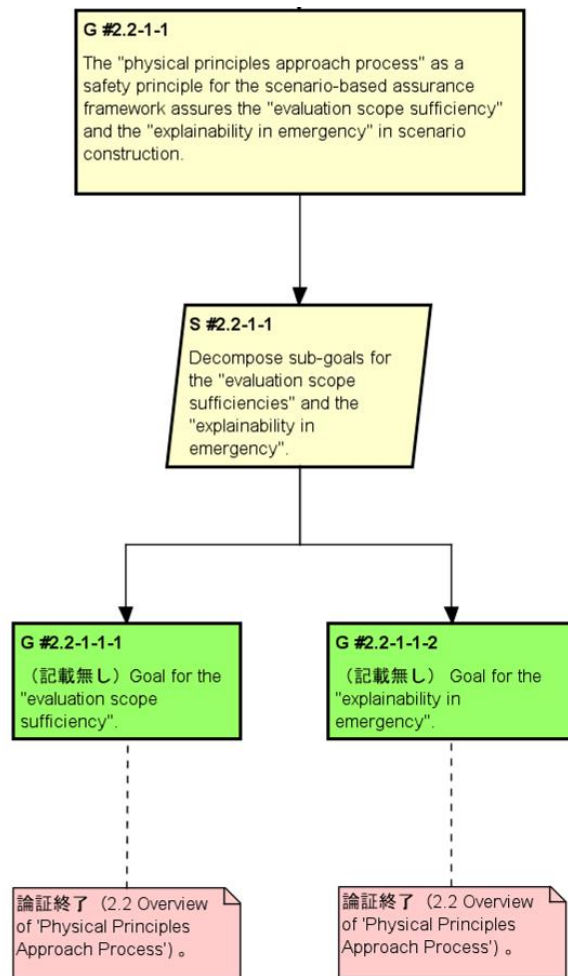


図11 “evaluation scope sufficiency” と “explainability in emergency”の論証構造

このように、現状の ADSEF の説明文・図表に基づいて組み立てた安全論証構造が完結しない箇所が多く確認され、完結するためには説明文の改訂が必要である。さらに、図 7 の GSN 全体図のなかでも意識・解釈・記載なしといった箇所も多く見られたことより、現状の記述を改良することだけでなく、新規に追記することも求められる。

3.3 分析結果まとめ

本稿では、ADSEF (Ver.3) の記載内容が安全論証構造を構築するために必要十分な内容になっているかという視点で分析を行い、分析結果に基づいて安全論証構造の全体像を GSN 図として構築した。その結果、GSN の構成要素が直接的に抽出できた部分と、意識や解釈が必要であったり説明文がなかったりする部分に分けられた。とりわけ、安全論証の終了に必要なソリューションの記述が見当たらない箇所が多く該当存在したため、筆者らの分析時に意識や新たな解釈の追加を行った。これらは ADSEF を安全論証構造という観点で分析をしたことによって明らかになった課題であり、今後の更新をする場合には通常の安全規格のように成果物を明示的に記述することが必要である。

安全論証構造を構築するにあたって公開済みの ADSEF の説明文と図を分析し、そこから GSN の表記法にしたがって論証構造に組み立てる手法を採用した。このように特定の資料から安全論証を組み立てる方法論は確立されていないため、今回の取り組みによって一つの方法を提示した形となった。安全論証構造を構築する方法論は、個々の作成者の判断に依存することが多い側面があるため、第三者がその論証を構築する根拠を理解することが難しくなる傾向がある。ここで、今回採用したような手法を利用することで、記述内容をどのような根拠に基づいて判断・分析・抽出して論証構造を組み立てかを明確

に示すことができた。この分析資料を参照・利用することによって、よりの確な安全論証構造を示すために必要な記述内容の改訂を効率的に進められる。

4. おわりに

本稿では、JAMA の ADSEF (Ver.3) の英語版を分析対象とし、現状の記述内容の分析結果に基づいて安全論証構造を構築した。既に公開された資料に含まれるテキストと図を詳細に分析し、そこから GSN における論証構造を構成する要素を抽出し、論証構造を組み立てる構築する方法はこれまでに確立されていない方法であるため、今回の適用事例は貴重な技術資料となりえる。

安全論証構造を構築するにあたって、組み立てに必要な情報をどのような根拠・判断で分析・抽出を行ったかを明確に示すことができるため、個々の分析者の判断に依存しやすい懸念を払拭することに有用である。

また、本分析資料は、安全論証構造という観点で今後の ADSEF の改訂を進める場合の方針策定に有益な資料として活用ができる。

今後の課題として上げられる点としては、以下のものが挙げられる。

(1) 論証できたことを示すソリューションの記述の追加

ADSEF の GSN 図を構築したことによって分かった特徴として、ソリューションに該当する記載が見たらない箇所が多いことがあげられる。ソリューションは論証の根拠資料や成果物を示す重要な構成要素であるため、ADSEF を通常の安全規格のように、成果物を明示的に記述するためには優先的に改訂することが必要な特徴である。

(2) 安全論証構造に合わせた構成の見直し

今回の安全論証構造は、現在の ADSEF の章立てに基づいて作成を行った。これ自体は特に大きな問題ではないが、ADSEF のトップゴールを論証するための構造を示していない一因と考えられる。したがって、安全原則をトップゴールに据えた形で安全論証が構築できると、安全保証の考え方を明確化することが可能になると考えられる。今回の ADSEF についての詳細分析結果を用いれば、安全原則をトップゴールとした論証構造に沿った構成に改訂することも可能である。

(3) 安全論証構造の構築に向けた分析対象の拡張

今回は ADSEF の 2 章から 4 章のテキストと図を分析対象としたが、安全論証構造として構築できなかった箇所や安全論証構築の適切さが判断できなかった箇所が今後の課題となった。より適切な安全論証構造を構築するためにはさらなる分析と構築が必要であり、とりわけ今回の分析対象から除外した Annex の詳細な技術情報を取り込むことが有意義である。

謝辞

本稿は、経済産業省「無人自動運転等の CASE 対応に向けた実証・支援事業（自動走行システムの安全性評価基盤構築に向けた研究開発プロジェクト）」の成果の一部をまとめたものであり、関係各位に対して謝意を表す。

参考文献

- 1) UN-ECE: Framework document on automated/autonomous vehicles (updated) (2022), <https://unece.org/info/publications/pub/365097>, (参照 2024-11-14)
- 2) 国土交通省：自動運転車の安全確保に関するガイドライン, p. 3-10 (2024), <https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001746489.pdf>, (参照 2024-11-14)
- 3) 日本自動車工業会：自動運転の安全性評価フレームワーク (Ver.3) (2022), https://www.jama.or.jp/operation/safety/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf, (参照 2024-11-14)
- 4) 日本規格協会：ISO 34502:2022, Road Vehicles -Test scenarios for automated driving systems -Scenario based safety

-
- evaluation framework (2022) , https://webdesk.jsa.or.jp/books/W11M0090/index/?bunsho_id=ISO+34502%3A2022, (参照 2024-11-14)
- 5) UN-ECE: Proposal for a new UN Regulation on uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to Automated Lane Keeping System, pp. 7-11 (2020) , <https://unece.org/transport/documents/2024/02/working-documents/grva-proposal-new-un-regulation-uniform-provisions>, (参照 2024-11-14)
- 6) VV&M: Detailed VVM Safety Augmentation Structure, https://www.vvm-projekt.de/fileadmin/user_upload/VVM_Argumentation_Structure.gsn_v2.pdf, (参照 2024-11-14)
- 7) Waymo: Building a Credible Case for Safety: Waymo’s Approach for the Determination of Absence of Unreasonable Risk, (2023) , [doi:10.48550/arXiv.2306.01917](https://arxiv.org/abs/10.48550/arXiv.2306.01917)
- 8) JAMA: Automated Driving Safety Evaluation Framework Ver 3.0 (2022) , https://www.jama.or.jp/english/reports/docs/Automated_Driving_Safety_Evaluation_Framework_Ver3.0.pdf
- 9) UN-ECE: Guideline and recommendations for Automated Driving System safety requirements, assessments and test methods to inform regulatory development, p . 3-41 (2024) , <https://unece.org/transport/documents/2024/04/working-documents/grva-guidelines-and-recommendations-automated-driving>, (参照 2024-11-14)
- 10) The Assurance Case Working Group (ACWG): Goal Structuring Notation Community Standard, Version 3, SCSC-141C (2021) , <https://scsc.uk/r141C:1?t=1>, (参照 2024-11-14)
- 11) R. Alexander, R. Hawkins, T. Kelly: Security Assurance Cases: Motivation and The State of the Art, CESG/TR/2011/1, U. York, (2011) , <https://www.semanticscholar.org/paper/Security-Assurance-Cases%3A-Motivation-and-the-State-Alexander-Hawkins/623bb1c1ded3860ed1307d45a2a01823b13abff6>, (参照 2024-11-14)
- 12) Aurora: Aurora’s Safety Case Framework, <https://safetycaseframework.aurora.tech/gsn>, (参照 2024-11-14)

安全性評価シナリオ作成に向けたドローンデータ処理技術*

[坂村 祐希](#)*1

Yuki SAKAMURA

[遠藤 駿](#)*1

Shun ENDO

[北島 創](#)*1

Sou KITAJIMA

[中村 弘毅](#)*1

Hiroki NAKAMURA

本稿では2台の車両の相対関係を定量的に再現するために、ドイツ国内の交通流を計測したドローンデータセットを用いて2台の車両の相対関係に基づいた特定のシナリオを抽出し、物理パラメータの統計値を計算する手法について述べる。道路ネットワークデータを用いて交差点に関する情報を計算し、マップマッチングによって車両の経路と交差点における進行方向を推定する。交差点における左折対直進、直進対直進のシナリオを抽出する対象とした。抽出処理の結果、それぞれ701件および414件のシナリオを抽出し、安全性評価シナリオ作成に必要な物理パラメータを計算した。将来的には各シナリオにおける車両の安全な走行に必要なパラメータの範囲の決定や、日本国内で同様な計測が行われた場合のデータに適用することで日独データの比較による地域差の検証に本稿の結果を活用する。

KEY WORDS: 自動運転, 安全性評価シナリオ, 交差点定点観測データ, ドローン

1. はじめに

自動運転車両の実用化・普及拡大には、安全性の評価手法の確立が不可欠である。特に、SAE (Society of Automotive Engineers: 米国自動車技術者協会) ¹ が定義する自動走行レベル3以上の車両では、特定の領域においてすべての運転操作をシステムが担うため、従来の車両とは異なる安全性の評価手法が必要となる。そのため、特定の状況に応じて安全性を評価するシナリオベースの手法がある ²⁾。この手法は、実際の交通状況の計測によって大規模なデータを収集し、車両や歩行者などの特定の相互作用を検証し、安全性の評価に活用している。

データ収集の手法として、車載センサを計装した車両で交通状況を計測する方法や、インフラに設置したセンサで走行車両や歩行者を計測する方法がある。前者の手法では、車両の走行に合わせた比較的広範囲のエリアでデータ収集可能で、車両に計装された他のセンサとの統合や車両情報を活用できる。しかし、周囲の車両に関するデータは制限され、交差点などの特定の道路環境に特化した計測は困難である。後者の手法では、計測範囲はセンサを設置したインフラ周囲に限定されるが、範囲内の車両や歩行者については詳細な計測が可能で、交差点などの特定の道路環境に特化した計測が可能である。シナリオベースの安全性評価においては道路形状でシナリオを分類しており、後者の手法による一般道のデータ収集に期待が高まっている。

しかし、一般道のデータ収集においては、インフラに設置したセンサでは射角によって物体が別の物体に隠れてしまう問題や、設置や撤去に手間がかかる問題などがある。そのため、インフラではなくドローンにセンサを計装し、道路上空に飛ばしたドローンから真下を計測する手法がある。本稿では2台の車両の相対関係を定量的に再現するため、計測済みのドローンデータセット（例えば、後述する InD データセット）からの特定のシナリオの抽出と、安全性評価シナリオ定義に必要な2台の車両の物理パラメータの計算を目的とする。

2. ドローンデータ概要

InD (Intersection Drone) データセットは、車両工学に関する研究を行っているドイツのアーヘン工科大学の ika (自動車技術研究所) が提供するデータで、モビリティに関するさまざまな分野の研究を促進

* 2024年11月7日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

するために制作，公開されている³⁾．ドイツ国内の四つの交差点の交通状況を異なる日時ごとに記録したデータセットで，33 個の記録データからなる．一つの記録データは平均 17 分 51.2 秒（標準偏差 2 分 42.6 秒）の長さで，交差点ごとに計測時間は異なる．カメラを計装したドローンを交差点の上空 100 m に飛行させ，走行する車両や二輪車，歩行者などを撮影し，ラベルを付与している．撮影カメラの解像度は 4K (4096×2160 画素) で，フレームレートは最大 25 fps である．

InD は複数のフォーマットのデータからなる．以下に記録データごとのメタデータを示す．*rec* は記録データの固有番号を示し，0 から 32 の値を取る．*loc* は計測地点の固有番号を示し，四つの交差点に対応する 1 から 4 の値を取る．

- *rec* 記録データ番号
- *loc* 計測地点番号
- *fr* フレームレート
- *v_{lim}* 制限速度
- *week* データ計測日の曜日
- *t_o* データ計測開始時刻
- *T* データ計測時間
- *n* 登場したオブジェクトの数 ($n_{Car} + n_{VRU}$)
- *n_{Car}* 登場した車両とトラックまたはバスの数
- *n_{VRU}* 登場した二輪車と歩行者の数
- *p_{Lo}* 計測地点のおおまかな緯度経度
- *p_{Uo}* 計測地点の UTM (Universal Transverse Mercator) 座標の XY 方向の位置
- *s_{I-U}* データ座標系から UTM 座標系への変換スケール

記録データに登場するオブジェクトは，オブジェクトごとのメタデータと時系列データを持つ．以下にオブジェクトのメタデータを示す．オブジェクトクラス *c* は車両，トラックまたはバス，二輪車，歩行者の 4 種類に割り当てられる．全幅 *w* および全長 *l* は車両，トラックまたはバスのみデータを持ち，二輪車および歩行者では 0 となる．

- *i* オブジェクトの固有 ID
- *t_{start}* データセットの中で最初に登場する時刻
- *t_{end}* データセットの中で最後に登場する時刻
- *t_i* データセットの中で登場しているフレーム数 ($t_{end} - t_{start}$)
- *c* オブジェクトクラス (車両，トラックまたはバス，二輪車，歩行者)
- *w* 全幅 (車両，トラックまたはバスのみ)
- *l* 全長 (車両，トラックまたはバスのみ)

以下にオブジェクトの時系列データを示す．時系列データの一部は InD で定義されるデータ座標系での値を持つ．これは，計測地点の UTM 座標の XY 方向の位置 *p_{Uo}* を基準として，画像の XY 方向に軸を持つ座標系である．データ座標系から UTM 座標系への変換スケール *s_{I-U}* を *p_I(t)* に積算し，*p_{Uo}* を加算することで UTM 座標系に変換できる．

- *f(t)* 時刻 *t* における登場してからのフレーム数 ($t - t_{start}$)
- *p_I(t)* 時刻 *t* におけるデータ座標系の XY 方向の位置
- *v_I(t)* 時刻 *t* におけるデータ座標系の XY 方向の速度
- *a_I(t)* 時刻 *t* におけるデータ座標系の XY 方向の加速度
- *h_I(t)* 時刻 *t* におけるデータ座標系のヨー角度 (反時計回り方向が正)
- *v_L(t)* 時刻 *t* における進行方向に対する速度 (右方向が正)
- *a_L(t)* 時刻 *t* における進行方向に対する加速度 (右方向が正)

InD における計測地点 loc ごとの総計測時間とオブジェクトクラス数を以下の表 1 に示す。各計測地点によって総計測時間が異なり、車両や歩行者の交通状況も異なる。全体の計測時間は約 9 時間 50 分で、7,876 台の車両が含まれている。二輪車および歩行者は計測地点ごとのばらつきが大きく、 $loc = 2$ の交差点には二輪車や歩行者といった比較的多くの交通弱者（VRU: Vulnerable Road Users）が含まれている。

表1 InDデータセットにおける計測地点ごとの総計測時間とオブジェクトクラス数

計測地点番号	総計測時間 [秒]	オブジェクトクラス c			
		車両	トラック またはバス	二輪車	歩行者
loc = 1	11,121.0	2,444	59	434	801
loc = 2	14,553.6	2,420	16	1,700	2,099
loc = 3	3,063.8	1,137	59	39	44
loc = 4	6,610.8	1,875	223	86	163
計	35,349.2	7,876	357	2,259	3,107

3. シナリオ抽出手法

本稿では特定のシナリオとして、交差点における左折車両（日本では右折車両となる）と直進車両の相互作用と、交差点における直進車両同士の相互作用を対象とする。これらは一般道における事故発生率が高く、一般道路の安全性評価のために優先度が高いと考えられるためである⁴⁾。このようなシナリオを抽出するためには、交差点で車両が左折、右折、直進のどの行動を取るのかを推定する必要がある。しかし、車両の左折や右折はドライバーによって挙動が異なり、速度や加速度、角速度などの取り得る範囲も異なるため、InD で提供される時系列データからのふるまいの判断は困難である。そのため、外部のマップデータを用いて道路ネットワークを構築し、マップマッチングによって InD データセットに含まれる車両の道路ネットワーク上での経路を推定する。これにより、平面上で自由に動き回る車両の移動を、ノードとエッジで表現されるネットワーク上での移動に変換できるため、交差点内の軌跡からふるまいを推定できる。その後、同時刻で特定のふるまいを示す 2 台の車両を抽出し、パラメータを計算する。

3.1 道路ネットワーク構築

車両の相互作用に基づいて特定のシナリオを抽出するためには、車両のふるまいを推測する必要がある。InD データセットでは車両の位置やヨー角度などの詳細なスケールのデータは含まれているが、交差点でのふるまいや各指標の統計値などのデータは含まれていない。そのため、交差点における車両のふるまいは別のデータセットから推測する必要がある。

OSM (Open Street Map) は世界地図をつくる共同のプロジェクトで、自由に編集および利用が可能である。OSM ではノードやエッジなどのデータ構造を使用して、道路や建物などの地上の地物を表現でき、任意のタグを追加できる。

まず、OSM データから使用すべき領域のデータのみを抽出する。これは 3.2 節で述べるマップマッチングの計算コストを下げるために実施する。InD データセットの各計測情報データに含まれる計測地点のおおざっぱな緯度経度 p_{Lo} を含む OSM データの中から面積が最小のものを選択する。次に、InD データセットの車両、トラックまたはバスのオブジェクトについて、全時刻におけるデータ座標系の XY 方向の位置 $p_I(t)$ の最小値と最大値を計算し、選択した OSM データからその範囲内の道路ネットワー

クデータを抽出する。道路ネットワークのエッジデータに一方通行を表す "oneway" などのタグが追加されているかを確認し、それに基づいて道路の有向グラフを生成する。

次に、道路ネットワークのそれぞれのノードデータについて、交差点かどうかの情報を追加する。各ノードについて、先行ノードが2個以上かつ先行ノードと後継ノードの和が3個以上の場合に交差点を表すノードとして設定した。ただし、あるノードに対して連結しているノードを先行ノードとし、あるノードから連結されているノードを後継ノードとする。得られた交差点ノードについて、先行ノードとで形成されるエッジと、後継ノードとで形成されるエッジのなす角がしきい値 α_{in} 以上の場合を左折、しきい値の負値以下を右折、それ以外を直進として定義した。すなわち、先行ノードから交差点ノードを通って後継ノードに進むすべての経路について左折、右折、直進を割り当てた。

3.2 マップマッチング

車両の交差点での進行方向を推定するため、InDにおける車両の位置 $\mathbf{p}_I(t)$ からなる経路と、OSMの道路ネットワークとのマッチングを行った。まず、道路ネットワークからすべての準オイラーグラフ(スタートとゴールが異なる一筆書きができる図)の集合 G を抽出する。各グラフ $g \in G$ と InD で与えられる車両の経路をマッチングし、最もコストが小さい準オイラーグラフ g_{min} を車両の移動経路として採用する。

マッチングコストは、車両の位置とグラフとの距離に関するコスト c_D と、車両の進行方向とグラフのエッジとの角度に関するコスト c_θ からなる。まず、時刻 t における車両の位置 $\mathbf{p}_I(t)$ に対応する準オイラーグラフ g 上の最近傍点 $\mathbf{p}_g(t)$ を以下の式(1)を用いて計算する。準オイラーグラフの各ノードの座標の集合 N_g と、位置 $\mathbf{p}_I(t)$ から各エッジで表される線分におろした垂線との交点の集合 E_H を求め、これらの点の内、 $\mathbf{p}_I(t)$ との距離が最も小さい点を最近傍点 $\mathbf{p}_g(t)$ とする。ただし、 E_{gH} は線分と垂線の交点であり、交わらない場合は E_{gH} に含まれない。

$$\mathbf{p}_g(t) = \underset{\mathbf{p} \in \{N_g, E_{gH}\}}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{p} - \mathbf{p}_I(t)\| \quad (1)$$

時刻 t における距離のコスト $c_D(t)$ と角度のコスト $c_\theta(t)$ は以下の式 (2) および式 (3) で表される。距離のコスト $c_D(t)$ は最近傍点 $\mathbf{p}_g(t)$ と、時刻 t における車両の位置 $\mathbf{p}_I(t)$ の誤差を表す。また、 \mathbf{p}_{pre} は \mathbf{p} の先行ノード、 \mathbf{p}_{suc} は \mathbf{p} の後継ノードを示し、 $\mathbf{e}_{pg(t)}$ は、 $\mathbf{p}_g(t)$ を含むエッジの角度を示す。すなわち、角度のコスト $c_{g\theta}(t)$ は、 $\mathbf{p}_g(t)$ がノード上の点の場合、 \mathbf{p} の前後二つのノードで構成される直線の角度と、時刻 t における車両のヨー角度 $h_I(t)$ との誤差を表し、 $\mathbf{p}_g(t)$ がエッジ上の点の場合、最近傍エッジの角度との誤差を表す。

$$c_{gD}(t) = \|\mathbf{p}_g(t) - \mathbf{p}_I(t)\| \quad (2)$$

$$c_{g\theta}(t) = \begin{cases} \left| \frac{\mathbf{p}_{pre} \cdot \mathbf{p}_{suc}}{\|\mathbf{p}_{pre} - \mathbf{p}_{suc}\|} - h_I(t) \right| & \text{if } E_{gH} = \emptyset \text{ or } \mathbf{p}_g(t) \in N_g \\ \left| h_{\mathbf{e}_{pg(t)}} - h_I(t) \right| & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

式 (2) および式 (3) は、InD の車両の経路とグラフ g が等しいと仮定したときの距離と角度の誤差を示す。したがって、式 (4) に示すように、これらの誤差を最小とするグラフ g_{min} が求めるべき車両の経路となる。ここで、 β_D と β_θ は、距離のコストと角度のコストの比率である。このマップマッチングの結果から、各車両が進む経路において OSM の道路ネットワーク上で経路するノードとエッジを推定可能

となる。さらに、3.1 節で述べた交差点ノードの情報を組み合わせ、交差点での車両の進行方向を推定可能となる。

$$g_{min} = \operatorname{argmin}_{g \in G} \sum_{t=t_{start}}^{t_{end}} \{ \beta_D \cdot c_{gD}(t) + \beta_\theta \cdot c_{g\theta}(t) \} \quad (4)$$

3.3 シナリオとパラメータの抽出

まず、各交差点における左折車両と直進車両の組み合わせを求める。記録データのすべての時刻 $0 \leq t \leq T$ について、3.1 節および 3.2 節の結果を用いて交差点を走行している車両をすべて抽出し、直進、左折、右折のふるまいを推定する。

3.3.1 左折車両と直進車両の相互作用によるシナリオ

同時刻に同じ交差点を走行する車両について、左折車両と直進車両の組み合わせをすべて抽出する。それぞれの組み合わせについて、安全性評価に必要なパラメータを抽出する。まず、2 台の車両の速度 v_l 、加速度 a_l 、ヨー角速度 ω_l の統計値を計算する。ヨー角速度 ω_l はヨー角度 h_l の時間微分により計算し、反時計回り方向を正とする。まず、左折車両が交差点に進入してから角速度の絶対値が最初に γ_ω deg/s を上回った地点から、その車両が距離 γ_L だけ前後に進んだ地点または戻った地点での時刻 $t_{\pm\gamma_L}$ を計算し、 $\max(t_{-\gamma_L}, t_{start}) \leq t \leq \min(t_{+\gamma_L}, t_{end})$ を統計値の計算範囲とする。また、統計値としては最小値、最大値、平均値、分散値、中央値を用いる。また、左折車両が交差点に進入した時刻における直進車両から交差点入口までの距離 D_{l-s} を計算する。ただし、直進車両が先に交差点を通過する場合、 D_{l-s} を負値で表す。

3.3.2 直進車両と直進車両の相互作用によるシナリオ

同時刻に同じ交差点を走行する車両について、直進車両同士の組み合わせをすべて計算する。ただし、2 台の車両が対向車両ではなく、かつ異なる方向から交差点に進入する組み合わせのみを抽出する。3.3.1 項と同様の統計値を計算する。統計値の計算範囲は、 $t_{start} \leq t \leq t_{end}$ とする。なお、計測地点 $loc = 3, 4$ の交差点は T 字路であり、直進車両と直進車両の相互的な走行はないため除外する。

4. 結果と考察

InD データセットからシナリオを抽出した結果とパラメータを計算した結果を示す。しきい値はそれぞれ $\alpha_{in} = 15 \text{ deg}$ 、 $\beta_D = \beta_\theta = 0.01$ 、 $\gamma_\omega = 15 \text{ deg/s}$ 、 $\gamma_L = 30 \text{ m}$ とした。なお、シナリオの抽出とパラメータの計算に関するしきい値 γ_ω 、 γ_L は先行研究⁵⁾にしたがって決定した。ただし、InD では交差点付近のみを撮影しているため、 $\gamma_L = 30 \text{ m}$ の設定では、多くの状況で計測範囲となった。すなわち、3.3.1 項で述べた左折車両と直進車両のシナリオでは、統計値の計測範囲は $\max(t_{-\gamma_L}, t_{start}) = t_{start}$ 、 $\min(t_{+\gamma_L}, t_{end}) = t_{end}$ となるが多かった。

計測地点ごとに抽出されたシナリオの数を表 2 に示す。計測地点 $loc = 1$ では表 1 で示したように車両の往来が多く、比較的シナリオの抽出数も多くなった。反対に、計測地点 $loc = 2$ では車両の往来は多いものの、交通量の多い道路と交通量の少ない道路が交差しているため抽出されたシナリオの数が比較的少なかったと考えられる。

表2 シナリオの抽出結果

計測地点番号	左折車両と直進車両のシナリオ数		直進車両と直進車両のシナリオ数	
	<i>loc</i> = 1			
	<i>loc</i> = 1	285		318
	<i>loc</i> = 2	66		96
	<i>loc</i> = 3	174		0
	<i>loc</i> = 4	176		0
計		701		414

次に、抽出されたシナリオに基づいて計算された各車両のパラメータの統計値の計算結果を示す。本稿では縦速度に関する抽出結果を示す。まず、1 に左折車両と直進車両のシナリオにおける左折車両の縦速度の平均値のヒストグラムを示す。縦速度の平均値は 8 km/h から 24 km/h に多く見られた。

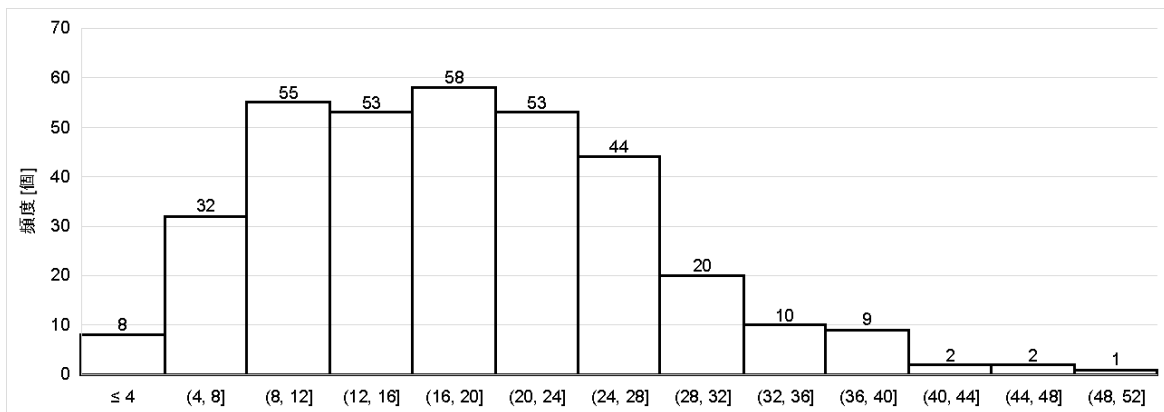


図1 左折車両と直進車両のシナリオにおける左折車両の縦速度の統計値のヒストグラム

図2 に左折車両と直進車両のシナリオにおける直進車両の縦速度の平均値のヒストグラムを示す。縦速度の平均値は 36 km/h から 60 km/h に多く見られた。今後は、交差点までの距離 D_{l-s} ごとに速度の平均値や加速度の最小値を計算することで、より詳細な分析が可能になると考えられる。

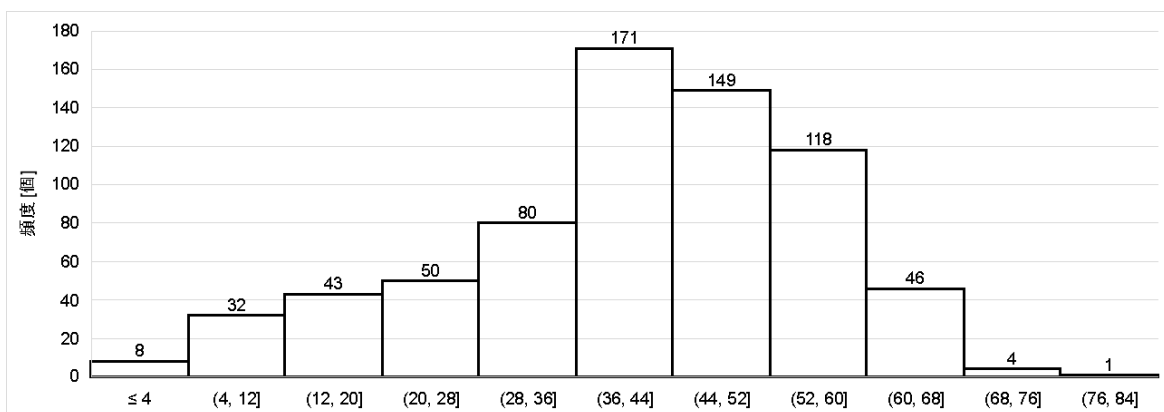


図2 左折車両と直進車両のシナリオにおける直進車両の縦速度の統計値のヒストグラム

図3に直進車両と直進車両のシナリオにおける縦速度の平均値のヒストグラムを示す。ただし、2台の直進車両は区別せずに全体の統計値を計算した。縦速度の平均値を見ると5 km/h から15 km/h にかけての領域と、40 km/h から50 km/h にかけての領域が比較的多くなっている。これは、直進車両と直進車両では優先車両と非優先車両の関係性が生じるため、図2で示した直進車両の結果とは異なる結果になったと考えられる。

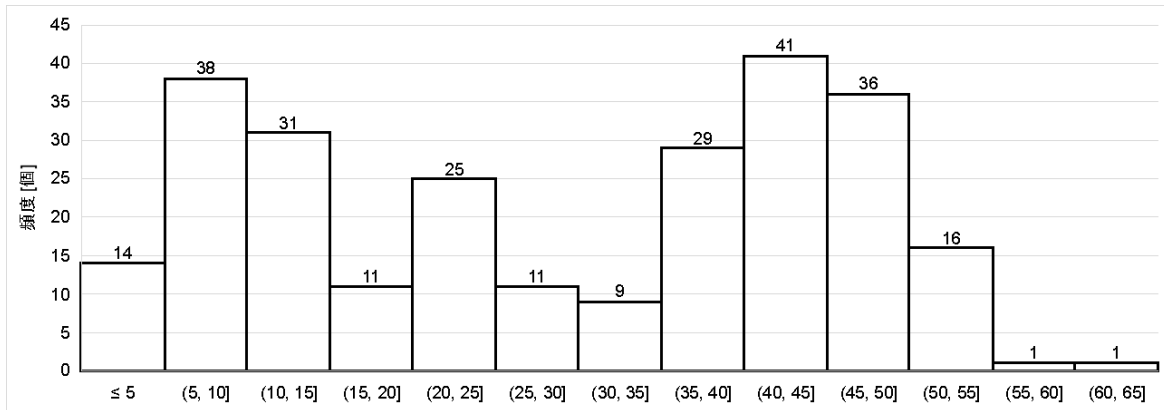


図3 直進車両と直進車両のシナリオにおける縦速度の統計値のヒストグラム

5. おわりに

本稿ではドイツ国内で計測されたドローンデータセットを用いて2台の車両の相互的なふるまいに基づいた特定のシナリオを抽出し、車両のパラメータの統計値を計算する手法について述べた。道路ネットワークデータを用いて交差点に関する情報を計算し、マップマッチングによって車両の経路と交差点における進行方向を推定した。シナリオとして、交差点における左折車両と直進車両の相互作用および直進車両と直進車両の相互作用を抽出した。それぞれ701件および414件のシナリオを抽出し、安全性評価に必要な車両のパラメータを計算することができた。

将来的にはパラメータごとの相互作用や、各シナリオにおける車両の安全な走行に必要なパラメータの範囲の決定に活用していきたいと考える。また、日本国内の同様な計測が行われた場合のデータに適用することで日独データの比較による地域差について検証することが考えられる。また、シナリオベースの安全性評価手法であるSAKURAプロジェクト²⁾で取扱っている国内データにおけるシナリオ抽出や、車両の物理パラメータの妥当な範囲の検討にも応用する予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、InD データセットを提供していただき、シナリオ抽出や物理パラメータ計算や応用先について助言していただいたikaに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) SAE International: Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems, Surface Vehicle Information Report J3016_201401, https://www.sae.org/standards/content/j3016_201401/, (参照 2024-11-7)
- 2) SAKURA: SAKURA Research Project. <https://www.sakura-prj.go.jp/>, (参照 2024-11-7)
- 3) Bock, Julian et al.: The inD Dataset: A Drone Dataset of Naturalistic Road User Trajectories at German Intersections, 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium. p. 1929-1934. (2020), [doi:10.1109/IV47402.2020.9304839](https://doi.org/10.1109/IV47402.2020.9304839)
- 4) 日本自動車工業会: 自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0. (2022), https://www.jama.or.jp/operation/safety/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf, (参照 2024-11-7)
- 5) Silvia Thal et al.: Generic Detection and Search-based Test Case Generation of Urban Scenarios based on Real Driving Data. 2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium. p. 694-701. (2022), [doi:10.1109/IV51971.2022.9827198](https://doi.org/10.1109/IV51971.2022.9827198)

自動運転安全性評価のためのシナリオデータベースの開発*

Development of Scenario Database for Safety Evaluation of Automated Driving

[安達 章人](#)*1

Akito ADACHI

[古性 裕之](#)*2

Hiroyuki FURUSHOU

[小西 薫](#)*1

Yuki KONISHI

日本の自動運転システムの安全性評価プロジェクトである SAKURA プロジェクトにおいて、安全性評価に必要なプロセスと評価手法の研究を行っている。本報告では、国連 WP29 にて定められた国際基準を満足するか検証するための交通外乱の評価シナリオを導出するシナリオデータベースの開発内容、また、自動運転システムの開発者に試行いただいた際のご意見などについて紹介する。

KEY WORDS: 自動運転, 安全性評価, 評価シナリオ, データベース, 国際基準

1. はじめに

自動車社会において、交通事故の削減、渋滞の緩和や環境負荷の低減などが強く求められる中、既存の取り組みだけでは抜本的な解決が困難と予想されるため、新たに自動運転への期待が高くなってきている。自動運転車（レベル3以上¹⁾）を早期に社会実装するためには、安全性を確実に担保できる安全性評価のプロセスや手法が必要である。一般財団法人日本自動車研究所（JARI）は、経済産業省からの委託事業「自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト（2018年度～）」²⁾⁷⁾（SAKURA プロジェクト⁸⁾）において、一般量産車の自動運転（レベル3以上）を対象として、国際動向を踏まえつつ、自動運転車が遭遇しうる場面を体系的にまとめたシナリオベースアプローチ⁹⁾による自動運転システムの安全性評価に必要なプロセスと評価手法の開発と検証を行っている。このプロジェクトでは、自動運転車と周辺交通参加者の衝突リスクを伴うクリティカルな交通外乱シナリオ（Traffic Disturbance：自車に対する周辺車のカットイン、カットアウト、減速など）を対象に開発と検証を行っている（Fig. 1）。また、国連 WP29（自動車基準調和世界フォーラム）の「セーフティビジョン」や国土交通省の「自動運転車の安全技術ガイドライン」¹⁰⁾では「自動運転車は、設定された運行設計領域（ODD）の範囲内において、自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」と定めている。本稿では、安全性評価を行うために、「合理的に予見される範囲」や「防止可能な範囲」を参照しながら評価シナリオを導出できる基盤（ツール）であるシナリオデータベース（以下、「シナリオ DB」という）の開発について紹介する。開発に当たっては、一般社団法人日本自動車工業会 自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0¹¹⁾を参照した。

* 2024年10月10日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士（工学）

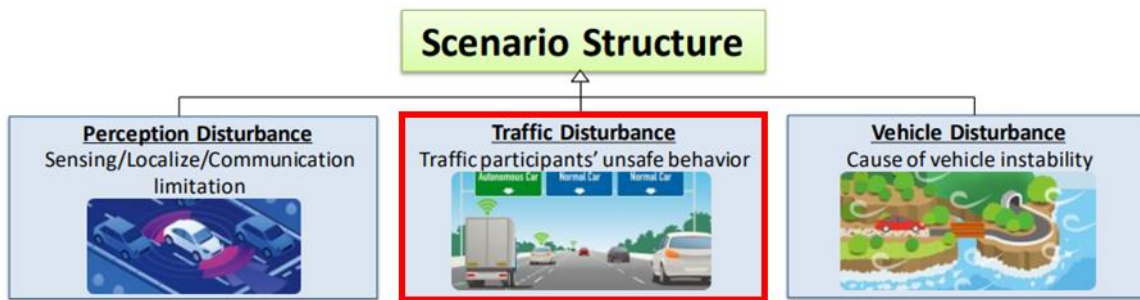


Fig. 1 シナリオベースアプローチにおけるシナリオ体系
(出典：一般社団法人日本自動車工業会 自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0¹¹⁾)

2. 安全性評価のプロセス全体

前章で述べた「自動運転システムの安全性評価に必要なプロセスと評価手法」の全体像を Fig. 2 に示す。本事業では、交通外乱シナリオおよびそれに紐づく各種パラメータの妥当性を裏付けるために、計測車や定点観測による①実交通流データ（カメラ映像や LiDAR 点群データなどの計測生データ）の収集，②交通外乱データ（計測生データから導出される交通参加者の軌跡データ）の抽出，③交通外乱シナリオの抽出とそれぞれに紐づく各種パラメータの統計分析を行うことにより「合理的に予見される範囲」を導出した。「防止可能な範囲」については、「注意深く有能なドライバ（Competent and Careful Human Driver）」の行動モデルで定義され、このドライバモデルが防止できる事故は自動運転システムも回避しなければならない。2020年6月に、60 km/h 以下の自動車専用道路の本線走行中の渋滞時に自動で車線維持をするシステムの国際基準（UN Regulation No. 157¹²⁾）が制定され、この基準のなかには、自車の前方に危険が迫るシナリオとしてカットイン・カットアウト・減速の3つのシナリオについて、ドライバモデルを使った前述の方法で導出した「防止可能な範囲」が記されている。シナリオ DB は、自動運転システムの安全性を評価するために、これら「合理的に予見される範囲」や「防止可能な範囲」を参照しながら④評価シナリオを導出するための基盤（ツール）と考える。

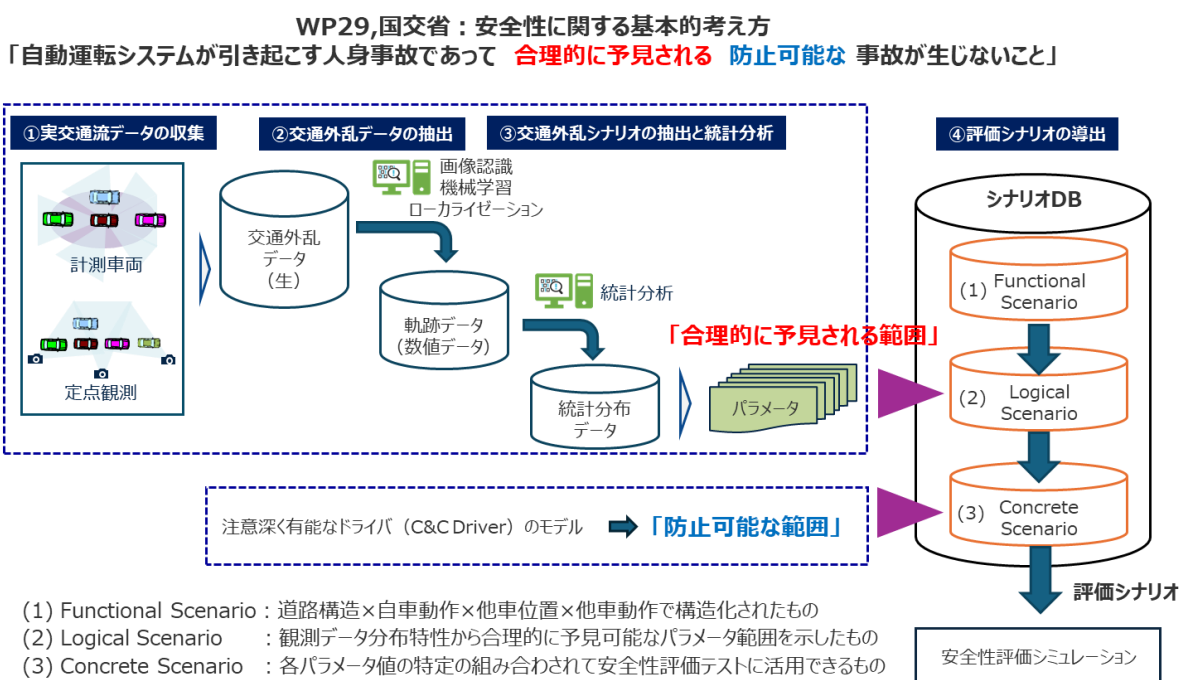


Fig. 2 安全性評価のプロセス全体

3. シナリオDBの開発

開発するシナリオ DB が自動運転システムの開発に役立つためには、自動運転システムの開発現場のニーズに合った機能を織り込む必要がある。そのため、今回は協力いただける自動運転システムの開発現場の担当者に、シナリオ DB のアウトプットとなる評価シナリオなどのサンプルを提供し、安全性評価への活用を想定してもらい、シナリオ DB に対するニーズや意見をヒヤリングした。

3.1 シナリオDBへのニーズ集約

自動運転システムの開発現場の担当者からは安全性評価への活用の観点で多くのニーズを聞くことができた。これらのニーズについて、ニーズの大きさや提供価値としてのインパクトの大きさ、また、開発難度などの観点で優先順位をつけて、今回開発するプロトタイプ of シナリオ DB に織り込む機能を整理した (Table 1)。また、次節 3.2 にて述べるシナリオ DB の活用事例との対応関係を A~H で示した。

Table 1 開発現場のシナリオDBへのニーズの整理

優先順位の高いニーズ (機能)	シナリオ DB 活用事例の 対応部分 (Fig. 3)
安全性評価したいシナリオを、網羅的な交通外乱シナリオ体系より選択し、対象を絞りながら抽出したい。	A
ODD (運行設計領域; 車速, 道路曲率など) に合致した評価シナリオを作成したい。	B
「合理的に予見される範囲」を ODD に応じて定量化したい。	C
「注意深く有能なドライバ (Competent and Careful Human Driver)」の行動モデルを用いて、「防止可能な範囲」を設定したい。	D
厳しめの判定基準 (ロバスト性検証用など) など多様な評価シナリオがほしい。	E
安全性評価シミュレーションに入力可能なフォーマットの評価シナリオがほしい。	F
評価シナリオの導出根拠を提供してほしい。	G
テスト結果を可視化できるように、「合理的に予見される範囲」と「防止可能な範囲」を重ねて表示してほしい。	H

3.2 ニーズを反映したプロトタイプシナリオDBの機能と活用事例

今回開発するプロトタイプのシナリオDBには、自動運転システムの開発現場の優先順位の高いニーズ (Table 1) を機能に落とし込んで織り込んだ。これらの機能を織り込んだシナリオDBの活用事例を Fig. 3 に示す。Table 1 のニーズ (機能) との対応関係を A~H で示した。

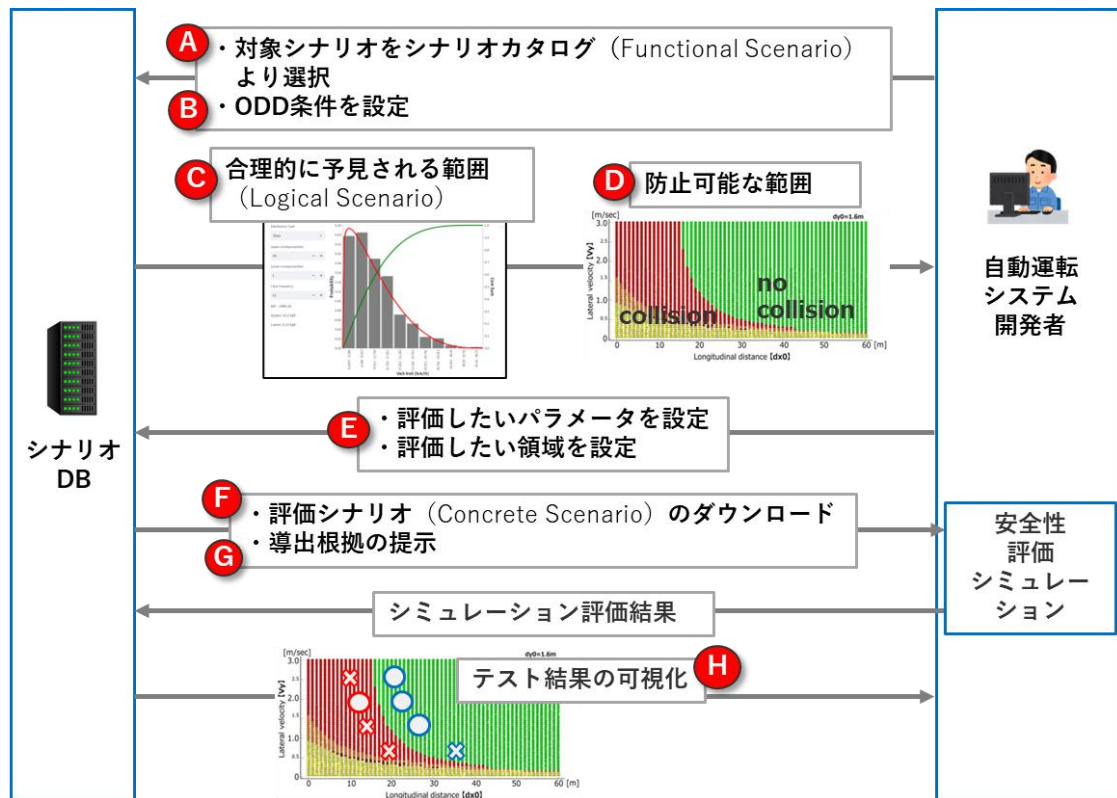


Fig. 3 シナリオDBの活用事例

4. プロトタイプシナリオDBに対する意見集約

今回開発したプロトタイプのシナリオDBを、協力いただける自動運転システムの開発現場の担当者に提供し、システム開発を想定して活用してもらった。また、シナリオDBの事前説明の際、または、活用後にシナリオDBの狙いや機能に関する要望・意見のヒヤリングを行い、これら要望・意見を現状の進め方に関するもの、今後の期待に関するものに分類し整理した（Table 2）。いただいた多くの要望・意見は、本事業の目指す開発の方向性と合致しており、また、将来に向け更なる期待も寄せられた。

Table 2 プロトタイプシナリオDBに対する意見集約

現状の 進め方	① 認可を得るためには安全であること（条件やクライテリア）を示す必要があり、第三者機関が示す合理的予見可能範囲、回避可能範囲はそのリファレンスとして有効である。
	② 「合理的に予見される範囲」の信頼性向上を図るため、データ・シナリオ数の拡充を期待したい。海外も含め、継続的に実施してほしい。
	③ 大型車を対象にしたC&Cドライバモデル構築（回避可能範囲に関連）やパラメータ分析（合理的予見可能範囲に関連）を期待したい。
	④ 「合理的に予見される範囲」を表示する際に、タグ情報を用いた検索条件が充実されると、開発システムの弱点・課題となるシナリオの特徴や分布が把握でき、開発の効率化につながる。
今後の 期待	⑤ 合理的予見可能範囲と回避可能範囲が重畳表示されたものを参照して効率的に評価シナリオを作成したい。
	⑥ 現実の事故（責任分担）やヒヤリハットとの関係も重畳できると有効な根拠となる。
	⑦ 実交通環境シーンを忠実にシナリオ化し、シミュレーション評価につながられるとより良い。
	⑧ 汎用的な安全性評価シミュレーションに入力可能な評価シナリオがほしい。

5. まとめ

本開発では、シナリオベースアプローチによる自動運転システムの安全性評価に必要な「合理的に予見される範囲」や「防止可能な範囲」を参照しながら評価シナリオを導出するプロトタイプのシナリオDBの開発を実施した。開発に当たっては、事前に自動運転システムの開発現場の担当者にニーズをヒヤリングし、活用事例の仮説を立てながら優先順位の高い機能を織り込んだ。その後、開発したプロトタイプのシナリオDBを協力いただける自動運転システムの開発現場の担当者に提供し、システム開発を想定して活用してもらい、率直な要望・意見を伺った。いただいた多くの要望・意見は、本事業の目指す開発の方向性と合致していた。また、将来に向けたさらなる期待については今後の改善に向け検討を進めていきたい。

今後の展望として自動運転車の機能は進化していくものであり、機能の進化に合わせた安全性評価の実施が求められる。さらに、自動運転車の普及に伴って交通環境が変化する可能性もあり、そのような変化をタイムリーかつ継続的に反映できるシナリオ更新の仕組みを検討する必要がある。そのためには、継続的に実交通流データを取り込んでいく必要があり、実交通流データを計測しているさまざまな利害関係者と連携し、それらのデータを活用してシナリオを更新できる体制を構築していく必要があると考えられる。また、今後実交通流データを計測し続けることは大きな負担となるため、新たな技術である生成AIを活用し、実データから生成した仮想データも組み合わせるなどシナリオ更新の効率化の検討も進めていきたい。

謝辞

本開発は経済産業省からの委託事業として、一般財団法人日本自動車研究所が2018年度より実施した内容の一部をまとめたものであり、ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles
https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/, (参照 2024-10-10)
- 2) 平成30年度 高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業（自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト）成果報告書，一般財団法人日本自動車研究所（2018）
- 3) 平成31年度 高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業（自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト）成果報告書，一般財団法人日本自動車研究所（2019）
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000329.pdf, (参照 2024-10-10)
- 4) 令和2年度 高度な自動走行・MaaS等の社会実装に向けた研究開発・実証事業（自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト）成果報告書，一般財団法人日本自動車研究所（2020）
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000631.pdf, (参照 2024-10-10)
- 5) 令和3年度 無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業（自動走行システムの安全性評価基盤構築に向けた研究開発プロジェクト）成果報告書，一般財団法人日本自動車研究所（2021）
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000334.pdf, (参照 2024-10-10)
- 6) 令和4年度 無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業（自動走行システムの安全性評価基盤構築に向けた研究開発プロジェクト）成果報告書，一般財団法人日本自動車研究所（2022）
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2022FY/000450.pdf, (参照 2024-10-10)
- 7) 経済産業省製造産業局自動車課: 安全性評価戦略サブワーキンググループ,
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/jido_soko/anzensei_hyoka/index.html, (参照 2024-10-10)
- 8) SAKURAプロジェクト, <https://www.sakura-prj.go.jp/>, (参照 2024-10-10)
- 9) H.Weber, et al.: A framework for definition of logical scenarios for safety assurance of automated driving, Traffic injury prevention 20 (sup1), S65-S70, [doi:10.1080/15389588.2019.1630827](https://doi.org/10.1080/15389588.2019.1630827), (参照 2024-10-10)
- 10) 自動運転車の安全技術ガイドライン, 国土交通省自動車局, <https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf>,
(参照 2024-10-10)
- 11) 自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0,
https://www.jama.or.jp/operation/safety/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf, (参照 2024-10-10)
- 12) UN Regulation No. 157 - Automated Lane Keeping Systems (ALKS),
<https://unece.org/transport/documents/2021/03/standards/un-regulation-no-157-automated-lane-keeping-systems-alks>,
(参照 2024-10-10)

レベル4 自動運転移動サービスの社会実装に向けた 安全設計・評価に係る取り組み*

—RoAD to the L4における事例—

長谷川 信*¹
Makoto HASEGAWA

赤津 慎二*²
Shinji AKATSU

平岡 敏洋*³
Toshihiro HIRAOKA

谷川 浩*¹
Hiroshi TANIGAWA

経済産業省と国土交通省による RoAD to the L4 プロジェクトでは、持続可能なモビリティ社会を目指し、2025 年頃までに全国 50 か所程度で無人自動運転サービス（レベル4）を実現させることを目標として自動運転レベル4の社会実装に取り組んでいます。本稿では、当該プロジェクトにおいて一般財団法人日本自動車研究所（JARI）が担当している、自動運転車両の安全性に係る設計と評価の取り組みについてご紹介します。なお、本稿は、JARI シンポジウムの講演を元に再構成したものです*。

KEY WORDS: 自動運転, 移動サービス, 安全設計, 安全性評価

1. はじめに

自動運転レベル4による移動サービスの社会実装に向けて、一般財団法人日本自動車研究所（JARI）では、「自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト (RoAD to the L4: Project on Research, Development, Demonstration and Deployment (RDD&D) of Automated Driving toward the Level 4 and its Enhanced Mobility Services)」¹⁾において、自動運転車両の走行の安全性に係る設計と評価の取り組みを進めています。本稿では、RoAD to the L4 プロジェクトを概説し、つづいて、安全性に係る設計および評価の取り組みを説明します。さらに、安全走行戦略の考え方や具体の検討例と、それらに関係者で合意形成する際の支援ツールについても紹介します。

なお、著者らが所属する JARI 新モビリティ研究部は、創設3年目の新しい組織であり、100年に1度と言われる変革期において、モビリティやそのサービスが社会に提供する価値、いわば安全性や環境性に加えて社会性や経済性などの向上に資する価値の創出に向けた新モビリティ分野の研究に挑戦しています。具体的には、自動運転移動サービスの安全設計・評価、地域とモビリティサービスに係る調査研究、機能安全（ISO 26262）やサイバーセキュリティ（ISO/SAE 21434）、自動走行システムの国際標準化、モビリティに関する研究会活動等を進めています。

2. RoAD to the L4プロジェクトの概要

RoAD to the L4 プロジェクトは、経済産業省および国土交通省の委託事業で、CASE²⁾、カーボンニュートラルといった自動車産業を取り巻く大きな動きを踏まえて、持続可能なモビリティ社会を目指し、自動運転レベル4等のモビリティサービスを実現・普及させることで、環境負荷の低減や移動課題の解決などの各種社会問題の解決を図るものです。その結果として、わが国の経済的価値の向上に貢献することが期待されています。

* 一般財団法人日本自動車研究所（JARI）開催の「JARIシンポジウム 自動運転レベル4の実現に向けて～様々な角度からみた現在地と今後への期待～」（2024年1月12日）の講演を基に再構成； 2024年10月18日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 新モビリティ研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 新モビリティ研究部 博士（システムズ・マネジメント）

*3 一般財団法人日本自動車研究所 新モビリティ研究部 博士（情報学）

RoAD to the L4 プロジェクトのスコープは多岐に渡りますが、JARI では、国立研究開発法人産業技術総合研究所(AIST)らにより構成されるコーディネート機関の下で、目標・KPI(Key Performance Indicator: 重要業績評価指標)の一つである、「無人自動運転サービスの実現および普及の取組み」に係る事業を受託しています。2022年度を目途に限定エリア・車両での遠隔監視のみ(レベル4)での自動運転サービスを実現し、2025年度までに多様なエリア、多様な車両に自動運転を拡大し、全国50か所程度に展開するなどの活動に注力しています。

上記活動の一環として、レベル4自動運転移動サービスの実証と社会実装の実現に向けてテーマ1からテーマ4までの4件のテーマ活動がありますが、JARIは、テーマ2とテーマ4に参画しています。

テーマ2は、[茨城県日立市のひたちBRT](#)(Bus Rapid Transit: バス高速輸送システム)を実証フィールドとして、一般道との交差点を含む専用道区間等におけるレベル4自動運転サービスの実証と社会実装の実現に取り組んでいます。

鉄道跡地を整備した専用道区間と一般道区間のあるひたちBRTのうち、自動運転を行うのは一般車両や自転車等の存在しない専用道区間となりますが、一般道との交差点や歩道と併走する区間があり、走行には注意が必要です。

テーマ4は、千葉県柏市の柏の葉地域を実証フィールドとして、一般車両や自転車、歩行者等が共存する混在空間でのインフラ協調を活用したレベル4自動運転サービスの実証と社会実装の実現に取り組んでいます。信号交差点の右左折や路上駐車車両の回避走行など多種多様なシーンに対して、車載センサによる自律の走行に加えて、信号やインフラセンサの情報をを用いる協調型システムを目指しています。

なお、RoAD to the L4プロジェクトの「人の移動に関するタスクフォース」の傘下には、協調領域の技術要件等を議論するワーキンググループの一つとして安全走行戦略WGがあり、JARIは、安全走行戦略WGの座長と運営を担当しています。

3. RoAD to the L4プロジェクトにおけるJARIの取り組み(1): 安全設計支援と安全性評価

レベル4自動運転移動サービスにおいて、乗客や乗員、および他の交通参加者(歩行者、自転車、他の車両)などへの安全性の確保は、最も重要な事項です。テーマ2およびテーマ4では、自動運転車両の自動運行装置は先進モビリティ株式会社によって開発され、その安全に係る設計支援と評価をJARIが担当しています。

3.1 自動運転車両の設計支援と基本性能の評価

安全性の確保に向けたプロセスとして、「想定されるリスクを網羅的に評価し、つづいて、それらに対応した、運行設計領域(ODD: Operational Design Domain)の設定、車両の選定や自動運行装置の検討、遠隔監視など運行形態の設定、運行管理・保守点検体制の整備などに対して、その安全対策をあらかじめ十分に設計の段階で作り込むこと」が求められます。

具体的な取り組み内容を紹介します。まず、想定リスクを網羅的に挙げるにあたって走行環境の精査を行います。テーマ2では、BRT専用区間につき一般車両は進入しませんが、一般道との交差点の通過において「一般車両との交差通行がある」、「歩道脇を走行する区間がある」、「横断歩道や横断指導線の箇所では歩行者等の横断がある」などに留意する必要があります。テーマ4では、一般車両や自転車、歩行者等が共存する混在空間の一般道であり、「対向車両や先行・並走車両、あるいは横断歩行者などがさまざまに交錯する信号交差点での右左折の箇所」、「路上駐車車両の脇を回避して通過する箇所」、「歩道脇を走行する区間」などが交通環境の留意点として挙げられます。(図1)

JARIの取組み(1): 安全設計支援と安全性評価

◆自動運転車両の設計支援と基本性能の評価

✓安全走行方法の策定

- 一般道との交差点通過や、歩道と並走する区間あり（テーマ2）
- 交差点右左折や、路駐車車両脇を通過する区間あり（テーマ4）



想定されるリスクを網羅的に評価し、それに対応した車両の選定や自動運転システムの開発、ODDの設定、遠隔監視・操作など運行形態の設定、運行管理・保守点検体制の整備など、その安全対策をあらかじめ十分に、設計段階で作り込む。



図1 自動運転車両の設計支援と基本性能の評価

次に、想定されるリスクを網羅的に表現したリスクシナリオを策定します。本プロジェクトでは、SAKURA プロジェクトのような統計的なデータに基づく網羅的なシナリオではなく、実際の交通環境から特徴を抽出して、走行環境を類型化した網羅的な走行分類表を作成し、その分類ごとに想定するリスクを列挙する手法を取っています。リスクが高いシナリオについては、後述するテストコース、および実走行環境で評価を行います。

テーマ2の例では、走路の専用度合い（専用道、一般道との交差点、歩道並走部など）、バス動作や道路インフラなどの観点で走行分類を策定して、各分類の特徴に応じた具体的なリスクのシナリオを列挙しています。具体的なシナリオとしては、一般道との交差点において、自動運転バスが通過するタイミングでの交差車両の接近、あるいは、他車両による死角からの車両の飛び出しなどが挙げられます。さらには、一般道との並走部における一般道横断歩道からの歩行者・自転車の横断、一般道と斜めに交差する箇所での複数の交通参加者の交差のシナリオなども抽出されています。（図2）

JARIの取組み(1): 安全設計支援と安全性評価

◆リスクシナリオ作成

- ✓道路構造や走路の特徴から走行環境ごとに分類
- ✓交通参加者がとり得る走行シナリオを検討した上で、リスクの高いシナリオを抽出
- ✓抽出したリスクシナリオに基づいて、テストコース・実走行環境で妥当性確認を行う

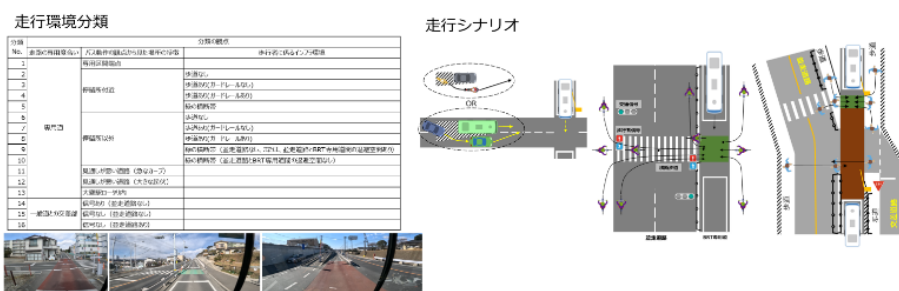


図2 リスクシナリオ作成

つづいて、前述のリスクシナリオに基づき、テストコース、および実走行環境で評価を行い、自動運行装置が設計どおりに動作すること、および安全走行戦略が妥当であることを確認していきます。（図3）

JARIの取組み(1): 安全設計支援と安全性評価

◆自動運転車両の設計支援と基本性能の評価

✓妥当性確認1：JARIテストコース Jtownにおける評価



図3 自動運転車両の設計支援と基本性能の評価

まず、テストコースでの評価では、設計・実装した周辺環境認識系や車両制御系の基本的な性能の確認を目的に、リスクシナリオに列挙した走行環境や他の交通参加者の挙動を再現して、自動運転バスの対応挙動を検証する動的シナリオ試験、雨や霧などの天候条件や逆光・夜間などの日照条件により視界不良な状況を屋内で再現して、車載センサの周辺環境認識性能を検証する特異環境試験の2種類を行います。

本プロジェクトでは、JARIのテストコース Jtown にて、自走する台車とそれに搭載したダミー人形・ダミー車両により再現した並走・交差する歩行者や車両の検知と対応の検証や、設置した遮蔽物により交差点の構造物による死角を再現し、その陰から接近して来る交差車両の検知と対応の検証などを実施しています。また、同じく Jtown の特異環境試験場では、夜間の照度や逆光、降雨や霧をさまざまに再現して、当該状況下での周辺環境認識性能の検証を行ってきています。

次に、実走行環境における評価では、ODD として設定している条件下、かつ他の交通参加者と交錯する実際の走行環境で、設計・実装した周辺環境認識系や車両制御系の性能を確認し、設定した安全走行戦略の妥当性を検証することを目的として、走行動画の解析によるドライバの運転介入シーンの評価を行います。

本プロジェクトでは、レベル4対応の車両にドライバが乗車するレベル2状態での走行試験において、走行状況を複数のカメラで撮影した上で、その映像をオフラインで解析し、ドライバ介入シーンに対して、発生要因や車載センサの認識と車両挙動の妥当性を検証しています。例えば、右方から車両が接近してくるシーンにおいて、想定した距離で接近車両を認識できていたか、対応する挙動は妥当かなどを関係者で検証しています。

3.2 機能安全・SOTIF・サイバーセキュリティ

安全設計において、故障によるリスクを扱う機能安全（ISO 26262）や、故障によらない一般性のリスクを扱う SOTIF（ISO 21448）、デジタル情報の改ざん、漏洩を防ぐ対策であるサイバーセキュリティに関する取り組みも重要です。機能安全は、いわゆる自動運転車両が機能不全により走行中に予期しない振舞いをしないことを保証すること、一般的にはフェールセーフ／フェールオペレーショナルと言われるような動作が、適切に設計で織り込まれているかの評価を行います。SOTIF では、環境や使用条件を適切に認識して適切な振る舞いをすることで意図した機能が安全に実現できているかの評価を行います。サイバーセキュリティは、自動運転システムがハッカーやサイバー攻撃から保護されていることの評価を行います。

JARI では、これら 3 項目の調査研究に加えて、お客様へのトレーニングやコンサルティングの機会を提供しており、それらの活動で蓄積した知見を RoAD to the L4 プロジェクトへ適用しています。（図 4）

JARIの取り組み(1): 安全設計支援と安全性評価

◆機能安全・SOTIF・サイバーセキュリティ

✓機能安全

- 自動運転サービスが機能不全により走行中に予期しない振舞いをしないことを保証する
 - 車載および遠隔監視のシステム失陥を検知・対処する機能を加えることで実現
 - 自動車システムの設計、開発、製造、使用、保守および廃棄におけるプロセスや手法を定めたISO 26262に則る
 - 失陥時に安全に停止する**フェールセーフ動作**、安全な場所まで走行を継続する**フェールオペレーショナル動作**に対応

✓SOTIF

- 自動運転システムが環境や使用条件を適切に認識し、それに応じて適切な振舞いをするこ
で、意図した機能を安全に実現することを保証する
 - 自動車システムの設計、開発および製造におけるプロセスや手順を定めたISO 21448に則る
 - 性能限界（**技術的機能の限界**）、ミスユース（製造業者又はサービスプロバイダが**意図しない方法での使用**）に対応

✓サイバーセキュリティ

- 自動運転システムをハッカーやサイバー攻撃から保護する
 - サイバーセキュリティへの対応は法規要件である
 - 自動車システムの設計、開発、製造、使用および保守におけるプロセスを定めたISO/SAE 21434に則る



図4 機能安全・SOTIF・サイバーセキュリティ

4. RoAD to the L4プロジェクトにおけるJARIの取り組み(2)：安全走行戦略の検討

自動運転移動サービスに必要な安全性の確保に向けた設計を確実かつ効率的に行うための、一連の実施項目、実施方法、注意点、実施事例等を体系的にまとめた「安全設計・評価ガイドブック」^{3),4)}では、「安全走行戦略」という単語は、「大局的な視点で、合理的に予見可能で回避可能な事故を回避するための考え方や方策」を指すものとしています。本章では、RoAD to the L4 プロジェクトにてJARIが担当している、安全走行戦略に関する取り組みを紹介します。

4.1 安全な走行戦略の基本的な考え方

自動運転車両の安全目標に関して、日本では国土交通省の「自動運転車の安全技術ガイドライン」、国際連合欧州経済委員会（The United Nations Economic Commission for Europe：UNECE）の自動車基準調査世界フォーラム（WP.29）ではフレームワークドキュメント、欧州連合では規則（EU）2022/1426にて、「許容不可能なリスクを生じさせない」との旨で、「自動運転車の安全性を確保するために、合理的に予見可能かつ防止可能な傷害または死亡をもたらす交通事故を起こさないこと」、「自動運転システムが作動中、乗車人員および他の交通の安全を妨げる恐れがないことについて、注意深く有能な運転者と同等以上のレベルであること」が定められています。

この安全目標を達成するための安全走行戦略の検討にあたり、自動運転車両が道路交通法等の関係法令を遵守することを前提条件として、その上で、「合理的に予見可能で防止可能」とは一体どういう状態を指すのか。また、法令違反状態の他の交通参加者への対応はどうあるべきか、を検討する必要があります。具体的には、速度超過で走行してくる他の交通参加者の挙動、信号無視での交差点進入や歩行者の飛び出しをどこまで予測して対応すべきか、などです。これらに関しては、社会全体で許容できるリスクのレベルを、具体的に定義していく必要があります。作る側が一方的に決めるものではなく、社会の受容性がこのレベルを決めていくと認識していて、一概に線が引けるものではないため、今後も社会実装に取り組む関係者で議論と検討がなされていくべき事項と考えます。（図5）

JARIの取組み(2): 安全走行戦略の検討

◆安全な走行方法の基本的な考え方

✓自動運転車の安全目標 by 自動運転車の安全技術ガイドライン（日本），
Framework doc. (WP29/UNECE), Regulation (EU)2022/1426

・「許容不可能なリスクを生じさせない」

- 自動運転車の安全性を確保するために、**合理的に予見可能**かつ**防止可能**な傷害または死亡をもたらす交通事故を起こさないこと
- 自動運転システムが作動中、乗車人員および他の交通の安全を妨げる恐れがないことについて、**注意深く有能な運転者と同等以上のレベルであること**

✓安全走行戦略

- ・「合理的に予見可能で防止可能」の定義
- ・法令違反状態の他の交通参加者への対応
- ・社会全体で許容できるリスクのレベルの具体的な定義



図5 安全な走行方法の基本的な考え方

主要な走行シーンでの安全走行戦略の検討例を紹介します。まず、「歩行者脇通過」のシーンにおいては、歩車分離の状況や歩行者の状態から、歩行者が走行路に飛び出してくるシナリオを想定し、歩行者との衝突リスクを許容可能なレベルに低減できる速度で歩行者に接近し、通過する、とまとめることができます。

この戦略に基づいて、車両の走行速度は、歩行者と車両間の前後距離と横方向距離、さらには車両の制動能力などに基づいて決定されます。歩行者が急に飛び出してくると想定した場合に自動運転車両と接触または衝突が避けられないような危険ゾーンに歩行者がいる状況では、自動運転車両は徐行ないし

は停止することで衝突リスクを許容可能なレベルまで低減することができます。歩行者飛び出しの想定範囲（飛び出し速度の値など）は、関係者の議論で決めていくことが重要です。（図6）

JARIの取組み(2): 安全走行戦略の検討

◆主要走行シーンの安全走行ストラテジ：歩行者脇通過

◆走行環境

- ✓並走する歩道がある自動運転車両専用路
 - ・車道と歩道を分離する路肩 → 複数の種類がある
 - 白線のみ/縁石あり/ガードレール(隙間あり) /ガードレール(隙間なし)

◆走行方法の基本的な考え方

- ✓車両の走行速度
 - ・歩行者と車両間の前後&横方向の距離に基づいて決定
- ✓潜在的な危険性
 - ・歩行者が5km/hで真横に飛び出してくると想定
 - 接触・衝突が避けられない**危険ゾーン**に歩行者がいる場合 → 徐行または停止
 - **危険ゾーン**に歩行者が存在する状態が長時間継続した場合 → 自動運転終了

◆検討のポイント

- ✓歩行者飛び出しの想定範囲
 - ・「5km/hでの真横飛び出し」でいいのか ← ADASでの議論に基づく
 - ・ ADASは衝突回避、ADでは危険回避を考慮する必要が異なるか？
 - ・ 道路構造や天候、車両（歩行者からの視点）、併走等の違いについて考慮不要か？
- ✓危険予知運転の考え方
 - ・ **状況1**: 遮断物等で見通しが悪い場合
 - そこに歩行者が存在することを想定して走行（= 遮断物との横距離に応じて徐行）
 - ・ **状況2**: ガードレール等で歩行者の飛び出しが難しくなる場合
 - すり抜けの容易性に応じて走行速度を変える
 - ・ **状況3**: 夜間・雨天の路上での横断などがある場合
 - 発見困難かつリスク（傷害度、頻度等）を論理的に説明しにくい → どう考慮するか
- ・ **一般路への展開**
 - 水平寺町では、衝突検知後の最大制動で最善を尽くすことも考慮されている
 - 今回はひたちBRTバス専用路が検討事例 → 一般路走行にそのまま展開可能か否か






図6 主要走行シーンの安全走行ストラテジ：歩行者脇通過

次に、「無信号交差点における直進」のシーンにおいては、交差車両の位置、速度、自車両が交差点を通過するために必要な時間から、交差車両が交差点に到達する前に自動運転車両が交差点を通過可能かについて判断し、交差点進入後は速やかに通過する、とまとめることができます。

ここで、安全走行戦略に影響を与える要因として、交差車両の速度をどのように想定するのか、たとえば、実勢速度（85 パーセントイル速度）を用いたらよいかなどを検討しなければなりません。また、自動運転車両が走行する道路が優先側なのか、それとも非優先側なのかといったことや、見通しの良し悪しも考慮に入れる必要があります。（図7）

JARIの取組み(2): 安全走行戦略の検討

◆主要走行シーンの安全走行ストラテジ：無信号交差点直進

◆走行環境

- ✓自動運転車両の専用路と一般車道（交差点）との**交差点**
 - ・交差点の見通し：見通しが良い場合、必要な見通しが効かない場合があり
 - ・道路の優先関係：交差点が優先の場合、非優先の場合があり

◆走行方法の基本的な考え方

- ✓交差点進入の可否判断
 - ・交差車両の位置と速度から交差点進入の可否を判断
- ✓交差点進入後の挙動
 - ・進入後は速やかに通過
- ✓ポイント
 - ・優先非優先ごとに手続が異なる

◆議論のポイント

- ✓関連法規：道路交通法・第36条、38条、42条
- ✓危険予知運転の考え方
 - ・交差車両の速度
 - ・ 実勢速度（85パーセントイル速度）でよいか
 - ・ 道路の優先・非優先
 - 道路交差点・**第36条**の遵守を前提として、以下のことを仮定してよいか
 - ▶ 自動運転車側が優先道路の場合：交差車両の検知・停止を待機する
 - ▶ 交差車両側の優先道路の場合：交差車両が自動運転車に道を譲ってくれない
 - ▶ 優先関係が分かりにくい場合：交差車両が右方優先（第36条第1項第1号）を遵守する
 - ・ 見通しの悪い交差点
 - 道路交差点・**第42条**の遵守を前提として、以下のことを仮定してよいか
 - ▶ 自動運転車側が優先道路の場合：交差車両の検知・停止を待機して徐行しない
 - ▶ 交差車両側が優先道路の場合：徐行する（= 交差車両が自動運転車に道を譲ってくれない）
 - ・ 歩行者がいる場合
 - 道路交通法・**第38条**の遵守を前提としてよいか




図7 主要走行シーンの安全走行ストラテジ：無信号交差点直進

つづいて、「信号交差点における右折」のシーンにおいては、交差点進入かつ右折開始の可否判断は、信号が青であり、走行経路上に障害物がなく、他の優先的な交通参加者（対向直進車・左折車や歩行者など）の通行を妨げない、の三つの条件が全て満たされる必要がある、とまとめることができます。

ここで、安全走行戦略に影響を与える要因として、対向直進車の速度予測や、対向右折待ち車両や先行車両が作る死角をどのように考慮するかなどが挙げられます。（図8）

JARIの取組み(2): 安全走行戦略の検討

◆主要走行シーンの安全走行ストラテジ：信号交差点右折

<p>◆走行環境</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓一般車両や歩行者等と自動運転車両とが共存する混在空間での信号交差点 ・周辺交通の状況：自由流の場合、渋滞流の場合があり ・対向路や交差点の見通し：見通しが良い場合、必要な見通しが効かない場合*があり <small>(* 要因として、静的な死角：建物・植栽・路駐車両等が作る死角、動的な死角：対向右折車や対向直進車等が作る死角、の高ケースあり)</small> <p>◆走行方法の基本的な考え方</p> <p>✓次の条件(1)-(3)が成立することを確認しながら走行する</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 信号が「青」である（或いは「黄」において停止位置への近接で安全に停止できない場合）（現在時刻） (2) 走行経路上に障害物がない （現在時刻） (3) 他の優先的な交通参加者の通行を妨げない （現在時刻～数秒先） 	 <p>信号交差点右折シーンの再現</p>	<p>◆議論のポイント</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓関連法規：道路交通法・第34条、35条、36条、37条、38条、42条 ✓危険予知運転の考え方 <ul style="list-style-type: none"> ・対向直進車両の速度 <ul style="list-style-type: none"> - 実勢速度 （85パーセントイル速度） でよいか、 ・対向直進車両の行動、右折先の交通参加者の行動 <ul style="list-style-type: none"> - どのように予測するのが妥当（合理的）か、 ・周辺交通が自由流の場合 <ul style="list-style-type: none"> - 見通しが良い場合：自動運転車にはどこまでの防衛運転が期待されるか、 - 見通しが悪い場合（静的な死角、動的な死角）：死角に他の交通参加者が存在することを想定するが、死角の交通参加者からも自動運転車が見えない、自動運転車は「相手が周囲の安全確認を怠った飛出し」を想定した対応まで必要か。（過度に慎重な運転は悪影響の懸念あり） ・周辺交通が渋滞流の場合 <ul style="list-style-type: none"> - 対向直進車両の渋滞による死角で見通しが悪い場合（動的な死角）：死角に他の交通参加者の存在を想定するが、死角が連続的にあることを考慮しなくてはならない。合理的な解決策は、右折矢印信号の設置ではないか、
---	--	--



図8 主要走行シーンの安全走行ストラテジ：信号交差点右折

4.3 仮想環境の構築と活用

最後に、関係者間での合意形成を支援する仮想環境の構築と活用の取り組みについて説明します。

JARI では、サービス提供者と利用者との間で適切な安全走行・運行に関する合意形成を促進するツールとして仮想環境を構築し、関係者間の議論に活用しています。

自動運転の走行環境を仮想空間上に再現することで、自動運転車両の振る舞いを視覚的に理解し、多様な走行シーンを疑似体験することができます。さまざまな視点（ドライバ、歩行者、三人称（鳥瞰など））で映像を表示し、車載センサの検知範囲などの付加情報の重畳表示も可能です。実環境では再現が困難な緊急停止などの事象を含めて、状況に応じて自動運転車両が危険を回避しつつ安全に走行する様子を再現し、関係者間での合意形成を支援します。（図 10）

JARIの取り組み(2): 安全走行戦略の検討

◆「簡易な仮想環境」→ 関係者間での合意形成を支援

✓狙い

- ・サービス提供者と利用者間で適切な安全走行・運行に関する合意形成促進

✓仮想化技術の活用

- ・自動運転車の走行環境を仮想空間上に再現
 - 自動運転制御システムの**長所**と**短所**を視覚的に理解可能
 - 多数の人に多様な走行シーンを疑似体験してもらうことができる



✓表示・再現内容

- ・ドライバ視点、歩行者視点、三人称視点（鳥瞰）などから見た映像
- ・車載センサ（カメラ・LiDAR）の検知距離・範囲を重畳表示
- ・状況に応じてバスが危険を回避しつつ安全に走行する様子
- ・緊急停止などの事象 ← **実環境では再現困難**

✓理解・合意形成する内容

- ・自動運転車の環境認識性能
- ・自動運転車の安全な走行方法（制御）
- ・自動運転車に関する交通ルール



図11 「簡易な仮想環境」→ 関係者間での合意形成を支援

例えば、交差点通過のケースで、自動運転車両が、左右からの交差車両を検知し、自車の交差点通過時間を勘案して一旦停止の判断をして、両車両が通り過ぎた後に、自車が交差点へ進入し通過する再現シーンを紹介します。俯瞰、バス視点、歩行者視点や定点カメラ視点の多様な観点の映像で、自動運転車両の認識性能や走行方法を関係者が理解可能です。（図 12～図 15）

交差点通過シーンの再現

◆鳥瞰

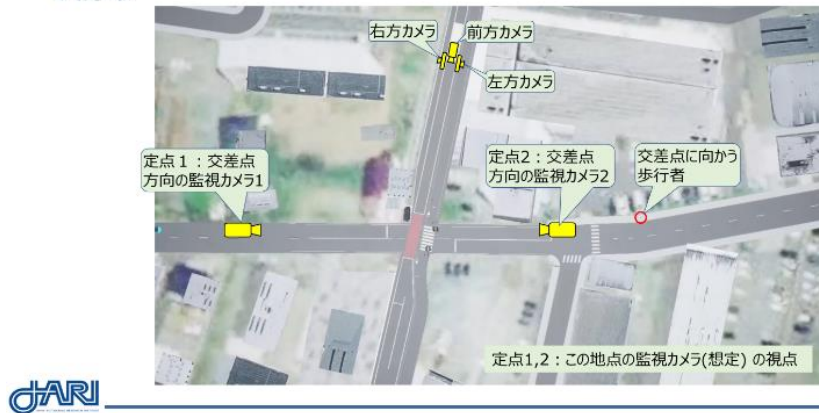


図12 交差点通過シーンの再現；鳥瞰

交差点通過シーンの再現

◆バス搭載カメラの視点



図13 交差点通過シーンの再現；バス搭載カメラの視点

交差点通過シーンの再現

◆交差点方向の定点・歩行者の視点



図14 交差点通過シーンの再現；交差点方向の定点・歩行者の視点

5. おわりに

本稿では、RoAD to the L4 プロジェクトにおいて JARI が担当している、自動運転車両の走行の安全性に係る設計と評価の取り組みについて概説しました。今後も、JARI が蓄積・保有してきた安全設計・評価に係る技術知見や JARI が保有する試験設備である [自動運転評価拠点 Jtown](#) を活用して、本プロジェクトの取り組みを進めて、レベル4 自動運転移動サービスの実証と社会実装へ貢献していきます。

参考文献

- 1) RoAD to the L4とは, <https://www.road-to-the-l4.go.jp/about/> (参照 2024-10-18)
- 2) 須山温人: 次世代交通を支える自動運転モビリティサービスの紹介, 計測と制御, Vol. 58, No. 3, pp. 193-195 (2018), [doi:10.11499/sicejl.57.193](https://doi.org/10.11499/sicejl.57.193)
- 3) 令和5年度 安全設計・評価ガイドブック (RoAD to the L4) 第1版 (2023), https://www.road-to-the-l4.go.jp/activity/guideline/pdf/20230811_Guidebook_Ver1.pdf, (参照 2024-10-18)
- 4) 平岡敏洋 ほか: レベル4自動運転移動サービスの社会実装に向けた「安全設計・評価ガイドブック」の紹介, JARI Research Journal, JRJ20240211 (2024), [doi:10.60458/jarj.rj.JRJ20240211](https://doi.org/10.60458/jarj.rj.JRJ20240211)

第30回 ITS 世界会議参加報告

The 30th ITS World Congress Report

長谷川 諒^{*1}
Ryo HASEGAWA

中村 弘毅^{*2}
Hiroki NAKAMURA

2024年9月、著者らは自動運転や、つながるクルマといったITS (Intelligent Transportation Systems) 技術や政策の国際動向調査を目的として、アラブ首長国連邦ドバイ、および同連邦アブダビに出張した。本稿では、出張の主目的である第30回ITS世界会議の全体概要、自動運転、通信利用型モビリティ、AIとデータ管理に関する発表概要のほか、ドバイの交通事情、アブダビで運行されている自動運転タクシーTXAIについて紹介する。

KEY WORDS: 安全、知能化自動車、知能化/コンピュータ応用

1. はじめに

2024年9月16日～20日にドバイワールドトレードセンター（ドバイ、アラブ首長国連邦）にて、第30回ITS世界会議¹⁾が開催された。ITS世界会議は、世界3地域を代表するITS (Intelligent Transportation Systems) 団体（ヨーロッパ：ERTICO、アメリカ：ITS America、アジア太平洋：ITS Japan）が連携して1994年から開催している世界会議である。この会議はITSの普及による交通問題の解決およびビジネスチャンスの創出促進を目的としており、シンポジウム、展示、ショーケース（デモンストレーション）といった構成によって技術開発、政策、市場動向などの幅広い観点での情報交換の場を参加者に提供している²⁾。

本稿では、著者らが自動運転や、つながるクルマ（Connected Vehicle）といったITS技術や政策の国際動向調査を目的として参加した第30回ITS世界会議の概要について報告する。また、ドバイの交通事情やアブダビの自動運転タクシーの調査結果も、併せて報告する。

2. 第30回ITS世界会議

2024年のITS世界会議はERTICOが主催し、史上初の中東地域での開催となった。会議の規模としては、アラブ首長国連邦外からの参加者数約2万人、セッション数170件（招待者のみ参加可のセッションを含む）、講演者650名、出展者は300以上に上る¹⁾。オープニングセレモニー（図1）にはドバイ首長国の王族が参加し、ドバイ道路交通局がメインスポンサーになるなど、政府当局が積極的に当イベントに関与していた。また、日本からの展示も精力的に行われていた（図2）。



図1 オープニングセレモニー

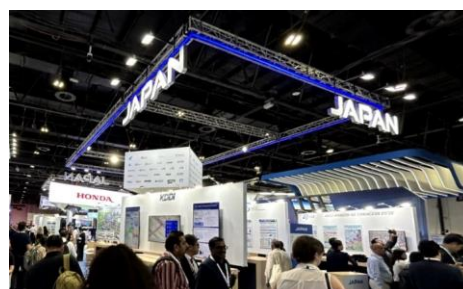


図2 展示ホールの日本ブース

* 2024年11月27日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士（工学）

開催期間の会議プログラムを表1に示す。一般参加が可能なセッションとして、ITS世界会議出席者全員が参加できる Plenary Session（全体会合）4件、国際的なテーマを対象とした公開討論会である International Forum（国際フォーラム）8件、特定の地域のテーマを対象とした公開討論会である Regional Forum（地域フォーラム）1件のほかに、Specialist Session（分野別発表・討論セッション）が150件開催された。Specialist Sessionの内訳は表2の通りである。今年の会議テーマは Mobility Driven by ITS（モビリティを牽引するITS）で、主な議題は自動運転モビリティ、通信（V2X: Vehicle to Everything；車とさまざまなモノをつなぐ技術）を利用した都市交通、AIとデータ管理、環境に負荷をかけないクリーンなモビリティ、物流であった。本稿では、自動運転モビリティ、通信を利用した都市交通、AIとデータ管理に焦点を当てる。

表1 第30回ITS世界会議のプログラム

	9/16	9/17	9/18	9/19	9/20
AM1	Specialist Session 11件	Plenary Session 1: Safe, Trustworthy and Resilient Mobility Ecosystems in Changing Times	Plenary Session 2: ITS Beyond the Road: Interconnecting All Transport Modes	Plenary Session 3: Accelerating Mobility Transition Towards Smarter and More Sustainable Cities	Specialist Session 8件
AM2	Opening Ceremony	Specialist Session 11件、 International Forum 1	Specialist Session 11件、 International Forum 4	Specialist Session 11件、 International Forum 7	Specialist Session 10件
PM1	Specialist Session 11件	Specialist Session 11件、 International Forum 2	Specialist Session 11件、 International Forum 5	Specialist Session 11件、 International Forum 8	Specialist Session 9件
PM2	Specialist Session 12件	Specialist Session 11件、 International Forum 3	Specialist Session 10件、 International Forum 6	Specialist Session 11件、 Regional Forum	Closing Reception

表2 Specialist Sessionの内訳

Category of Specialist Session	No.
SIS: Special Interest Session	95
SFS: Strategic Future Session	11
HS: Host Session	8
TP: Technical Paper	35
RP: Research Paper	11

2.1 自動運転モビリティ

自動運転モビリティに関するセッションでは、さらなる自動運転の高度化を目的としてインフラなどとの通信を活用した協調型自動運転（CCAM: Connected and Cooperative Automated Mobility）を主軸とした発表が多くみられた。中でも、デジタルインフラの充実に関する発表が多かったため、今後は自動運転車そのものだけでなく、デジタルインフラの発展が自動運転の高度化に重要な要素になると予想される。その他、日本からは国内での自動運転サービス展開状況や、一般財団法人日本自動車研究所（JARI）も関わる経済産業省のRoAD to the L4プロジェクト³⁾が紹介された。

2.2 通信を利用した都市交通

通信を利用した都市交通に関するセッションでは、ヨーロッパ、アメリカ、中国の各地域におけるV2X技術の研究開発や、V2X普及に資する政策が紹介された。例として、ヨーロッパからは、V2Xの通信規格や帯域に関するEU規制や標準、および市販車へのV2X機能実装状況が紹介された。一部の車両にV2X機能が搭載されているが、そのユースケース（活用事例）は車両対車両や、インフラ対車両の通信による道路情報の提供が主なものであった。アメリカからは、国が主導するV2X社会実装計画⁴⁾や、

目標達成に資する研究プロジェクトが紹介された。一方で中国はコネクテッドカー分野で世界をリードすることを目指しており、国内 20 都市で実施している車両、道路、クラウドの統合システムを構築するための V2X インフラ整備計画⁵⁾が紹介された。

2.3 AIとデータ管理

AI とデータ管理に関するセッションでは、アメリカや韓国の交通における AI の活用例として、交通管理や道路状況のモニタリング技術が紹介された。AI に特化しないセッションでも、自動運転、歩行者や自転車などの交通弱者の検出などさまざまな場面での AI の活用について言及されており、今後も重要な基幹技術として根付くことが予想される。一方でアメリカからは AI 規制動向として、AI を活用した ITS アプリケーション開発の際に考慮すべき原則を規定した **Blueprint for an AI Bill of Rights** (AI 権利章典の草案)⁶⁾が紹介された。

3. ドバイの交通事情

高速道路について、片側 7 車線など日本よりも大規模かつ直線的な道路形状が特徴で、制限速度は 140 km/h となっていた (図 3)。アラブ首長国連邦の首都アブダビなど、連邦内の他の首長国間の連絡路としても機能しており、われわれがドバイからアブダビ国際空港に向かうときに利用した中距離バスもこの高速道路を走行した。一般道では、タクシーは少数見かけたものの、路線バスはほとんど見かけなかった。市内の交通量自体は多いので、ドバイ市民の交通手段は主に自家用車であると予想される。また、日中は気候の関係か歩行者は少なく、夜のほうが歩行者が多いことが特徴的であった。

また、ドバイ内を移動するための公共交通機関として無人自動運転で運行されるメトロがある。路線は 2 系統あり、ドバイ国際空港から ITS 世界会議が開催されたドバイ世界貿易センターのある中心街を経由して郊外に至る **Red line** と、観光地であるドバイ・クリークからドバイ国際空港付近のエティサラート地区までを U 字に結ぶ **Green line** から構成されている。全区間が高架あるいは地下となっているため他の交通と交錯する場面はないが、朝と夕方は日本以上に激しい通勤ラッシュに見舞われる。その他、世界最大の人工島であるパーム・ジュメイラ付近ではトラム (LRT) も運行されていた。



図3 ドバイの高速道路

4. アブダビの自動運転タクシー

ドバイでの ITS 世界会議参加と併せて、アブダビで試験運行されている自動運転タクシーに試乗したため紹介する。当該タクシーサービスは **TXAI**⁷⁾ と呼ばれ、アブダビ内で観光開発されているヤス島、およびサディヤット島を対象にサービスが提供されている。車両や自動運転システムは中国の自動運転ベンチャー **WeRide** 社が提供しているが、現在は試験運行という位置づけのため、運転席にセーフティドライバが乗車し、料金は無料で運行されている。

タクシーを呼ぶには TXAI のスマートフォンアプリを使用し、乗車ポイントと乗車時刻、降車ポイントを指定する。乗降車ポイントはアプリに登録されている地点からのみ選択できるため、タクシーとバスの中間のような利用感覚であった。実際に試乗した際には、乗車ポイントから降車ポイントまでセーフティドライバの介入なしで移動することができた。

なお、アブダビの一般道は日本の一般道よりも歩車分離がなされており、日中は暑い気候の影響もあってか歩行者や自転車といった交通弱者はほとんどいない状況であった。交通弱者が多数存在する混在交通の中を低速で運用されている日本国内の自動運転サービスと比較すると、TXAI は日本よりはシンプルな交通状況で運用されているとはいえ、一般道と自専道を連続的に、かつ高速度域まで対応している点が主な違いであると考えられる。



図4 自動運転タクシーサービスTXAI

5. まとめ

本稿では、アラブ首長国連邦ドバイにて開催された第30回 ITS 世界会議の概要、ドバイの交通事情、アブダビの自動運転タクシーTXAI について紹介した。ITS 世界会議では主に CCAM, V2X やそれらの社会実装に必要な要素技術であるデジタルインフラや AI に関する政策動向や技術動向について把握することができた。また、ドバイの交通事情については、特に高速道路が大規模かつ直線的な道路形状である点が特徴的であった。アブダビでは、中国企業と現地企業の連携による自動運転の社会実装に向けた取り組みが実施されていた。

ドバイでは世界規模の ITS に関する国際会議が開催されたほか、アブダビでは自動運転の社会実装が進められていることから、今後ともアラブ首長国連邦は石油や観光といった潤沢な資源を背景とした ITS 技術のショーケースとなることが予想される。

参考文献

- 1) ITS Japan: ITS世界会議とは, https://www.its-jp.org/katsudou/its_wc/, (参照 2024-11-27)
- 2) ERTICO: ITS World Congress 2024 Dubai, <https://itsworldcongress.com/>, (参照 2024-11-27)
- 3) 経済産業省: RoAD to the L4 自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト, <https://www.road-to-the-l4.go.jp/>, (参照 2024-11-27)
- 4) USDOT: Saving Lives with Connectivity: A Plan to Accelerate V2X Deployment, https://www.its.dot.gov/research_areas/emerging_tech/pdf/Accelerate_V2X_Deployment_final.pdf, (参照 2024-11-27)
- 5) 中华人民共和国中央人民政府: 工业和信息化部 公安部 自然资源部 住房和城乡建设部 交通运输部关于开展智能网联汽车“车路云一体化”应用试点工作的通知, https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202401/content_6926711.htm, (参照 2024-11-27)
- 6) OSTP: Blueprint for an AI Bill of Rights, <https://www.whitehouse.gov/ostp/ai-bill-of-rights/>, (参照 2024-11-27)
- 7) TXAI: TXAI Robotaxis and more, <https://www.txai.taxi/>, (参照 2024-11-27)

ヒト・モビリティ・ソサエティに関わるシミュレーション 技術の高度化コンソーシアムの活動紹介*

北島 創^{*1}

Sou KITAJIMA

近年、あらゆる方面でDX（Digital X- (Trans) formation：デジタル化により社会や生活の形・スタイルが変わること）が推進されるなか、将来の維持が困難な地域交通もその対応に迫られている。ただし、単なる先進技術の導入はDX実現とはいえず、既存の交通体系に先進技術を調和させることで優れた安全性と利便性を地域住民にもたらし必要がある。交通体系は複雑な要素が絡み合うため、本格導入前に各種施策の効果を試す社会実験を代替できるシミュレーション技術が重要である。一般財団法人日本自動車研究所（JARI）と三咲デザインは、産官学が共同で活用できることを目指して開発を進めてきたところ、その方向性に賛同いただいた香川大学の鈴木桂輔教授よりコンソーシアム（共同事業体）の立ち上げについて提案を受けた。このような背景のもと香川大学では、2024年から産官学に共通する社会課題を解決するためのシミュレーション技術の高度化に向けたコンソーシアムを運営しており、本稿ではその活動内容について紹介する。

KEY WORDS: 交通流シミュレーション, 手動運転, 自動運転/運転支援, エージェント行動モデル, 相互作用

1. はじめに

日本の交通社会が直面している課題は多岐に渡っており、交通事故削減、交通渋滞緩和、輸送能力確保、地域交通維持などが挙げられる。とりわけ地域交通維持に関しては、地方部の人口減少・高齢化などの要因によって約90%の一般乗合バス事業の経営が成り立たないという極めて深刻な状況である¹⁾。これらの課題解決に向けて、官民が連携したDX（Digital X- (Trans) formation：デジタル化により社会や生活の形・スタイルが変わること）が進められ、内閣官房が推進する地域課題をデジタルの力を活用して解決する取組みを応援するDigi田（デジでん）甲子園において先駆けとなる成果をもたらしつつある²⁾。DXを推進するにあたって先進技術には大きな可能性が期待される一方で、単に先進技術を積極的に導入することがDXを実現することにはならないという指摘がある³⁾。既存の交通体系がかかえる課題と要因を特定し、将来の地域交通のあるべき姿を実現するために意義のある先進技術が導入されることで地域住民に対して優れた安全性と利便性を提供できるといえる。

実際の交通体系においては、四輪車、二輪車、自転車、歩行者などの交通参加者の混在、不安全行動・ヒューマンエラーによる危険事象の発生、曜日や時間帯による交通需要のダイナミックな変化といった要素が複雑に絡み合うため、各種施策がもたらす安全性・利便性を本格導入前に試す社会実験を代替できるシミュレーション技術が重要である。さまざまなシミュレーション技術が実用化されている中で、筆者はマルチエージェント^{*2}交通流シミュレーションが複雑な要素の複合的影響を扱ううえで有効なツールになると考えている。一般財団法人日本自動車研究所（JARI）では、三咲デザイン合同社のオープンソースのマルチエージェント交通流シミュレーション（Re:sim）⁴⁾をベースに、内閣府戦略的イノベーションプログラム第1期の事業推進で得られた知見⁵⁾を導入したシミュレーション（JA-Re:sim）

* 2024年11月11日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士（工学）

*2 エージェント：与えられた目的を達成するために自らの判断で行動するソフトウェア（ドライバや歩行者などの代理者となる）

を開発してきた(図1)。このシミュレーションは各エージェントが独自に行動するなどの特長があり、運転支援・自動運転システム導入時の効果予測に有用⁶⁾である。このことに加え、現在、金沢大学との共同研究を通じて、本シミュレーションが自動運転技術の高度化にも有用であることを実証的に示す取り組みが進められている⁷⁾。

交通社会に新たな安全性・利便性をもたらす取り組みは多様であるが、個別の効果は単純に足し合わせる事が可能なものばかりではなく、重複したり相殺したりすることも想定される。JARIと三咲デザインは、産官学が共同で活用できることを目指して開発を進めてきたところ、その方向性に賛同いただいた香川大学の鈴木桂輔教授よりコンソーシアム(共同事業体)の立ち上げについて提案を受けた。このような背景のもと、香川大学では産官学の社会課題を解決するための共通プラットフォームを目指して「ヒト・モビリティ・ソサエティに関わるシミュレーション技術の高度化に向けたコンソーシアム」(以下、本コンソーシアムという)を2024年に設立した。本稿では、本コンソーシアムに参画する関係者の議論を通じて得られた共通ニーズに応えられるシミュレーション技術を開発する取り組みについて紹介する。

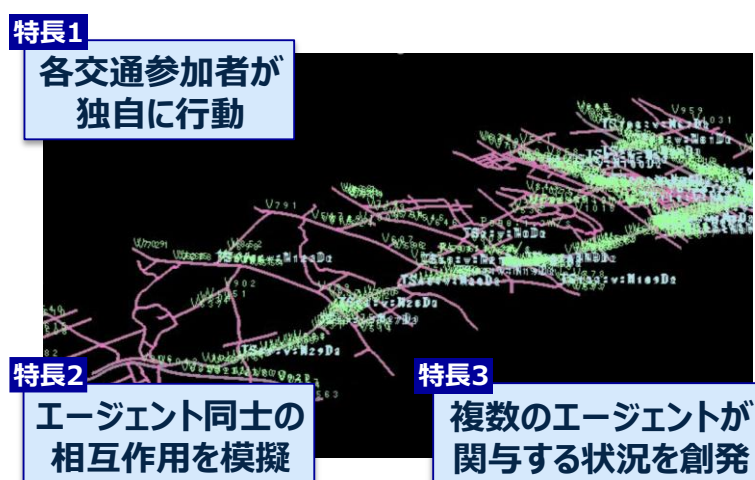


図1 マルチエージェント交通流シミュレーション(JA-Re:sim)の実行画面と主な特長
(ピンク色の線:道路網, グリーン色の文字:各交通参加者の番号)

2. ヒト・モビリティ・ソサエティに関わるシミュレーション技術の高度化コンソーシアム概略

香川大学イノベーションデザイン研究所では「共に未来を創る」を理念に掲げ、オープンイノベーションのプラットフォームとして先端的な研究の推進と社会が受容可能となる技術の在り方をデザインする活動を推進するため、二つのコンソーシアムを運営している⁸⁾。その内の一つである本コンソーシアムではさまざまな社会課題を解決するために異なる分野の研究者が協力してシミュレーション技術を高度化する活動を進めている。産官の立場からのニーズ・要望に応えるツールを創り上げ、産官の現場における個別課題の解決に適用することで役立ててもらおうことを目指している。

JARIは、香川大学と三咲デザインとともに利害関係者との議論に基づく活動方針の合意形成を図る役割を積極的に担っている。具体的には、図2に示すように産・官からのニーズ・要望に基づく社会ニーズと学による交通参加者の行動モデルなどの研究シーズをマッチングする研究課題の設定をし、得られた研究成果をJA-Re:simに実装することを前提とした技術的な研究の推進方法の相談を通じて、シミュレーション技術の高度化に取り組んでいる(2024年10月現在、14機関が参画中)。



図2 産官学の共通プラットフォームを目指した本コンソーシアムの活動の全体像

本コンソーシアムの開発対象であるシミュレーション技術は、交通参加者の行動モデルだけでも複数のモデルが必要であるほか、個々の性格・心理状態などによって行動が変容する側面の考慮も必要であるなど取り組むべき課題は多い。さらに、研究成果である行動モデルをシミュレーションに実装し、実装した行動モデルによってエージェントが現実的な振る舞いをしているかを確認しなければならない。そのため、取り組むべき課題を体系的に整理したうえで4つのワーキンググループ(WG)を設定した。表1は、各WGの主なタスクと想定する構成委員を示している⁹⁾。WG1は、コンソーシアムのステアリング・コミッティとして今後の活動方針についての議論・決定を担う。WG2は、シミュレーションの基幹となるエージェント・モデルならびに交通安全性評価方法の理論的検討を行う。WG3は、他WGの成果に基づいて新たなエージェント・モデルをソフトウェアとして実装する。WG4は、新たなエージェント・モデルに必要なデータをドライビングシミュレータ(DS)実験により取得し、得られた実験データに基づくモデル化手法・パラメータ同定手法を検討する。このように、各WGの活動内容が相互に関係しながらシミュレーション技術の高度化を進めていく。

表1 本コンソーシアムのWG体制 (WG1~4)

WG	主なタスク	想定する構成員
WG1	1. コンソーシアム方針決定 2. ステアリング・コミッティ（運営委員会）の設置などの検討 3. コンソーシアムの今後の活動方針についての議論・決定	コンソーシアム活動に興味を抱いている方
WG2	1. エージェント・モデルならびに交通安全性評価方法論の理論的検討 2. 従来の人行動モデルについての調査・整理 3. 交通安全性評価方法論についての調査・整理 4. 新たな人行動モデル、交通安全性評価方法論の提案	交通工学，交通心理学，認知心理学，認知工学，人間工学，実験心理学，ヒューマンファクター学，制御工学，システム安全学，社会学，経済学，法学，情報工学，サイバネティクスなどの分野の研究者
WG3	1. 新エージェント・モデル実装 2. 新たなエージェント・モデルのソフトウェアとしての実装 3. (WG2の進捗に応じて) コードレビューならびにドキュメント化	人行動モデルの理論的側面についてある程度の知識を有し，かつ，コーディング能力の高いプログラマ シミュレーション・プログラムを独自にカスタマイズしたいと考えている組織に属する方
WG4	1. ドライビングシミュレータ（DS）でのデータ取得やモデル・パラメータ同定手法の検討 2. WG2の進捗に応じて，必要なデータをDS試験により取得 3. 被験者データや取得するデータ内容についての標準化 4. 実験データのデータベース化，再利用の検討 5. 実験データからのモデル・パラメータ同定手法の検討 6. Naturalistic DS実験のための方法論の検討	DS実験について知見のある研究者，エンジニア，パラメータ推定に関わる研究者

3. マルチエージェント交通流シミュレーションの現状と課題

前述したように，JA-Re:sim は運転支援や自動運転が普及することによる事故低減効果の予測だけでなく，開発中の自動運転システムと接続して公道実証実験で遭遇しにくい希少な事象を効率的に見つけ出すことを可能にするシミュレーション技術である．さまざまな用途に活用できることが JA-Re:sim の利点である一方で，本コンソーシアムが目指すような将来の都市計画・街づくりに活用するためには解決すべき課題が存在する．

3.1 多様な交通参加者エージェント・モデルの開発

本コンソーシアムでは都市計画や街づくりへの JA-Re:sim 活用を視野に入れているが，これを実現するためには実際の交通流を可能な限り忠実に再現できていることが求められる．まずは，現状の四輪車ドライバ，歩行者に加えて，交通流の形成に関与する交通参加者がシミュレーション上に登場できるように行動モデルを実装する．とくに，二輪車ライダーと自転車乗員については基本的な行動モデルを構築することが必要であり，歩行者についても現状は限定的な範囲（単路の横断，交差点の横断）の行動モデルの構築に留まっているため，その範囲を拡張していかなければならない．二輪車ライダーや自転車乗員の行動モデルに関しては基本となるエージェント・モデルの考え方が定まっていないことに加えて，モデル化やパラメータを議論するためのエビデンスとなる基礎的なデータ（大型二輪車と原動機付自転車などの車種による行動特性・ライダー特性の違い，自転車の目標速度の決定とそれに従う加速・減速操作の特性など）そのものが不足している．

さらに，誰もが効率的・機能的に移動できることを目指し，図3に示すような次世代のモビリティの技術開発・社会実装が加速していくと予想される¹⁰⁾．これらのモビリティの行動特性は，従来の四輪車・二輪車・自転車・歩行者とは異なる特徴があると考えられるため，将来の都市計画・街づくりに適用することを見据えて行動モデルを開発する対象として考慮することも重要である．また，次世代のモビリ

ティには正の側面ばかりではなく、例えば電動キックボードの場合は利用者の急激な拡大によって車道の右側通行、歩道走行、飲酒運転、二人乗りといった違反行為が後を絶たないためにレンタル電動キックボードが規制されるような事態も生じている¹¹⁾。効率性・利便性が高いというメリットを活かすためにも利用者の意識を適正化することが求められる。したがって、意識の適正化に資する取り組み（教育面・インフラ面・規制面）が利用者の行動変容を促す作用をエージェント・モデルに反映できることが求められる。



図3 さまざまな次世代の電動モビリティの例
 (出典：日本電動モビリティ推進協会：<https://jempa.org/goal>)¹⁰⁾

3.2 ドライバージェント・モデルの高度化

JARI と三咲デザインがこれまでシミュレーション技術を継続的に開発した結果、四輪車のドライバージェント・モデルは図4に示すような基本構造が実装され、これによって現実の運転を一通り模擬できるような枠組みを構築した⁷⁾。ただし、将来の実用化が期待される先進的な情報提供・注意喚起の有効性評価や他の交通参加者との相互作用の模擬などに向けては解決すべき課題が存在する。

依然として国内で年間約31万件が発生する交通事故を削減するためには、事故の主要因である交通参加者による不安全行動・ヒューマンエラーを可能な限り再現し、被害軽減・未然防止の観点で対策の有効性を検証できる必要がある。不安全行動・ヒューマンエラーの実装は、発生するメカニズムを解明し、それを模擬できるモデル化とコーディングによって進められる。現状のシミュレーションにて模擬できている代表例は、追突事故を起こさないように前方の先行車を注視すべきときに他の対象に気を取られることで別の方向・対象をドライバが注視する脇見動作である。しかし、前方を注視しているが状況を正確に認識していない漫然運転のような内面的な要因を模擬するためにはメカニズム解明・モデル化・コーディングのいずれも不十分な段階である。

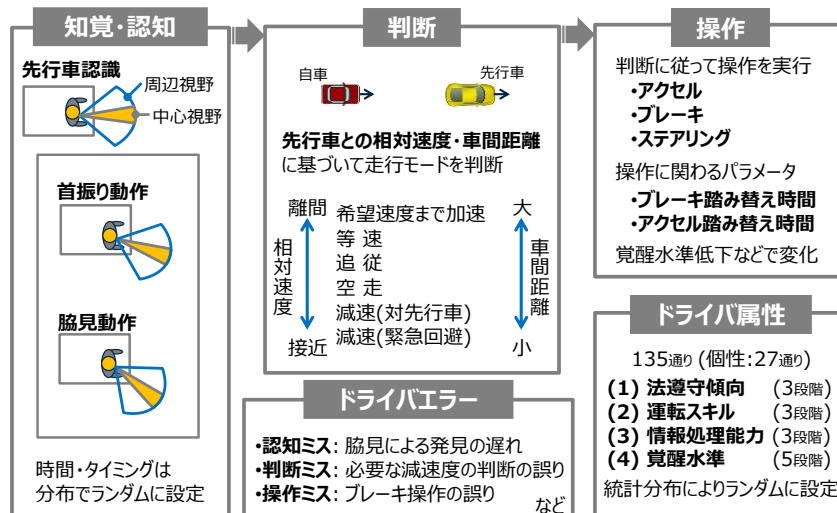


図4 現状のドライバーエージェントの行動モデルの基本構成（先車に追従する場合）⁷⁾

各エージェントの個人間差・個人内差の影響を模擬するため、現状は (A) 法遵守傾向・(B) 情報処理能力・(C) 運転スキル・(D) 覚醒水準の4パラメータを用意している(図5)。(A)～(C)は個人間差、(D)は個人内差を表すためのパラメータであるが、ラッセルが提唱するように個人内差をさらに忠実に模擬するためには低覚醒と高覚醒に加えて快・不快といった運転中の感情面の変化を考慮する必要がある(図6)¹²⁾。人間の覚醒・感情を対象とした研究を進めるためには、生理学・心理学をはじめとする多様な専門家による学際的な知見が欠かせないため、本コンソーシアムの活動が果たす意義は大きい。



図5 ドライバ属性を表現するための現状の4パラメータ

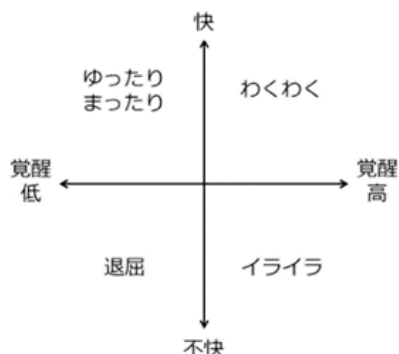


図6 ラッセルの円環モデルの例¹²⁾

4. おわりに

本稿では、香川大学が産官学の社会課題を解決するための共通プラットフォームを目指して立ち上げた「ヒト・モビリティ・ソサエティに関わるシミュレーション技術の高度化に向けたコンソーシアム」の活動に関して紹介した。本コンソーシアムが設立される以前から JARI と三咲デザインは、産官学が共同で活用できることを目指して開発を進めてきた。その方向性に賛同いただいた香川大学の鈴木桂輔教授よりコンソーシアムの立ち上げ、広く関係者を巻き込んでいく活動に発展することについて提案を受けた。JARI としては、これまでに開発してきたシミュレーション技術を JARI 単独で高度化することよりも、モビリティに関わる課題解決について同じ方向を目指す関係者との連携によって早く・良質な高度化が達成できうることに意義があると考えている。本コンソーシアムを設立して以来、参加機関が徐々に増えて現在は 14 機関が参画している。協調領域の課題解決に向けて産官学が一体となった活動をさらに推進できるよう、活動理念に賛同・共感いただける機関からの積極的な参画をお願いしたいと考えている。

そのためには、本コンソーシアムの活動内容を積極的に公表していくことが重要である。今後の予定として、2024 年 11 月に本コンソーシアムが主催するシンポジウムを開催するとともに、自動車技術会の 2025 年春季大会においてオーガナイズドセッション企画する方向で進めている。11 月のシンポジウムにおいては、WG1 構成員である JARI、三咲デザイン、香川大学、自動車メーカー、サプライヤの関係者からの講演によって構成される予定である。

参考文献

- 1) デジタル庁：モビリティ・ロードマップ2024—新たなモビリティサービスの事業化に向けた基本的な対策と施策—, p. 3 - 4 (2024), https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/2415ad00-6a79-4ebc-8fb1-51a47b1b0552/53e634ce/20240621_mobility-working-group_main_01.pdf, (参照 2024-11-11)
- 2) デジタル田園都市国家構想：第4回Digi田 [デジでん] 甲子園, <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/digitaldenen/koshien/index.html>, (参照 2024-11-11)
- 3) 伊藤 昌毅：交通DXのリ・ディファイン, 第1回「地域公共交通計画」の実質化に向けた検討会資料 (2023), <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/content/001712949.pdf>, (参照 2024-11-11)
- 4) Misaki Design : Re:sim Open Source Software, <https://github.com/Reisim>, (参照 2024-11-11)
- 5) 日本自動車研究所：平成30年度戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：交通事故低減詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術の開発及び実証調査報告書, p. VIII-1-14 (2019)
- 6) Sou Kitajima et al.: A Nationwide Impact Assessment of Automated Driving Systems on Traffic Safety Using Multiagent Traffic Simulations, Intelligent Transportation Systems, Vol. 3, p. 302-312 (2022), [doi:10.1109/OJITS.2022.3165769](https://doi.org/10.1109/OJITS.2022.3165769)
- 7) 北島創 ら：マルチエージェント交通流シミュレーションを用いた自動走行システムの高度化技法の有効性評価, 自動車技術会学術講演会予稿集(秋), 文献番号20246301, p. 1-6 (2024)
- 8) 香川大学イノベーションデザイン研究所：当研究所について, <https://kidi.kagawa-u.ac.jp/about/>, (参照 2024-11-11)
- 9) 香川大学イノベーションデザイン研究所：ヒト・モビリティ・ソサエティに関わるシミュレーション技術の高度化コンソーシアム, <https://kidi.kagawa-u.ac.jp/consortium/>, (参照 2024-11-11)
- 10) 日本電動モビリティ推進協会：さまざまな次世代電動モビリティの例 <https://jempa.org/goal>, (参照 2024-11-11)
- 11) 日本経済新聞：電動キックボード、海外で規制次々事故多くパリは禁止 (2023), <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCB084UV0Y3A900C2000000/>, (参照 2024-11-11)
- 12) 神邊 篤史 ら：自動車の操舵反力特性の違いによる操舵間の変化の生理・心理学的測定, 日本感性工学論文誌, Vol. 19, No. 1, p. 73 - 79 (2020), [doi:10.5057/jjske.TJSKE-D-19-00024](https://doi.org/10.5057/jjske.TJSKE-D-19-00024)

東京大学高齢社会総合研究機構の経験*

鎌田 実^{*1}

Minoru KAMATA

筆者は 2009 年に東京大学（東大）の総長室に設立された高齢社会総合研究機構（IOG： Institute of Gerontology）の初代機構長として 4 年間務めました。その経験を振り返って記したいと思います。

日本の高齢化が世界で最も進んでいることは皆さん承知していると思いますが、日本の制度や企業活動、それから人々の意識まで、昭和の高度成長期の右肩上がりの時代の様子が染みついている、来るべき少子高齢化による人口減少社会に向けての備えは十分とは言えないのではないのでしょうか。

そのような中、東大では、日本生命相互会社・大和ハウス工業・セコム株式会社の寄付による高齢社会に向けた取り組み（老年学、ジェロントロジーと言われる）を実施するための寄付研究部門を 2006 年 4 月に総長室に設置しました。秋山弘子教授を中心に学内の高齢者・高齢社会に関する研究者を集めて、高齢社会に関する課題の整理や課題解決に向けた研究を始めました。図 1 に示すように、ジェロントロジーの関わる分野はものすごく多岐にわたっていて、学内のすべての学部から関係教員が集まっています。私も 1990 年代の終わりから高齢者・障害者のモビリティに関する研究を実施していたため声がかかり、定期的に会合を開き学部を超えた形での意見交換をしていました。寄付研究部門は 3 年間の設置で、3 年目になった時に、当時の小宮山総長から、今後の活動形態を考えるように指示があり、教員ポスト 2・事務官 1 を付けていただくという条件のもとで検討がはじまりました。

生活のあらゆる側面に関わるジェロントロジー

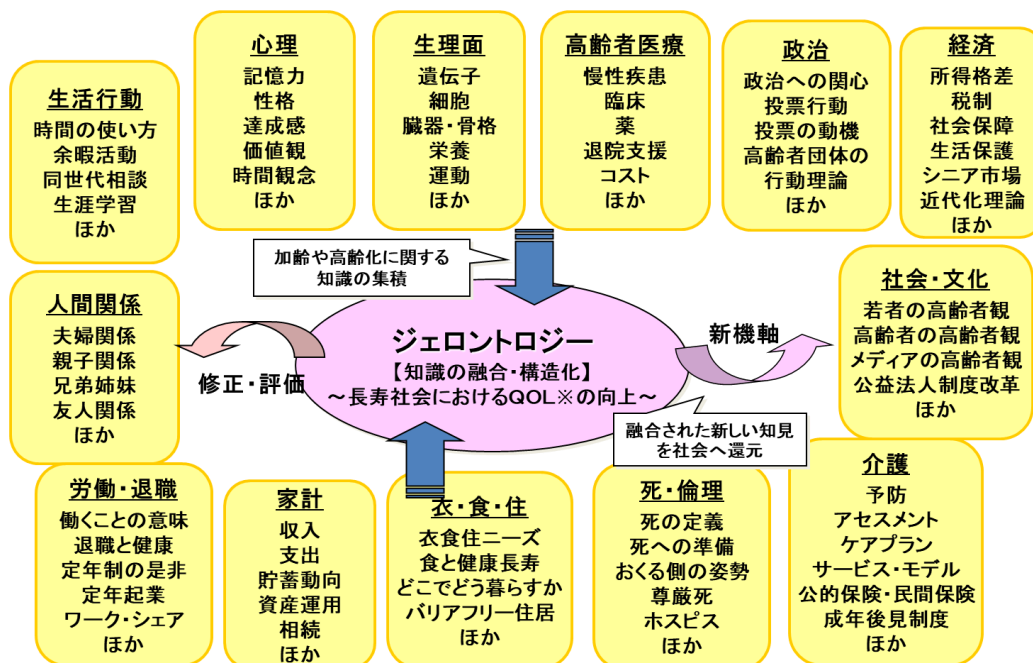


図1 ジェロントロジーが関わる分野

* 2024年5月21日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 研究所長, 東京大学 名誉教授 工学博士

秋山先生からは、自分は定年を超えているので特任教員となるので、総長裁量ポストには鎌田が就き、代表教員として活躍することを依頼され、いろいろ悩みましたが、工学系のポストから総長室のポストに移ることを決心しました。もう一つのポストは、元々は准教授ポストでしたが、アップシフトをお願いし、元厚生労働省次官の辻哲夫先生（当時は田園調布大学教授）を招へいすることにしました。定年を超えた秋山先生、元官僚の辻先生の採用人事の手続きは苦労しましたが、何とか乗り越え、また寄付研究部門でお世話になった企業からのサポートが続き、2人の若手（特任助教）の採用も決まり、2009年度から高齢社会総合研究機構としてスタートすることになりました。

時を同じくして、補正予算を取れるかもということで、柏キャンパスの拠点を作る企画を作成するように総長から指示があり、数百平方メートルの建物と1億円くらいの機器導入のプランをたてたところ、事務方から要求はもっとその数倍くらいの規模で出すように言われ、2000平方メートルの建物と十数億円の機器のプランとし、医学部の先生方の協力で、検査・診療行為もできるくらいの設備・建物の要求となりました。もちろん、査定はされましたが、私の当初の想定以上のものが柏キャンパスに第2総合研究棟として、大型計算機センターや数物機構・宇宙船研究所などとの合築がなされるようになりました。（図2）



図2 柏キャンパスに作られた拠点

この建物の設計時に、高齢者の被験者が実験協力で来られることを想定し、大学の建物のイメージだと緊張してしまってデータの信頼性に難があるといけないので、なるべく平常心で実験に参加できるよう工夫をしました。例えば廊下の壁には木目のシートを貼ってもらい落ち着いた雰囲気になるよう依頼したところ、壁を木で作ってくれて、いい感じになりました。CTやMRIなどの医療機器も入れたので、診療行為ができるように認可を取りましたが、結構大変でした。建物新設でいろいろな経験をさせていただきましたが、しかし、完成・稼働開始からの年月が経ち、それなりの活動成果は得られましたが、求められる機能も変化してきたので、柏の拠点は役割を終えています。

IOG の活動としては、まず Aging in Place, 住み慣れた地域で最後まで自分らしく生きることができ
 まちづくりを掲げました。(図3)

Aging in Place: 住み慣れた地域で安心して自分らしく生きる



図3 東大IOGで掲げたまちづくりのコンセプトAging in Place
 * QOL : Quality of Life 生きる上での満足度や快適さをあらわす主観的な概念

そこに向けて、大きく2点に注力して組織運営を行いました。一つ目は、超高齢社会におけるまちづくりの実践。二つ目は、産学連携で超高齢社会の在り方について検討すること。

前者については、柏市と福井県と共同で、在宅医療を中心とした地域包括ケアシステムを地域で展開してモデルを作ろうとしました。柏市では、独立行政法人都市再生機構（UR）が老朽化した豊四季台団地の再生に着手していて、市とURと東大で協定を結んで3者で取り組むことになりました。住み慣れた場所で看取りまで住み続ける、施設に入れられるのではなく自宅で最期を迎えるということは多くの人が望むことですが、医療・介護のサービスが在宅で受けられるように訪問系の事業が地域に根付くことが必要で、そのために医師・看護師・薬剤師・訪問介護などの職種がうまく連携することが求められます。そこで、在宅医療・介護多職種連携協議会、顔の見える関係会議、地域ケア会議などを開催し、さらに情報共有システムを構築して、豊四季台地域に柏地域医療連携センターを建設し、柏での取り組みは柏モデルと称されるようになりました。また、高齢者が生き生きと仕事を続けられる仕組みとして、生きがい就労事業も実施しました。ボランティアデビューは高齢男性にはハードル高いものですが、これまでの経験を生かして仕事をするという形を用意することにより、参加意欲が増し、さらに就労形態もいろいろ用意し、さまざまなシニア層のニーズに応えたものとなりました。在宅医療も生きがい就労も、柏モデルの横展開が各地でなされています。

もう一つの産学連携については、2009年当時、企業はまだ超高齢社会についてピンときていないようだったので、2030年の日本の姿を想定し、皆でそこに向かってそれぞれ何をすべきかといった議論を行うべく、コンソーシアムを作ることになりました。合計45社が参加するジェロントロジーコンソーシア

ムが構成され、毎月全体会と称して勉強会を行うほか、分野ごとに分科会を作り、それは月2回～3回集まって集中討議をするような形が約2年続きました。議論する時間が足りないという声に応じて、合宿もしました。その成果として、非常に貴重な報告書ができましたが、それを世の中に向かって発信しようということになり、エッセンスを書籍化しました。（書籍としては、「2030年超高齢未来—「ジェロントロジー」が、日本を世界の中心にする」¹⁾（通称「赤本」）をまず刊行し、超高齢社会はどういうものかをメッセージとして発信し、次にこのコンソーシアムの成果を「2030年超高齢未来破綻を防ぐ10のプラン—ジェロントロジーが描く理想の長寿社会」²⁾（通称「緑本」）を発刊しました。）

コンソーシアムの運営は、大学教員としては大きな負担になるため、3年目からは、もう少し緩い関係のジェロントロジーネットワークになり、分科会活動をメインとして、全体会は年4回程度（うち1回は合宿）として続けることになり、6つの分科会が企業の方をリーダーとして動くことになりました。熱心な分科会は毎月のように会合を開き、遠方への見学会を実施したところもあります。私は移動分科会を主宰し、企業の方のリーダーとともに約10社の方々とさまざまな議論をしてきました。参加メンバーは皆さん熱心で、東日本大震災の被災地でのモニター実験^{3),4)}、柏の葉キャンパス駅周辺での自動運転実証、輪島でのゴルフカート公道走行とその自動運転化⁵⁾、各地でのパーソナルモビリティ試乗会の実施など、いろいろな実績を残してくることができました。

私は、東大IOGの機構長は2013年3月までで、4月からは柏の施設のお守りをするというミッションで、本郷の機械系には戻らず、柏の新領域創成科学研究科人間環境学専攻に配置換えとなりました。IOGは都市工学の大方先生が機構長になり、GLAFSという博士課程教育リーディングプログラムに力を入れるようになり、それが国際卓越大学院教育プログラムになって続いています。その後、機構長は原田先生を経て飯島先生に引き継がれていて、組織的にも総長室総括委員会傘下の機構から、連携研究機構となっています。今は飯島先生を中心に、加齢により心身が老い衰えた状態であるフレイル予防の活動に力を注いでいて、全国80か所以上の自治体に展開されてきています。

機構立ち上げから15年が経過し、関わる人も変わり、学内の組織上での位置づけも変わってきていますが、日本が真っ先に経験する超高齢・人口減少社会において、ジェロントロジーへの取り組みはますます重要になってくると考えられます。立ち上げから軌道に乗せるまでは苦労の連続でしたが、縦割りの大学・学問分野において、横串を刺して横連携により地域の課題を解決していくようなアクションリサーチの実施は、非常に大事であると考え、東大IOGがフロントランナーとして切り開いてきたと自負しています。（ただ一方で、アクションリサーチの内容はジャーナルペーパーにしにくいという面があり、若手研究者のキャリアを考えると苦しい所です。）そういうことに身を置いてさまざまな経験をさせてもらったことは、その後の私の研究活動に大きな影響を与えてくれて、貴重な財産とも言えます。

終わりに、東大IOGの設立から今に至るまで、関わっていただいた方々、支援等を賜った方々に厚く御礼申し上げます。

文献

- 1) 東京大学ジェロントロジー コンソーシアム: 2030年超高齢未来—「ジェロントロジー」が、日本を世界の中心にする, 東洋経済新報社 (2010), ISBN: 978-4492223116
- 2) 東京大学ジェロントロジー コンソーシアム: 2030年超高齢未来破綻を防ぐ10のプラン—ジェロントロジーが描く理想の長寿社会, 東洋経済新報社 (2012), ISBN: 978-4492223253
- 3) 鎌田 実: 東日本大震災被災地での活動を振り返って (1), JARI Research Journal, JRJ20240603 (2024), [doi:10.60458/jarijri.JRJ20240603](https://doi.org/10.60458/jarijri.JRJ20240603)
- 4) 鎌田 実: 東日本大震災被災地での活動を振り返って (2), JARI Research Journal, JRJ20240702 (2024), [doi:10.60458/jarijri.JRJ20240702](https://doi.org/10.60458/jarijri.JRJ20240702)
- 5) 鎌田 実: 輪島の思い出, JARI Research Journal, JRJ20240401 (2024), [doi:10.60458/jarijri.JRJ20240401](https://doi.org/10.60458/jarijri.JRJ20240401)

JARI Research Journal 掲載区分

掲載区分	記載概要
研究速報 Research Report	背景, 目的, 方法, 結果, 考察といった一般的な研究論文の体裁を持った記事。
技術資料 Technical Report	一般的な研究論文の体裁ではないものの, 新たな知見または価値あるデータを報告する記事。
調査資料 Survey Report	他機関より得られた資料, データを元に, 新たな知見を報告する記事。
解説 Review	特定の分野やテーマに関して, 「現状の最新動向」や「研究・開発状況」などをまとめ, 要約・説明する記事。
研究活動紹介 Research Activity	JARI の研究活動を紹介・報告する記事。
トピックス* Topics	JARI の研究活動以外の「活動」等についての記事。または上記の分類外の記事。 *トピックス=「話題」「出来事」

【編集後記】

2024年1月12日に「自動運転レベル4の実現に向けて～様々な角度からみた現在地と今後への期待～」と題したJARIシンポジウム（講演の一部は[ここ](#)をご参照）を開催いたしております。

その流れにも従い、前回の特集「[自動運転 ～システムの安全性・受容性の評価～](#)」（2024年2月号）に引き続き、今回も自動運転分野での特集となりました。

自動運転分野におけるJARIの取り組みをお伝えできれば幸いです。

一方、JARI Research Journal (JRJ) 自体としましては、今年度2つのトピックスがあります。1つは電子ジャーナルの無料公開システム [J-STAGE](#) への登録の開始です。今後は [JARI HP](#) の他、J-STAGE から記事も閲覧できますので、ぜひご活用ください。過去の記事につきましても順次登録を進めます。

もう1つは執筆区分に「[エッセイ](#)」が増えました。従来よりも、より執筆者の思いが伝わる記事かと思えます。ぜひご一読ください。

JRJは今後ともさらに興味深い記事をわかりやすく皆様にお伝えしていきたいと思っております。

(K.H)

JARI Research Journal 2024年12月 特集号

発行日： 2024年12月10日

発行所： 一般財団法人日本自動車研究所

URL: <https://www.jari.or.jp/>

発行人： 味村 寛

[所報編集委員会]

委員長 赤井 泉明

委員 浅田 崇之 安藤 慧佑 石井 充

一色 孝廣 後呂 考亮 大谷 亮

面田 雄一 前田 清隆

[編集事務担当] 一般財団法人日本自動車研究所

企画・管理部 小針 弘之

E-mail : irj@jari.or.jp

- 本誌の記事内容に関するお問い合わせ、ご意見は、E-mailにて irj@jari.or.jp までお送りください。
- 本誌に掲載されたすべての記事内容は、一般財団法人日本自動車研究所の許可なく転載・複写することはできません。
- 転載・複写を希望される方は編集事務担当までご連絡ください。

