

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

1. まえがき

「移動（モビリティ）」は、単なる物理的な移動手段に留まらず、物流を通じた社会経済活動の維持や、人間の本能的な探求欲求を満たし豊かな社会生活を営むための根幹的な基盤である。いかに情報通信技術が高度化しようとも、実在する物品の配送や対面での人と人との交流がもたらす価値が失われることはなく、今後もモビリティに対する需要が低減することはないと考えられる。しかし、その一方でモビリティを取り巻く環境は、交通事故による安全性の確保、地球温暖化等の環境負荷への対応、さらには少子高齢化や過疎化に伴う地域公共交通ネットワークの維持といった、極めて複雑かつ多角的な社会課題に直面している。特に安全面においては、日本国内の交通事故死者数は減少傾向にあるものの、世界的には年間 135 万人が犠牲となり⁽¹⁾、若年層の死因第 1 位となるなど、依然として深刻な状況が続いている。これらの課題は相互に関連しており、その解決には従来の個別最適なアプローチではなく、社会システム全体を俯瞰・横断したリ・デザイン（再構築）が求められている。

このような状況において、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コンソーシアムは、図 1 に示すように、ヒト、モビリティ、ソサエティの 3 つの分野に関わる諸課題を解決するためのアプローチとして、社会システムのなかでの人の移動を正確に再現できる交通シミュレーション技術を活用した課題解決の方法論を提案する活動を 2024 年 1 月から開始している。シミュレーションの活用は、仮説検証した具体的な解決策を可視化することで、専門性の異なるステークホルダー間の相互理解と建設的な議論を促進することが可能となる。欧州では既に、産学が連携した「P.E.A.R.S.」⁽²⁾や「OpenPASS」⁽³⁾といったプロジェクトを通じ、シミュレーションを用いた安全性評価フレームワークの構築やそのオープンソース化、さらには ISO 等の国際規格化を見据えた動きが 10 年以上前から組織的に展開されている。

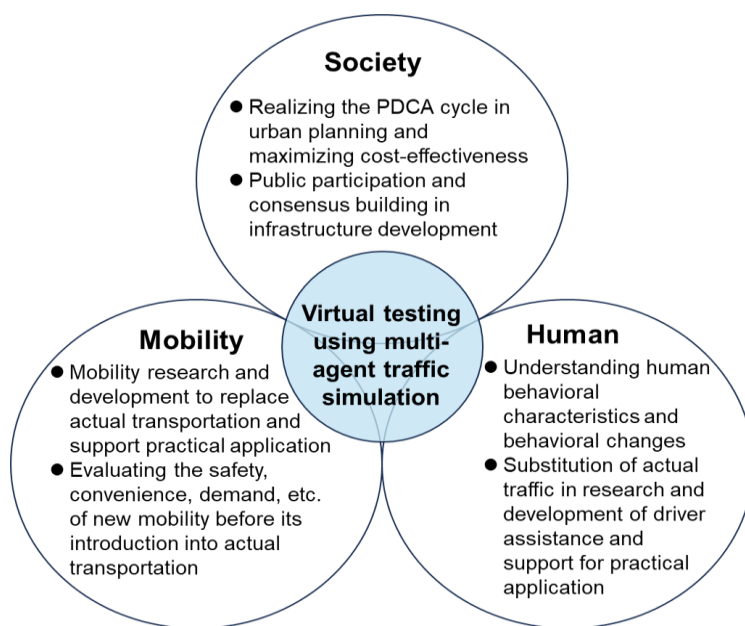


Fig.1 Three main areas of the consortium activity

本コンソーシアムの活動における最大の特徴は、図2に示すように、産官学が緊密に連携し、モビリティ、社会、および人の行動に関する概念実証（Proof of Concept, 以下 PoC と記す）を「協調領域」の活動として実施することにある。この PoC を支える主要なツールとして、我々の活動では個々の車両や歩行者を自律的なエージェントとしてモデル化し、それらの相互作用を再現する「マルチエージェント交通シミュレーション」を用いている。この PoC を例とする取り組みでは、「The wheel of Science（科学の循環）」⁽⁴⁾を重要視している。これは、実社会の観測データから理論を導き出す「帰納法的」なアプローチと、理想とするモビリティ社会の仮説からバックキャストしてシミュレーション上で検証する「演繹法的」なアプローチを絶えず繰り返すサイクルを意味する。この科学的循環において、我々は欧州の「SIMUSAFE」プロジェクト⁽⁵⁾等の知見を参考に、制御されていない環境下での自然な運転や歩行行動を収集し、現実の交通環境に近い「Naturalistic（自然的）」な挙動を再現する方法論について議論している。感情状態や人の性格に影響を受けるリスクテイク行動を再現できる Naturalistic な挙動モデルをマルチエージェント系に組み込み、帰納と演繹を往還させることで、実効性の高い解決策を導き出すことが可能となる。

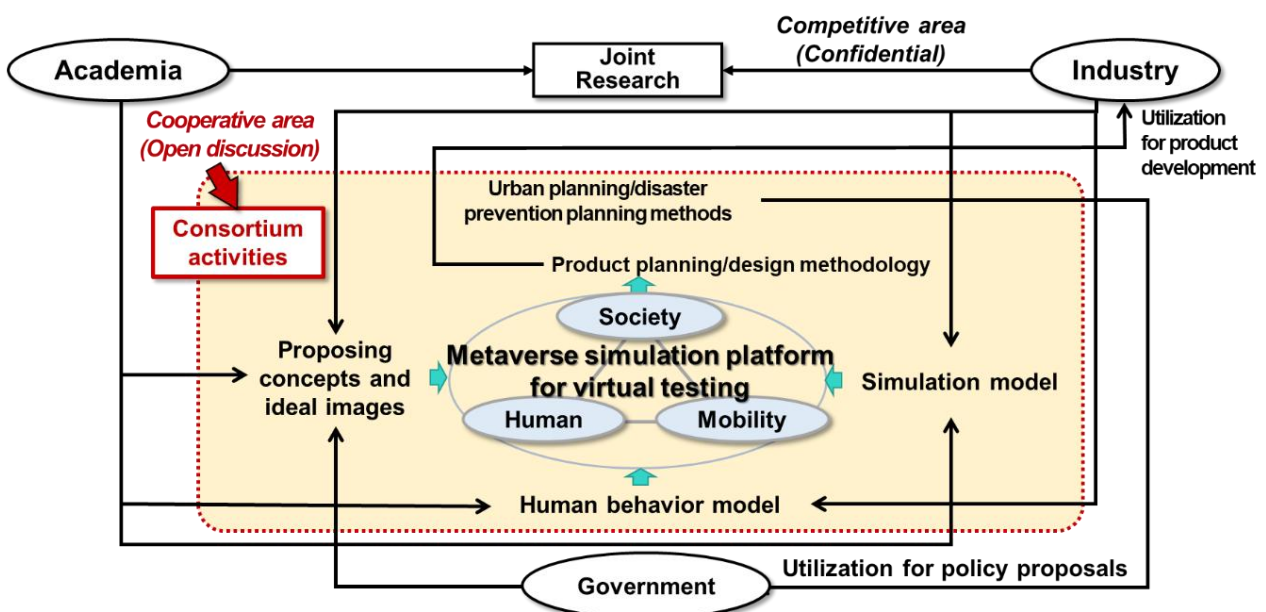


Fig.2 Collaborative activities involving industry, government, and academia on human behavior, mobility, and society

本コンソーシアムで組織するワーキンググループ、および連携する分科会の運営体制を図3に示す。事務局を香川大学イノベーションデザイン研究所に設置するWG1では、ステアリングコミッティとして、コンソーシアムの活動方針についての議論・決定を行う。WG2では、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を行い、従来の人行動モデルについての調査、交通安全性評価方法論についての調査のほか、新たな人行動モデルや交通安全性評価方法論の提案を行っている。WG3では、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、コードレビューならびにドキュメント化を行っている。WG4では、シミュレータを活用したデータ取得やモデルパラメータ同定手法の検討を行い、WG2の進捗に応じて、必要なデータをシミュレータによる参加者実験等により取得している。

以下では、このコンソーシアム活動の取り組みを特徴づける Virtual Testing による概念検証、研究開発での Virtual Testing の適用事例、活動のロードマップについて紹介する。

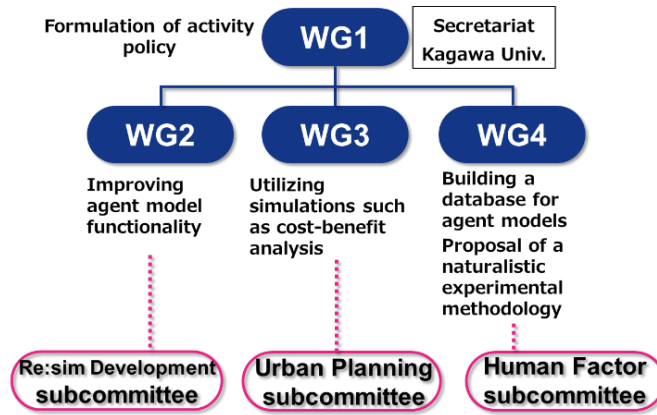


Fig.3 Composition of the working groups and its related research subcommittees

2. Virtual Testing による概念実証 (Proof of Concept)

2.1 人の自然な行動を分析する Naturalistic Paradigm

一般的に、FOT や Virtual Testing として分類できる研究開発の手法は、図 4 に示すように、例えば実験参加者の試験条件を実験目的に応じて特定の項目の基礎データを効率よく取得するために統制した環境での実験 (Driving under controlled conditions) と、特に試験条件を統制せず、実験参加者の意思に任せて自由に行動する交通環境でのデータを取得する実験 (Natural traffic flow) に分類することができる。本コンソーシアムが推進する「マルチエージェント交通シミュレーション」を活用した取り組みでは、図 4 に示す Virtual Testing における Natural traffic flow に重点を置いている。この Naturalistic paradigm として分類される実験手法は、「現実の代替」として、物理的な実証実験 (Field Operational Test) では再現不可能な極低頻度かつ高リスクな走行環境を自在に生成できる。

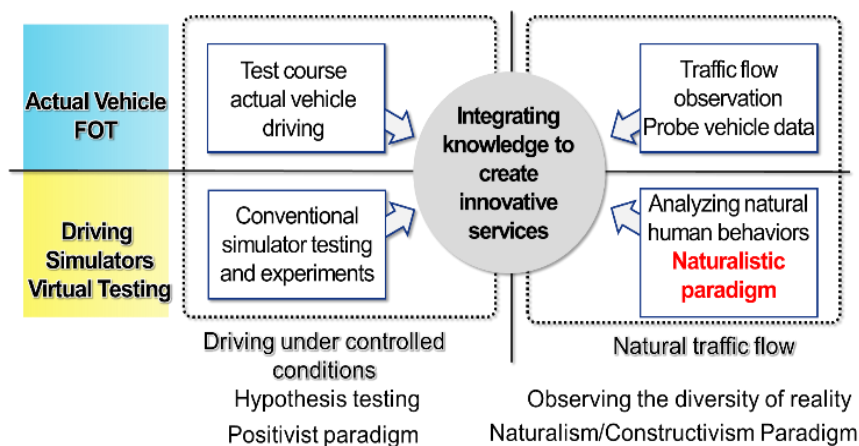


Fig.4 Four paradigms in research and development

また、本コンソーシアムでその方法論を議論している「Naturalistic (自然的)」な挙動モデルを組み込んだシミュレーションは、図 5 に示すように、交通参加者の不合理な意思決定に基づく不確実な振る舞いや心理的なリスク認知までを考慮したエージェントモデルの構築を進めており、信頼性の高い PoC を実現することが可能となる。また、デジタルツイン技術との融合による「リアルタイム性の高い検証」の可能性も特徴の一つである。現実の交通データ

から帰納的に得られた知見を即座にバーチャル空間へフィードバックし、多様な条件下での再試行を繰り返すことで、PoCのサイクルは劇的に短縮される。これは、法規制の検討を行う官、技術革新を追求する産、そして理論体系を構築する学の三者が、共通のデジタル・エビデンスに基づいて意思決定を行うための合意形成を可能にする点で有意義である。なお、本コンソーシアムでは、これら **Naturalistic Paradigm** に重点を置いた研究開発における人の行動のデータベース化を進めている。このデータベースは、図6に示すように、データの二次利用について、承認を得たデータを対象に、コンソーシアム活動に参加する産と学の団体が、データベースにデータを提供するほか、参加する団体がこのデータを活用することが可能な仕組みとしている。

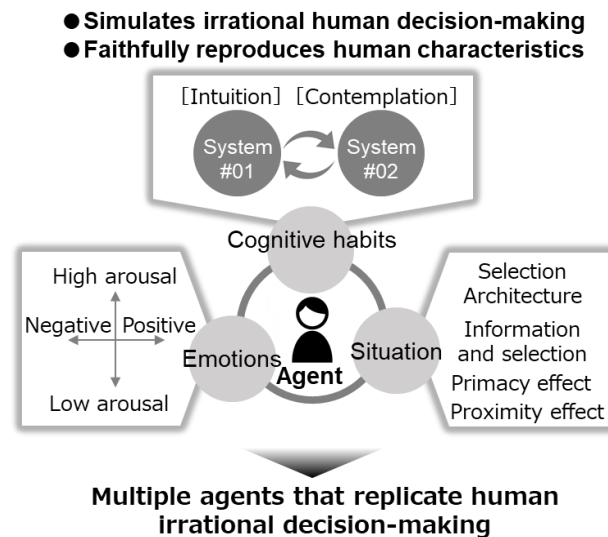


Fig.5 The Concept of agents that reproduce human irrational decision-making in the naturalistic paradigm

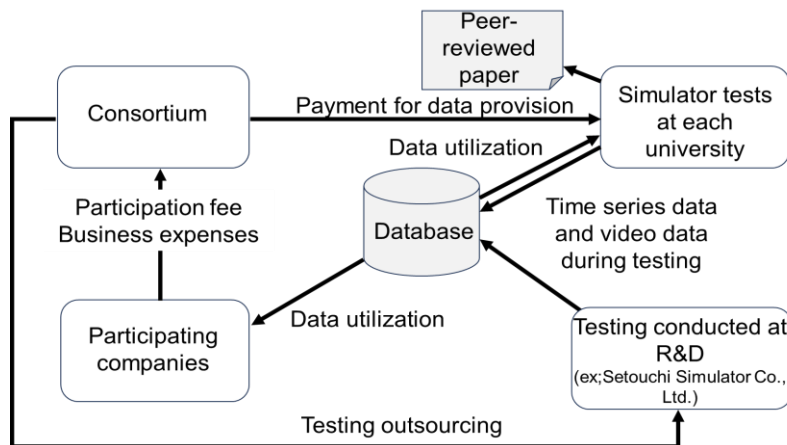


Fig.6 Management method for creating a database of human behavior data

2.2 研究助成活動

本コンソーシアムの趣旨に賛同し、有用性の高い研究を志向する研究者から研究テーマを公募し、上記のコンソーシアムのWG1でテーマの選定を行い、研究資金を支援する研究助成活動を行っている。研究公募は、シミュレーション技術の高度化を基盤としつつ、広範囲な社会課題を対象とした「自由提案型テーマ」と、特定の技術課題を扱う「分野特定テーマ」の二種に分類している。自由提案型テーマについては、ヒト・モビリティ・ソサエティの3つの主要分野に分類され、ヒト分野ではAI、強化学習、経路計画、行動分析、ヒューマンエラー、安全性評価、シミ

シミュレータ活用,さらには信頼感や受容性,アフォーダンスといった心理的・認知科学的研究までが網羅されている。モビリティ分野においては,デジタルツインやシミュレータの活用を筆頭に,新モビリティ,ADAS,V2X,環境影響評価,公共交通,およびCASEに関わる技術領域が対象となる。ソサエティ分野では,都市計画や人流挙動予測,災害避難,MaaS,地域創成,まちづくりのほか,費用便益分析や合意形成,市民参画といった社会実装に伴うプロセスも重要な研究テーマとして挙げている。分野特定テーマとして,令和7~8年度の研究助成では,「歩行者人流データ,地理空間情報の利活用」,「生成AIを活用した人の多様性表現の方法論」,「PLATEAU未整備地域のシミュレーション空間の作成方法」の3テーマを設定している。

2.3 Virtual Testing の実施環境

本コンソーシアム活動での Virtual Testing の実施環境の一例を図7に示す。実験環境は,四輪車,二輪車,歩行者,自転車,電動キックボードなどのリアルエージェントの行動を分析できるシミュレータ環境と,これら個々のシミュレータをVR空間で接続した,インタラクティブなシミュレータの実験環境を有している。また,これらのシミュレータを活用した,被験者実験により得られた行動データを活用して,マルチエージェント交通シミュレーションでの交通参加者(エージェント)の制御ロジックを最適化し,多様なADASのユーザ受容性,社会受容性を評価できる環境を構築している。このほか,人流を含む交通流のビックデータを活用し,マルチエージェント交通シミュレーションでの交通流の再現度合いの検証も実施している。

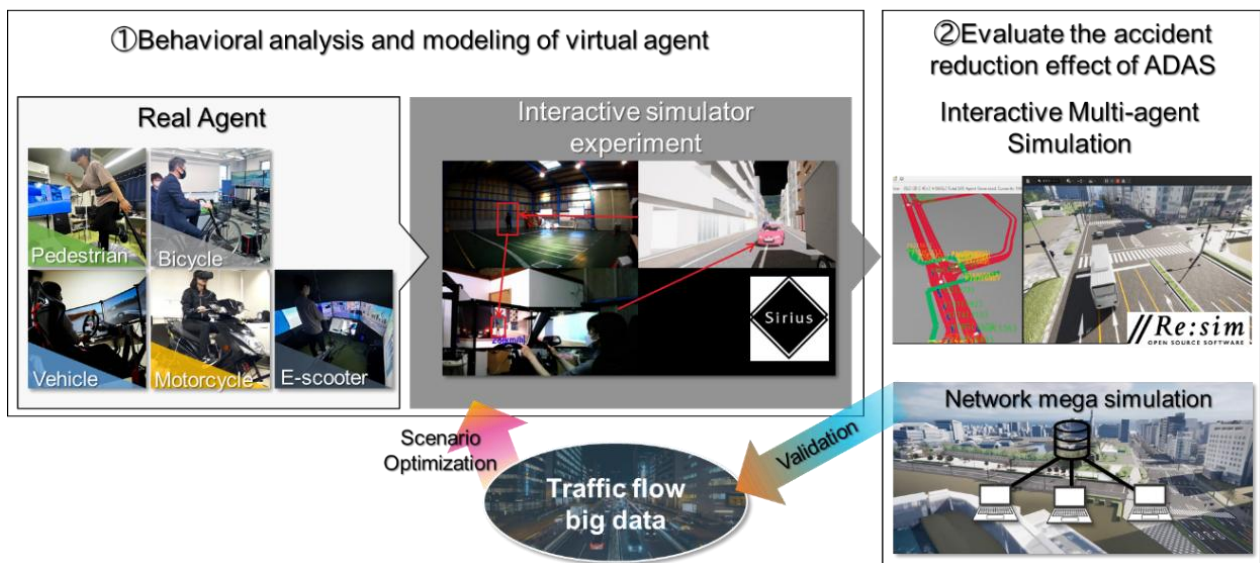


Fig.7 Conceptual diagram of data acquisition using various simulators to formulate control logic for agent models in multi-agent traffic simulation

3. 研究開発への適用事例

3.1 3分野における取り組みテーマの例

令和7年度~令和8年度における,コンソーシアムでの研究テーマの一例を以下に示す。ヒト,モビリティ,ソサエティ分野の多岐にわたる研究活動を実施している。

1) ヒト分野

- ・感情状態およびドライバ特性ごとの二輪車ライダーのリスクテイク行動の分析
- ・MR 歩行者シミュレータを活用した歩行者の単路部横断モデルの構築
- ・安心感の高い視認支援デバイスの設計方法
- ・共感インターフェースに関する研究
- ・マルチエージェント交通シミュレーションにより生成される交通流の下での同一被験者による長期間にわたるシミュレータ走行データの取得と分析

2) モビリティ分野

- ・マルチエージェント交通シミュレーションと交通安全性評価
- ・マルチエージェント交通シミュレーションによる Naturalistic DS 試験手法の確立
- ・マルチエージェント交通シミュレーションと複数台 DS 連携による高速道路合流に対する支援方策の有効性検証
- ・マルチエージェント交通流シミュレーションと自動運転車を接続した仮想評価環境と高度化技法の研究
- ・ドライブレコーダ映像とマルチエージェント交通シミュレーションとの連携技術の実現

3) ソサイエティ分野

- ・マルチエージェント交通シミュレーションにおける交通参加者エージェントの統一的な経路計画アルゴリズムと実データからのパラメータ推定
- ・災害避難時における「車両乗り捨て」をもたらす要因分析
- ・マルチエージェント交通シミュレーションを用いたメーカーの自動運転事故の法的リスク管理

3.2 取り組みテーマの一例

ヒト分野、モビリティ分野、ソサイエティ分野の研究開発へのマルチエージェント交通シミュレーションの適用事例の中から、モビリティ分野に着目し、その取り組みの一つである自動運転の機能安全分野での適用事例について紹介する。

ISO21448(SOTIF)では、意図した機能の安全性は「既知で危険なシナリオ」と「未知で危険なシナリオ」のリスク低減によって達成することを推奨している⁽⁶⁾。このうち、既知で危険なシナリオはISO34502⁽⁷⁾が提唱するようなシナリオベースアプローチが有効であるが、未知で危険なシナリオに有効なアプローチは現時点では確立されていない。

人間の想像力には限界があるため、未知(=想定外)で危険なシナリオを事前に想定し、既知シナリオとして追加する方法論の一つとして、数理モデルに基づく演繹的な推論による発見的アプローチが有効であると考えられる。本テーマは、未知で危険なシナリオに基づく自動運転システムの認識・判断技術の高度化の技法として、運転支援/自動運転の事故低減効果予測用に日本自動車研究所が開発したマルチエージェント交通流シミュレーション（以下、JA-Re:sim という）と、金沢大学が開発中の自動運転システムを接続した仮想評価環境下における自動運転システムのテスト環境の提案を目指している。

本テーマでは、数理モデルに基づく演繹的な推論、すなわち、JA-Re:sim の事象を創発する特長を活かして未知の危険を自動生成することによってシナリオの網羅性を高めることを基本的なコンセプトに据えている。このコンセプトを実現するため、図8に示すようにJA-Re:sim と自動運転システムを接続する環境(i)を基軸としつつ、エージェント行動モデルの充実を含めたシミュレーションの継続的な発展(ii)、システムの性能検証を加速するシナリオ生成とそれに基づくテスト技法の開発・実装(iii)(iv)を総合的に進めている⁽⁸⁾。(ii)(iii)(iv)が相互に連携できれば、評価対象である自動運転システムの現状の熟練度に応じたテスト環境を用意できる。最終的には、自動運転システムの性能向上に必要な未知で危険なシナリオを生成するテスト環境を用意できる。

自動運転システムの高度化に関する課題を解決するため、本テーマでは図9に示した高度化技法を提案している⁽⁸⁾。この技法は、主に3つの機能によって構成される。機能1(再シミュレーション用情報出力機能)は、シミュレーション中のある時刻のシナリオを再現するための情報を出力する。つぎに、機能2(再シミュレーション実行機能)に

よって、機能 1 が出力した情報を読み込み、特定のエージェントを自動運転システムに置き換えて連続的にシミュレーションを実行する。そして、機能 3 が抽出シナリオのバリエーション拡張機能である。機能 1 と機能 3 の連携によって抽出したシナリオにバリエーションが拡張され、これらのシナリオは機能 2 による再シミュレーション実行時に再現される。

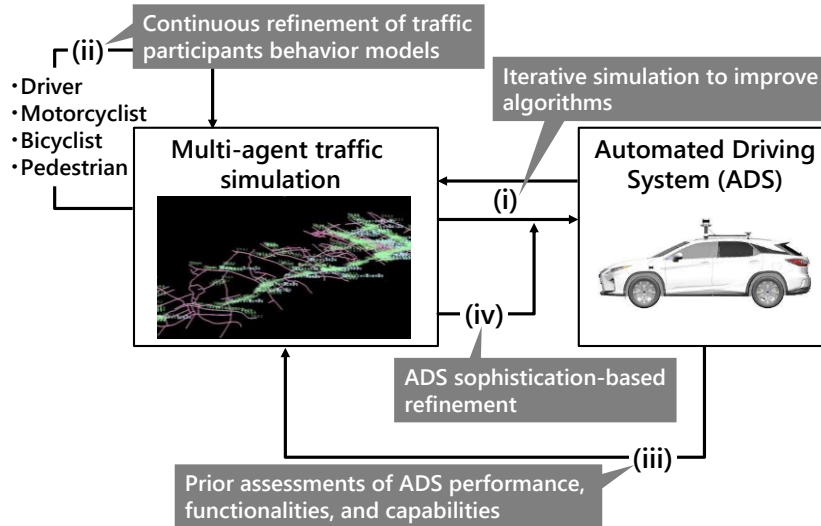


Fig. 8 Conceptual framework for the proposed virtual test platform utilizing multi-agent traffic simulation

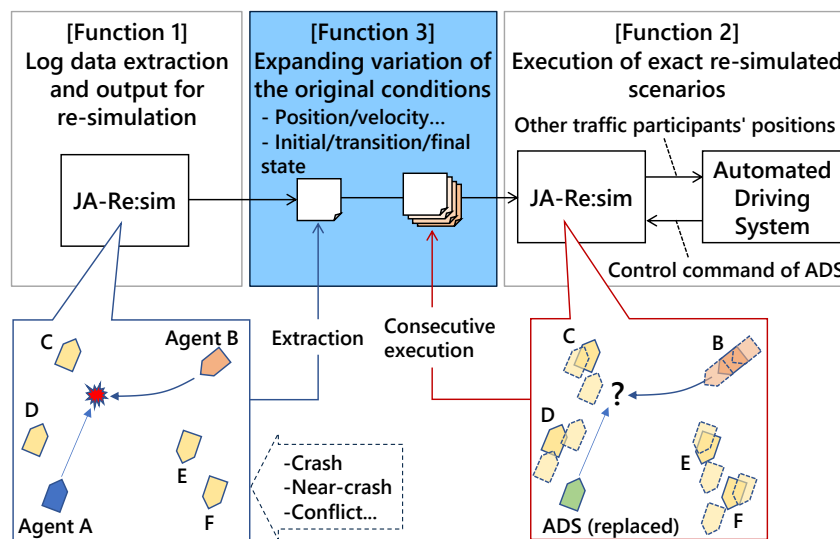


Fig. 9 The three main functions of the virtual platform, highlighting Function 3 for varying the generated cases

4. コンソーシアム活動のロードマップ

本コンソーシアムでは、図 10 に示すように、4 つのワーキンググループが相互に連携しながら段階的なシミュレーション技術の高度化を推進している。

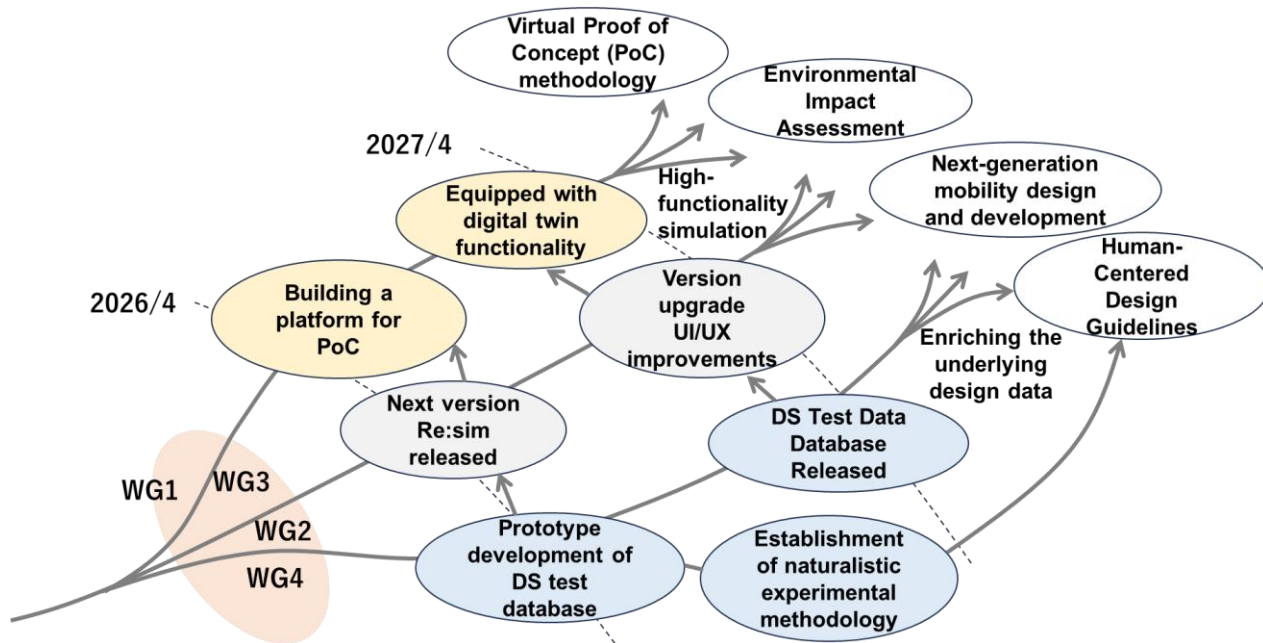


Fig.10 Research roadmap for each WG (2026 April – 2027 April)

2026年4月のマイルストーンでは、技術基盤の確立とデータの蓄積が主眼となっており、WG3を中心とした Proof of Concept (PoC, 概念検証) のためのプラットフォームの構築を進めている。WG2ではCNL (Cross-Nested Logit) モデル⁹⁾を導入した歩行者・二輪車・四輪車対応の経路計画アルゴリズムを、当該コンソーシアムで開発および改良を進めるマルチエージェント交通シミュレーション (Re:sim) の次期型へ実装し、シミュレーションの理論的深化を図るとともに、WG4ではDS (ドライビングシミュレータ) を用いたテストデータベースのプロトタイプ開発に着手している。続く2027年4月に向けたフェーズでは、これらの基盤技術を統合・高度化させる段階へと移行し、デジタルツイン機能の装備やUI/UXの改善、およびNaturalisticな行動データの公開を通じたプラットフォームのオープン化を目指している。2027年度以降の最終的な展望として、確立した仮想評価環境を基軸とし、環境影響評価や次世代モビリティの設計、さらには人間中心の設計指針 (Human-Centered Design Guidelines) の策定といった、具体的な社会課題解決への展開を目指している。

5. Mobility をコアとした街づくりのコンセプト提案に向けて

本コンソーシアムにおける活動の最終的なマイルストーンの一つは、高度なシミュレーション技術を基盤とした「モビリティ中心の街づくり」の方法論の提案である。これは、単なる移動手段の効率化に留まらず、ヒト・モビリティ・ソサエティが調和する持続可能な都市モデルの提案を目的としている。以下、その主要な取り組みを総括して例示する。

「シミュレーションによる合意形成とプロセス設計」

ソサエティ分野における活動として、MaaS や地域創成、まちづくりの議論において不可欠となる、費用便益分析や市民参画、合意形成のプロセスを重視している。具体的には、WG3において、都市計画における地域住民の意見集約や新規施策を産官学で対話するためのプラットフォーム構築を進める。これにより、計画段階での「Virtual PoC

(概念実証)」が可能となり、施策導入後の効果や影響を事前に可視化することで、スムーズな社会実装を支援することができる。

「デジタルツインと将来予測の統合」

今後のロードマップにおいては、デジタルツイン機能の追加が重要な鍵となる。PLATEAU 未整備地域におけるシミュレーション空間の構築手法 や環境影響評価技術を統合することで、現実の都市空間と仮想空間を高度に同期させる。これにより、人流挙動予測や災害避難時の避難行動の最適化といった複雑な社会課題に対し、データに基づいた科学的な解決策を提示できる。

「ヒューマンセンタードな街づくり設計指針の確立」

本コンソーシアムの強みである「Naturalistic Paradigm (自然な行動の分析)」に基づき、歩行者や小型モビリティなどの多様な交通参加者の特性を考慮した街づくりを目指す。これらの研究成果を、街づくりにおける「人間中心の設計指針」として体系化し、安心感が高く受容性の高いモビリティをコアとする社会の設計指針を提案していく。

このように、シミュレーション技術を「技術検証」の道具から「社会変革」のための対話と設計のプラットフォームへと昇華させることが、本コンソーシアムが重点を置いている取り組み内容の一つである。

参 考 文 献

- (1) <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
- (2) <https://pearsinitiative.com/>
- (3) <https://openpass.eclipse.org/>
- (4) Wallace, Walter, : The logic of Science in Sociology, Routledge, 渡辺深訳 (2018)
- (5) <https://simusafe.eu/>
- (6) ISO21448: Safety of the Intended Functionality, pp. 15 (2022)
- (7) ISO34502: Test Scenarios for automated driving systems -Scenario based safety evaluation framework-, pp. 9-18 (2022)
- (8) 北島 創ほか：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)
- (9) 鈴木宏典ほか：マルチエージェント交通シミュレーションにおける交通参加者エージェントの統一的な経路計画アルゴリズムと実データからのパラメータ推定, 自動車技術会学術講演会予稿集(春), 文献番号 20255394, p. 1-6 (2025)