

基礎研 レポート

自動運転の社会実装に向けて(前編) 前橋市・群馬大学の取組事例からのインプリケーションを中心に

社会研究部 上席研究員 百嶋 徹
(03)3512-1797 hyaku@nli-research.co.jp
生活研究部 ジェロントロジー推進室 准主任研究員 坊 美生子
(03)3512-1821 mioko_bo@nli-research.co.jp

1—はじめに

前橋市は、我が国の自治体の中で、自動運転バスの社会実装に向けていち早く取り組んできたが、筆者は、その取組みのキーパーソンである、群馬大学大学院理工学府准教授・同大学次世代モビリティ社会実装研究センター（CRANTS：Center for Research on Adoption of NextGen Transportation Systems）副センター長の小木津武樹氏、前橋市未来創造部参事兼交通政策課長の細谷精一氏の両氏と2021年8月18日に対談する機会を得た。対談の内容については、「ジェロントロジー対談：自動運転は地域課題を解決するか～群馬大学のオープンイノベーションの現場から」と題した弊社発行レターにて3回に分けて詳細に報告した¹。

この対談から、自動運転システムを社会実装・実用化していくための考え方や課題について、多くの示唆が得られた。そこで本稿と次稿の2編にわたり、対談から得られたインプリケーションを中心に、筆者のこれまでの研究を踏まえた上で、自動運転の社会実装の在り方について改めて詳細に考察することとしたい。まず、前編の本稿では、自動運転の社会実装について議論する上で、最もベーシックな論点となるテクノロジーおよび走行領域設定の視点を中心に考察したい。

なお、ここでは、自動運転システムを実装する対象としては、オーナーカー（自家用車）というより、主としてサービスカー（バスやタクシーなど移動サービス向け車両）を想定して議論を進めることとする。

¹ 坊美生子、百嶋徹「[ジェロントロジー対談：自動運転は地域課題を解決するか～群馬大学のオープンイノベーションの現場から](#)」(上) ニッセイ基礎研究所『100Gerontology：Mobility』2021年11月9日、[同\(中\)](#) 2021年11月18日、[同\(下\)](#) 2021年12月8日を参照されたい。

2——対談で議論した主要な項目

対談で議論した主要な項目は、以下の通りである。いずれも自動運転の社会実装の在り方を考える上で欠かせないポイントとなる。前編の本稿では、主として①および②をカバーし、③～⑥については後編にて言及したい。

- ① 自動運転システムの導入に適した道路環境（ODD）や気象などの条件は何か
- ② 自動運転システムにAIをどこまで活用することが妥当か
- ③ 自動運転と街づくりをどのように連携させるか。新規開発したスマートシティの方が導入に適しているか
- ④ 自動運転の研究開発と社会実装に必要な産学官連携の在り方とは
- ⑤ 自動運転サービスの収益性を上げるために何が必要か
- ⑥ 自動運転は高齢者の移動支援につながるか

3——自動運転の社会実装の在り方に関わる考察

本章では、第2章に記載した項目のうち①および②を中心に、自動運転の社会実装の在り方について詳細に考察することとする。

1 | テクノロジーの視点——国の技術ポートフォリオとして「枯れた技術」と「最先端技術」を併せ持つ重要性

① 前橋市の自動運転バスには制御判断機能としてのAIは搭載されていない

自動運転システムには「AI（人工知能）がコアテクノロジーとして搭載されている」と考えがちだが、前橋市での実証実験（2018年度以降、直近の2021年度まで毎年度実施）に使用されてきた自動運転シャトルバス（JR前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅までの約1kmの区間）には、画像認識や車両制御の判断・命令などの中核的な機能としてAIは搭載されていない²。

ディープラーニング（深層学習）で学習したAIモデルの場合、AIが判断した経緯や根拠を使う側の人間が理解できないという「ブラックボックス」の問題がある。小木津氏は、対談の中で「自動運転にAIを全く使わないという訳ではなく、使い方を限定させている」と前置きした上で、自動運転バスにAIを搭載していない理由については、「AIにはブラックボックスがあるという問題はもちろんあるが、そもそも判断を自動でできるようにするということが、いま一番注力すべき点だとは、あまり

² 自動運転バスには脳としての機能を担うAIは搭載されていないが、2020年度の自動運転バスの実証実験においては、「（※群馬大学次世代モビリティ社会実装研究センター内の）試験路に設置したカメラ映像とAI処理装置で他車両との衝突を予測し、バスへ停止指示を出すという実験を行った。ローカル5G、AI、エッジコンピューティングを組み合わせた技術である」「路側インフラにローカル5Gアンテナとセンシングデバイスを搭載して車両と連携するという仕組みは、NECが開発した技術だ」という（日本電気株式会社（NEC）ホームページ2021年7月15日「自動運転バスで、誰もが暮らしやすい街へ5Gを活用した前橋市の挑戦」から引用。ただし（※）は筆者による注記）。続く2021年度の実証実験においては、「NECのAIベースの映像配信技術と映像分析に基づくアラート通知技術により、1名のオペレーターによる複数台の自動運転バスの効率的な監視を可能にする遠隔監視システムの検証も行う」という（ICTまちづくり共通プラットフォーム推進機構・群馬大学・日本モビリティ・NECプレスリリース2022年2月14日「群馬県前橋市でローカル5Gを活用した複数台遠隔監視による自動運転バスの公道実証を実施」から引用）。また、前橋市の郊外部で運行するオンデマンド交通では、AI配車システムが用いられている。

思っていない。そこは人とコラボレーションできる部分であるから、ある程度、遠隔にいる人がオペレーションでカバーできる部分もある」と述べた。

② 想定外の事象に臨機応変に対応できない現在の AI は限定領域で大きな成果をもたらす

そもそも AI は、ディープラーニングの過程で学んでいない想定外の偶発的事象に対して、臨機応変に対応することができない³。従って、複数のタスクをこなせない現在の AI (=特化型 AI)⁴は、想定外の事象が無限に起こり得る複雑な現実世界では、その力を発揮できなくなる可能性が高まってしまう一方、閉じた限定的シーンで特定のタスクを明確なルールに基づいて実行させると、非常に大きな成果をもたらす。

AI の開発・実装においては、AI に関わる科学者・開発者や経営者など人間が、特化型 AI の性能を最大限に引き出すべく、AI が解くべき問題および AI を利活用する環境・領域をしっかりと設定することこそが最も重要である、と言っても過言ではない⁵。現状の AI の実力・強味や限界を十分に理解した上で、AI を上手に使いこなす工夫を凝らし、社会課題解決のツールとして利活用することが重要なのだ。

実際、人間が設定した限定された閉じた環境下で、AI やロボットの社会実装・実用化が進展している。例えば、チェス・将棋・囲碁の専用 AI、検索サービスや EC サイトでユーザーの検索や購買の履歴傾向などを分析してユーザーに合った検索結果の導出や商品の推奨を行うレコメンドエンジン、家庭用ロボット掃除機、スマートフォンの音声アシスタント機能用 AI、スマートスピーカー (AI スピーカー)、工場の生産ラインにおける組立作業用 AI 搭載ロボット、工場の製品品質検査工程における製品の外観 (欠陥) 検査用 AI、電子材料など機能性材料の設計・開発工程においてビッグデータや AI の活用を取り入れた最適な材料設計のための新たな方法論であるマテリアルズ・インフォマティクス (MI : Materials Informatics)⁶、オフィス入館用顔認証型 AI サーマルカメラシステム、オフィス内の警備やフロア清掃を自動で行う AI 搭載ロボット、小売店舗における来店者の属性・行動を分析する AI カメラ、大型物流センターにおける自動搬送用 AI 搭載ロボット、防犯・監視・入出国管理などに用いる顔認証 AI システム、医療画像診断支援用 AI、などが挙げられる。

このように現在の AI は、閉じた環境さえ与えられれば、ボードゲームから生活、製造業 (研究開発・生産・品質検査)、オフィス等不動産管理、小売業、物流業、セキュリティ、医療などに至るまで、幅広い多様な分野で大活躍しており、社会のための不可欠な存在となっている。

³ 百嶋徹「[AI・IoT の利活用の在り方](#)」ニッセイ基礎研究所『基礎研レポート』2019年3月29日、同「[AI・IoT の利活用の在り方](#)」『ニッセイ基礎研所報』2019年Vol.63 (2019年6月)にて指摘。

⁴ 現在実用化されている AI は、特定のタスクしかこなせない「特化型 AI」である一方、人間のように多様なタスクをこなせる「汎用 AI (AGI : Artificial General Intelligence)」は、現在のテクノロジーの延長では実現しない、とされる。特化型 AI は「弱い AI」、AGI は「強い AI」とも呼ばれる。本稿では、現在の AI である特化型を前提として議論を進めることとする。

⁵ 百嶋徹「[自動運転と AI のフレーム問題](#)」ニッセイ基礎研究所『基礎研レポート』2019年11月18日にて指摘。

⁶ MI を活用した研究開発 DX に関わる考察については、百嶋徹「[AI と研究開発 DX](#)」ニッセイ基礎研究所『研究員の眼』2020年12月28日、同「[AI と研究開発 DX](#)」『ニッセイ基礎研 REPORT』2021年2月号を参照されたい。

③ AI を搭載した自動運転システムも限定領域での実用化を先行させることが定石

その意味では、基本的に現実社会の複雑な環境下で用いられる自動運転システムへのAIの搭載・実用化は技術的難易度が極めて高く、とりわけ運転自動化レベルの最上位に位置付けられる、限定条件なしでシステムがすべての運転タスクを行う「レベル5」は、「AIの社会実装における最大のチャレンジ」⁷である、と言っても過言ではない（図表1）。

自動運転システムにAIを搭載する場合も、前述したように、究極の自動運転であるレベル5への到達をいきなり目指すのではなく、ルールが明確で想定外の事象が起こりにくいようデザインされた、閉じた環境での実用化を先行させることが定石である、と言えよう。すなわち、いわゆる「運行設計領域」（ODD: Operational Design Domain）の限られた時空間での実用化をまずは先行させることが求められる。

実際日本政府は、移動サービスの公道実証プロジェクトの推進において、自動走行実現に向けた基本的なアプローチとして、「社会課題の解決に向けたニーズの高い場所で、適切に安全を確保しながら、社会受容性を高め、簡単なシーン（専用空間、地方）から複雑なシーン（一般道路、都市部）へ活用を拡大」⁸していくことを想定してきた。さらに、この走行環境の複雑性の軸（図表2の縦軸）に、低速・中速・高速（高性能）で表した車両性能の軸（図表2の横軸）を加えた2軸でプロジェクトの難易度を示し、イメージとしては、Step1が「閉鎖空間で低速走行」、Step2が「（他の交通参加者との）混在交通下で地方にて中速走行」、Step3が「混在交通下で都市部にて高速走行」を表し、Stepが上がるごとに難易度が高まり、実証事業のレベルアップが図られることを想定してきた。

図表1 自動運転レベルの定義の概要

レベル	名称	定義概要	安全運転に係る監視、対応主体
運転者が一部又は全ての動的運転タスクを実行			
0	運転自動化なし	・運転者が全ての動的運転タスクを実施	運転者
1	運転支援	・システムが縦方向又は横方向のいずれかの車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
2	部分運転自動化	・システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
自動運転システムが（作動時は）全ての動的運転タスクを実行			
3	条件付運転自動化	・システムが全ての動的運転タスクを限定領域において実行 ・作動継続が困難な場合は、運転者がシステムの介入要求等に適切に応答	システム （作動継続が困難な場合は運転者）
4	高度運転自動化	・システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域において実行	システム
5	完全運転自動化	・システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を無制限に（すなわち、限定領域内ではない）実行	システム

（資料）内閣官房 IT 総合戦略室「自動運転に係る制度整備大綱（概要）」2018年4月17日より引用。表の左の矢印およびコメントは筆者が加筆。

⁷ 注5と同様。

⁸ 経済産業省製造産業局「自動運転を巡る経済産業省の取組」2018年2月16日より引用。

図表2 国の実施する自動運転公道実証プロジェクトの方向性



(資料)内閣官房日本経済再生総合事務局「国の実施する公道実証プロジェクトの方向性と共有すべきデータについて」自動走行に係る官民協議会（第2回）2017年9月28日より引用。

因みにオーナーカーの領域では、本田技研工業が、2020年11月に世界初のレベル3（限定条件下でシステムがすべての運転操作を行うが、緊急時などシステムからの運転操作の委譲要請（テイクオーバーリクエスト）があれば人間が操作を引き継ぐ必要がある「条件付き自動運転」の段階、図表1）の型式指定を国土交通省より取得し、このレベル3の自動運行装置「トラフィックジャムパイロット（渋滞運転機能）」を含む同社最新の安全運転支援システム「Honda SENSING Elite」を搭載した、高級セダン「レジェンド」を21年3月に発売した。このように世界初のレベル3の量産車が日本メーカーから登場することとなったが、高速道路での渋滞時において車線内の走行を維持しながら前方の車を追従することに加え、強い雨・降雪・濃霧などの悪天候でないこと、車速（時速）が自動運転システムの作動開始前は約30キロ未満・作動開始後は約50キロ以下であることなど、一定の走行環境条件が付されている⁹。

④ 限定された走行環境の下でも想定外の事象は起こり得る

しかし、限定されたODDの下であっても、前橋市で実証実験が実施されてきた自動運転シャトルバスの事例のように、専用道ではなく一般公道を走行する限りは、想定外の偶発的事象は起こり得る。

例えば、前橋市での自動運転バスの実証実験の経路は、①JR前橋駅と上毛電鉄中央前橋駅を結ぶ2点間輸送を目的とする路線であり、途中にバス停が存在しないこと、②運行距離が1kmと短距離であること、③右左折が最小限であること、④信号を含む交差点が5か所と少ないこと、⑤経路上の2か所に歩道橋が整備されており歩行者との交差が避けられること、⑥前橋駅と国道50号の間はバス専用

⁹ 国土交通省自動車局「世界初！自動運転車（レベル3）の型式指定を行いました」2020年11月11日を基に記述した。

レーンがあること¹⁰、などから、街中の一般道ではあるが比較的単純な走行環境であると言えよう。

それでも細谷氏は、20年度までの3か年の実証実験で得られた課題として、「今後いかに違法駐車車両対策をし、自動運転車両が走行しやすい環境を確保できるか」「実証実験を行ったエリアは、前橋のシンボリックなストリートなので、ケヤキ並木が生い茂っており、GPSが入りにくいという問題があった。そこをいかに他の設備で補完するか」「上毛電鉄中央前橋駅前の複雑な交差点に進入する際に、対向車両や歩行者、自転車へのセンシング技術を向上し、いかに遅延なく感知するか」といった点を我々との対談で挙げた。

実は限定されたODDの下でも想定外の事象が起り得る事例は、枚挙にいとまがない。例えば、スイス有数のワインの産地であるヴァレー州シオン市の旧市街では、2016年から自動運転シャトルバスが試験走行しているが、「通りの鉄柵から垂れ下がっていた植物の枝や葉が風で揺れると障害物だと認識し、バスはプログラムに従って減速または完全停止する」¹¹という。

⑤ 限定領域での想定外の事象にも柔軟に対応し得る遠隔型自動運転システム

このように限定されたODDの下でも、自動運転システムが臨機応変に対応できない想定外の偶発的事象が起り得るため、「人は柔軟に思考できる点と、責任を持って判断ができる点が非常に大きな特徴なので、そこを活かさない手はないと思っている。（※自動運転の）専用道ではなく公道を走行する限りは、基本的に人の介入をゼロにする（※AI主導の）レベル4（※限定領域でシステムがすべての運転タスクを行う段階、図表1）への到達を優先するよりも、人がちょっと介在する構造で仕組みを作っていった方が、使いやすいものになるのではないか」¹²との小木津氏の考え方は極めて理にかなっている。

日本政府の高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT総合戦略本部、本部長・内閣総理大臣）が毎年発表する「官民ITS構想・ロードマップ」の最新の2021年版においても、2022年度目途で限定地域における遠隔監視のみ（レベル4）の無人自動運転移動サービスを実現し、2025年度目途に同サービスを40か所以上へ展開することを目指すことが謳われており、移動サービスの分野では、必ずしもAIによる判断の自動化に頼らない遠隔型自動運転の普及が強調されている（図表3）。遠隔型の自動運転移動サービスを推進するとの政府方針を受けて、前橋市以外でも、主として自治体主導でAIを搭載しない遠隔監視型の自動運転システムによるサービスカーの実証実験（主としてレベル2）が数多く実施されている。小木津氏も、これまで日本全国で60を超える地域でサービスカーの自動運転の実証実験を実施してきたという。

¹⁰ 細谷精一、飯塚弘一（2019）「都市部基幹バスの自動運転導入に伴う環境基盤整備と交通課題解決」アーバンインフラ・テクノロジー推進会議より引用。

¹¹ ビッグイシュー・オンライン 2018年10月22日「自動運転車の実用化に向けた技術的・倫理的・社会的課題とは」より引用。このシャトルバスには、「安全パイロット」と呼ばれるスタッフが同乗してあらゆる状況を監視し、必要に応じて介入するのだという。従って、定義上はレベル3に分類されるとみられる。

¹² 対談での小木津氏の発言を引用。ただし（※）は筆者による注記。

図表3 『官民 ITS 構想・ロードマップ』（2021年版）から抜粋

- ・2022 年度目途で限定地域における遠隔監視のみ(レベル4)の無人自動運転移動サービスを実現し、2025 年度目途に同サービスを 40 か所以上へ展開するため、車両の技術開発に加え、ODD¹⁷の類型化、事業モデルの構築、インフラ整備の在り方その他の技術的制度的課題の解決により効率的な横展開を行う。
- ・2025 年度頃の混在空間でのレベル4自動運転サービス実現のため、地域の特性別にユースケースを整理し、協調型システムの導入を検討するほか、多様なモビリティの活用も視野に入れた事業モデルやデータ連携スキームの検討を行う。また、研究開発から実証実験、標準化、事業化まで一貫して進める産学官研究機関による国際連携拠点を構築する。

(資料) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議「官民 ITS 構想・ロードマップ—これまでの取組と今後の ITS 構想の基本的考え方」2021 年 6 月 15 日より引用。赤色の下線は筆者が加筆。

これまで遠隔型自動運転の実証実験が行われてきた自治体の中でも、福井県永平寺町では、遠隔ドライバー1名が2台の車両(小型電動カート)を運用する世界初の公道実証(レベル2、国土交通省・経済産業省によるラストマイル型自動運転の実証実験)を2018年11月に開始し、2020年12月より1人の遠隔ドライバーが常時監視・操作する車両を3台に増やしたのに続き、車両を高度化し国内で初めて認可を受けた遠隔監視・操作型のレベル3での運行を2021年3月に開始したことで、大きな注目を集めている¹³。車両が道路に敷設した電磁誘導線とRFIDによる走行経路を追従し、最高時速12キロの低速で自動走行するものである。2022年度内にレベル4を目指すという。

⑥ 枯れた技術を当面の地域課題の迅速な解決のために使い倒すことは社会的意義が高い

このように我が国では、自動運転移動サービスの領域において、必ずしもAIを搭載しない遠隔型自動運転システムの実用化が国を挙げて急がれている。AI・自動運転の先進国である米国と中国では、自動車メーカーや巨大デジタル・プラットフォーマー、スタートアップなどが、ロボタクシーなど自動運転サービスカーに頭脳として搭載するAIモデルの精度向上のために、実走行試験やシミュレーションを重ねて膨大な走行データ(学習データ)の収集に日夜しのぎを削って取り組み、AI主導のレベル4を目指す動きとは極めて対照的であると言えよう。

AI主導の自律型自動運転システムなど最先端テクノロジーのみにこだわらず、AIをあえて使わない遠隔型自動運転システムなど既存の成熟した「枯れた技術」を使い倒して活かし切り、路線バスなど公共交通の衰退に伴う自治体の財政負担(補助金)の増加、高齢者など移動弱者の増加、ドライバーの高齢化・人材不足といった、地域がまさに足下で直面している喫緊の交通課題の解決にできるだけ迅速にアプローチすることは、社会的意義が極めて高い。喫緊の社会課題の迅速な解決が目的であっ

¹³ 永平寺町の取組みの詳細については、坊美生子「ジェロントロジー対談：過疎地において自動運転サービスは持続可能か～レベル3の最前線・福井県永平寺の取組みから」(上)・(下) ニッセイ基礎研究所『100Gerontology: Mobility』2021年10月1日を参照されたい。

て、テクノロジーはそのためのツールであるため、課題解決に資する最適なテクノロジーであれば、最先端であろうと成熟化しているのもであろうと問題はないからだ。実際、前述の永平寺町の事例での成果は、「電磁誘導線や IC タグを用いた自動運転システムの有効性を示したことである。これらは AI や高性能センサーと違って、従来からある技術だが、車両の自己位置特定という自動運転に最も重要な機能を確実に果たすことができる。実際に、同町では実証実験中にドライバーが介入操作した回数も少なかった。調達コストも安いことから、今後、町内の他のエリアに敷設して、走行範囲を広げられる可能性もある」¹⁴。

また、小木津氏が使っている「自動運転車の“頭脳”とも言えるコンピュータ、さぞかしハイスペックかと思いきや、『意外に皆さんのお持ちの PC とそれほど大きく差はなく、それよりも少し賢いくらいのコンピュータで自動運転はもう実現できるようになってきています』（小木津氏）。高性能なコンピュータを搭載しなくても自動運転が可能なのは、AI をあえて“使わない”選択をとったからだと言います¹⁵。小木津氏も、最先端のコンピュータや AI を使わなくとも自動運転を実現することができ、地域課題の解決に果敢に挑むことができることを示してくれている。

既存の成熟したテクノロジーで実現する遠隔型自動運転システムは、最先端の AI システムを搭載した自動運転システムに比べコスト優位性が非常に高いため、喫緊の地域課題を抱える自治体にとって導入に踏み切りやすい側面も大きい。

⑦ 最先端テクノロジーの研究開発は先進国の技術ポートフォリオに欠かせない

筆者は、我が国では、当面の地域課題解決のためにフル活用すべき枯れた技術に加え、「テクノロジードライバー」と位置付けるべき最先端技術を併せ持つことが、国レベルでの技術ポートフォリオ上、不可欠であると考え¹⁶。最先端テクノロジー分野に関わるイノベーションを、科学技術の発展ひいては中長期的な地球規模の課題解決に向けて先導することは、欧米とともに先進国としての我が国が産学官を挙げて取り組むべき責務、言わば先進国としての「国家の社会的責任」であり、また産学官の叡智を結集してそれに成功すれば、グローバル競争が激化する中で、結果として我が国の産業競争力の抜本的な強化を図ることにつながっていくと考えられる。我が国には、枯れた成熟した技術と最先端技術を併せ持つ、テクノロジーの「二刀流戦略」が求められるのだ。

技術的難易度が極めて高い最先端の研究開発のリスクに耐えうるだけの強い企業体力を有する日本を代表する大企業や、社会課題解決（＝社会的価値創出）という「社会的ミッション」の実現に向けてハードルの高い研究開発に挑み、それをやり抜く気概を持つ起業家精神旺盛な企業など一部の選りすぐられた企業が、最先端テクノロジー分野に関わるイノベーションを担い主導することが求められる。最先端分野の研究開発については、個別企業での研究開発力や技術優位性を磨く自助努力に加え、国・政府系関係機関の競争的研究資金などによる産学官連携プロジェクトへの研究開発助成や、産学

¹⁴ 坊美生子「[ジェロントロジー対談：過疎地において自動運転サービスは持続可能か〜レベル3の最前線・福井県永平寺の取組みから](#)」（下）ニッセイ基礎研究所『100Gerontology : Mobility』2021年10月1日にて指摘。

¹⁵ NHK サイエンス ZERO（2021年1月10日放送）「2021年科学&技術を大予想 SP」より引用。

¹⁶ 筆者は、このような考え方を百嶋徹「[製造業を支える高度部材産業の国際競争力強化に向けて（後編）](#)」ニッセイ基礎研究所『基礎研レポート』2017年3月31日にて提示した。

官連携促進の触媒機能を担うオープンイノベーションの拠点整備（後編にて後述）などの行政支援も強く求められる。

例えば、AI分野については、前述の通り、特化型AIが現在実用化の主流となっている一方、今は多くのブレークスルーがなければ実現しない汎用AI（AGI）についても、科学技術の進化のために、最先端のAI研究分野として一定の研究者が研究に取り組み続けることが重要である。

自動運転分野については、「レベル1～レベル4のいずれにおいても、その自動運転システムが機能すべく設計されている特有の条件である ODD が広いほど技術的な高度性が高く、言い換えれば、レベル4であっても、狭い ODD のみで運転が自動化されるシステムであれば、技術的な高度性は相対的に低い。また、レベル5は、レベル4のうち、ODD の限定がない自動運転システムであると定義され、技術的レベルは非常に高い」¹⁷とされる。このため、自動運転分野では、最先端・高性能の AI・コンピュータ・通信技術を活用した「広い ODD での完全自動運転システム（レベル4・レベル5）」がやはり最先端テクノロジー領域となろう。広い ODD で人間の操作が介在しないレベル4以上の完全自動運転、とりわけレベル4から ODD の限定を取り払ったレベル5という究極の目標への挑戦には、実現には困難が伴う「破壊的イノベーションの創出を目指し、従来の延長にない、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発、いわゆる『ムーンショット』」¹⁸に果敢にチャレンジする強い使命感・気概・情熱を持って、高い志を成し遂げようとする確固たるスタンスが欠かせない。

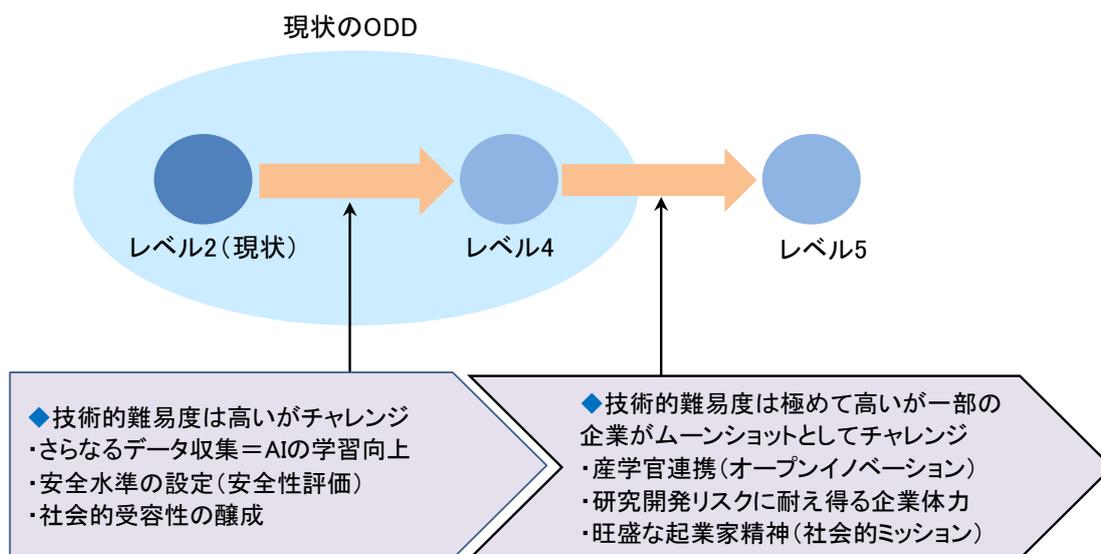
現時点では、サービスカーでもオーナーカーでも自動運転の実用化段階は、限定された走行環境条件下ではレベル3、広い ODD（オーナーカーが中心）ではレベル2に概ねとどまっているとみられる。中長期的には、長期間の実走行試験・シミュレーションを続けることで、システムの中核を担う AI の学習が日々進み AI にとって想定外の事象が減少していけば、技術的難易度は高いものの、広い ODD でより高い運転自動化レベル（レベル4など）が徐々に可能となっていこう（図表4）。ただし、実世界では、いくら学習を重ねても AI にとって想定外の事象がゼロにはならない¹⁹ため、最終的には、自動運転の安全性評価（自動運転による事故率がどれくらいの水準であれば安全とみなすのかという、安全水準の設定）と社会的受容性（本稿 2|②および後編にて言及）の醸成の問題に収れんしていく、と考えられる。

¹⁷ 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議「官民 ITS 構想・ロードマップ 2019」2019年6月7日より引用。

¹⁸ 内閣府ホームページ「ムーンショット型研究開発制度」より引用。

¹⁹ 「AI のフレーム問題」と呼ばれ、AI 研究の最大の難問と言われる。AI のフレーム問題に関わる詳細な考察については、百嶋徹「[自動運転と AI のフレーム問題](#)」ニッセイ基礎研究所『基礎研レポート』2019年11月18日を参照されたい。

図表4 自動運転システムの進化に向けたアプローチの在り方
 <広いODD+レベル2からスタートした後のアプローチ>



(資料) 百嶋徹「自動運転とAIのフレーム問題」ニッセイ基礎研究所『基礎研レポート』2019年11月18日

⑧ 完全自動運転システムと運転支援システムの「二刀流」に挑むトヨタ自動車

米国で自動運転技術やAI技術などの研究開発を行うトヨタ自動車の子会社 Toyota Research Institute (TRI) のCEO (最高経営責任者) であるギル・プラット氏²⁰は、「レベル5の自動運転で必要になる完全性を実現するためには、何年もの機械学習や何マイルものシミュレーション・実走行によるテストが必要になるだろう」「米国で、レベル4以上の自動運転車が街中を走るクルマの多くを占めるには、数十年もの時間がかかる」²¹、「私たちもいつかはレベル5を達成できるかもしれないが、自動運転システムが抱える技術的・社会的な難しさを甘く考えてはいけない」²²と述べ、技術的・社会的側面から見た完全自動運転の社会実装の難しさについて、非常に真摯な姿勢で語っている。

このようにトヨタ自動車は、完全自動運転の難しさやその社会実装には極めて長期の期間を要することを十分に理解した上で、難易度の高い最先端のレベル4以上の完全自動運転システムである「シヨフアー (Chauffeur: 「運転手」を意味する)」の開発に果敢にチャレンジする一方で、この究極の目標に向かって取り組むプロセスにおいても、出来る限り多くの人命を極力早く救うことを追求しなければならぬとの認識の下で、当面の現実解として、人間が運転することを前提に広い走行領域に適用され得る、高度安全運転支援システムである「ガーディアン (Guardian: 「守護者」を意味する)」

²⁰ TRIは2016年1月に米シリコンバレーに設立され、トヨタ自動車は2016年～2020年までの設立当初5年間で約10億ドルを投入する予定で、社員数は約200名規模の予定だった(設立発表時の想定)。ギル・プラット氏は、米国防総省の国防高等研究計画局(DARPA)で「ロボティクス・チャレンジ」のプログラム・マネージャーを務めたことでも知られる。同氏は、2020年6月よりトヨタ本体のChief Scientist and Executive Fellow for Researchを兼任している(2015年9月よりエグゼクティブテクニカルアドバイザー、2018年1月よりフェロー、2020年1月よりExecutive Fellow)。

²¹ トヨタ自動車株式会社ホームページ2017年1月5日「トヨタ・リサーチ・インスティテュート ギル・プラットCEOスピーチ参考抄訳(CESプレスカンファレンス)」より引用。

²² トヨタ自動車株式会社ホームページ2019年1月8日「CES 2019 トヨタ・リサーチ・インスティテュート (TRI) ギル・プラットCEOスピーチ参考抄訳」より引用。

の実用化・普及を急いでいる。

ガーディアンとショーファーに必要とされる周辺認識・制御技術は基本的に同じものであるため、システム自体の技術面の先端性・高度性(技術的レベル)は両者間で大きな違いはないとみられるが、ガーディアンは高度安全運転支援システムとして単独で搭載される場合、ドライバーが常に車のコントロールを行うことから、運転自動化レベルはレベル2に相当するとみられる²³。トヨタ自動車の中長期のムーンショットとしてショーファーの開発に果敢に挑む一方で、当面の課題解決に向けてガーディアンの開発に同時並行で取り組むのは、同社の高い志・社会的責任意識に裏打ちされたものであり、自動運転技術の「二刀流戦略」の企業レベルでの先進事例として非常に高く評価できる。

⑨ 人間とデジタルテクノロジーが共生するコラボレーション型システムの重要性

小木津氏は、AIによる判断の自動化よりも、柔軟に思考し責任を持って判断できる人間の特徴を取り入れて、遠隔監視するオペレーターが介在しカバーする自動運転の仕組みを構築した方が有効性が高い、との考え方を我々との対談で示した。人間とデジタルテクノロジーが共生・協働する仕組み、言わば「コラボレーション型システム」を構築すべき、との考え方は、AIを含めたデジタルテクノロジーと人間の関係性や人間のテクノロジーへの向き合い方に関わる今後の在り方に、非常に有益な示唆を与えてくれる。

「AIは雇用を奪う」とのAI脅威論は、依然として根強い。一方、筆者は、「AIを活用した未来社会がどのようなものになるかを決めるのは、AIではなく、それを開発・進化させる科学者・開発者やそれをツールとして社会に実装・利活用する経営者など、人間自身であるはずだ。AIを単なる人員削減のための道具ではなく、『人間と共生する良きパートナー』と位置付けるべく、ビッグデータから人間では気付けない関係性やわずかな予兆を捉えるなど、AIにしか出来ない(=人間には出来ない)役割や、画像認識など既にAIが人間の能力を上回っている機能をAIに担わせるように、人間自身が強い意思を持って導くことが重要である」「AIは人間の労働を奪うのではなく、人間の潜在能力を引き出し能力を拡張させるために利活用すべきである」「AIに関わる科学者・開発者や経営者には、AIの開発・実装において、このような明確な『哲学』や『原理原則』を強く持つことが求められる」と主張してきた²⁴。

人間が本来不得意な、あるいはAIが明らかに人間の能力を上回っている業務・タスク・活動・機能をAIに任せることで、人間は創造的活動など得意とする分野にできるだけ専念できる仕組み・環境を人間自らがデザインしなければならない。例えば、研究開発業務におけるAI活用(研究開発DX)を

²³ トヨタ自動車では、ガーディアンが運転支援システムとして単独で搭載されるケース(レベル2相当)にとどまらず、レベル4以上の完全自動運転システム用の「冗長システム」(システムに障害が発生するケースに備えて、予備装置を配置・運用しておくもの)として搭載されるケースも想定している。

²⁴ AIの利活用の在り方に関わる筆者の考え方については、拙稿「[製造業を支える高度部材産業の国際競争力強化に向けて\(後編\)](#)」ニッセイ基礎研究所『基礎研レポート』2017年3月31日、同「[AIの産業・社会利用に向けて](#)」ニッセイ基礎研究所『研究員の眼』2018年3月29日、同「[AI・IoTの利活用の在り方](#)」ニッセイ基礎研究所『基礎研レポート』2019年3月29日、同「[AI・IoTの利活用の在り方](#)」『ニッセイ基礎研所報』2019年Vol.63(2019年6月)、同「[自動運転とAIのフレーム問題](#)」ニッセイ基礎研究所『基礎研レポート』2019年11月18日、同「[イチロー引退会見に学ぶAI・IoTとの向き合い方](#)」ニッセイ基礎研究所『研究員の眼』2020年1月10日、同「[人間とAIの共生を考える](#)」ニッセイ基礎研究所『研究員の眼』2020年3月25日、同「[AIと研究開発DX](#)」ニッセイ基礎研究所『研究員の眼』2020年12月28日を参照されたい。

例にとって、「すべての研究開発業務をAIでシステム化できるわけではない。人間にはできない多様で膨大なビッグデータの網羅的・効率的な解析をAIに任せ、研究者・エンジニアは、合理性や常識にとらわれない創造性を発揮することやAIによる分析結果を参考に意思決定をすることで互いに得意分野を担い、研究開発の現場でAIが研究者・エンジニアの業務をしっかりとサポートし、人間とAIが協調・調和して業務を遂行できる『ハイブリッド環境』を実現することが望まれる」²⁵と、筆者は指摘した。「ハイブリッド環境」は、「コラボレーション型システム」と言い換えてもよい。また、ここでの筆者の主張・指摘は、AIを含むより広い概念である「デジタルテクノロジー」についても成り立ち得ると考えられる。

デジタルテクノロジーは、決められた合理的なプロセスを高速で追求し続けることは得意だが、合理的プロセスから外れた偶発的な事象に対して臨機応変に対応することはできないし、小木津氏が人間の特徴・強味として挙げた、柔軟に思考したり責任を持って判断したりすることもできない。自動運転システムでも、遠隔監視型のように、人間とデジタルテクノロジーが互いに得意分野を担って共生・協働するコラボレーション型・ハイブリッド型の仕組みが大きな効果を発揮し得るのだ。また、遠隔監視者（自動運転オペレーター）という新たな専門人材の雇用創出にもつながり得る。

前出のトヨタ自動車の高度安全運転支援システム「ガーディアン」は、「人間の能力を置き換えるのではなく増大させるという考え方で開発されており、「これから起こりうる事故を予測、ドライバーに注意を喚起し、ドライバーの操作と協調して修正制御を行う場合を除き、ドライバーは常に車のコントロールを行うことになり」、「人間と自動運転システムがチームメイトとしてお互いのベストの能力を引き出すようなシームレスで調和的な運転システムである」²⁶。前述の通り、AIを含むデジタルテクノロジーは、人間の労働（ここではクルマの運転操作）を奪うのではなく、人間と共生する良きパートナーとして、人間の潜在能力を引き出し能力を拡張させるためのものであるべきだが、ガーディアンは、まさに人間の能力を拡張させるためのテクノロジーの先進事例だ。「人間（ドライバー）とガーディアン（運転支援システム）がチームを組む」との発想は、筆者が主張する「人間とデジタルテクノロジーのコラボレーション型・ハイブリッド型の仕組み（システム）」という考え方と一致する。

また、ギル・プラット氏は「自動運転の最も重要なメリットは、車を自動化させるということではない、ということです。そうではなく、ヒトが自立して自由に動き回れることだと考えます。自動運転とは、まず出来る限り多くの命を極力早く救えるようにし、かつドライビングをより安全に、しかし一方でより心を揺さぶるようなものにすることです」²⁷と述べており、「自動運転で“Fun-to-Drive”（※運転する楽しさ）を目指している」²⁸。「車の自動化が自動運転の最も重要なメリットではない」との指摘は、小木津氏の考え方と一致する。ガーディアンは全走行を通して、道路状況やドライバーの反応をドライバーに意識させずに見守るとともに、ドライバーのミスや弱点をカバーすることにより、ドライバーは、車を自分の体の延長のように自由にコントロールしているように感じるが、実際

²⁵ 百嶋徹「[AIと研究開発DX](#)」ニッセイ基礎研究所『研究員の眼』2020年12月28日にて指摘。

²⁶ 注22と同様。

²⁷ 注22と同様。

²⁸ トヨタタイムズ2019年8月2日「AI界のカリスマ、トヨタの自動運転を語る」より引用。ただし、（※）は筆者による注記。

には、ガーディアンがドライバーに運転を教え、ドライバーをフォローしているのだという²⁹。

2 | ODD の設定の考え方

① 地域課題解決の戦略として、交通サービスの維持補強が必要なエリアに設定する

自動運転の社会実装について考える時、まずは技術面に注目が集まることから、「どんな地域を選ぶべきか」「道路環境の条件は」というところから検討をスタートしがちである。しかし上述したように、テクノロジーは手段であり、目的は地域課題、社会課題の解決である。したがって、地域課題解決のために、どうしても交通サービスの維持・補強が必要だと思われるエリアを見極め、自動運転を戦略的に入れていく、という発想が望まれる。自動運転をオーナーカーに実装するのではなく、サービスカーの公共交通に導入するのであれば、特にその点が重要である。

前橋市と行った対談の中で、最も大きなインプリケーションであった一つは、細谷氏の「まずはここ（上毛電鉄中央前橋駅—JR 前橋駅）を自動運転化することによって（市内の交通ネットワーク全体を）維持、充実していこうと考えた」という、判断の順序である。つまり、前橋市中心部に位置する、二つの鉄道の主要駅を結ぶこの1kmこそが、市の交通ネットワーク全体の軸を成す「本丸」であり、最も優先的に交通サービスを守らなければならない区間である。そのために、自動運転の技術の力を借りて運行の持続可能性を上げていく、という考え方である。それが、前橋市を持続可能な街にし、住民の生活を守るために必要だということである。

最初に上毛電鉄中央前橋駅—JR 前橋駅での実証実験を提案したのは小木津氏だったという。細谷氏も対談中、小木津氏から最初に提案を受けた時の率直な感想について「なんと、この本丸で自動運転とは信じられなかった。市内でも一番、混在交通の環境下で、一番難しいんじゃないかと思いました」と打ち明けている。しかしその後、「でも逆に、ここで成功しないと、いちばん重要な前橋の交通の軸が衰退してしまう」と考え、実証実験に同意したということである。

従って、必ずしも ODD に選んだ地域が、自動運転にとって技術的に最も望ましい区間だとは限らない。しかし逆に、どんなに技術的に適した空間が別にあつたとしても、住民の生活上の導線と交差せず、域外の人々が訪れることもない場所なら、導入しても意味がないし、交通サービスとして継続しないだろう。

まずは、地域課題解決のために、どうしても交通サービスを維持、補強しなければならないエリアを選び出し、その上で、なるべく技術的なハードルを下げられるように、具体的な走行計画を作成する次の段階で工夫していく、という順序を取ることが重要である。

② 自動運転のために重要な3要素

上記の順序を前提とした上で、次に考えるのが、ODD において、自動運転の技術的なハードルを下げるために必要な要素は何かということである。小木津氏は、「重要なエッセンス」として次の三つを挙げている。

²⁹ トヨタ自動車株式会社ホームページ 2019年1月8日「CES 2019 トヨタ・リサーチ・インスティテュート (TRI) ギル・プラット CEO スピーチ参考抄訳」などを基に記述した。

1点目は「歩車分離」である。自動運転では、他の車や歩行者、自転車などを瞬時に検知し、もし目の前に飛び出してきた場合には、衝突を避けるために、即座に停車などの措置を取らなければならない。それを確実にするためには、もともと、自動運転車両の走行空間に、他の主体が侵入しないようにしたり、検知しやすい環境を整えることが必要である。従って、例えば生活道路よりは、歩道と車道が分かれた道路の方が歩行者との接触を回避しやすいし、さらには、自動運転車両の専用レーンがある方が、他の車やバイクなどとも接触を回避しやすい。また、カーブした道路よりは、見通しが良い直線道路の方が、対向してくる障害物をいち早く検知しやすい。

ただし、専用レーンの無い道路や、カーブのある道路では自動運転を導入できないということではない。このことは後述する。

2点目は「通信環境」である。自動運転システムでは、自己位置推定のために GPS、障害物を検知するためにセンサーレーザーなどが用いられる。これらから得た情報は、通信を使ってシステムに送信する必要がある。従って、通信環境が悪い山間部などでは、これらが機能しづらいということになる。

3点目は、自動運転に対する当該地域の「受容性」である。住民の受容性が高ければ、例えば自動運転の走行区間では違法駐車をしないう、自動運転車両の前を横切らないなど、安全で円滑な運行を確保するための住民側の協力を得られる。従って、市町村が実証実験を行う際には、予め当該地域で住民と密に意見交換会を開くなど、自動運転に対する理解を得られるように、念入りに準備する必要があるだろう。また、受容性を維持する上で最も重要な点は、交通事故が発生した際の対応だと小木津氏も指摘している（社会受容性については後編でも後述）。通常の公共交通の事故と同様、あるいはそれ以上丁寧に、即座に地域に事実関係を説明し、原因究明と再発防止に取り組むことが不可欠である。

重要なのは、これらの3点が予め揃っているエリアでなければ導入できないという訳ではなく、足りない部分を運用でカバーしていくということである。

実際にこれまでの前橋市の実証実験では、1|で述べたように、主な課題として①違法駐車対策等による走行環境の確保、②ケヤキ並木によってGPSが入りにくい街路環境における、他の通信設備による補完、③複雑な交差点（上毛電鉄中央前橋駅前）に進入する際の、対向車両や歩行者、自転車へのセンシング技術向上、の3点が明らかになっている。いずれも小木津氏が述べた3要素と関連する問題である。

前橋市は、上記3点への対策を進めており、例えば3点目の上毛電鉄中央前橋駅前交差点に進入する際のセンシングについては、同駅前の歩道橋や電柱にカメラやセンサーを設置して、車両から死角となる空間の車や歩行者等をいち早く検知し、超低遅延の5Gを使って、遠隔監視室に情報送信する対策を講じている。「路車協調」の良さを活かした運用である。

通信環境の問題については、例えば1|で紹介した福井県永平寺町の自動運転では、走行区間が山間部であるが、道路に直接、電磁誘導線とRFIDを埋め込み、その情報を通信を経由させず、直接自動運転カートに送信して、自己位置推定する仕組みをとっている。

これらのように、もとの環境に十分な条件が整っていない場合には、運用によって補足、補強するように工夫していくことができる。特に路線バスに実装する場合は、あらかじめ運行ルートが定められているために、これらの対策を講じやすい。

4—前編のむすびにかえて

前編の本稿では、前橋市・群馬大学の取組事例から得られたインプリケーションを中心に、筆者のこれまでの研究を踏まえた上で、自動運転のテクノロジーおよび運行設計領域（ODD）の設定の在り方について各々考察してきた。自動運転の社会実装について議論する上で、テクノロジーと ODD は最もベーシックな要素となるため、前編にて考察を行った。

改めて本稿のポイントをまとめると、以下のようなになるだろう。

<テクノロジーの在り方>

- 自動運転システムを高精度に作動させるためには、できるだけ限定された走行環境での実用化を先行させることが定石だが、限定領域であっても実世界である限り、システムが臨機応変に対応できない想定外の偶発的事象を完全に排除することはできない。
- このため、AI による判断の自動化よりも、柔軟に思考し責任を持って判断できる人間の特徴を取り入れて、遠隔監視するオペレーターが介在しカバーする遠隔型自動運転の仕組みを構築した方が有効性が高い、との小木津氏の考え方は極めて理にかなっている。我が国では、自動運転移動サービスの領域において、必ずしも AI を搭載しない遠隔型自動運転システムの実用化が国を挙げて急がれている。AI・自動運転の先進国である米国と中国では、自動運転システムに搭載する AI モデルの精度向上のために、膨大な走行データの収集に企業がしのぎを削り、AI 主導のレベル 4 を目指しているのとは極めて対照的だ。
- AI 主導の自律型自動運転システムなど最先端テクノロジーのみにこだわらず、AI をあえて使わない遠隔型自動運転システムなど既存の成熟した「枯れた技術」を使い倒して、地域が足下で直面している喫緊の交通課題の解決にできるだけ迅速にアプローチすることは、社会的意義が極めて高い。遠隔監視者（自動運転オペレーター）という新たな専門人材の雇用創出にもつながり得る。人間とデジタルテクノロジーの強みを活かし合う「コラボレーション型・ハイブリッド型システム」である遠隔型自動運転システムは、AI を含めたデジタルテクノロジーと人間が良きパートナーとして協調・調和・共生することの重要性を示唆している。
- 我が国では、当面の地域課題解決のためにフル活用すべき枯れた技術に加え、「テクノロジードライバー」となる最先端技術を併せ持つことが、国レベルでの技術ポートフォリオ上、不可欠である。企業体力の強い業界大手や起業家精神旺盛な企業など一部の選りすぐられた企業が、産学官連携を駆使しながら先端技術分野のイノベーションを主導することが求められる。自動運転分野では、広い ODD で人間の操作が介在しないレベル 4 以上の完全自動運転が最先端テクノロジー領域となるが、とりわけレベル 4 から ODD の限定を取り払ったレベル 5 という究極の目標への挑戦には、「ムーンショット」に果敢にチャレンジする強い使命感・気概・情熱を持って、高い志を成し遂げようとする確固たるスタンスが欠かせない。

<運行設計領域（ODD）設定の在り方>

- 自動運転の社会実装において、目的は地域の交通に関わる社会課題の解決、すなわち「社会的価値

値の創出」であって、テクノロジーはそのための手段（ツール）である、との認識が何よりも重要だ。従って、地域課題解決のために、どうしても交通サービスの維持・補強が必要だと思われるエリアを見極め、そこに自動運転を戦略的に入れていく、という「社会的ミッション起点」の発想が求められる。前橋市にとってのそのようなエリアは、市内の交通ネットワーク全体の軸を成す中心部の「上毛電鉄中央前橋駅から JR 前橋駅までの区間」であり、そこで 2018 年度以降、自動運転シャトルバスの実証実験が実施されてきた。

- 社会的ミッション起点で自動運転を実装するエリアを選び出した上で、なるべく実装の技術的なハードルを下げられるように、具体的な走行計画を作成する次の段階で工夫していく、という順序を取ることが重要だ。小木津氏は、ODD の設定において、自動運転の実装に向けた技術的なハードルを下げるための「重要なエッセンス」として、「歩車分離」「通信環境」「自動運転に対する社会受容性」の 3 つを挙げた。当該エリアの元の環境にこの 3 要素が十分に整っていなくても、足りない部分を運用で補足・補強しカバーする工夫をしていくことが極めて重要だ。

後編の次稿では、自動運転システムの走行領域拡大、自動運転の社会実装と街づくり・スマートシティ構築の連携、自動運転の開発・実装に向けた産学官連携・オープンイノベーション、自動運転サービスの収益性、高齢者の移動支援の視点を中心に、自動運転の社会実装の在り方について引続き考察を行いたい。

<執筆分担>

執筆分担の内訳は、以下の通りである。

- 百嶋 徹
 - 1—はじめに
 - 2—対談で議論した主要な項目
 - 3—1 | テクノロジーの視点——国の技術ポートフォリオとして「枯れた技術」と「最先端技術」を併せ持つ重要性
 - 4—前編のむすびにかえて
- 坊 美生子
 - 3—2 | ODD の設定の考え方

<参考文献>

- ICT まちづくり共通プラットフォーム推進機構・国立大学法人群馬大学・日本モビリティ株式会社・日本電気株式会社プレスリリース 2022 年 2 月 14 日「群馬県前橋市でローカル 5G を活用した複数台遠隔監視による自動運転バスの公道実証を実施」
- 香月理恵編著『自動運転技術入門 AI×ロボティクスによる自動車の進化』オーム社、2021 年
- 経済産業省製造産業局「自動運転を巡る経済産業省の取組」2018 年 2 月 16 日

- 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議「官民 ITS 構想・ロードマップ」
- 国土交通省自動車局報道発表資料 2020 年 11 月 11 日「世界初！自動運転車（レベル 3）の型式指定を行いました」
- トヨタタイムズ 2019 年 8 月 2 日「AI 界のカリスマ、トヨタの自動運転を語る」
- トヨタ自動車株式会社ホームページ 2017 年 1 月 5 日「トヨタ・リサーチ・インスティテュート ギル・プラット CEO スピーチ参考抄訳（CES プレスカンファレンス）」
- 同 2019 年 1 月 8 日「CES 2019 トヨタ・リサーチ・インスティテュート（TRI）ギル・プラット CEO スピーチ参考抄訳」
- 内閣官房 IT 総合戦略室「自動運転に係る制度整備大綱（概要）」2018 年 4 月 17 日
- 内閣官房日本経済再生総合事務局「国の実施する公道実証プロジェクトの方向性と共有すべきデータについて」自動走行に係る官民協議会（第 2 回）2017 年 9 月 28 日
- 内閣府ホームページ「ムーンショット型研究開発制度」
- 中川由賀「自動運転移動サービスの継続的な事業化に向けた法的課題」『中京ロイヤー』Vol. 34, March 2021
- 日本電気株式会社ホームページ 2021 年 7 月 15 日「自動運転バスで、誰もが暮らしやすい街へ 5G を活用した前橋市の挑戦」
- ビッグイシュー・オンライン 2018 年 10 月 22 日「自動運転車の実用化に向けた技術的・倫理的・社会的課題とは」
- 百嶋徹「[製造業を支える高度部材産業の国際競争力強化に向けて（後編）](#)」ニッセイ基礎研究所『[基礎研レポート](#)』2017 年 3 月 31 日
- 同「[AI の産業・社会利用に向けて](#)」ニッセイ基礎研究所『[研究員の眼](#)』2018 年 3 月 29 日
- 同「[AI・IoT の利活用の在り方](#)」ニッセイ基礎研究所『[基礎研レポート](#)』2019 年 3 月 29 日
- 同「[AI・IoT の利活用の在り方](#)」『[ニッセイ基礎研所報](#)』2019 年 Vol. 63（2019 年 6 月）
- 同「[自動運転と AI のフレーム問題](#)」ニッセイ基礎研究所『[基礎研レポート](#)』2019 年 11 月 18 日
- 同「[イチロー引退会見に学ぶ AI・IoT との向き合い方](#)」ニッセイ基礎研究所『[研究員の眼](#)』2020 年 1 月 10 日
- 同「[人間と AI の共生を考える](#)」ニッセイ基礎研究所『[研究員の眼](#)』2020 年 3 月 25 日
- 同「[AI と研究開発 DX](#)」ニッセイ基礎研究所『[研究員の眼](#)』2020 年 12 月 28 日
- 同「[AI と研究開発 DX](#)」『[ニッセイ基礎研 REPORT](#)』2021 年 2 月号
- 坊美生子「[ジェロントロジー対談：過疎地において自動運転サービスは持続可能か（上）～レベル 3 の最前線・福井県永平寺の取組みから](#)」ニッセイ基礎研究所『[100Gerontology：Mobility](#)』2021 年 10 月 1 日
- 同「[ジェロントロジー対談：過疎地において自動運転サービスは持続可能か（下）～レベル 3 の最前線・福井県永平寺の取組みから](#)」ニッセイ基礎研究所『[100Gerontology：Mobility](#)』2021 年 10 月 1 日
- 坊美生子、百嶋徹「[ジェロントロジー対談：自動運転は地域課題を解決するか（上）～群馬大学のオープンイノベーションの現場から](#)」ニッセイ基礎研究所『[100Gerontology：Mobility](#)』2021 年 11 月 9 日
- 同「[ジェロントロジー対談：自動運転は地域課題を解決するか（中）～群馬大学のオープンイノベーションの現場から](#)」2021 年 11 月 18 日

- 同「[ジェロントロジー対談：自動運転は地域課題を解決するか（下）～群馬大学のオープンイノベーションの現場から](#)」2021年12月8日
- 細谷精一、飯塚弘一（2019）「都市部基幹バスの自動運転導入に伴う環境基盤整備と交通課題解決」アーバンインフラ・テクノロジー推進会議