

太陽グラントソントン エグゼクティブ・ニュース

テーマ：自動運転サービス実装に向けた活動の現状と課題

執筆者名：東京大学生産技術研究所 教授 中野 公彦 氏

要旨（以下の要旨は3分30秒でお読み頂けます。）

高齢化等による運転手不足から全国でバスの減便が続いています。バス運転手などの勤務環境改善のため、今年4月から年間労働時間の上限が引き下げられますが（年3,380時間→3,300時間）、これが更なるバス路線の減便などにつながるとされます（2024年問題）。

今月号では、こうした公共交通機関の運送量減少にも対応が期待される自動運転について、東京大学生産技術研究所 中野公彦教授に解説して頂きます。

自動運転が実装可能な技術として認識されるようになったのは2012年頃に米グーグル社が自動運転車両を開発し、公道走行を行なったことに端を発すると言える。日本でも、2019年に道路交通法が改正され、人でなくシステムが運転の責任を持つことが可能となり、レベル3の自動運行装置を装備した自動車の公道走行が可能となった。2023年には特定自動運転許可制度の創設で、免許の所持者がいなくても運行が可能となるレベル4の自動運転（遠隔監視）が認められ、福井県永平寺町で走行が開始された。

東大生産技術研究所では、バスの自動運転化を行う先進モビリティ社と、自動運転バスの運用を行うことを目指したボードリー社（当時：SBドライブ社）とともに、自動運転バスの開発と社会実装に向けた活動を始めた。車両に障害物検知のライダ（測定器）等を装置し、車両の位置を衛星システムなどから同定して、事前に記録した軌道に沿って自動走行を行う実験を行ってきた。また、ボードリー社が運用している羽田イノベーションシティ内を運行する車両が、運転者を必要としない自動運転車（レベル4）として認可されている。

東大では実証実験の成果を基に、2019年から東大柏キャンパスと柏の葉キャンパス駅の間2.6kmのルートに自動運転レベル2（操舵や加減速をシステムが担当）で、長期営業運行している。ただ、自動運転システムは安全重視のため、交通の円滑化の点で運転者が介入することが多い。介入の多い交差点や横断歩道で道路側からの情報提供を受ける協調型システムを用いることで、レベル4の運用を目指している。

レベル4の自動運転に向け、技術面では安全性確保が最重要課題だが、歩行者飛び出しなどのリスクの洗い出しを行う作業量は膨大である。事業面では、車両開発のコストのほか、道路側装置の設置コストも嵩む。レベル4と言っても、走行環境に応じ、乗務員乗車の場合と無人の場合が考えられる。更には非技術的課題、すなわち ELSI（倫理的、法的、社会的課題）の解決も求められる。

自動運転サービスの現状と課題では、①特定自動運転許可制度の創設でレベル4の自動運転が可能になった、②レベル2の実証実験からレベル4を目指すものが出現、③レベル4の実用化にシステムの完成度を高めること、④自動運転が社会で実装されるには ELSI など非技術的課題への取り組みも必要、とまとめられよう。

テーマ：自動運転サービス実装に向けた活動の現状と課題

東京大学生産技術研究所 教授 中野 公彦

1. 背景

2023年以降、自動運転技術の社会実装に関する報道が再び、多くなってきたと感じられる。最初に自動運転に関する技術の報道が多くなったのは、2016年頃ではないかと思われる。2012年頃に米グーグル社が自動運転車両を開発し公道走行を行い、独メルセデスベンツ社を始めとする自動車メーカーもそれに続き、関心が集まるようになった。日本でも自動車メーカー3社が2013年に安倍首相（当時）を自動運転車に乗せるデモンストレーションを行い、自動運転技術開発が政府の成長戦略の1つになった。これにより、2016年前後には、運転支援技術としての位置づけながら、高速道路の単一車線であれば操舵や加減速の操作を行わなくても走行できる自動化レベル2の走行を可能にする機能を持つ自動車が、国内外の自動車メーカーから市販されるようになり、近い将来に自動運転が実装されることへの期待が膨らんだ。

さらなる自動運転技術開発の促進を目指して、官民 ITS 構想・ロードマップ（注1）が作られた。ただし、自動化レベル3からは、運転に対する責任をシステムが持つことになる、自動運転の機能が含まれるようになる。人が運転を行い、その責任を持つことを前提として制定されている道路運送車両法および道路交通法を改正する必要があり、国際社会においても、1949年にジュネーブで作成された道路交通に関する条約（以下、ジュネーブ条約）は人が運転を行うことを前提としていると認識されていた。自動運転実現への期待が膨らむ一方、技術的課題だけでなく、自動運転を実装可能にする社会設計が求められていた（注2）。

（注1） 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部、官民 ITS 構想・ロードマップ 2016、https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/iinkai/jidousoukou_23/sanko3.pdf

（注2） 日本学会会議、提言「自動運転のあるべき将来について—学術界からみた現状理解—」2017年6月27日、<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t246-1.pdf>

その後、レベル2の運転支援機能の普及が進む一方、レベル3自動運転の公道走行を可能にするため、道路運送車両法と道路交通法が2019年に改正され、2020年から施行された。この改正により道路運送車両法において、保安基準対象装置への自動運行装置の追加が行われ、法的に自動運転を行う装置の存在が認められたことになった。それを受けて改正道路交通法により、自動運行装置を使用して自動車を運転する場合の運転者の義務に関する規定の整備が行われ、運転者の義務が緩和されることになった。ただし、レベル3の自動運転においては、自動運行装置が自動運転を続行不可能と判断した時には、運転者が直ちにシステムから運転を引き継ぐ必要があるため、自動運転とは言え、運転者は存在している必要がある。ただし、運転者は車内にいる必要はなく、永平寺町で運行されていた移動サービスのように遠隔で運転引き継ぎを行う形でレベル3自動運転が認められた例もある（注3）。

（注3） 経済産業省・国土交通省、ニュースリリース、2021年3月23日
<https://www.meti.go.jp/press/2020/03/20210323006/20210323006.html>

さらに2022年に改正され、2023年より施行された道路交通法において、特定自動運行許可制度が創設された。特定自動運行とは、「直ちに自動的に安全な方法で当該自動

車を停止させることができるもの」であり、「運行中の道路、交通及び当該自動車の状況に応じて当装置を操作する者がいる場合を除く」条件のもと、その自動運行装置を備えた自動車と同装置を使用して運行することを指す。特定自動運行を行う者は、「特定自動運行計画」を記載した申請書を管轄する都道府県公安委員会に提出し、許可を受けなければならない。これは、適切な免許を所持する者が存在しなくても運行を可能にするものであり、レベル4自動運転を認めるものである。ただし、都道府県公安委員会が許可を出すことからわかるように、走行は特定の地域や路線でのみの許可されることが想定されていることから、オーナーカーではなく、サービスカーでの運行を想定したものである。そのため、手動運転の自動車が走行できる場所全てにおいて自動運転を可能にするレベル5を認めるものではない。この道路交通法改正によって、レベル3で運行していた福井県永平寺町のモビリティサービスが、レベル4で運行されるようになり、特定自動運行が許可された最初の例となった（注4）。

（注4） 経済産業省ニュースリリース、2023年5月22日

<https://www.meti.go.jp/press/2023/05/20230522004/20230522004.html>

2023年4月に改正道路交通法の施行により可能になったものは、わかりやすく言えば、路線バスの自動運転となる。運転士不足によるバスの減便が行われるなど、運転士不足が顕在化したこともあり、バスの自動運転の社会実装への期待が再度、高まった。

2. ITS センターでの自動運転バス開発経緯

東京大学生産技術研究所 ITS センターにおいて自動運転バスの開発は、2014年に先進モビリティ社が設立されたことを契機に始まった。先進モビリティ社は2008年度から2012年度にかけて行われたNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）によるエネルギーITS事業にて開発された大型トラックの自動運転隊列走行技術の社会還元を目指した会社である。設立当初は、本社は東京大学のキャンパス内に設置された。その後、自動運転の運行を行うソフトバンク社の社内ベンチャー企業として発足したボードリー社（当時はSBドライブ）も加わり、3組織による体制で技術開発と社会実装を目指した活動が行われている。当時は自動運転バスを公道で試験する環境はなかったが、2016年に警察庁より、自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン（注5）が発行され、運転者が運転席に乗車して、安全を確保するための必要な操作を行うのであれば、場所や時間に関わらず公道実証実験を行うことが可能になった。これにより、全国各地で様々な組織によって公道実証実験が行われるようになった。

（注5） 警察庁、自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン、2016年5月、<https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/gaideline.pdf>

先進モビリティ社による最初の公道実証実験は、2017年3月20日から4月2日の期間に、沖縄県南城市のあざまサンサンビーチ周辺の往復2kmほどの区間で行われた。車両は中古のバスを改造したもので、障害物検知のために遠点用および近点用ライダー（LiDAR<光による距離と方向の測定器>）、側方を見るためのライダー、前方車両との距離を計測するミリ波レーダーが取り付けられている（図1<次頁>）。また、前方にカメラも取り付けられており、画像から深層学習を用いて物体認識を行うことができるようになっている。自車位置はRTK-GNSSで2cmの精度で同定し、自動

走行の際には、事前に記録した走行軌道を追従するように操舵が行われる。なお、ライダーによって測定された三次元形状が、事前にライダーで計測して作成した三次元地図と最もマッチングする場所を見つけて自車位置を同定する方法（マップマッチング法）もある。マップマッチング法は周辺の地形が変化すると自車位置を同定できなくなる欠点があるが、GNSSによる自車位置同定も、GNSS信号を受信できなくなると、同定できなくなる。お互いの欠点を補うため、複数の自車位置同定法を使うことも行われている。この実証実験では、安全性の面から障害物が存在した時のブレーキ操作は運転者が行っていたが、走行中にセンサによる計測と、物体認識性能の確認は行われていた。また、道路の縁石に対して4cmの位置に寄せて自動停止させる正着制御も行われた。バス停にプラットフォームを作れば、バス床面との段差と隙間をなくすことができ、介助なく車椅子で乗り入れができるようになる。

図1 最初の公道走行試験で用いられた車両（先進モビリティ社）



2回目の実証実験は2017年6月25日から7月8日の期間に、新石垣空港から石垣市離島ターミナル間往復32kmの公道で行われた。1日当たり1万台程度の交通量がある実際のバスの運行路線において、定時運行による試験走行が行われた。走行経路中に信号交差点が複数箇所存在したが、その中の4か所で信号協調の試験が行われた。信号サイクルを受信し、交差点到達時の信号灯色を予測することにより、信号が赤になる場合は、あらかじめ減速を行う。地上信号機から車両へ送信する手法が未整備であったことから、信号サイクルはあらかじめ車載コンピュータに保存して走行したが、実現可能性を示すデモンストレーションを行うことはできた。

その後、実証実験は全国各地で高頻度に行われるようになり、GNSS信号を受信できない箇所においては、道路に埋設された永久磁石の磁気を車載のセンサで検知して、自己位置同定を行う、磁気ポジショニングシステムの試験や、北海道大樹町においては、雪道での走行が行われた。JR東日本が取り組むモビリティ変革コンソーシアムが実施したBRT（Bus Rapid Transit）のバス専用道における自動走行バスの実証実験においては、磁気ポジショニングシステムのみを自車位置同定に用いた自動走行が行われた。

ボードリー社は、自動走行バスの運用を行う会社である。先進モビリティ社の開発したバスを運行することもあるが、海外の自動運転の機能を持つバスを輸入して、それを日本で走行させることも行っている。2017年に輸入したフランス製のアルマ（ARMA）は、ハンドルもペダルもない革新的な構造の電動バスであった（図2）。ゲームコントローラーのような操作盤を使えば手動運転も可能であるが、当然、保安基準を満たしておらず、手動運転であっても公道走行はできなかった。東京大学柏キャンパスの構内路を閉鎖した空間で走行実績を積み、道路運送車両の保安基準第55条による基準緩和認定を受け2019年6月にナンバープレートが交付され（定員11名）、公道走行が可能となった。ただし、申請に基づいて許可された範囲と条件に基づいた走行に限られ、当時は、オペレータと保安員の2名乗車が求められた（現在は1名のみで可）。レベル2としての運用（本原稿執筆時点）であるが、茨城県境町、北海道上士幌町では定期運行が行われている（図2右の写真は境町を走行するアルマ）。なお、アルマは、2023年10月に羽田イノベーションシティ内を運行するバスとして、関東運輸局から道路運送車両法に基づき、運転者を必要としない自動運転車（レベル4）として認可されている（注6）。2023年になり、同様の機能を持つ、エストニア製のミカ（MiCa）も輸入され、レベル2運用であるが公道走行が始められている。

（注6） 国土交通省関東運輸局プレスリリース、2023年10月20日、
<https://www.tb.mlit.go.jp/kanto/content/000304988.pdf>

図2 自動運転を前提とした電動のアルマ



左写真は車内の様子、右写真は境町を走行の様子

3. 柏の葉地区レベル4自動運転サービス実現に向けた活動

実証実験の成果を基に、2019年11月1日より、東京大学柏キャンパスと最寄り駅である柏の葉キャンパス駅の間、2.6kmほどのルートにおいて、柏ITS推進協議会（注7）を実施主体として、自動運転（レベル2運用）の長期営業運行を行っている。東京大学は、同ルートにおいて、教職員、訪問者用にシャトルバスを運行しているが、その運用の合間に平日は毎日、自動運転機能を有したバスを走行させている。

（注7） 柏市の交通課題の解決に向けて活動するためのプラットフォームとして設立された。
<http://www.kashiwa-its.jp/>

(図3)に現在走行しているバスを示す。いすゞ自動車社製のエルガミオを自動運転化改造したものである。基本的な原理は変更されていないが、障害物検知用のライダ等は増強され、物体検知用のソフトウェアにも改良が行われ、認識性能の強化が図られている。また、カメラによる信号灯色認識も可能である。バスには業務用ドライブレコーダが設置され、オーバーライド(運転者がシステムによる運転に介入すること)が発生した時の前後映像と運転者の操作を記録している。(図4)右のバブルチャートがそれを整理したものである。AORはアクセルを踏んでオーバーライドした時、BORはブレーキを踏んでオーバーライドした時、SORは操舵をしてオーバーライドした時を指している。これより、AORの回数が一番多く、2kmに1回程度発生している。自動運転システムは、安全を重視しているため、人よりも保守的に運転する傾向があり、交通の円滑性を考えて運転者が介入を行うことが多い。道路工事や路上駐車がある時は、操舵による介入が多くなる。本実証実験開始当初は、信号交差点での減速・停止制御が行われていなかった。この期間もデータ収集は行われていたため、BORには、赤信号時の運転者による介入も含まれる。幸い、今まで自動運転バスの過失による交通事故は起きていないが、危険事象によるBORが生じていないかは精査しているところである。

図3 柏の葉長期営業運行実証実験で走行している車両



図4 長期営業運行実証実験における介入の多い箇所(左図A-J)とオーバーライド回数(右図)



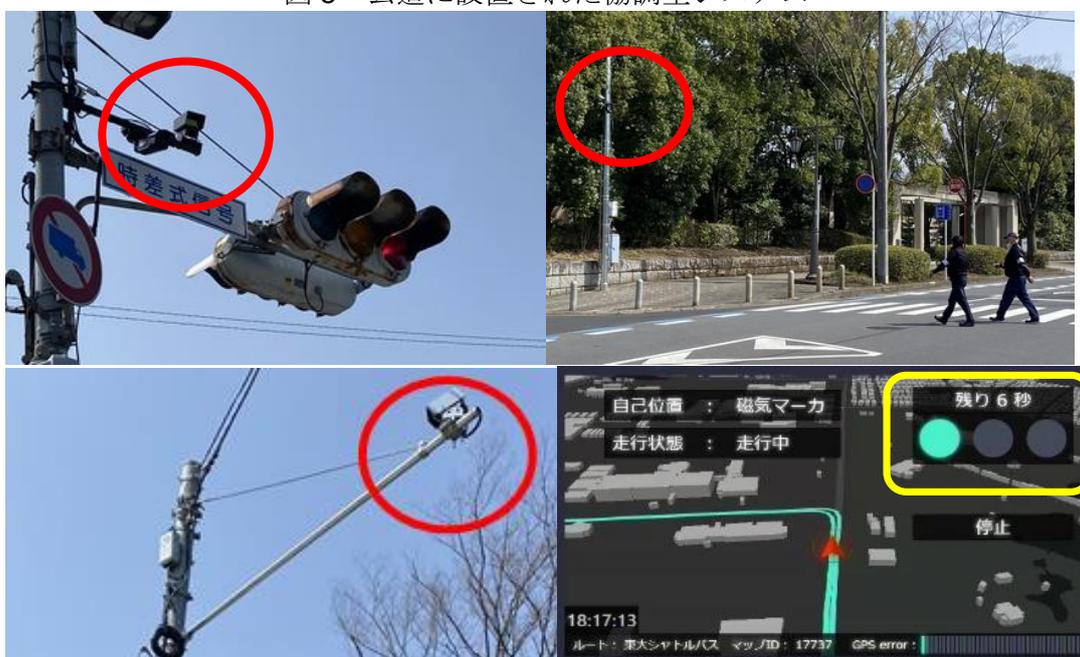
介入が多い箇所は、交差点、横断歩道、路上駐車がが多い所となっている。これらを解決するために、車両が道路側から情報の提供を受ける協調型システムを導入してい

る。交差点等で車両から死角になる箇所の障害物は、道路側に取り付けられたライダーおよびカメラによって検知され、無線を通じて車両に伝えられる。信号サイクル情報については、既に、携帯電話回線を通じて、送受信され、車両の制御に用いられている。

2021年9月より、経済産業省および国土交通省による自動運転レベル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（略称：RoAD to the L4 事業）が開始され（注8）、東京大学を幹事にした4組織（2023年度より6組織）によるコンソーシアムがテーマ4を受託した。本事業は、柏の葉地区での自動運転バスは、レベル2で運用しているが、協調型システム（図5）を用いて、レベル4の運用を行うことを目標にしている。

（注8） https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/Automated-driving/5_yokoyama.pdf

図5 公道に設置された協調型システム



（左上）対向車検知用ライダーとカメラ、（右上）無信号横断歩道横断者検知用カメラ、（左下）信号交差点横断者検知用カメラ、（右下）車両が受信した信号サイクル情報

4. レベル4自動運転サービスの社会実装に向けた課題

レベル4自動運転サービスは、福井県永平寺町にて既に実用化した。また、GLP ALFALINK 相模原構内を運行する車両および羽田イノベーションシティ内を運行する車両が関東運輸局に運転者を必要としない自動運転車（レベル4）として認可されている（注9）。今後は、より一般的な、中大型バス車両の一般道での走行に展開することが期待されるが、課題も残っている。

（注9） 国土交通省関東運輸局プレスリリース、2023年10月20日、
<https://www.tb.mlit.go.jp/kanto/content/000304988.pdf>

技術面では、安全性確保が最優先課題である。基本的な安全走行戦略を立て、タイミングチャートで動き方を定義して、自動運転車の走行方法を決める。確率で安全性を示すだけでなく、歩行者飛び出しなどのリスクを洗い出し、それらに対する対処方法を決めておくことなどが必要である。ただし、その作業量は膨大であり、想定外の事象が起きないことを保証することはできない。一方、一般道の走行では、他の道路利用者の走行の障害になることは極力避けることが求められる。リスクを過大に評価して保守的な運転を行えば、交通の円滑性を妨げることになる。道路交通法においても、安全性と円滑性が求められているが（道路交通法第1条「この法律は、道路における危険を防止し、その他交通の安全と円滑を図り、及び道路の交通に起因する障害の防止に資することを目的とする」）、時には、これらは相反する要求となる。協調型システムの活用が期待されるが、レベル4自動運転システムにおいて、車両と道路側装置（インフラ）がどのように機能を分担するべきなのかは、まだ十分に検討されたとは言えない。特に、機能分担は、事故が起きた時の責任分界を規定する因子になる。車両、すなわち運転者が事故の責任を負うことが多い道路交通において、インフラがどこまで責任を負うべきかについては、慎重な議論が必要である。協調型システムの信号情報は、現時点では、補完情報という扱いであり、車両側の装置により信号灯色を認識することが求められている（注10）。

（注10） 協調型自動運転システムへの情報提供等の在り方に関する検討会、協調型自動運転システムへの情報提供等の在り方に関する検討報告書、2023年3月、
https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/council/r4_kyoutyou_houkokusho.pdf

事業面でも課題は多い。運転士不足の問題は、それによるバスの減便が、乗客の多い路線においても行われているほど深刻である。レベル4自動運転は運転士不足という不確実性への対応には効果的であるが、レベル4走行が可能な車両はまだ開発品であり、非常に高価なものになる。協調型システムを用いれば、道路側装置の設置コストに加え、管理・運営コストもかかるが、道路側装置の設置、保守管理をどこが主体で行うかは、これから議論が必要である。また、自動運転技術は運転タスクのみを自動化するが、運転士の業務は運転だけではない。事故時の対応、バリアフリー対応など、運転以外の業務の方が、無人化は難しい。レベル4自動走行装置には、自動運転が続行不能と判断される際には、安全に停止する機能が求められているが、停止した後には車両を速やかに運行に復帰させることができなければ、他の交通参加者の移動を妨げることになる。一般道でのバスによるサービスにおいては、レベル4自動走行の機能が開発されたとしても、有人（運転士乗務）のレベル4運用、有人（運転士以外が乗務）のレベル4運用、無人でのレベル4運用というように、走行環境に応じて、実施されるのではないかと思われる。事業性については、短期的な便益ではなく、自動運転という技術革新が将来もたらす経済効果を、中長期的な視点で考えて議論する必要がある。

海外、特に、米国および中国においては、既にレベル4自動運転サービスが開始されている。米国では、ウェイモ社、クルーズ社等が、サンフランシスコを始めとする米国各地の限定領域で、レベル4自動運転（無人運転）によるタクシーサービスを展開している。中国でも、北京、武漢、重慶、深セン等で自動運転サービスが実施されている（注11）。

（注11） 高級別自动驾驶应用白皮书（和訳：ハイレベル自動運転応用白書）、中国汽车工程研究院股份有限公司など、2023年9月

ただし、クルーズ社の自動運転車は、他の道路利用者の通行を阻害することが問題視されていた中で（注12）、ひき逃げされた歩行者を避けられずに再度、ひいてしまう事故を起こした。その後の事故報告に問題があり、米国内での試験走行が停止されることになった（注13）。ウェイモ社も事故を起こしているとの報道はあるが（注14）、米国内の自動運転サービスは継続して行っている。国内においても、レベル4自動運転サービス（特定自動運行）を行っている福井県永平寺町にて、車両左前のバンパーと駐輪していた自転車の右ペダルとが接触する事故があった。幸い損害はなかったが、これにより、サービスは一時的に停止されている（注15）。

（注12）例えば、自動運転ラボ 2022年5月30日記事、https://jidouten-lab.com/u_35606

（注13）例えば、Reuters2023年11月20日記事
<https://jp.reuters.com/economy/industry/47V3XJJCERN6JC3ZRQPNMYHX54-2023-11-20/>

（注14）例えば、自動運転ラボ 2023年3月2日記事、https://jidouten-lab.com/u_waymo-history

（注15）永平寺町、永平寺町 ZEN ドライブ（自動運転）運行における自転車との接触事故の原因調査結果と対策について（2023年11月10日）

自動運転サービスが導入されても、円滑な運行ができなければ利用されず、他の道路利用者の移動を妨げれば、地域社会からは受容されなくなる。一方、円滑性を重視した結果、事故を起こすことになれば、運行を停止することになる。交通の円滑化と安全性の両立は、自動運転車にとって難しい課題である。

自動運転のような社会に大きな影響を与える技術革新を実装するには、非技術的課題の解決も求められる。新規技術を社会実装する前に解決しなければならない、非技術的課題は、ELSI（Ethical, Legal, and Social Issues＜倫理的、法的、社会的課題＞）と呼ばれる。もとは、ゲノム解析などの生命科学分野で提唱されたものであるが、現在は、脳科学、データサイエンスなど、社会に大きな影響を与える他の技術分野にも展開されている。筆者は、「機械の犯すミスを人間、社会が受け入れることができるのか？」ということを根源的な問いに挙げ、自動運転バスの開発事業に取り組みながら、2020年から2023年度の期間、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）社会技術研究開発センター（RISTEX）の助成を受けて、自動運転の ELSI 検討に取り組んだ（注16）。倫理というルール作りを思い浮かべる人も多いと思うが、ELSIはそれだけを目指したものではなく、新しい技術が起こすゼロではないリスクが適切に理解され、客観的で公平な補償がなされ、科学技術イノベーションによる利益を社会が享受できるようにする活動である。

（注16）<https://www.jst.go.jp/ristex/rinca/>

5. まとめ

以上から、自動運転サービスについての現状と課題は

- ① 特定自動運行許可制度の創設により、レベル4自動運転サービスの実現が法制度として可能になった、
- ② 全国各地で行われてきた自動運転の実証実験（レベル2運用）の中から、レベル4を目指すものが出てきている、

- ③ レベル4自動運転サービスの実用化のためには、信頼性のある技術を用いて、システムとしての完成度を高めることが求められる、
 - ④ 自動運転の社会実装においては、ELSIと呼ばれる非技術的課題への取り組みも必要である、
- と、まとめることができよう。

以上

執筆者紹介

**中野 公彦(なかの きみひこ) 1972年 神奈川県生まれ
東京大学生産技術研究所 教授**

<学歴・職歴>

1995年 東京大学工学部卒業
2000年 東京大学大学院工学研究科博士課程修了 工学博士
2000年 山口大学工学部 助手
2004年 山口大学工学部 助教授
2005年 英国・サウサンプトン大学 客員研究員
2006年 山口大学大学院医学研究科 助教授
2010年 東京大学大学院情報学環 准教授
2018年 東京大学生産技術研究所 教授