

[自動運転元年]

1 自動運転の現在とこれからの10年



加藤真平 東京大学



自動運転による創造と破壊

誰のための自動運転か。何のための自動運転か。自動運転の現在とこれからの10年に言及するにあたり、改めて自動運転の価値を考えてみよう。交通事故をなくす、高齢者に外出の機会を与える、人手不足を補う、いずれも喫緊の社会要請であり、自動運転によって解決できる課題だ。我が国の虎の子の産業である自動車産業に巻き起こっている電動化やスマート化の中核になるのも自動運転であり、自動車の域を超えてAI技術やロボット技術の社会実装という出口になるのも自動運転である。しかし、自動運転の価値の本質とは、人間に使われる「便利な道具」であった計算機と自動車が、社会の中で人間と隣り合わせで共存する「新たな生態系」となり、人間と機械の関係を再定義する舞台となるということではないか。これは私たちの生活を変えるだけでなく、法と倫理をも変えることとなり、文字どおり革命である。

2010年当時GoogleのCEOだったEric Schmidtが面白いことを言っていた。

“It’s a bug that cars were invented before computers”

要するに、自動車は計算機よりずっと以前に発明されていたために、自動車は計算機を使う前提では設計されなかったことが最大の問題であると指摘しているのだ。歴史を振り返ると、ペンシルベニア大学が世界初の汎用計算機としてENIACを発表したのが1946年であったが、カール・ベン

ツ（Karl Benz）が世界初のガソリン車を発明したと認定されたのが1886～1887年であった。計算機が時代とともにさまざまな形に変化し、その使われ方も多種多様であったのに対して、自動車はその生誕から原型を大きく変えることはなく、その用途も変わっていない。そんな2つの技術文化を融合したものが自動運転である。自動運転が普及するということは、自動車が何かを計算するということであり、計算機が自ら動くということである。この技術文化の融合それ自体が、電話でインターネットを閲覧できるようになったこと以上のイノベーションといえるのではないか。

自動運転は新たな技術文化であり、社会における新たな生態系でもある。そして、それによってもたらされる新たな創造には新たな破壊も伴われる。元来、自動車は人間が操作する機械である。よって、そのハードウェアやソフトウェアも人間が操作することを前提に設計されている。自動運転が普及するということはそういったハードウェアやソフトウェアの多くが淘汰されることを意味する。たとえば、カーナビや自動ブレーキ、クルーズコントロールといった人間の運転を支援する機能である運転支援システムと自動運転システムは当面共存あるいは互換性を保つであろうが、10年というスパンを考えると完全に自動運転システムに置き換えられるであろう。実際、ハンドルもアクセル・ブレーキもない自動運転車が世に出始めている（図-1）自動運転と従来の運転支援はその技術文化が根本的に異

特集

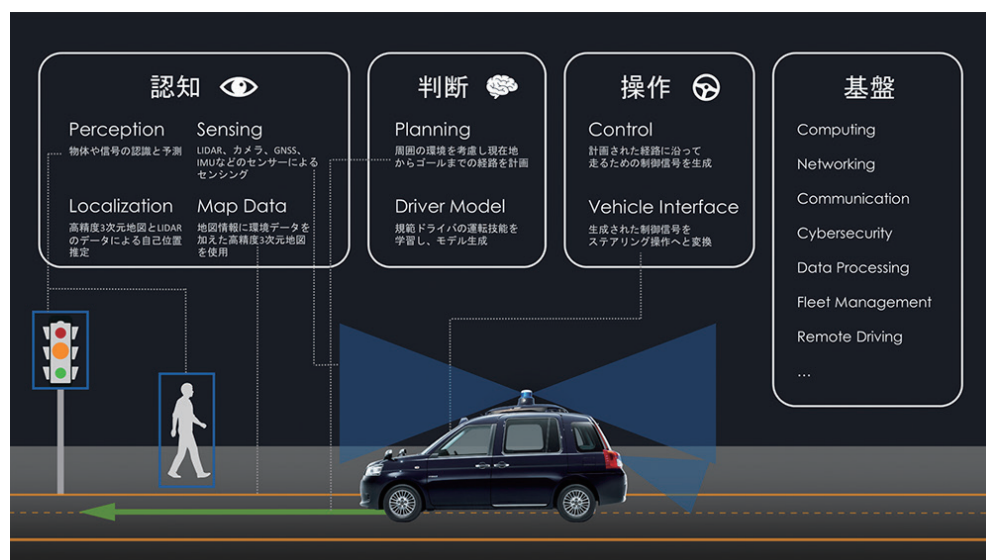
Special Feature

なる。Google の参入からも分かるとおり、自動運転は自動車の技術というよりも情報通信技術、特に AI 技術やロボット技術の類である。つまり、自動運転が主要な機能になるということは自動車の産業構造のステークホルダーが一変するということだ。これが、自動車業界が 100 年に 1 度の変革期を迎えていると言われるゆえんである。別の言い方をすれば、自動運転は巨大な市場を切り開くことは間違いないが、その裏で産業構造そのものを壊しかねない危うさも秘めている。

社会的な視点に立つと、自動運転のもう 1 つの破壊的な側面は、人間と機械の関係が再定義される過程に潜んでいる。自動運転は究極的にあらゆる点



■図-1 東京オリンピック・パラリンピックの選手村で導入された自動運転 EV バス



■図-2 自動運転の要素技術と基盤技術の概要

で人間の運転を超える。自動運転の機能がついた自動車において、運転の主体は人間ではなく計算機になっていくであろう。このパラダイムシフトを雇用という点で見ると、「自動車のハンドルを握って運転する」という仕事は間違いなく減っていくであろう。人手不足の業界や地域では自動運転はそのまま画期的な社会インフラとなり得るが、そうでない場合、その代替となる新たな雇用を生み出す責務が自動運転を普及させる側にはあるはずだ。たとえば、ハンドルを握って運転まではせずとも乗員として乗客の安全を見守ることや、複数の自動運転車両を遠隔から監視して万一のときは遠隔から操作するといった、自動運転時代ならではの職業を作っていく必要がある。一方、自動運転の破壊性を倫理の観点から見ると、運転の主体が計算機であるが故の事故、これはすなわち、計算機が人間に危害を加える危険があるということだ。最悪の場合、計算機が人間の命を奪ってしまうかもしれない。人間のミスで機械が誤動作して人間に危害を加えるのと、計算機の処理に基づいた機械の誤動作で（あるいは正常な動作だったとしても）人間に危害を加えるのでは天と地との違いがある。自動運転を普及させるには、人間と機械の関係において法制度と倫理観をも再定義することが不可欠だ。

自動運転の技術体系

自動運転を実現するためには、技術面でも 1 つの生態系を生み出す必要がある。自動運転に汎用という世界はない。図-2 に示すとおり、共通となる要素技術や基盤技術はあるものの、

特集

Special Feature

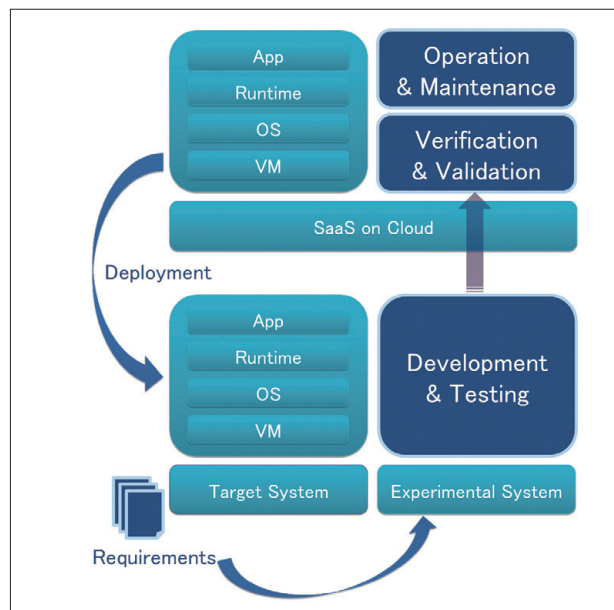
社会実装に至る過程においては対象の地域や用途に適した要求仕様を定義し、その仕様を満たすように製品開発と試験を行う。そして、検証と妥当性確認ができた場合にのみデプロイに至り、その後の運用や保守も重要になる。

要求仕様を言語化・データ化する技術、製品開発・試験に含まれる要素技術、検証・妥当性確認のための解析・シミュレーション技術、デプロイのための Continuous Integration/Continuous Delivery (CI/CD) 技術、On The Air (OTA) 技術、運用・保守のための管理・監視技術およびそれらの基盤となるクラウド・半導体技術、科学的アプローチも必要だし、工学的アプローチも必要だ。これらの複合的な技術をクラウドネイティブな開発環境で実現することが昨今のトレンドであり（図-3）、企業一社で作れる代物ではない。協創の土台となり得るのはオープンソースではないだろうか。パーソナルコンピュータの普及を生んだのは Microsoft と Windows に違いないが、生態系を生んだのは Linux だ。スマートフォンの普及を生んだのは Apple と iPhone に違いないが、生態系を生んだのは Android だ。Linux も Android も、オープンソー

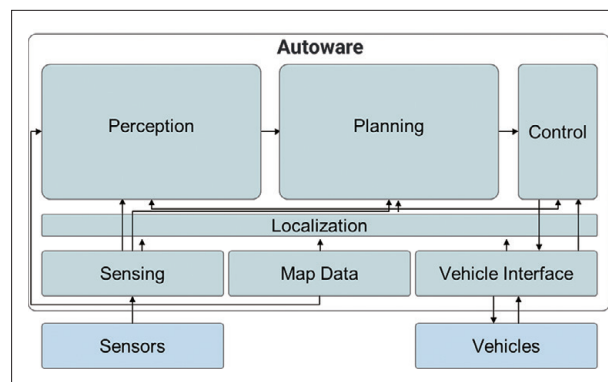
スである。同じムーブメントが自動運転にも必要になると考えられる。

今日現在、自動運転のためのオープンソースとして広く知られているのは Autoware である。ほかにも自動運転のオープンソースは多少存在するが、すべての要素技術がオープンソースになっているのは Autoware しかない。自動運転を構成する要素技術は主に、認知系（Perception）、行動計画系（Planning）、制御系（Control）、それらの処理の起点となる位置推定系（Localization）と地図系（Map Data）、そしてハードウェア（Sensors, Vehicles）との境界がセンシング系（Sensing）と車両結合系（Vehicle Interface）である。これらの要素技術のうち、ソフトウェア部分がオープンソースとなっているのが Autoware であり、その他の部分は国際業界団体 The Autoware Foundation の中で仕様定義等が進んでいる（図-4）。

これからの 10 年で、これら要素技術の体系化が進み、アルゴリズムとしてみると「とある条件下」では人間を超える完成度まで達する見込みもある。一方で、それらのアルゴリズムが「安全である」という保証をするための検証技術や妥当性確認の方法論はまだまだ先鋭化が必要である。また、クラウド側のサービスを用いて検証と妥当性確認されたコンポーネントがエッジ側のシステムで期待通り動作するためにはクラウドネイティブなエッジ技術の開発も急務だ。そして何より、センサシステムやコンピュータシステムの性能・電力・価



■図-3 自動運転の開発基盤と開発プロセスの関係



■図-4 Autoware のソフトウェアアーキテクチャ

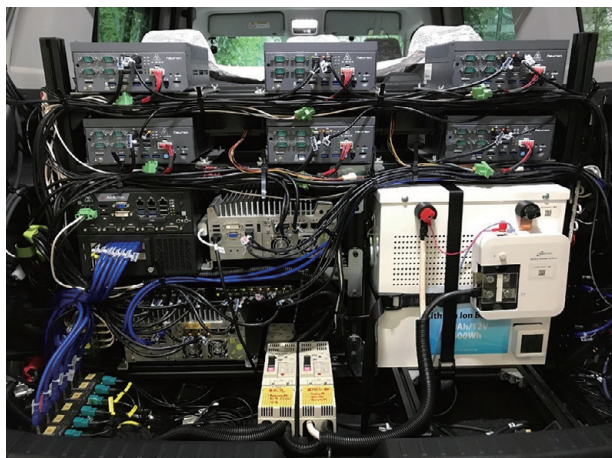
特集

Special Feature

格のトレードオフを解決しないといけない。完全な自動運転を実現するのであればカメラやレーザスキャナ (LiDAR)、レーダ等の多種多様なセンサデバイスを組み合わせ、そこから得られるデータの量と質に適したコンピュータアーキテクチャの設計が不可欠だ。今日、自動運転タクシーの機能自体を実現することは不可能ではないが、そのためには図-5に示すような高価な LiDAR 技術や図-6に示すようなリッチな計算機システムが必要である。これからの10年で、LiDAR 技術を汎用化させて普及価格帯まで持っていく、CPU だけではなくて専用アクセラレータ等を織り交ぜたコスト最適な AISC/SoC 技術を開発することができれば、自動運転は誰もが恩恵を受ける本当の社会的価値を手に入れることができるであろう。



■図-5 自動運転用の3次元レーザスキャナ

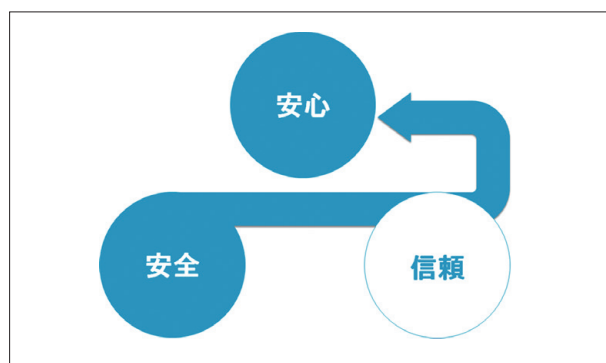


■図-6 ティアフォー社の自動運転タクシーで利用されている計算機システム

自動運転の安心と安全

自動運転の技術がいかに優れていようと、安心と安全なしに実用化はあり得ない。そもそも安心と安全はどういうものだろうか。日常会話だと実は人によってそれらの言葉の解釈が異なり、どちらがどうというより文脈によって使い分けてその意味を理解することが多いかもしれない。一般的に「安心」とは主観的な意味合いで定性的かつ相対的なものであり、「安全」とは客観的な意味合いで定量的かつ絶対的なものだ。よって、安心感という言葉はあるが安心性という言葉はない。逆に安全性という言葉はあるが安全感という言葉はない。また、安心の反対は「不安」であり、安全の反対は「危険」であるから、こちらの方が違いが分かりやすいかもしれない。つまり、安心とは不安がない心の特徴であり、安全とは危険のない状態や状況を指す。

安心≠安全だとすると、安心と安全の関係性について考えないといけない。まず、人が使う物に関して安全は必ず必要になる。その上でどう安心を提供するのかというと、その間に信頼が必要になってくる。自動運転の実用化に向けては、まさに安全の上に信頼があって初めて安心が芽生えていくものだと考えられる(図-7)。計算機単体の信頼であれば種々の解析を通じて得ることができるが、自動運転のような計算機と自動車の複合体かつ自律的な振舞いをする機械の信頼を得るとなると試行錯誤が必要だ。



■図-7 安心・安全と信頼の関係

特集

Special Feature

社会受容性を考えると以下のアプローチが有効であるが、その方法論はデジタル化やサイバー空間を如何に活用するかが課題といえる。

—たくさん走っても事故が起きないことを示し信頼を得ること

—実際に体験してもらい期待を裏切らないこと

自動運転の安心と安全を社会受容性の高いものにする上で要となるのが運行設計領域（ODD：Operational Design Domain）という考え方だ。国際競争の中でもこの ODD をいかに定義し、広範囲に適用していくかが焦点になっている。国内では自動運転ベンチャーのティアフォー社が先陣を切ってその報告書（セーフティレポート）をまとめて公開している。セーフティレポートとは、自動運転の安全に関する取り組みを知ってもらい、それによって安心を感じてもらうための取り組みである。ティアフォー社のセーフティレポートを読むと、さまざまな環境下で自動運転が安全に運行できるかを細心の注意を払いつつ確認しながら、自動運転を世界中の人々が開発できるもの、使えるものにするための重要な信頼を得るための実証実験が幾度となく実施されていることが分かる。また、これらの実験において、ヒヤリとする場面はいくつか報告がされているものの、事故にいたるケースはなかったことも分かる。このような積み上げを行うことで、「自動運転車は定められた条件（ODD）の範囲内であれば安全に走れる」という安心感を提供できていると考えられる。

安全や信頼を定量的に示したい場合には、「安全性」や「信頼性」という表現ができる。この2つの言葉は国際規格である ISO、日本規格である JIS にそれぞれ定義があり、自動運転の安全性については以下の通りまとめられている。

—一人への危害または損傷の危険性が許容可能な水準に抑えられている状態

—許容可能でないリスクが存在しないこと

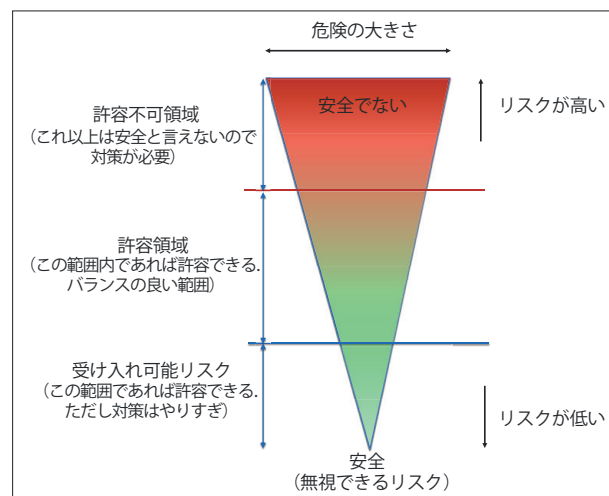
—一人はミスをするまたモノは壊れるのでゼロリスクはない

—リスク（人への危害）をどこまで許容するか決定する

この定義では安全性はリスクをどこまで許容するかを決定し、その範囲内での安全を確保することになる。一般的に ALARP（As Low As Reasonably Practicable）と言われる手法で合理的に実行可能な最低の水準までリスクを低減することが目標となる。許容できるリスクの線引きをするということは、リスク（＝事故）をゼロにすることが必ずしも目標になるわけではないことを意味する。「自動運転が実現すれば事故はゼロになる」というのは戯言で、現実的には不慮の事態は起こり得る。社会で定められたルールや安全性に対するコストのトレードオフなど、さまざまな制約がある中でリスクをゼロにすることは不可能である。そこで、これらの制約の中でどこまで安全性を高められるのかを線引きしていくことが重要になる（図-8）。

実際、人間が運転する自動車に関しても、どんなに安全に気を付けても事故は起こり得る。それでも自動車が利用されている理由は、法制度などのルールや最新の安全装置などの技術で社会として許容可能な安全を確保し、許容できないところに関しては、保険などの社会の仕組みにリスクを転嫁することでリスクがコントロールされているからである。

ALARP を定量的に示すためには、許容可能なリスクの発生確率や損害程度を定量的に定めて総合的に



■図-8 ALARP の概念図

特集

Special Feature

許容可能な範囲を決めていくことになる。この考え方に基づいた考え方がリスクアセスメントの基本となっており、自動車の機能安全規格である ISO 26262 における自動車安全水準（ASIL : Automotive Safety Integrity Level）が代表的な事例となる（図-9）。

なお、自動運転の信頼性についても、ISO と JIS の定義を基に以下のようにまとめられる。

- 与えられた条件で規定の期間中要求された機能を果たすことができる確率
- 対象の損失コストを源流から抑えるもの

信頼性は、主にサービスとしての可用性に大きく関係してくる。せっかく自動運転にしたのに稼働率が低く、メンテナンス工数がかかり、想定以上のコストが発生してしまうと、企業としての信頼を損ねることになりかねない。安全性と信頼性が高くて初めて利用者の安心を得られるということを忘れてはならない。

自動運転の安心と安全に関して、今後最も重要になるのは危険と異常を予測する技術と説明する技術

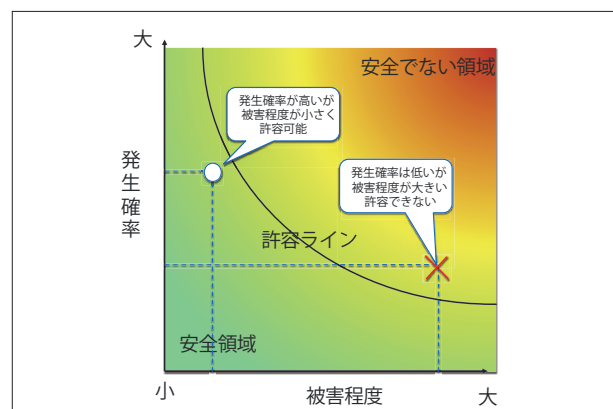
だ。保険は事故が起こった後の賠償能力であり、リスクアセスメントはサービス実施前の確認手段である。サービスが始まってから事故が起こる前に、いかにして危険と異常を予測できるかが重要であり、それに伴って万一事故が起こってしまったときに人間の代わりに計算機がその事故の原因を説明できるかが重要となる。自動運転の実用化は、これらの研究がこれからの 10 年でどこまで進むかにかかっていると言っても過言ではない。

自動運転の法制度と規格

2020 年 4 月 1 日、道路運送車両法の保安基準が改定され、自動運転のレベル 3（運転の責任は運転席の人間にあるものの運転そのものは完全に機械に任せてよい自動運転の水準）以上の車両に搭載される「自動運行装置」なるものが定義され、国が定める保安基準の対象に規定された。今後は運転席に人間はおらず、運転の責任も機械に与えられる自動運転のレベル 4 実現に向けて法整備も進んでいくことになる。

自動運転の自動車が道路を走るためには、道路交通に関する国内法規に準拠する必要がある。また、道路上で事故を起こした場合には、交通事故の法的責任に関する法規によって責任を負うことになる。道路交通に関する主な国内法規には、道路交通法、道路運送車両法、道路法、道路運送法の 4 つがある（表-1）。

これらの法規の内容に関しては、国際協調および相互認証を目的とし、国連内の自動車基準調和世界



■図-9 許容領域の概念図

■表-1 道路交通に関する主な法規

法令名	概要
道路交通法	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
道路運送車両法（保安基準）	道路運送車両（自動車、原動機付自転車および軽車両）に関し、所有権についての公証等を行い、並びに安全性の確保及び公害の防止その他の環境の保全並びに整備についての技術の向上を図り、併せて自動車の整備事業の健全な発達に資することにより、公共の福祉を増進する
道路法・道路構造令	道路網の整備を図るため、道路に関して、路線の指定及び認定、管理、構造、保全、費用の負担区分等に関する事項を定めている。道路標識、道路上の道路情報提供装置、車両監視装置、気象観測装置等についても、道路法で基本事項を規律している
道路運送法	旅客運送事業・貨物運送事業の規制

特集

Special Feature

フォーラム（通称「WP29」）と連携が取られている。また、WP29 傘下の分科会における技術的・専門的な検討では、日本はさまざまな分野で主体的な役割を果たしている。

交通事故の法的責任に関して、自動車事故を起こした場合には、運転者は刑事・民事・行政上の法的責任を負うことになる。自動運行装置が運転者を代替する場合、代替している間は同様の法的責任が認められるため、これらの法規に関しても無視することはできない（表-2）。

レベル3以上の自動運行装置を搭載する場合は、責任範囲の明確化のため、作動状態記録装置を設置することが義務付けられるようになった。そのため、メーカーには製造物責任法に基づく責任、販売店には契約不履行責任が生じる可能性もあるが、このあたりは国際的にもまだ結論は出ていない。国際動向としては、日本が批准しているジュネーブ道路交通条約やヨーロッパ諸国が加盟しているウィーン道路交通条約があるが、この改正に関しても国連内の道路交通安全作業部会でまさに議論が進められているところだ。

自動運転の実用化に際してのガイドラインも定められている。2015年11月、安倍政権の成長戦略の

中で、我が国の2020年までの自動運転の実用化に向けた制度整備等に関して安倍首相が自ら発言したことにより、国内では法令整備の準備が本格的に始まった。2018年4月には「自動運転に係る制度整備大綱」が発行され、現在これに沿って制度の整備が進められている。自動運転の実用化のための実証実験の展開に於いて当時は安全を確保するためのルールが法令しかなかった。そのため、法令に当てはまらない事象については、どう対処すべきか模索しながら実証実験を行う必要があったため、各省庁は最初から法規化するのではなく、まずはガイドラインとして大枠のルールを定める手順を踏んだ（表-3）。

実証実験を行う場合、公道の使用許可が必要になるのだが、その際、ガイドラインに沿って許可を取得することになる。ガイドラインは法令ではないので、必ずしもすべてのルールを遵守する必要はなく、対応が難しいものに関しては、代替手段を講じるなど、各省庁や自治体と個別に相談しながら実証実験を検討、実施することになる。

自動運転システムを搭載した自動車は、まず通常の自動車としてのシステムの安全が確保された上で、自動運転システムについても安全である必要がある。そのため、自動車のサプライヤが準拠すべきマネジメントシステムから、システムの安全標準規格まで、業界標準レベルでの安全を確保することが必要になってくる。自動車業界で対応している主な国際規格を図に示す（表-4）。

その他、ISO 22737 や ISO 3691 など、自動車以外に適用される自動運転の新しい標準規格についても、

■表-2 交通事故の法的責任に関する主な法規

法令名	概要
刑事法	刑罰（懲役・罰金） 自動車の運転により人を死傷させる行為等の処罰に関する法律
民事法	損害賠償 人身事故、物損事故に共通して適用される法律は、民法 709 条（一般不法行為） 同法 715 条（使用者責任）
行政法	免許停止

■表-3 自動運転実験のための主なガイドライン

ガイドライン名	発行	概要
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	警察庁
遠隔型自動運転システムの公道実証実験に係る道路使用許可の申請に対する取扱いの基準	2017年6月 2020年9月更新	警察庁
自動運転車の安全技術ガイドライン	2018年9月	警察庁
限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて 旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン	2019年6月	国土交通省自動車局
自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準	2019年9月	国土交通省自動車局
特定自動配送ロボット等の公道実証実験に係る道路使用許可基準	2021年6月	警察庁

特集

Special Feature

内容を確認し順次対応していく必要があるだろう。このように、自動運転に関連する標準規格はいくつもあり、個々の企業でこれらすべての国際規格に準拠することはほぼ不可能である。だからこそ、可能な限り技術をオープン化し、パートナーと技術を共有しながら開発を進める必要がある。自動運転の実用化に向けては、いかに技術をオープン化して、事業性を確保しながら他社と共有していくかが鍵となる。

自動運転が実用化される日

「自動運転」という定義はさまざまであり、「実用化」という定義もまたさまざまである。「運転席に人がいない1台のなんらかの車両が自律走行すること」を自動運転と呼び、「人や物を運ぶ目的でサービス運行する」ということを実用化と呼ぶのであれば、2020年こそが自動運転が実用化された年といえるであろう。2020年は元々東京オリンピック・パラリンピックが開催予定であったこともあり、我が国のさまざまな技術ロードマップのマイルストーンが置かれていた年であった。自動運転も2020年までに達成すべき目標が多く掲げられていた。

福井県永平寺町では、経済産業省が主導したプロジェクトの一環で、ヤマハ発動機製のゴルフカートを活用した運転席無人の低速モビリティサービスが開始された。東京都西新宿では、東京都のプロジェクトの一環で、自動運転ベンチャーのティアフォー

社を筆頭に KDDI、損保ジャパン、モビリティテクノロジーズらが提携し、全国初となる運転席無人の自動運転タクシー車両がお披露目された。翌年には長野県塩尻市では複数の自動運転タクシー車両が運行されている。一方、法整備も着実に進み、2020年4月には道路交通法と道路運送車両法が改正され、「自動運行装置」というものが明確に定義された。この自動運行装置は現状では「レベル3」の自動運転を対象としており、最終的には運転の責任はまだ人間に預けられているが、この自動運行装置と遠隔監視システムを組み合わせることで、運転席を無人とした自動運転車のサービス運行は可能となった。

それでは次の10年はどうなるのか。どこまで実用化は進むのか。我が国の政策で掲げる目標は、2025年までに全国40カ所以上の地域で「レベル4相当」の自動運転サービスを「事業化」となっている（自動走行ビジネス検討会「官民ITS構想・ロードマップ2021」より）。2030年に向けては各地域のライフスタイルに適合したデジタルプラットフォームの創出、その先の2050年に向けてはカーボンニュートラルに伴う「グリーン成長戦略」に資する自動運転の実現が掲げられているが、2025年以降の実用化にかかる具体的な数値目標は提示されていない。

今日の自動運転の技術水準を考えると、2025年の全国40カ所という目標はきわめて妥当であるといえる。また必ずしも「レベル4」を実現するのではなく、

■表-4 自動車業界で対応している主な国際規格

法令名	概要
ISO 9001	QMS (Quality Management System) の標準規格。品質を継続的に改善していく仕組み。
IEC 61508	システムのリスクを軽減するために使用される電気・電子・プログラマブル電子により安全性を高めるための機能安全規格。
ISO 26262	機能安全を設けることにより、自動車に特化した電子システムに故障が発生した場合でも、ドライバや乗員・交通参加者等への危害を及ぼす危険を許容可能なレベルに低減するという機能安全規格。
ISO/PAS 21448	Safety of the Indented Functionality. 他車の動向や天候など自車で制御できない事象や、自車のシステム故障以外の誤使用や性能限界などを想定して安全性を高めるための規格。
ISO/SAE 21434	自動車のサイバーセキュリティに対する国際規格。ハッキングされた場合には自動車の安全にも影響が出るため、体系的に取り組む必要がある。
UL4600	直近発行された、UL というアメリカの認証機関の規格。自動運転システムのベストプラクティス。

特集 Special Feature

「レベル4相当」を実現することによって、現実的なコストで自動運転サービスの恩恵を人々に届けるというアプローチも理に適っている。2025年にはこういった地域でODDが明確に定義され、そこから導き出されたユースケースとシナリオに対して自動運転システムの検証と妥当性確認が行われ、対象ODDの範囲内においては安全が保証されたサービスが実現されているはずである。また、何らかの想定外の事象が発生し、ODDの条件から外れるような事態に陥ったとしても自動運転システムが自ら安全停止し、被害を最小限に抑えられるような仕組みも技術的に完成しており、社会システムとしても保険が整備されていると考えられる。すなわち、2025年にはいわゆる自動運転の実用化が「普及期」に突入していると推察できる。

自動運転が本当の意味で実用化されるということは、計算機と自動車が人間に使われる「便利な道具」からそれ自体が「新たな生態系」へと変化を遂げ、社会の中で人間と共存することを意味する。そのとき、人間と機械の関係は再定義され、法と倫理をも変え得る革命的な瞬間といえる。その幕開けが今まさに始まっており、2025年という目線ではさまざまな条件下で実用化されているはずだ。そして10年後の2030年代には自動運転が当たり前という世界になっており、むしろ自動運転機能がない自動車は珍しいものになるのではないであろうか。人間の生活だけでなく法と倫理まで変え得るという点で、自動運転の実用化はパソコンやスマホを超えるパラダイムシフトになるであろう。

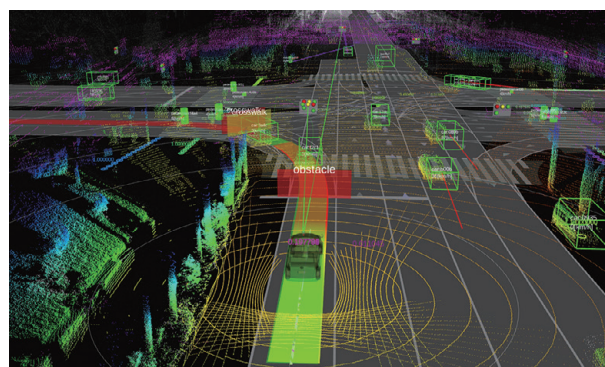
自動運転は人間を超えるか

自動運転が人間と共存する存在となったとき、当然ながら自動運転と人間は比較されることになる。AIと人間の比較は、最適化の対象が定まって初めて意味をなす。自動運転とは、詰まるところ自動車を運転することを目的としたAIであるわけなので、

運転を最適化することに関して人間との比較には具体性がある。しかしながら、最適な運転の意味もまたその運転の目的によって変わる。

10年後の世界を考えたとき、「事故を起こさない」という指標で比較すれば、自動運転は平均的な運転技能を持つ人間を超えているはずだ。自動運転は与えられたODDの範囲ではほとんど事故を起こすことはない。それでも自動運転が人間の完全上位互換というわけではない。人間が起こす事故の多くを自動運転は防いでくれるが、人間が起こさないような事故を自動運転は起こしてしまう可能性があるからだ。自動運転が普及すればほとんどの事故はなくなる。よって、社会は自動運転を受け入れる方向に進むことは間違いないが、自動運転が人間の完全上位互換にはなり得ないという事実がある限り、自動運転が本当に人間を超えることはないかもしれない。

自動運転の最大の利点は、与えられたODDの範囲内では安全が保証可能な点だ。自動運転に利用するセンサは周囲の状況を正確に把握できる。その位置精度はセンチメートル単位、その検出範囲は数百メートル級に及ぶ。また、検出した物体が数秒後にどう動くまで予測ができる。この認知能力という点では、自動運転は熟練した運転技能を有する人間のそれをも遥かに凌ぐ(図-10)。これからの10年で、自動運転の認知能力はセンサ技術やAI技術の発達によりさらに向上し、自動運転はほとんどの人間の運転技能を上回ることができるであろう。



■図-10 すでに人間を凌ぐ自動運転の認知能力

特集

Special Feature

上述のとおり、認知能力や予測能力については、ODDの定義によらず自動運転は熟練した運転技能を持つ人間より高い水準を目指すことが可能だ。一方で、判断能力については交通ルールの制約もあって人間との比較は難しい。交通ルールを守れるかどうかで比較をすると、自動運転は人間よりも優れている。しかしながら、厳密に交通ルールを守ることが実世界において必ずしも妥当であるとは限らない。人間はしばしば瞬間的なルールの逸脱によって全体最適を手に入れている。交差点手前での車線変更や法定速度を超えた追い越しなど、人間であればその場の判断で許容してしまうような振舞いを自動運転が真似することは難しいであろう。また、赤信号で飛び出してきた相手に対しての振舞いも、人間であれば相手が悪い場合であっても全体最適のために譲ることができるが、自動運転ではそういったルール逸脱、あるいは未学習の状況に対応することは難しいであろう。言い換えると、自分が悪くなくても事故は起こることがあり、それを回避できるのが人間である。10年後の世界を考えたとき、自動運転と人間の最も大きな違いは、ルールを逸脱した行動に対する振舞いであるといえる。

これからの10年で自動運転はどこまで進化するのか。その答えを握っているのはもちろん世界中の技術者と研究者であり、法と倫理を作り上げる賢者たちであるが、可能性に言及するならば、自動運転は一部の熟練した技能を持つ人間を除きほとんどの人間の能力を上回る水準に達し、その適用範囲も世界中の国と地域の生活道路にまで展開可能だ。自動運転は単にそれが新しい技術として普及していくだけではなく、これまで人間に使われる便利な道具であった計算機と自動車が、自ら新たな生態系となり、新たな法と倫理のもとで人間と共存するという文化を築いていくことにほかならない。その先に究極の安全と新しい体験が待っているはずである。そしてまだ我々が想像もできない、人間の可能性がさらに広がる何かを自動運転がもたらしてくれることを期待したい。

(2021年11月7日受付)

■加藤真平（正会員） shinpei@is.s.u-tokyo.ac.jp

1982年神奈川県藤沢市生まれ。東京大学大学院情報理工学系研究科 准教授、名古屋大学未来社会創造機構 客員准教授、(株)ティアフォー社取締役会長兼最高技術責任者（CTO）、「The Autoware Foundation」代表理事。

