

自動運転の現状と今後の展望

鎌田 実*

1. はじめに

自動車の分野において自動運転に関する種々の検討が進められており、これらの動きは船舶の自動運航にも通ずる部分が多々あると考えられる。そこで、本稿では、船舶における自動運航の検討を進めていく際の参考となることを期待し、自動車の自動運転の現状と今後の展望について記載する。

2. 自動運転の概要

2.1 背景

未来投資戦略2017では「健康寿命の延伸」などと共に「移動革命の実現」として自動運転に取り組むことが大きく描かれている¹⁾。

移動革命のイメージとしては①トラック運送等での隊列走行、②人の移動サービスを提供する無人自動走行、③ドローンを使った荷物配送、④自動運航船の4つあり、それぞれ2020年までの実証を目標としていた。自動車の分野に関しては、①については高速道路における後続車の無人走行、②については鉄道の廃線跡を利用した無人自動走行の実証を行っており、目標を達成している。他にも未来投資戦略2017の中での取り組みとして、「世界に先駆けた実証」、「データの戦略的収集・活用、協調領域の拡大」、「国際的な制度間競争も見据えた制度整備」が掲げられているが、その多くは実現できている。

翌年に発表された未来投資戦略2018では、「移動・物流革命による人手不足・移動弱者の解消」として自動運転がさらに大きく取り上げられている²⁾。

2.2 自動運転にまつわる疑問

(1) 完全自動運転は、いつ実現するのか？

どこでも走れる完全自動運転は技術的難易度が高いため、当分の間は実現できないと考えている。一方で、限定地域、限定空間で車を自動で走らせることは、お金をかければ今すぐに実現できる。この場合、どれだけお金をかけるのが妥当かという別の検討が必要となってくる。

(2) 自動運転が普及すると、世の中はどのように変わるか？

今とは人と車の付き合い方が変わっていくと考えられる。例えば、無人の自動運転のタクシーがスマホアプリで簡単に呼べるようになれば、車を所有して自分で運転するよりも安く移動できるようになるかもしれない。そうなれば、今のように車を自己所有するという概念が将来的には無くなるかもしれない。

(3) 日本と諸外国における自動運転の差異は？

日本ではドライバ不足が顕著であるため、事業用自動車（バス、トラック）に対する無人化への強い期待が存在する。そのため、事業用自動車での無人化の実現が諸外国と比べて早く進むと考えている。

2.3 自動運転の実現方法

自動運転の実現方法として基本的にはインフラ協調と自律の2つある。インフラ協調とは、インフラに様々な設備を設置し、その設備とのやり取りにより、車を自動で動かすという方法である。自律というのは車に様々なセンサーを搭載することで、インフラに依存することなく自律で走る方法である。

歴史的にみると、1990年代はインフラ協調（磁気ネイル等）が主流だった。1996年に開業前の上信越道において磁気ネイルを用いた隊列走行の実証が世界に先駆けて実現している。しかし、同じように全国各地に磁気ネイルのインフラを配備するにはコストが非常に高くなり難いため、この種のプロジェクトはその先続かなかった。一方で、2010年以降は自律が主流となっている。これは、アメリカのDARPAが軍事目的で無人自動運転のコンテストを開催したことや、2012年にGoogleが自動運転で走るGoogleカーを作り走ったことをきっかけとして自動運転の開発が盛んになったためである。ただし、当時はGoogleカーに搭載されているセンサー（LiDAR）が非常に高額であり、社会実装のための製品開発というよりむしろデモンストレーションの意味合いが強かった。

自動運転を実現するにあたり、インフラ協調と自律のどちらが良いかという議論は続いているが、最近ではインフラ協調と自律をうまく使うことで、コストも抑えつつ自動化を実現することが考えられている。例えば、路線バスやトラックの定期便のよう

* 東京大学名誉教授 一般財団法人日本自動車研究所 代表理事・研究所長

な走るルートが決まっている所であれば、その区間だけをインフラ整備するというインフラ協調を用いればよい。

2.4 社会的課題

日本は現在、高齢化率が28.7%で世界一位(2020.9)であり、2030年までに30%超、2055年には40%に達すると言われている。今後、生産年齢人口が減少していく中で、GDPを維持するためには生産性を相当上げる必要がある。また、高齢化が進むにつれて当然、社会保障や医療、介護にかかる費用が膨大となる。

国土交通省が作成した「国土のグランドデザイン2050」では、日本の将来に関する展望がまとめられている³⁾。その中の例を挙げると、日本は徐々に人口が減少していき、2050年には1億人を切るといわれている。また、人口分布も東京や名古屋などの都市圏に人口が集中し、現在、人が住んでいる地域の20%は無居住化するとされる。

また近年、高齢ドライバが増加したことに伴い、高齢ドライバによる事故が社会問題となっている。その対策として警察庁では高齢者講習や、今後、実技試験の導入も検討されている。一方、免許返納者に対する自治体主導のコミュニティバスやデマンド交通などもあるが、十分に整備しきれていないのが実状である。これらの課題を解決する手段として自動運転への期待が高まっている。

3. 自動運転の現状

3.1 自動運転の歴史

自動運転の取り組みは1970年代から進められており、通商産業省工業技術院機械技術研究所などで自動運転の実験を行っていた。1977年には、搭載したカメラで白線を認識する車が智能自動車と称して作られていた。

1990年代には、磁気ネイルに沿って車を走らせることができ、前述のように1996年に開業前の上信越道で、自動隊列走行のデモンストレーションがなされた。

2000年頃には、トヨタがIMTSというバスの隊列システムの開発を行っており、2005年の愛知万博では営業運転がなされた。

2004年には、米DARPAがインフラ協調ではなく自律で自動車を走らせるグランドチャレンジという競技を実施した。最初は砂漠の中を走る競技であり、

写真1に示すように車両もかなり大きく、一般車には見えない車が使われていた。それから、アーバンチャレンジという名前となり、市街地を模擬した場所で一般車に様々なセンサーを取り付けた車を走らせるような競技となった。アーバンチャレンジで使用された車両を写真2に示す。

2012年には、Googleが、ドライバレス車の公道試験を開始した。



写真1 グランドチャレンジで使用された車両⁴⁾



写真2 アーバンチャレンジで使用された車両⁵⁾

日本では、2013年に当時の安倍首相が3社の自動運転車の試乗を行い、国として自動運転に力を入れていく旨の発言がなされた。それ以降、自動運転の開発に力が入るようになり、2017～2019年には、日本でも実証実験が全国各地で広く行われた⁶⁾⁷⁾。日本で2019年以降に実施された主な実証実験を図1に示す。

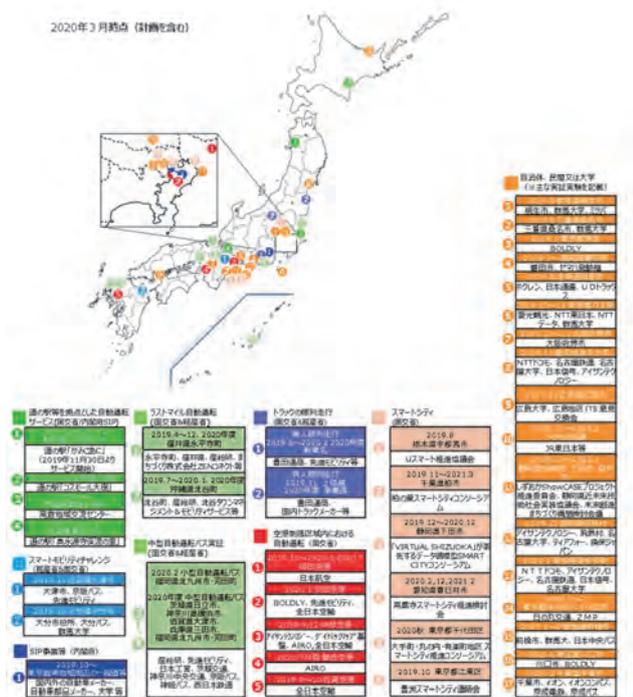


図1 2019年度以降に行われた主な自動運転実証実験⁷⁾

3.2 自動運転レベルの分類

自動運転のレベルは表1のようにSAE (Society of Automotive Engineers) が定めた運転自動化の6段階の定義を使うのが一般的である。多くの人がイメージするような自動運転のレベルはレベル4~5に相当する。

レベル1は前後か左右のどちらかが自動化されるものであり、レベル2は前後左右共に自動化されるものである。ただし、レベル2までは運転の主体は運転者にあり、その責任は運転者にあるため、レベル1~2は高度運転支援システムととらえるべきである。

レベル3は特定の条件を満たす範囲では自動運行装置が働くが、その範囲を超えると、運転操作は運転者に引き継がれる。ただし、自動運行装置から運転者への操作権限の委譲が適切に行えるか（何秒以内に権限を委譲すればいいのか）疑問を呈する専門家も多い。警察庁では、権限移譲が必要な場面になったら直ちに引き継ぐこととしているが、それができない場合には車両を安全に停止させることを国土交通省のガイドラインでは求めている。

さらに、レベル4~5では運転の主体は運転者ではなく、自動運行装置となる。レベル4, 5は技術的難易度が高く、一般公道での混合交通下の早期実現は困難であるが、専用空間・限定空間等かつ低速であれば比較的实现しやすいと考えられる。

表1 自動運転のレベル⁸⁾

レベル	概要	運転操作※1の主体
運転者が全てあるいは一部の運転操作を実施		
SAEレベル0 なし	運転者が全ての運転操作を実施	運転者
SAEレベル1 運転支援車	アクセル・ブレーキ操作またはハンドル操作のどちらかが、部分的に自動化された状態	運転者
SAEレベル2 運転支援車	アクセル・ブレーキ操作およびハンドル操作の両方が、部分的に自動化された状態	運転者
自動運転システムが（作動時は）全ての動的運転操作を実施		
SAEレベル3 条件付自動運転車 (限定領域)	特定の走行環境条件を満たす限定された領域において、自動運行装置が運転操作の全部を代替する状態 ただし、自動運行装置の作動中、自動運行装置が正常に作動しないおそれがある場合には、運転操作を促す警報が発せられるので、適切に応答しなければならない。	自動運行装置 (自動運行装置の作動が困難な場合は運転者)
SAEレベル4 自動運転車 (限定領域)	特定の走行環境条件を満たす限定された領域において、自動運行装置が運転操作の全部を代替する状態	自動運行装置
SAEレベル5 完全運転自動車	自動運行装置が運転操作の全部を代替する状態	自動運行装置

3.3 自動運転の目的

(1) 安全

交通事故の原因の9割はヒューマンエラーとされており、その解決策として運転を自動化することでヒューマンエラーによる事故を防ぐ。日本では高速道路から自動運転の実装が始まっており、高速道路における渋滞時という条件付きであるがレベル3の自動運転も2021年に実現している。ただ、前述した高齢者の事故を減らすことに主眼を置くのであれば、自動運転ではなく、運転支援に力を入れることで高齢者の運転ミスを減らすほうが、安全に繋がるという考え方もできる。

(2) ドライバ不足

日本の人口は減少過程にあり、特にバス、タクシー、トラックではドライバ不足が顕著である。そのため、ドライバが不要となる自動運転による無人運転への期待が高まっている。特に過疎地域ではレベ

ル4～5の自動運転，高速道路でのトラック隊列（先頭車有人，後続車無人）を目指しつつ開発が進められている。また，無人運転だけではなく，遠隔監視・遠隔操縦の開発も進められている。レベル2では，運転の責任は遠隔者（人間）が持つことになる。1台の車を1人の遠隔者が見るという運用方法ではドライバーの数は実質減らないため，1人で何台も見られるようなシステムの開発を目指している。

(3) 付加価値

海外では自動運転の意義として，運転せず別の作業ができるという点に重きが置かれている。当然，運転中に別の作業ができれば，仕事等の生産性も上がる。また，長距離ドライバー等は自分で運転しない移動時間を休養に当てられれば労働条件の改善にも繋がる。他にも自動運行装置に加えてコネクティッドカーとして付加価値を高めることができれば，有効性はさらに増す。また，まちづくりにおいても自動運転は期待されており，全ての車が自動で走るようになれば，交通量と道路容量の関係などを見直すことで，従来の道路空間を再分配でき，余った土地の有効活用に繋がると考えられている。例えば，車を所有するという概念が無くなれば，駐車場も必要なくなり，そのスペースを有効活用できる。高速道路も車線を減らして管理できるようになるため，そのスペースをソーラーパネル，自転車道として活用できる。（図2，3参照。自動運転化で赤い部分が不要となる。）



図2 駐車場の活用イメージ⁹⁾



図3 高速道路における余剰車線の活用イメージ⁹⁾

3.4 自動運転の実現に向けた日本の取り組み

内閣官房の日本経済再生事務局では，自動運転に係わる官民協議会を開き，関係省庁，民間，有識者を加えて議論をしていた。自動運転の社会実装には法律の制度整備が必要になるが，本協議会の中でも同じ議論が起こり，民間，有識者の要求に沿って，関係省庁が素早く対応することで，制度整備が早期に実現できている。法律が整備された部分としては，道路運送車両法，道路交通法，責任関係では自動車損害賠償保障法など色々ある。2019年には道路交通法・道路運送車両法の改正で自動運行装置についても定義された。

また，日本だけが法律を変えて世界と基準が違ってしまうとガラパゴス化してしまうため，国連でも日本主導となって議論を進め，日本の主張をうまく取り入れた形で国際基準が作られているという流れが存在する。

一方，技術開発が進み，自動運転が使えるような法律の整備が進んだとしても，それが本当に社会に受け入れられるかという部分が非常に重要になってくる。つまり，社会受容性を確保し，自動運転車に乗る人だけではなく，その周囲の人にも受け入れられることが重要になる。

官民ITS構想・ロードマップ2018⁶⁾では，2020年度までの目標を掲げているが，そのほとんどが実現している。そこで2020年の官民ITS構想・ロードマップ2020⁷⁾では，今後に向けた2020年代の取り組みとして，短期，中期，長期と分けて，それぞれどこどのように実現していくかが取りまとめられている。そのロードマップ実現に向けて，経済産業省，国土交通省などでも多くの予算をかけて様々なプロジェクトに取り組んでいるところである。

3.5 自動運転の安全基準

自動運転を考える際には，どのように基準を作り，

その基準をどのように守らせるかという事が重要となる。まずは、その安全目標を定めることを目的として、国土交通省が自動運転車の安全技術ガイドラインを作成した¹⁰⁾。基本的な考え方としては、理論上システムが引き起こす人身事故が0となるような社会を目指すために、予見可能で回避可能な対象物に対しては事故を回避できることを目標としている。ただ、“予見可能”の程度については国によって許容範囲が異なるため、国際的な場でも議論が分かれている部分である。

実際にレベル3以上の自動運転を実用化するためには道路運送車両法の改正が必要となるため、交通政策審議会の小委員会において、自動運転車の設計・製造過程から使用過程にわたる総合的な安全確保に必要な精度のあり方について検討がなされた¹¹⁾。

4. 今後の展望

4.1 現状認識

運転者がいる場合、運転者がいつでも運転の主体を取り戻せるという条件であれば、レベル2とみなせるため、容易に公道で実証実験が行える。運転席に運転者がいない場合でも、遠隔監視・遠隔操縦ができれば、公道で実証実験を実施することができる。ハンドルやペダルが無い車両でも、遠隔監視・遠隔操縦ができ、かつ条件が整っていれば、保安基準適合とみなせるため、ナンバー交付ができ、実証実験も行える。このように日本では、レベル2の位置づけであれば実証実験がやりやすい環境にある。

また、技術としては、お金をかけ、簡単な環境であれば、完全自動運転が達成できるレベルにあるとも言える。

現在は、低コスト化や複雑環境適合へ様々な検討がなされている。また、責任問題についても様々なところで検討がなされている。法規制の対応についても、制度整備大綱に応じて進められている¹²⁾。

4.2 法規制

現状の法規制でも、レベル2での実証実験の範囲

においては、運転席のない車であっても実験が行える形が整えられている。遠隔監視においても、監視が1:1から1:Nになった時にむけて、既に1:3の実証実験が実施済みである。最終形の責任体制の議論はこれから進められていく。レベル4以上になれば、通常状態では遠隔監視も不要になり、それが達成できるレベルへのAIの進歩が期待されるが、技術的側面で十分そのレベルに達する状況が見えてこないと責任論の議論がしにくい。

法規制の中で、どこまで安全を要求するかという部分は議論が分かれるところではある。もらい事故をなくすレベルまで要求されるとハードルが高い。機器の信頼性に関する要求も一定の方向性が出されなければモノの設計ができない。国際的な競争において、目指すべきレベルと到達スピードをどこに設定するかに関しても考える必要がある。

一方、道路交通法・道路運送車両法の改正でレベル3が可能になったことで、高度運転支援・自動運転の車両の安全基準や認証・車検対応も進んでいる。運輸事業を行うにあたっての要件等もまとめられている。

4.3 未来像

2020年までに、高速道路渋滞時におけるレベル3の市販化、限定空間でのレベル3の実現、トラック隊列の技術構築が実現した。一方で、一般道路での自動運転は、レベル2といえども実現は難しい。そのためには、地図の整備のほか、色々な取り決めが必要となる。

レベル3がどのように展開していくかは未知数であるが、当面は高速道路での作動範囲の拡張になるだろう。レベル4~5の遠隔監視・遠隔操縦の事業化の姿も未知数である。

人件費が削減できる事業用車両と、個人所有の自家用車では、センサー等へのお金のかけかたも変わってくる。その他、条約や基準の作業の見通し、社会的受容性などについても検討しつつ、自動走行ビジネス検討会では、2030年頃までの工程表についても作成されている⁸⁾ (図4参照)。



図4 無人自動運転サービスの実現及び普及に向けたロードマップ⁸⁾

4.4 自動車業界の今後

モビリティサービス、交通という公共性のある事業、さらにはまちづくりまで、この領域は広がっていく。一方で、コネクティッドの興隆により、ICT業界との領域争いも始まっていく。1t以上の鉄の塊を、安全に100km/h超までの速度で動かす技術、高い信頼性と耐久性を維持する技術は、新興勢力にはまだまだ備わっていないものの、安閑としてはられない。技術はどんどん進化していくものであるが、その技術を使う人間は同じペースで進化するわけではない。むしろ、老化等で退化していくものである。自動車業界は、自動車を単に作って売るといった現状の単純な運用形態のままで良いのかを考える時期に来ている。

4.5 自動運転の活用方法

自動運転はレベル2までの機能であっても運転支援として、安全の確保には重要な役割を果たすことができる。

一方、省力化として、無人運転には様々なハードルがある。限定的に可能な場所での展開からはじまる。無人化により人件費がいらなくなるという期待が強いが、自動運転にかかる経費が安くはなく、ピ

ジネスモデルが成立するかどうか十分に考える必要がある。

自動運転と言えど、単なる移動手段の自動化に過ぎない。重要なのは移動の手段の高度化ではなく、人も物も移動の活性化をはかることであり、魅力的なまちづくりが最も重要であるとも言える。

4.6 まちづくりの方向性

自動運転の技術が進歩し、法整備がそれに対応できるようにもなったとしても、そこからコスト面も含めてどのように社会実装していくかという事が重要になる。これから日本の人口が減少していく中で、自動運転をただ使うだけで社会が良くなることは考えづらいため、自動運転が活用しやすいように、あるいは人口が減少したとしても、自動運転により人々が暮らしやすいように持続性があるようなまちづくりをする必要がある。自動運転をまちづくりの中で移動手段の1つとしてどのように活用するかということを経ランドデザインとして描かなければ、実現は難しいと考えている。

4.7 まとめ

モビリティの分野において50年後、100年後に、歴史を振り返ると、今の時代は大きな転換期にあた

るのではないだろうか。これから、電動化も進み、自動運転・コネクティッドカーも大いに進むことは間違いない。一方で、技術開発だけではなく、成熟社会・人口減社会に向けた対処も必要などである。2050年に日本の人口が1億人を割るのは必至であるため、人口8000万人程度が、国土のある割合の範囲内で、豊かな暮らしができるようなグランドデザインを描く必要がある。その中で、モビリティの未来像をきっちり示し、生活を支えるモビリティサービス産業としての役割を自動車業界に担ってもらい、国もそれに対して支援していく流れをつくるのが重要になる。

5. おわりに

本稿ではこれまで、自動車の分野における自動運転について、概要や目的、今までの歴史、そしてこれからの展望を中心に述べさせていただいた。一方で、自動車の自動運転で抱えている課題は、船舶の自動運航の分野でも同じことがおそらく言える。例えば、自動車の自動運転の目的として、安全、人手不足、付加価値の3つを述べたが、これは船舶の分野にも当てはまる。海難事故の約8割は人為的要因（操船不適切、見張り不十分など）と言われている。

また、人手不足については特に内航船の乗組員に関しては高齢化が進んでおり、近い将来、乗組員不足が顕在すると見られている。そして、乗組員の船上業務は多岐にわたって存在しており（操船、見張り、推進、電力管理、貨物管理など）、乗組員の負担は大きく、労働環境改善に資する技術へのニーズは大きい。このように、事故防止、人手不足解消、労働環境改善の手段として、船舶の分野でも自動運航技術が期待されている。

近年は、船舶の分野においても国土交通省による実証事業や日本財団の無人運航船プロジェクト（MEGURI2040）に代表されるように、自動運航に関する開発プロジェクトも複数立ち上がっており、実装化に向けた規則整備、技術開発が今後ますます進んでいくと考えられる。実現までの道筋は容易なものではないだろうが、本稿で紹介した自動車の事例が、船舶における自動運航の検討を進めていく際の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 内閣官房：未来投資戦略2017—Society 5.0の
実現に向けた改革—, 内閣官房ホームページ,
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/pdf/miraitousi2017.pdf>
- 2) 内閣官房：未来投資戦略2018—「Society 5.0」 「データ駆動型社会」 への変革—, 内閣官房ホームページ,
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/pdf/miraitousi2018_zentai.pdf
- 3) 国土交通省：国土計画, 国土交通省ホームページ, https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku_tk3_000043.html
- 4) DARPA : Defense Advanced Research Projects Agency, DARPAホームページ,
<https://www.darpa.mil/about-us/timeline/-grand-challenge-for-autonomous-vehicles>
- 5) DARPA : URBAN CHALLENGE, DARPAホームページ, <https://www.grandchallenge.org/>
- 6) 首相官邸：官民 ITS 構想・ロードマップ2018, 首相官邸ホームページ,
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180615/siryou9.pdf>
- 7) 首相官邸：官民 ITS 構想・ロードマップ2020, 首相官邸ホームページ,
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20200715/2020_roadmap.pdf
- 8) 経済産業省：自動走行ビジネス検討会「自動走行の実現及び普及に向けた取組報告と方針」Version5.0～レベル4自動運転サービスの社会実装を目指して～, 経済産業省ホームページ,
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jido_soko/pdf/20210430_02.pdf
- 9) WSP : Insights/Autonomous Vehicles,
<https://www.wsp.com/en-SG/insights/autonomous-vehicles>
- 10) 国土交通省：自動運転車の安全技術ガイドラインの策定, 国土交通省ホームページ,
https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000281.html
- 11) 国土交通省：交通政策審議会陸上交通分科会自動車部会 自動運転等先進技術に係る制度整備小委員会報告書, 国土交通省ホームページ,
<https://www.mlit.go.jp/common/001268639.pdf>
- 12) 首相官邸：自動運転に係る制度整備大綱, 首相官邸ホームページ,
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180413/auto_drive.pdf

1) 内閣官房：未来投資戦略2017—Society 5.0の

