

米国における自動運転技術の活用に関する動向

JETRO/IPA New York*

目次

1	自動運転技術の概要と投資動向	1
(1)	自動運転技術の概要	1
a.	自動運転車とは何か	1
b.	自動運転のレベルと実用化状況	2
c.	自動運転の実用化によるメリット	3
(2)	米国における自動運転技術発展の経緯と自動運転技術への投資動向	4
2	米国における自動運転技術の実用化に関する動向	7
(1)	SAE レベル 4 以上の自動運転市場におけるユースケース	7
(2)	完全自律型の自動運転タクシーの開発で注目を集める主要プレイヤーの動き	8
a.	Waymo 社	10
b.	(GM)Cruise 社	11
c.	Aurora Innovation 社	12
d.	Argo AI 社	13
(3)	Tesla 社による完全自動運転車実用化に向けた取り組み状況	15
a.	Tesla 社が提供する自動運転支援機能	15
b.	カメラ映像(ビジョン)ベースの自律走行に注力する Tesla 社	16
(4)	Apple 社による完全自動運転対応の EV 開発に向けた取り組み状況	17
(5)	物流業界を変革する自動運転トラック技術を手がける主要プレイヤーの動き	18
a.	高まる自動運転トラック分野への投資熱	18
b.	自動運転トラック開発をリードする米トップテクノロジー企業の動き	19
3	今後の展望と課題	24

1 自動運転技術の概要と投資動向

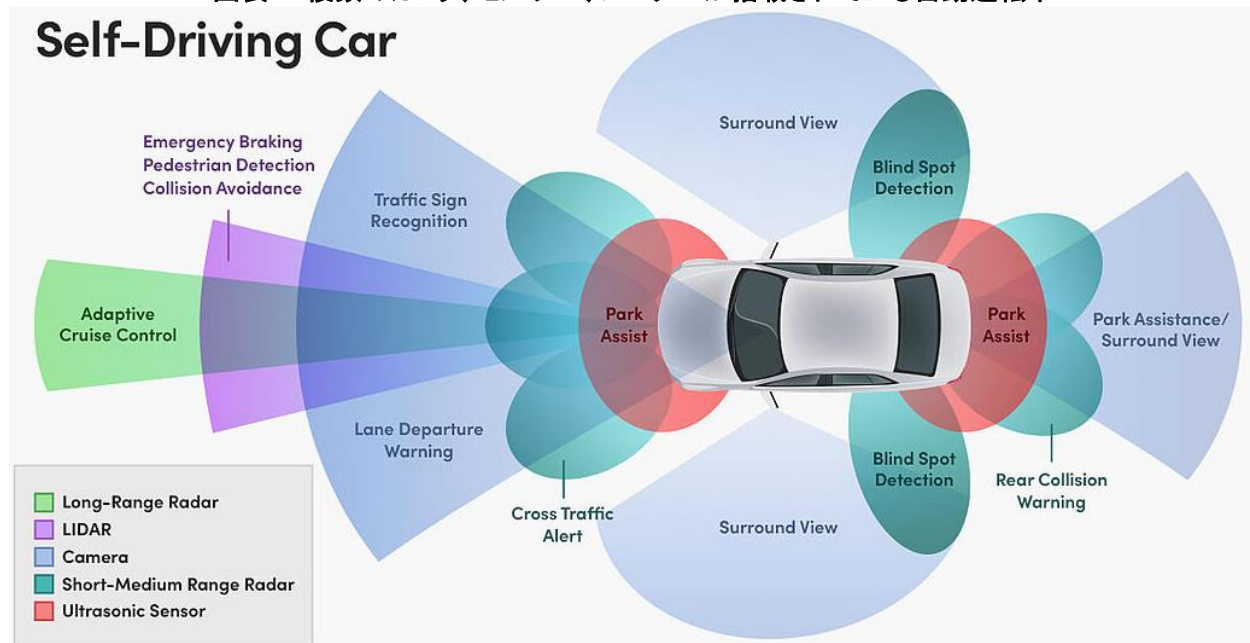
(1) 自動運転技術の概要

a. 自動運転車とは何か

自動運転車(self-driving/autonomous/driverless car)は、カメラ、センサー(LiDAR¹)、レーダー、人工知能(AI)といった技術を組み合わせて活用することで、運転手(人間)が操縦しなくても目的地までの走行が可能になる。自動運転車では AI がそのブレインとして機能し、大手自動車メーカーやテクノロジー企業によるその開発においては、車両に搭載されたカメラなどから検知された信号機や木、縁石、歩行者、道路標識等、運転時に注意すべき物体や人に関する膨大なデータを処理することで、運転手の代わりに周囲を認識するニューラルネットワークを用いた画像認識システムが、その安全性を保障するために欠かせないコア技術となっている²。

自動運転機能の実現においては、OEM(自動車メーカー)や Alphabet 社傘下の Waymo 社など、自動運転技術の開発を手がける大部分の企業が周辺環境のマッピングを行うために LiDAR を用いているのに対し、Tesla 社は LiDAR を用いずに、カメラとその強力な画像処理技術にフォーカスするなど、そのアプローチに違いがある(詳細後述)³。以下の図表は、自動運転車の機能の一部と、長距離レーダー、カメラ、短・中距離レーダー、超音波センサーデータ等、自動運転車が一般的に収集・活用する様々な種類のデータについて示したものである⁴。

図表 1: 複数のカメラ、センサー、レーダーが搭載されている自動運転車



出典: CloudFactory⁵

¹ LiDAR とは、「Light Detection and Ranging」又は「Laser Imaging Detection and Ranging」の略で、離れた場所にある物体の形状や距離をレーザー光を使って測定するセンサー技術及びこの技術を実現するためのセンサー装置のこと。

² <https://club.informatix.co.jp/?p=394>

³ <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/driverless-car>

⁴ <https://venturebeat.com/business/tesla-ai-chief-explains-why-self-driving-cars-dont-need-lidar/>

⁵ <https://blog.cloudfactory.com/autonomous-vehicle-training-conundrum>

⁵ 前の脚注に同じ。

b. 自動運転のレベルと実用化状況

自動運転のレベルは、米ペンシルバニア州に本拠を置き、航空宇宙関連及び自動車関連の標準開発等に従事する非営利の団体、SAE International⁶によるレベル 0～5 までの 6 段階の定義が業界で幅広く採用されており、米国運輸省道路交通安全局 (National Highway Traffic Safety Administration : NHTSA) も SAE の基準を基に、自動運転車に関する政策やガイダンスを策定している⁷。

図表 2: SAE による自動運転レベルの定義と自家用車及び自動運転タクシー分野における実用化状況

運転主体	運転手(人)			自動運転システム		
レベル	0	1	2	3	4	5
名称	運転自動化なし	運転支援	部分運転自動化	条件付き運転自動化	高度運転自動化	完全運転自動化
概要	自動車の走行におけるあらゆる制御(加速、減速、ハンドル操作)を運転手が行う。緊急時に動作する特定の機能が車両に搭載されている場合もあるが、これらの機能は運転操作に直接関与しない	自動車の加速／減速、又はハンドル操作のいずれかをシステムが継続的に行えるが、運転手は常に走行中の制御について注意を払う必要がある	自動車の加速／減速、及びハンドル操作の両方をシステムが継続的に行えるが、運転手は常に走行中の制御について注意を払う必要がある	特定の条件下でシステムに運転を委ねられるが、システムから要求(警告)があれば、運転手が車両の制御を引き継ぐ必要がある	限定されたサービス地域においてシステムがあらゆる車両の運転操作を行う。システムから車両制御の引き継ぎは求められず、運転手は不要(乗客のみ)となる	特定の条件や環境に縛られず、全ての地域・道路・条件でシステムが車両の運転操作を行う
車両に搭載されている運転(手)サポート機能の例	・ABS(アンチロック・ブレーキシステム) ・衝突被害軽減ブレーキ ・車線逸脱防止支援(警告)システム	・ACC(車間距離制御装置) ・車線維持支援システム		・高速道路における渋滞運転機能	・地域限定の無人タクシー機能	・一切の制約のない無人タクシー機能
米大手自動車メーカー及びテクノロジー企業を中心とする自家用車、自動運転タクシー分野における実用化例	現在路上を走行する大部分の一般車	OEM の新車モデルの大部分が ACC や車線維持支援システム等の運転支援機能を搭載 ⁸	・Tesla 社の量産モデルに搭載されている「Autopilot」機能(2014 年～) ⁹ ・General Motors (GM) 社の「Super Cruise」システム(2017 年から Cadillac の一部車種に投入) ¹⁰	・Honda 社が 2021 年 3 月、世界初の台数限定量産車 LEGEND Hybrid EX・Honda SENSING Elite」のリース販売を日本で開始 ¹¹ ・Mercedes-Benz Group 社が 2022 年 5 月から、ドイツで S-Class 及び EQS モデルを対象に「Drive Pilot」シス	・Waymo 社 (Alphabet 社傘下)が 2018 年 12 月、アリゾナ州フェニックスの限定地域で有償の自動運転タクシーサービス「Waymo One」を開始(当初はセーフティドライバー同乗の車両のみであったが、2020 年 10 月から完全無人車両サービスの一般	現時点で実用化の例はなし

⁶ <https://www.sae.org/>

⁷ <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>

⁸ <https://cacm.acm.org/magazines/2022/4/259392-still-waiting-for-self-driving-cars/fulltext>

⁹ <https://www.tesla.com/support/autopilot>

¹⁰ <https://www.slashgear.com/951714/gms-super-cruise-hands-free-driving-is-getting-a-huge-expansion/>

¹¹ <https://www.honda.co.jp/news/2021/4210304-legend.html>

				<p>テムのオプション販売を開始 (2022 年末までに米カリフォルニア州及びネバダ州での商用展開を目指す)¹²</p>	<p>提供を正式に開始)¹³ ・GM 社傘下の Cruise 社が 2022 年 6 月、カリフォルニア州サンフランシスコの一部地域で完全無人の有料自動運転タクシーサービスを開始¹⁴</p>	
--	--	--	--	---	---	--

出典: SAE¹⁵、NHTSA¹⁶、HACKADAY¹⁷及び各種資料を基に作成

現在米国で道路上を走行する一般自動車の大部分は SAE レベル 0~2 であり、米国内で生産されている車も、Tesla 社や General Motors (GM) 社に代表される(一部)車種のレベル 2 が最高である。世界的には、Honda 社や Mercedes-Benz 社が最近、ごく限られた環境でのみ自動走行を行えるレベル 3 の自動運転車の(限定)量産販売を開始し、その実用化に漕ぎつけている。

しかし、マサチューセッツ工科大学(MIT)が 2020 年 7 月に発表したレポート(Autonomous Vehicles, Mobility, and Employment Policy: The Roads Ahead)では、セーフティドライバーが同乗しない完全無人の自動運転システムが幅広く導入されるようになるまでには少なくともあと 10 年はかかるとし、特定の交通分野で地域ごとに導入が推進されるとの予測が示されている¹⁸。システムが(一定条件下において)完全に走行を行える SAE レベル 4 以上の自動運転車の開発・実用化は、Waymo 社が 2018 年 12 月からアリゾナ州フェニックスの一部地域で有償の自動運転タクシーサービスをいち早く開始し、Cruise 社も 2022 年 6 月からサンフランシスコの一部地域で完全無人の有料自動運転タクシーサービスを開始するなど、SAE レベル 4 市場で商用サービスが先行しているが、まだそのサービス利用は米国内でもかなり小規模な範囲にとどまっている。

c. 自動運転の実用化によるメリット

自動運転技術の社会普及に伴うメリットとしては、主に以下の点が挙げられる¹⁹。

- **交通事故の減少**— 米国における車の衝突事故による死亡者数は 2020 年に 3 万 8,800 人以上に上り²⁰、大型トラックの衝突事故による負傷者数は 2009~19 年にかけて 7 万 4,000 人から 15 万 9,000 人と 2 倍以上に増加している²¹。NHTSA が 2015 年に発表した米国内の自動車衝突事故の原因に関する調査では、事故原因の 94%が運転手のミスによるものであったことが判明²²し

¹² <https://www.therobotreport.com/mercedes-rolls-out-level-3-autonomous-driving-tech-in-germany/#:~:text=Mercedes%2DBenz%20launched%20sales%20of,and%20all%20electric%20EQS%20models.>

¹³ <https://techcrunch.com/2020/10/08/waymo-starts-to-open-driverless-ride-hailing-service-to-the-public/>

¹⁴ <https://techcrunch.com/2022/06/02/cruise-can-finally-charge-for-driverless-robotaxi-rides-in-san-francisco/>

¹⁵ <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>

¹⁶ <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>

¹⁷ <https://hackaday.com/2021/12/29/the-current-state-of-play-in-autonomous-cars/>

¹⁸ <http://workofthefuture.mit.edu/wp-content/uploads/2020/11/2020-Research-Brief-Leonard-Mindell-Stayton3.pdf>

¹⁹ <https://web-assets.bcg.com/c5/a1/a6ba798d4f13b0fe45f3c0a44fb5/bcg-heading-to-a-future-with-driverless-freight-transportation-aug2021-eng.pdf> (p.3~5)

<https://www.itdigest.com/10-advantages-autonomous-vehicles>

²⁰ <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>

²¹ <https://truckingresearch.org/wp-content/uploads/2020/11/ATRI-Operational-Costs-of-Trucking-2020.pdf>

²² <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115>

ており、自動運転技術の発展に伴い、運転手の確認不足や操作ミス等の人為的ミスによる事故の減少につながると期待されている。

- **運転の快適性の向上**— ACC(車間距離制御装置)や車線維持支援システムをはじめとする多数の自動運転機能が大手自動車メーカーの車種に搭載されることで、運転手の運転疲労の大幅な改善につながると期待されている。
- **燃料効率の向上と環境負荷の軽減**— 自動運転車では、システムがより燃料効率の高いルートを選択し、不必要な加速・減速を行わず、一定のスピードで走行可能になること等を背景に、燃費の向上や温室効果ガスの削減につながると期待されている。
- **タクシー等の移動サービスや物流業界におけるコスト(人件費)削減**— 運転手が不要となることで、コスト(人件費)削減及び運賃の値下がりにつながると期待されている。
- **高齢者や障害者に対する移動手段の提供**— 移動が困難な高齢者や障害者の自由で容易な移動を支援できると期待されている。

(2) 米国における自動運転技術発展の経緯と自動運転技術への投資動向

米国では、米国防高等研究計画局(Defense Advanced Research Projects Agency: DARPA)が 2004 年に開催した自動運転車の長距離走行コンテスト「グランド・チャレンジ(Grand Challenge)」をきっかけに、Google 社が 2009 年に自動運転車開発プロジェクトを立ち上げたことで、業界における自動運転技術に対する関心が一気に高まった。AI や機械学習技術の大きなブレークスルーも手伝って、2010 年代には GM 社、Ford 社、Waymo 社、Toyota 社、Honda 社、Tesla 社をはじめとする大手自動車メーカーやテクノロジー企業が 2020 年頃までの完全自律型車両を実現させることを提唱して技術開発に乗り出し、自動運転技術を開発するスタートアップも次々と誕生、業界への投資資金も爆発的に増加した²³。

図表 3: 米国における自動運転技術の発展に係る主な動き

時期	主な出来事
1939 年	GM 社が道路上に誘導ケーブルを敷設して車両を誘導するシステムを世界博覧会で展示し、1958 年にそのプロトタイプ車が開発される
1980 年代	複数の大学と米国防高等研究計画局(DARPA)、米スタンフォード大学により設立された科学技術研究機関 SRI International が共同で自動運転車の研究開発を実施し、初めて LiDAR、コンピュータービジョン(Computer Vision)、ロボット制御システム技術を活用した自動運転走行(時速 31km)がテストされる
1995 年	米カーネギーメロン大学の研究者が、ニューラルネットワーク技術を用いた自動運転車両で、米国内を横断する約 5,000km の行程のうち 98%以上を自動運転で走行させることに成功する
2004~2007 年	DARPA が自動運転車の長距離走行コンテストを主催する ²⁴ 。 ・2004 年の第 1 回グランド・チャレンジ(Grand Challenge)—ネバダ州の 228km の砂漠地帯を走破するもので、完走者はなし ・2005 年の第 2 回グランド・チャレンジ— ネバダ州の 212km のコースを走破するコンテストで、スタンフォード大学開発の「Stanley」が第 1 位で完走 ・2007 年のアーバン・チャレンジ(Urban Challenge)—カリフォルニア州の旧空軍基地における市街地を想定したコースにおけるコンテストで、カーネギーメロン大学の研究チームが第 1 位、スタンフォード大学のチームが 2 位で完走

²³ <https://medium.com/swlh/autonomous-driving-market-overview-b8c71d81c072>

<https://roboticsbiz.com/history-of-autonomous-vehicles-timeline/>

²⁴ <https://www.herox.com/blog/159-the-drive-for-autonomous-vehicles-the-darpa-grand>

2009 年	Google 社が 2005 年の DARPA Grand Challenge でスタンフォード大学の開発チームをリードした Sebastian Thrun 氏など有数のエンジニアを迎え、自動運転開発プロジェクト (2016 年にスピンオフし Waymo 社となる) を立ち上げる ²⁵
2010 年(代)	<ul style="list-style-type: none"> ・大手自動車メーカーが自動運転車に関する研究を開始し、Tesla 社やシリコンバレーのテクノロジー企業 (Tesla 社、Uber 社、Waymo 社等) の自動運転車開発に向けた取り組みがメディアで大きな注目を集める ・自動運転技術を開発するスタートアップ (Cruise 社<2013 年創設>、Zoox 社<同 2014 年>、Argo AI 社<同 2016 年>、Aurora Innovations 社<同 2017 年>等) が次々と誕生する
2012 年	ネバダ州、フロリダ州、カリフォルニア州で自動運転車の公道での走行を認める法律がいち早く制定される ²⁶
2016 年	SAE International が 6 段階の自動運転レベルの定義を公表する
2017~18 年	Uber Technologies 社が試験運用する自動運転車による歩行者死亡事故のほか、Autopilot 機能を使用した Tesla 社の車両による衝突事故が複数件発生する
2020 年~	自動車業界で SAE レベル 4 以上の自動運転車実用化に向けた研究及び試験運用が積極的に行われる

出典: RoboticsBiz²⁷、Medium²⁸及び各種資料を基に作成

Waymo 社の元 CEO、John Krafcik 氏によると、同社の自動運転ソフトウェア及びハードウェアを搭載した英 Jaguar Land Rover 社の EV モデル「Jaguar I-Pace」の 1 台当たりの価格は、中程度の装備を備えた「Mercedes-Benz S-Class」と同程度であり、13~15 万ドルと推定される²⁹。このように自動運転車は消費者にとって高価であることから、専門家の中には、当面の間は企業による配車サービスの形で普及すると予想する声がある³⁰。

実際、Waymo 社や、2013~17 年にかけて創設された Cruise 社、Zoox 社、Argo AI 社、Aurora Innovations 社といったスタートアップはみな、特定の条件に縛られずあらゆる場所を走行できる自動運転機能を備えたタクシー事業を実現するためのソフトウェアプラットフォームの開発を手がける企業である。しかし、2018 年に起きた Uber 社の実証実験中の自動運転車による歩行者を巻き込んだ初の死亡事故の報道をきっかけに自動運転車による安全性への懸念が広がり、商用化に向けて各社がしのぎを削る自動運転車 (自動運転タクシー) の開発競争に影響を与えることとなった³¹。米国家安全保障委員会 (National Transportation Safety Board :NTSB) は、2018 年 3 月夕方にアリゾナ州テンピで起きた Uber 社の自動運転車による歩行者死亡事故は、同社が試験運転中の自動運転車が、横断歩道から外れたところで自転車を押しながら横断していた女性を歩行者として正常に認識できなかった (Uber 社の自動運転システムに、

²⁵ <https://www.businessinsider.com/google-driverless-car-history-photos-2016-10#googles-cars-use-gps-sensors-cameras-radar-and-lasers-to-see-the-world-around-them-the-sensors-on-the-car-can-detect-objects-up-to-two-football-fields-away-including-people-vehicles-construction-zones-birds-cyclists-and-more-4>
<https://www.nytimes.com/2016/12/13/technology/google-parent-company-spins-off-waymo-self-driving-car-business.html>

²⁶ <https://www.wired.com/2012/09/sb1298-signed-governor/>

²⁷ <https://roboticsbiz.com/history-of-autonomous-vehicles-timeline/>

²⁸ <https://medium.com/swlh/autonomous-driving-market-overview-b8c71d81c072>

²⁹ <https://www.motortrend.com/news/self-driving-cars-faq-can-i-buy-one/>

³⁰ 一方で、Uber 社や Lyft 社が提供する現行の配車サービスにおける車両コストは、これらのプラットフォームを通じて報酬を得るギグワーカーの運転手が負担しているが、自動運転車による配車サービス (自動運転タクシーサービス) では、特定の企業が多数の自動運転車を保有又はリースしてサービスを提供することになり、こうした配車サービスに安価な料金を求める消費者ニーズを踏まえると大規模なサービス展開を行うことは容易でないとみる声もある。
<https://www.nytimes.com/2020/05/29/business/ownership-autonomous-cars-coronavirus.html>

³¹ <https://www.grid.news/story/technology/2022/09/06/autonomous-vehicles-were-supposed-to-push-gas-powered-cars-off-the-road-in-the-future-will-we-ever-get-there/>

歩行者が横断歩道のないところを横切るという交通規則等に反する想定外の「エッジケース<edge case>」シナリオに関するプログラムが欠如していた³²⁾ことが主な事故原因の一つと報告している³³⁾。

このニュースはメディアで大きく取り上げられ、自動運転車の安全性保証が大きな問題となった。GM 社は 2019 年 7 月、同年末までに自動運転タクシーサービスを導入する当初の計画を撤回³⁴⁾した。Morgan Stanley 社は 2019 年 9 月、業界全体の発展の遅れや安全運転者の必要性が続いていることを踏まえて自動運転タクシー開発をリードする Waymo 社の企業価値評価額を 40%引き下げた³⁵⁾。このように現行の技術水準での自動運転タクシーの商用化にはまだ相当のテスト走行を要することなどが業界で認識され始めたことなどを背景に、自動運転分野の企業成長や投資が鈍化し始めた。先進テクノロジーに関するハイプ・サイクル(Hype Cycle)レポート³⁶⁾を毎年発表している米 IT リサーチ/アドバイザリ企業の Gartner 社は、2018 年以降、自動運転車は、「幻滅期(Trough of Disillusionment、過度な期待が弱まり失敗を経てより良い実用化への道を探る期間)」に入ったと位置付けている³⁷⁾。

図表 4: 自動運転技術分野に対するコロナ危機前後の累積投資額推移(予測)比較
(2015~2025 年、単位: 十億ドル)



出典: Financial Times³⁸⁾

³²⁾ その他、衝突時、人・物を検知するための近接範囲カメラや超音波センサーが使用されていなかったことなども事故を防止できなかった要因として指摘されている。

³³⁾ https://cctedu.net/lustersoft_file/ueditor/file/20191111/1573436942679082425.pdf

³⁴⁾ <https://medium.com/swlh/uber-regains-its-moral-compass-and-establishes-a-safety-culture-after-tragedy-shakes-its-av-73ac5929f7bd>

³⁵⁾ <https://www.freep.com/story/money/cars/general-motors/2019/07/24/gms-self-driving-car-robot-taxi/1814029001/>

³⁶⁾ <https://www.cnbc.com/2019/09/27/waymo-valuation-cut-40percent-by-morgan-stanley-to-105-billion.html>

Gartner 社は、先進的な技術に対する社会的な期待や採用・実用化に向けたライフサイクルを、時間軸と主に①黎明期 (Innovation of Trigger)、②過度な期待のピーク期 (Peak of Inflated Expectations)、③幻滅期 (Trough of Disillusionment)、④啓蒙期 (Slope of Enlightenment)、⑤生産期 (Plateau of Productivity) の 5 段階に分けて分析したレポートを毎年発表している。 <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>

³⁷⁾ <https://www.bloomberg.com/news/newsletters/2021-04-14/hyperdrive-daily-self-driving-s-trough-of-disillusionment-continues>

³⁸⁾ <https://www.ft.com/content/96d3eef7-7f52-46e3-a8a8-aeb668472034>

世界の主要自動車メーカーやテクノロジー企業等が 2004～20 年までに自動運転車技術に投資した額は、合計およそ 1,500 億ドルに上る。2025 年までの 5 年間で更に約 1,500 億ドルが同技術に投資されるとの見込みも示されていたが、コロナ危機の影響で 2020 年から少なくとも 3 年間は企業が研究開発予算や投資支出を抑制する傾向にあると予想され³⁹、同技術への投資額も縮減するとみられている⁴⁰。こうした傾向において、業界における自動運転タクシー実現に向けた関心は依然として高いものの、今後何年かかるか分からない莫大な先行投資を必要とする取り組みを今後も継続できるのは、潤沢な資金を有する大手自動車メーカーやテクノロジー企業に絞られつつある⁴¹。さらに大手自動車メーカーにおいても、Ford 社が 2022 年 10 月末、Volkswagen 社と共同出資していた米自動運転システムの有カスタートアップ Argo AI 社への支援打ち切りと閉鎖を発表した。Ford 社は第 3 四半期の決算報告の中で、「2021 年までにレベル 4 の高度運転支援技術を広く市場展開できると予測していたが、状況は変わった」とし、投資先を Argo AI 社が開発中のレベル 4 技術から自社開発のレベル 2+ / レベル 3 技術にシフトする戦略的決定を下したことを明らかにしている⁴²⁴³。Argo AI 社の閉鎖を受けて、自動運転技術を専門とする米コンサルティング企業 Brulte & Company 社の共同創設者である Grayson Brulte 氏は、「業界は Waymo 社と Cruise 社の一騎打ちという状況になっている。現段階で業界統合が進んでいるのは健全なことだ」と述べている⁴⁴。SAE レベル 4 自動運転市場において投資家の関心は、実現にまだ時間がかかると予想される自動運転タクシー分野よりも、短期的に実現可能で利益が見込めるユースケースとして、予め決まった区域内において一定のルートで運用される物の配送や高速道路に限定された自動運転トラック技術などの物流分野に移っており⁴⁵、次章ではこうした業界トレンドと各分野をリードする主要企業の取り組みの最新動向などについて紹介する。

2 米国における自動運転技術の実用化に関する動向

(1) SAE レベル 4 以上の自動運転市場におけるユースケース

図表 5 に示すように、SAE レベル 4 以上の自動運転技術の主なユースケースは、用途(輸送対象が人か物資か)と自動運転車を運用する環境(駐車場や空港などクローズド環境か、市道や高速道路等のオープン環境か)に応じて 6 つの分野に分けられる。商用展開の潜在性という点では、一般的に、固定ルートを低速で走行し、交通状況がシンプルで人の移動範囲も予測可能なクローズド環境の方が自動運転技術の導入が容易と考えられている。しかし、オープン環境での自動運転技術は、技術面等における参入のハードルは高いものの市場の潜在性ははるかに高いことから、大手自動車メーカーや巨大テクノロジー企業などが中心となり、特に自動運転タクシーの実現に向けた技術開発に膨大な資金を投資してきた。こうした中で近年は、サービスとして最大でリーチできる市場規模(TAM: Total Addressable Market)が大きいことやサービスの商用化における前途がより有望であること(後述参照)などを背景に、Waymo 社や Aurora Innovation 社等の自動運転タクシー技術を手がけるパイオニア企業が、既存の自社技術をトラック車両に

³⁹ <https://www.foley.com/en/insights/publications/2021/03/impacts-of-covid-19-on-automotive-suppliers>

⁴⁰ <https://medium.com/swlh/autonomous-driving-market-overview-b8c71d81c072>

⁴¹ <https://www.ft.com/content/96d3eef7-f52-46e3-a8a8-aeb668472034>

⁴² https://media.ford.com/content/dam/fordmedia/North%20America/US/2022/10/26/2022ford_final_3q.pdf

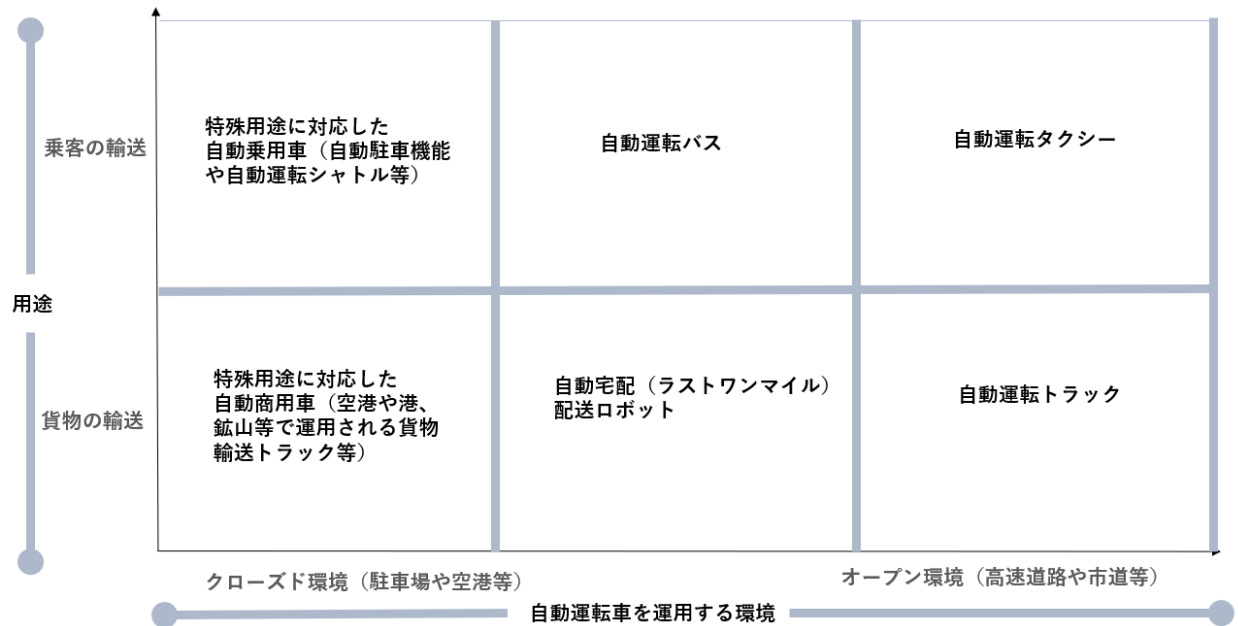
⁴³ Volkswagen 社も同時期に Argo AI 社への投資打ち切りを発表している。<https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/volkswagen-focuses-development-for-autonomous-driving-15271>

⁴⁴ <https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2022/10/26/argo-ai-fords-self-driving-venture-with-volkswagen-is-shutting-down/?sh=153b2dcd7241>

⁴⁵ <https://www.weforum.org/agenda/2021/11/trends-driving-the-autonomous-vehicles-industry/>

対応させることで自動運転タクシーだけでなく自動運転トラックの開発にも参入する動きが、業界の高い注目を集めるようになってきている⁴⁶。

図表 5: SAE レベル 4 以上の自動運転技術の主なユースケース



出典: BCG の情報⁴⁷を基に作成

以下では、このような傾向を踏まえて、特に、米国における完全自律型の自動運転タクシー分野の技術開発をこれまでリードしてきた米主要テクノロジー企業や、自動運転トラック分野で注目を集める米主要プレイヤーの動きを紹介する。また、完全な自動運転車の実現においては、自動運転タクシー開発を手がける主要企業とは一線を画し、開発中の先進運転支援システム(ADAS)に関するデータを幅広く自社車両のオーナーから得て完全な自動運転車の実現を目指す Tesla 社や、近年業界で大きな話題を集めている一方、その開発実態の大部分は謎に包まれている Apple 社による完全自動運転対応の EV 開発の動向についても取り上げる。

(2) 完全自律型の自動運転タクシーの開発で注目を集める主要プレイヤーの動き

米国の自動運転業界では、コロナ危機の影響で資金不足に陥っていた Zoox 社を Amazon 社が 2020 年 6 月に 12 億ドルで買収することを発表⁴⁸したほか、同年 12 月には Uber 社が自社自動運転技術部門 (Advanced Technologies Group: ATG) を Aurora Innovations 社に売却し戦略提携することを公表⁴⁹、また 2021 年 4 月には Lyft 社の自動運転部門である Level 5 を Toyota 社が 5.5 億ドルで買収することが明らかになり⁵⁰、2022 年 10 月末には Ford 社が Argo AI 社の支援打ち切りと閉鎖を発表するなど、有力企業の M&A や提携等による業界再編が続いている。自動運転車に適した AI (ディープラーニング) アーキテクチャの設計・テストは非常に困難で高いコストがかかる。ベンチャー・キャピタル (VC) からの資金を受け短

⁴⁶ <https://web-assets.bcg.com/c5/a1/a6ba798d4f13b0fe45f3c0a44fb5/bcg-heading-to-a-future-with-driverless-freight-transportation-aug2021-eng.pdf> (p.11-17)

⁴⁷ 前の脚注に同じ (p.11)

⁴⁸ <https://arstechnica.com/cars/2020/06/amazon-pays-1-2-billion-for-self-driving-startup-zoox/>

⁴⁹ <https://www.theverge.com/2020/12/7/22158745/uber-selling-autonomous-vehicle-business-aurora-innovation>

⁵⁰ Lyft 社は、今後は消費者向けインターフェースや、パートナー企業の自動運転車の管理等のサービスに注力する方針である。<https://www.reuters.com/business/autos-transportation/lyft-sells-self-driving-tech-unit-toyota-550-mln-moves-up-profit-timeline-2021-04-26/>

期間で成果を上げることに苦勞しているスタートアップや、コロナ危機の影響で大打撃を受けた配車サービス企業など、収益性の高いビジネスモデルを持たない企業は、単独で完全運転自動化を実現する技術開発を継続することが難しくなっており、資金力のある自動車メーカーや大手テクノロジー企業と手を組む傾向が強まっている⁵¹。

米国では、業界でいち早く自動運転技術の開発を開始した Alphabet 社傘下の Waymo 社を筆頭に、複数の(AI)テクノロジー企業が主に提携先の主要 OEM 及び配車サービス企業から資金提供を受けて、自動運転タクシーのシステム開発を推進している。これらの企業の中には、物流分野における自動運転技術の活用を見越して、自動宅配や自動運転トラック技術の開発にも着手する例も多くみられるようになっている。

図表 6: 自動運転タクシーのソフトウェアプラットフォームを開発する米国の主要プロバイダーの概要

	Waymo 社	Cruise 社	Aurora Innovation 社	Argo AI 社
創設年	2016 年 ※2009 年に Google 社 (当時)の自動運転プロジェクトからスタートし 2016 年にスピノフ	2013 年	2017 年	2016 年
拠点	カリフォルニア州マウンテンビュー	カリフォルニア州サンフランシスコ	ペンシルバニア州ピッツバーグ	ペンシルバニア州ピッツバーグ
当該プロバイダーに出資する主な企業	Alphabet 社、AutoNation 社、Magna 社	GM 社が 2016 年に約 10 億ドルで買収。その他、Honda 社、Microsoft 社、Softbank 社、Walmart 社も出資	Hyundai 社、Toyota 社、Uber 社 ※2021 年 11 月にナスダック市場に SPAC 上場 ⁵²	Ford 社、Lyft 社、Volkswagen 社
主な提携先企業(OEM と配車サービス企業)	日産自動車、Renault 社、Stellantis 社、Volvo 社	GM 社、Honda 社	Toyota 社、Uber 社	Ford 社、Volkswagen 社、Lyft 社
開発中の自動運転車のテスト走行を実施している主な都市	ロサンゼルス、ニューヨーク、フェニックス、サンフランシスコ	フェニックス、サンフランシスコ	マウンテンビュー、ピッツバーグ、サンフランシスコ、ダラス	オースティン、マイアミ、ピッツバーグ、ワシントン DC、ミュンヘン(ドイツ)
カリフォルニア州における自動運転テスト車両の①合計走行距離と②自動運転機能を解除した頻度(2020 年 12 月~2021 年 11 月の 1 年間) ⁵³	①約 232.6 万マイル (約 374.3 万 km) ②292 回	①約 87.6 万マイル (約 141 万 km) ②21 回	①約 1.3 万マイル (約 2 万 km) ②9 回	①約 3.7 万マイル (約 5.9 万 km) ②1 回
物流分野(自動宅配、自動運転トラック技術分野)における参入状況	2017 年に大型自動運転トラックの開発に着手 ⁵⁴ 。2020 年 3 月に自動運転配送部門「Waymo Via」を公式ローンチ ⁵⁵	2020 年 11 月より Walmart 社と提携し、自動運転車による宅配サービスのパイロットプログラムを開始 ⁵⁶	2019 年後半までに、自動運転技術の開発の焦点を自動運転タクシーから自動運転トラックに移している ⁵⁷	2021 年 9 月より Walmart 社と提携し、自動運転車による宅配サービスの実証テストを開始 ⁵⁸

⁵¹ <https://bdtechtalks.com/2021/04/29/self-driving-car-market-consolidation/>

⁵² <https://www.theverge.com/2021/11/4/22763180/aurora-av-spac-merger-nasdaq-publicly-traded-urmsom>

⁵³ <https://www.eetimes.com/california-2021-av-test-drive-data-is-encouraging/>

⁵⁴ <https://www.cbsnews.com/news/waymo-resuming-self-driving-truck-tests-in-phoenix-area-freeways/>

⁵⁵ <https://www.cnbc.com/2020/03/02/waymo-launches-delivery-service-after-raising-2point25-billion.html>

⁵⁶ <https://techcrunch.com/2022/04/12/cruise-expands-walmart-autonomous-delivery-pilot-in-arizona/>

⁵⁷ <https://www.wired.com/story/rucks-move-past-cars-road-autonomy/>

⁵⁸ <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2021/09/15/ford-argo-ai-and-walmart.html>

出典: EE Times⁵⁹及び各種資料を基に作成

a. Waymo 社

2009 年に業界でいち早く自動運転開発プロジェクトを立ち上げた Google 社から発展し 2016 年にスピンオフして誕生した Waymo 社は、完全自動運転技術開発における世界的リーダーである⁶⁰。Waymo 社の自動運転技術システムは、LiDAR、カメラ、レーダー、そしてサイレンなどの音を検知するマイクから構成されており、2011 年からハードウェアやセンサーの独自開発を行ってきた⁶¹。Waymo 社によると、同社の自動運転システム「Waymo Driver⁶²」は、300 メートルの範囲にあるものを 360 度カバーし 3D で見られるレーザー (LiDAR) や、通常運転手が見落としがちな車両の下や周囲にある物体も検知できるレーダーのほか、緊急車両の認識や複雑な運転操作を行える機械学習技術も搭載しているという⁶³。Waymo 社は 2018 年 12 月から、アリゾナ州フェニックスの一部地域で初の自動運転タクシーサービス「Waymo One」を商用展開している。サービス開始当初はセーフティドライバー同乗の車両のみであったが、2020 年 10 月から完全無人車両サービスの一般提供が正式に開始されており、フェニックスのサービス提供地域内では誰でも専用アプリを通じて年中無休、24 時間体制で配車を依頼できる⁶⁴。同社は 2018 年 8 月、カリフォルニア州サンフランシスコでも同サービスの試験運行を開始し、2022 年 3 月末に同社の従業員を対象として、完全無人の自動運転タクシーサービスの提供を開始している⁶⁵。また Waymo 社は、ロサンゼルスとニューヨークでもマッピング作業を開始して将来的なサービス提供に向けた準備を進めており⁶⁶、2022 年 10 月には、ロサンゼルスで今後数カ月以内にサービスを開始することを発表している⁶⁷。Waymo One サービスの料金は、フェニックスでは 2022 年 1 月時点で 1 分当たりおよそ 1 ドルかかったことが報告されており⁶⁸、Uber 社の配車サービス (有人運転) が 1 分当たり平均およそ 40 セントであるのと比較するとやや割高である⁶⁹。また Waymo 社は、2017 年より同社の自動運転技術を基盤とする Class 8 の大型自動運転トラックの開発にも着手し、アリゾナ州、ジョージア州、フロリダ州などで実証テストを進めており、2020 年 10 月には世界最大規模のトラックメーカー Daimler 社との提携を発表している (詳細後述)⁷⁰。

図表 7: 「Waymo One」サービスに用いられている Waymo 社の自動運転車両と専用アプリ

⁵⁹ <https://www.eetimes.com/robotaxi-software-platforms-on-the-move/>

⁶⁰ Waymo 社は、2015～2020 年にかけてカリフォルニア州で約 500 万マイル (約 800 万 km) に上る距離を自動運転車でテスト走行し、他の競合企業に差をつけており、セーフティドライバーが運転を引き継ぐ自動運転解除数 (disengagement) も約 3 万マイルあたり 1 回の割合にとどまっている (2020 年時点)。<https://www.eetimes.com/robotaxi-software-platforms-on-the-move/>

⁶¹ <https://www.zdnet.com/article/the-top-3-companies-in-autonomous-vehicles-and-self-driving-cars/>

⁶² <https://waymo.com/waymo-driver/>

⁶³ <https://www.motorverso.com/waymo-vs-tesla/#Waymo>

⁶⁴ <https://techcrunch.com/2018/12/05/waymo-launches-self-driving-car-service-waymo-one/>

<https://blog.waymo.com/2020/10/waymo-is-opening-its-fully-driverless.html>

⁶⁵ <https://blog.waymo.com/2022/03/taking-our-next-step-in-city-by-bay.html>

⁶⁶ <https://www.engadget.com/2019-10-07-waymo-cars-map-los-angeles.html>

<https://techcrunch.com/2021/11/03/waymo-self-driving-vehicles-are-headed-to-nyc-for-a-mapping-operation/>

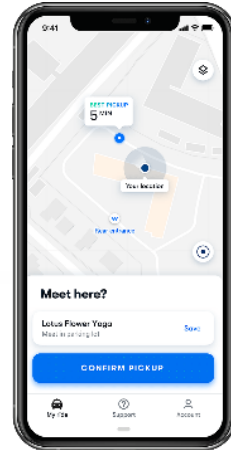
⁶⁷ <https://blog.waymo.com/2022/10/next-stop-for-waymo-one-los-angeles.html>

⁶⁸ <https://www.cnbc.com/2022/01/08/heres-what-it-was-like-to-ride-in-a-waymo-with-no-driver-in-phoenix.html>

⁶⁹ <https://techcrunch.com/2022/02/28/waymo-to-begin-charging-for-robotaxi-rides-in-san-francisco/>

⁷⁰ <https://www.cbsnews.com/news/waymo-resuming-self-driving-truck-tests-in-phoenix-area-freeways/>

<https://www.cnbc.com/2020/03/02/waymo-launches-delivery-service-after-raising-2point25-billion.html>
<https://www.theverge.com/2020/10/27/21536048/waymo-daimler-driverless-semi-trucks-cascadia-freightliner>



出典: Waymo⁷¹

b. (GM)Cruise 社

Cruise 社は、2013 年にサンフランシスコに創設された自動運転システムソフトウェアの開発を手がけるスタートアップで、2016 年に GM 社が約 10 億ドルで買収した⁷²。Cruise 社は GM 社による買収後も積極的に資金調達を行っており、Honda 社、Softbank 社、Microsoft 社⁷³、Walmart 社などから投資を受け、2021 年 4 月には直近の資金調達ラウンドで 27.5 億ドルを調達し、同社の企業価値は 300 億ドル以上に達している⁷⁴。2015 年からサンフランシスコで自動運転タクシーのテスト走行を開始していた Cruise 社は、2020 年 10 月から同市でセーフティドライバーを同乗させない完全無人でのテスト運用を開始、カリフォルニア州陸運局 (California Department of Motor Vehicles: DMV) の許可を得て 2022 年 2 月からサンフランシスコの限定地域で同州初の商用サービスを展開している⁷⁵。同社は 2022 年 6 月、カリフォルニア州公共事業委員会 (California Public Utilities Commission: CPUC) から有料の無人配車サービス展開に関する最終承認を得たことで、米国主要都市で初めて商用無人自動運転配車サービスを提供する事業者となった⁷⁶。なお、Cruise 社の無人配車サービスは現在、交通量の少ない夜間 (午後 10 時～午前 5 時 30 分) に限定されている⁷⁷。

Cruise 社は、2022 年末までにドバイ (アラブ首長国連邦) で自動運転タクシーの試験走行を開始する予定である⁷⁸。Cruise 社及び GM 社は、2030 年までに自動運転タクシー車両を 100 万台まで増やすことや、2025 年までに完全自律型の自家用車の販売を開始するといった野心的な目標を掲げており⁷⁹、自動運転車両の製造コストを下げるため、Cruise 社は 2022 年 9 月、半導体チップを独自に開発したことを明らかにしている。このチップは、同社が 2020 年に発表したハンドル等の制御装置のない自動運転 EV シャトル「Cruise Origin」に搭載される予定である⁸⁰。

また Cruise 社は、2020 年 11 月より米小売りチェーン大手の Walmart 社と提携し、同社の自動運転タクシー車両を用いた宅配サービスのパイロットプログラムを開始している。現在同プログラムは、アリゾナ州ス

⁷¹ <https://waymo.com/waymo-one/>

⁷² <https://eu.detroitnews.com/story/business/autos/general-motors/2016/05/13/gm-cruise-automation-acquisition/84323534/>

⁷³ Cruise 社と GM 社は 2021 年 1 月、Microsoft 社と長期にわたる戦略提携を結び、Microsoft 社のクラウド・エッジコンピューティングプラットフォーム「Azure」を活用し、独自の自律型車両ソリューションを大規模商用化する計画を明らかにしている。
<https://news.microsoft.com/2021/01/19/cruise-and-gm-team-up-with-microsoft-to-commercialize-self-driving-vehicles/>

⁷⁴ <https://www.autonews.com/mobility-report/cruise-raises-275-billion-walmart-others>

⁷⁵ <https://www.therobotreport.com/cruise-opens-driverless-robotaxi-service-sf-public/>

⁷⁶ <https://www.cnbc.com/2022/06/02/cruise-gets-green-light-for-commercial-robotaxis-in-san-francisco.html>

⁷⁷ <https://getcruise.com/rides/>

⁷⁸ <https://www.thenationalnews.com/uae/2022/02/13/dubai-to-start-driverless-taxi-service-by-2023/>

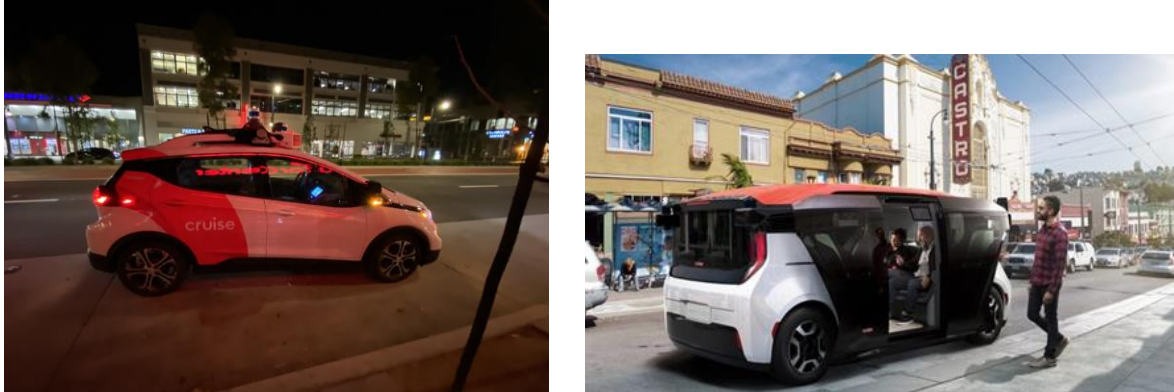
⁷⁹ <https://www.cnbc.com/2021/10/07/gm-backed-cruise-targets-1-million-self-driving-vehicles-by-2030.html>

<https://www.theverge.com/2022/1/5/22867455/gm-sell-autonomous-vehicles-personally-owned-timeline>

⁸⁰ <https://www.engadget.com/gm-cruise-making-its-own-chips-self-driving-vehicles-051402952.html>

cottsdale)とチャンドラー(Chandler)、メサ(Mesa)、フェニックス、テンピ(Tempe)における Walmart 8 店舗で実施されており⁸¹、2023 年から他の州にも対象地域を拡大展開する方針である⁸²。

図表 8: (GM)Cruise 社のサンフランシスコでの自動運転タクシーサービスで利用されている「Chevy Bolt EV」車両(左)と 2022 年後半に GM 社の工場で製造開始予定の「Cruise Origin」(右)



出典: JETRO/IPA New York 撮影、GM Authority⁸³

c. Aurora Innovation 社

Aurora Innovation 社は、Google 社の自動運転車プロジェクトを主導していた Chris Urmson 氏と、Tesla 社で自動運転プログラムを統括していた Sterling Anderson 氏、カーネギーメロン大学のロボティクス分野の准教授である Drew Bagnell 氏の 3 名により 2017 年に創設された自動運転システムの開発を手がけるスタートアップである⁸⁴。同社は当初、運転手のいない Uber 社のような配車サービス実現に向けた自動運転タクシーサービス技術に注力していたが、自動運転技術の大規模なシステム導入は乗用車よりもトラックの方が早いと考え、2019 年後半までにその開発の焦点を自動運転トラックに移している⁸⁵。Aurora 社は、あらゆるメーカーの車両で動作可能なハードウェアとソフトウェアで構成される自動運転プラットフォーム「Aurora Driver⁸⁶」の開発を進めており、自動運転タクシー分野で Uber 社や Toyota 社⁸⁷と、自動運転トラック分野で Volvo 社といった大手配車サービス企業及び OEM と提携し、ピッツバーグ、ダラス、サンフランシスコのベイエリアでテスト走行を実施している⁸⁸。Uber 社については、前述の通り 2020 年 12 月に Aurora 社が同社の自動運転技術開発部門(ATG)を買収しており、10 年間の戦略提携契約において Uber 社が Aurora 社に 4 億ドルを出資するほか、Uber 社の配車サービス事業におけるオペレーション関連のデータに Aurora 社がアクセスできるようにすることなどで合意している⁸⁹。

⁸¹ <https://getcruise.com/delivery/walmart-delivery/>

⁸² <https://techcrunch.com/2022/04/12/cruise-expands-walmart-autonomous-delivery-pilot-in-arizona/>

⁸³ <https://gmauthority.com/blog/2022/04/gms-cruise-autonomous-vehicles-will-operate-in-all-of-san-francisco-by-end-of-2022/>

⁸⁴ <https://www.theverge.com/2021/11/4/22763180/aurora-av-spac-merger-nasdaq-publicly-traded-urmson>

⁸⁵ <https://www.wired.com/story/rucks-move-past-cars-road-autonomy/>

⁸⁶ Aurora Driver は、一連のセンサー(LiDAR)と AI ソフトウェア、ハードウェア(カメラ等)から構成される。Aurora 社は 2019 年に次世代 LiDAR の開発を手がけるスタートアップ Blackmore 社を買収し、独自 LiDAR の開発にも注力している。

<https://aurora.tech/aurora-driver>

<https://aurora.tech/blog/aurora-to-acquire-blackmore-industry-leading-lidar>

⁸⁷ Aurora 社は 2021 年 2 月、Toyota 社や及び Denso 社と長期戦略提携契約を締結し、Toyota 社の「Sienna」車両モデルへの Aurora Driver 搭載とテスト走行のほか、Denso 社とは主な自動運転コンポーネントの量産について、Toyota 社とは自動運転車両の保険やメンテナンスを含む包括的なサービスプラットフォームの提供について、それぞれ協力することを明らかにしている。<https://techcrunch.com/2021/02/09/aurora-to-strikes-deal-with-toyota-denso-to-develop-test-self-driving-sienna-minivans/>

⁸⁸ <https://techcrunch.com/2022/03/23/aurora-unveils-test-fleet-of-autonomous-toyota-sienna-robotaxis/>

⁸⁹ <https://techcrunch.com/2020/12/07/uber-sells-self-driving-unit-uber-atg-in-deal-that-will-push-auroras-valuation-to-10b/>、<https://futuretransport-news.com/our-blueprint-for-launching-our-ride-hailing-business-in-2024/>

Aurora 社は 2021 年 11 月、特別買収目的会社 (SPAC) である Reinvent Technology Partners Y 社との合併により、18 億ドルでナスダック市場に上場した⁹⁰。同社はこの上場に先立ち、商用トラックを保有するキャリア (Carrier) やフリートオーナーを対象とするサブスクリプション形式の自動運転トラックパッケージソリューション「Aurora Horizon」の商用展開を 2023 年後半に開始し、その 1 年後の 2024 年に同様の自動運転タクシーサービス「Aurora Connect」を立ち上げる計画を明らかにした (詳細後述)⁹¹。しかし同社の共同創設者兼 CEO である Urmson 氏は 2022 年 8 月、悪化する市場環境や提携企業のスケジュール遅延を理由に同社の自動運転トラックの商用化時期を 1 年遅らせて 2024 年前半までに行うことを発表しており、さらに、スケジュールの遅れに伴う追加資金を確保するため、Apple 社や Microsoft 社に事業を売却することや、株式非公開化、スピンオフ、資産売却、小規模の資金調達などのあらゆる措置を同氏が検討していたことも 2022 年 9 月の報道で明らかになっている⁹²。Aurora 社は 2022 年 11 月 2 日に発表した第 3 四半期決算報告の中で、2024 年半ばの商用サービス展開までに十分な技術開発資金を有していることを発表し、投資家の懸念払拭に努めている⁹³。

d. Argo AI 社

Argo AI 社は、Google 社の自動運転プロジェクトでハードウェア開発を担っていた Bryan Salesky 氏と Uber 社の自動運転車開発プログラムを主導していた Peter Rander 氏が 2016 年に創設した自動運転システムの開発を手がけるスタートアップで、主要 OEM では米 Ford 社が 2017 年に 10 億ドル、ドイツの Volkswagen 社が 26 億ドルをそれぞれ出資し、その技術開発を支援してきた⁹⁴。Argo AI 社の開発するプラットフォームには、公道で自動運転を活用するために必要なソフトウェア、ハードウェア、高解像度マップ、バックエンドサポートツールが含まれ⁹⁵、創設以来、カーネギーメロン大学やジョージア工科大学 (Georgia Institute of Technology) と提携し、自動運転車向けコンピュータービジョンや機械学習技術の研究等を推進してきた⁹⁶。Argo AI 社はこれまで、米国及びドイツの主要 8 都市 (パロアルト、デトロイト、ピッツバーグ、ワシントン DC、オースティン、マイアミ、ミュンヘン、ハンブルク) で開発中の自動運転プラットフォームのテスト走行を積極的に進め⁹⁷、2022 年 5 月にはマイアミとオースティンで車両にセーフティドライバーを同乗させない完全自動運転車のテスト走行を開始した⁹⁸。同社と Ford 社は、自動運転プラットフォームを配車サービス及び宅配サービス向けに活用することを想定しており、配車サービスについては 2021 年 7 月に Lyft 社との提携を発表し⁹⁹、2022 年 9 月末までにマイアミとオースティンで、Lyft 社のアプリケーションから Argo AI 社 (Ford 社) の自動運転車 (セーフティドライバーが同乗) を呼べるサービスが開始された¹⁰⁰。また宅配サービスについて両社は 2021 年 9 月、Walmart 社と提携し、マイアミ、オースティン、ワシントン DC の 3 都市で自動運転車による配送サービスを開始すると発表していた¹⁰¹。

Waymo 社や Cruise 社が独自の自動運転タクシー及び自動配送テクノロジーをエンド・ツー・エンドで運用管理し提供しているのに対し、Argo AI 社はあらゆる企業が自社の既存のソフトウェアプラットフォームに組

⁹⁰ <https://www.theverge.com/2021/11/4/22763180/aurora-av-spac-merger-nasdaq-publicly-traded-urmson>

⁹¹ <https://www.eetimes.com/aurora-accelerates-its-av-deployment-roadmap/>

⁹² <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-02/self-driving-ceo-floats-possible-sale-to-apple-or-microsoft?sref=2h1zKciy>

⁹³ <https://techcrunch.com/2022/11/02/aurora-says-it-has-enough-cash-to-commercialize-autonomous-trucks-by-2024/>

⁹⁴ <https://www.cnbc.com/2020/06/02/vw-closes-2point6-billion-investment-in-self-driving-startup-argo-ai.html>

⁹⁵ 具体的に Argo AI 社の自動運転プラットフォームは、車両の周囲を 360 度感知して車両を安全に走行させるソフトウェア及びハードウェアと、同社独自の長距離センサー (Argo LiDAR)、高解像度マップ、現場で自動運転車をサポートするためのクラウドツールから構成される。

<https://www.argo.ai/products/>

<https://www.iotworldtoday.com/2022/09/21/argo-ai-eyes-av-expansion-with-new-product-launch/>

⁹⁶ <https://www.ri.cmu.edu/argo-ai-collaborates-with-cmu-georgia-tech-researchers-on-self-driving-cars/>

⁹⁷ <https://www.iotworldtoday.com/2022/09/21/argo-ai-eyes-av-expansion-with-new-product-launch/>

⁹⁸ <https://techcrunch.com/2022/05/17/argo-ai-driverless-autonomous-vehicles-miami-austin/>

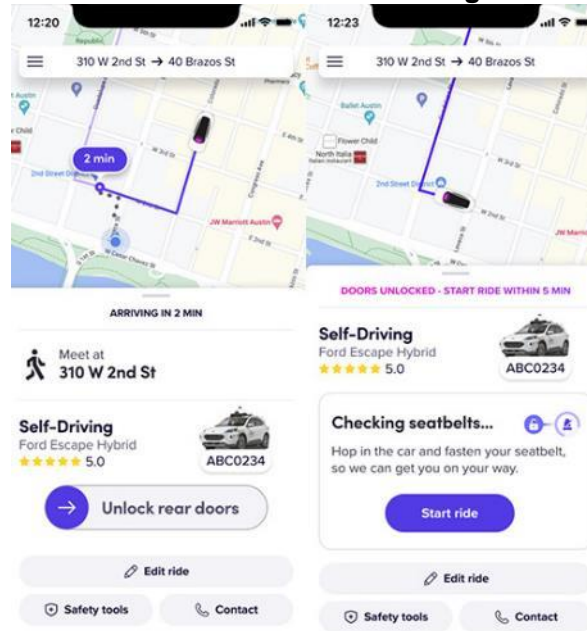
⁹⁹ <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/argo-ai-ford-lyft-launch-self-driving-ride-hail-service-miami-austin-2021-07-21/>

¹⁰⁰ <https://www.therobotreport.com/lyft-argo-ai-begin-robotaxi-rides-in-austin/>

¹⁰¹ <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2021/09/15/ford-argo-ai-and-walmart.html>

み込んで、自動運転車を活用した配車サービスや商品配送サービスを強化できるよう設計された一連の製品・サービスを発表しており、同社の中核的な自動運転プラットフォームのほか、車両管理システムや顧客サポートシステムなどを個別に提供し、顧客企業がニーズに応じてこうしたサービスを自由に組み合わせて利用できるようにすることで差別化を図ってきた¹⁰²。

図表 7: Lyft 社のアプリを使用してドアの解除等が可能な Argo AI 社 (Ford 社) の自動運転車



出典: The Robot Report¹⁰³

順調に技術商用化への道を進んでいると思われた Argo AI 社であるが、2022 年 10 月末に Ford 社が発表した同社への支援打ち切りと事業閉鎖は、景気悪化の懸念が増す中で自動運転技術開発への莫大な投資を継続することの難しさを新たに露呈することとなった。Argo AI 社のエンジニアなど一部の従業員は、Ford 社又は Volkswagen 社の自動運転技術部門で雇用される見込みであるが、具体的な人数や Argo AI 社が開発中の技術の保有先については明らかにされていない¹⁰⁴。Ford 社は、2022 年第 3 四半期決算報告の中で、Argo AI 社の清算で 27 億ドルの現金支出を伴わない税引き前減損を計上し、結果として 8,270 万ドルの損失を出したことを明らかにしており¹⁰⁵、Ford 社の CEO、Jim Farley 氏は、「(Argo AI 社への投資を通じて) 完全な自動運転車実現までの道のりは非常に長いことが分かった」とした上で、「自動運転技術に業界が注ぎ込んだ額は 1,000 億ドル相当と推定されるが、未だに利益につながる大規模なビジネスモデルを誰も定義できていない」と述べている¹⁰⁶。Ford 社は、今後は既存の技術水準で提供可能なレベル 2+ / レベル 3 技術の自社開発に注力する方針であり、Volkswagen 社も同社の子会社で自動運転ソフトウェアを手がける Cariad 社を通じた技術開発に専念し直すことを明らかにしている¹⁰⁷。

¹⁰² <https://cleantechnica.com/2022/05/20/ford-backed-argo-ai-begins-driverless-taxi-operations-why-this-is-big-news/amp/>

<https://techcrunch.com/2022/05/17/argo-ai-driverless-autonomous-vehicles-miami-austin/>

¹⁰³ <https://www.therobotreport.com/lyft-argo-ai-begin-robotaxi-rides-in-austin/>

¹⁰⁴ <https://techcrunch.com/2022/10/26/ford-vw-backed-argo-ai-is-shutting-down/>

¹⁰⁵ https://shareholder.ford.com/files/doc_financials/2022/q3/Ford-Fulfills-Earnings-Guidance-Has-Strong-Cash-Flow-in-Q3-Will-Accelerate-Development-of-L2-L3-ADAS-Technology.pdf

¹⁰⁶ <https://www.wired.com/story/ford-abandons-the-self-driving-road-to-nowhere/>

¹⁰⁷ <https://www.theverge.com/2022/10/26/23423998/argo-ai-shut-down-ford-vw-av-self-driving>

(3) Tesla 社による完全自動運転車実用化に向けた取り組み状況

a. Tesla 社が提供する自動運転支援機能

2021 年における Tesla 社の電気自動車 (EV) の販売台数は約 93 万 6,000 台 (世界の EV 市場シェアの約 14% を占める) に上り¹⁰⁸、EV 市場の成長を牽引する EV メーカーとして市場での地位を確立している Tesla 社であるが、同社は自動運転技術開発にも注力しており、同社の CEO である Elon Musk 氏の発言と共にその取り組みが業界の大きな関心を集めている。2014 年 9 月に Tesla 社が初めてリリースした「オートパイロット (Autopilot)」は、SAE レベル 2 に相当する自動運転支援機能 (ACC 及び車線維持支援) を提供するシステムで、現在、同時期以降に製造された同社の全てのモデル車両に標準搭載されている¹⁰⁹。同社はその後 2020 年 10 月に、米国の一部の Tesla 車オーナーを対象に、オートパイロットより高性能な「フル・セルフ・ドライビング (FSD)」ベータ版の提供を開始したが、「完全自動運転 (Full Self Driving)」という名称とは裏腹に、現時点でその機能は運転手の監視が必要な自動運転支援機能にとどまっている¹¹⁰。

図表 8: Tesla 社が提供する主な自動運転機能 (2022 年 10 月時点)

	オートパイロット機能 (Autopilot)	拡張版オートパイロット機能 (Enhanced Autopilot)	フル・セルフ・ドライビング機能 (Full Self Driving: FSD) ※現在ベータ版として提供
利用条件	2014 年 9 月以降に製造された Tesla 社の全モデル車両に標準搭載されている	利用には、6,000 ドルの追加料金がかかる (標準オートパイロット機能からアップグレードする場合)	・Tesla 車両に搭載されたシステム上で計測される Tesla 社の独自運転手安全性スコア (Tesla Safety Score) で高スコアを獲得している一部の運転手に限定される ・利用には 1 万 5,000 ドルの追加料金がかかる (標準オートパイロット機能からアップグレードする場合) ※サブスクリプション形式での利用 (標準オートパイロット機能からのアップグレードの場合は月額 199 ドル、拡張版からのアップグレードの場合は月額 99 ドル) も可能
システムに含まれる主な自動運転 (支援) 機能	<ul style="list-style-type: none"> ・交通量感知型クルーズコントロール (TACC): 交通環境に応じて車両の走行スピードを制御する ・自動操縦 (Autosteer): 車線を検知して同じ車線を走行し続ける 	標準オートパイロット機能に加えて以下の機能を利用できる。 <ul style="list-style-type: none"> ・オートパイロットナビゲーション: 高速道路の入り口ランプから出口ランプまで、車線変更の提案や正しい出口に導くなど、車両を積極的に誘導する ・自動レーン変更: 自動操縦作動時に高速道路で隣の車線への移動をアシストする ・自動駐車: ワンタッチで車両の縦列 / 直角駐車を行う ・サモン (Summon): モバイルアプリケーションを介して狭い場所への車の出し入れをサポートする ・スマート・サモン (Smart summon): 車両を自分のいる場所まで遠隔から呼び寄せることができる 	拡張版オートパイロット機能に加えて以下の機能を利用できる。 <ul style="list-style-type: none"> ・停止標識や信号機の認識: 道路の停止標識や信号機を認識し、徐行や停止を自動で行う ・市街地での自動操縦: 提供時期は未定であるが今後追加予定の機能
システム作動時の運転	必要	必要	必要

¹⁰⁸ <https://www.teslarati.com/tesla-q1-2022-75-percent-electric-vehicle-market-share/>

¹⁰⁹ <https://screenrant.com/tesla-enhanced-autopilot-vs-full-self-driving-differences/>

¹¹⁰ <https://www.businessinsider.com/tesla-full-self-driving-beta-videos-show-flaws-wide-release-2021-3>

手による監視の必要性			
------------	--	--	--

出典: Tesla、Screen Rant、Tom's Guide の情報¹¹¹を基に作成

Tesla 社は、今後の技術進歩に応じてシステムソフトウェアを OTA(無線ネットワーク経由)でアップデートすることで、FSD の完全自動運転化を段階的に進める考えであり、2022 年 9 月末には米国及びカナダにおける FSD ベータプログラムの対象者が計 16 万人に拡大し、同年末までに世界展開する方針を明らかにしている¹¹²。この背景には、2022 年 7 月時点で計 3,500 万マイルに達している FSD を搭載した Tesla 車両のテスト走行距離を同年末までに計 1 億マイルに到達させるという目標を達成させるためにユーザー層を広げたい Musk 氏の野心的な狙いがあるが、同氏は、FSD ベータ版プログラムの世界展開においては各国規制当局の承認が必要になることから、自動運転機能に関する規制が特に厳しい欧州諸国で、その開始時期が遅れる可能性について留意している¹¹³。開発中の自動運転技術に関するデータを Tesla 車のオーナーから得て、自動運転の実現に向けた機能の向上に活かすという Tesla 社のビジネスモデルに対する規制当局からの監視の目は厳しくなっており、米運輸省道路交通安全局(NHTSA)はオートパイロット機能を動作中の Tesla 車による停車中の緊急車両への衝突事故が相次いだことを受け、2021 年 8 月から調査を開始しているほか、ドイツ政府やカリフォルニア州運輸局(DMV)は、オートパイロットや FSD に関する広告の表記や機能説明が現時点で自律走行を既の実現できるかのような印象を与えるとして、是正するよう求めている¹¹⁴。

b. カメラ映像(ビジョン)ベースの自律走行に注力する Tesla 社

上述した Waymo 社や(GM)Cruise 社、Argo AI 社、Aurora 社を含め、現在自動運転技術開発を手がける大部分の企業は、レーザー光を照射し物体に当たって跳ね返ってくるまでの時間を計測することで物体までの距離をミリメートル単位で正確に測れる LiDAR を利用しており、LiDAR から得られたデータを基に自動運転に役立つ高精度地図を作成している¹¹⁵。これに対し Tesla 社は、カメラからの映像データを AI が分析して物体の動きを理解し予測するコンピュータービジョン方式を採用している。Musk 氏は、LiDAR の利用にかねてから批判的であるが、その大きな理由の一つにコストがある。LiDAR 一つ当たりのコストは約 1 万ドルと高価であるが、カメラはわずか 5 ドル程度で済み、自動運転車の一般普及を目指す Tesla 社にとってこの価格差は非常に大きい。自動運転技術開発における Tesla 社の強みは、同社の車両に搭載されているオートパイロット/FSD 機能を用いて多様な道路や交通・気候環境を走行するオーナーから収集される膨大なデータにあり、これを継続的に AI に学習させることで、困難で予期しない道路環境にも適切に対応できる自動運転システムを作り上げようとしている¹¹⁶。

Tesla 社はカメラ映像(と AI ニューラルネットワークによる強力なビジョンデータ処理)のみで機能する自動運転システム「Tesla Vision」への移行を積極的に進めており、2021 年 5 月には、北米市場向けの同社 Model 3 及び Model Y 車両に搭載されている物体検知のためのレーダーセンサーの搭載を廃止し、2022 年 10 月には自動駐車や衝突警告機能など車両周囲の環境を検知するための超音波センサー(USS)についても段階的に撤去する方針を明らかにしている¹¹⁷。

図表 9: Tesla 車に搭載されている最大 250 メートルの範囲で車の周囲を 360 度可視化する 8 台のカメラ

¹¹¹ <https://www.tesla.com/support/autopilot#capability-features>

<https://screenrant.com/tesla-enhanced-autopilot-vs-full-self-driving-differences/>

<https://www.tomsguide.com/face-off/tesla-enhanced-autopilot-vs-full-self-driving>

¹¹² <https://www.theverge.com/2022/10/1/23380764/tesla-ai-day-full-self-driving-fsd-updates-dojo-supercomputer>

¹¹³ <https://insideevs.com/news/611711/tesla-fsd-beta-expands-to-60000-more-owners-in-us-canada/>

<https://insideevs.com/news/614002/tesla-expand-fsd-beta-program-globally-by-year-end/>

¹¹⁴ <https://amp.cnn.com/cnn/2022/08/15/business/tesla-fsd-california-dmv/index.html>

¹¹⁵ <https://www.thatteslachannel.com/tesla-autopilot-vs-waymo-which-is-best-2/>

¹¹⁶ <https://towardsdatascience.com/why-tesla-wont-use-lidar-57c325ae2ed5>

¹¹⁷ <https://electrek.co/2021/05/25/tesla-vision-without-radar-warns-limitations-first/>

<https://electrek.co/2022/10/04/tesla-moving-away-ultrasonic-sensors-in-favor-tesla-vision/>



出典: Tesla¹¹⁸

特定の条件下で運転手の監視の必要なく自律走行を行える SAE レベル 4 の自動運転を既に実現している Waymo 社の CEO、John Krafcik 氏 (当時) は 2021 年 1 月、ドイツ誌のインタビューで「我々は完全な自律走行システムを作っているが、Tesla 社は非常に素晴らしい運転支援システムを開発している自動車メーカーの一つにすぎず、競合事業者には全くならない」と発言している。これに対し Musk 氏は、Waymo 社の自動運転システムはテスト地域を超えた大衆市場での活用に至っていないことから、「非常に特殊なソリューション (highly specialized solution)」として市場展開の可能性を疑問視している¹¹⁹。大衆へのリーチという点で優位に立つ Tesla 社が自律走行システムを実現できれば、他の競合事業者よりも容易に市場での技術普及を行えると考えられる¹²⁰。完全自動運転車の実現時期については、これまで何度も公言した予定時期を先延ばしにしている Musk 氏であるが、YouTube チャンネル「Tesla Owners Silicon Valley」の 2022 年 6 月のインタビューで、「Tesla 車が大金の価値があるか全く価値がないかを左右するのは完全な自律走行の実現にあり、徹底してこの技術問題に焦点を置いている」と述べており¹²¹、今後の動きが注目される。

(4) Apple 社による完全自動運転対応の EV 開発に向けた取り組み状況

Bloomberg は 2021 年 11 月、Apple 社が完全自動運転に対応した独自 EV の開発を加速し、早ければ 2025 年にもリリースされる見込みであると報じた¹²²。Apple 社は 2014 年、1,000 人規模のエンジニアや専門家を集めて独自 EV の開発を目指す「プロジェクト・タイタン (Project Titan)」に着手しており、同社はその詳細を公表していないため業界では様々な噂が報じられている。しかし、2016 年に同プロジェクトの焦点が自動運転技術を支えるソフトウェアの開発にシフトし、同社がプロジェクトに携わっていた数十人の従業員を解雇したことで、独自 EV の開発は棚上げされたとみられていた¹²³。Apple 社は、その後 2017 年 4 月にカリフォルニア州で自動運転車の試験許可を得て、公道で Lidar センサーなどを搭載した自動運転車両の走

¹¹⁸ <https://www.tesla.com/autopilot>

¹¹⁹ <https://arstechnica.com/cars/2021/01/waymo-ceo-tesla-is-not-a-competitor-at-all/>

¹²⁰ <https://www.vox.com/recode/22700022/self-driving-autonomous-cars-trolley-problem-waymo-google-tesla>

¹²¹ <https://electrek.co/2022/06/15/elon-musk-solving-self-driving-difference-between-tesla-worth-a-lot-or-nothing/amp/>

¹²² <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-11-18/apple-accelerates-work-on-car-aims-for-fully-autonomous-vehicle>

¹²³ <https://www.macrumors.com/roundup/apple-car/>

行テストを実施しており¹²⁴、同社 CEO の Tim Cook 氏も同社が自動運転ソフトウェアの開発に従事していることを公に認めていた¹²⁵。同社はその後、2019 年 1 月に再び同プロジェクトの 200 人以上の従業員を削減¹²⁶するも、同年 6 月には自動運転 AI ソフトウェア開発を手がける米スタートアップ Drive.ai 社を買収¹²⁷するなどしている。

前述の 2021 年 11 月の Bloomberg の報道によると、Apple 社における完全自動運転に対応した EV 開発は、2021 年 9 月に退任した元 Tesla 車のトップエンジニアである Doug Field 氏に代わり、Apple Watch のソフトウェア開発責任者である Kevin Lynch 氏を中心に進められ、自動運転システムの基盤となる AI ニューラルプロセッサのコア部分の開発が既に大部分完了し、Apple 社の iPhone/iPad 端末や Mac コンピューターのチップメーカーがそのチップの製造を手がけるということであった¹²⁸。Apple 社は、同 EV のビジネスモデルについて、車両を共有する自動運転タクシーとして提供するか、消費者向け家用車として提供するか内部で議論を行っており、前者の場合はハンドルなどの制御装置のない設計を検討しているということであるが、非常にハイエンドな EV として消費者向けに販売される可能性が高いとみられてきた¹²⁹。ところが、2022 年 12 月 6 日に Bloomberg が複数の関係者筋の話として報じたところでは、Apple 社は、ハンドルやペダルといった制御装置のない完全自動運転車の実現は既存技術では困難であると判断し、現在はこうした制御装置を備え、高速道路における自動運転機能のみをサポートする一般消費者向け EV 開発を進めているとのことであり、同 EV の発売目標時期は 2026 年、販売価格は (Tesla 社の Model S 車のエントリーモデルとほぼ同価格の) 10 万ドル以下になる見通しであるという¹³⁰。

米テクノロジーニュースメディア The Information がプロジェクト・タイタンに従事した 20 名のスタッフに対するインタビューを基に公表した 2022 年 7 月の記事では、絶えず変更される目標や指導者の入れ替わりの激しさなど、同社の自動運転開発における 8 年間の紆余曲折も報じられた¹³¹。Apple 社は Bloomberg を含む一連の報道に対し公式コメントを一切発表しておらず、不確定要素も多いが、高い資金力とブランド力を持つ Apple 社による自動運転車開発の今後の動向が注目される。

(5) 物流業界を変革する自動運転トラック技術を手がける主要プレイヤーの動き

a. 高まる自動運転トラック分野への投資熱

自動運転トラックは、世界の高速道路ではまだ一般的でないが、近年の自動運転トラック技術の進化に鑑みれば物流事業に不可欠な存在となる日もそれほど遠くないとみられている。自動運転トラックが実用化されれば、大幅な配送の効率化やコスト削減につながるほか、コロナ危機のような緊急時におけるサプライチェーンの重大な弱点を補える可能性があるため、投資家による同分野への関心は近年高まっており、自動運転トラック技術を手がけるスタートアップの大型資金調達ラウンドに出資している¹³²。

図表 10: 自動運転トラックスタートアップによる資金調達額(1回のラウンドあたり)の推移(単位:百万ドル)

¹²⁴ <https://www.macrumors.com/2017/04/14/apple-dmv-permit-autonomous-car-testing/>

<https://www.macrumors.com/2017/04/27/apple-self-driving-lexus-suv-spotted/>

¹²⁵ <https://www.macrumors.com/2017/06/13/tim-cook-confirms-apple-autonomous-driving/>

¹²⁶ <https://www.cnbc.com/2019/01/24/apple-lays-off-over-200-from-project-titan-autonomous-vehicle-group.html>

¹²⁷ <https://www.theverge.com/2019/6/25/18758820/drive-ai-self-driving-startup-shutting-down-apple>

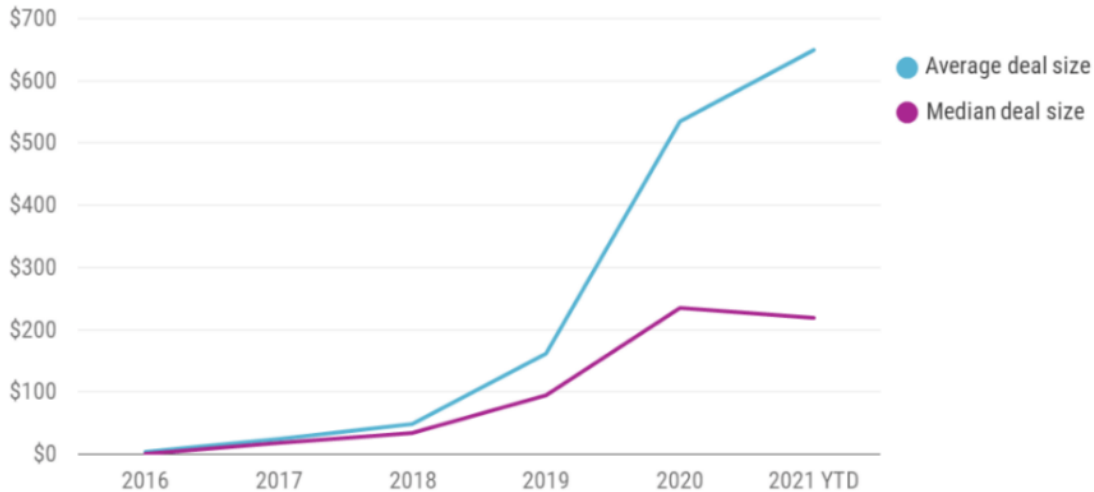
¹²⁸ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-11-18/apple-accelerates-work-on-car-aims-for-fully-autonomous-vehicle>

¹²⁹ <https://www.macrumors.com/roundup/apple-car/>

¹³⁰ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-12-06/apple-scales-back-self-driving-car-and-delays-launch-until-2026>

¹³¹ <https://www.theinformation.com/articles/inside-apples-eight-year-struggle-to-build-a-self-driving-car>

¹³² <https://www.cbinsights.com/research/autonomous-trucking-freight-companies/>



出典: CB Insights¹³³

自動運転トラック分野への投資を牽引する要因は、主に、①ビジネスケースが明確であることと、②商用化に向けた技術的ハードルが(自動運転タクシーより)比較的低いこと、の2点が挙げられる¹³⁴。

- **明確なビジネスケース**— 全米トラック業界 (American Trucking Association)によると、トラック業界は過去 15 年間にわたり運転手不足に悩まされており、この傾向が続けば 2028 年までに 16 万人が不足すると推定している¹³⁵。トラック運転手に対する連続運転可能時間に関する規制もトラック輸送のオペレーションを制約するものとなっており、自動運転トラックは運転手の労力を減らして 24 時間の運用が可能となるため、トラック輸送の配送能力を大幅に向上させられるとみられ、人件費や輸送時間の短縮、燃費の効率化等により 1 マイル当たりのコストを 30%削減できる見込みである。
- **(自動運転タクシーと比較した場合の)商用化に向けた技術的ハードルの低さ**— 自動運転トラックの実用化においては、多数の企業が(商用輸送サービスの第一段階として)「輸送ハブ (transfer hub)」モデルに注目している。このモデルでは、主に長距離大型トラックを対象とする自動運転トラックによる移動は、フェンスで囲まれたエリアや障害物の少ない高速道路に限定され、配送ルート最初の市街地の複雑な交通環境における行程の走行はトラックの運転手が担うため、大規模展開が比較的容易とみられている¹³⁶。

b. 自動運転トラック開発をリードする米トップテクノロジー企業の動き

こうした実用化に向けた明るい見通しのほか、2021 年における米トラック貨物輸送サービス業界の収益は推定約 8,755 億ドルに上り¹³⁷、市場規模 (TAM) 及び事業の拡大余地が大きいことも背景に、近年は Waymo 社や Aurora 社といった自動運転タクシー技術の開発をリードするテクノロジー企業も自動運転トラックの開発に参入しており、2018 年以降に自動運転トラックシステムを開発する米トップ企業が調達した資

¹³³ 前の脚注に同じ。

¹³⁴ <https://blogs.nvidia.com/blog/2021/02/04/what-is-autonomous-truck/>

<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/autonomous-trucks-lead-the-way.html>

¹³⁵ <https://www.prnewswire.com/news-releases/ata-releases-updated-driver-shortage-report-and-forecast-300890298.html>

¹³⁶ 自動運転トラックの実用化においては、都市周辺の複雑な交通環境で運用される小型／中型トラックではなく、決まった高速道路のルートでハブ(拠点)間を移動する 12 トン又はそれ以上の長距離大型トラックに焦点が置かれている。<https://web-assets.bcg.com/c5/a1/a6ba798d4f13b0fe45f3c0a44fb5/bcg-heading-to-a-future-with-driverless-freight-transportation-aug2021-eng.pdf> (p.15)

¹³⁷ <https://www.trucking.org/economics-and-industry-data>

金額は計 100 億ドル以上に上っている¹³⁸。これらの企業においては、大型トラック業界の OEM や運送会社などの関連企業と提携する動きが近年活発にみられるようになっており、複数の企業が設定している 2024 年までの商用化の実現に期待が集まっている。他方で、自動運転技術の開発には多額のコストがかかることから、事業目標を確実に達成し投資家の信頼を得られなければすぐに資金不足に陥る可能性がある。実際、一部の企業では株価下落や人員削減／事業縮小の動きもみられており、自動運転トラックの実用化に向けた先行きには陰しい面もある。

以下では、Waymo 社や Aurora 社のほか、自動運転トラック技術を専門に手掛ける米リーディングスタートアップの TuSimple 社及び Plus 社による自動運転トラックの実用化に向けた取り組み状況について紹介する。

図表 11: 多額の資金を調達している米トップ自動運転トラックシステム開発企業

		自動運転トラック技術を専門に手掛けるリーディングスタートアップ企業		自動運転タクシー分野のリーディング企業で自動運転トラック技術の開発にも参入しているテクノロジー企業	
企業名		TuSimple 社	Plus 社	Waymo 社	Aurora Innovation 社
創設年 (自動運転トラックの技術開発に着手した時期)		2015 年	2016 年	2009 年(2017 年)	2017 年(2019 年)
拠点		カリフォルニア州サンディエゴ	カリフォルニア州クパチーノ	カリフォルニア州マウンテンビュー	カリフォルニア州サンフランシスコ
これまでの資金調達額(2021 年時点)		10.31 億ドル ※2021 年 4 月にナスダック市場に上場	4.2 億ドル ※2021 年下半期にナスダック市場に SPAC 上場予定であったが、その後これを破棄している	25 億ドル	11.34 億ドル ※2021 年 11 月にナスダック市場に SPAC 上場
業界での提携状況	大手トラック OEM	Navistar 社、Traton 社 (Volkswagen 社傘下)	FAW 社、IVECO 社	Daimler 社	Volvo 社、Paccar 社
	貨物輸送会社	UPS 社、USPS、Penske 社、McLane 社、DHL 社、US Xpress 社等	Duckbill 社、Rockin 社、SF Express 社、	JB Hunt 社、UPS 社	FedEx 社
SAE レベル 4 自動運転トラックの商用化時期		2024 年	2024 年	未定	2024 年
ビジネスモデル		キャリアや(輸送トラックを保有しない)荷送業者を対象に、独自自動貨物輸送ネットワーク(AFN)を介した包括的な物流サービスを提供	キャリアやフリートオーナーを対象に自動運転ソリューションを提供	キャリアやフリートオーナーを対象に自動運転ソリューションを提供	キャリアやフリートオーナーを対象に、自動運転ソリューションを提供
システムの購入予約件数		6,775 件	6,800 件	情報なし	情報なし

出典: BCG、EE Times、Berylls の情報¹³⁹等を基に作成

¹³⁸ https://www.berylls.com/wp-content/uploads/2022/08/BSA_Insight_Autonomous_Trucking_07_2022_final_v01.pdf

¹³⁹ <https://www.eetimes.com/autonomous-truck-software-platforms-advance/>
<https://web-assets.bcg.com/c5/a1/a6ba798d4f13b0fe45f3c0a44fb5/bcg-heading-to-a-future-with-driverless-freight-transportation-aug2021-eng.pdf> (p.19)

https://www.berylls.com/wp-content/uploads/2022/08/BSA_Insight_Autonomous_Trucking_07_2022_final_v01.pdf

■ TuSimple 社

TuSimple 社は、カリフォルニア工科大学 (California Institute of Technology) で博士号を修了した AI/機械学習の専門研究者である Xiaodi Hou 氏 (前 CEO) らにより 2015 年に創設された主に大型トレーラー (Class 8) トラック向け自動運転技術を開発するスタートアップで、2021 年 4 月に自動運転スタートアップで初めて上場を果たした¹⁴⁰。同社はカリフォルニア州サンディエゴを本拠とし、アリゾナ州やテキサス州、中国、欧州にも拠点を有する¹⁴¹。TuSimple 社は 2019 年 12 月、同社の自動運転システムを搭載した大型トラックを、アリゾナ州ツーソン (Tuscon) とフェニックス間の 80 マイル (約 130km) の道路と高速道路を完全無人で走行させることに成功し業界の注目を集めた¹⁴²。同社は、カメラ、LiDAR、レーダーから成る様々なセンサーからのデータと AI により、車両全体を 360 度認識し最大 1,000 メートル離れた場所を確認できる独自技術を有し¹⁴³、大手トラック OEM の Navistar 社や VolksWagen 社傘下の Traton 社と提携して自動運転トラックの開発を進めてきた。また TuSimple 社は 2020 年 7 月、米配送大手 4 社 (UPS 社、Penske 社、U.S. Xpress 社、McLane 社) と提携し、全米の主要物流拠点をつなぐ自動貨物輸送ネットワーク (Autonomous Freight Network: AFN) を立ち上げた。AFN は、キャリアや輸送トラックを保有しない荷送業者 (shipper) を対象に提供される自動運転トラック、デジタルマッピングされたルート、貨物ターミナル、自動運転モニタリング管理システムから構成される包括的な物流サービスで、段階的にそのネットワーク (自動運転トラックの試験運行範囲) を拡大し、走行距離に応じた利用料金を徴収するサービス体系で、2024 年までに全米 48 州で展開予定である¹⁴⁴。

しかし、TuSimple 社は、2022 年 10 月末に中国の水素燃料トラックの開発を手がけるスタートアップ Hydron 社との関係を連邦捜査局 (FBI) や米証券取引委員会 (SEC) らが調査しているとの報道が出た直後に共同創設者で CEO の Xiaodi Hou 氏を解雇して以降、米トラックメーカー大手の Navistar 社や米卸売サプライチェーンサービス大手 McLane 社が相次いで提携の解消を発表するなどしたことで資金面で苦境に陥っており、今後の事業運営に懸念が示されている¹⁴⁵。2022 年 12 月 21 日、TuSimple 社は同社の全従業員の 4 分の 1 (約 350 人) を解雇することを発表しており¹⁴⁶、同社が計画していた自動運転トラックのテスト・展開事業の規模縮小は避けられないとみられている¹⁴⁷。

図表 12: TuSimple 社によるフェーズ毎の AFN 展開マップ

¹⁴⁰ <https://ir.tusimple.com/news-releases/news-release-details/tusimple-announces-ceo-and-chairman-succession-plan>

<https://pitchbook.com/news/articles/tusimple-IPO-Nasdaq-autonomous-vehicle>

¹⁴¹ <https://www.hegelmann.com/newsroom/tusimple-partners-with-global-logistics-leader-hegelmann-group/>

¹⁴² <https://techcrunch.com/2021/12/29/tusimple-completes-its-first-driverless-autonomous-truck-run-on-public-roads/>

¹⁴³ 制動距離が普通車に比べて長いトラックでは、遠距離にある物体等を認識できる技術が不可欠である。

<https://medium.com/nodar-blog/autonomous-trucks-hitting-the-road-using-camera-based-technology-170b4ed4724>

<https://www.tusimple.com/blogs/360-degree-perception-for-autonomous-vehicles/>

<https://www.tusimple.com/blogs/tusimple-1000-meter-perception-system/>

¹⁴⁴ <https://www.fleetowner.com/technology/autonomous-vehicles/article/21135592/tusimple-launches-first-autonomous-freight-network>

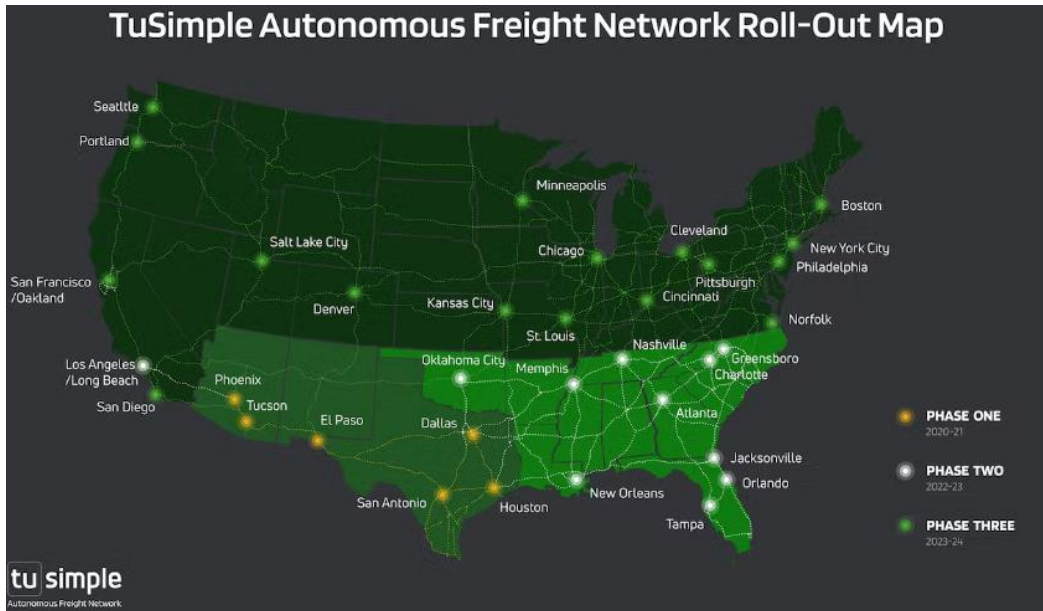
<https://www.freightwaves.com/news/autonomous-truck-scaling-is-tusimple-competing-with-its-freight-customers>

¹⁴⁵ <https://www.foxbusiness.com/economy/self-driving-truck-company-tusimple-lay-off-hundreds-days-before-christmas-report>

¹⁴⁶ <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/tusimple-lay-off-25-workforce-2022-12-21/>

¹⁴⁷ <https://www.foxbusiness.com/economy/self-driving-truck-company-tusimple-lay-off-hundreds-days-before-christmas-report>

<https://techcrunch.com/2022/12/21/self-driving-truck-company-tusimple-to-lay-off-25-of-workforce/>



出典: FleetOwner¹⁴⁸

■ Plus 社

Plus 社は、自動車メーカー、半導体メーカー、運送会社との提携による半自律型トラックの開発を目指し、スタンフォード大学の博士課程の学生 4 名が 2016 年に共同でシリコンバレーに創設したスタートアップで、中国にも複数の研究開発拠点を置く¹⁴⁹。同社の技術は、レーダー、LiDAR センサー、カメラを組み合わせ、トラック車両の周囲 360 度の視野を実現しており、この融合型知覚システムにより同社の自動運転技術を搭載した Class 8 トラックは、数百メートル先の車両を追跡することが可能であるほか、多数の AI モデルを活用して地面の物体や道路構造を検知・分析することで、トラック車両や周囲の車両の動きを予測できるようになっている¹⁵⁰。Plus 社は 2019 年 12 月、同社の SAE レベル 4 自動運転トラック技術を搭載した大型トラックを用いて、カリフォルニア州からペンシルバニア州までの 2,800 マイル(約 4,500km)の距離を多様な地形や気候環境に適応しながら 3 日以内に走行させることに成功したと発表し¹⁵¹、業界の話題を集めた。同社は 2020 年以降、主に米国と中国で大手物流企業と提携し自動運転トラックのテスト走行を行っており¹⁵²、2021 年 8 月までに上海近郊の五峰山高速道路で完全無人の自動運転トラックの走行実証に成功したと公表している¹⁵³。また 2021 年 6 月には、自動運転技術に対する投資を近年積極的に行っている米 Amazon 社が、Plus 社の自動運転トラック車両 1,000 台分のシステムを発注し、同社の株式を最大 20% 取得する協議を進めていると報じられている¹⁵⁴。

Plus 社は、SAE レベル 4 の自動運転トラックを実用化するには、80 億マイル(約 130 億 km)の実世界における走行データが必要と推定しているが、同社は、その自動運転システム(PlusDrive)の商用化については、完全運転技術の実現を待たず、同社が「SL4(supervised level 4)」と称する運転手の監視付きレベル 4 自動運転システム(業界水準では SAE レベル 2 相当の先進運転支援システム)を 2021 年から市

¹⁴⁸ <https://www.fleetowner.com/technology/autonomous-vehicles/article/21135592/tusimple-launches-first-autonomous-freight-network>

¹⁴⁹ <https://plus.ai/press-release/Plus-Completes-First-Cross-Country-Commercial-Freight-Run-by-a-Self-Driving-Truck-in-Record-Three-Days.html>

¹⁵⁰ <https://venturebeat.com/business/plus-raises-200-million-to-develop-its-autonomous-truck-platform/>

¹⁵¹ <https://plus.ai/press-release/Plus-Completes-First-Cross-Country-Commercial-Freight-Run-by-a-Self-Driving-Truck-in-Record-Three-Days.html>

¹⁵² <https://plus.ai/>

¹⁵³ <https://www.autonews.com/mobility-report-newsletter/plus-tests-driverless-truck-along-chinese-highway>

¹⁵⁴ <https://www.theverge.com/2021/6/21/22544243/amazon-plus-autonomous-truck-startup-stake>

場展開し、2024 年までに段階的に SAE レベル 4 の自動運転トラックの商用化を行う計画であり¹⁵⁵、最初から SAE レベル 4 の実用化を目指す TuSimple 社とはアプローチが異なる。同社は、中国のトラック OEM 大手 FAW 社と提携し、2021 年 9 月から Plus 社の SL4 自動運転システムを搭載した自動運転トラックの量産を開始している¹⁵⁶ほか、イタリアの産業用車両メーカー大手 Iveco 社とも共同で欧州でのシステム走行テストを行っている¹⁵⁷。

■ Waymo 社

Waymo 社は、2017 年に自動運転トラックの開発プログラムを立ち上げて以降、自動運転 Class 8 トラックの実証テストをカリフォルニア州、ジョージア州、アリゾナ州、ニューメキシコ州、テキサス州における様々な都市で行っている。Waymo 社の自動運転トラックに搭載されている自動運転技術は、Waymo 社の自動運転プラットフォーム「Waymo Driver」を基盤とするが、トラック車両の遠距離知覚能力を強化するため、自動運転タクシー車両の 2 倍の数のセンサー等が搭載されている¹⁵⁸。Waymo 社は、自動運転トラック事業において、トラック OEM と提携して開発したハードウェア／ソフトウェアを統合した自動運転ソリューションをキャリアやフリートオーナーに販売 (Waymo 社がシステムサポートサービスを提供) する収益モデルを想定しており、同社は、世界最大規模の独トラックメーカー Daimler 社と提携し、自動運転トラックの開発と実証テストをテキサス州ダラス及びアリゾナ州フェニックスで進めている¹⁵⁹ほか、米トラック輸送大手 J.B. Hunt 社や米貨物運送大手 UPS 社とも提携し、自動運転トラックを用いた貨物配送の実証テストを行っている¹⁶⁰。Waymo 社は、同社の自動運転タクシー車両を用いて、これまでに UPS 社や米国最大規模の自動車小売業者である AutoNation 社と自動宅配サービスの実証テストを行っており、自動輸送サービスの商用化においては、輸送ハブモデルだけでなく、物流倉庫や物流センターで積み荷を行った後、最終目的地まで自動運転配送を行う地点間 (point-to-point) 配送モデルも視野に入れている。Waymo 社がテスト中の自動運転トラックにはセーフティドライバーが同乗しており、同社は、完全無人の自動運転トラックの試験時期や自動輸送サービスの具体的な商用化時期について明らかにしていない¹⁶¹。

■ Aurora Innovation 社

Aurora 社は 2021 年 10 月、今後商用展開予定であるキャリアやフリートオーナーを対象とした自動運転トラックサービス「Aurora Horizon」と、配車サービスに統合する自動運転タクシーサービス「Aurora Connect」を発表した。両サービスはいずれも、同社の自動運転プラットフォーム「Aurora Driver」に、自動運転車両の配送ルートなどをモニタリングする「Aurora Beacon」と、車両に不具合があった場合の物理支援サービスやメンテナンスを提供する「Aurora Shield」を合わせたパッケージソリューションとしてサブスクリプション形式で提供される¹⁶²。Aurora 社は、2021 年 5 月に貨物輸送トラックが多数往来するテキサス州の高速道路で自動運転トラックのテスト走行を開始¹⁶³して以降、トラック OEM では米 Paccar 社や Volvo 社と提携して自動運転技術の開発を進めており、FedEx 社や Uber Freight 社、U.S. Xpress 社、Werner Enterprises 社などの大手物流企業とも協力し、年中無休 24 時間体制で運用可能な自動運転トラックサービスの実現に

¹⁵⁵ <https://www.freightwaves.com/news/exclusive-first-ride-plus-autonomous-truck-is-a-gentle-giant-on-the-highway>

¹⁵⁶ <https://www.businesswire.com/news/home/20210929005312/en/Plus-Delivers-Initial-Production-Units-of-the-PlusDrive-Autonomous-Driving-Technology-Solution-to-the-World%E2%80%99s-Largest-Heavy-Duty-Truck-Manufacturer-FAW>

¹⁵⁷ <https://www.businesswire.com/news/home/20220919005332/en/IVECO-and-Plus-Successfully-Complete-Initial-Phase-of-Autonomous-Truck-Pilot-Ready-for-Public-Road-Testing-in-Europe>

¹⁵⁸ <https://blog.waymo.com/2020/10/How%20trucks%20help%20advance%20our%20self-driving%20technology.html>

¹⁵⁹ Daimler 社の自動運転トラックには、3,280 フィート (約 1km) 先まで物体を検知できるカメラや、悪天候でも高精度に検知できる LiDAR などが搭載されている。<https://www.iiotworldtoday.com/2022/08/26/waymo-daimler-truck-team-for-groundbreaking-driverless-truck-test/>

¹⁶⁰ <https://techcrunch.com/2022/02/16/new-waymo-via-partnership-gives-it-access-to-200000-shippers-and-carriers/>

¹⁶¹ <https://www.fleetforward.com/10121159/waymo-outlines-plans-to-integrate-autonomous-trucking-in-fleets>

¹⁶² <https://www.businesswire.com/news/home/20211013006005/en/Aurora-Introduces-Subscription-Services-Aurora-Horizon-and-Aurora-Connect>

¹⁶³ <https://aurora.tech/blog/developing-the-aurora-driver-to-move-millions-of-goods>

に向けたツール開発などを進めている¹⁶⁴。Aurora 社は 2022 年 3 月、同社の次世代自動運転トラック／タクシー車両に搭載される自動運転プラットフォーム「Aurora Driver 2.0」を公表した。この新システムでは、高速道路や郊外の道路での機能が進化しており、カメラの解像度が向上し障害物を検出できる距離が従来の 2 倍になったほか、一時的な速度制限や車線閉鎖の看板も識別し、道路工事中などの理由で複雑な操縦が求められる場合にも適切に対応できるという¹⁶⁵。

3 今後の展望と課題

米経営コンサルティング大手 McKinsey & Company 社が 2021 年 12 月に発表した、自動運転技術の開発を手がける世界の主要 OEM、輸送、ソフトウェア企業／スタートアップの幹部 75 人を対象に実施した調査結果によると、より高度な自動運転を行える SAE レベル 4 システムを搭載した一般乗用車両による高速道路での走行テストの開始時期は、少なくとも 2024 年又は 2025 年になるとの声が大勢である。自動運転タクシーサービスの提供は一部市場で既に始まっているが、その大規模な商用展開においては、技術的進歩や法規制、資金力などが課題となっている。自動運転タクシーサービスは、当初は、交通需要量が比較的多く気象条件の良い大都市の中心部で広がると予想されており、McKinsey 社の調査では、自動運転タクシーが大規模に展開される時期は同サービス市場をリードする米国や中国で 2026 年以降とみる声が多い。また、自動運転トラックについては、現在米トラック OEM やテクノロジー企業が中心となり高速道路で行われている走行テストの大部分は、温暖な気候で規制の比較的緩いサンベルト（米南部及び南西部における 18 州）で実施されている。McKinsey 社の調査では、自動運転トラックの商用化時期についても 2026 年以降とみる声が多い¹⁶⁶。

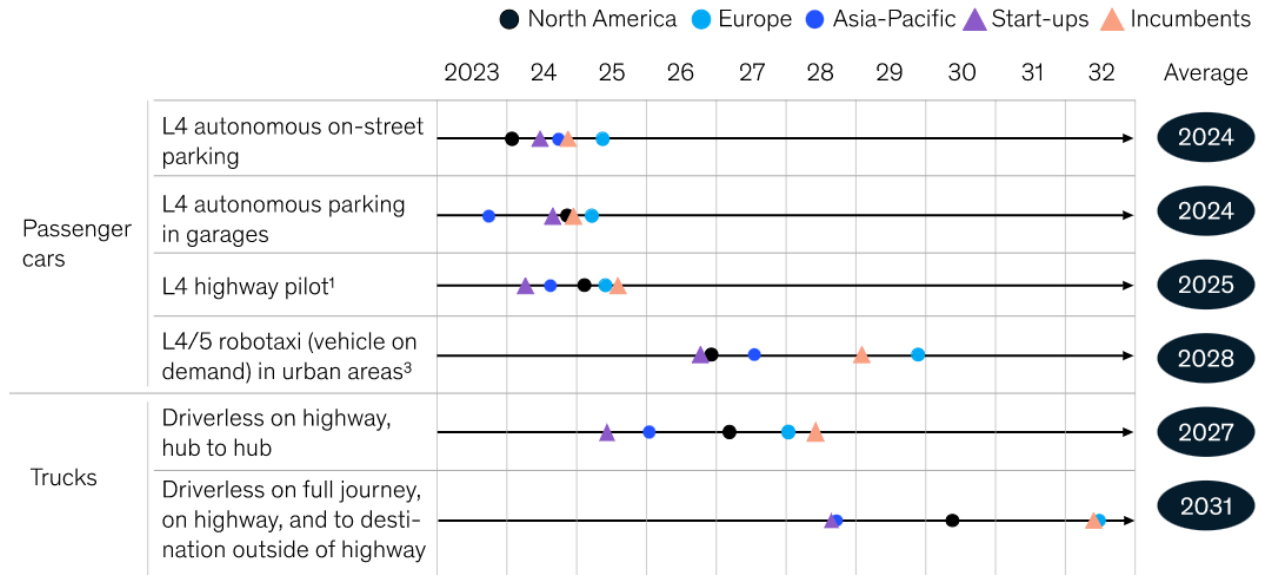
図表 13: 世界の主要 OEM、輸送、ソフトウェア企業／スタートアップの幹部が予想する SAE レベル 4 以上の自動運転技術の実用化時期

¹⁶⁴ <https://aurora.tech/blog/recap-aurora-accomplished-key-commercialization-milestones-in-q1-2022>

<https://aurora.tech/aurora-horizon>

¹⁶⁵ <https://ir.aurora.tech/news-events/press-releases/detail/36/aurora-releases-aurora-driver-beta-2-0>

¹⁶⁶ <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/our-insights/whats-next-for-autonomous-vehicles>



¹Driver can use the time on highways for work or leisure activities using in-car or own solutions but needs to take over at highway exits.
²Driver can use the time on highways in urban environments for work or leisure activities using in-car or own solutions but may require some driver intervention.
³Robotaxis drive everywhere fully automated with no driver and accept and conduct transportation requests (goods, passengers). Passenger can use the travel time for work or leisure activities.
 Question: In your estimation, what is the rollout (ie, commercial availability of vehicles/service) timeline for autonomous driving across use cases in your region?
 Source: 75 respondents (North America, n = 31; Europe, n = 33; Asia-Pacific, n = 11)

出典: McKinsey & Company¹⁶⁷

また、自動運転技術の普及を妨げる主な要因については、McKinsey 社の同調査によると、北米の回答者の 52%が規制を挙げており、次にテクノロジー(29%)、顧客需要(19%)が続く。

■ 米国における自動運転技術の規制を巡る動向

米国では、自動運転車の車両安全基準(Federal Motor Vehicle Safety Standards: FMVSS)は連邦レベルで規制されている一方、運転免許証の交付や自動車の登録、賠償責任・保険に関する規則、実際の運用面でのインフラや安全性を担保する交通規則の策定は各州政府に委ねられている¹⁶⁸。これまでに米国の大部分の州が自動運転車に関する法律を制定しているが、そのテスト要件などが州ごとに異なっており(図表 16 参照)¹⁶⁹、自動運転車のテスト走行や導入を一気に拡大することができない不利益が業界で懸念されるようになったことで、連邦レベルでの統ルールへの制定に向けた動きもみられる。政策立案者や業界関係者等の間では、自動運転技術を推進し米国の同分野における競争的優位を維持するためには、人間の運転手を想定した既存の連邦車両安全基準を自動運転車に合わせて改訂する必要性が認識されており、2017 年 7 月には米下院で、NHTSA に対し連邦車両安全基準の見直しを行うことや、自動車メーカーにサイバーセキュリティプランの作成や自動運転車安全性評価証明書を NHTSA に提出するよう義務付ける内容を盛り込んだ法案「SELF DRIVE (Safely Ensuring Lives Future Deployment and Research In Vehicle Evolution) Act¹⁷⁰」が提出され下院を通過し、上院でも同年 9 月に類似法案「AV START (American Vision for Safer Transportation through Advancement of Revolutionary Technologies) Act¹⁷¹」が提出された

¹⁶⁷ 前の脚注に同じ。

¹⁶⁸ <https://web-assets.bcg.com/c5/a1/a6ba798d4f13b0fe45f3c0a44fb5/bcg-heading-to-a-future-with-driverless-freight-transportation-aug2021-eng.pdf> (p.37)

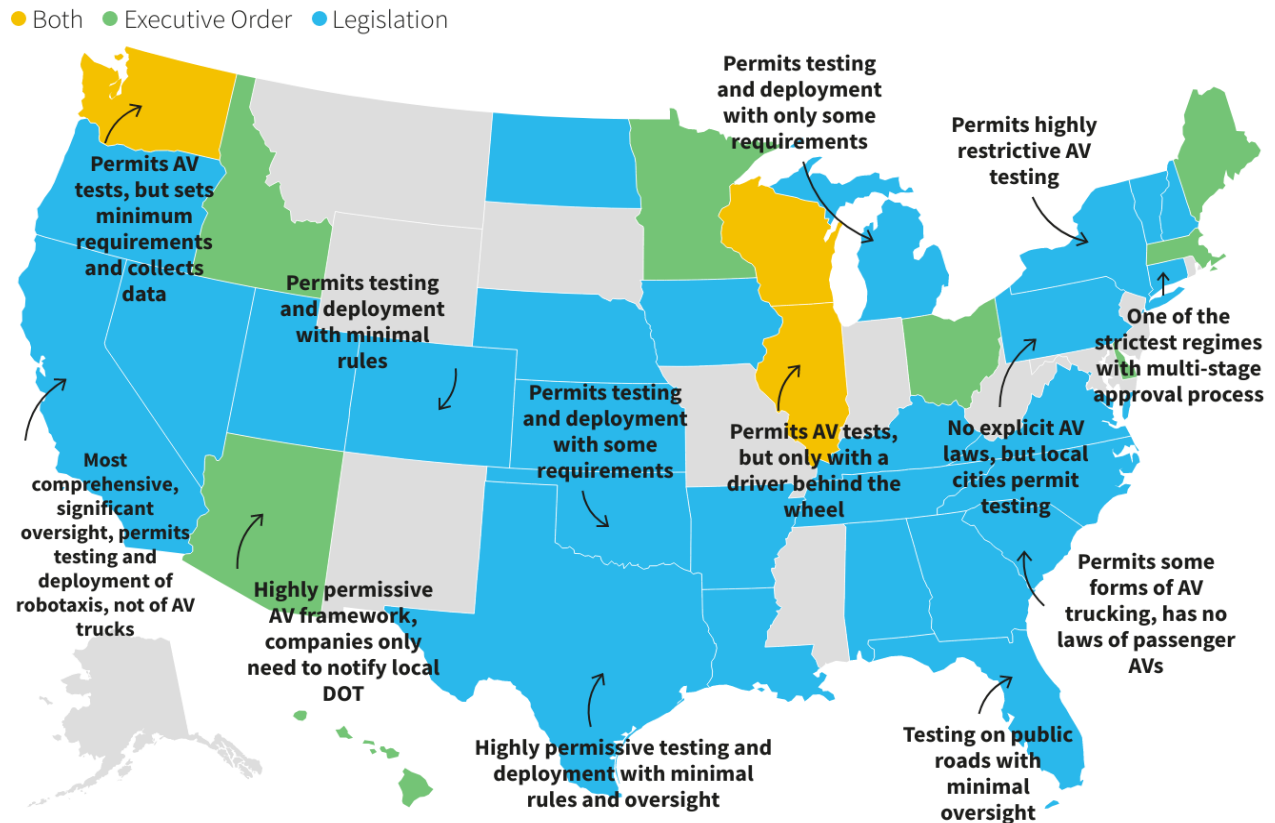
¹⁶⁹ <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/how-free-wheeling-texas-became-self-driving-trucking-industrys-promised-land-2022-06-17/>

¹⁷⁰ <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3711?r=55&s=1>

¹⁷¹ <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/1885>

が、可決には至らなかった¹⁷²。SELF DRIVE Act は 2021 年 6 月に下院で再提出され、関連委員会の審議に付託されているが¹⁷³、現時点で法成立の見通しは立っていない。

図表 14: 全米各州における自動運転車／トラックの規制状況



Note: Regulatory state as of June 16, 2022; at least a dozen AV bills are pending across the country
Source: National Conference of State Legislators, Dentons, Reuters research

出典: Reuters¹⁷⁴

他方で、米ホワイトハウスと運輸省 (Department of Transportation) は 2020 年 1 月、「自動運転技術における米国のリーダーシップの確保: 自動運転車 4.0 (AV 政策 4.0¹⁷⁵)」と称する自動運転技術の開発に関する包括的なガイダンスを発表した¹⁷⁶。同ガイダンスは、①安全性 (セキュリティ) を最優先に確保しユーザー及びコミュニティを保護することや、②テクノロジーの中立性維持及びイノベーションの推進等を通じて効率的な市場の確立を促進すること、③基準・政策の統一化など協調的な取り組みを推進すること、の 3 つの重点分野から構成され、38 の連邦政府機関や独立機関、委員会、大統領府による自動運転車への取り組みを統合したもので、自動運転技術における米国の主導的立場の確立を目指すとしている¹⁷⁷。米運輸省

¹⁷² 2018 年 3 月の Uber 社の自動運転車による歩行者接触死亡事故により、自動運転車の安全性に対する懸念が高まったことが主に影響している。 <https://detroitnews.com/story/business/autos/mobility/2021/02/01/why-policy-makers-might-open-bottleneck-autonomous-vehicles/4221781001/>

¹⁷³ <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3711/text?r=55&s=1>

¹⁷⁴ <https://www.reuters.com/graphics/AUTONOMOUS-TRUCKING/>

¹⁷⁵ <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2020-02/EnsuringAmericanLeadershipAVTech4.pdf>

¹⁷⁶ <https://www.transportation.gov/av/4>

¹⁷⁷ <https://www.therobotreport.com/av-40-initiative-usdot-announced-ces-2020/>

(USDOT)は、この AV 政策 4.0 の原則を基に、2021 年 1 月、「自動運転車に関する総合計画 (Automated Vehicles Comprehensive Plan: AVCP¹⁷⁸)」を公表した。同計画では、USDOT の自動運転システムのビジョン達成に向け、以下の 3 点の目標を設定し推進するとしている¹⁷⁹。

- **協力と透明性の推進**— USDOT は、一般市民を含む各パートナーやステークホルダーが、自動運転システムの機能や限界について明確かつ信頼できる情報にアクセスできるようにする。
- **規制環境の刷新**— USDOT は、革新的な車両設計・機能・運用モデルを意図せず(不必要に)阻害する規制を撤廃し、自動運転システム技術の安全なパフォーマンスを評価するための枠組み及びツールを策定(開発)する。
- **交通システムの準備**— USDOT は、各ステークホルダーと連携し、自動運転システムを安全に評価し統合するために必要な基本的な研究活動を実施すると共に、交通システムの安全性、効率性、アクセスの向上にも努める。

運輸省下の NHTSA は 2021 年 6 月、SAE レベル 2 の先進運転支援システム (ADAS) や SAE レベル 3~5 の自動運転システムを搭載した車両を運用する自動車メーカー等に対し、衝突事故の内容を事故発生から 10 日以内に報告するよう義務付け、公道での自動運転技術の利用に起因する潜在的な安全性の問題を特定し、政府機関が道路上の交通安全を維持するために必要な情報収集に注力している¹⁸⁰。また、NHTSA は 2022 年 3 月、自動運転システムを搭載した車両を初めて対象に含めた FMVSS の修正に関する最終規則¹⁸¹を発表し、運転席やハンドルなどの制御装置のない車両について定義する一方、従来の自動車と同様の安全性水準を維持することを明確にした。Pete Buttigieg 運輸長官は、この修正に関して、「2020 年代における運輸省の安全に対する重要な使命は、自動運転及び運転支援システムの進歩に車両安全基準を合わせることであり、今回の新ルールはその重要なステップである」とコメントしている¹⁸²。

■ 自動運転のテクノロジーと開発コストにおける課題

現在、自動運転技術の実現に向けたソフトウェアには、「深層強化学習 (deep reinforcement learning¹⁸³)」と呼ばれる AI 手法が主に用いられている。しかし、高速道路や都市部での異なる交通環境、悪天候下での走行など、異なる環境下で発生する様々なエッジケースを考慮して適切な操縦判断を下すことのできるシステムの開発までのプロセスは非常に複雑であり、高価なコンピューターリソースが求められるほか、まだ数年から十年の期間がかかる見込みである¹⁸⁴。また、ソフトウェアの学習モデルの構築に必要な自動運転車の走行テストデータの収集や、こうしたモデルの作成・テスト・調整を行うテクノロジー人材にも多額の費用を要する¹⁸⁵。上述の McKinsey 社の調査によると、回答者の多くが、初期の SAE レベル 4 自動車 (高速道路走行) の技術開発にはソフトウェア、ハードウェア、技術認証及びテスト費用を含め 6~15 億ドルを投資する必要がある、都市部の市街地で自動走行を行える SAE レベル 4 又は 5 の自動運転タクシーの開発には、その 5 倍の費用がかかるとみている¹⁸⁶。なお、Waymo 社が自動運転技術の研究開発に費やした費用は、2020 年 2 月時点で業界最大額の計 35 億ドルに上ると推定されている¹⁸⁷。

¹⁷⁸ https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2021-01/USDOT_AVCP.pdf

¹⁷⁹ <https://www.transportation.gov/av/avcp>

¹⁸⁰ <https://www.nhtsa.gov/press-releases/nhtsa-orders-crash-reporting-vehicles-equipped-advanced-driver-assistance-systems>

¹⁸¹ <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2022-03/Final-Rule-Occupant-Protection-Amendment-Automated-Vehicles.pdf>

¹⁸² <https://techcrunch.com/2022/03/10/nhtsa-first-autonomous-vehicle-occupant-safety-standards/>

¹⁸³ 設定された環境と報酬において、コンピューターが何度も試行錯誤の過程を重ねながらタスクを実行することで、タスクの報酬を最大にする意思決定を行えるようになるディープラーニング分析を用いた機械学習手法の一つ。

<https://bdtechtalks.com/2019/05/28/what-is-reinforcement-learning/>

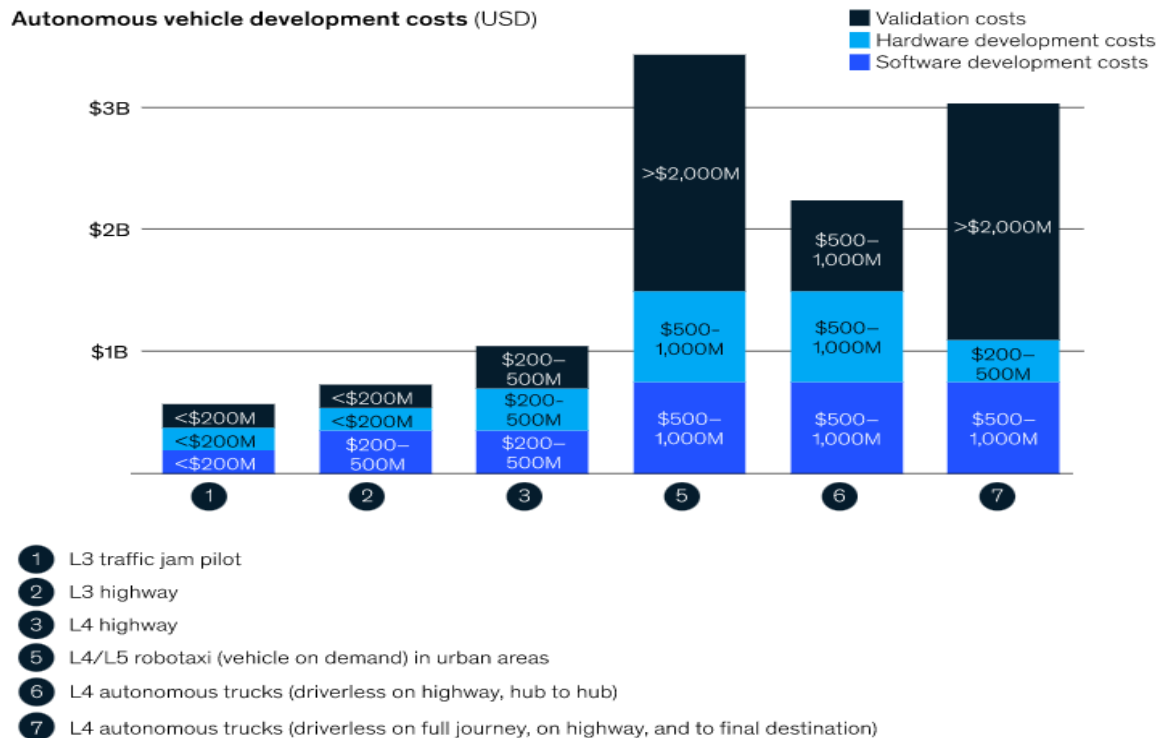
¹⁸⁴ <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/our-insights/whats-next-for-autonomous-vehicles>

¹⁸⁵ <https://bdtechtalks.com/2021/04/29/self-driving-car-market-consolidation/>

¹⁸⁶ <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/our-insights/whats-next-for-autonomous-vehicles>

¹⁸⁷ <https://www.theinformation.com/articles/money-pit-self-driving-cars-16-billion-cash-burn>

図表 17: 自動運転技術のユースケース別開発コスト推定額



Question: What level of investment do you expect is needed for an industry player to bring an L4-capable vehicle to the market?
 Source: 75 respondents (North America, n = 31; Europe, n = 33; Asia-Pacific, n = 11)

出典: McKinsey & Company¹⁸⁸

Cruise 社は 2022 年 9 月、同年 6 月に同社がサンフランシスコで展開中の自動運転タクシーが起こした衝突事故を受けて、同社の自動運転タクシー 80 台をリコールし、そのソフトウェアを全て刷新したと発表した。NHTSA は、事故を起こした Cruise 社の自動運転タクシーのソフトウェアについて、「特定の状況下において他の車両の進路を誤って予測したり、突然の進路変更十分に反応できなかった可能性がある」と指摘しており、Cruise 社はソフトウェアの刷新後は同様の問題は再発していないと説明している¹⁸⁹。業界の専門家の間では、自動運転車が直面するエッジケースは数百億件に上るとし、人間よりも動きを予測し易い自動運転車の路上台数が増えればエッジケースも減少するが、ゼロにはならないとみる声もある。GM 社及び Waymo 社の先端車両プログラムをリードした経験を持つ独立コンサルタントの Chris Borroni-Bird 氏は、「人間は車道にボールが転がってきた場合、それ自体は無害であっても、そのボールを追いかけて子供が飛び出してくる可能性を想定して自動運転車よりもかなり迅速にブレーキを踏むことが可能であり、自動運転システムの感知・予測アルゴリズムは人間の頭脳ほど優れた処理・判断を行えない」としており、(資金面でのプレッシャーなどから)自動運転システム開発企業が、人間よりも安全に運転できることを証明できないままシステムの市場化を急ぐことを懸念している¹⁹⁰。

¹⁸⁸ <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/our-insights/whats-next-for-autonomous-vehicles>

¹⁸⁹ <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/gms-cruise-recalls-revises-self-driving-software-after-crash-2022-09-01/>

¹⁹⁰ <https://www.reuters.com/technology/truly-autonomous-cars-may-be-impossible-without-helpful-human-touch-2022-09-12/>

業界でいち早く商用サービスを開始している Waymo 社でさえ依然として利益を上げられておらず¹⁹¹、同社は 2020 年 3 月、米投資ファンドの Silver Lake 社等が率いる投資ラウンドで、22.5 億ドルの同社初となる外部資金調達に踏み切っている¹⁹²。Uber 社がサービス開始から 4 年以内に 100 都市でサービス展開を実現したのとは対照的に、自動運転タクシーの商用展開スピードは非常にゆっくりで、莫大なコストとテスト走行に大幅な時間がかかるため、自動運転タクシーのビジネスケースは本当にあるのかという疑問は依然として残っている¹⁹³。他方で、最近 Argo AI 社への支援打ち切りを発表し、自社開発のレベル 2+ / レベル 3 システムに対する投資に優先順位をシフトする決断を下した Ford 社の例にみられるように、業界では、一気にレベル 4 (又はレベル 5) の実現を目指すのではなく、先進運転支援システム (ADAS) 技術を段階的に進化させて自動運転の実現を目指すアプローチへの注目が高まっている。インド、北米、英国に拠点を置く市場調査会社 BlueWeave Consulting 社によると、世界の ADAS 市場の 2020 年における売上は 250 億ドルで、その規模は 2027 年までに約 3 倍に増加する見込みである。これには、欧米の規制当局が自動車の安全性向上に寄与するとして、ADAS の活用を積極的に後押ししていることも影響している。Mobileye 社、Aptiv 社、Magna 社など大手自動車メーカー向けサプライヤー企業を含む、ADAS ソリューションの開発を手がける主要プレイヤーの中で、完全な無人自動運転タクシーの実現時期を公言したのは Tesla 社の Musk 氏のみで、他の企業はこうした技術躍進を数年内に実現しようとはしていない¹⁹⁴。Ford 社の CEO である Farley 氏は、Argo AI 社の閉鎖発表時に「自動運転車の将来については楽観的であるが、収益性の高い完全な自動運転車を大規模に展開できるのはまだ先のことであり、その技術を必ずしも自社で開発する必要はない」と述べている¹⁹⁵。自動運転タクシーの開発競争においては、向こう数年以内に大規模な市場展開を実現できるかが企業の生き残りを左右すると予想され、商用化で市場をリードする Waymo 社及び Cruise 社による今後のサービス展開に向けた動きが注目される。

※ 本レポートは、その内容に関する有用性、正確性、知的財産権の不侵害等の一切について、当組織が如何なる保証をするものではありません。また、本レポートの読者が、本レポート内の情報の利用によって損害を被った場合も、当組織が如何なる責任を負うものではありません。

¹⁹¹ <https://www.carandbike.com/news/waymo-continues-to-lose-money-as-revenue-increases-for-alphabets-other-bets-2423564>

¹⁹² <https://www.zdnet.com/article/waymo-closes-with-2-25-billion-in-first-external-funding-round/>

¹⁹³ <https://www.ft.com/content/46ff4fe4-0ae6-4f68-902c-3fd14d294d72>

¹⁹⁴ 前の脚注に同じ。

¹⁹⁵ <https://www.hotcars.com/why-ford-and-volkswagen-are-shutting-down-their-autonomous-car-project/>