

米国におけるモビリティのトレンド CASE の現状と課題

2022 年 7 月

日本貿易振興機構（ジェトロ）

海外調査部

ニューヨーク事務所

【免責条項】

本レポートは、日本貿易振興機構（ジェトロ） ニューヨーク事務所が Washington CORE, L.L.C.に委託し、2022 年 3 月時点までに入手した情報に基づき作成しています。本レポートで提供している情報は、ご利用される方のご判断・責任においてご使用下さい。ジェトロでは、できるだけ正確な情報の提供を心掛けておりますが、本レポートで提供した内容に関連して、ご利用される方が不利益等を被る事態が生じたとしても、ジェトロおよび執筆者は一切の責任を負いかねますので、ご了承下さい。

〈目次〉

エグゼクティブサマリー	2
1 自動運転車両における開発の現状と課題.....	10
1.1 ADAS を含む自動運転車両の要となる技術のトレンド.....	12
1.1.1 センサーなどのハードウェア技術.....	12
1.1.2 車載エッジコンピューティングおよびAIなどのソフトウェア技術.....	21
1.2 企業間パートナーシップおよび投資の動向.....	34
1.3 自動運転車普及の課題と見通し（法規制、保険、インフラなど）	36
2 「コネクテッド」における現状と課題	51
2.1 V2Xにおけるコネクティビティー機能と通信方式のトレンド.....	51
2.1.1 V2V、V2Iの動向.....	52
2.1.2 V2N、V2Gの動向	60
2.1.3 C-V2Xによる高度交通技術システムの技術実証試験およびインフラ整備の動向.....	63
2.2 企業間パートナーシップおよび投資の動向.....	64
2.3 データ管理に関連する法規	68
2.4 ネットワーク関連リスクを軽減するための取り組み.....	72
2.4.1 各種ガイドラインの策定.....	72
2.4.2 OTA.....	76
2.5 通信規格や情報処理技術などの標準化ならびに関係企業・組織の動向.....	79
2.5.1 自動車通信に使用される周波数帯域の動向	79
2.5.2 V2Xのサイバーセキュリティおよび車両の安全性に関する国際的な基準策定動向と米国の動き.....	83
3 シェアリング事業を含むモビリティサービスの現状と今後の展開	86
3.1 新型コロナウイルスの流行がモビリティのシェアリング事業に与えた影響.....	86
3.2 モビリティシェアリング事業の分類別傾向と展望.....	89
3.2.1 マイクロモビリティサービス	90
3.2.2 配車サービス.....	91
3.2.3 カーシェアリング	95
4 モビリティ市場の変化が自動車産業に与える影響と日系企業のチャンス.....	98

〈図表目次〉

図表 1 : ADAS および自動運転機能投入のタイムライン	11
図表 2 : 自動車の自動化レベル	12
図表 3 : 自動運転車のテクノロジー	13
図表 4 : 自動運転車の各センサーの用途と範囲	14
図表 5 : 自動運転センサーの概要	15
図表 6 : 自動運転のデータ処理プロセス	15
図表 7 : 主要な LiDAR 開発企業の技術による分類と全体の傾向	17
図表 8 : OEM の DMS 導入状況	22
図表 9 : NVIDIA の自己位置推定プラットフォーム「DRIVE Mapping」	25
図表 10 : Mobileye のマップ構築システム「REM」	26
図表 11 : 車載エッジコンピューティングとクラウドコンピューティングの比較	28
図表 12 : バーチャル環境での設計とシミュレーション	31
図表 13 : アノテーションにより色分けされたイメージ	32
図表 14 : LiDAR ポイントクラウドに適用したセマンティック・セグメンテーション	33
図表 15 : 自動運転車関連企業のパートナーシップ相関	35
図表 16 : 可能性のある車両ハッキング侵入ポイント	39
図表 17 : 自動運転車関連の州の動向 制定された法律と行政命令 (2013~2020 年)	44
図表 18 : 各州で制定された自動運転車関連規制法の分類	45
図表 19 : 連邦政府と州政府の管轄範囲 (AV2.0)	48
図表 20 : 各州の自動運転車の公道走行許可状況および損害賠償責任保険の規定	48
図表 21 : V2X のイメージ	51
図表 22 : 各通信のユースケース一覧	52
図表 23 : トラックプラトニング技術の自動化レベル	53
図表 24 : 各州の商用車プラトニング技術展開の法整備状況 (2021 年 1 月時点)	54
図表 25 : DOT のパイロットプログラムスケジュール	55
図表 26 : NYCDOT CV パイロット開発プロジェクト概要	56
図表 27 : THEA CV パイロット開発プロジェクト概要	56
図表 28 : WYDOT CV パイロット開発プロジェクト概要	57
図表 29 : V2X に使用される 2 つの通信方式 (DSRC、C-V2X) の比較	58
図表 30 : V2X における DSRC とセルラー移動通信の用途と特徴	59
図表 31 : セルラー移動通信による C-V2X の発展経緯	60
図表 32 : 車載通信関連の企業間連携および各 OEM の導入状況	61
図表 33 : コネクテッドカー関連企業間パートナーシップ	64
図表 34 : 車両サイバーセキュリティの技術的ベストプラクティス	73
図表 35 : V2X を可能にするコネクテッドカー通信システム	80
図表 36 : 再割当後の 5.9GHz 帯の用途案	81
図表 37 : C-V2X 技術実装のタイムライン見込み	82

図表 38 : コロナ禍における各交通移動手段の収益成長率 (世界全体)	87
図表 39 : コロナ禍における Uber の利用回数の変化 (ニューヨーク、フェニックス)	88
図表 40 : 移動距離別のシェアードモビリティサービス.....	89
図表 41 : ドックレス自転車とスクーターの月間売上高の推移.....	90
図表 42 : Uber と Lyft の月間売上高の推移.....	92
図表 43 : 顧客 1 人当たりの平均売上高	93

はじめに

メルセデスベンツが2016年に同社の中長期戦略の中で、これから自動車の存在意義は「CASE」（「Connected（コネクテッド）」「Autonomous（自動運転）」「Shared & Services（シェアリング・サービス）」「Electric（電動化）」）にあると提唱して以降、CASEの重要性は日ごとに増している。「電動化」に関しては、米国ではバイデン政権の気候変動政策を背景に、各メーカーがEVの生産開発に舵を切り始めている。本レポートは、「自動化」と「コネクテッド」の主な技術や機能、通信のトレンド、企業の投資動向などを紹介し、「シェアリング」について2020年初頭から拡大した新型コロナウイルスの影響にも触れ、現状と今後の可能性に関する情報をまとめた。本レポートが米国におけるCASEの理解と、日系企業のビジネス機会の拡大に資する情報となることを目的とする。

なお、本レポートの作成においては、米国の調査会社 Washington CORE, L.L.C.の協力を得た。

2022年7月
日本貿易振興機構（ジェトロ）

エグゼクティブサマリー

自動車産業は 100 年に一度の変革期にあると言われ、次世代技術やサービスを意味する「CASE」（米国では「ACEs」とも呼ばれる）がキーワードになっている。これは、Connected（コネクテッド）、Autonomous/Automated（自動化）、Shared & Services（シェアリング・サービス）、Electric（電動化）を意味し、自動車メーカー（OEM）や関連企業が従来の連携や業種の枠を超え、実用化に向けた取り組みを加速させている。

自動運転分野では、特に 2000 年以降、さまざまな先進運転支援システム（ADAS）が開発され実装が進められてきた。近年では、センサー技術や通信技術、インフラ、AI を活用したソフトウェアによる認識・判断技術の向上が目覚ましく、さまざまな業種のプレイヤーが標準化技術の開発に向けてしのぎを削っている。特にソフトウェアによって実現する機能の技術開発では、センシング、画像処理、AI 解析、コンピューティング、ネットワーク処理、車両制御といった技術が複雑に関連し合っており、自動車業界は自動運転の実現に向けて従来の OEM を頂点とするピラミッド型の分業構造から、異業種を含めたよりフラットなネットワークにパラダイムシフトしている。

2022 年には、複数の OEM から、完全自動運転車実現のスタート地点といえるレベル 3 以上の高度な自動運転車（一般向け）が発売されるとみられ、技術的に大きく前進する時期を迎えつつある（すでに商用目的では、レベル 4 の自動運転車が一部の都市で運用されている）。一方で、自動運転車の公道走行に係る法規制については、未整備の部分が多く議論の途上にある。米国の自動車関連の法規制は、管轄が分野によって連邦政府（安全基準の設定など）と州政府（交通法規、保険、運転免許、自動車登録など）に分かれており、州ごとに規制内容や法整備の状況が異なる点は、米国でマーケティングを考える際の難しさといえる。連邦政府はこれまでに自動運転に関する包括的な規制について議論しているものの、2022 年 2 月時点で法案の成立に至っておらず、政策策定や安全性・イノベーション推進などのガイドラインを示しているのみである。連邦政府は技術革新を阻害することなく普及を促進し、かつサイバーセキュリティーやプライバシーなど新たな課題に対応するための規制の在り方を議論しているが、上記に加えて自動車保険や賠償責任、インフラ整備など課題が数多く残されており、今後の法整備の行方を注視する必要がある。

コネクテッド分野では、通信技術の発達によって新しい用途のコネクティビティー機能が開発され、さまざまな実証試験が行われている。自動車とあらゆるモノをつなげる V2X（Vehicle to Everything）では、通信方式に専用狭域通信（DSRC）を用いた従来の安全用途向け高度道路交通システム（ITS）だけでなく、携帯電話ベースの通信技術を活用した C-V2X が台頭しており、車車間通信（V2V）、路車間通信（V2I）、歩車間通信（V2P）、車両ネットワーク間通信（V2N）、車両・電力系統間通信（V2G）といった多様なサービス用途での活用が進んでいる。その一端となったのは、米国連邦通信委員会（FCC）が 2021 年 5 月に発表した 5.9GHz 帯周波数の再割当方針であり、DSRC 用途の周波数帯の一部が C-V2X に割り当てられたことで、C-V2X の実用化や移行は加速すると予想される。

自動車のコネクティビティー機能により多様なサービスへの活用が期待される一方、車両がネットワークに接続することで、サイバー攻撃やデータ漏洩のリスクにさらされることになる。これらの対策として、各種ガイドラインの策定や法整備が進められている。2022年2月時点で、ネットワーク接続により収集される個人情報の取扱いや保護を規定する包括的な連邦法はなく、各州政府によって法令が規定されているのみであり、州ごとに規制内容や法整備の状況が異なるため、米国で製品やサービスを展開する際に注意が必要である。

また、環境意識の高まりや脱炭素化への流れが後押しするかたちで、配車サービスやマイクロモビリティ、自動車のシェアリングといったモビリティシェアリングビジネスが普及しており、今後さらなる成長が見込まれている。新型コロナウイルスの流行により一時利用者が減少し、サービス提供企業は打撃を受けたものの、米国では他国に比べて人々の日常的な移動が早期に回復し、特に都市部では自家用車を所有しない中低所得層を中心に不可欠な交通手段となっている。また、配車サービス業界では、フードデリバリー、ヘルスケア、貨物事業といった異業種との提携を進めることで、事業の拡大が図られている。

モビリティシェアリングビジネスが成長し、自動車所有の在り方が変化する中で、OEM各社はモビリティシェアリング事業にも参入し、活路を見出そうとしている。2022年はレベル3の自動運転車をはじめ自動運転技術開発にとって決定的な年であり、技術の中心を担うソフトウェアとソフトウェアで実現された機能を大規模に展開する能力が、各社を分ける差別化要因になるとみられている。

自動車分野でCASEという新しい概念を成功させるため、企業は機動的にパートナーシップを形成して技術をまとめ上げる力をつけることが重要であり、同時に議論が活発化している米国の法規制の動向についても注視していく必要がある。

<略称一覧>

略称	用語	訳語
AAI	Alliance for Automotive Innovation	自動車イノベーション協会
ADAS	Advanced Driver Assistance System	先進運転支援システム
ASD	Aftermarket Safety Device	アフターマーケット安全装置
AMP	Automated Mapping Platform	自動地図生成プラットフォーム
ASIC	Application-specific Integrated Circuits	AI 専用コプロセッサ
ARCTM	Autonomous Relay Convoy	自動運転型リレーコンボイ
Auto-ISAC	Automotive Information Sharing and Analysis Center	自動車情報共有分析センター
AV	Autonomous Vehicle	自動運転車
BIPA	Biometric Information Privacy Act	(イリノイ州の) 生体情報プライバシー法
CAMP	Crash Avoidance Metrics Partners LLP	—
CAGR	Compound Average Growth Rate	年平均成長率
CAN	Controller Area Network	—
CAV	Connected Autonomous Vehicle	コネクテッド自動運転車
CCPA	California Consumer Privacy Act	カリフォルニア州消費者プライバシー法
CPU	Central Processing Units	中央処理装置
CRS	Congressional Research Service	議会調査局
CSMS	Cyber Security Management System	サイバーセキュリティ管理システム
CV	Connected Vehicle	コネクテッドカー
C-V2X	Cellular Vehicle-to-Everything	—
DER	Distributed Energy Resources	分散型エネルギー源
DHS	Department of Homeland Security	米国国土安全保障省
DMS	Driver Monitoring System	ドライバーモニタリングシステム
DOT	Department of Transportation	米国運輸省
DSRC	Dedicated Short Range Communications	専用狭域通信、または狭域通信
ECU	Electronic Control Unit	電子制御ユニット
EDA	Electronic Design Automation	電子設計自動化
EEBL	Emergency Electronics Brake Lights	緊急電子制動灯
eMBMS	evolved Multimedia Broadcast Multicast Service	—
EV	Electric Vehicle	電気自動車
FAA	Federal Aviation Administration	連邦航空局
FCC	Federal Communications Commission	米国連邦通信委員会

FHWA	Federal Highway Administration	米国連邦高速道路局
FMCSA	Federal Motor Carrier Safety Administration	連邦自動車運輸安全局
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave	周波数変調連続波レーダー
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standards	連邦自動車安全基準
FPGA	Field Programmable Gate Arrays	フィールドプログラマブルゲート アレイ
FPS	Frames Per Second	フレーム毎秒
FRA	Federal Railroad Administration	連邦鉄道局
FTA	Federal Transit Administration.	連邦交通局
FTC	Federal Trade Commission	連邦取引委員会
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球測位衛星システム
GPS	Global Positioning System	全地球的測位システム
GPU	Graphics Processing Units	画像処理装置
ICT	Information and Communication Technology	—
IIHS	Insurance Institute for Highway Safety	米国道路安全保険協会
INS	Internal Navigation System	内部ナビゲーションシステム
IoT	Internet of Things	モノのインターネット
I-SIG	Intelligent Traffic Signal System	高度交通信号システム
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
ITS	Intelligent Transportation Systems	高度道路交通システム
LiDAR	Light Detection and Ranging	光検出と測距
LTE	Long Term Evolution	—
MBRDNA	Mercedes-Benz Research & Development North America	北米メルセデスベンツ・リサー チ・アンド・デベロップメント
MEC	Multi-access Edge Computing	マルチアクセス・エッジコンピュ ーティング
MUTCD	Manual on Uniform Traffic Control Devices	統一交通制御装置マニュアル
NCSL	National Conference of State Legislatures	全米州議会議員連盟
NGA	National Governors Association	全米知事協会
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration	米国運輸省道路交通安全局
NIST	National Institute of Standards and Technology	国立標準技術研究所
NTSB	National Transportation Safety Board	国家運輸安全委員会
NYCDOT	New York City Department of Transportation	ニューヨーク市運輸局
OBU	On-board Unit	車載器
OS	Operating System	オペレーティングシステム
OTA	Over the Air	無線経由でデータを送受信する技 術。

P2P	Peer-to-Peer	端末同士を直接接続して行う通信方式。個人間でのシェアリングの意でも使われる。
RADER	Radio Detection and Ranging	電波探知測距
RSU	RoadSide Unit	路側機
SAE	Society of Automotive Engineers	—
SDV	Software Defined Vehicle	ソフトウェア・デファインド・ビークル
SELF DRIVE 法案	Safely Ensuring Lives Future Deployment and Research In Vehicle Evolution Act	—
SHIELD 法	Stop Hacks and Improve Electronic Data Security Act	(ニューヨーク州の) ハッキング禁止および電子データセキュリティ改善に関する法律
SoC	System on Chip	システムオンチップ
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping	自己位置推定と地図作成の同時実行
TECO	Tampa Electric Company	タンパ電力会社
THEA	Tampa Hillsborough Expressway Authority	タンパ・ヒルズボロ高速道路公社
TMC	Transportation Mobility Cloud	交通モビリティクラウド
ToD	Tele-operated Driving	遠隔操作運転
TOF	Time of Flight	飛行時間
TOPS	Tera Operations Per Second	テラオペレーション/秒
TPMS	Tire Pressure Monitoring System	タイヤ空気圧監視システム
TRB	Transportation Research Board	米国交通輸送調査委員会
TSP	Telematics Service Provider	—
TSP	Transit Signal Priority	交通信号の優先順位
UNGTR	UN Global Technical Regulations	世界技術基準
VCC	Vehicle Control Center	車両制御センター
V2G	Vehicle to Grid	車両・電力系統間通信
V2I	Vehicle to Infrastructure	路車間通信
V2N	Vehicle to Network	車両ネットワーク間通信
V2P	Vehicle to Pedestrian	歩車間通信
V2V	Vehicle to Vehicle	車車間通信
V2X	Vehicle to Everything	—
WYDOT	Wyoming Department of Transportation	ワイオミング州運輸局

3GPP	3rd Generation Partnership Project	第3世代パートナーシッププロジェクト
5G	5th Generation	第5世代移動通信システム
5GAA	5G Automotive Association	第5世代自動車協会

<用語集>

用語	カテゴリー	詳細
Automated Driving Systems 2.0 (AV2.0) ¹	法規・政策	DOTが2017年9月に発表した自動運転車の政策およびルール作成に関するガイドライン。 A Vision for Safety (AV2.0) : 安全性へのビジョン (自動運転車 2.0)
Automated Vehicles 3.0 (AV3.0) ²	法規・政策	DOTが2018年10月に発表した自動運転車の政策およびルール作成に関するガイドライン。AV2.0を踏まえて作成され、DOTの政策策定の基本原則とともに安全性やイノベーションの推進に関する戦略が示されている。 Preparing for the Future of Transportation (AV3.0) : 未来の交通に備えて (自動運転車 3.0)
Automated Vehicles 4.0 (AV4.0) ³	法規・政策	DOTが2020年1月に発表したガイドラインであり、自動運転技術に関して米国の主導的立場の確立を目指す指針となるもの。 Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies (AV4.0) : 自動運転技術における米国のリーダーシップの確立 (自動運転車 4.0)
CAMP LLC (Crash Avoidance Metrics Partners LLC) ⁴	団体・組織	フォードとゼネラルモーターズ (GM) によって設立され、他の自動車会社やFHWA、NHTSAと共同で①安全性向上のための衝突回避技術の開発や実装の加速、②各種指標や仕様の確立と業界コンセンサス形成の促進を目的に活動する組織。
C-V2X (Cellular Vehicle to Everything)	技術	携帯電話 (セルラー方式) 用の無線通信回線を使って行われる車車間通信 (V2V) や路車間通信 (V2I)、歩車間通信 (V2P)、車両ネットワーク間通信 (V2N) など、車両とさまざまなものの通信を意味する。

¹ DOT and NHTSA, Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety, DOT HS 812 442, September 2017, https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/13069a-ads2.0_090617_v9a_tag.pdf

² DOT and NHTSA, Preparing for the Future of Transportation: Automated Vehicles 3.0, October 2018, <https://www.transportation.gov/av/3/preparing-future-transportation-automated-vehicles-3>

³ National Science & Technology Council and DOT, Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies: Automated Vehicles 4.0, January 2020,

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

⁴ <https://www.campllc.org/>

用語	カテゴリー	詳細
Dedicated Short Range Communications : DSRC (専用狭域通信)	技術	車両との無線通信に特化して設置された、一方向または双方向の無線 LAN (IEEE802.11) ベースの無線通信技術で、米国では 5.9GHz 帯が使用されてきた。狭域通信とも呼ばれる。DSRC は、短距離から中距離向けかつ V2V や V2I のための通信技術であり、OBU や RSU を介して行われる。
SAE J3016	規格	SAE により規定された自動運転の自動化レベル規格で、2014 年に公開され、その後改訂されている。2022 年 1 月時点では、2021 年 4 月に発行された規格が最終改訂版である。
SAE インターナショナル (Society of Automotive Engineers International) 5	団体・組織	1905 年に設立された非営利団体で、自動車、商用車、航空宇宙業界の専門家を会員に有する。本部はペンシルベニア州ウォレンデール。
エッジコンピューティング技術	技術	端末の近くにサーバーを分散配置するネットワークコンピューティング技術の 1 つであり、ユーザーや端末の近くでデータ処理することで、上位システムの負荷軽減や通信遅延解消につながる。
ソフトウェア・デファインド・ビークル (Software Defined Vehicle : SDV)	技術	ソフトウェアによって車の特徴や機能が定義づけられる、という概念の自動車。
第 3 世代パートナーシッププロジェクト (3rd Generation Partnership Project : 3GPP) 6	団体・組織	移動体通信システムの仕様の規格策定を行う国際的な標準化団体。第 3 世代移動通信システム (3G) の規格策定を主な目的として、1998 年に各国・地域の標準化団体によって設立され、第 4 世代移動通信システム (4G) および第 5 世代移動通信システム (5G) の標準化を行っている。2021 年 12 月時点で、欧州 (ETSI)、日本 (ARIB、TTC)、米国 (ATIS)、韓国 (TTA)、中国 (CCSA)、インド (TSDSI) の世界 7 つの標準化団体で構成されている。
テレマティクス	技術	通信 (Telecommunication) と情報科学 (Informatics) を組み合わせた造語で、自動車などの移動体に通信システムを組み合わせ、情報サービスを提供する新しい技術。主な活用データには、ドライバー情報、走行距離、走行速度、走行時間、位置情報、急加速・急ブレーキの回数、ハンドル操作の安定性などがある。

⁵ <https://www.sae.org/>

⁶ <https://www.3gpp.org/>

用語	カテゴリー	詳細
ドライバーモニタリングシステム	技術	車内カメラでドライバーを監視し、顔認証技術による視線のモニタリングなどによってドライバーの状態を監視し、即座に運転操作に戻れるかを判断する機能。レベル3の自動運転システムにおいて、ドライバーは特定の条件下であれば周囲を監視せず自動運転システムに運転を任せられるが、状況の変化によって運転に戻らなければならないため、同システムが必要。
認証の相互承認	規制・政策	政府認証制度を採用している国の間で、車両の型式認可の結果を相互に認めることで、認証に係る期間と費用などを軽減する制度。
配車サービス	その他	利用者がスマートフォンのアプリを通じて、利用したいときにタクシーやライドシェアの車を呼べるサービス。
1958年協定 ⁷	規制・政策	1958年に締結された国連の多国間協定であり、正式名称は「車両ならびに車両への取付けまたは車両における使用が可能な装置および部品に係る調和された技術上の国際連合の諸規則の採択ならびにこれらの国際連合の諸規則に基づいて行われる認定の相互承認のための条件に関する協定」。自動車の装置ごとの安全や環境に関する基準の国際調和および認証の相互承認を推進することで、安全で環境性能の高い自動車を普及させるとともに、自動車の国際流通の円滑化を図ることを目的としている。
1998年協定 ⁸	規制・政策	1998年に採択された国連の多国間協定であり、装置ごとの技術基準の策定および当該基準の1958年協定に基づく規則や各国法規への導入による基準の国際調和を目的とした協定。正式名称は「車両ならびに車両への取付けまたは車両における使用が可能な装置および部品に係る世界技術規則の作成に関する協定」。
5G Automotive Association : 5GAA ⁹	団体・組織	2016年9月に設立された業界横断的なグローバル組織で、本部はドイツ・ミュンヘンに置かれている。自動車、技術、電気通信など各業界の企業がメンバーになっている。車両通信に5G技術を用いて、将来のモビリティと交通のためのソリューション開発を目的としている。

⁷ <https://unece.org/trans/main/wp29/wp29regs>

⁸ <https://unece.org/text-1998-agreement>

⁹ <https://5gaa.org/>

1 自動運転車両における開発の現状と課題

人間の代わりに自動化システムが運転の一部または全てを代行する自動運転車両については、特に 2000 年以降、世界中の企業によって激しい開発競争が繰り広げられてきた。自動運転車に必要な技術は従来の自動車製造技術と異なるため、自動車メーカー（OEM）や従来の部品サプライヤーのみならず、システム開発企業、センサー・半導体企業、通信インフラ企業など、さまざまなプレイヤーが標準化技術の開発に向けてしのぎを削っている。

先進運転支援システム（ADAS）は、ドライバーの操作を支援する機能の総称であり、アダプティブクルーズコントロール（図表 1 に記載、1999 年）や衝突被害軽減ブレーキ（2006 年）、車線逸脱防止支援システム（2014 年）といったさまざまな機能の開発や自動車への装備が進められてきた。運転支援パッケージシステムであるテスラの（フルセルフドライビングを含む）オートパイロット機能や、GM のスーパークルーズおよびウルトラクルーズ、フォードのブルークルーズは、車載の各種センサーとソフトウェアを組み合わせたもので、北米の特定の高速道路でハンズフリー走行が可能になる。2022 年 1 月時点では、いずれも走行中のドライバーによる監視が必要であり、標準化団体 SAE インターナショナルが定める自動化レベル 2 に該当する機能である¹⁰。「特定の条件下でのシステムによる自動運転」が可能な自動化レベル 3 を実現した量産車は、ホンダ・レジェンド（2021 年 3 月）が初めてであり、メルセデスベンツや BMW、現代自動車からも 2022 年中に発売されるとみられている¹¹¹²¹³（図表 1 参照）。

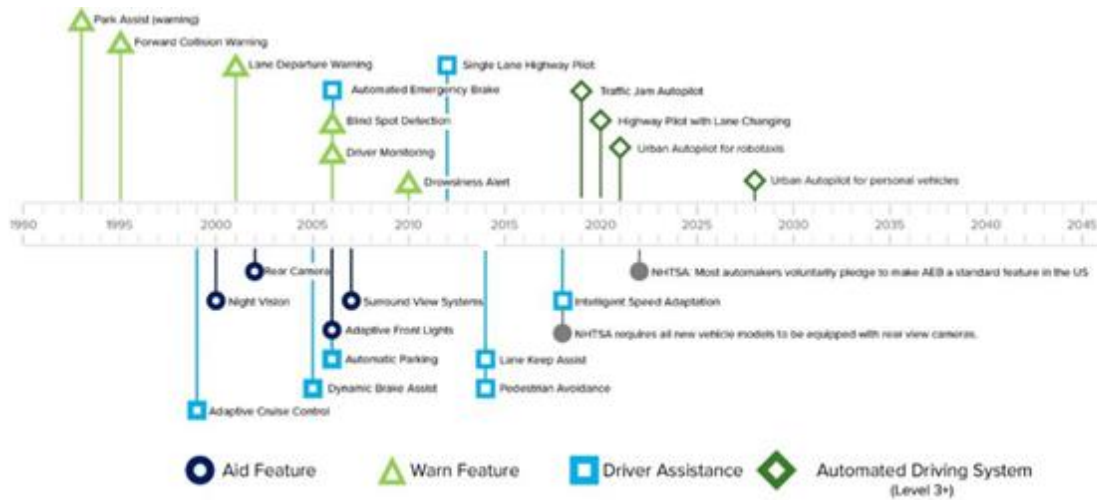
¹⁰ https://www.wsj.com/articles/tesla-is-no-longer-alone-with-full-self-driving-promises-11641483373?mod=Searchresults_pos1&page=1 “Tesla Is No Longer Alone With ‘Full Self Driving’ Promises”

¹¹ <https://asia.nikkei.com/Business/Automobiles/Honda-launches-world-s-first-level-3-self-driving-car>

¹² <https://www.forbes.com/wheels/features/bmw-7-series-level-3-autonomy/>

¹³ <https://www.kedglobal.com/newsView/ked202201020001>

図表 1 : ADAS および自動運転機能投入のタイムライン



出所: Center for Automotive research¹⁴

Center for Automotive research の許可を得て掲載

一方、商用車分野では、Waymo（グーグル親会社の Alphabet 傘下、2009 年設立）が 2017 年から無人自動運転車の公道走行テスト（アリゾナ州）や、2018 年（アリゾナ州）と 2021 年（カリフォルニア州）に一般乗客向けのロボタクシー実証実験を開始するなど、この分野で他社をリードしている¹⁵。同社は、特定の条件下で自動運転が可能なレベル 4 の自動運転システムを利用し、サービスエリアを特定することでサービスの提供が可能となっている。

以上のように、自動運転技術および関連市場は成長を続けており、市場調査・コンサルティング会社の MarketsandMarkets によると、世界の自動運転車市場は、2021 年の 2,030 万台から 2030 年には 6,240 万台に増加し、年平均成長率 (CAGR) 13.3% で拡大すると予測されている¹⁶。

米国の立法補佐機関である議会調査局 (CRS) が 2021 年 4 月に発表したレポート「自動運転車の試験と普及における問題点 (Issues in Autonomous Vehicle Testing and Deployment)」¹⁷によると、3 つの要素が自動運転技術のイノベーションを推進しているという。すなわち、①新規材料や電子機器の高性能化および小型化による技術進歩、②自動車の通信接続性や新しい形態の自動車所有、ライドシェアに対する消費者需要、③排出ガス、燃費、安全性に関する規制である。メーカーは、これらの技術革新を組み合わせ、より高度に自動化された自動車を目指して技術開発を行っている。

¹⁴ <https://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2019/09/Technology-Roadmap-White-Paper.pdf>

¹⁵ <https://waymo.com/company/#story>

¹⁶ <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/near-autonomous-passenger-car-market-1220.html>

¹⁷ <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45985>

1.1 ADASを含む自動運転車両の要となる技術のトレンド

SAEが2014年に定めた自動化レベルの規格はSAE J3016として公開されている。この規格は、米国運輸省（DOT）により採用され、自動車の自動化と安全性に関する議論の透明性と一貫性を高めるために用いられている（図表2参照）。

図表 2：自動車の自動化レベル

SAE 自動化 カテゴリー	自動車の機能
レベル 0	ドライバーが、全ての運転操作を行う。
レベル 1	自動車の自動化システムが、特定の場面で運転操作の一部分を支援できる。
レベル 2	ドライバーが運転の大部分を行い、ドライバーによる運転状況の監視下で、自動車の自動化システムが運転の一部を行うことができる。
レベル 3	自動車の自動化システムが、特定の場面で運転の一部と運転環境の監視を行うことができるが、ドライバーは必要に応じて運転操作に戻れるようにしなければならない。
レベル 4	自動化システムが、特定の環境・条件下で、人の介在なしに運転と運転環境の監視を行う。
レベル 5	自動化システムが、全ての条件下で、全ての運転作業を行う。

出所：議会調査局（Issues in Autonomous Vehicle Testing and Deployment）¹⁸を基に作成

自動運転技術は、大きく分けてV2X（Vehicle to Everything）とADASの2つの技術によって実現する。V2Xは、無線通信技術を利用して、車両と周囲の物体やインフラとの間のリアルタイムな通信を可能にし、ADASは車載センサーで周囲の環境を検知・演算して認識することを可能にする。この2つの技術の組み合わせによって安全性の補完と冗長性が生み出され、より信頼性の高い自動運転が実現する。近年のADASの技術進展を支える技術分野を見てみると、①ハードウェアとセンサーの処理能力の向上、②AI技術の開発、③デジタル地図の活用を挙げることができる。本レポートでは、これら3つの技術分野を踏まえて、自動運転を可能にする車載システムの各機能について、ハードウェア技術とソフトウェア技術の両面から技術動向を記載する。

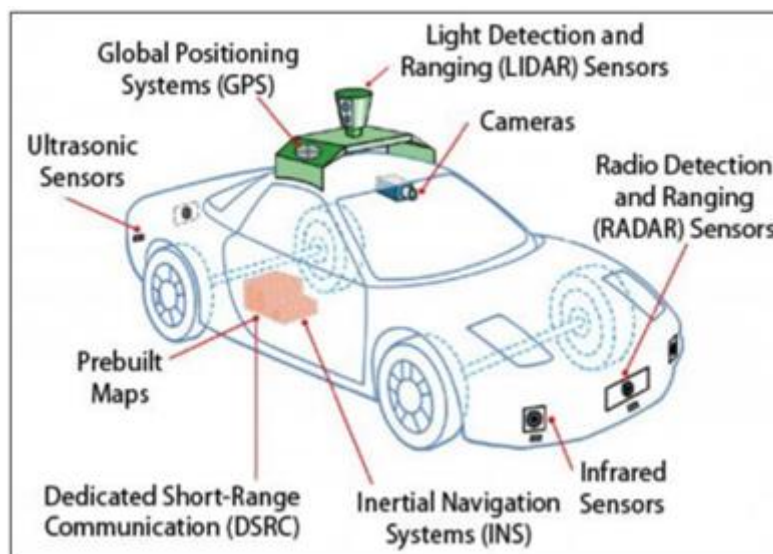
1.1.1 センサーなどのハードウェア技術

自動運転車両にはさまざまなセンサーが用いられるが、ADASの技術開発に伴って、まず前方レーダーが採用された。その後、ステレオカメラ、周辺監視レーダー、AIを活用した前方カメラなど、今日ではさまざまなセンサー（GPSセンサー、超音波センサー、赤外線センサーなど）が実用化されている。現在の自動ブレーキや車線維持支援などのADAS技術は、ミリ波レーダーとカメラが主流となっている。しかし、この2つのセンサーの組み合わせは、対象物までの距離を計測できるものの、正確な形状や位置関係の検知は現状困難である。それに対し、LiDAR（Light

¹⁸ <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45985> P2

Detection and Ranging) は、対象物の距離や形状、位置関係を 3 次元で高精度に把握できるため、自動運転のさらなる高度化にあたって注目されている。また、超音波センサーはこれまで、車両が壁や他の車両などへの衝突を避けるための警告システムに利用されるのが主流だったが、自動パーキングシステム用途への採用が拡大しており重要な機能になっている（図表 3、4、5 参照）。

図表 3：自動運転車のテクノロジー



出所: ミシガン大学¹⁹

同大学の許可を得て掲載

<図中の用語>

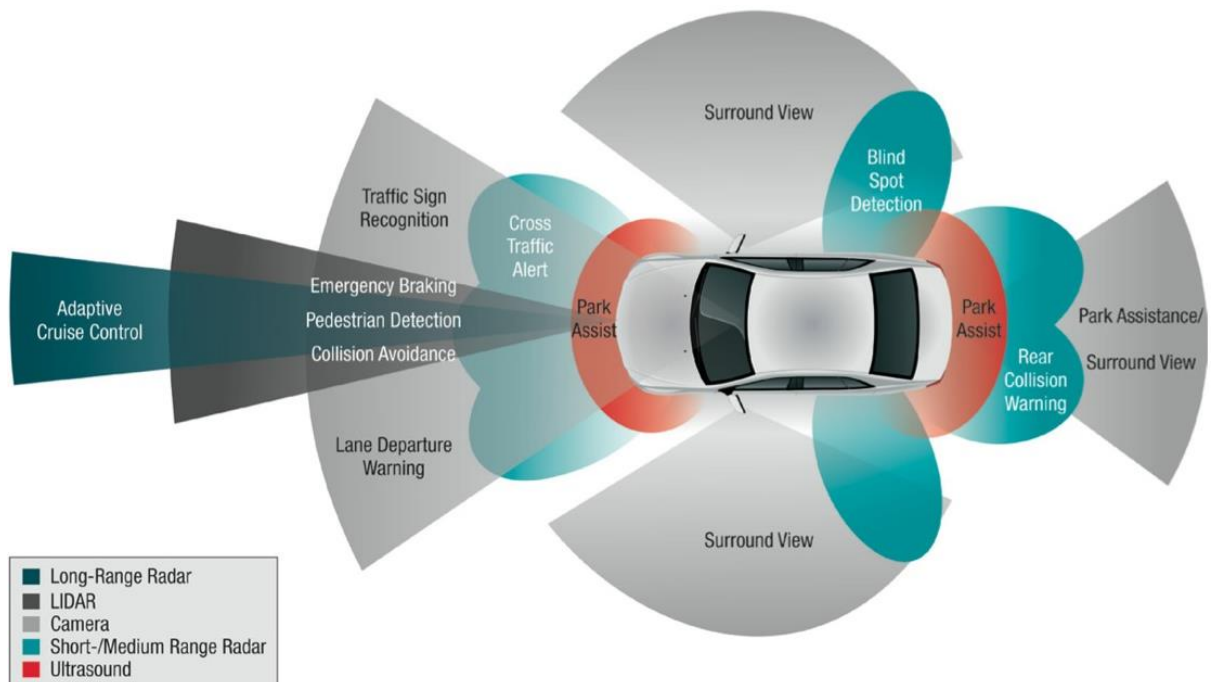
超音波センサー	駐車支援システムおよびバックアップ警告システムで一般的に使用される短距離データを提供する。
全地球的測位システム (GPS)	人工衛星を利用して車両の位置を三角測量することで、車両の位置を特定する。2000 年代以降 GPS の精度は向上したが、誤差範囲は数メートルある。
LiDAR	光線によって障害物との距離を判断する 360 度センサー。
カメラ	安価でよく使われる技術だが、収集した画像データを解釈するために複雑なアルゴリズムが必要である。
ミリ波レーダーセンサー	電波を利用して障害物との距離を測定するセンサー。
赤外線センサー	低照度や特定の環境条件下で、他のセンサーでは検出が困難な車線標示、歩行者、自転車などの検出を可能にする。

¹⁹ <https://css.umich.edu/factsheets/autonomous-vehicles-factsheet>

²⁰ <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45985> P3

内部ナビゲーションシステム (INS)	精度を向上させるために GPS と組み合わせて使用するのが一般的。ジャイロ스코ープと加速度計を使用して、車両の位置、方向、速度を検知する。
専用狭域通信 (DSRC) 用車載器	V2V および V2I システムで使用され、道路状況、渋滞、衝突、経路変更の可能性などの重要なデータを送受信し、車両の隊列走行 (プラトニング) を可能にする。
プリビルトマップ	GPS や INS を使用する際に発生する誤差による不正確な測位を修正するために利用されることがある。全ての道路や走行可能な路面を地図にすることは困難なため、地図に頼ると自動運転車の走行ルートが限定される。

図表 4：自動運転車の各センサーの用途と範囲



出所: ミシガン工科大学研究所²¹

同研究所の許可を得て掲載

²¹ <https://mtri.org/automotivebenchmark.html>

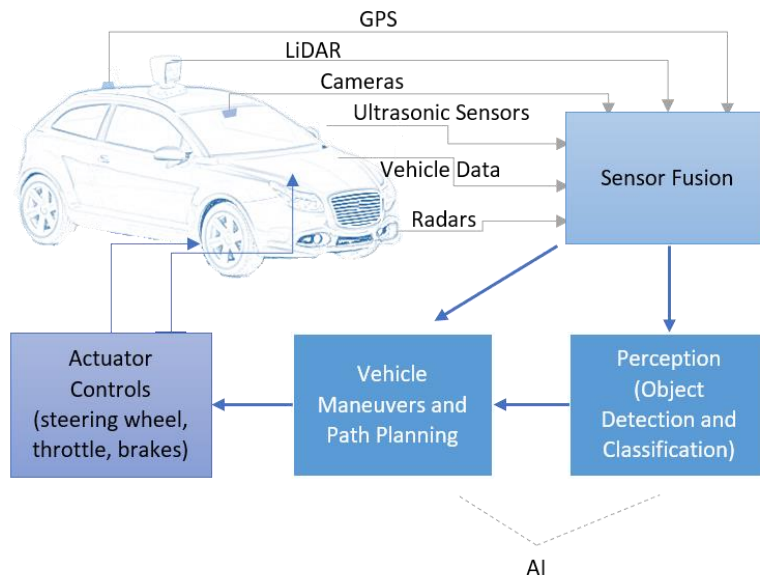
図表 5：自動運転センサーの概要

特徴	LiDAR	ミリ波レーダー	カメラ	超音波
技術概要	レーザー光	電波	光	音波
範囲	約 200m	約 250m	約 200m	約 5m
解像度	○	○△	◎	△
天候による影響	有	有	有	有
光条件による影響	無	無	有	無
速度検知感度	○	◎	△	△
距離検出感度	○	◎	△	○
妨害感受性	○	△	◎	○
サイズ	大	小	小	小

出所: An Overview of Autonomous Vehicles Sensors and Their Vulnerability to Weather Conditions (Sensors 2021, 21, 5397) ²²を基に作成

カメラやミリ波レーダー、LiDAR、超音波センサーといったセンサーは、自動車の目の役割を担い、取得した車両周囲の画像データに基づき、AI が車両制御操作につながる判断処理を行う仕組みになっている。自動運転のデータ処理・実行プロセスは、簡略化すると「認識 (perception)」、「計画 (planning)」、「作動 (actuation)」に大別できるが、車載ハードウェアが関与するのは「認識」のためのデータ取得や自己位置推定に関わる部分である (図表 6 参照)。

図表 6：自動運転のデータ処理プロセス



出所: Abalta Technologies²³
同社の許可を得て掲載

²² <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/16/5397/pdf>

²³ <https://www.abaltatech.com/blog/autonomous-data-problem>

<認識に必要なハードウェア技術>

認識技術は、各種センサーが取得したデータに何が映っているか、対象物の位置や動きを認識したり、歩行者や自動車の状況を把握したりする技術である。認識に必要なハードウェアセンサーとして、一般的に LiDAR、ステレオカメラ、ミリ波レーダーの3つが特に重要だと考えられている。

これまで、カメラと画像認識の発展が目覚ましく、特に深層学習を活用した画像認識によって、技術は大きく進歩した。しかし、カメラと画像認識の技術の組み合わせでは、物体の正確な距離は測定できず、カメラは照度が低ければ黒く潰れてしまい、物体の検出にとって不都合である。一方、LiDARは、物体の距離を測定できるため、より正確に障害物を回避することができる。また、レーザーが LiDAR から発射されるため、暗条件でも機能する。さらに、カメラはレンズや窓に付着した水滴などに影響されやすいが、LiDAR の場合、レーザーが完全に遮断されない限り影響は小さいことから、自動運転にとって有望なセンサーとみられており、多くの企業が開発に参入している。

1. LiDAR

<特徴と技術動向>

LiDAR は、光を使ったりリモートセンシング技術を用いて、物体を検知したり対象物までの距離を計測する技術で、レーザー光を照射し、それが物体に当たって跳ね返ってくるまでの時間を計測して、物体までの距離や方向を測定する。照射したレーザー光の測定結果は、一つ一つが「点」で表され、これを集めることでリアルタイムに周囲の状況や対象物までの距離や位置、形状などを把握できるようになる。電波と比べて光束密度が高いため、短い波長のレーザー光を利用することで、高い精度で位置や形状を計測することができる。そのため、近年では自動運転分野での研究開発が加速しているが、現時点で価格が高いといった課題がある。一般消費者向けの自動車にはまだ搭載されていないが、小型化、軽量化および低コスト化に向けた研究開発が進められている。

2021年10月29日付のフォーブス誌の記事によると、LiDARの開発企業は約70社あり、検出技術、スキャン技術、レーザー光源に関して、いくつか異なる技術に焦点を当て開発が行われている²⁴。検出技術には、TOF (Time of Flight) や FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) がある。TOF LiDAR は、短光パルスを照射し、その反射が戻ってくるまでの時間を計測することで画像を生成する。受信機にはわずかな光しか届かないため高感度な検出器が必要であり、現在のシステムでは、905nm 付近のレーザーを使用するものが多く、この波長では、超短パルスレーザーと高感度検出器が利用できる。しかし、出力を高めると人間の目の網膜を損傷する恐れがあることから、レーザーの出力には上限がある。FMCW LiDAR は、ミリ波または近赤外の光に、「チャープ」と呼ばれる直線的な周波数変調をかけて対象物に発射し、反射して戻ってきた波と発射した波の周波数（または波長）を比較することで距離を割り出す。このプロセスは

²⁴ <https://www.forbes.com/sites/sabbirangwala/2021/10/29/how-will-pure-play-public-lidar-companies-use-their-money/?sh=697061aec783>

自動車用レーダーの仕組みに似ており、コヒーレント検出と呼ばれ、より遠くにある微弱な物体を認識することができる。スキャン方式には、回転型、ソリッドステート型、ハイブリッド型がある²⁵。このように、LiDAR センサーには多くの技術、構成、測定方法があり、自動運転技術の標準化仕様として技術が確立する途上にあるため、各社が技術開発にしのぎを削っている状況にある。図表 7 は技術的な観点で表に分類したものである。

図表 7：主要な LiDAR 開発企業の技術による分類と全体の傾向

λ, 視野角 (FOV) 物理特性	8XX/9XX nm, フラッシュ型	8XX/9XX nm, スキャン型	14XX/15XX nm, フラッシュ型	14XX/15XX nm, スキャン型
TOF-リニア	2 社 Continental (L3) Tetravue (L3)	約 50 社 Velodyne (L3/L4) Hesai (L3/L4) Waymo (L4) Innoviz (L3/L4) Valeo (L3) Cepton (L3)	—	約 5 社 Waymo (L4) Luminar (L3/L4) Aeye (L3/L4)
TOF-光子計数	2 社 Sense Photonics (L3, L4) Fastree 3D (L3)	約 5 社 Ouster (L3) ZF-IBEO(L3)	—	1 社 Argo (L4)
FMCW	—	—	—	約 10 社 Aeva (L4) Aurora (L4) Mobileye (L4)

出所: フォーブス誌 (2021 年 10 月 29 日) ²⁶を基に作成

コストおよび性能において、どのの技術に優位性があるかを比較するのは難しいが、以下に成長が見込まれている 6 社の特徴を記載する。

- Aeva Technologies (カリフォルニア州マウンテンビュー、2017 年設立)

Aeva Technologies は自動運転車や産業ロボット、セキュリティーなど幅広い用途向けの 4D LiDAR 技術を有している。4D とは、空間的な 3D データだけでなく瞬間速度を独自に測定して、自動運転車や機械が周囲の物体の位置と移動速度を正確に把握し、安全にナビゲートできるよう

²⁵ https://www.photonics.com/Articles/Market_Trends_in_Automotive_Lidar/a65302

²⁶ <https://www.forbes.com/sites/sabbirangwala/2021/10/29/how-will-pure-play-public-lidar-companies-use-their-money/?sh=697061aec783>

にするものである²⁷。また、同社は、世界初のマイクロチップ上の LiDAR (4D LiDAR-on-Chip) 技術を有しており、センサーのある場所で一部のデータ処理を行うことができるという。2021年6月時点で、同社の評価額は約 25 億ドルであり、2025 年の売上高は 8 億 8,000 万ドルと予想されている。

- **AEye** (カリフォルニア州ダブリン、2013 年設立)

AEye は、人間の視覚がどのように環境に焦点を当てて評価するかに着目し、それを技術開発に活かすバイオミクリーの手法を取っている。同社のインテリジェント・センシング・プラットフォームである 4Sight は、ソリッドステート型高性能アダプティブ LiDAR を搭載しており、従来の固定式の LiDAR と比べて 4~8 倍の情報を収集し、消費電力を 5~10 倍削減可能だという²⁸。これは、モーション・プランニング・システムに伝達される無関係なデータを 90%以上削減することによって実現されている。同社の 2025 年の売上高は 2 億 9,000 万ドルと予想されている。

- **Argo AI** (ペンシルベニア州ピッツバーグ、2016 年設立)

Argo AI は、2017 年に長距離 LiDAR 開発企業のプリンストン・ライトウェーブを買収し技術開発を進めてきた。同社はフォードとフォルクスワーゲンからそれぞれ 26 億ドルの出資を受けて業務提携しており、特に商用車分野の自動運転技術開発により自動配送やタクシー配車サービスの強化を目指している²⁹。フォードと Argo AI は 2021 年 9 月、ウォルマートと提携して米国内の 3 都市 (フロリダ州マイアミ、テキサス州オースティン、コロンビア特別区) で自動運転による宅配サービスの試験運転を開始すると発表した。また、配車サービスの Lyft とも提携し、自動運転による乗車サービスを開始する。Argo AI は 2021 年 9 月時点で米国内 6 カ所で約 150 台の自動運転車の試験を行っている³⁰。

- **Innoviz Technologies**³¹ (イスラエル、2016 年設立)

Innoviz の LiDAR は、低出力のレーザーをソナーのような構成で使用し、レーザー光が対象物に反射して戻ってくるまでの時間によって画像を生成している。同社は FMCW 式 LiDAR を開発しており、高出力レーザーを使用する他社よりも低コスト生産できるという。また、同社は部品サプライヤーのマグナ・インターナショナルと提携し、センサーの低コスト化を図る考えである。2021 年 6 月時点で、同社の評価額は約 15 億ドルで、2025 年の売上高は 5 億 8,100 万ドルと予想されている。

- **Luminar Technologies**³² (フロリダ州オーランド、2012 年設立)

²⁷ <https://www.aeva.com/press/aeva-to-showcase-industrys-most-advanced-4d-lidar-for-autonomous-vehicles-and-beyond-at-ces-2022/>

²⁸ <https://www.aeye.ai/tech-4sight/>

²⁹ <https://www.argo.ai/company-news/breakthrough-new-lidar-technology-gives-argo-ai-the-edge-in-autonomous-delivery-and-ride-hail-services/>

³⁰ <https://www.nytimes.com/2021/09/15/business/walmart-self-driving-delivery-ford.html>

³¹ <https://innoviz.tech/>

³² <https://www.luminartech.com/>

Luminar Technologies は、競合他社の中でも最も高密度な点描で画像を作成することができ、より高品質な画像を生成することができる。同社はボルボ・カーズと提携しており、同社の 3D LiDAR アイリス (Iris) が搭載された車両は、2022 年から量産開始の予定である。2021 年 6 月時点で、同社の評価額は約 77 億ドルと LiDAR 企業の中で最も評価額が大きく、2025 年の売上高は 8 億 3,700 万ドルと予想されている。

- Ouster (カリフォルニア州サンフランシスコ、2015 年設立)

Ouster は 2021 年 10 月、ソリッドステート型 LiDAR のスタートアップ企業であるセンス・フォトニクス (Sense Photonics) の全株式を取得して買収すると発表した。これにより同社は新事業部門を立ち上げ、センス・フォトニクスの LiDAR 技術を Ouster が自動運転車用として計画しているマルチセンサーLiDAR スイートに統合する。2021 年 6 月時点の同社の評価額はおよそ 22 億ドルであり、2025 年の売上高は 16 億 3,700 万ドルと予想されている。同社は自動車だけでなく、ロボットなど他の市場も積極的に開拓している³³。

2. カメラ

<特徴と技術動向>

自動運転におけるカメラの役割は多岐にわたり、取得画像から深層学習技術を使って対象物の認識やトラッキング、車線の検出、信号や標識の認識、走行エリアの識別など、画像データを処理して運転に必要な情報の認識まで担う。

ADAS 用のカメラの種類には、主にモニター機能で使用する単眼カメラ (モノカメラ) と、2 眼のカメラを用いて複数の方向から撮影するステレオカメラがある。単眼カメラは後方や側方の死角を補うビューカメラや、駐車支援のアラウンドビューモニタ、車線認識などに使用されている。一方、ステレオカメラは、人間が物を見るときと同じ原理で距離の測定が可能で、車両前方の対象物の大きさや相対距離、速度などを計測することができるため、衝突回避や車間距離を保つ制御などへの利用が可能である。

大部分の自動車メーカーは、カメラにミリ波レーダー、そして LiDAR を組み合わせることで安全性と冗長性を確保しようとしている一方、電気自動車 (EV) 大手のテスラは独自路線をとっており、2021 年末時点では自動運転機能「オートパイロット」からミリ波レーダーセンサーを削除し、カメラのみで構成する自動運転システムを目指す方針を取っている³⁴。また、インテル傘下の Mobileye は、2020 年 1 月開催の技術見本市「CES 2020」でカメラのみのシステムで自動運転を行うことに成功したことを発表した。しかしながら同社の量産に向けた開発技術では、2022 年 1 月開催の「CES 2022」で発表された最新のシステムオンチップ (System on Chip : SoC) 「EyeQ Ultra」において、カメラのみのシステムと、ミリ波レーダーと LiDAR を組み合わせたシステムの 2 つのセンシング・サブシステムからの入力进行处理する仕組みであった。同社

³³ <https://sensephotronics.com/ouster-completes-acquisition-of-sense-photonics/>

³⁴ <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/tesla-drops-radar-is-autopilot-system-safe-2021-06-02/>

が得意とするコンピュータービジョン技術は、これらの技術を組み合わせた冗長なセンシング・サブシステムに基づく構成になっており、現時点ではテスラの独自路線が際立っている³⁵。

3. ミリ波レーダー

<特徴と技術動向>

ミリ波レーダーは、電波を利用して一定範囲内の物体を検出する装置である。電波が電波の経路上にある物体に当たると、その表面で反射し、反射した信号（エコー）をミリ波レーダーアンテナがその視野内に集める。この往復にかかる時間と電波速度を用いて、ミリ波レーダーシステムから対象物までの距離と速度を正確に計測する仕組みになっている。ミリ波レーダーの長所は、レーザーを用いたセンサーに比べて検知距離が長く、正確な位置情報を得られること、悪天候時の検出に優れており、夜間や逆光など明るさが急激に変化する場合でも使用できることなどが挙げられる。一方で、段ボールなど反射率の低い物体の検知が困難であることや、詳細な形状の画像を得られないといった欠点がある。

企業各社の技術開発動向に関して、大手データ分析およびコンサルティング会社のGlobalDataは、「4D イメージングレーダーセンサー技術」が自動運転車の安全性確保技術のゲームチェンジャーになり得るとしている³⁶。同技術は、従来のミリ波レーダーシステムが識別する「3つのD（距離：distance、方向：direction、相対速度：doppler）」に加えて、垂直方向の情報を追加する技術である。これらの水平方向と垂直方向の両方のデータから多くの反射点を検出し、それらをマッピングすることで画像のように検出することが可能になるという³⁷。同技術は従来の3Dレーダーに比べて、特に対象物の高さを特定する際に優位性があり、レベル3までのADAS開発のみならずレベル4やレベル5の実現に向けて重要な技術要素とみられている。解像度の向上や4D イメージングレーダー技術開発に関する企業の動向を以下に記載する。

- Aptiv（アイルランド・ダブリン、1994年設立）

Aptivは2021年1月11日、初めて4D イメージングレーダーが含まれる前向きレーダーFLR4と、検出距離、垂直視野角、分解能を向上させたSRR6 コーナー／サイドレーダーについて公表した³⁸。SRR6 ファミリーのコーナーレーダーは、前世代に比べて検出範囲が最大2倍、角度分解能が最大3倍向上したという。FLR4+は、Aptiv初の真の4D イメージングレーダーで、前世代に比べて距離検出が60%向上し、機械学習機能と信号処理と組み合わせた仰角ターゲット識別機能によって、高速かつ長距離で移動する車両が、対象物上を走行可能か識別可能になったという。

- Oculii（オハイオ州デイトン、2013年設立）

³⁵ <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/mobileye-ces-2022-tech-news.html#gs.lxcfgj>

³⁶ <https://www.globaldata.com/4d-imaging-radar-technology-provides-game-changing-safety-autonomous-vehicles-says-globaldata/>

³⁷ <https://www.apativ.com/en/insights/article/what-is-4d-imaging-radar>

³⁸ https://www.apativ.com/docs/default-source/2021-kickoff/2021-ativ-kickoff-transcript.pdf?sfvrsn=967b153d_2_P.4-5

Oculii は 2021 年 3 月 9 日、ミリ波レーダーのシステム制御に同社開発のソフトウェアプラットフォーム (Virtual Aperture Imaging) を使用することで、あらゆるハードウェアに対して解像度と感度を最大 100 倍向上させることが可能になると発表した³⁹⁴⁰。ミリ波レーダーは LiDAR と比べてはるかに安価なため、同社はこの画像処理技術の向上により競争力が格段に高まり、カメラのみで自動運転を実現しようというテスラの方針にも影響を与え得ると見ている。同社は 2021 年に GM から出資を受けており、また、2021 年 11 月 5 日、ファブレス半導体設計企業の Ambarella (カリフォルニア州サンタクララ、2004 年設立) に買収され完全子会社となった⁴¹。

- ザイリンクス (カリフォルニア州サンノゼ、1984 年設立)

ザイリンクスとドイツの総合自動車部品メーカーであるコンチネンタルは 2020 年 9 月 23 日、コンチネンタルの新しいアドバンスドレーダーセンサー (ARS) 540 に、Zynq® UltraScale+™ MPSoC プラットフォームを搭載して、自動車業界で初めて実稼働可能な 4D イメージングレーダーを開発すると発表した⁴²。この協業により、ARS540 を搭載して新しく製造される車で SAE の定めるレベル 2 の自動運転機能が実現し、レベル 5 自動運転システムの実用化への道が開かれるとしている。

1.1.2 車載エッジコンピューティングおよび AI などのソフトウェア技術

自動運転車では、カメラや LiDAR などの車載センサーが取得したリアルタイムデータを、ソフトウェアが解析処理して自動車制御を行う。近年の自動車の技術革新の中で、ソフトウェアの重要性はますます高まっており、ADAS や車載インフォテインメントの技術開発を含む自動運転車開発は、ソフトウェア・デファインド・ビークル⁴³の概念を体現しているものといえる。自動運転システムを構成する「認識」「判断」「計画」「作動」といったデータ処理プロセスにおいて、ソフトウェアが大きな役割を占める。また、これらの主要機能を支える膨大なデータを高速で処理するためには、クラウドとの連携が欠かせず、車載エッジコンピューターが車側でこの連携を担っている。

ここでは、ソフトウェア機能の中でも特に、①自動化レベル 3 以上の自動運転に必要なドライバーモニタリングシステム (DMS)、②自己位置推定技術、③ネットワーク通信を担う車載エッジコンピューター、④自動運転車の開発段階におけるシミュレーションなどで重要な役割を果たすデジタルツイン技術、さらに、⑤AI の深層学習トレーニングに必要な環境認識・自己位置推定用データセットについて、以下に記載する。

1. ドライバーモニタリングシステム (DMS)

³⁹ <https://www.globenewswire.com/fr/news-release/2021/03/09/2189733/0/en/Oculii-Unveils-the-World-s-Highest-Resolution-Commercial-Imaging-4D-Radars-Powered-by-its-AI-Software-Platform-for-Radar-Perception.html>

⁴⁰ <https://www.oculii.com/technology>

⁴¹ <https://www.ambarella.com/news/ambarella-closes-acquisition-of-oculii/>

⁴² <https://iot-automotive.news/xilinx-and-continental-collaborate-to-create-auto-industrys-first-production-ready-4d-imaging-radar-for-autonomous-driving/>

⁴³ ソフトウェアによって車の特徴や機能が定義づけられる、という概念の自動車。

レベル3の自動運転システムは、特定の条件下でドライバーは周囲の監視を行わずに自動運転システムに運転を任せられることができるが、状況の変化によってドライバーは運転に戻らなければならない。DMSは、ドライバーが即座に運転操作に戻れるかを監視するために必要であり、ドライバーの状態を車内カメラで監視し、顔認証技術による視線のモニタリングなどにより判断する。通常、DMSを含む運転支援システムは、平均的なドライバーの運転スタイルをベースに設計されるが、個々人の運転スタイルは環境的要因（天候、時間帯、季節など）や、個人の特徴に基づく要因（年齢、性別、行動パターンなど）の影響を受けるため、各企業はAIの機械学習による運転スタイル認識アルゴリズムを用いた技術開発を試みている⁴⁴。各OEMによるDMSの導入状況について、2021年6月11日付のElectronic Engineering Times誌の記事に基づき以下の表に取りまとめる（図表8参照）。一部のDMSのサプライヤーは、記事の著者でDMS業界の市場動向に関するエキスパートであり、Semicast Research 主席アナリストのColin Barnden氏の推定に基づく。

図表 8 : OEM の DMS 導入状況

OEM	ADAS（導入開始時期）	DMS ソフトウェアサプライヤー
GM	スーパークルーズ（2017年～）	Seeing Machines
BMW	ドライビング・アシスタント・プロフェッショナル（2019年～）	Smart Eye
フォード	ブルークルーズ（2021年～）	Seeing Machines（推定）
現代自動車	前方注意警告（Forward Attention Warning : FAW）（2021年～）	Smart Eye（推定）
ステランティス	アクティブドライビングアシスト（2022年～導入予定）	Seeing Machines（推定）
ボルボ	ハイウエー・パイロット（2022年～導入予定）	Smart Eye（推定）

出所: Electronic Engineering Times 誌の記事⁴⁵に基づき作成

DMS 開発企業の概要および動向について、以下に記載する。

- NVISO（スイス・ローザンヌ、2009年設立）

NVISO は、目の動きや頭の位置を正確に把握して注意力や疲労度を判断することで、注意散漫や眠気のあるドライバーを検出できる AI ソリューションを提供している。さらに、生体認証分析によって乗員を特定し、モニタリングすることでセキュリティーを向上させている⁴⁶。また、プロファイリングによって乗員の心理的な状態を感知し、それに応じてパーソナライズされた体験を提供することができる。

⁴⁴ <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/11/2574/htm>

⁴⁵ <https://www.eetasia.com/a-look-into-different-dms-design-wins/>

⁴⁶ <https://www.nviso.ai/en/automotive-ai>

- **Seeing Machines**（オーストラリア・キャンベラ、2000年設立）

Seeing Machines の DMS は、カメラと高度なアルゴリズムを用いてドライバーが運転環境に注意を払っているかを監視し、自動運転モード中にドライバーがハンドルから手を完全に離すことができるかどうかを判断して、車両システムにデータを出力するものである。同 DMS は、運転席側の車両コックピットに取り付けられた小型赤外線カメラと近赤外線照明ポッドで構成されている。映像データは、同社の FOVIO Driver Monitoring Engine (DME) を搭載したメイン処理素子でリアルタイムに処理され、ドライバーの顔と目の特徴を連続的に検索・追跡することで注意力を測定する⁴⁷。

- **Smart Eye**（スウェーデン・イエーテボリ、1999年設立）

Smart Eye の DMS は、視線検知ソフトウェアを用いている。また、システムで用いられるアルゴリズムは、人の目、顔、頭の動きを学習することで、ドライバーの注意力や集中力を読み取ることができる。同社の製品は、多様なニーズに応えるために可能な限り拡張性を有するよう設計されており、また高度なプロセッサとインフラを利用できるように、ハードウェアにとらわれないプラットフォームを開発しているという。同社は、NVIDIA（カリフォルニア州サンタクララ、1993年設立）、NXP（オランダ・エイントホーフェン、2006年設立）、ボルボ、Neonode（カリフォルニア州サンノゼ、2001年設立）、OmniVision（カリフォルニア州サンタクララ、1995年設立）、Osram（ドイツ・ミュンヘン、1919年設立）などと共同研究を行い、次世代の視線検知技術の開発に取り組んでいる⁴⁸。

- **Affectiva**（マサチューセッツ州ボストン、2009年設立）

Affectiva は、感情センサーおよび顔表情分析のアプリケーション開発を行っていたマサチューセッツ工科大学メディアラボからスピンアウトした。同社の技術は、世界各国の 990 万人以上の顔画像データと独自のアルゴリズムを用いた深層学習により感情分析を行っている。また同社が開発した感情認識 AI「Affdex SDK」は、ネットワーク接続のないローカル環境でのスタンドアロン実行も可能で、Windows、iOS、Android、Linux といったほぼ全てのメジャーなプラットフォームに対応しているという。同社は 2021 年 5 月、スウェーデンの Smart Eye に買収された⁴⁹。

- **ロバート・ボッシュ**（ドイツ・ゲルリンゲン、1886年設立）

世界最大の自動車部品サプライヤーであるロバート・ボッシュは、2019年12月のプレスリリースで、カメラと AI を備えた新しい車内モニタリングシステムを開発したと発表した。同システムでは、ハンドルに内蔵されたカメラがドライバーの疲労度や不注意・わき見などを検知する。AI が検知した情報を基に解析し、解析結果を基に OEM の仕様や法的要件に従って警告、休憩の

⁴⁷ <https://www.seeingmachines.com/industry-applications/automotive/#:~:text=Seeing%20Machines%20DMS%20uses%20a,hands%20from%20the%20steering%20wheel>

⁴⁸ <https://smarteve.se/ja/automotive-solutions/>

⁴⁹ <https://go.affectiva.com/smarteye-acquires-affectiva>

推奨、車両の減速などが行われるという。同社のシステムは 2022 年に生産段階に入ると見込まれている⁵⁰⁵¹。

2. 自己位置推定技術 (Localization)

自動運転では、現在どこを走行しているのかを把握する自己位置推定技術が必要となる。この位置情報において現在主力となっているのが GPS をはじめとした全球測位衛星システム (GNSS) である。しかし、GPS は衛星の電波が受信できる場所でしか機能せず、トンネルの中や周辺にビルが立ち並ぶ場所では高い精度で位置が測位できない。そのため、地図情報を利用して相対的に自分の位置を求める自己位置推定が必要になる。

<自己位置推定における HD マップの役割>

現代の自動車に搭載されているカメラ、ミリ波レーダー、LiDAR などのセンサー群は、他の車両、歩行者、道路標識、信号、路面標示などを見るための「目」として機能している。しかし、人間のドライバーは文脈を理解できるため、初めて遭遇する状況でもその場の状況に応じて判断し運転することができる。一方で、これらの能力は機械には欠けており、そのギャップを埋めるものとして地図が必要になる。地図は、車のセンサーが「見ているもの」に人間のような文脈を与えるデータのレイヤーを追加する。ここで必要になるのが HD マップ (高精度 3 次元地図) であり、最新かつセンチメートル単位での正確さが求められる。

HD マップは、従来の平面的な地図情報に対し、各車線やガードレール、道路標識、横断歩道などさまざまな情報をより正確な位置で記録した空間的な地図である。カメラ、レーザースキャナーなどの 3 次元計測器、GPS などの衛星測位機器などで構成されるモバイルマッピングシステムを用いて構築される。同システムを搭載した車両を走行させることで、道路の形状といった路面情報や、車線情報、標識などの道路の周辺環境を効率的に 3 次元データとして取得することができる。

<HD マップ構築企業と連携した、NVIDIA の自己位置推定技術開発戦略>

NVIDIA は、HD マップを提供する企業 (Baidu、HERE、NavInfo、TomTom、Zenrin など、以下の図表の Partner に該当、図表 9 参照) と提携して、同社が開発する DRIVE Mapping の自己位置推定を担うプラットフォーム DRIVE Localization の機能拡張を図っている。DRIVE Mapping は、マッピングと自己位置推定コンポーネントを一体化したプラットフォーム。開発者は、自動運転車を可能とする高解像度マップの利用や共同作成、更新が可能となる。DRIVE Localization (自動運転車の正確な 6 つの自由度位置<6DoF>と車の進行方向をセンチメートル精度で HD マップ内に反映)、DRIVE Mapstream (DRIVE Perception で認識した道路の特徴を、クラウドベースの HD マップに反映)、DRIVE MyRoute (クラウドソーシングによる都市部の地図を構築) から構成される。

⁵⁰ <https://www.bosch-press.nl/pressportal/zip?country=nl&language=en&docId=19968>

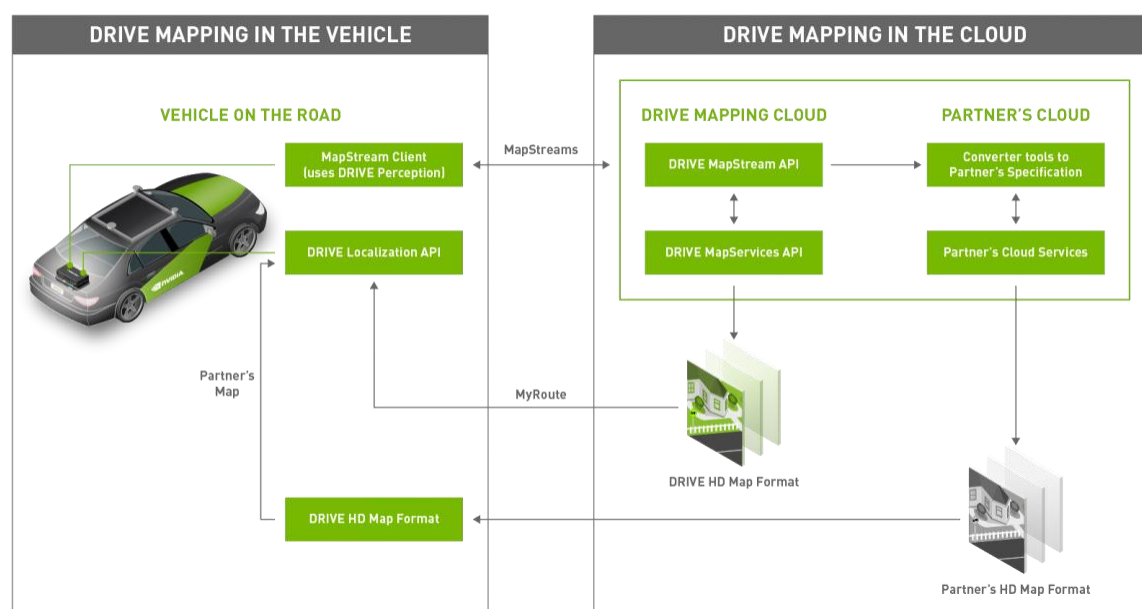
⁵¹ <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/interior/interior-monitoring-systems/>

DRIVE Localization は、車両に搭載されたカメラや慣性計測ユニット、GPS 受信機といった低コストセンサーからデータを収集し、NVIDIA 専用のディープニューラルネットワーク（人間の脳の活動をシミュレートするために構築されたテクノロジー）がデータを瞬時に分析し、車線の境界や標識、道路端などを検出する。高精細な地図から得られる特徴量と周囲の目印をマッチングさせることで、正確な位置をリアルタイムに割り出すことができる。ここで DRIVE Mapping は、以下の図のように自動車側（DRIVE Localization と DRIVE MapStream Client）と、クラウド側（DRIVE MapStream と DRIVE MapServices）の 2 つの部分から構成されており、パートナー企業のクラウド上の HD マップも利用できるようになっている。

なお、車載側では膨大な計算量が必要になるが、同社が開発する効率、堅牢性、精度を備えた DRIVEAGX プラットフォームによって、車両を地図上に正確に位置付けることが可能となる。

52。

図表 9 : NVIDIA の自己位置推定プラットフォーム「DRIVE Mapping」



出所: NVIDIA⁵³

NVIDIA の許可を得て掲載

また、同社は 2021 年 6 月に HD マップを構築するスタートアップ DeepMap（カリフォルニア州サンノゼ、2016 年設立）を買収すると発表し、8 月に完了した⁵⁴。DeepMap はGoogleやアップルで開発経験のあるエンジニアが立ち上げた HD マップソリューション開発スタートアップで、自動運転分野で高い技術を有する。買収により、NVIDIA は両社のソリューションを融合することで、NVIDIA Mapping などで利用可能な地図構築や自己位置推定機能を強化し、現在位置や進行方向などをより正確に認識できるようになる、としている。

⁵² <https://developer.nvidia.com/drive/drive-mapping>

⁵³ <https://developer.nvidia.com/drive/drive-mapping>

⁵⁴ <https://blogs.nvidia.com/blog/2021/06/10/nvidia-deepmap-mapping-drive-platform/>

<Mobileye による HD マップの構築と自己位置推定>

以下の図は、インテルの子会社で ADAS 用の画像認識システムを提供するイスラエルの Mobileye が HD マップを自動で構築する仕組み REM (Road Experience Management) を示している (図表 10 参照)。NVIDIA と同様にクラウドソーシングの手法を用いて、Mobileye が開発する ADAS のカメラ画像処理チップ「EyeQ」を搭載し路上を走行する一般車両から地図用のデータを収集する仕組みになっている。具体的には、図中、①EyeQ 搭載車両から道路および標識情報を収集し、②REM データの匿名化・暗号化を行い、③集約してクラウドソーシングによる自動運転用 HD ロードブックを生成し、④地図を車両に配布して、⑤同地図中 10 センチメートル以内の誤差で当該車両の位置推定を行う。

EyeQ4 カメラシステムは、車線標識、縁石、路面標示、交通標識、電柱、その他のインフラを識別して処理する。データは、1 キロメートル当たり約 10 キロバイトのコンパクトで圧縮可能なデータで座標変換される。一般的な北米での 1 年間の走行では、1 台当たり約 200 メガバイト程度になる。このようにして Mobileye は、HD マップの構築と更新のプロセスを自動化している⁵⁵。また、REM は Mobileye と OEM の共同事業となっており (2020 年 1 月時点で主要な OEM6 社と地図情報収集で協定を結んでいる)、Mobileye のシステムを搭載している車両が生成する走行データ (GPS による軌跡や走行時にカメラが撮影している標識のデータなど) をユーザーや車両が特定できない匿名のデータとして収集し、それを元にリアルタイムに HD マップを構築していく仕組みである⁵⁶。

図表 10 : Mobileye のマップ構築システム「REM」



出所: インテル⁵⁷

インテルの許可を得て掲載

<その他 HD マップ構築関連企業の動向>

- ウーブン・プラネット・ホールディングス (日本・東京都、2015 年設立)

⁵⁵ <https://newsroom.intel.com/articles/why-how-making-hd-maps-automated-vehicles/#gs.na7xi8>

⁵⁶ https://s21.q4cdn.com/600692695/files/doc_presentations/2020/1/Mobileye-CES-2020-presentation.pdf

⁵⁷ <https://newsroom.intel.com/articles/why-how-making-hd-maps-automated-vehicles/#gs.na7xi8>

トヨタ自動車の子会社であるウーブン・プラネット・ホールディングスは2021年7月、HDマップを中心とした次世代道路情報解析に強みを持つCARMERA（本社：ニューヨーク州とワシントン州、2016年設立）を買収すると発表した。買収後、CARMERAは、ウーブン・プラネットの事業会社であるウーブン・アルファの自動地図生成プラットフォーム（AMP）チームと協働することになる。ウーブン・アルファは、AMPを進化させて、道路や車線まで含むグローバル規模のHDマッププラットフォームにし、地域に適したHDマップを用いて安全な自動運転を支援することを目指している。買収により、CARMERAのクラウドソーシングによるカメラ入力データからHDマップを更新する技術を活用し、従来よりも低コストかつ迅速に変化点を抽出してHDマップを更新できるようになる。これにより、AMPでは、道路や車線、信号や道路標識などの変化点をほぼリアルタイムで地図に反映できるようになる⁵⁸。

3. 車載エッジコンピューティング

エッジコンピューティングとは、「端末の近くにサーバーを分散配置する」ネットワークコンピューティング技術の1つであり、ユーザーや端末の近くでデータを処理することで、上位システムへの負荷を軽減したり、通信遅延を解消したりすることができる。自動運転車は、道路状況や位置情報、周辺車両のデータを常に収集してデータを送信しており、それらは膨大なデータ量になる。その処理には高い演算能力やリアルタイム性が求められ、同時にセキュリティーを確保する必要がある。現在のクラウドコンピューティングによるサービスアーキテクチャーは、大容量データ転送の負荷による遅延やセキュリティーの問題があり、自動運転車にリアルタイムでAI処理を行う妨げになっている⁵⁹。そこで、AI処理を車載エッジコンピューターが担うことで、低レイテンシー⁶⁰が求められる物体の検出や追跡、位置認識といった機能や、クラウドコンピューティングで問題となるプライバシー保護の問題を解決することができる。

<エッジコンピューティングの特徴>

近年の車両通信や5Gを使ったV2Xの進歩により、車両とインフラネットワーク間で信頼性の高い通信リンクが提供できるようになった。エッジコンピューティングは、安全上の理由から瞬時の反応が必要な自動運転車のような、帯域幅の集中やレイテンシーの影響を受けやすい用途に最適な技術である。一方で、自動運転システムは非常に複雑であり、センシング、自己位置推定、認識、判断、HDマップの生成や保存のためのクラウドプラットフォームとのインタラクションなど、多くの技術が統合されている。このような複雑さにより、自動運転エッジコンピューティングシステムの設計には課題もある。車載エッジコンピューティングシステムは移動体であるため、消費電力に厳しい制約がある場合が多い。そのため、高速走行する自動運転車の安全性を確保するためには、適度なエネルギー消費で十分な演算能力を提供することが不可欠である。また、同システムはリアルタイム処理、十分な計算能力、信頼性、拡張性、コストパフォーマンス、およびセキュリティーを提供することが重要である。

⁵⁸ <https://medium.com/field-of-view/weaving-together-a-shared-vision-of-mobility-for-all-80f4940fc9e0>

⁵⁹ <https://www.3dincites.com/2021/07/autonomous-vehicles-drive-ai-advances-for-edge-computing/>

⁶⁰ データ転送における指標のひとつで、転送要求を出してから実際にデータが送られてくるまでに生じる、通信の遅延時間のこと

以下の表は、車載エッジコンピューティングとクラウドコンピューティングの特徴の比較である（図表 11 参照）。車載エッジコンピューティングは、収集したデータをローカルで処理し、リモートリソースに依存することなくリアルタイムで意思決定や予測を行うことができる場合に使用できる。例えば、時速 120 キロメートルの車両の場合、1 ミリ秒の往復遅延は、車両と静止物体の間で 3 センチメートル、移動する 2 台の車両間で 6 センチメートルに相当するため、3 ミリ秒以内に高い信頼性（99.9999%）で周辺環境を検出・認識することが必要であり、車両に搭載されたカメラセンサーからのデータ処理にはクラウドの計算システムに依存せず低レイテンシーで処理可能なエッジコンピューティングが有効である。ネットワークでやり取りされる膨大なデータを考えると、セキュリティーの観点からは、車載で処理したほうがよい。現在の自動運転車では、人間と機械が相互依存的な関係にあるため、リアルタイムでの情報伝達速度が重要になる。そのため、エッジ AI コンピューティングを使用するには、自動運転車と AI プロセッサが必要なタスクを確実に実行できるよう、十分なコンピューティング処理能力とメモリ容量が必要である。

図表 11：車載エッジコンピューティングとクラウドコンピューティングの比較

項目	車載エッジコンピューティング	クラウドコンピューティング
レイテンシー	低	高
移動支援	大	限定的
場所	ユーザー付近	遠隔地
判断	ローカル	リモート
通信速度	リアルタイム	帯域幅による制約あり
セキュリティー	高	限定的
信頼性	高	高
アーキテクチャーの拡張性	高分散	限定集中
ストレージ容量	限定的	高度に拡張可能
コンテキスト・アウェアネス	可能	不可
消費電力	限定的	大
コンピューティング能力	中	高
プラットフォーム	大部分が ASIC	大部分が CPU、GPU、FPGA
コスト	小	大

出所: 3D InCites を基に作成⁶¹

<車載用 AI プロセッサ技術>

自動運転には、より効率的で強力な AI プロセッサが必要になる。Horizon Robotics の OEM 需要の概要によると、より高いレベルの自動運転には桁違いの処理能力が必要であり、自動化レ

⁶¹ <https://www.3dincites.com/2021/07/autonomous-vehicles-drive-ai-advances-for-edge-computing/>

レベル 2 で 2 テラオペレーション／秒 (TOPS⁶²)、レベル 3 で 24TOPS、レベル 4 で 320TOPS、レベル 5 で 4,000TOPS 以上の処理能力が必要である⁶³。

車載用プロセッサは、通常 3 つのカテゴリーに大別される。

- (1) CPU (Central Processing Units) ベースと GPU (Graphics Processing Units) ベースのプロセッサ：柔軟性に優れるが、一般に消費電力が大きい。
- (2) FPGA (Field Programmable Gate Arrays)：GPU に比べ、計算資源は少なく済むが、コストが高く、プログラマビリティも限定的である。
- (3) ASIC (Application-Specific Integrated Circuits)：通常カスタム設計で、性能、コスト、消費電力の面でより効率的である。

<レベル 3 以上の自動運転車のコンピューティングにおける課題>

2021 年 4 月の Edge AI and Vision Alliance の記事によると、自動運転車の多くは、コアとなる AI 処理に GPU を使用しているが、GPU は ASIC ほど高速ではなく、コスト効率も良くないため、最終的には自動運転車専用の AI プロセッサが必要だと述べている⁶⁴。最大の課題の 1 つは消費電力であり、レベル 3 以上の自動運転車が動作するためには、複数のカメラ、レーダー、LiDAR などのセンサーからのインプットデータをリアルタイム処理するのに数 100 ワットか数 1,000 ワットという非常に大きな電力が必要になるため、データ処理専用のバッテリーが必要になる。

CPU は汎用プロセッサであり、AI 処理によって CPU に過大な負荷をかけることは避けた方がよく、可能な限り、一般的で重要な非 AI タスクに使うことが望ましい。GPU は従来、グラフィックスやゲームに使用されてきたが、その柔軟性と比較的高い処理能力から、AI のトレーニングやエッジコンピューティング用途に使用することが可能である。一方で、GPU と CPU の間のデータ転送が大きな制約の 1 つになってしまうといった問題もある。その他、GPU の主なデメリットとして、消費電力とコストが挙げられる。GPU は主にクラウド AI に使用され、その柔軟性と設定可能な機能が特徴といえる。ASIC は、AI アプリケーションのような大きな演算処理、低コスト、電力効率が要求されるアプリケーション固有のタスクに適している。AI アプリケーションに ASIC を使用することは、特にエッジコンピューティング用途で主流になりつつある。上記 Edge AI and Vision Alliance の記事では、自動運転用途のプロセッサとして、将来的には GPU ベースではない専用のプロセッサやシステムが登場すると考えられる、としている⁶⁵。

4. デジタルツイン

近年、製造業を中心に「デジタルツイン」という言葉が注目を集めており、自動運転機能の実装過程でもデジタルツインが活用されている。デジタルツインとは、現実世界の情報を IoT などでデジタル上に送ることによって、仮想空間に現実空間を完全に再現した仮想コピー（デジタルツイン）を作る技術である。デジタルツインは、コンピューターネットワークのアーキテクチャ

⁶² 処理能力を表す単位

⁶³ <https://www.3dincites.com/2021/07/autonomous-vehicles-drive-ai-advances-for-edge-computing/>

⁶⁴ <https://www.edge-ai-vision.com/2021/04/autonomous-vehicles-drive-ai-chip-innovation/>

⁶⁵ <https://www.edge-ai-vision.com/2021/04/autonomous-vehicles-drive-ai-chip-innovation/>

ーを仮想的に表現してサイバー攻撃シミュレーションのサンドボックスとして使用したり、工場の自動化プロセスを再現して人間とロボットとのインタラクションをテストしたりするなど、さまざまな用途のシミュレーションに利用することができる⁶⁶。市場調査会社のグランドビューリサーチの2021年5月のレポートによると、デジタルツインプラットフォームの世界市場は2028年までに860億ドルに達すると予測されている⁶⁷。

<IoTによってデジタルツインが加速>

デジタルツインは、IoTで常時接続され常に最新の状態であるため、接続された機械やデバイスがデジタルツインとデータを共有することや、その逆のことが可能になる。デジタルツインは、物理構造や状況変化を内部と外部の両方から取り込むことができる仮想表現であり、エッジコンピューティングで稼働する無数の接続センサーによって測定されている。また、仮想世界内でシミュレーションを行い、問題の有無をテストしたり、サービスを更新して改善したりすることもできる。自動運転車やコネクテッドカーの技術は未知の要素が多いため、交通計画や設計、エンジニアリングに関して、変化するパラメータや多くの変数に対応できる拡張性と柔軟性を備え、かつ多くのシナリオについて分析可能なデジタルツイン技術によるシミュレーションは、技術実証や安全性の確認に非常に有用である。

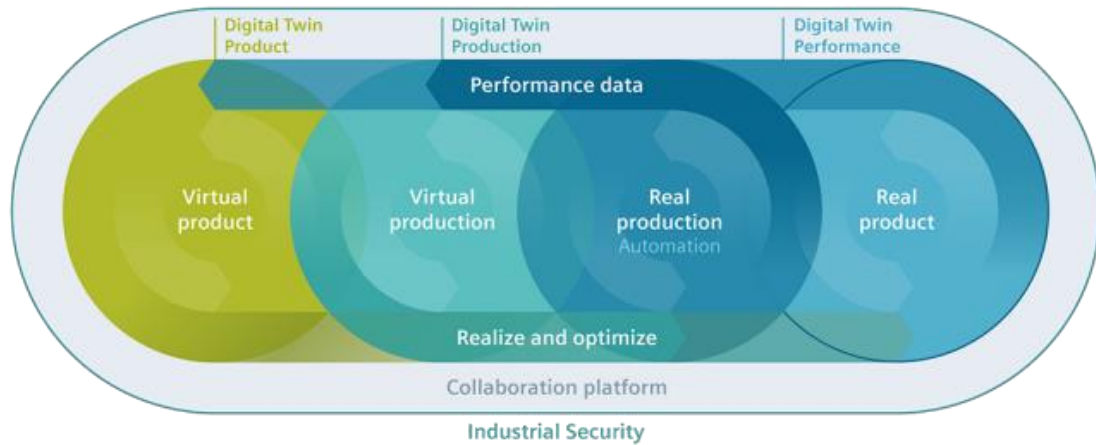
OEMは、デジタルツインのシミュレーションをデバッグ環境として利用し、ソフトウェアとハードウェアをループさせた仮想テストを実行して、自社の製品がネットワーク上でどのように機能するかを確認することができる。自動運転車のデジタルツインは、車体、そのソフトウェア、メカニク、電気設備、物理的な挙動で構成されており、以下の図のように実際の部品を製造する前に、開発の各ステップをシミュレーションして検証し、問題点や不具合の可能性を特定することができる（図表12参照）。例えば、自動運転車の3Dデータを使って物理的な挙動をシミュレーションし、材料の挙動、空気の流れ、熱の発生を最適化することができる。メカトロニクス、エレクトロニクス、システムオンチップ、組込みソフトウェアも仮想環境下で設計・シミュレーションすることができる。このようにデジタル化によって必要な試作品の数を大幅に減らすことができるため、時間とコストの節約につながる⁶⁸。

⁶⁶ <https://blogs.nvidia.com/blog/2021/12/14/what-is-a-digital-twin/>

⁶⁷ <https://www.prnewswire.com/news-releases/digital-twin-market-size-worth-86-09-billion-by-2028--cagr-42-7-grand-view-research-inc-301293274.html>

⁶⁸ <https://new.siemens.com/global/en/markets/automotive-manufacturing/digital-twin-product.html>

図表 12：バーチャル環境での設計とシミュレーション



出所: シーメンス AG⁶⁹

シーメンス AG の許可を得て掲載

以下に、デジタルツイン分野の関連企業と技術開発動向を記載する。

- シーメンス

ドイツの総合電機大手のシーメンスは 2021 年 9 月 3 日、自動運転車の実現を目指すためにシーメンスのベンチャーとして Simulytic を立ち上げるとを発表した⁷⁰。シーメンスは 2019 年 5 月に、自動運転プラットフォーム開発のためのプログラムである、PAVE360 プレシリコン自動運転車検証環境を発表しており⁷¹、シーメンス EDA（Electronic Design Automation：電子設計の自動化）技術によるシミュレーションで、すでに自動車のデジタルツインを構築している⁷²。Simulytic は、これらのツールを活用して、自動運転車開発において複雑な自動化システムのシミュレーションやセーフティクリティカルな用途での評価を行うとしている。

- NVIDIA

NVIDIA は 2021 年 11 月、ディープニューラルネットワークのトレーニング用に物理的にシミュレーションされたデータを作り出す、強力な合成データ生成エンジン、NVIDIA Omniverse Replicator を発表した⁷³。同エンジンは自動運転車のデジタルツインをホストする仮想世界となる NVIDIA DRIVE Sim に実装することができ、このデータを使って構築された自動運転車は、さまざまな仮想環境でスキルを習得した後、物理世界で応用することができるという。

5. 環境認識・自己位置推定用データセット

データセットとは、一般的にはデータの集まりを表すが、自動運転技術開発においては、大量のデータをその一つ一つに対応した正解データとセット化することによって、環境認識や自己位

⁶⁹ <https://new.siemens.com/global/en/markets/automotive-manufacturing/digital-twin-product.html>

⁷⁰ <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-drives-transformation-mobility-industry>

⁷¹ <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/newsroom/pave360-media-alert/60712>

⁷² <https://www.eenewseurope.com/en/siemens-launches-autonomous-driving-digital-twin-startup/>

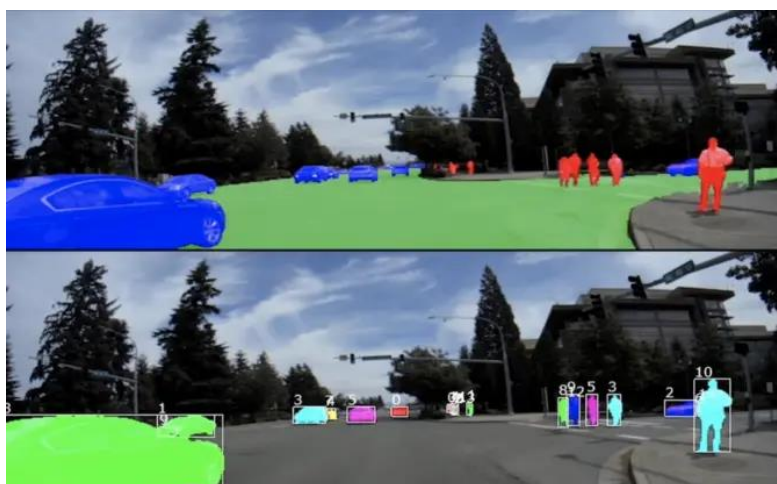
⁷³ <https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-announces-omniverse-replicator-synthetic-data-generation-engine-for-training-ais>

置推定を実現するための認識機能を担う AI の深層学習トレーニングに使用できる。深層学習には大量のデータが必要であり、正解データの作成には多くの時間とコストがかかる。近年、AI やセンサーの性能向上を目指して米国内の各都市で公道での実証実験やデータ収集が行われているが、ここで取得したデータをオープンデータセットとして開発企業が無償で広く一般に公開することで、業界全体の開発スピードを加速しようという動きがある。

<データセットのタイプ>

自動運転車は、さまざまな物体を正確に検知し、正しい方向に安全に移動するために、適切な量のデータセットを用いて学習させる必要がある。実際に、このような学習用データセットは、対象物を正確に検出するために、対象物に正確にアノテーション⁷⁴された画像によって作成される。データアノテーションのプロセスには、画像の分類、ターゲット検出、画像のセグメンテーション、さらにピクセルレベルでのメインセグメンテーションが含まれる⁷⁵（図表 13 参照）。セグメンテーションにはいくつかの種類があるが、自動運転用 AI の学習用オープンデータセットで使用されている代表的なセグメンテーションには、セマンティック・セグメンテーション、インスタンス・セグメンテーション、パノプティック・セグメンテーション、バウンディングボックスなどの手法がある^{76,77}。これらのセグメンテーションはカメラ画像のほか、LiDAR ポイントクラウド⁷⁸にも適用することができる（図表 14 参照）。

図表 13：アノテーションにより色分けされたイメージ



出所: NVIDIA⁷⁹

⁷⁴ 「注釈」を意味する「annotation」が語源。AI の機械学習の代表的な方法に「教師あり学習」があるが、機械学習のモデルとしての教師データ（正解のデータやラベルなど）を作成することをアノテーションと呼ぶ。

⁷⁵ <https://becominghuman.ai/how-auto-driving-achieved-through-machine-learning-873c667233f1#:~:text=Labeling%20Types%20in%20Auto%2DDriving,semantic%20segmentation%20is%20widely%20used>

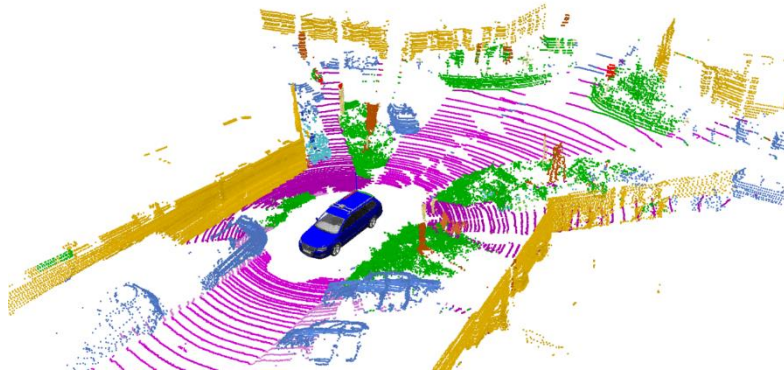
⁷⁶ <https://becominghuman.ai/what-is-semantic-segmentation-instance-segmentation-panoramic-segmentation-3bbb03856c12>

⁷⁷ <https://medium.com/cogitotech/types-of-training-datasets-for-self-driving-cars-using-bounding-box-annotation-25646cb72536>

⁷⁸ ポイントクラウドとは文字通り、ポイント（point：点）のクラウド（cloud：集まり）であり、2D ポイントクラウドや3D ポイントクラウドなどがある。

⁷⁹ <https://blogs.nvidia.com/blog/2019/10/23/drive-labs-panoptic-segmentation/>

図表 14 : LiDAR ポイントクラウドに適用したセマンティック・セグメンテーション



出所: Python Awesome⁸⁰

Python Awesome の許可を得て掲載

<オープンデータセット>

一般に公開されている主要なオープンデータセットについて、それぞれの特徴および概要を以下に記載する。

- BDD100K (カリフォルニア大学バークレー校)

BDD100K は、カリフォルニア大学バークレー校が公開しているデータセットで、10 万以上のビデオクリップで 1,100 時間以上の異なる条件下での走行映像からなる。BDD100K は、ドライブレコーダーの Nexar ダッシュカムで 720p、30fps (Frames per Second : フレーム毎秒) で収集されたデータセットである。データセットは、ニューヨーク、バークレー、サンフランシスコ、ベイエリアなどの米国内の複数の都市で多様な気象条件下で撮影されたビデオで構成されている。映像は合成されておらず、全て Nexar ダッシュカムを使用したボランティアによって撮影されている⁸¹。

- Landmarks (グーグル)

グーグルは、2018 年に Landmarks を公開し、2019 年に改良したデータセットとして Landmarks-v2 を公開した。Landmarks-v2 には、20 万以上のランドマークに関する 500 万枚以上の画像が含まれている。このデータセットは、世界最大のクラウドソースによるランドマーク写真のコレクションであるウィキメディア・コモンズ⁸²から提供されたものである。ランドマーク認識は、拡張現実モバイルアプリケーションにおいて、キャプチャされたランドマークを認

⁸⁰ <https://pythonawesome.com/semantic-and-instance-segmentation-of-lidar-point-clouds-for-autonomous-driving/>

⁸¹ <https://hishoraj.medium.com/berkeley-deep-drive-dataset-bdd100k-b93bbfa10108>

⁸² 「誰でも自由に利用できる画像・音声・動画、その他あらゆる情報を包括し供給する」ことを目的としてウィキメディア財団により 2004 年に立ち上げられたプロジェクト。

識して関連情報を取得するために使用される。グーグルは既に、ランドマーク識別機能専用の Firebase ML-kit API (アプリケーション・プログラミング・インタフェース) を通じて、モバイル機器にランドマーク認識を提供している⁸³。

- Level 5 Dataset (Lyft)

Lyft は、2017 年 7 月に自動運転車開発部門の Lyft Level5 を立ち上げて自動運転システムを開発しており、同部門のカメラと LiDAR センサーが搭載された自動運転車が収集した膨大なデータセットを公開している。2022 年 2 月時点で同データセットには、アノテーションされた 130 万の 3D キャプチャ映像、3 万の LiDAR ポイントクラウド、350 以上の 60~90 分の映像、および空間内の物体を意味論的に分類した HD セマンティック空間マップも含まれる⁸⁴。Lyft の同部門は 2021 年 7 月に、トヨタ自動車の子会社のウーブン・プラネット・ホールディングスによって買収されている。

- Waymo Open Dataset (Waymo)

Waymo は 2019 年 8 月、同社の自動運転蓄積データをオープンデータセットとして開放し、研究目的での利用を可能にした。2021 年 3 月には、同データセットを拡張し、10 万 3,354 セグメントのオブジェクトの軌跡と対応する 3D マップからなるモーションデータセットも含めて一般公開した。同データセットは、サンフランシスコ、マウンテンビュー、ロサンゼルス、デトロイト、シアトル、フェニックスといった米国内のさまざまな場所で収集されている⁸⁵。

同社はこれらのデータセットを拡充するとともに、これらのデータに関する課題を取り上げたコンペティションを実施しており、自動運転技術の進歩を支援しようとしている⁸⁶。

1.2 企業間パートナーシップおよび投資の動向

自動運転技術の開発には巨額の投資が必要であり、同技術はまだ利益を上げるに至っておらず、開発費用は各企業にとって大きな負担となっている。自動車メーカー各社は、業務提携により投資負担を削減しようと、OEM 他社、部品メーカー、自動運転システムの開発企業などとの提携ネットワークを構築している⁸⁷。

<パートナーシップの動向>

以下の図は、各業種 (OEM、システム関連、センサー関連、インフラ関連) の主要な企業間パートナーシップを示しており、実線が出資、点線が提携関係を表している (図表 15 参照)。

大手ハイテク企業は、自動車を含むモビリティ分野に重点投資しており、自動運転車市場で地位の確立を狙っている。GM は 2016 年 3 月、レベル 4 および 5 の自動運転技術を開発する Cruise

⁸³ <https://www.infoq.com/news/2019/05/google-landmark-recognition/>

⁸⁴ <https://level-5.global/data/perception/>

⁸⁵ https://waymo.com/intl/en_us/dataset-download-terms/

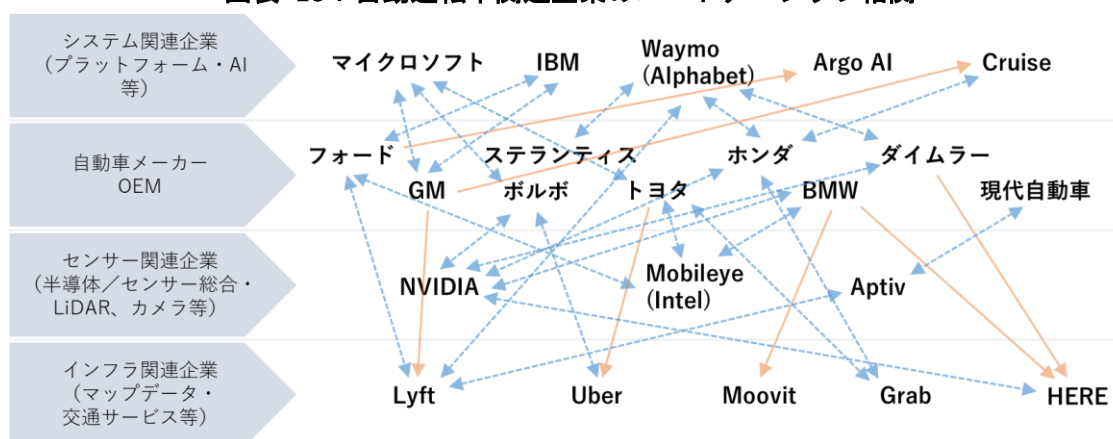
⁸⁶ https://waymo.com/intl/en_us/dataset-download-terms/

⁸⁷ <https://www.cbinsights.com/research/autonomous-driving-business-relationships/>

を買収し⁸⁸、配車サービスの Lyft にも 5 億ドルを出資している。マイクロソフトは 2021 年 1 月、GM および GM の子会社 Cruise と提携することを発表した⁸⁹。これは、マイクロソフトにとって自動運転分野における初の大型提携になる。Cruise は、クラウドやエッジコンピューティングで、マイクロソフトのクラウドプラットフォームである Azure を活用するという。また、Alphabet は、自動運転車開発スタートアップの Waymo を傘下に擁し、自動運転技術分野で他社をリードしている。Alphabet は、ホンダ、ステランティス、ダイムラーといった OEM のほか、モビリティサービス事業者の Lyft とも提携している。さらに、Argo AI に出資しているフォードは、Lyft とも提携して、2021 年からフロリダ州マイアミやテキサス州オースティンなど複数の都市で車両技術の試験を行っている⁹⁰。

センサー技術を中心に自動運転システムを開発している NVIDIA とインテル傘下の Mobileye も、OEM 各社と積極的に提携している。NVIDIA のオープンソース自動運転開発プラットフォーム NVIDIA DRIVE は、自動運転システムの強化に必要な計算能力を開発各社に提供するもので、同プラットフォームには大手部品メーカーや OEM、モビリティサービス企業が 370 社以上参加している⁹¹。一方、Mobileye は、カメラ画像処理チップ EyeQ を搭載した自動運転技術の開発で OEM 各社と提携している。

図表 15：自動運転車関連企業のパートナーシップ相関



出所：CB Insights⁹²、Dr. Robert L. Blum⁹³

PTOLEMUS Consulting Group⁹⁴を基に作成

<投資分野の動向>

⁸⁸ <https://media.gm.com/media/us/en/gm/home.detail.html/content/Pages/news/us/en/2016/mar/0311-cruise.html>

⁸⁹ <https://news.microsoft.com/2021/01/19/cruise-and-gm-team-up-with-microsoft-to-commercialize-self-driving-vehicles/>

⁹⁰ <https://www.flchamber.com/argo-ai-and-ford-to-launch-self-driving-vehicles-on-lyft-network-by-end-of-2021/>

⁹¹ <https://www.forbes.com/sites/nvidia/2018/07/20/it-takes-a-village-why-collaboration-is-the-key-to-self-driving-cars/?sh=734d7f62247e>

⁹² <https://www.cbinsights.com/research/autonomous-driving-business-relationships/>

⁹³ <https://www.bobblum.com/ESSAYS/COMPSCI/self-driving-cars.html>

⁹⁴ <https://www.ptolemus.com/autonomous-vehicle-partnership-map/>

大手コンサルティング会社マッキンゼーが 2021 年 4 月に発表したレポートによると、2010 年から 2020 年 10 月までの CASE 関連技術を開発しているモビリティ企業への投資額は、約 3,300 億ドルであり、このうち約 1,061 億ドルが自動運転車部門への投資であった⁹⁵。さらに企業投資を機能別に分類すると、自動運転車部門で投資額が多い順に、半導体（515 億ドル）、ADAS（358 億ドル）、自動運転車統合（AV integration、95 億ドル）、SLAM（Simultaneous Localization and Mapping、自己位置推定と地図作成の同時実行、67 億ドル）、自動運転ソフトウェア（26 億ドル）であった。

<投資を集める自動運転の基盤技術>

上記レポートでは、部門ごとの投資額の内訳のほかに、基盤技術別の特許および投資動向を調査・分析しており、投資や特許出願活動が活発な 17 の基盤技術を特定したと報告している。それによると、過去 10 年間に行われた CASE 関連技術開発への投資（約 3,300 億ドル）のうち、約 3 分の 1 に相当する 1,000 億ドル超が 17 の技術分野への投資であった。17 の技術分野のうち、6 つがコネクテッドカー関連であり、2010 年から 2020 年 11 月までの投資額は多い順に、ミリ波レーダーとカメラ（228 億ドル）、HD マップと SLAM（95 億ドル）、AI イメージング・認識技術（92 億ドル）、軌道計画・運転戦略（77 億ドル）、ワイヤレス技術によるステアリング・ブレーキ・シフトチェンジ（16 億ドル）、LiDAR（14 億ドル）であった⁹⁶。

1.3 自動運転車普及の課題と見通し（法規制、保険、インフラなど）

<政府および議会の法整備と議論の動向>

米国運輸省道路交通安全局（NHTSA）の調査によると、2019 年の自動車事故による死亡者数は推定 3 万 6,096 人で、事故の 94%はヒューマンエラーが原因であることが分かっている。こうした主に交通安全の観点から、米国連邦議会では、自動運転車の試験と実装に対する連邦政府の行政監督について議論が行われている。

第 115 議会（2017～2018 年）では、自動運転車に関する法案が H.R.3388「SELF DRIVE Act」⁹⁷として下院を通過し、補完法案である S.1885「AV START Act」⁹⁸が上院の委員会から報告されたが、どちらの法案も可決には至らなかった⁹⁹。第 117 議会（2021～2022 年）でも H.R.3711「SELF DRIVE Act」が下院で提出され、2022 年 2 月現在、関係委員会の審議に付託されている¹⁰⁰。「SELF DRIVE Act」および「AV START Act」はいずれも、連邦法の専占¹⁰¹により、自動運転車を規制する州法を先取りして、自動運転車の広域普及を促進しようというものだった。

⁹⁵ <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mobilitys-future-an-investment-reality-check>

⁹⁶ <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mobilitys-future-an-investment-reality-check>

⁹⁷ <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/3388>

⁹⁸ <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/1885>

⁹⁹ <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45985>

¹⁰⁰ <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3711/all-actions-without-amendments?s=1&r=2>

¹⁰¹ 連邦法の専占とは、連邦法の州法に対する優位性を指す。連邦の規制と州法が矛盾したり抵触するような場合は、憲法の最高法規により、連邦法が優位的に適用されることを意味する。

H.R.3388「SELF DRIVE Act」は、州が高度自動運転車、自動運転システム、またはそのコンポーネントの設計、組み立て、性能を規制することを禁止するものであったが、これらの法律が連邦法と同一である場合は、この限りではないとしていた。下院で可決された同法案は、州の法律や規制が自動運転車の開発を制限しない限り、車両登録、運転免許、運転教育、保険、法執行および衝突調査は、州の管轄下にとどまるべきだとも繰り返し述べている。さらに、先取り条項のいかなる部分も、州が自動車の販売と修理に関する法律や規制を施行することを禁じてはならないと規定していた。

第 116 議会（2019～2020 年）では、上院環境公共事業委員会が報告した「America's Transportation Infrastructure Act of 2019」（S.2302）¹⁰²が、自動運転車などの新技術に対応できるインフラの研究開発を促すものだったが、上院での採決には至らなかった。

2021 年 4 月に発表された CRS のレポートによると、近年、民間および政府による自動運転車の試験が大幅に増加しているものの、ドライバーによる監視を必要としない完全な自動運転車の普及には何年もかかるとみられている¹⁰³。一方で、自動運転車によって発生したいくつかの死亡事故は、連邦政府や州政府が車両試験をどのように規制すべきか、また、販売される車両への新技術の導入について、新たな疑問を投げかけており、その対応が急務となっている。2018 年にアリゾナ州で自動運転車に衝突された歩行者が死亡したことで、AI が人間の意思決定に取って代わることの課題が浮き彫りになり、自動運転車の商用化のペースは鈍化した¹⁰⁴。国家運輸安全委員会（NTSB）は、この死亡事故の原因は、車両を試験していた配車サービス企業 Uber の安全対策不足と、州および連邦政府の規制の不備にあると結論付けた。その後 2021 年 4 月には、運転席に誰も座っていない状態で走行していたテスラ車が 2 件の死亡事故を起こし、自動運転技術にさらなる疑問が投げかけられることとなった。

2016 年以降、DOT および NHTSA は、連邦政府の自動運転車政策の議論に資する 5 つのレポートを発表している。これらは、州がドライバー規制において考慮すべきベストプラクティス、自動車メーカーがどのように安全性を車両に組み込んでいるかを示す自主公開による自己評価、連邦安全基準の免除を認める現行制度の修正案、ならびに、より多くの自動運転車両の統合に備えた複合的なマルチモーダル戦略などを提案するものである。

2020 年 2 月、NHTSA は、一般的な自動車よりも小さなロボット車両で荷物を配送する計画を有するカリフォルニア州の企業 Nuro に対して、3 つの連邦自動車基準の遵守について、初めて免除することを承認したと発表した。自動運転車の推進派は、現行の安全規制の改定に時間がかかると、発効までに規制が時代遅れのものになってしまう可能性があり、技術革新を阻害する恐れがあると主張している。議会はいくつかの重要な政策課題に関する意見の相違により、規制が及んでいないギャップに対処するための法案を制定しておらず、それらのギャップには以下の 4 つの内容が含まれる¹⁰⁵。

¹⁰² https://www.capito.senate.gov/download/atia_-_summary?download=1

¹⁰³ <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45985>

¹⁰⁴ <https://www.nts.gov/news/events/Pages/2019-HWY18MH010-BMG.aspx>

¹⁰⁵ <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45985>

- ドライバーや車両システムの役割が変わることに伴って、連邦政府が車両の安全性に責任を持ち、州が免許や登録などのドライバー関連に責任を持つという、従来の車両規制の分担を議会がどの程度変更すべきなのか。
- NHTSA が連邦安全基準の適用除外を認めて高速道路での試験を許可すべき自動運転車の数、ならびに、ステアリングホイールやブレーキペダルを必須とする特定の安全基準を緩和して大規模な試験を許可し得る安全基準とはどのようなものか。
- サイバーセキュリティの脅威への対処について、どの程度詳細な法案を作成すべきか。これには、重要な車両ソフトウェアのハッキングを報告し阻止することができる車両技術を連邦基準として設定すべきか、これらの問題について、自動車購入者にどの程度の情報を与えるべきかが含まれる。
- 車両の所有者、オペレーター¹⁰⁶、メーカー、保険会社、その他の関係者が自動運転車が生成するデータにどの程度アクセスできるか、また、さまざまな関係者が車両関連データを他者に販売する権利を有するか。

<サイバーセキュリティとデータプライバシーに関する課題と経緯>

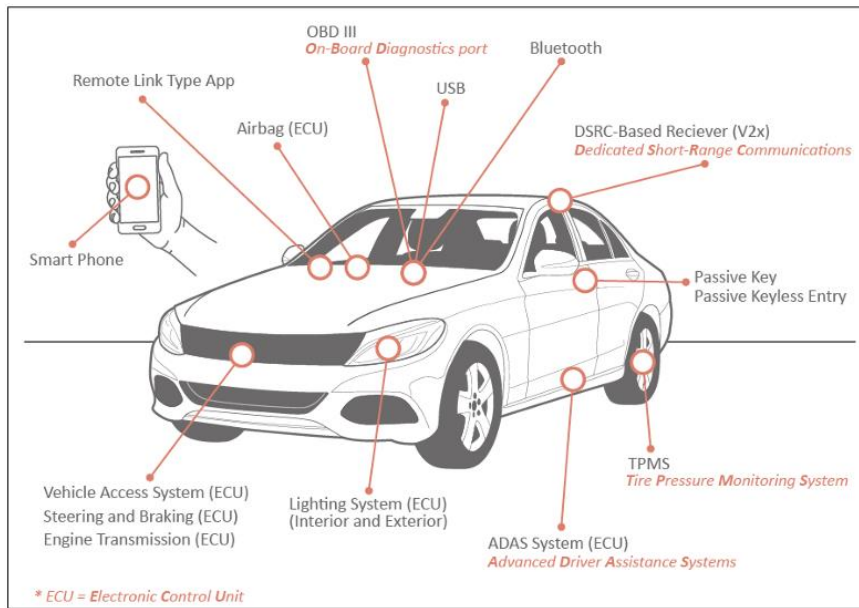
技術の進歩に伴って、車両コンピューターが収集するデータのセキュリティや、車載システムの侵入に対する保護がより重要な課題となっている。センサーや自動化コンポーネントの多くは、車両、正確な位置、ドライバーの行動、車両の性能に関する大量のデータを生成している。また、車両同士、路側インフラ、ソフトウェアアップデートのためのメーカーとの通信を可能にするシステムは、車両システムおよびそれによって生成されるデータへの不正アクセスの入り口となる可能性がある。ハッカー攻撃から自動運転車を守ることは、連邦政府や州政府、メーカー、サービスプロバイダーにとって最も大きな関心事である。エアバッグ、照明システム、タイヤ空気圧監視システム (TPMS) ¹⁰⁷などの一見安全にも見える部分を含め、従来の車両の電子システムをも含む 10 カ所以上が、ハッカー攻撃の侵入ポイントとなる可能性がある (図表 16 参照) ¹⁰⁸。

¹⁰⁶ 「ドライバー」は従来の自動車を運転する人を表し、一般的には「オペレーター」は自動運転システム作動時に運転を監視する人を表すが、「オペレーター」が従来の自動車のドライバーを指す場合もある。

¹⁰⁷ TPMS とは、空気入りタイヤ内の空気圧を監視するために設計された電子システムである。

¹⁰⁸ <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45985>

図表 16：可能性のある車両ハッキング侵入ポイント



出所：CRS¹⁰⁹

Public domain of the United States Government

こうした懸念に対応するため、OEM は自動車情報共有分析センター（Auto-ISAC）¹¹⁰を設立し、2016年にサイバーセキュリティ原則を発表した¹¹¹。DOTの自動運転車政策では、Auto-ISACに関して、メーカーがサイバーセキュリティに関するインシデント、脅威、違反を報告して自動車業界で共有するための中央情報センターとして指定している。ハッカーとは別に、データアクセスへの要望は大きい。具体的には、車両や部品のメーカー、技術やセンサーを提供するサプライヤー、車両の所有者や同乗者、都市計画者、保険会社、法執行機関、（事故時の）第一対応者などが、サービスや機能の拡大のために車両データへのアクセスを必要としている。車両データ収集に関しては、車両試験の衝突データ（どのように保存され、誰がアクセスできるのか）、データ所有権（車両のソフトウェアとコンピューターによって収集されたデータの大部分は誰のものか）¹¹²、消費者のプライバシー（消費者に対する透明性と所有者のデータへのアクセス）といった問題がある。2022年2月時点では、メーカーやソフトウェアプロバイダーが個々の車両やドライバーに関するデータを第三者に再販することを妨げる法律はない¹¹³。

データ管理に関する各州の法規制整備の動向については、2.3 データ管理に関連する法規に記載する。

¹⁰⁹ <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45985>

¹¹⁰ <https://automotiveisac.com/>

¹¹¹ <https://automotiveisac.com/best-practices/>

¹¹²従来型自動車の新車の大部分にはイベントデータレコーダー（Event data recorder：EDR）が搭載されており、衝突前の数秒間の車両、ドライバー、同乗者に関する情報（速度やシートベルトの使用状況など）を記録することができる。2022年2月時点で最新の地上交通の再承認（公法114-94）には、2015年のドライバープライバシー法が含まれており、EDRデータは車両所有者の財産であることが定められているが、自動運転車が蓄積する他の種類のデータについては規定されていない。

¹¹³ <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45985> , P.5

<連邦政府による安全規制の問題点>

自動車の安全規制に関しては、連邦政府と州政府による二重の規制が設けられている。従来は、NHTSA が自動車の安全性を規制し、各州が自動車運転免許の取得、交通規則の制定および自動車保険の規制を行ってきた。そうした中、オバマ政権は 2016 年、自動運転車に影響を与える連邦規制について最初の報告書を公表した¹¹⁴。また、トランプ政権はさらに 4 つの報告書を発表した。これとは別に、米国連邦通信委員会（FCC）は、現在自動車通信用に確保されている周波数帯の割り当てを再構成することを決定しており、CRS のレポートによると、2020 年 11 月の決定内容は、自動運転車の進展に影響を与える可能性がある（2.4.1 に詳述する）。

オバマ政権時の政策の方向性

オバマ政権は 2016 年の DOT 報告書の中で、以下の分野における連邦および州の規制政策を提案した¹¹⁵。

- 自動運転車の設計、試験および普及に関するベストプラクティスを概説する一連のガイドライン。DOT はデータ記録、プライバシー、衝突安全性、物体やイベントの検出と対応など、メーカー、サプライヤーおよびサービスプロバイダー（配車サービス企業など）が自動運転車の試験で従うべき 15 の実践項目と手順を特定した。安全性評価書と呼ばれるこれらの報告書は任意とされるが、報告書では「将来の規則制定を通じて義務化される可能性がある」と指摘されている¹¹⁶。
- 現行（当時）の連邦および州の規制構造の中で、新しい自動運転車関連の問題がどこに当てはまるかを特定する州政策のモデル。NHTSA が米国自動車管理者協会や民間団体と協力して作成した州政策のモデルでは、行政上の問題（自動運転車試験の主導州機関の指定）、州道での車両試験を希望するメーカーの申請手続き、州の法執行機関との調整、車両登録と権利の変更、自動車責任と保険の規制などの州の役割と手続きを提案した¹¹⁷。
- 自動運転車の問題については 60 日以内、規制免除については 6 カ月以内に、DOT の規制解釈を発行する合理的な審査プロセス¹¹⁸。
- NHTSA が新しい車両技術に関する専門性を高め、自動運転車の安全性を規制する能力を拡大し、ルール作りの速度を上げる新しいツールや規制構造を特定すること。新しいツールとしては、既存の免責権限の拡大¹¹⁹および自動運転車の安全性を保証するための試験の 2 つが考えられる。新たな規制の選択肢として挙げられたものの中には、新たな法的権限を必要とするものもあれば、行政的に対応可能なものもある。報告書では「DOT はいずれの手段についても支持または反対する意図はなく、（中略）利害関係者からこれらに関する意見と分析を求める予定」と記されている¹²⁰。

¹¹⁴ <https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>

¹¹⁵ <https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>

¹¹⁶ <https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>, P. 15

¹¹⁷ <https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>, P. 37

¹¹⁸ <https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>, P. 7, 48-67

¹¹⁹ 現行法では、NHTSA はメーカー 1 社につき年間 2,500 台まで FMVSS の適用免除を認めている。台数を増やせば、自動運転車の路上走行試験がより多く実施可能となるが、そのためには法改正が必要になる。

<https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>, P. 75-76

¹²⁰ <https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>, P.70

トランプ政権時のガイドラインと安全規則案

トランプ政権が発表した4つの報告書は、自動運転車の展開を監督する連邦規制の役割をより限定する一方、自動運転技術が商用トラック、公共交通、鉄道、港湾・船舶などのマルチモーダル輸送に与える効果について取り上げており、DOTによる行政監督の範囲拡大について述べている¹²¹¹²²¹²³¹²⁴。4つの同報告書には、以下の政策内容が含まれる。

- 乗用車だけでなく、全ての輸送モードにわたる自動化の統合を奨励した¹²⁵。2018年10月の報告書「Automated Vehicles 3.0」では、一般に単一の輸送モードを監督するDOTの各機関が、その管轄内で自動運転車の安全性にどのように対処するか概説されている。
- 乗用車、トラック、商用バス、その他の車両を監督するDOTの役割に適用される6つの自動化原則を確立した。これらには、安全性の優先、技術的中立の維持、規制の最新化、連邦と州の一貫した規制環境の奨励、DOTから連邦政府および業界パートナーへのガイダンス、研究、ベストプラクティスの提供、従来型車両と自動運転車を消費者が選択できるようにすること、などが含まれる¹²⁶。
- 自動車とドライバーに対する規制に関して、連邦政府と州政府の従来の役割を再確認した。報告書は、自動運転に関する試験運転車の最低要件など、州が実施を検討すべきベストプラクティスを挙げ、DOTが州に対してどのように技術支援を行うのかについて論じている¹²⁷。
- 規制の代わりに推奨される自主的な行動を明示した。報告書では、自動運転システムのメーカーや開発者が、新技術への理解を深めてもらう目的で、自主的に安全性評価を発行し公開することや、業界団体が自動化技術の交通システムへの統合を進めるために技術基準を策定することを提案している¹²⁸。NHTSAの安全性評価のウェブページには、主要OEM5社を含む27社が、連邦政府に自己評価報告書を提出したことが記載されており¹²⁹、2022年1月時点でカリフォルニア州だけで51社が自動運転車の試験許可を受けている¹³⁰。

¹²¹ https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/13069a-ads2.0_090617_v9a_tag.pdf

¹²² <https://www.transportation.gov/av/3/preparing-future-transportation-automated-vehicles-3>

¹²³ <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2020-02/EnsuringAmericanLeadershipAVTech4.pdf>

¹²⁴ <https://www.transportation.gov/av/avcp>

¹²⁵ 2018年の報告書で言及された運輸機関およびその規制分野は以下の通り。NHTSA：乗用車と小型トラック、連邦交通局（FTA）：地方交通バス、地下鉄、軽電鉄、通勤電車、フェリー、連邦自動車運輸安全局（FMCSA）：大型トラックおよび商用バス、連邦航空局（FAA）：航空、連邦鉄道局（FRA）：鉄道、連邦道路局（FHWA）：高速道路、橋梁、トンネル。

¹²⁶ <https://www.transportation.gov/av/3/preparing-future-transportation-automated-vehicles-3> , P. iv-v

¹²⁷ <https://www.transportation.gov/av/3/preparing-future-transportation-automated-vehicles-3> , P. 19-20

¹²⁸ <https://www.transportation.gov/av/3/preparing-future-transportation-automated-vehicles-3> , P. viii

¹²⁹ 以下のNHTSA VSSA ウェブページで確認された2022年2月5日時点の内容であり、BMW、フォード、GM、メルセデスベンツおよびトヨタがVSSA報告書を提出したOEM5社で、その他はアップル、Waymo、Uberなどの自動運転車開発企業である。<https://www.nhtsa.gov/automated-driving-systems/voluntary-safety-self-assessment>

¹³⁰ カリフォルニア州自動車局によると、2022年2月5日時点で、ドライバー付き試験が51社、ドライバーなし試験が7社、実用化が3社（重複有）で許可された。

<https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/permit>

- 自動運転車試験に関する連邦安全基準の適用除外申請に対する NHTSA の決定を加速させた¹³¹。
- SAE、政府の国立標準技術研究所（NIST）、国際標準化機構（ISO）など組織による自主的な技術基準の策定を促進した¹³²。

DOT は、自動運転車関連の規制を改定する意向を示している。一例として、「ドライバー」と「オペレーター」の用語を定義し直し、人間が常に自動車を制御する必要はないことを示すといったことが挙げられる。また、連邦政府が規制する商用トラックやバスの検査、修理、メンテナンスの基準についても変更を求める予定だと述べている¹³³。この流れに沿って、NHTSA はいくつかのルール作りを開始しており、2019 年 5 月には、事前公告により、自動運転車を実装するに当たっての規制上の障壁に関するパブリックコメントを求めたほか¹³⁴、2020 年 12 月には、安全性の客観的な定義、評価および管理を行うための枠組み設計に関するコメントを求めた¹³⁵。

さらに 2022 年 3 月には、自動車車両の安全基準を定める連邦自動車安全基準（FMVSS）を修正し、対象に初めて、自動運転システム搭載車両を加えることを発表し、ハンドルやその他の手動制御機能を伴わない車両に義務付けられる安全基準を明らかにした¹³⁶。

トランプ政権は、2021 年 1 月 11 日に自動運転車に関する第 4 次報告書を発表し、DOT の「協力と透明性の促進、規制環境の最新化、自動走行車の安全な統合に向けた輸送システムの準備に向けたマルチモーダル戦略」について説明した¹³⁷。同報告書では、政府を含む関係者間の協力や、規制の近代化、安全性の評価などのための調査、その他活動に関し、行動計画などが記されている。また、トランプ政権下で NHTSA が行った自動運転車に関する規制措置も、同報告書にまとめられている。

バイデン政権の方針

DOT の ピート・ブティジェッジ長官は 2021 年 3 月の議会公聴会で、安全を確立し産業の確実性を高めることが優先事項だと述べている¹³⁸。また、同長官は、米国の政策が技術開発に遅れをとっていることを指摘し、規則が完全自動運転車を考慮したものになっていないため、規制の枠組みを確立するに当たり議会の支援を期待すると述べている。さらに、同長官は、「DOT は規制の枠組みを確立するに当たり多くの注意を払い、権限の範囲内でできることは全て行うつもりだ」と語っている¹³⁹。

¹³¹ <https://www.transportation.gov/av/3/preparing-future-transportation-automated-vehicles-3>, P. 8

¹³² <https://www.transportation.gov/av/3/preparing-future-transportation-automated-vehicles-3>, Appendix C, P. 49-63

¹³³ <https://www.transportation.gov/av/3/preparing-future-transportation-automated-vehicles-3>, P. 40-41

¹³⁴ NHTSA seeks comment on identifying and addressing regulatory barriers to the deployment of ADS vehicles posed by certain existing Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS).

¹³⁵ <https://www.federalregister.gov/documents/2020/12/03/2020-25930/framework-for-automated-driving-system-safety>

¹³⁶ <https://www.jetro.go.jp/biznews/2022/03/0008fa4636c3819a.html>

¹³⁷ https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2021-01/USDOT_AVCP.pdf, P. i

¹³⁸ <https://transportation.house.gov/committee-activity/hearings/the-administrations-priorities-for-transportation-infrastructure>, <https://transportation.house.gov/hearings/watch?hearingid=BA512082-A946-A5EB-BC22-B04FC2B36F77>

¹³⁹ <https://www.autonews.com/regulation-safety/bidens-transport-chief-not-endorsing-gasoline-vehicle-ban-after-2035>

<連邦安全基準適用除外プロセスとは>

NHTSA は、連邦自動車安全基準 (FMVSS) を発行し施行する権限を有する¹⁴⁰。自動車や自動車機器の製造者は、自動車の設計、構造および性能の結果として発生する不合理な衝突のリスクから保護するために、これらの規格を遵守しなければならない。FMVSS は、ワイパー、ブレーキ、ライト、タイヤ、ミラー、座席、シートベルト、エアバッグ、チャイルドシートなど幅広い自動車部品を対象とする。現行法では、NHTSA はメーカー1 社につき年間 2,500 台まで既存の FMVSS の適用を免除することができる。この免除権限はこれまで、連邦政府のフロントガラス基準に適合しない装甲警備車両など、メーカーが特殊な車両を生産した場合に利用されてきた。しかし、人間が運転しない自動運転車の登場によって、今後ステアリングホイールやブレーキペダルなど、かつては運転に不可欠と考えられていた部品が不要になる車両が市場に投入される可能性があり、規格の一部免除は、技術革新を促し実地試験を容易にする方法として、その必要性が議論されている。実際、2020 年には、カリフォルニア州のロボット企業である Nuro が提出した自動運転関連の一時的な適用除外の申請は、NHTSA によって承認された。Nuro に対する FMVSS の適用免除は、NHTSA が自動運転車の試験に対して初めて認めたもので、貨物の運搬のみを行う座席や客室、手動制御装置を搭載しない低速の電動式自動配送ロボットの運用を可能にするものとなった。Nuro は、2 年間の試験期間中に 5,000 台もの車両について、バックミラー、フロントガラス、バックアップカメラに関する連邦政府の要件が免除された。宅配ピザ大手のドミノピザと小売店のウォルマートは、配送に Nuro の車両を採用すると発表しており、それぞれ 2019 年と 2020 年に試験を開始している。NHTSA はこの試験を監視し、Nuro はその運用について NHTSA に報告することが求められている¹⁴¹。

<州政府の役割と動向>

自動運転車の試験や実用化は、州や地方自治体の規制によって大きく影響を受ける。全米知事協会 (NGA) は、車両や歩行者の安全、プライバシー、サイバーセキュリティ、高度な通信ネットワークとの連携に関して、州政府の役割があると指摘している。NGA の最近の報告書では、交通分野の技術革新を支持する一方で、「既存の規制構造や関連するインセンティブが新しい技術に追いついていない」ことが指摘されている¹⁴²。NGA は他の州および地方自治体の組織 (全米立法府会議、全米都市連盟) と共同で、自動運転車に関する以下のような連邦法の修正を要求している。

- 州および地方自治体は、公道での自動車の走行を規定する既存の法律を施行できるだけでなく、新しい法令の制定も可能なことを明確にする。

¹⁴⁰ 49 U.S.C. §301, <https://www.govinfo.gov/app/details/USCODE-2015-title49/USCODE-2015-title49-subtitleVI-partA-chap301/summary>

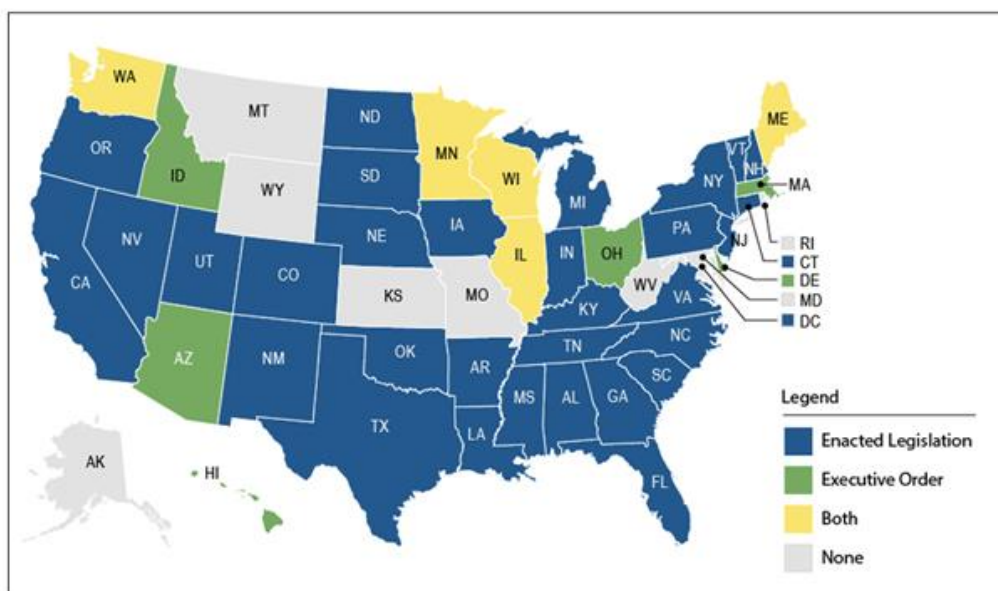
¹⁴¹ <https://www.federalregister.gov/documents/2020/02/11/2020-02668/nuro-inc-grant-of-temporary-exemption-for-a-low-speed-vehicle-with-an-automated-driving-system>

¹⁴² <https://www.nga.org/wp-content/uploads/2018/07/Transportation-Innovation-Roadmap-Final-Hi-Res-for-Posting-Online.pdf>, P. 1

- 自動運転車の試験が安全な方法で実施されていることを州や市が確認できるように、OEM や開発者に対して、技術の安全性に関しより詳細な報告書を DOT に提出することを義務付ける。
- 拡大された免除プロセスによる大規模な自動運転車の商業展開について、限定的な車両試験と区別する。
- 自動運転車の「安全な使用と相互作用」に関する消費者への啓発活動を拡大する。

全米州議会議員連盟（NCSL）によると、2013 年から 2020 年の間に、31 州とコロンビア特別区が自動運転車関連の法律を制定し、11 州の知事が行政命令を出し、5 州が行政命令と法律の制定を同時に行った（図表 17 参照）¹⁴³。

図表 17：自動運転車関連の州の動向 制定された法律と行政命令（2013～2020 年）



出所：

CRS¹⁴⁴

NCSL の許可を得て掲載

NCSL の報告によると、2017 年から 2020 年にかけて自動運転車に関連する法律を制定した州のうち、トラックの隊列走行（プラトーン）のように複数の車両が協調して走行する場合、どの程度の車間距離で追従できるのかなど、特定の商業活動に向けて法律を制定した州が最も多かった。NCSL のデータベースによると、2022 年 1 月末時点で、サイバーセキュリティーや車両検査の要件を扱った州法は制定されていない。以下の表は、NCSL のデータベースに登録された法規制の分類に基づき、2017 年から 2022 年 1 月末までに 1 つ以上の法規制を制定した 40 州について、制定された法を分類したものである（図表 18 参照）。表中の数字は分類の内容を表している。

¹⁴³ <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45985>

¹⁴⁴ <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45985>

図表 18：各州で制定された自動運転車関連規制法の分類

州名*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
アラバマ州	✓		✓		✓		✓	✓					
アリゾナ州			✓				✓	✓					
アーカンソー州	✓		✓		✓		✓	✓				✓	
カリフォルニア州			✓			✓	✓					✓	✓
コロラド州	✓		✓							✓			✓
コネチカット州			✓							✓		✓	
コロンビア特別区										✓			✓
フロリダ州	✓		✓	✓			✓	✓				✓	✓
ジョージア州	✓		✓		✓				✓			✓	✓
イリノイ州													✓
インディアナ州	✓		✓										
アイオワ州			✓		✓		✓	✓					
ケンタッキー州	✓												
ルイジアナ州	✓		✓			✓	✓	✓					
メイン州	✓						✓						
メリーランド州	✓												
ミシガン州				✓									✓
ミネソタ州	✓		✓										
ミシシッピ州	✓												
ネバダ州			✓				✓						
ニューハンプシャー州			✓							✓		✓	
ニュージャージー州													✓
ニューメキシコ州			✓							✓		✓	
ニューヨーク州			✓		✓			✓				✓	
ノースカロライナ州	✓		✓			✓	✓	✓					
ノースダコタ州	✓		✓				✓	✓				✓	
オハイオ州													✓
オクラホマ州	✓		✓										
オレゴン州	✓		✓	✓			✓	✓					
ペンシルベニア州	✓		✓				✓						

州名*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
サウスカロライナ州	✓												
サウスダコタ州	✓												
テネシー州	✓		✓				✓						
テキサス州	✓		✓		✓					✓		✓	
ユタ州	✓		✓	✓	✓		✓	✓					✓
バーモント州			✓		✓			✓		✓		✓	
バージニア州													✓
ワシントン州			✓							✓		✓	
ウィスコンシン州	✓			✓									
ウェストバージニア州			✓										✓

出所：NCSL の自動運転車関連の州法案データベース¹⁴⁵に基づき作成

- 1: 商用 (Commercial)
- 2: 車両のサイバーセキュリティ (Cybersecurity of Vehicle)
- 3: 定義 (Definitions)
- 4: インフラストラクチャとコネクテッドカー (Infrastructure and Connected Vehicles)
- 5: 保険と賠償責任 (Insurance and Liability)
- 6: 免許・許可と登録 (Licencing and Registration)
- 7: 公道での運行 (Operation on Public Roads)
- 8: オペレーター要件 (Operator Requirements)
- 9: 収集した車両データのプライバシー (Privacy of Collected Vehicle Data)
- 10: 調査依頼 (Request for study)
- 11: 車両検査の要件 (Vehicle Inspection Requirements)
- 12: 車両試験 (Vehicle Testing)
- 13: その他 (Other)

* 州の並びは英語表記のアルファベット順。

<高速道路インフラへの影響>

完全な自動運転車の普及には、車両の技術開発だけでなく、自動運転車に対応した道路交通インフラを整備する必要がある。。現在試験中の自動運転車が車線を維持して走行するためには、明確な舗装標識と読みやすい標識が必要になる。自動運転車によって得られるメリットである、自動車死亡事故の減少、渋滞の緩和、汚染物質の削減の多くは、自動車が周囲のインフラと情報を交換する能力（コネクティビティ機能）に左右されるからである。

¹⁴⁵ <https://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-legislative-database.aspx>

DOT は、2025 年には交差点の 20%が V2I 対応となり、2040 年には 80%が V2I 対応となる可能性があるとして試算している¹⁴⁶。この自動運転車への移行期¹⁴⁷において、FHWA は、標識、交差点信号、道路標示を含む全ての交通制御装置の基準を定めた統一交通制御装置マニュアル (MUTCD) の管理を通じて、重要な役割を果たすとみられる。例えば、州間高速道路の頭上標識は、米国のドライバーであれば誰でも容易に認識できる全米 50 州全てで緑地に白文字となっており、これは MUTCD に基づいている。FHWA は 2022 年 1 月時点で、2009 年版の MUTCD の改訂作業を行っているが、自動運転車に特有の問題に対処するため、2020 年 12 月から 2021 年 5 月にかけて一般の意見を求めた¹⁴⁸。しかし、州による MUTCD への準拠は任意であり、全米統一基準の制定には至っていない。こうした中で、自動車メーカーのオーディは 2018 年、「州によって変わる法律、保険の要件、地域によって異なる車線や道路標識など」を理由に、「トラフィックジャムパイロット」と呼ばれるレベル 3 の新しい自動運転車技術を米国で利用しないと発表した¹⁴⁹。他の OEM も米国の道路インフラについて同様の不満を持っていると報じられるなど、全米での一貫した基準の制定が課題となっている¹⁵⁰。

米国の主要道路の約 21%は路面にくぼみがあったり、修理中の道路に連続した車線表示がないなど、舗装状態は悪い¹⁵¹。一般に、郡や地方自治体が責任機関となっている多くの細街路は、中央線だけでなく道路の端線もない場合があり、自動運転車が正しく自らの位置を認識することを妨げる可能性がある。土や砂利の道路は一般に舗装標識がなく、カメラは視界の悪い状況で路面のくぼみや道路の縁を検出できない可能性があるため、自動運転車にとって特に問題となる。

米国交通輸送調査委員会 (TRB) は、自動運転車の完全な普及に必要なコネクテッドカーインフラの計画・開発に、各州が今どのように着手すべきかを評価しているほか、資金不足の交通機関が高速道路や橋、その他既存インフラの保守に加えて、コネクティビティーを実装するために必要な大規模投資を認める方法に焦点を当てた研究を行うなど、一部行政による取り組みも進んでいる¹⁵²。

<自動運転車の保険と賠償責任についての議論>

連邦政府と州政府の管轄範囲については、以下の表の通りガイドライン AV2.0 に明記されており、自動車保険は州政府の所管となっている (図表 19 参照)。

¹⁴⁶ <https://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2017/03/Planning-for-Connected-and-Automated-Vehicles-Report.pdf>, P. 17

¹⁴⁷ 米国の道路を走るライトビークルの平均車齢は 2020 年に 11.9 年 (乗用車は 12.4 年、小型トラックは 11.6 年) であり、2020 年時点で道路を走る新車の多くは 2030 年にも運転されると予想される。2020 年に米国を走る 2 億 8,000 万台のライトビークルのほとんどは内燃機関を搭載した従来型の自動車である。

<https://www.freep.com/story/money/cars/2020/07/28/covid-average-vehicle-age-12-years/5519557002/>

¹⁴⁸ <https://www.transportation.gov/av/avcp/5>

¹⁴⁹ <https://www.wired.com/story/audi-self-driving-traffic-jam-pilot-a8-2019-availability/>

¹⁵⁰ <https://www.salon.com/2017/04/20/self-driving-cars-vs-crummy-american-roads-will-infrastructure-speed-bumps-slow-down-the-future-of-transportation/>

¹⁵¹ FHWA の連邦高速道路のみのデータに基づき、CRS が算出。CRS レポート R45250, <https://crsreports.congress.gov/product/details?prodcode=R45250>, P.21, 連邦補助高速道路は米国内の全道路の約 4 分の 1 を占め、一般に最もよく整備されている。農村の未舗装道路や郊外の袋小路など、残り 4 分の 3 の多くは状態が悪いとみられる。

¹⁵² <https://apps.trb.org/cmsfeed/TRBNetProjectDisplay.asp?ProjectID=4256>

図表 19：連邦政府と州政府の管轄範囲（AV2.0）

連邦政府	州政府
<ul style="list-style-type: none"> 新車および自動車部品に対する FMVSS の設定（メーカーは自動車を販売する前に、この基準に準拠していることを証明しなければならない） FMVSS の遵守を確実にする 不適合および安全性に関する自動車欠陥のリコールと改善策についての全国的な調査および管理 自動車の安全性に関する一般市民とのコミュニケーションと教育 	<ul style="list-style-type: none"> 運転免許の取得と自動車登録の実施 交通法規の制定と施行 （州が選択した場合）安全点検の実施 <u>自動車保険と賠償責任に関する規制</u>

出所：AV2.0 に基づき作成

米国道路安全保険協会（IIHS）によると、2022 年 2 月時点で、各州で規定されている自動運転車の公道走行許可状況および損害賠償責任保険に関する要件の有無は、図表 20 の通りである。2022 年 2 月時点で自動運転車の公道走行が認められている州は 20 州（条件付きを含む）、試験走行が認められている州は 12 州（2022 年 7 月からの予定を含む）である。自動運転に関する法や規定のうち損害賠償責任保険に関しては、一部で自動運転車に関する特定の保険要件を定めていない州や、規定の中にこれらを明示していない州もあり、今後整備されていくと考えられる。

図表 20：各州の自動運転車の公道走行許可状況および損害賠償責任保険の規定

州名*	自動運転車の公道走行に関する法・規定による許可状況	自動運転車の法・規定が定める損害賠償責任保険の要件の有無
アラバマ州	商用車のみ実施	有
アリゾナ州	実施	有
アーカンソー州	商用目的のみ実施	有 ¹⁵³
カリフォルニア州	実施	有
コロラド州	実施	無
コネチカット州	試験	有
コロンビア特別区	実施	無
フロリダ州	実施	有
ジョージア州	実施	有 ¹⁵⁴
ハワイ州	試験	記載無
イリノイ州	試験	有

¹⁵³ アーカンソー州は、49 C.F.R. § 387.9（2021 年 1 月 1 日時点）の「損害賠償責任保険最低限度要件」を遵守することを要件としている。

¹⁵⁴ ジョージア州は、人間のドライバーなしで運行する「完全自動運転車」に対して、既存の保険法で要求される最低限と同等の損害賠償責任保険に加入することを要件としている。

州名*	自動運転車の公道走行に関する法・規定による許可状況	自動運転車の法・規定が定める損害賠償責任保険の要件の有無
アイオワ州	実施	有
ルイジアナ州	商用車のみ実施	有
メイン州	試験	有
マサチューセッツ州	試験	無
ミシガン州	車両により実施 ¹⁵⁵	有
ネブラスカ州	実施	有
ネバダ州	実施	有 ¹⁵⁶
ニューハンプシャー州	実施	有 ¹⁵⁷
ニューメキシコ州	試験（2022年7月1日～予定）	記載無
ニューヨーク州	試験	有
ノースカロライナ州	実施	有
ノースダコタ州	実施	有
オハイオ州	試験	有
オクラホマ州	試験	記載無
ペンシルベニア州	車両により実施 ¹⁵⁸	無
テネシー州	実施	有
テキサス州	実施	有
ユタ州	実施	有
バーモント州	試験	有
バージニア州	試験	無
ワシントン州	試験	有

* 州の並びは、英語表記のアルファベット順。

出所：IIHS に基づき作成¹⁵⁹

一部の州では、自動運転車に関する政策戦略を公開しているが、その中に自動車保険を含む自動運転車の公道走行に係る法整備上の注意点が記載されている。2021年に公開されたカリフォ

¹⁵⁵ ミシガン州は、全ての自動運転車の試験と「オンデマンド自動運転車ネットワーク」の実施を許可している。

¹⁵⁶ ネバダ州は、試験を行う企業または個人に対して 500 万ドルの損害賠償責任保険への加入を義務付けており、「自動運転車ネットワーク企業」は 150 万ドルの保険に加入する必要がある。「自動運転車ネットワーク企業」とは、完全自動運転車を用いて、有償で乗客に輸送サービスを提供する事業体を指す。<https://www.leg.state.nv.us/NRS/NRS-706B.html>, NRS 706B.030

¹⁵⁷ ニューハンプシャー州は、人間のドライバーなしで運転する「無人運転車両」に対して、既存の保険法の最低額と同等の損害賠償責任保険に加入することを義務付けている。

¹⁵⁸ ペンシルベニア州 DOT の自主指針では、「高度に自動化された自動車」の試験が認められている。ペンシルベニア州法は、2019年4月22日から「高度に自動化された作業区域用車両」の実施を許可している。

¹⁵⁹ <https://www.iihs.org/topics/advanced-driver-assistance/autonomous-vehicle-laws#fn10>

ルニア州の政策戦略で、自動運転車の保険に関してどのような論点が上がったのか、以下に紹介する。

- カリフォルニア州自動運転車政策戦略 (California Automated Vehicle Policy Strategies)

160

2021年8月に公開されたカリフォルニア州自動運転車政策戦略では、自動運転車の政策課題として10の課題が取り上げられており、これらの政策課題についてどのような問題があるかを特定し、政策内容を改良するとしている。10の課題の1つに、自動運転車の保険と賠償責任に関して「リスクをカバーして賠償責任の所在を明らかにするために、柔軟な選択肢を提示する明確な法的指針を与えること」が挙げられている。これには、車両のサイズやサイバーセキュリティなどを含むリスクの特性によって、より具体的な最低補償限度額の設定が含まれる可能性がある。また、州は、自動運転車を運用する企業や個人（個人のオーナー、フリート¹⁶¹オーナー、交通ネットワーク企業など）に対する保険要件を明らかにする必要があるとしている。

カリフォルニア州では、自動車業界、政府、労働者など多くの関係者が集まる「カリフォルニア交通の未来に関する協議会 (California Council on the Future of Transportation)」を創設する法案 S.B.66 (2020年に同様の法案 S.B.59 が否決された後、2度目の挑戦) が2021年にも否決されている。各業界関係者の共通認識を見出す動きは鈍く、多くの議論が必要であることから、同州における自動運転車の法整備にはまだ時間がかかるものとみられる¹⁶²。

¹⁶⁰ https://escholarship.org/content/qt6s59c5b7/qt6s59c5b7_noSplash_23f3bc96b0fbe3f6e9ec26f7e83b7614.pdf?t=qve762

¹⁶¹ 本レポートで「フリート」は、法人所有の車両を表す。

¹⁶² <https://cal.streetsblog.org/2021/09/23/top-ten-california-automated-vehicle-policy-strategies/>

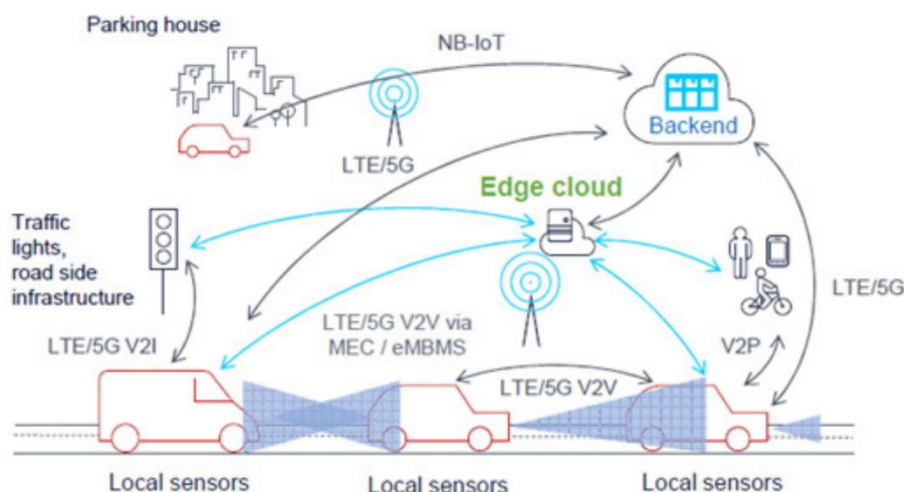
2 「コネクテッド」における現状と課題

2.1 V2Xにおけるコネクティビティー機能と通信方式のトレンド

V2Xとは、自動車とあらゆるモノをつなげる無線通信技術を意味し、自動車間のV2V、自動車と道路インフラ間のV2I、自動車と歩行者間のV2Pなどが含まれる。近年では、通信技術の発達により低レイテンシー・高信頼化が進み、これらのコネクテッドカーやコネクティビティー機能を利用した技術の開発や実用化、市場の拡大が見込まれている。以下の図は、将来的なV2Xのイメージおよびユースケースの一覧を示している(図表21参照)。将来的な5Gの普及に伴って大幅な通信量の増加が予想され、ネットワーク負荷の軽減、データ処理に係る遅延の軽減およびセキュリティ強化を目的とした、エッジクラウドや車載エッジを利用したエッジコンピューティングの活用がさらに進むと予想される。(以下図中のLTE/5G V2V via MEC/eMBMSは、マルチアクセス・エッジコンピューティング(MEC) / 一斉同報配信¹⁶³を使用したLTE/5GによるV2Vを表す)

また、V2XにはV2V、V2I、V2Pのほか、ネットワークとの通信であるV2Nや、電力系統の電力需給バランスに応じて、充電ステーションに接続されている車載バッテリーへの充電や電力系統への送電を調整する車両・電力系統間通信(V2G)などがあり、自動車のコネクティビティー機能は今後さらに拡大すると予想される(図表22参照)。

図表 21 : V2X のイメージ



出所 : 5G Americas¹⁶⁴

5G Americas の許可を得て掲載

¹⁶³ eMBMS とは、エリア内の受信を希望する全端末に向けて、同一のデータを同一の周波数帯域で送信する技術である。

¹⁶⁴ [Vehicular-Connectivity-C-V2X-and-5G-InDesign-1.pdf \(5gamericas.org\)](#)

図表 22：各通信のユースケース一覧

区分	ユースケース	概要
V2V	車間距離制御	GPS 情報、加速度や方位角、車両制御情報などの情報を周囲の車両と通信し、車間距離制御や運転車への警告を行う。
	隊列走行	センサー類やアクセル入力などの情報を先頭車両と通信することにより、後続車両が無人で先頭車両を追随する。
V2I	協調型自動運転	車両に搭載した各種センサーなどに加え、交通インフラ、位置情報衛星など車両外部システムと協調することで自動運転を支援する。
	注意喚起	交通インフラと通信することで、右折時注意喚起、赤信号注意喚起、信号待ち発信準備案内、緊急車両存在通知など周辺環境の情報を提供する。
V2P	歩行者検知	歩行者のスマートデバイスと連携して、車両付近にいる歩行者を検知し注意喚起する。
V2N	OTA	遠隔地より電子制御システムのソフトウェアのアップデートを行う。
	コンシェルジュサービス・緊急対応サービス	コンシェルジュサービス機能などにより、目的地の決定やナビゲーションの設定を行う。また、緊急通報サービスにより、緊急時のエアバックと連動した自動通報や、専用ボタンやカーナビからの通報を行う。
	遠隔操作運転 (ToD) ¹⁶⁵	無線通信により車両センサーから受信した情報（ビデオ、レーダー、LiDAR、超音波、音声情報など）を基に、車両制御センター（VCC）内の遠隔オペレーターが車両を完全に制御する。または、自動運転システムで解決できない問題について遠隔操作でサポートを受ける。
V2G	充電電力管理	EV が電力系統と通信して、電力系統の需給に応じ車載バッテリーの充電を調節したり、グリッドに送電したりする。

出所：各種団体ホームページなどを基に作成

2.1.1 V2V、V2I の動向

<V2V の動向>

V2V は、自動車周囲の車両と速度、位置、方位などの情報を交換する技術であり、衝突回避や渋滞緩和、環境改善に貢献することが期待されている。車両は全方位メッセージを送受信（最大 10 回/秒）して、近接する他の車両を 360 度認識できるようになる。適切なソフトウェアや安全アプリケーションを搭載した車両は、周囲の車両からのメッセージを利用して、衝突の危険性を判断することができる。この技術は、ディスプレイ表示や座席の振動、音声といった視覚、

¹⁶⁵ https://5gaa.org/wp-content/uploads/2021/07/5GAA_White_Paper_Safety_treatment_in_V2X_applications.pdf

触覚、聴覚、またはこれらの組み合わせでドライバーに警告を発し、これらの警告によってドライバーは衝突回避の行動をとることができる¹⁶⁶。

2021年12月時点で、V2VはDSRCをベースにした通信が主流であり、周囲の車両のGPS情報、加速度や方位角、車両制御情報(トランスミッションやブレーキの状態、ステアリング角度)、自動車の経路履歴と経路予測といった情報を取得する。通信距離は約300メートルであり、交通量や地形、悪天候で見えにくい危険も検知することが可能である。V2Vは、レーダーやカメラを使って衝突の危険を検知する現在の衝突回避システムを拡張・強化するものであり、衝突を完全に回避できるようになる。

一方で、先に述べた通り、通信技術の進歩により競合する通信方式となるC-V2Xが台頭し、FCCはこれまでDSRCサービス用に確保されていた周波数帯をライセンス不要用途とC-V2X用途に分割することを議決した(2.4.1に詳述する)。これにより、今後はセルラー移動通信方式の技術開発が進むと予想され、DSRCベースの技術はC-V2X技術にシフトしていく可能性がある。

● **トラックプラトーニング**

トラックプラトーニングは、DSRCによるV2Vを利用して車両をグループ化する隊列走行技術であり、車間距離を安全に縮めることで空気抵抗を低減し、燃料節減効果を得ることができる。米国内では実用化に向けた実証試験が行われており、特に商業用トラックでの実用化が先行するとみられる¹⁶⁷。プラトーニングには、SAEの自動運転レベルに応じて以下2つの世代に分けることができる(図表23参照)。

図表 23 : トラックプラトーニング技術の自動化レベル

第一世代	第二世代
SAE レベル 1 プラトーニング ・先頭車のドライバーが通常運転する。 ・後続車のドライバーがハンドル操作し、道路状況を監視し、車や人の交通に対処する	SAE レベル 4 プラトーニング ・先頭車のドライバーが通常運転する。 ・後続車のドライバーは不要。

出所：関係団体ホームページを基に作成

国内市場のトラックプラトーニング技術関連の主なプレイヤーとして、Peloton Technology (カリフォルニア州マウンテンビュー、2011年設立)¹⁶⁸、Locomotion (ペンシルベニア州ピッツバーグ、2018年設立)¹⁶⁹、Robotic Research (メリーランド州クラークスバーグ、2002年設立)¹⁷⁰、トレイトン (ドイツ・ミュンヘン、2013年設立)¹⁷¹、ボルボトラック (スウェーデン・イエ

¹⁶⁶ <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/vehicle-vehicle-communication>

¹⁶⁷ https://www.fhwa.dot.gov/Planning/freight_planning/talking_freight/january_2021/talkingfreight1_13_21rb.pdf

¹⁶⁸ <http://peloton-tech.com/>

¹⁶⁹ <https://locomotion.ai/>

¹⁷⁰ <https://www.roboticresearch.com/>

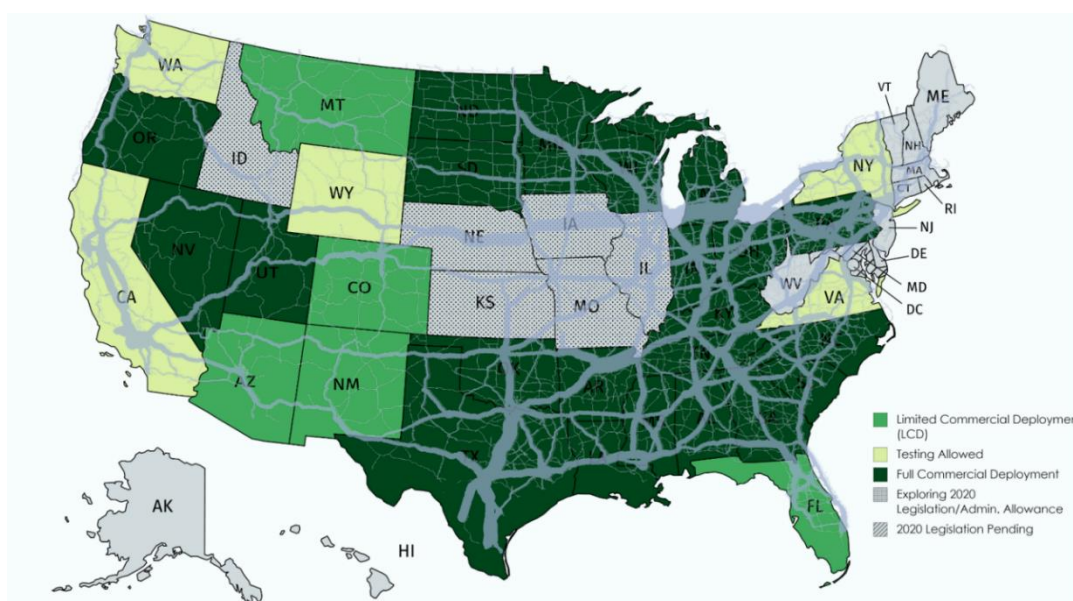
¹⁷¹ <https://tratton.com/en.html>

ーテボリ、1928年設立)¹⁷²、ダイムラートラック（ドイツ・シュトゥットガルト、2019年設立）が挙げられる。

自動運転トラック輸送技術の大手プロバイダーである Locomotion は、オハイオ州イーストリバティにある輸送研究センターで技術実証試験を行うとともに、2020年夏にはトラック運送会社の Wilson Logistics（ミズーリ州スプリングフィールド）と共同で同技術の路上試験を行った。Wilson Logistics は2020年9月、Locomotion から自動運転型リレーコンボイ（ARCTM）技術が搭載された自動運転トラック 1,120 台以上を購入すると発表した。2022年初頭には最初の納品が行われ、技術実証が成功すれば稼働を始める予定だという¹⁷³。商用車の同技術は、複数車線のある高速道路での使用を対象としており、他の車両が隊列車両間にカットインした際に適切に対応することが、重要な技術ポイントとなっている。

また、プラトーン技術の商用展開については、州ごとに法整備されており、各州の実施許可状況は以下の図の通りである（図表 24 参照）。濃い緑：全て許可、緑：限定的に許可、淡緑：試験運転のみ許可、灰色：2020年の法制化で審議中、灰色斜線（メリーランド州）：地図中では2020年の法制化で係属中となっているが、同州はその後、2021年4月13日にトラックプラトーン技術の許可が承認されて申請手続きが可能になった¹⁷⁴。

図表 24：各州の商用車プラトーン技術展開の法整備状況（2021年1月時点）



出所：ビショップコンサルティング、米国連邦高速道路局¹⁷⁵
 ビショップコンサルティングの許可を得て掲載

¹⁷² <https://www.volvotrucks.com/splash/>

¹⁷³ <https://www.businesswire.com/news/home/20200924005026/en/Locomotion-Wilson-Logistics-Announce-World%E2%80%99s-First-Large-Scale-Autonomous-Truck-Purchase-Order>

¹⁷⁴ <https://mva.maryland.gov/Documents/Platooning-in-Maryland-Flyer.pdf>

¹⁷⁵

https://www.fhwa.dot.gov/Planning/freight_planning/talking_freight/january_2021/talkingfreight1_13_21rb.pdf

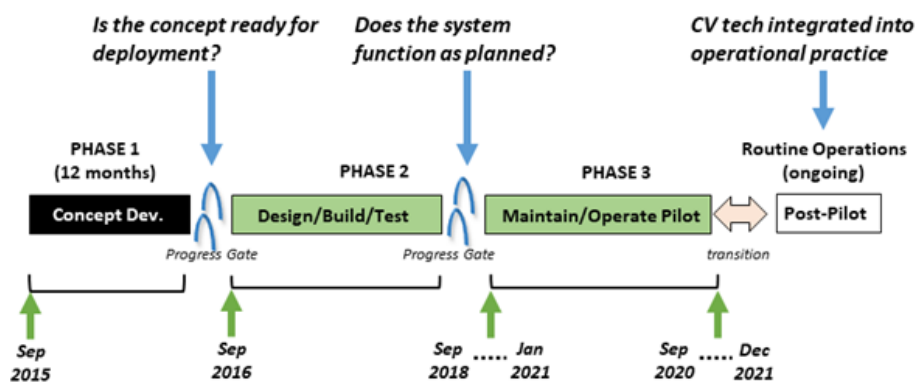
<V2Iの動向>

V2Iは、交通渋滞、気象情報、橋梁との距離や信号機などの情報を車両に無線送信することで、ドライバーの注意を喚起し安全の確保に役立つ技術である。例えば、V2Iを搭載したスマート信号機によって、ドライバーは交通状況を把握し、また正確な到着時間を予測することができる。

V2Iは、DOTの高度道路交通システム(ITS)プログラムの一部に位置づけられ、将来的には、スマートパーキングや自動運転車などの運転支援システムの向上や、将来の都市計画強化につながる事が期待されている。

DOTでは、コネクテッドカー(CV)技術の開発を支援し早期の実用化につなげるため、以下の試験地を選定して2015年からパイロットプログラム¹⁷⁶を実施している。DOTは2021年12月時点で、ニューヨーク市運輸局(NYCDOT)¹⁷⁷、フロリダ州のタンパ・ヒルズボロ高速道路公社(THEA)¹⁷⁸、ワイオミング州運輸局(WYDOT)¹⁷⁹が主導する3つのパイロットサイトで試験を行っており、通信車両やモバイル機器、インフラ、交通モビリティクラウド(TMC)などを地上交通システム(輸送機関、高速道路、幹線道路、駐車施設、有料道路など)に導入して、システムの性能向上と性能に応じた管理強化を図っている。これらは、地域独自の輸送ニーズに合わせたコネクテッドカーアプリケーション技術の導入を目的としており、フェーズ1~3で構成される。ニューヨーク市とワイオミング州のパイロットサイトは2021年12月時点で、図表25のフェーズ3にあたる運用・保守段階にあり、一連の指標についてシステムの影響をモニタリングしている。タンパは同時点でフェーズ3を完了し、OEMとのスペクトラム試験と相互運用性の機能に焦点を当てたフォローアップ作業を行っている。各プログラムには、V2IのほかにV2Vの技術実証も含まれ、概要は以下の通りである(図表25~28参照)。

図表 25 : DOT のパイロットプログラムスケジュール



出所 : DOT¹⁸⁰

DOTの許可を得て掲載

¹⁷⁶ <https://www.its.dot.gov/pilots/>

¹⁷⁷ https://www.its.dot.gov/pilots/pilots_nycdot.htm

¹⁷⁸ https://www.its.dot.gov/pilots/pilots_thea.htm

¹⁷⁹ https://www.its.dot.gov/pilots/pilots_wydot.htm

¹⁸⁰ <https://www.its.dot.gov/pilots/overview.htm>

<DOT のコネクテッドカーパイロットプログラム概要>

1. NYCDOT CV パイロット開発プロジェクト（ニューヨーク州ニューヨーク）

図表 26 : NYCDOT CV パイロット開発プロジェクト概要

分類	CV 用途
V2I の安全性	速度遵守、カーブ速度遵守、工事区域での速度遵守、赤信号違反警告、景観整備道路などの施設利用禁止や高さ制限といった大型車のコンプライアンス、緊急連絡・避難情報
V2V の安全性	前方衝突警告、緊急電子制動灯（EEBL）、死角の警告、車線変更警告・アシスト、交差点動作アシスト、バス前方右折車警告
V2I 歩行者	信号のある横断歩道上の歩行者、交差点横断時のモバイルアプリ式歩行者誘導システム
モビリティ	高度交通信号システム（I-SIG）

パイロットサイトの CV デバイス	計画台数
マンハッタンとブルックリンの交差点と、フランクリン・D・ルーズベルト通りの路側機（RSU）	353
アフターマーケット安全装置（ASD）を搭載したタクシー	5,850
ASD を搭載したメトロポリタン・トランスポーターション・オーソリティーの車両	1,250
ASD を搭載した UPSトラック	400
ASD を搭載した NYCDOT の車両	250
ASD を搭載したニューヨーク市衛生局の車両	250
交通弱者（歩行者・自転車）用デバイス	100
歩行者検出システム	10+1 予備用
ASD 搭載車両の合計	8,000

出所：DOT を基に作成¹⁸¹

2. THEA CV パイロット開発プロジェクト（フロリダ州タンパ）

図表 27 : THEA CV パイロット開発プロジェクト概要

分類	CV 用途
V2I の安全性	（高速道路などの）ランプ終点の減速警告、逆走防止装置、歩行者衝突警告
V2V の安全性	EEBL、前方衝突警告、交差点移動支援システム、乗降停車時の交通車両の前方に右折のために停車している車両がないかの通知システム

¹⁸¹ https://www.its.dot.gov/pilots/pilots_nycdot.htm

モビリティ	I-SIG、交通信号の優先順位 (Transit Signal Priority : TSP)
-------	---

パイロットサイトの CV デバイス	計画台数
交差点の RSU	47
OBU を搭載した車両	約 1,000
OBU を搭載したヒルズボロ地域交通バス	10
OBU を搭載した TECO (Tampa Electric Company) 線路面電車	8
OBU 搭載車両の合計	約 1,018

出所：DOT を基に作成¹⁸²

3. WYDOT CV パイロット開発プロジェクト (ワイオミング州)

図表 28 : WYDOT CV パイロット開発プロジェクト概要

分類	CV 用途
V2I の安全性	I2V の状況認識、工事区域警告、スポット気象影響警報
V2V の安全性	前方衝突警告
V2I と V2V の安全性	遭難通知

パイロットサイトの CV デバイス	計画台数
交差点の RSU	75
WYDOT 車両のサブシステム OBU	100
商用トラックのサブシステム OBU	150
後付け車両サブシステム OBU	25
車両基本サブシステム OBU	125
OBU 搭載車両の合計	400

出所：DOT を基に作成¹⁸³

2021年5月に FCC から 5.9GHz 帯周波数の分割割当に関する命令¹⁸⁴が発表される以前は、上記パイロットプログラムの参加企業は 5.9GHz 帯の 75MHz を全て利用することができた¹⁸⁵。DOT は、先の FCC による命令により、DSRC が利用できる周波数が 75MHz から 10MHz に減少したことに伴い、必要なサービス提供への影響を懸念している¹⁸⁶。

<通信方式は DSRC からセルラー移動通信へと移行する流れに>

¹⁸² https://www.its.dot.gov/pilots/pilots_thea.htm

¹⁸³ https://www.its.dot.gov/pilots/pilots_wydot.htm

¹⁸⁴ <https://www.federalregister.gov/documents/2021/05/03/2021-08802/use-of-the-5850-5925-ghz-band>

¹⁸⁵ https://www.its.dot.gov/press/2021/cvp_channel_utilization.htm

¹⁸⁶ https://www.its.dot.gov/press/2021/cvp_channel_utilization.htm

V2X の開発・実用化は 1990 年代まで遡るが、通信方式として DSRC¹⁸⁷を使用した V2V および V2I が主流であった。その後、2017 年には標準化団体の第 3 世代パートナーシッププロジェクト（188189が Release14 規格を策定し、LTE 技術を用いた C-V2X が標準化され、その後 5G に対応した仕様も策定された。それぞれの通信方式の特徴は以下の通りである（図表 29 参照）。

図表 29 : V2X に使用される 2 つの通信方式（DSRC、C-V2X）の比較

	DSRC	C-V2X
概要	Wi-Fi の技術をベースとした通信技術。	携帯電話用（セルラー方式）の移動通信を基礎とする技術。 端末からモバイル事業者の基地局を經由し通信する広域通信（V2N で利用）と、端末間で直接、モバイル事業者の基地局を經由せず通信する狭域通信（PC5 と呼ばれ、V2V、V2I、V2P で利用）がある。
特徴	高速で移動する物体を対象とし、物体が見通し域内になくとも信頼性の高い無線リンクを作成する。DSRC はセルラー移動通信接続なしで、車両と車両またはインフラの間の安全な高速通信が可能。	既存セルラーネットワークの活用により V2N の対象範囲が広い。また、新たに路側インフラを構築せず、既存のモバイルインフラを活用することでインフラ整備費を削減できる。 一方、現時点では、通信端末間の相対速度が速い場合の通信反応時間が DSRC よりも長い。
通信規格	IEEE802.11p	Release 16

出所：各種団体の資料を基に作成

米国では、2021 年 5 月に FCC から 5.9GHz 帯周波数の分割割当に関する命令が発表され¹⁹⁰、DSRC 用途に割り当てられていた 75MHz の周波数帯が、携帯電話やワイヤレススピーカーなどのライセンス不要向けの用途や C-V2X へ新たに分割されることになった。2021 年 12 月時点で、DSRC に割り当てられている 10MHz が最終的に C-V2X へ移行するかについては議論の最中であり、今後は V2X における C-V2X の重要性が高まるとみられる（2.4.1 で詳述）。

¹⁸⁷ 車両との無線通信に特化して設置された、一方向、または双方向の無線 LAN（IEEE802.11）を基礎とする無線通信技術で、米国内では 5.9GHz 帯が使用されてきた。狭域通信とも呼ばれる。DSRC は短距離から中距離向けで V、2V や V2I のための通信技術であり、OBU や RSU を介して行われる。

¹⁸⁸ 移動体通信システムの仕様の規格策定を行う国際的な標準化団体。第 3 世代移動通信システム（3G）の規格策定を主な目的として、1998 年に各国・地域の標準化団体によって設立され、第 4 世代移動通信システム（4G）、第 5 世代移動通信システム（5G）の標準化を行っている。2021 年 12 月時点で、欧州（ETSI）、日本（ARIB、TTC）、米国（ATIS）、韓国（TTA）、中国（CCSA）、インド（TSDSI）の世界 7 つの標準化団体で構成されている。

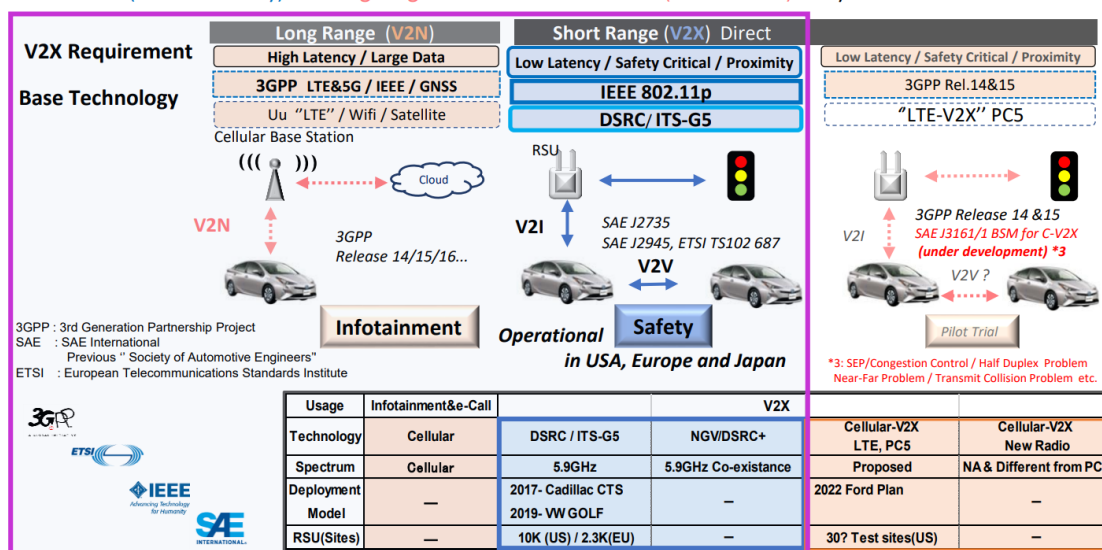
¹⁸⁹ <https://www.3gpp.org/>

¹⁹⁰ <https://www.federalregister.gov/documents/2021/05/03/2021-08802/use-of-the-5850-5925-ghz-band>

以下の図は、V2Xにおける各通信方式（DSRCとセルラー移動通信）の用途と特徴を表している。従来、安全性に係わり低レイテンシーが求められるV2VやV2IではDSRCが利用されており、エンタテインメントやOTAといった通信量の多い車両ネットワーク間通信では、基地局を経由するセルラー移動通信が利用されてきた（図表30参照）。

図表 30 : V2XにおけるDSRCとセルラー移動通信の用途と特徴

Vehicle-to-everything (V2X) connectivity is achieved with a combination of **Short-range direct communication (DSRC for Safety)** and **Long-range network communication (Cellular-V2N)** – “Hybrid Communication” .



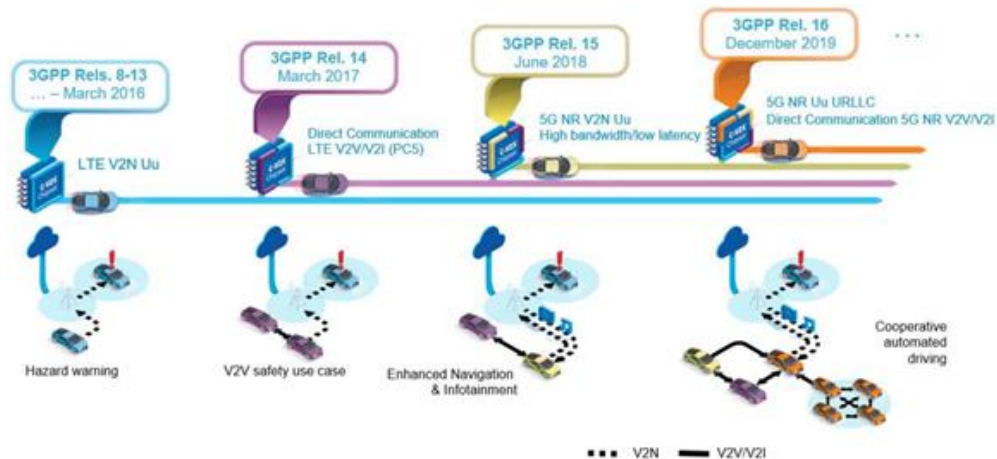
出所：トヨタ自動車¹⁹¹

トヨタ自動車の許可を得て掲載

以下の図は、C-V2Xがどのように発展してきたかを示している。3GPPによるRelease14規格の策定で、基地局を経由しない直接通信（PC5）が可能になったことにより、セルラー移動通信のV2VやV2I用途への可能性が開かれた。その後、Release15および16による5G仕様により、大容量通信・低レイテンシーが実現し、エンタテインメントや機能拡張型ナビゲーションシステムなどのV2N用途、ならびに協調型自動運転といったV2V用途への利用可能性が考えられるようになった（図表31参照）。

¹⁹¹ https://www.toyota.co.jp/its/en/2021/v2x_technology/

図表 31：セルラー移動通信による C-V2X の発展経緯



出所：5G Americas¹⁹²

5G Americas の許可を得て掲載

セルラー移動通信の直接通信が DSRC に取って代わることができるか、実証実験が行われている。GM、フォード、北米日産、現代自動車およびクアルコムは、CAMP LLC¹⁹³¹⁹⁴が実施する C-V2X プロジェクトに参加し、2018 年から 2020 年にかけて C-V2X の性能評価を実施するなど、技術導入の準備を進めてきた¹⁹⁵¹⁹⁶。また、一部の OEM は、C-V2X の導入に向けてすでに動き始めており、フォードは 2019 年 1 月に、規制環境が整えば 2022 年から全ての新車に C-V2X を導入する計画を発表した¹⁹⁷。また、アウディ・オブ・アメリカは 2020 年 9 月、バージニア州交通局および無線インフラを提供するアメリカンタワーとともに、道路に C-V2X を展開すると発表した¹⁹⁸。このような状況で、多くの半導体製造メーカーは DSRC と C-V2X の両方の規格に対応した車載通信チップセットを製造し、技術移行中の OEM を支援している。また、既存の DSRC インフラ製造企業の多くは、C-V2X 接続の機能を追加することに取り組んでいる。

2.1.2 V2N、V2G の動向

<V2N の動向>

V2N とは、自動車そのものをインターネット端末としてセルラーネットワーク通信を行うサービスであり、主にテレマティクスサービスで利用される。同サービスは 1996 年に初めて自動車に導入され、近年のテレマティクスサービスの拡大に伴ってその動きが加速している。自動車事故の通知やコンシェルジュサービス、ファームウェアアップデート、インフォテインメント、交

¹⁹² https://5gaa.org/wp-content/uploads/2019/01/5GAA_White-Paper-CV2X-Roadmap.pdf P.7

¹⁹³ フォードと GM が設立および運営しており、他の自動車会社や FHWA、NHTSA と共同で①安全性向上のための衝突回避技術の開発および実装の加速、②各種指標や仕様の確立と業界コンセンサス形成の促進、を目的とした活動を行っている。

¹⁹⁴ <https://www.campllc.org/about-camp/>

¹⁹⁵ <https://www.campllc.org/project-cellular-v2x-device-to-device-communication-c-v2x/>

¹⁹⁶ <https://www.qualcomm.com/news/onq/2021/01/27/c-v2x-global-market-momentum-continues-accelerate>

¹⁹⁷ <https://medium.com/cityoftomorrow/how-talking-and-listening-vehicles-could-make-roads-safer-cities-better-f215c68f376f>

¹⁹⁸ <https://media.audiusa.com/en-us/releases/437>

通道路状況の通知、遠隔制御など、さまざまなユースケースが想定され、OEM では全車両接続の方向に向かって急速に動いている。近年の車載通信関連の企業間連携や各 OEM のプラットフォーム、アプリケーションソフトウェアの導入状況については、以下の通りである（図表 32 参照）。

図表 32：車載通信関連の企業間連携および各 OEM の導入状況

日付 企業名	詳細
2019/4/23 フォード/ AWS/ Autonomic	<p>フォードと、フォード・スマート・モビリティ LLC の完全子会社で、TMC を提供する Autonomic（カリフォルニア州パロアルト）は、アマゾン・ウェブ・サービス（AWS）と複数年契約を締結し、輸送業界向けのクラウド接続サービスおよびコネクテッドカーアプリケーション開発サービスの提供を拡大することに合意した。これにより、Autonomic の TMC が AWS によって実現され、フォード車の標準的なコネクテッドカーソリューションとなる予定だという。AWS との連携により、自動車メーカー、公共交通事業者、大規模商業事業者、ソフトウェア開発者に対して、さらなるパートナーシップとビジネス機会を提供できるという¹⁹⁹。</p>
2020/11/9 現代自動車/ NVIDIA	<p>NVIDIA と現代自動車は、2022 年から現代自動車、起亜自動車、ジェネシス自動車の全ラインナップに、NVIDIA DRIVE 車載インフォテインメント（IVI）システムを標準搭載すると発表した。NVIDIA DRIVE には、ハードウェアとソフトウェアが含まれており、現代、起亜、ジェネシスの IVI システムにオーディオ、ビデオ、ナビゲーション、コネクティビティー、AI によるコネクテッドカー・サービスを搭載することになる。現代自動車は、2015 年から NVIDIA と車載インフォテインメントシステムを共同開発しており、ジェネシス GV80 と G80 には NVIDIA DRIVE を搭載した最先端の IVI システムが搭載されている。また、両社は 2021 年後半のリリースに向けて、先進的なデジタルコックピットの開発においても協力している²⁰⁰。</p>
2021/2/1 フォード/ グーグル	<p>フォードとグーグルは、コネクテッドカー体験を刷新するための独自の戦略的パートナーシップを発表した。また、データ、AI および機械学習に関するグーグルの専門知識を活用するため、フォードはグーグルクラウドを優先的なクラウドプロバイダーに指名している。6 年間のパートナーシップの一環として、2023 年から全価格帯のフォードとリンカーンの車両に Android が搭載され、グーグルのアプリケーションとサービスが組み込まれる予定である。継続的なイノベーションを推進するため、フォードとグーグルは新たにコラボレーショングループ</p>

¹⁹⁹ <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2019/04/23/ford-motor-company-autonomic-amazon-web-services-collaboration.html>

²⁰⁰ <https://nvidianews.nvidia.com/news/hyundai-motor-group-selects-nvidia-drive-infotainment-and-ai-platform-for-all-future-hyundai-kia-and-genesis-models>

	「Team Upshift」を立ち上げた ²⁰¹ 。両社の人材や資産を活用し、パーソナライズされたユーザー体験の提供や、データ駆動型のサービス提案などを計画している。
2021/3/9 ボルボ／ グーグル	ボルボ・カーズは、モデルポートフォリオの幅広いアップデートの一環として、グーグルを組み込んだ新しい Android 搭載インフォテインメントシステムを XC60、S90、V90、V90 クロスカントリーモデルに継続展開すると発表した ²⁰² 。
2021/9/13 Iteris／ Wejo	スマートモビリティインフラ管理プロバイダーの Iteris と Wejo（マイクロソフト、パランティア・テクノロジーズ、損保ジャパンおよび GM が出資する英国のコネクテッドカーデータのスタートアップ）は、Iteris が有する北米の公共機関および商業部門の顧客に対して、コネクテッドカーのデータコンテンツを強化する契約を締結した。本契約に基づき、Iteris は Wejo のパートナープログラムに参加し、Wejo は Iteris のモビリティ情報プロバイダーとして、新規および既存の顧客に対し北米の 1,100 万台以上のコネクテッドカーから得られるリアルタイムの移動データを提供するという。コネクテッドカーのデータ特性は、Iteris の ClearMobility Cloud が提供するリアルタイム交通・気象情報、予測入力、AI 機能の追加レイヤーなどが組み合わせられ、これにより、道路の安全性向上や渋滞緩和、運転所要時間の短縮につながるが見込まれる ²⁰³ 。
2021/9/23 ホンダ／ グーグル	ホンダは、2022 年後半から北米で発売する新型車に、グーグルの車載用コネクテッドサービスを統合することで同社と合意したと発表した。両社は 2015 年以降自動車に Android プラットフォームを導入するために協力しており、2016 年のアコードから Android Auto の採用を開始した。Android Auto はスマートフォンをドライバーの状況に応じた機能に最適化することが可能である ²⁰⁴ 。
2021/11/10 フォード／ NXP	NXP セミコンダクターズは、NXP の車両ネットワークング・プロセッサと i.MX8 シリーズ・プロセッサを実装した、フォードの新しい完全ネットワーク化車両アーキテクチャーを提供するために、フォードとの提携を発表した。NXP の車載ネットワークプロセッサは、安全な車載ネットワークングを提供し、ゲートウェイが OTA ソフトウェアアップデートや新サービスを迅速に展開できるようにするとともに、車両の詳細データを処理してクラウドに送り、継続的に製品を改善し、車両の健康管理などのデータ駆動型サービスをサポートする予定だという ²⁰⁵ 。

出所：各社ホームページおよび各種報道を基に作成

²⁰¹ <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2021/02/01/ford-google-accelerate-auto-innovation.html>

²⁰² <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/279230/volvo-cars-brings-infotainment-system-with-google-built-in-to-more-models>

²⁰³ <https://www.traffictechnologytoday.com/news/connected-vehicles-infrastructure/iteris-and-wejo-partnership-will-increase-safety-and-efficiency-of-connected-vehicles.html>

²⁰⁴ <https://hondanews.com/en-US/releases/honda-and-google-collaborate-on-in-vehicle-connected-services>

²⁰⁵ <https://www.nxp.com/company/about-nxp/nxp-and-ford-collaborate-to-deliver-next-generation-connected-car-experiences-and-expanded-services:NW-NXP-AND-FORD-COLLABORATE-TO-DELIVER-NEXT-GEN>

<V2G の動向>

V2G とは、EV が電力系統と通信して、系統への送電やバッテリーへの充電量を増減させるなど調整することによって電力需給を調整する、電力需要応答型のサービスである。V2G 技術は、蓄電池や自家発電設備などの分散型エネルギー源（DER）の導入が進んでいるカリフォルニア州で法制度や設備の整備が進んでおり、早期に普及することが予想される²⁰⁶。同州は V2G を自家発電奨励プログラム²⁰⁷の一部と位置づけ推進しており、温室効果ガスの排出量削減や、配電システムの利用率向上によって電力システムの信頼性を高めることなどを目的として、適切な技術導入にかかる金銭的インセンティブを与えている。

V2G に必要な双方向充電器は、10 年以上前から少しずつ製造・設置されており、その性能特性や技術要件は汎用的で、部品も太陽光発電システム用途に使用されているものである。また、同技術の導入に必要なプラグや安全基準、規制についても、すでに成熟した代替エネルギー活用の技術分野と似ており、普及しやすい環境にある。Fermata Energy（バージニア州シャーロットビル、2013 年設立）²⁰⁸や Nuvve（カリフォルニア州サンディエゴ、2010 年設立）²⁰⁹、Connect California などのスタートアップが商業的な規模拡大を図っている。

2.1.3 C-V2X による高度交通技術システムの技術実証試験およびインフラ整備の動向

カリフォルニア州ロングビーチ市が、北米メルセデスベンツ・リサーチ・アンド・デベロップメント（MBRDNA）と AI スタートアップ Xtelligent の支援の下、交通技術システム開発に関する官民パートナーシップを締結し、MBRDNA は 2021 年 9 月、ロングビーチ市のスマート・シティ・イニシアチブ²¹⁰の一環として、以下の官民合同のプロジェクトを 10 カ月間にわたって実施すると発表した²¹¹。

- 特定の交差点で信号のタイミングを安全に調整する高度交差点制御システムの試験
- 交通政策や交通工学に関する政策決定に寄与する情報を提供するための、コネクテッド・試験車両や既存の物理センサーからのデータ分析
- ロングビーチの住民と学生を対象としたコミュニティユースワークショップ

アウディは 2020 年夏、バージニア州交通局、バージニア工科大学、Commsignia、アメリカンタワー、クアルコムとともに C-V2X の試験を実施し、道路工事現場で使用される信号との通信用に、特殊な C-V2X デバイスを取り付けた SUV を使用し試験を行っている、と報告した²¹²。同社の試験は道路工事と信号機に焦点を当てているが、将来的にはスクールバスの乗り降り、横断歩道での学校警備員、救急隊員など、他の場面にも適用される可能性がある、としている。

²⁰⁶ <https://www.canarymedia.com/articles/grid-edge/how-vehicle-to-grid-technology-could-disrupt-energy-storage-investment-as-you-know-it>

²⁰⁷ <https://www.cpuc.ca.gov/sgip/>

²⁰⁸ <https://www.fermataenergy.com/>

²⁰⁹ <https://nuvve.com/>

²¹⁰ <https://longbeach.gov/smartcity/>

²¹¹ <https://media.mbusa.com/releases/release-3976257829f1d06908de1c5b91003387-city-of-long-beach-partners-with-mercedes-benz-research-development-north-america-and-xtelligent-to-revolutionize-urban-mobility-through-connected-vehicle-data>

²¹² <https://www.wardsauto.com/vehicles/audi-tests-cellular-vehicle-everything-connectivity>

また、ウエスタンシステムズは、カリフォルニア州運輸局第 12 区と提携²¹³し、カリフォルニア州内の主要な高速道路や交差点に 188 台の Yunex Traffic RSU を設置し、ITS ソフトウェアの M.H. Corbin Connect.を整備した。Yunex Traffic RSU は、路側インフラから車両の OBU および中央交通管制センターへと無線通信を提供するものである。Caltrans は道路の安全性を高めることを目的として、RSU の基本安全メッセージ機能を利用して、既存のカメラ検知システムで車速を検知し、ダイナミックサインに警告を表示することを予定している。

2.2 企業間パートナーシップおよび投資の動向

<近年のコネクテッドカー関連企業間パートナーシップ>

近年の主な企業間パートナーシップ動向について、コネクテッドカーの機能に基づき分類し、以下の通りとりまとめた（図表 33 参照）。

図表 33：コネクテッドカー関連企業間パートナーシップ

日付 企業・組織名	詳細
インフォテインメント（2.1.2 に記載）	
サイバーセキュリティ	
2021/11/10 Wejo/ マイクロソフト	Wejo は、マイクロソフトと戦略的パートナーシップを結び、Wejo の一連のデータ資産を Microsoft Azure クラウドプラットフォーム上に構築するプロジェクトについて進捗を報告した。Wejo は現在までに、約 1,200 万台のコネクテッドカーから位置情報、道路状況、天候などの 12 兆件のデータポイントを取り込み、Azure のデータセキュリティ、プライバシー、スケーラビリティに組み込んだ。Wejo が米国と欧州で生成したデータのライブラリは増加しており、モビリティ、自動車、地図分野での幅広いユースケースで活用することができる。OEM が、個々の車両から得られるデータ情報への依存度を高めているため、この協業の基盤となるクラウドベースのインフラはより重要なものとなってきている ²¹⁴ 。
コネクティビティ	
2021/8/19 GM/ AT&T	GM と AT&T は、バッテリーEV と自動運転車の将来のニーズに対応するため、5G セルラーネットワークアーキテクチャーで自動車接続のベンチマークを設定するために協力することを発表した。5G 接続については、2024 年モデルの一部車両で利用可能になる。さらに、GM の第 5 世代ネットワークを通じて、LTE 搭載の 2019 年モデル以降の車両は、より速い接続速度と、5G 搭載車両と同等の性能が得られるという。GM は記者発表の中で「これは、世界最大規模で 5G 対応車両を立ち上げるという両社

²¹³ <https://www.traffictechnologytoday.com/news/connected-vehicles-infrastructure/western-systems-rsus-will-improve-safety-in-california-connected-vehicle-initiative.html>

²¹⁴ <https://www.wejo.com/press/wejo-partnership-with-microsoft>

	<p>の戦略の一環であり、ミシガン州ミルフォードにある GM の 5G 実証グラウンドでのコネクテッドカーの試験走行など、2 年間の協力関係の集大成である」と述べている²¹⁵。</p>
<p>2021/11/9</p> <p>北米ダイムラートラック／ Platform Science</p>	<p>北米ダイムラートラックは、コネクテッドカー・プラットフォームプロバイダーの Platform Science（カリフォルニア州サンディエゴ）と共同で、車両からテレマティクス、ソフトウェアソリューション、リアルタイム車両データ、第三者アプリケーションに直接アクセスできる、初のオープン OEM プラットフォーム「バーチャルビークル」を開始すると発表した。さらに、このプラットフォームは、これらのアプリケーション、接続性、およびドライバーがそれらを使用するために必要なモバイルデバイスを管理するためのツールを提供するという。</p>
フリート管理	
<p>2021/9/9</p> <p>LeasePlan USA／ Otonomo</p>	<p>車両管理およびドライバーモビリティサービスの LeasePlan USA と、車両データプラットフォームおよびマーケットプレイスプロバイダーの Otonomo は、フリート車両のパフォーマンスと行動に関する高度な分析を提供する戦略的パートナーシップを締結した。LeasePlan の OneConnect テレマティクス・プラットフォームは、Otonomo の高品質かつアプリケーション対応型の OEM データを 2021 年 9 月から活用している。これにより LeasePlan の顧客は、より幅広い車両について、ドライバーの行動、燃料費、メンテナンス、経費を直ちに管理・最適化することができるようになる²¹⁶。</p>
<p>2021/10/5</p> <p>フォード・プロ／ MiX Telematics</p>	<p>南アフリカに拠点を置くコネクテッドフリートおよびモバイル資産管理ソリューションのプロバイダーである MiX Telematics は、商用車サービス事業であるフォード・プロの Ford Pro Intelligence と連携して、フォード車を運用する MiX 北米の顧客に豊富なデータセットを提供し、安全、効率、コンプライアンスに関してより情報に基づく決定を可能にするという²¹⁷。</p>
交通管理	
<p>2021/10/28</p> <p>AECOM／ Cavnue</p>	<p>AECOM は、ミシガン州南東部にコネクテッド自動運転車（CAV）道路を実現するために、Cavnue との提携を発表した。AECOM は、北米においてミシガン州以外でも同様のプロジェクトを展開する予定²¹⁸。</p>

²¹⁵ <https://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2021/aug/0819-att.html>

²¹⁶ <https://www.leaseplan.com/en-us/blog/news/press-release-otonomo/>

²¹⁷ <https://www.prnewswire.com/news-releases/mix-telematics-announces-collaboration-with-ford-pro-intelligence-301393268.html>

²¹⁸ <https://www.traffictechologytoday.com/news/autonomous-vehicles/aecom-and-cavnue-partner-to-deliver-cav-corridor-in-michigan.html>

<p>2021/12/13</p> <p>Iteris/ Continental</p>	<p>Iteris（カリフォルニア州サンタアナ）とドイツのモビリティサプライヤーContinentalは、ハイブリッド交通検出システム「Vantage Fusion」を発表した。ビデオとレーダーのハイブリッド検出システムである Vantage Fusion は、車両、歩行者、自転車の高度な検出、追跡、分類精度を実現し、交差点をリアルタイムで直観的に表示できる可視化機能を備えているという²¹⁹。</p>
<p>駐車</p>	
<p>2021/11/16</p> <p>フォード/ ロバート・ボッシュ / MEDC/ ACM/ Bedrock</p>	<p>フォード、ロバート・ボッシュ、デトロイトの不動産会社 Bedrock、ミシガン州経済開発公社、アメリカン・センター・フォー・モビリティは、モビリティとスマートインフラのパイオニアやスタートアップが駐車場関連の移動、物流、EV 充電の技術を試験できる新しい共同パートナーシップ「Detroit Smart Parking Lab (DSPL)」を設立した²²⁰。</p>

出所：各社ホームページおよび各種報道を基に作成

<コネクテッドカー関連技術をめぐる投資の動向>

大手コンサルティング会社マッキンゼーが 2021 年 4 月に公表したレポートによると、CASE 関連技術開発に注力するモビリティ企業への投資額は、2010 年から 2020 年 10 月にかけて約 3,300 億ドルであり、このうち 605 億ドルがコネクテッドカー部門への投資であったと報告している²²¹。さらに、機能別に企業投資を分類すると、コネクテッドカー部門において投資額の多い順に、エンターテインメントが 220 億ドル、サイバーセキュリティが 163 億ドル、コネクティビティが 148 億ドル、フリート管理が 43 億ドル、交通管理が 18 億ドル、駐車が 13 億ドルであった。

<投資を集めるコネクティビティの基盤技術>

上記レポートでは、部門ごとの投資額の内訳のほかに、基盤技術別の特許および投資動向を調査・分析しており、投資や特許出願の活動が活発な 17 の基盤技術を特定している。それによると、過去 10 年間に行われた CASE 関連技術開発への投資額約 3,300 億ドルのうち、約 3 分の 1 に相当する 1,000 億ドル超が、17 の技術分野への投資であった。17 の技術分野のうち 6 つがコネクテッドカー関連であり、投資額は多い順に、V2I/V2X が 179 億ドル、サイバーセキュリティ

²¹⁹ <https://www.greencarcongress.com/2021/12/20211213-iteris.html>

²²⁰ <https://www.wardsauto.com/industry-news/ford-bosch-launch-parking-tech-partnership>

²²¹ <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mobilitys-future-an-investment-reality-check>

イー／コード化が 148 億ドル、音声認識が 109 億ドル、拡張現実が 102 億ドル、ジェスチャー制御が 40 億ドル、ブロックチェーンが 1 億ドルであった（2020 年 11 月時点）²²²。

222

<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/automotive%20and%20assembly/our%20insights/mobilitys%20future%20an%20investment%20reality%20check/mobilitys-future-an-investment-reality-check.pdf?shouldIndex=false>

2.3 データ管理に関連する法規

カナダや EU 諸国とは異なり、2021 年 12 月時点で、米国には自動車のネットワーク接続によって収集される個人情報の取扱いや保護を規定する包括的な連邦法および規制はなく、各州政府によって法令が規定されているのみである²²³²²⁴。NCSL によると、自動運転車やコネクテッドカーに関する法案を検討する州は徐々に増えており、2012 年以降、少なくとも 41 の州とコロンビア特別区で自動運転車の関連法案が検討されてきた²²⁵。各州で提出された自動運転車に関する法案の情報は、NCSL が提供している自動運転車の州法案追跡データベース²²⁶において、リアルタイムの情報を検索することができる。

コネクテッドカーによって収集され得る情報として、以下のようなものが挙げられる。

- 個人に基づく情報：個人や知り合いの連絡先、テキストメッセージ、音楽の好みなど
- 位置情報：GPS 情報（どこで買い物をして、どのレストランに行くのが好きかなど）
- 運転行動：シートベルトの着用有無、運転速度の傾向、その他テレマティクスデータなど
- 生体認証情報：顔スキャン、指紋、声紋、虹彩スキャンなど

<規制法の分類と各州の進捗状況>

法律事務所の Wilmer Cutler Pickering Hale and Dorr が 2020 年 4 月に作成した資料によると、コネクテッドカーや自動運転車の個人情報およびサイバーセキュリティーを規制する法律は、規制の仕方や対象によって以下の (1) ~ (3) に分類することができる。各州の進捗状況 (2020 年 4 月時点) を以下に記載する²²⁷。

(1) コネクテッドカーや自動運転車を直接規制の対象とする法律

36 の州とコロンビア特別区が、自動運転車の開発や実装に関する規制・基準に関する法案を可決、または行政命令を発出しているが、これらの法律は自動運転車の試験や開発および歩行者の安全に関する問題を対象としており、大部分はプライバシーやサイバーセキュリティーを対象とするものではない。カリフォルニア州とメイン州では、自動運転車のプライバシー問題を規制する条例が成立しており、その他いくつかの州では、2019 年と 2020 年に同様の法案が検討された。

²²³ <https://www.newsweek.com/privacy-concerns-arent-keeping-automakers-selling-massive-amounts-your-data-1634478>

²²⁴ <https://www.iadclaw.org/defensecounseljournal/connected-cars-and-automated-driving-privacy-challenges-on-wheels/>

²²⁵ <https://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-self-driving-vehicles-enacted-legislation.aspx>

²²⁶ <https://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-legislative-database.aspx>

²²⁷ https://www.wilmerhale.com/-/media/files/shared_content/events/documents/20200423-wilmerhale-webinar-state-privacy-laws-concerning-connected-cars.pdf

カリフォルニア州

- カリフォルニア州は、OEM に対して、自動運転車が収集した個人情報のうち、車両の安全な運用に必要な情報について、乗員に書面で開示するか、情報を匿名化することを求めている（13 CCR § 228.24）。
- OEM が匿名化されていない情報を収集する場合、車両の安全な運用に必要な情報については、車両の所有者または賃借人から書面による承認を得なければならない。

メイン州

- OEM が匿名化されていない情報を収集する場合、車両の安全な運用に必要な情報については、車両の所有者または賃借人から書面による承認を得なければならない。メイン州は 2020 年 1 月、同州の自動運転車パイロットプロジェクトに参加する開発者に対して、顧客フィードバックや衝突データなどのデータ収集方法に関する情報（収集するデータ、使用方法、プライバシー保護方法、セキュリティ維持方法など）を自動運転車に関する委員会に提供するように求める規則を制定した（2020 年 4 月施行）。

2019～2020 年にかけて法案が提出された州

- ミシガン州
ミシガン州 HB 4389 : OEM が、パイロットプログラムの参加者に対して、自動運転車に関連したデータの取り扱い方法を開示する個人情報保護方針を提供するよう義務付ける。
- マサチューセッツ州
マサチューセッツ州 HB 3013 : 州運輸省が自動運転車に関する規制を実施する際、同省がプライバシーに配慮することを義務付ける。
- ミネソタ州
ミネソタ HR 242 : 自動運転車パイロットプログラムの一部として収集された全てのデータが、ミネソタ州政府データ利用法（Minnesota Government Data Practices Act）の対象となることを求める。

- (2) コネクテッドカーや自動運転車の個人情報とサイバーセキュリティにも適用できる包括的な個人情報保護法

カリフォルニア州消費者プライバシー法（CCPA）

カリフォルニア州は 2018 年、企業によって収集または送信されるカリフォルニア州住民の個人情報（生体情報を含む）を保護する CCPA を制定し、2020 年 1 月に発効した²²⁸。

CCPA では、カリフォルニア州民は、個人情報の収集と公開を制御するため、以下の権利を有することが規定されている²²⁹。

²²⁸ https://leginfo.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201720180SB1121

²²⁹ https://www.insidetechlaw.com/autonomous-vehicles/03_united-states

1. 収集されている個人情報を知る権利
2. 個人情報の販売または開示の有無、販売または開示された個人情報の種類（事業者が収集した「特定の個人情報」を含む）、販売または開示された相手を知る権利
3. 個人情報の販売を防ぐ権利（「オプトアウト権」）
4. 事業者に対して収集した個人情報の削除を要求する権利

CCPA に追従する類似法案

- 少なくとも 11 の州で、2020 年の立法会期中に CCPA と同様の包括的なデータプライバシー法案が提出され、その他の州は 2019 年に導入された包括的なプライバシー法について引き続き議論している。ワシントン州の法案は、2 年連続で州議会上院を通過したが、いずれも法制化されなかった。
- 他の多くの州では、より限定的なプライバシー保護法案が提出され、施行している。
 - ネバダ州では、2019 年にインターネットに関する新しいプライバシー保護法 SB220 を制定した。消費者は、ウェブサイトの運営者やオンラインサービスのプロバイダーが特定の個人情報（氏名、住所、メールアドレス、電話番号、社会保障番号、個人識別情報、その他識別子と組み合せて個人を特定できる情報）を販売しないように要求できるようになった。同法は CCPA よりも対象範囲が狭いものの、発効は 2019 年 10 月 1 日と早かった。

- (3) 州がプライバシーやサイバーセキュリティの特定部分を規制し、コネクテッドカーや自動運転車に影響を与える法律

情報漏洩通知に関する法律

50 州全てにデータ漏洩通知法があるが、これらの法律における「個人情報」の定義はさまざまである。

- 州の情報漏洩通知法は、自動運転車が収集し得るより多くの情報を網羅するように更新されている。例えば、ニューヨーク州の SHIELD 法（2019 年成立）では、対象となる「個人情報」の定義が拡大され、生体認証情報が含まれるようになった。カリフォルニア州も 2021 年に、生体認証情報を「個人情報」の定義に追加している。また、SHIELD 法は、ニューヨーク州の居住者に関するデータ化された個人情報を所有またはライセンス供与する事業者に対して、個人情報のセキュリティ、機密性、完全性を保護するための合理的なセーフガードを開発、実施および維持するよう求めている。

生体認証情報に関する州法

- テキサス州、ワシントン州およびイリノイ州では、生体情報の収集、保存および共有に関する特別な要件がある。

- イリノイ州の生体情報プライバシー法（BIPA）には、私的権利や弁護士費用、法定損害賠償が規定されている。イリノイ州最高裁判所が 2020 年 1 月に、BIPA に基づく賠償請求に実害は必要ないとの判決を下して以来、BIPA に基づく訴訟が急増している。
- 少なくとも 7 つの州で過去 2 年間に、テキサス州、イリノイ州およびワシントン州の法律と同様の商業的生体情報に関するプライバシー法案が提出されたが、いずれも法律としては成立していない。
- アイダホ州やルイジアナ州など、顔認識技術を具体的に規制しようとしている州もある。

カリフォルニア州とオレゴン州の IoT セキュリティ法案

<コネクテッドカーや自動運転車に関する規制に係る連邦政府の取組経緯と現状>

- NHTSA が自動運転車の関係当局としての権限を有する。
 - カリフォルニア州とオレゴン州の IoT セキュリティ法では、接続機器に「合理的なセキュリティ機能」を搭載することが義務付けられている（いずれも 2020 年 1 月 1 日発効）。
 - NHTSA は、自動運転車技術に関する米国のリーダーシップを確保する目的で、自動運転車技術の開発と米国のリーダーシップを支援する行政の取り組み、米国政府の権限、研究および投資についてをまとめたガイダンス（Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies: Automated Vehicles 4.0）²³⁰を 2020 年 1 月に公開した。
- 連邦取引委員会（FTC）は、FTC 法第 5 条に基づく権限に基づき、プライバシーとサイバーセキュリティの違反を取り締まる²³¹。
 - FTC は 2017 年にコネクテッドカーのワークショップを開催した際、同委員会の役割について、コネクテッドカー市場を監視し、民事上の権限を用いて消費者を不公正または欺瞞的行為から保護し、消費者や企業を教育する機会を模索し、関係者と協力して消費者情報のプライバシーとセキュリティを保護しながらイノベーションを促進する、としている²³²。
 - また、FTC は 2021 年 4 月に、AI 活用のための新たなガイダンスを発表した²³³。このガイダンスは、データの正確性を確保し、違法な差別を回避するためのデータセットの検証などを企業に推奨する 2020 年発表のガイダンス²³⁴と、データセットの偏りを避けるための検証の重要性を示した 2016 年発表のビッグデータ報告書²³⁵に基づき作成された。

²³⁰ <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2020-02/EnsuringAmericanLeadershipAVTech4.pdf>

²³¹ <https://www.ftc.gov/news-events/media-resources/protecting-consumer-privacy/privacy-security-enforcement>

²³² https://www.ftc.gov/system/files/documents/reports/connected-cars-workshop-federal-trade-commission-staff-perspective/staff_perspective_connected_cars_0.pdf

²³³ <https://www.ftc.gov/news-events/blogs/business-blog/2021/04/aiming-truth-fairness-equity-your-companys-use-ai>

²³⁴ <https://www.ftc.gov/news-events/blogs/business-blog/2020/04/using-artificial-intelligence-algorithms>

²³⁵ <https://www.ftc.gov/reports/big-data-tool-inclusion-or-exclusion-understanding-issues-ftc-report>

- 議会の動き
 - 下院は 2017 年にプライバシーとサイバーセキュリティーの条項を含む SELF DRIVE 法案を可決したが、上院を通過しなかった。

<その他業界による自主規制>

- 自動車技術およびサービスに関する消費者プライバシー保護原則²³⁶²³⁷
 - 2021 年 12 月時点で自動車イノベーション協会（AAI）に加盟している自動車メーカー 20 社は、プライバシーの保護を強化するため、車載技術を通じて収集される個人情報保護のために制定された「自動車技術およびサービスに関する消費者プライバシー保護原則」に含まれるコミットメントを遵守すると誓約している。2014 年に初めて策定された同原則は 2018 年に改訂され、今後も定期的に見直されることになっている。

2.4 ネットワーク関連リスクを軽減するための取り組み

2.4.1 各種ガイドラインの策定

- NHTSA による自動車向けサイバーセキュリティー・ベストプラクティス

NHTSA は 2016 年 10 月、自動車のサイバーセキュリティーに関するガイドライン「自動車向けサイバーセキュリティー・ベストプラクティス（Cybersecurity Best Practices for Modern Vehicles）²³⁸」を公表した。これは、自動車メーカーに対して、自動車のサイバーセキュリティーのために階層的なアプローチを確立するよう求める指針であり、法的拘束力はない。2021 年 1 月には、改訂版となる 2020 年版のドラフトを公開し、パブリックコメントを求めた²³⁹。2020 年版のドラフトでは、これまでのパブリックコメントに加え、セキュリティー研究やサイバーセキュリティーの実践における進化、業界の動向を踏まえた改訂が行われている²⁴⁰。

また、同ドラフトでは、SAE、ISO、NIST、Auto-ISAC など、サイバーセキュリティーにかかわる団体や自動車業界団体が策定する規格が重視されており（2.4.2 に詳述する）、①（車両に限定されない）サイバーセキュリティーのベストプラクティス、②教育、③アフターマーケット/ユーザー所有のデバイス、④サービス性、⑤車両サイバーセキュリティーの技術的ベストプラクティス、の 5 分野を中心に構成されている。NHTSA は⑤の中で、開発者による製品へのデバッグアクセス、暗号クレデンシャル、車両診断機能、診断ツール、車両内部通信、イベントログ、自動車への無線経路、ソフトウェアのアップデートおよび修正、無線通信を利用したソフトウェアのアップデートといった基本保護技術に関する原則を示した。各項目における内容は以下の通りである（図表 34 参照）。

²³⁶ <https://www.autosinnovate.org/privacy>

²³⁷ [https://www.autosinnovate.org/innovation/Automotive%20Privacy/Consumer Privacy Principlesfor Vehicle Technologies Services-03-21-19.pdf](https://www.autosinnovate.org/innovation/Automotive%20Privacy/Consumer%20Privacy%20Principlesfor%20VehicleTechnologies%20Services-03-21-19.pdf)

²³⁸ <https://www.nhtsa.gov/document/cybersecurity-best-practices-modern-vehicles>

²³⁹ https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/documents/vehicle_cybersecurity_best_practices_01072021.pdf, P12-17

²⁴⁰ <https://www.omm.com/resources/alerts-and-publications/alerts/reminder-nhtsa-updated-cybersecurity-best-practices-comments-due-by-march-15-2021/>

図表 34 : 車両サイバーセキュリティの技術的ベストプラクティス

<p>(1) 開発者による製品へのデバッグアクセス</p> <p>ソフトウェアの開発者は、オープンデバッグポート、シリアルコンソールまたはオープン IP ポート経由で電子制御ユニット (ECU) にアクセスできるが、以下に留意する必要がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 開発者レベルのアクセスは、予見可能な運用上の理由がない場合、制限または除外されるべきである。 2. 開発者レベルのアクセスを継続する必要がある場合、特権ユーザーアクセスを制御して開発者レベルのデバッグインターフェイスを適切に保護しなければならない。
<p>(2) 暗号クレデンシャル</p> <p>パスワードや公開鍵基盤 (PKI) 証明、暗号化キーなどの暗号クレデンシャルは、車両のコンピューティングリソースおよびバックエンドサーバーへのアクセス仲介に有用である。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 車両コンピューティングプラットフォームに、より高いレベルのアクセスを提供する暗号クレデンシャルは、開示されないよう保護されなければならない。 2. 1 台の車両インターフェイスから取得されたクレデンシャルは、複数の車両に対するアクセスを提供してはならない。
<p>(3) 車両診断機能</p> <p>車両診断機能は、車両の修理およびサービスのためのユーティリティを提供するが、適切に設計および保護されていない場合、車両システムを危険にさらす可能性がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 診断機能は可能な限り、関連機能の目的を達成する特定の車両操作モードに限定する必要がある。 2. 診断操作は、意図された目的以外に誤用または悪用された場合、潜在的に危険な影響を排除または最小化するように設計する必要がある。 例えば、車両の個別ブレーキを無効にする診断操作は、低速時のみ作動するように制限することができる。さらに、この診断操作は、全てのブレーキを同時に無効化することを禁止し、診断制御動作の継続時間を制限することができる。 3. 診断アクセスのためのグローバル共通鍵やアドホック暗号技術の使用は、最少限にとどめる必要がある。公開鍵暗号方式は、複数の車両で有効な共通鍵よりも安全である。
<p>(4) 診断ツール</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 車両および診断ツールメーカーは、適切な認証とアクセス制御により、診断操作や再プログラムが可能な車両システムに対するツールのアクセスを制御しなければならない。
<p>(5) 車両内部通信</p> <p>車両内部通信におけるクリティカル・セーフティー・メッセージとは、安全性に重要な車両制御システムの動作に、直接²⁴¹ または間接的²⁴²に影響を与え得るメッセージのことである。</p>

²⁴¹ 例として、トラクション・コントロール・アクチュエータに送信される制御コマンド・メッセージが偽装された場合に、ドライバーや正規の車両安全システムの意図に反して車両のブレーキがかかる場合がある。

²⁴² 例として、車速推定メッセージが偽装された場合、そのメッセージに依存する分散型車両制御装置が、車両の移動状態 (例: 停車中と移動中) を誤認してしまう場合がある。

1. 重要な安全信号は、可能な限り外部の車両インターフェイスからアクセスできない方法で伝送する必要がある。

例えば、ECUの重要なセンサーに専用の伝送メカニズムを提供すれば、CANのような一般的なデータバス上の信号の偽装に関連するリスクを排除することができる。また、分割された通信バスは、安全でないアフターマーケット・デバイスを車両ネットワークに接続することによる潜在的な影響を軽減することができる。

2. 重大な安全メッセージ、特にセグメント化されていない通信バスを経由するメッセージは、偽装の可能性を制限するために、メッセージ認証を採用する必要がある。

(6) イベントログ

車載ネットワークと接続されたサービスは、車両のコンピューティングリソースへの不正アクセスの試みを検出するためのデータを生成することができる。

1. サイバーセキュリティ攻撃または侵入の性質を明らかにし、イベントの再構築をサポートするのに十分なイベントログを作成、維持する必要がある。
2. 車両全体で集計可能なログについて、サイバー攻撃の潜在的な傾向を評価するため、定期的にレビューする必要がある。

(7) 自動車への無線経路

車両システムへの無線インターフェイスは、リモートで悪用可能な新たな攻撃ベクトルを生み出す。車両のコンピューティングリソースへの無許可の無線アクセスは、適切な制御が行われなければ、複数の車両に急拡大する可能性がある。

<無線インターフェイス>

1. 製造業者は、車両の無線インターフェイスの外部ネットワークとシステムを全て潜在的な脅威とみなし、リスクを軽減するために適切な技術を使用しなければならない。

<車両アーキテクチャー設計におけるセグメント化および分離技術>

1. 無線接続されたECUと低レベルの車両制御システム、特にブレーキ、ステアリング、推進力、パワーマネジメントなどの安全上重要な機能を制御するシステム間の接続を制限するために、ネットワークのセグメント化と分離技術を使用する必要がある。
2. 強力な協会制御を備えたゲートウェイは、ネットワーク間のインターフェイスを保護するために使用する必要がある。

<ネットワークポート、プロトコル、サービス>

ネットワークポートに関連する潜在的な脆弱性に対処するための推奨事項は、以下の通り。

1. 車両から不必要なインターネットプロトコルサービスを排除すること。
2. 車両ECU上のネットワークサービスの使用を必要不可欠な機能のみに制限すること。
3. ポート経由のサービスを適切に保護し、許可された関係者に使用を制限すること。

<バックエンドサーバーへの通信>

1. 製造業者は、外部サーバーと車両間の運用通信において、適切な暗号化方法および認証方法を使用する必要がある。

<ルーティング規則変更の性能>

製造業者は、単一の車両、一部の車両、またはネットワークに接続された全ての車両に対して、ルーティング規則の変更を迅速に適用できるプロセスを計画し作成する必要がある。

(8) ソフトウェアのアップデート／修正

自動車用ソフトウェアのアーキテクチャーは分散しており複雑だが、自動車業界では、現場での問題やシステムのアップグレードに対応するため、自動車用 ECU のファームウェアのアップデート機能を搭載してきたが、これらのメカニズムが不正に使用された場合のリスクを考慮し、対処する必要がある。

1. 自動車メーカーは、ファームウェアの修正を適切に認証された関係者に限定するために、最新技術を採用すべきである。

攻撃者が持つファームウェアの修正能力を制限することで、マルウェアが自動車にインストールされるのをより困難にする。デジタル署名の技術を使用することで、自動車の ECU が、変更されたあるいは未許可のファームウェア・イメージの起動を防ぐことができる。さらに、署名技術を採用したファームウェア・アップデート・システムは、正規のソースから発信されていない有害なソフトウェアアップデートのインストールを防ぐことができる。

(9) 無線通信（Over-the-Air : OTA）を利用したソフトウェアのアップデート

車両に OTA ソフトウェアアップデート機能を設計し提供する製造事業者は、以下の事項を実施する必要がある。

1. OTA のアップデート、アップデートサーバー、送信メカニズムおよびアップデートプロセス全般の完全性を維持すること。

2. セキュリティー対策を設計する際、危険なサーバー、内部脅威、中間者攻撃およびプロトコルの脆弱性に関連したリスクを考慮すること。

出所：NHTSA を基に作成²⁴³

また、2020 年版のドラフトの中で議論されている各分野の概要は以下の通りである²⁴⁴。

1. データ、文書化、情報共有

企業は潜在的な攻撃に関する情報を収集し、収集した情報を分析し、Auto-ISAC などを通じて企業など自動車業界と共有する必要がある。また、企業はサイバーセキュリティーに関連する設計上の選択、分析、証拠および変更を全て文書化する必要がある。

2. セキュリティー脆弱性報告プログラム

米国国土安全保障省（DHS）は、連邦政府の省庁に対し、サイバーセキュリティーの取り組みの一環として、脆弱性の開示方針の策定を求める指令を発出した。NHTSA の最新版のドラフトでは、外部のサイバーセキュリティー研究者による脆弱性の特定を促進するため、自動車業界関係者が脆弱性に係る独自の報告方針とメカニズムを作成するよう求めている。

²⁴³ <https://www.nhtsa.gov/document/cybersecurity-best-practices-modern-vehicles>

²⁴⁴ <https://www.omm.com/resources/alerts-and-publications/alerts/reminder-nhtsa-updated-cybersecurity-best-practices-comments-due-by-march-15-2021/>

3. 侵入テストの強化とサプライチェーンリスクの文書化

NHTSA の 2020 年版のドラフトは、2016 年のガイダンスに書かれている一般的な推奨事項を基に、広範な製品を対象に、サイバーセキュリティのテストの実施を検討することを目的としている。同ドラフトでは、サイバーセキュリティに関する期待をサプライヤーに伝えること、全ての商用オフザシェルフおよびオープンソースのソフトウェアコンポーネントを評価すること、サイバーセキュリティテスト中に特定された脆弱性について、分析し維持することが求められている。

4. センサーの脆弱性リスク

2020 年版のドラフトでは、自動運転車の新たな注目分野であるセンサーへの脅威に焦点を当てたベストプラクティスを提案している。NHTSA は、これらの懸念がソフトウェアの操作による従来のデジタルネットワーク上の問題とは異なることを認め、GPS スプーフィング、道路標識の修正、LiDER および RADER のジャミングとスプーフィング、カメラの目隠し、機械学習の誤検出のエキサイテーション励起を強調している。

5. サードパーティデバイス

NHTSA は、車両のシステムに接続する可能性のあるサードパーティによる機器にも言及している。2020 年版のドラフトでは、携帯電話や自動車保険用の車載ドングルなどのデバイスを認証し、そのアクセスを適切に制限する必要があると述べられている。

2.4.2 OTA

ADAS や ADS の開発によって、自動車は高度にデジタル化しており、自動車を制御する車載ソフトウェアの機能は複雑化している。自動車に搭載されている ECU の数は増加し続けており、ほぼ全ての機能がソフトウェアによって制御または監視されている。例えば、ECU はパワートレインに組み込まれ、ADAS の機能を実行したり、オンデマンド 4WD やトラクションコントロールの旋回角や路面状況の監視といった役割を担っている。車載ソフトウェアの増加に伴って、2010 年代にはソフトウェアの欠陥やエラー関連のリコールが急増し、2016 年のリコール全体に占めるはソフトウェア関連の割合は 46% に達した²⁴⁵。特に、安全性に関わるソフトウェアについては、迅速な修正が必要となる。

OTA による車載ソフトウェアアップデートは、①セキュリティアップデート、②新機能の投入、③バグ修正といった用途に利用され、①では、新たに発見されたセキュリティ問題に対処するためのソフトウェアアップデートを行うことで、ハッキングのリスクを減らすと同時に、OEM のコストを削減することができる²⁴⁶。OTA アップデートによって、ソフトウェア関連のリコールが不要になり、OEM はアップデートやパッチをインターネット経由で送信し、それらを自動車側がダウンロードしてインストールするだけで問題を解決することができる。

²⁴⁵ <https://www.abiresearch.com/press/abi-research-anticipates-accelerated-adoption-auto/>

²⁴⁶ <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/rewiring-car-electronics-and-software-architecture-for-the-roaring-2020s>

一方、自動車がワイヤレスにインターネット接続するようになると、ハッキングのリスクも高まることになる。ハッカーによって、ソフトウェアのアップデートキットがマルウェアで破壊され、車両システムに侵入して個人情報や盗まれたり、物理的制御を乗っ取られたりする可能性がある。これらを防ぐために、各規制当局が定めるサイバーセキュリティのガイドラインに準拠することが必要である(2.4.2に「ソフトウェアアップデートおよびソフトウェアアップデート管理システムに関する国連規則 No.156」について記載する)。

<OTA 関連市場の動向>

最初に OTA アップデートを成功させた OEM は、2012 年発売のモデル S に搭載したテスラで、GM やフォードといった他のメーカーもすぐに追随した。OTA アップデートを可能にすれば、早期に市場に投入して優位に立ち、販売後は品質保証と改良に取り組めるようになるため、OEM にとって特に重要である。マーケット・リサーチ・フューチャー (MRFR) の調査レポート「自動車の OTA アップデート市場調査レポート、技術、用途、車両タイプ、推進力および地域 (2030 年までの予測) ²⁴⁷」によると、世界の OTA 市場規模は 28.9 億ドル (2021 年) であり、予測期間 (2022~2030 年) の CAGR は 18.72% で、2030 年までに 144 億 7,000 万ドル規模になると予測されている。

<OTA に必要な技術と同分野の主要な企業>

自動車の機能の多くは現在、ソフトウェアとそれに付随するハードウェアによって実装されている。このような SDV は、API を介して通信する多くのプラットフォームの階層構造で構成されており、このサービス重視のアーキテクチャーは、ソフトウェアシステムの枠組みとして好まれるようになってきている²⁴⁸。

さまざまなシステムアーキテクチャーの変更により、OTA ソフトウェアのアップデートが必要になるが、ドメイン ECU への移行によって、ソフトウェアのプラットフォームがより複雑で大きくなっており、OTA の機能向上が必要となる。ADAS、特に将来の自動運転車ドメイン ECU には、複雑なソフトウェアのプラットフォーム、数十個のセンサー、強力なハードウェアが含まれる。

今後 5 年ほどの間に、ネットワークの枠組みとしては、イーサネットを基礎とするアーキテクチャーが主流になるとみられ、イーサネットによって OTA アップデートの高速化やより安全な運用が可能になる。

以下に OTA の主要企業 5 社を挙げ、各社の概要、戦略、技術開発の進捗状況などを紹介する。

● Aurora Labs (イスラエル・テルアビブ、2016 年設立) ²⁴⁹

Aurora Labs は、最も革新的な OTA ソフトウェアのスタートアップで、独自の特許技術を提供している。同社は、SDV のためのライン・オブ・コード・ビヘイビア技術を提供して、従来の

²⁴⁷ <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/11/11/2332367/0/en/Automotive-Over-The-Air-OTA-Updates-Market-worth-USD-14-47-billion-by-2030-registering-a-CAGR-of-18-72-Report-by-Market-Research-Future-MRFR.html>

²⁴⁸ <https://www.eetimes.com/ota-software-updates-changes-ahead/#>

²⁴⁹ <https://www.auroralabs.com/>

バイナリーコードではなく、ソースコード単位でソフトウェアの挙動の自動解析を行っている。同技術は AI ベースであり、コンパイル段階でソフトウェアを解析し、潜在的なエラーを特定しながらソフトウェアプラットフォーム間の関係性をコードで分析する。

同社の戦略は他の OTA サプライヤーとは異なり、同技術は OTA 以外の多くの用途にも活用でき、SDV を含めて、バグが少なくより信頼性の高いコードを約束するものである。同社は 2021 年 8 月時点で 3,400 万ドルのベンチャー資金を獲得している。同社に関しては、買収される可能性が高いことが指摘されている²⁵⁰。

- **Excelfore** (カリフォルニア州フリーモント、2008 年設立) ²⁵¹

Excelfore は 2015 年 6 月、OTA のソフトウェアプラットフォーム、eSync プラットフォームの提供を開発したと発表した²⁵²。eSync プラットフォームは、診断や車両分析など、他のデータサービスも管理することができる。同社は 2017 年 6 月に、他の企業とともに eSync アライアンス²⁵³ (Alps Alpine、Aptiv、DSA、Excelfore、Faurecia、Hella、Mobica、Molex、ZF の 11 社が参加) を結成し、メンバーが使用するプラットフォームを標準化した。この標準化の取り組みは、黎明期の OTA 市場において重要な役割を果たしている。

eSync プロジェクトの 1 つは、各種技術の標準化を推進するワールド・ワイド・ウェブ・コンソーシアム (W3C) および非営利の自動車業界アライアンスである GENIVI と共同で、車両とクラウド通信間のデータ経路を提供することである²⁵⁴。この取り組みは、データ通信や OTA への応用が期待されている。

同社の eSync は 2021 年 3 月時点で、OEM9 社と Tier1 サプライヤーを含む 100 万台以上の OTA プラットフォームとして利用されている。100 万台のうち 60%以上が欧州、30%近くが中国、残りが日本における事業によるものとなっている。また、同社は、2021 年半ばまでに 1,400 万台の OTA 車両と契約を結んでいる。

- **Harman International** (コネチカット州スタンフォード、1980 年設立) ²⁵⁵

米国音響機器大手の Harman International は 2015 年、シリコンバレーに本拠を置くソフトウェアサービス会社シンフォニーテレカおよび、イスラエルのモバイルソフトウェア管理会社レッドバンドソフトウェアの 2 社を買収した²⁵⁶。レッドバンドはスマートフォンの OTA 技術におけるリーダー的存在であり、シンフォニーテレカは OTA とクラウド機能のためのプラットフォームを提供する企業。ハーマンはこれら企業の強みを活かし、クライアントとクラウドベースのソフトウェアサービスによる広範な OTA サービスを実現した。

²⁵⁰ <https://www.eetimes.com/ota-software-updates-changes-ahead/#>

²⁵¹ <https://excelfore.com/>

²⁵² <https://excelfore.com/blog/excelfore-announces-availability-of-its-esync-platform-to-enable-software-over-the-air-updater-sota-solution-for-automotive-and-industrial-applications/>

²⁵³ <https://esyncalliance.org/>

²⁵⁴ <https://esyncalliance.org/esync-alliance-and-genivi-alliance-collaborate-on-data-standardization/>

²⁵⁵ <https://www.harman.com/>

²⁵⁶ <https://techcrunch.com/2015/01/22/harman-buys-symphony-teleca-for-up-to-780m-and-red-bend-for-170m/>

同社の Ignite プラットフォーム²⁵⁷は、OEM 向けにエコシステムやエンターテインメント・アプリを含む幅広いサービスを提供する、コネクテッドカーに向けたクラウドプラットフォームである。同社は、Android Automotive OS に準拠した車載用のアプリストアに注力している。

- KPIT (インド・プネー、1990 年設立)²⁵⁸

KPIT は、カーエレクトロニクス分野のエンターテインメントを中心とした部門で、20 年以上の実績を有する。同社の知名度はさほど高くないものの、7 年以上前から OTA 市場に参入しており、OTA クライアントとクラウドプラットフォームの全機能を有し豊富な導入実績を誇る。

同社の OTA プラットフォームは、エンターテインメントやテレマティクス²⁵⁹、ゲートウェイのセグメントから始まり、現在ではパワートレイン、ADAS、診断などをカバーしている。

同社のプラットフォームは 2021 年 8 月時点で、500 万台以上の OTA 車両で使用されており、さらに 1,100 万台以上の車両と契約している。OTA アップデートの OEM 顧客は 4 社、その他 OTA 関連の OEM 顧客は 5 社存在する。

- Sibros (カリフォルニア州サンノゼ、2018 年設立)²⁶⁰

Sibros は、OTA ソフトウェアのスタートアップで、2021 年 12 月時点で総額 1,550 万ドルのベンチャー資金を調達している²⁶¹。同社の Deep Connectivity Platform は、車両全体の OTA アップデートやデータ収集機能を実現する OTA クライアントやクラウドサービスを含んでいる。

また、同社のプラットフォームは、OTA を中核としたサービスのほか、遠隔診断やフリート管理、分析などの機能を有するアプリを提供している。このプラットフォームは、利用に応じた保険、駐車場および同様のコネクテッドカーアプリケーションにデータを提供する。同プラットフォームには、Sibros や顧客の SaaS アプリを管理するクラウドベースサービスも含まれており、2019 年 7 月から OTA 製品の出荷が開始されている。

同プラットフォームは少なくとも 2021 年 8 月時点で、OEM12 社、計 50 万台以上の OTA 車両で使用されている。

2.5 通信規格や情報処理技術などの標準化ならびに関係企業・組織の動向

2.5.1 自動車通信に使用される周波数帯域の動向

<DSRC 技術開発の歴史と C-V2X の登場>

V2V と V2I は、これら 2 つを組み合わせることで、対向車の検知能力の向上、ドライバーへの警告、ロードサイドの通信インフラの確立を実現し、事故件数を減らすことが期待されており、1990 年代から連邦、州、自動車業界において研究開発が進められてきた。また、これらの技術は、

²⁵⁷ <https://car.harman.com/solutions/cloud/harman-ignite-automotive-cloud-platform>

²⁵⁸ <https://www.kpit.com/>

²⁵⁹ テレマティクス (Telematics) は、通信 (Telecommunication) と情報科学 (Informatics) を組み合わせた造語で、自動車などの移動体に通信システムを組み合わせて情報サービスを提供する新しい技術である。主な活用データには、ドライバー情報、走行距離、走行速度や走行時間、位置情報、急加速・急ブレーキの回数、ハンドル操作の安定性などがある。

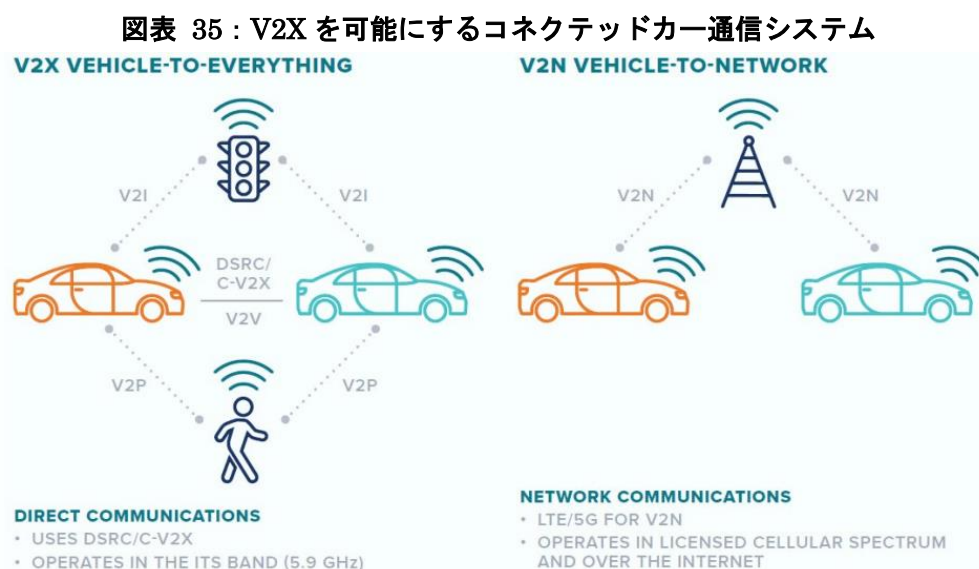
²⁶⁰ <https://www.sibros.com/>

²⁶¹ <https://craft.co/sibros>

交通の流れや安全性を向上させる効果が見込まれるため、ITS として、議会からも強い支持を受けてきた²⁶²263。

車両が無線通信を行う際には、無線周波数を使用するが、周波数の使用は FCC によって規制されている。FCC は 1999 年、自動車の安全を確保するため、5.9GHz 帯の 75MHz を全て DSRC を使用する車両への使用に割り当てた。そして、その後約 20 年間にわたって、自動車業界、DOT、その他の政府機関が協力して、DSRC 技術の開発、試験および普及に取り組んできた。一方で、2017 年に、競合する車両通信技術として、C-V2X が登場した。

C-V2X は、3GPP によって 2017 年に標準化された携帯電話ベースの通信技術であり、V2V、V2I、V2P、V2N に利用される。以下に示す図の通り、C-V2X の通信形態には、①PC5 を利用する無線端末間の直接通信と、②携帯電話回線を介した間接通信の Uu 通信がある(図表 35 参照)。一部の自動車メーカー、テクノロジー企業、通信事業者、標準化団体から構成される 5G Automotive Association (5GAA) は、C-V2X が DSRC よりも性能が良く、大容量で混雑制御が優れており、5G 通信によって実現する将来の技術をより容易に取り入れることができると主張している。5GAA は 2018 年、C-V2X の開発と普及のために、5.9GHz 帯の周波数を FCC に申請した。



出所：オレゴン州 DOT²⁶⁴
同局の許可を得て掲載

<C-V2X を対象とした直接通信のための 5.9GHz 帯の整備>

FCC が 1999 年に DOT に対して割り当てた 5.9GHz 帯は、20 年以上にわたって V2V のための DSRC 用途に確保されてきたが、この割り当ての目的は、自動運転車両の安全機能やイノベー

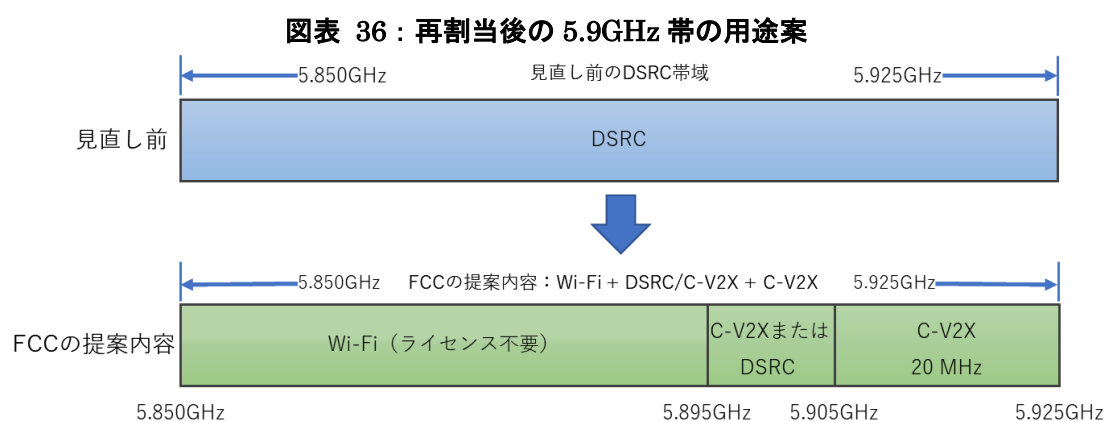
²⁶² P.L. 105-178, Transportation Equity Act for the 21st Century (TEA-21), Subtitle C—Intelligent Transportation Systems.

²⁶³ <https://sgp.fas.org/crs/misc/R45985.pdf>

²⁶⁴ https://www.oregon.gov/odot/Programs/SiteAssets/Pages/Connected-Vehicles/CVE%20Pre-pub%20conference_FINAL.pdf

ションの開発を支援することであった。しかし、FCC は、過去 20 年間の DSRC 技術の進展に関して期待する成果が得られず、DSRC 搭載車は普及しなかったと述べている。一方で、安全機能や自動運転の開発を含む接続機器の増加に伴い、Wi-Fi や 5G に割り当てられた既存の帯域が飽和状態に近づいたことから、今後の技術開発を進めるに当たり、特に 5.9GHz 帯や C バンド (3.7 ~ 4.2GHz 帯) などミッドバンドの周波数が不可欠であった。

そこで、FCC は 2020 年 11 月 18 日、C-V2X と無線機器用の新たな周波数の必要性から、5.9GHz 帯 (5.850~5.925GHz) をライセンスが不要な周波数帯 (5.850~5.895GHz) と、ITS 向けの専用周波数帯 (5.895G~5.925GHz) に分割する方針を発表し、2021 年 5 月 3 日に最終規則を公表した²⁶⁵。これにより、5.850~5.925GHz の 75MHz 帯に割り当てられていた DSRC 用の帯域のうち、5.850~5.895GHz の 45MHz 帯をライセンス不要の無線 LAN などが使えるようになった。ITS 用の帯域に関しては、10MHz を DSRC 専用に残すか、C-V2X 専用に移行するか、また移行する場合の移行期間や方法について検討課題となっている²⁶⁶ (図表 36 参照)。



出所：FCC を基に作成²⁶⁷

最終規則により、2021 年 7 月から 5.9GHz 帯の一部 (5,850~5,895MHz) はライセンス不要の周波数帯に移行したことで、拡大する Wi-Fi の需要と次世代通信に必要な周波数が提供されることになった。これに対し、ITS アメリカや米国トラック協会 (ATA)、商業者安全連盟 (CVSA) など、貨物・旅客輸送分野の業界からは反発の声が上がった²⁶⁸。ATA は、交通事故の削減、車両の安全性の改善、交通システム全体の混雑緩和に影響があると述べ、また世界的な半導体サプライヤーの NXP は、DSRC または C-V2X のいずれも新たな V2X の実用に対応するには 30MHz では不十分であると述べている²⁶⁹。また、オバマ政権とトランプ政権が、5.9GHz 帯全体を運輸専用を使用することを求めていたが²⁷⁰、バイデン政権がこれら競合する要求に対しどのようにバ

²⁶⁵ <https://www.federalregister.gov/documents/2021/05/03/2021-08802/use-of-the-5850-5925-ghz-band>

²⁶⁶ <https://www.federalregister.gov/documents/2021/10/25/2021-23148/use-of-the-5850-5925-ghz-band>

²⁶⁷ <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-20-164A1.pdf>,

²⁶⁸ <https://www.ttnews.com/articles/groups-seek-panels-action-fccs-59-ghz-spectrum-proposal>

²⁶⁹ <https://www.nxp.com/docs/en/white-paper/V2XFCCWP.pdf>

²⁷⁰ Diana Furchtgott-Roth, then-Deputy Assistant Secretary, Department of Transportation, Remarks at Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, DC, January 13, 2020, pp. 2-3, at <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/research-and-technology/362901/trb-panel-011320-dfr-remarks.pdf>.

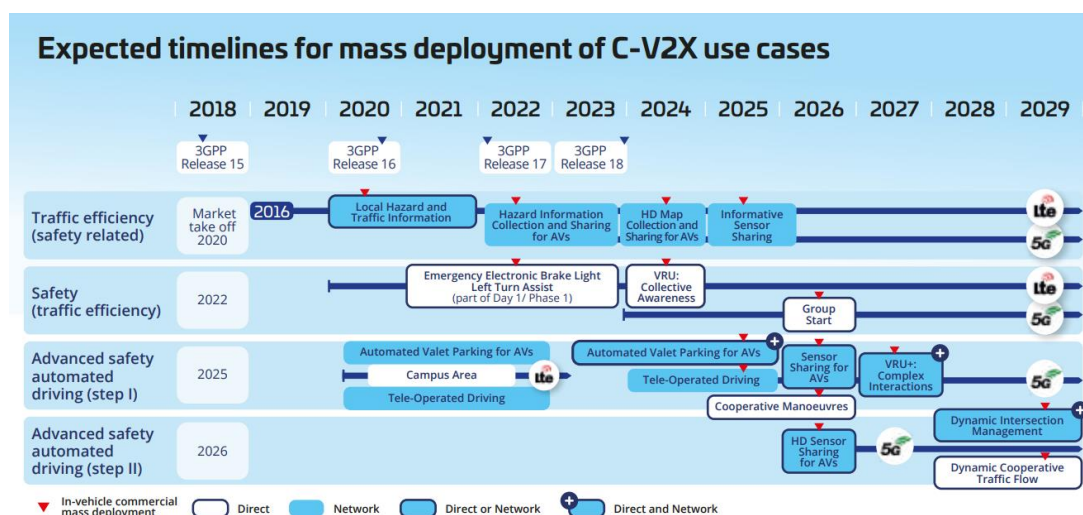
ランスを取るのか不透明である。下院運輸・インフラ委員会のピーター・デファージオ委員長は、FCC の決定に引き続き「強い反対」を表明し、道路の安全性を損なうとして再考を要請している²⁷¹。

<将来的な C-V2X 技術実装の見込み>

5G 通信を利用した C-V2X を推進する 5GAA は、2020 年 9 月に発行した年次報告書の中で、米国、欧州、中国など、世界の主要な自動運転車およびコネクテッドカーの開発国における実用に向けたタイムラインを公開している（図表 37 参照）。

以下の図に示す通り C-V2X の市場導入時期は、4 つのフェーズに分けられ、図中、下段の技術ほど複雑さや技術要件が増す。図中の最上段から、「交通の効率性（安全性関連）」に関しては、地域の災害情報と交通情報が 2020 年から、「安全性（交通の効率性）」に関しては、EEBL と左折支援が 2022 年から市場に導入されると予想している。また、「先進的で安全な自動運転」については、遠隔操作運転や自動バレーパーキングといった先進的な V2N ユースケースの初期バージョンが、2020 年 9 月時点で特定の環境下ですでに実装可能となっているものの、2025～2026 年には 5G 通信を使った N2X により、公道や駐車場などより複雑な環境でも動作可能になると予想されている。さらに、図中最下段に示されている、直接通信を介した隊列走行などをサポートするセンサーシェアリングに関しては、2026 年以降の自動運転車の量産および市場投入に合わせて、全ての自動運転車に 5G-V2X が搭載されると予測されている。さらに、携帯電話を介した車両と交通弱者（VRU）間の複雑な情報のやりとりは、直接通信（PC5）とネットワークベース（Uu）の C-V2X を通じて、2027 年までに開始されると予測されている。

図表 37 : C-V2X 技術実装のタイムライン見込み



出所：5GAA²⁷²

同団体の許可を得て掲載

²⁷¹ Committee on Transportation and Infrastructure, “Chair DeFazio Presses Biden Administration on FCC Decision to Share 5.9 GHz Spectrum Band for Unlicensed Use,” press release, March 19, 2021, at <https://transportation.house.gov/news/press-releases/chair-defazio-presses-biden-administration-on-fcc-decision-to-share-59-ghz-spectrum-band-for-unlicensed-use>

²⁷² <https://5gaa.org/news/the-new-c-v2x-roadmap-for-automotive-connectivity/>

2.5.2 V2Xのサイバーセキュリティおよび車両の安全性に関する国際的な基準策定動向と米国の動き

＜サイバーリスクに対応するための国際基準の策定＞

国連欧州経済委員会（UNECE）の下部組織である自動車基準調和世界フォーラム（WP29）では、自動運転とその関連技術について、国際基準が策定されてきた。サイバーセキュリティとソフトウェアアップデートに関する基準は2020年6月に採択され、以下2つの車両規則が国連規則として翌2021年1月22日に発効した²⁷³274²⁷⁵。これら規則には、自動車メーカーやサプライチェーンが取るべき対策、認証機関の検査で確認すべき事項、リスク評価を実施し最新の状態に保つ義務などを中心に各種要件が定められている。

(1) サイバーセキュリティとサイバーセキュリティ管理システム（CSMS）に関する国連規則 UN-R 155²⁷⁶

同規則は、以下のようなプロセスを自動車分野に導入する際の枠組みを規定している。

- リスク管理を検証する。
- リスク評価が常に最新の状態に保たれていることを確認する。
- サイバー攻撃を監視し、効果的に対応する。
- サイバー攻撃の成功例や未遂例についての分析をサポートする。
- 新たな脅威や脆弱性に照らし合わせて、サイバーセキュリティ対策の有効性を評価する。

これらは全て、各国の技術関連のテスト機関などまたは認証機関によって検査される。また、1958年協定に基づく型式承認の原則により、メーカーは自動車を市場に出す前に、以下の要件を満たしていることを証明する必要がある。

- CSMSが導入されており、走行中の車両に適用可能であること。
- リスク評価分析を提出し、問題点を明らかにしていること。
- リスク低減のための緩和策が明らかになっていること。
- 試験を通じて、緩和策が意図した通りに機能していること。
- サイバー攻撃を検知し、防止するための対策が講じられていること。
- データフォレンジックをサポートするための措置がとられていること。
- 車種に応じたモニタリングを実施すること。
- モニタリング活動の報告書を関連する認証機関に提出すること。

²⁷³ <https://unece.org/sustainable-development/press/un-regulations-cybersecurity-and-software-updates-pave-way-mass-roll>

²⁷⁴ <https://undocs.org/ECE/TRANS/WP.29/2020/79>

²⁷⁵ <https://unece.org/sustainable-development/press/three-landmark-un-vehicle-regulations-enter-force>

²⁷⁶ <https://unece.org/sustainable-development/press/un-regulations-cybersecurity-and-software-updates-pave-way-mass-roll>

(2) ソフトウェアアップデートおよびソフトウェアアップデート管理システムに関する国連規則 UN-R 156²⁷⁷

同規則は、以下のようなプロセスを自動車分野に導入する際の枠組みを規定している。

- 車種に関連するハードウェアとソフトウェアのバージョンを記録する。
- 型式認証に関連するソフトウェアを特定する。
- コンポーネント上のソフトウェアが適切なものであることを確認する。
- 相互依存性を確認する（特に、ソフトウェアアップデートに関して）。
- 車両のターゲットコンポーネントを特定し、アップデート後の互換性を検証する。
- ソフトウェアアップデートが型式承認または法的に定義されたパラメータに影響を与えるかどうかについて評価する（機能の追加または削除を含む）。
- アップデート後の安全性または安全運転に影響を与えるかどうかについて評価する。
- 車両の所有者にアップデートを通知する。
- 上記を全て文書化する。

これらは全て、各国の技術関連のテスト機関などまたは認証機関によって検査される。また、1958年協定に基づく型式承認の原則により、メーカーが自動車を出す前に、以下の要件を満たしていることを証明する必要がある。

- ソフトウェアアップデート管理システムが導入されており、走行中の車両への適用可能であること。
- SU 配信メカニズムを保護し、完全性と真正性を確保すること。
- ソフトウェアの識別番号が保護されていること。
- ソフトウェア識別番号が車両から読み取り可能であること。
- OTA ソフトウェアアップデートの場合、
 - アップデートに失敗した場合、機能を復元すること。
 - 十分な電力が供給されている場合にのみ、アップデートを実行すること。
 - 安全な実行を確保すること。
 - 車両の所有者に各アップデートおよびその完了について通知すること。
 - 車両がアップデート可能なことを確認すること。
 - 整備士が必要な場合は、車両の所有者に知らせること。

上記 2 つの国連規則は、自動車のサイバーセキュリティ基準および OTA ソフトウェアアップデートを規定する初めての国際的な規則である。これらは、1958年協定に加盟する 54 か国に適用される²⁷⁸。一部の国や地域では、すでに同規則の義務化を発表しており、日本は 2021 年 1 月に本規則を移入し、2022 年 7 月（OTA 機能がない場合は 2024 年 1 月）から新車種に、2024 年 7 月（OTA 機能がない場合は 2026 年 5 月）から生産される新車種に義務化することを発表し

²⁷⁷ <https://unece.org/sustainable-development/press/un-regulations-cybersecurity-and-software-updates-pave-way-mass-roll>

²⁷⁸ https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XI-B-16-157&chapter=11&clang=en

た。欧州連合（EU）では、2022年7月から全ての新車種にこの規制が義務付けられ、2024年7月から生産される全ての新車に同規則が義務付けられる²⁷⁹。

米国は、安全基準について政府認証制度を適用しておらず、メーカーによる製品の基準適合性保証「自己認証制度（self-certification system）」を採用していることなどから、認証の相互承認が含まれる1958年協定には加入していない。しかし、米国は国際基準策定の重要性を認識しており、WP29 ワーキンググループの参加や、認証に係る規定は含まない1998年協定に加盟して、世界技術基準（UNGTR）の制定に取り組んでいる。UNGTR の内容と国連規則は、相互に内容が反映されるよう検討されており、これにより1958年協定加盟国と1998年協定加盟国の間で技術基準の調和を図ることが可能になる。

また、ISO は、WP. 29 の上記 2 つの規則に対応するかたちで、国際標準規格の策定を進めている。2021年8月には、SAE とともに策定したサイバーセキュリティに関する新しい規格 ISO /SAE 21434 を発表している。これは、自動車のライフサイクル全般にわたるサイバーセキュリティ要件を定めた規格で²⁸⁰、ISO/SAE 21434 自体は拘束力を持たない任意規格ではあるものの、上記国連規則 UN-R155 が同規格を参照しているため、実質的に準拠することが求められる。

また、無線によるソフトウェアアップデートに関する規格 ISO24089 の草案が2021年12月時点で公開されており、策定中となっている²⁸¹。これら国連規則と ISO への対応を並行して進めることで、国際社会で求められる車両サイバーセキュリティや車両安全の実現が期待できる。

²⁷⁹ <https://unece.org/sustainable-development/press/three-landmark-un-vehicle-regulations-enter-force>

²⁸⁰ <https://www.iso.org/standard/70918.html>

²⁸¹ <https://www.iso.org/standard/77796.html>

3 シェアリング事業を含むモビリティサービスの現状と今後の展開

世界のシェアードモビリティ市場は、2019年に約1,300~1,400億ドルに上った。このうち、配車サービスが市場全体の90%以上を占め、1,200~1,300億ドルに上る。電動スクーターのシェアリングサービス市場は、2017年以前はそれほど大きくなかったが、2018年と2019年に成長した。大手コンサルティング会社マッキンゼーが2021年8月に公表した報告書によると、マイクロモビリティ（電動スクーターや電動自転車など）市場は、2030年までに世界で（シェアリングと個人所有を合わせて）3,000~5,000億ドルに達する可能性があり、市場規模は現在の3~4倍になる可能性がある。さらに、新型コロナウイルスが収束して通常の活動が再開されると、その市場規模はさらに大きくなる可能性があるとしている²⁸²。

また、調査会社 Statista は、米国内のシェアードモビリティ市場全体の売上高は、2022年に約2,260億ドル、2026年には約3,100億ドルに達すると予測しており、2022年の国別売上額の比較では中国に次いで第2位となっている²⁸³。

3.1 新型コロナウイルスの流行がモビリティのシェアリング事業に与えた影響

新型コロナウイルスの流行によって、人々が移動を自粛し自宅待機をを励行したことで、モビリティ産業は非常に大きな打撃を受けた。マッキンゼーが2021年12月に公表した報告書によると、旅行需要の回復は緩やかである一方、日常の地域内の移動は、世界の多くの地域で新型コロナウイルスの流行前の水準に戻りつつあるという²⁸⁴。

<消費者行動の変化>

上記報告書によると、モビリティ需要は徐々に回復しているものの、全ての地域で全ての交通手段が以前の水準に戻ったわけではない。シェアードモビリティサービスや公共交通機関の利用は、世界的に大きく回復しているが、在宅勤務の割合が高い地域では回復が遅れている。マッキンゼーのグローバルモビリティ調査（2021年6月）によると、調査を実施した米国、欧州、日本および中国の中で、人々の移動量が最も早く回復したのは米国であった。また、シェアードモビリティの中でも、マイクロモビリティサービスは、新型コロナウイルス流行以前の水準を上回っている²⁸⁵。

新型コロナウイルスの感染が拡大して以降、多くの人々が自家用の移動手段を利用するようになり、同時にシェアードモビリティ市場も再び成長している。例えば、マイクロモビリティは、さまざまな都市で自動車の利用を減らす取り組みが強化されていることから、人気が高まっている。Statista が2021年4月に実施した調査によると、コロナ禍において他の交通手段の利用者

²⁸² <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/shared-mobility-where-it-stands-where-its-headed>

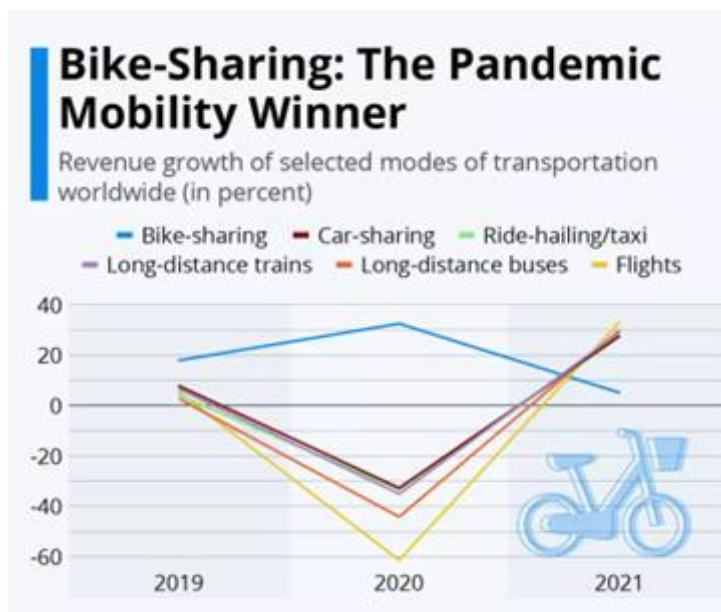
²⁸³ <https://www.statista.com/outlook/mmo/shared-mobility/united-states>

²⁸⁴ <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mobilitys-rebound-an-industry-recovers-but-where-is-it-heading>

²⁸⁵ <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mobilitys-rebound-an-industry-recovers-but-where-is-it-heading>

ががいずれも減少する中、自転車のシェアリングサービスは唯一、2020年に世界全体での収益を約3割伸ばした²⁸⁶（図表38参照）。

図表 38：コロナ禍における各交通移動手段の収益成長率（世界全体）



注：データは2021年4月時点

出所：Statista²⁸⁷

同社の許可を得て掲載

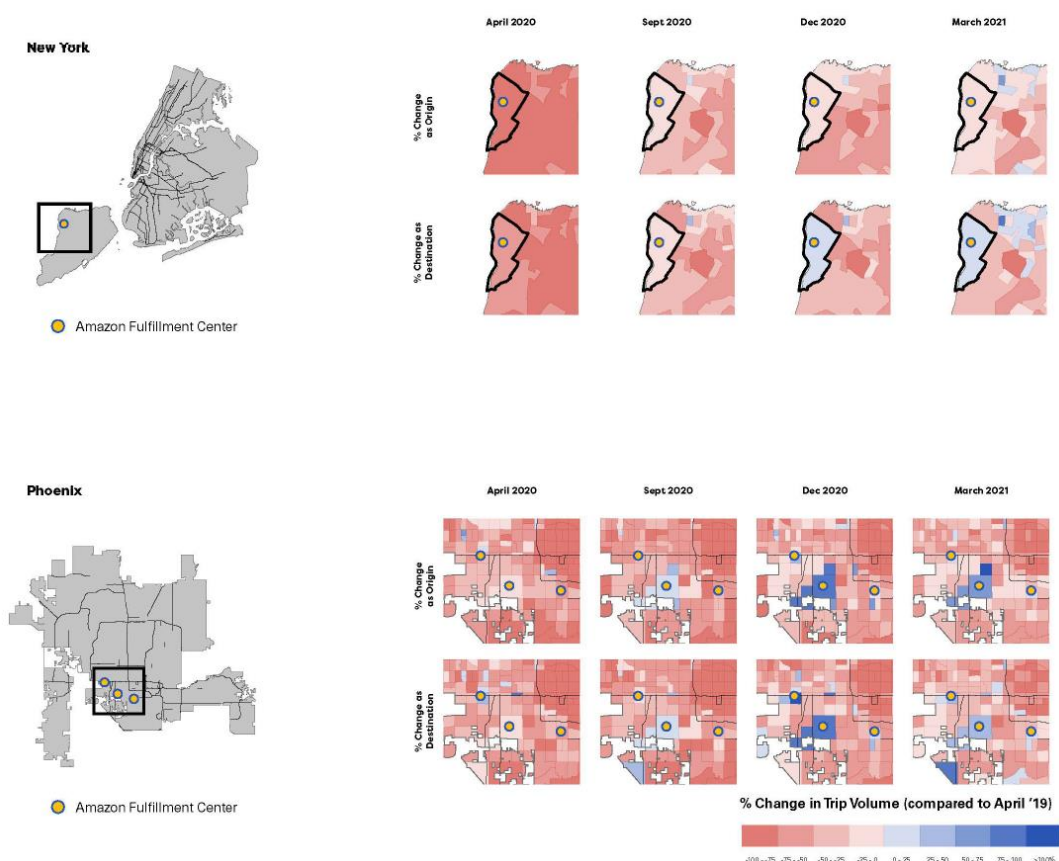
配車サービスを提供するUberは2021年4月、米国の4都市（ニューヨーク州ニューヨーク、アリゾナ州フェニックス、オハイオ州シンシナティ、テキサス州ウェコ）において、同社が運営する配車サービスの利用方法やコロナ禍による消費者選好の変化を調査した。その結果、コロナ禍の中、多くの地域でUberの利用回数は大幅に減少した一方、エッセンシャルワーカーが多く集まる地域では、利用回数が増えたところもあることが明らかになった。図表39は、コロナ禍におけるUberの利用回数の変化を色で表しており、最も濃い赤が75～100%減少、最も濃い青が100%以上増加の変化を示している。黄色の丸で示されたアマゾンの配送センターが位置する地域では、Uberの利用回数が増加していることが分かる。また、同調査では、コロナ禍により自家用の移動手段を選ぶ人が増える中でも、移動手段を持たない低所得者などにとって、配車サービスは不可欠な交通手段として機能し、低所得者が多く住む地域ではUberの利用回数の減少割合は小さかったと報告されている²⁸⁸。

²⁸⁶ <https://www.statista.com/chart/24956/mobility-services-revenue-growth-by-sector/>

²⁸⁷ <https://www.statista.com/chart/24956/mobility-services-revenue-growth-by-sector/>

²⁸⁸ <https://uber.app.box.com/s/r58njam7cblpp4ozidl9j51r98veb8m8>

図表 39：コロナ禍における Uber の利用回数の変化（ニューヨーク、フェニックス）



出所：Uber 「Future of Cities & Future of Mobility」²⁸⁹

同社の許可を得て掲載

また各種調査により、コロナ禍によって生じた消費者心理の変化について、以下のような傾向が明らかになっている。

- 交通ナビゲーションアプリを提供する Moovit が 2020 年に実施した調査 (2020 Global Public Transport Report) によると、新型コロナウイルスの流行により、米国民の半数以上が公共交通機関の利用を減らしているか、あるいは全く利用していない²⁹⁰。
- オンラインの自動車情報プラットフォームを運営するカーズ・ドットコムが 2020 年 3 月に実施した調査によると、新型コロナウイルスの感染が拡大して以降、配車サービスの利用頻度が減ったと回答した米国民は 4 割に上り、そのうち 93% が自家用車を使う頻度が増えたと回答している。また、回答者の約 2 割がコロナ禍により自家用車の購入を検討していることがわかり、その理由として 43% が「公共交通機関を利用しなくなったから」、28% が「他人の車の清潔さに不信感を抱いたから」と回答している²⁹¹。
- 保険比較サイトの The Zebra が 2020 年後半に実施した調査によると、回答者の 77.3% の米国民は、ライドシェアが発達しても、自家用車を所有することは必要だと回答した²⁹²。

²⁸⁹ <https://uber.box.com/s/r58njam7cblpp4ozidl9j51r98veb8m8> P.64-65

²⁹⁰ <https://moovit.com/press-releases/2020-global-public-transport-report/>

²⁹¹ <https://www.cars.com/articles/ride-sharing-drops-online-car-shopping-increases-in-coronavirus-wake-419581/>

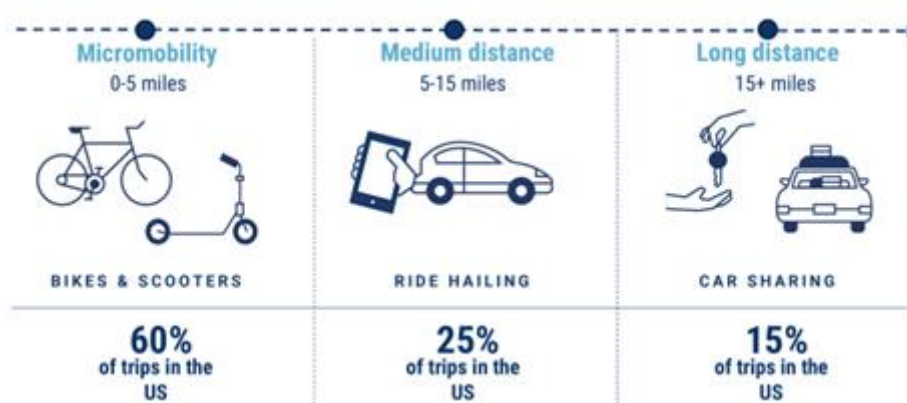
²⁹² <https://www.thezebra.com/resources/research/car-ownership-statistics/>

3.2 モビリティシェアリング事業の分類別傾向と展望

シェアードモビリティは、車両所有の仕組み（自家用車か商用車か）、ドライバーの有無（顧客が運転するかどうか）、他者との乗り合わせ（プール型か非プール型か）によっていくつかに分類されるが、移動距離別で見ると大きく3つに分けることができる（図表 40 参照）。マイクロモビリティは、米国内の移動の約60%を占める0~5マイル（8キロ以下）の短距離移動に焦点を当てた交通手段であり、特に公共交通機関のハブまでの移動の問題に応える手段として大きく成長している。各シェアードモビリティサービスの概要を以下に記載する²⁹³。

- **マイクロモビリティシェアリングサービス**
 利用者に軽量の車両（キックスクーター、自転車、電動スクーターなど）を有料で提供するサービスで、フリーフロー型（どこでも受取・返却が可能）とステーション型（専用の場所に返却）がある。
- **配車サービス**
 利用者は携帯端末などで迎えの車を注文する。ドライバー（地域によって営業免許は不要）は、利用者を迎えに行き乗せ、指定された場所まで運転する。
- **カーシェアリングサービス²⁹⁴**
 レンタカーの一種であり、企業が提供する車を短期間利用し、通常限定された地域にとどまる。フリーフロー型とステーション型がある。

図表 40：移動距離別のシェアードモビリティサービス



出所：CB Insights²⁹⁵

DOT の許可を得て掲載

²⁹³ <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/shared-mobility-where-it-stands-where-its-headed>

²⁹⁴ 本レポートで「カーシェアリング」は、基本的には上記記載の通り企業が提供するサービスを表すが、ピアツーピア（P2P）カーシェアリング（第 3.2.3 章）は、個人所有の車両を有料で提供するサービスを表す。

²⁹⁵ <https://www.cbinsights.com/research/disrupting-cars-car-sharing-scooters-ebikes/>

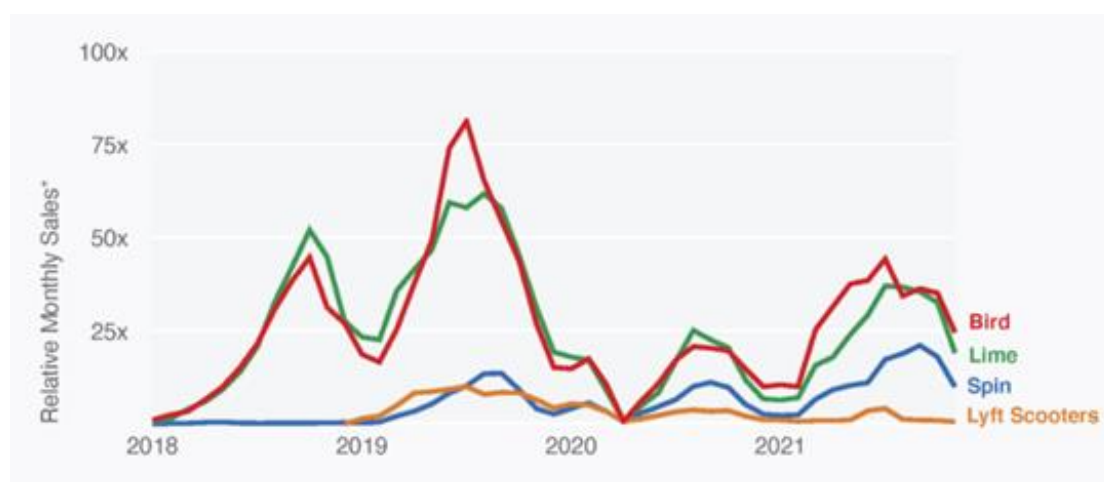
3.2.1 マイクロモビリティサービス

<マイクロモビリティサービスの全般的な市場動向>

新型コロナウイルスが流行したの影響で、2020年のマイクロモビリティサービス市場の売上高は、前年比63%となったがスクーターと自転車の売上高は、2021年に回復している（図表41参照）。

前述の通り、2020年の世界全体の傾向として、他のシェアリングサービスに比べて自転車のシェアリングサービスが好調であったものの、米国ではスクーターや自転車のシェアリングサービスへの支出が全ての交通手段の中で最も落ち込み、100%近く急落した²⁹⁶。しかし、スクーターや自転車は、他者との社会的距離を取りやすく、自動車やバス、地下鉄よりも感染リスクが低いといったメリットがあり、時間の経過とともに需要が増加した。米国では、コロナ禍により公共交通機関が停止する中、Lyftが運営するCiti BikeとLimeが、医療従事者に無料で乗り物を提供し、自らを不可欠なインフラとして位置づけた²⁹⁷。北米バイクシェア・スクーターシェア協会は、マイクロモビリティは柔軟で比較的シンプルなサービスであるため、どの交通手段よりも早く立ち直ることができたと分析している。同市場には、コロナ禍以前から、夏に売り上げを伸ばし冬に売り上げが低迷するという特徴があるが、MRFRが2021年9月に公表した報告書によると、同市場の収益は継続的に上昇しており、市場規模は2020年の350億ドルから2027年には2,550億ドルに達する可能性がある²⁹⁸。

図表 41：ドックレス自転車とスクーターの月間売上高の推移



出所：Bloomberg Second Measure²⁹⁹

同社の許可を得て掲載

<各企業の動向>

- Bird（カリフォルニア州サンタモニカ、2017年設立）

²⁹⁶ <https://www.cbinsights.com/research/report/micromobility-revolution/>

²⁹⁷ <https://www.li.me/second-street/lime-aid-brings-safe-essential-services-for-cities>

²⁹⁸ <https://www.prnewswire.com/news-releases/micro-mobility-market-expected-to-be-worth-255-billion-by-2027-301379633.html>

²⁹⁹ <https://secondmeasure.com/datapoints/rideshare-industry-overview/>

Bird は 2019 年 6 月、電動スクーターとモペット（原動機付自転車）のスタートアップ Scoot を買収した。この買収により、Bird はサンフランシスコ市での電動スクーターシェアリングサービス（月額でのレンタルサービス）に参入することとなる。買収前の Scoot の評価額は約 7,100 万ドルで、4,700 万ドルの資金を調達していた。Scoot は 2011 年にモペットのサービスを開始し、その後電動バイクやスクーターも展開している³⁰⁰。

また、Bird は 2021 年 11 月、特別目的買収会社（SPAC）との合併により株式公開を果たしたが、その際の企業価値は 23 億ドルであった。同社はこの合併により、4 億 1,400 万ドルを調達し、そのうち 20%を新しい都市における事業の立ち上げに充てる予定となっている。

- Lime（カリフォルニア州サンフランシスコ、2017 年設立）

Lime は 2020 年 5 月、1 億 7,000 万ドルの資金調達を行ったと発表し、その一環として、Uber のマイクロモビリティ子会社 Jump を買収した³⁰¹。Uber はコロナ禍により利用者が激減し、コスト削減を図っていた³⁰²。

また、同社は 2021 年 11 月、2022 年の株式公開に向けて転換社債と借入による 5 億 2,300 万ドルの資金調達を発表した。この調達資金の一部は、同社のサプライチェーンの脱炭素化や電動自転車および電動スクーターの普及に充てられる予定となっている³⁰³。

- Lyft（カリフォルニア州サンフランシスコ、2012 年設立）

Lyft は 2018 年、電動スクーターのシェアリングサービス事業である Lyft Scooters を開始した。しかし翌 2019 年、利用者不足のため、米国の 6 都市から同事業を撤退すると発表した³⁰⁴。

- Uber（カリフォルニア州サンフランシスコ、2009 年設立）

Uber は 2018 年 4 月、自転車シェアシステムを利用して都市移動のワンストップショップとなることを目指し、2 億ドルで Jump を買収した。買収時、Jump は 6 カ国 40 都市で 1 万 2,000 台の自転車を展開していた³⁰⁵。しかし同社は 2020 年 5 月、Jump を Lime に売却した。Jump は四半期で約 6,000 万ドルの損失を出していた³⁰⁶。

3.2.2 配車サービス

<配車サービスの全般的な市場動向>

米国の各州や各都市では、コロナ禍による移動制限により、シェアリングサービス企業の売上高が全体的に急落した。しかし、その後徐々に回復し、Uber と Lyft の 2021 年 12 月の売上高は、それぞれ前年比 147%増、117%増となっている³⁰⁷（図表 42 参照）。

³⁰⁰ <https://techcrunch.com/2019/06/12/bird-confirms-acquisition-of-scoot/>

³⁰¹ <https://www.li.me/second-street/new-financing-strengthens-lime-leadership>

³⁰² <https://techcrunch.com/2020/05/07/uber-leads-170-million-lime-investment-offloads-jump-to-lime/>

³⁰³ <https://techcrunch.com/2021/10/18/lime-announces-second-ebitda-profitable-quarter-in-company-history/>

³⁰⁴ <https://techcrunch.com/2018/09/06/lyft-launches-its-scooter-business-in-denver/>

³⁰⁵ <https://www.theverge.com/2018/4/9/17213994/uber-acquires-dockless-bike-share-jump>

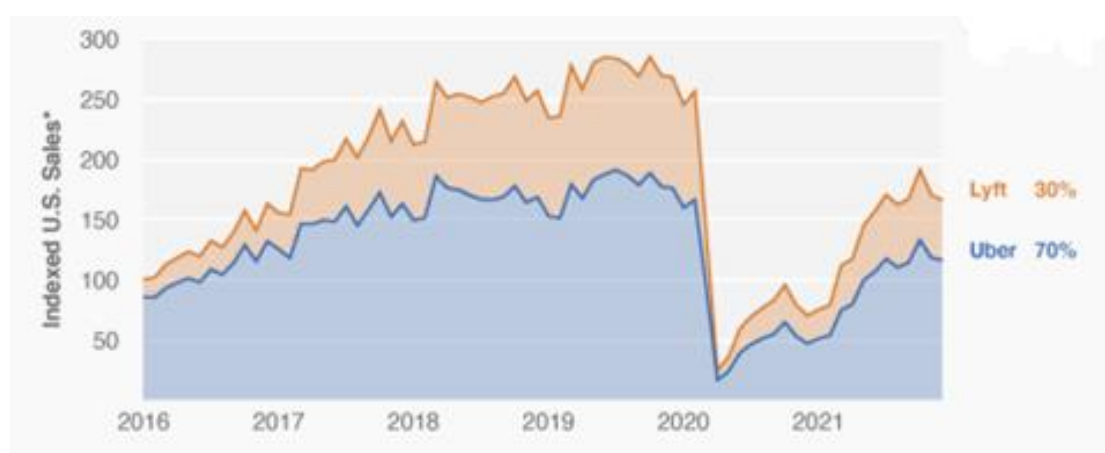
³⁰⁶ <https://apnews.com/article/technology-business-virus-outbreak-dara-khosrowshahi-0346209080191b37524931ebedc9be06>

³⁰⁷ <https://secondmeasure.com/datapoints/rideshare-industry-overview/>

世界の配車サービス市場規模は、2020年時点で1,130億ドルだが、調査会社のモルドールインテリジェンスによると、2026年には2,300億ドルに達し、2021～2026年のCAGRは8.75%になると予想されている。また、配車サービスは、従来のタクシーサービスに取って代わる可能性があるという³⁰⁸。

米国では、UberとLyftがシェアを争っており、2021年12月時点では、Uberが配車サービスの70%を占め優勢である。ブルームバーグの調査によると、利用者の大部分は1つの配車企業のサービスを継続的に利用しており、米国の利用者のうち、2021年12月にUberとLyftの両方を利用した人はわずか11%であった。内訳は64%がUberのみを利用し、25%がLyftのみを利用していた。

図表 42 : Uber と Lyft の月間売上高の推移



出所：ブルームバーグ³⁰⁹

同社の許可を得て掲載

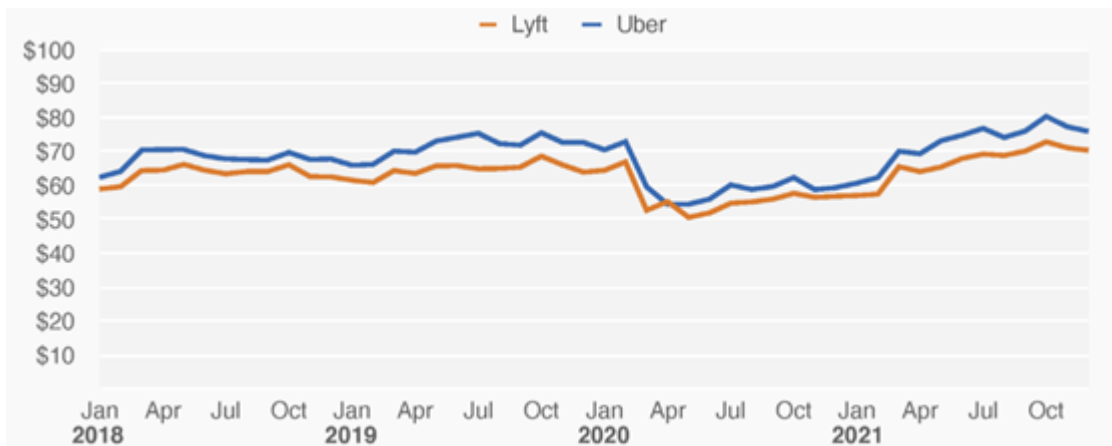
配車サービス業界がコロナ禍から回復する中、同サービスに対する消費者支出も増加傾向にある。Uberの2021年12月の顧客1人当たりの平均売上高は76ドルで、前年同月比28%増、前々年同月比5%増であった(図表43参照)。同様に、Lyftの2021年12月の顧客1人当たりの平均売上高は70ドルで、前年同月比24%増、前々年同月比10%増となっている。詳しく見ると、顧客1人当たりの売上高の増加は、利用頻度の増加ではなく、平均利用額が増えたことによる部分が多い。具体的には、2021年12月におけるLyftの平均利用額は前年同月比48%増、Uberの平均利用額は前年同月比22%増であった。一方、同月の顧客の利用回数は、Lyftで前年同月比16%減、Uberで前年同月比5%増にとどまっている³¹⁰。

³⁰⁸ <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/ride-hailing-market>

³⁰⁹ <https://secondmeasure.com/datapoints/rideshare-industry-overview/>

³¹⁰ <https://secondmeasure.com/datapoints/rideshare-industry-overview/>

図表 43：顧客 1 人当たりの平均売上高



出所：ブルームバーグ³¹¹

同社の許可を得て掲載

<配車サービスと異業種とのパートナーシップ>

配車サービス業界は、異なる業界と連携を進めており、これが市場を牽引している。配車サービス企業の連携先には、宅配、ヘルスケア、貨物事業などの事業者があるが、その他多くの業界との連携に注力している。Uber は現在、医療保険相互運用性説明責任法 (HIPPA) に準拠して、患者や介護者に輸送サービスを提供することで、ヘルスケア業界に貢献している。ヘルスケア分野と配車サービスとの連携例として、全米で医療保険プランを提供している民間非営利組織のブルークロス・ブルーシールドと Lyft がパートナーシップを締結し、遠隔地のコミュニティに交通手段を提供することで、健康診断の未受診を減らすことに貢献している。

<配車サービス企業の脱炭素への取り組み>

配車サービス企業では、車両の二酸化炭素の排出削減を目指して、従来のガソリン車に替えて EV を採用する動きが進んでいる³¹²。Lyft は 2020 年 6 月に、2030 年までに全車両を EV にするとの目標を発表しており、Uber も 2030 年に米国、カナダ、欧州の主要都市で 100%EV 化、2040 年に世界全体で完全電動化を達成するためのロードマップを公表している。

カリフォルニア州大気資源局 (CARB) は 2021 年 5 月 20 日、上院法案第 1014 号 (2018 年) によるクリーンマイル基準³¹³の実施に伴って、Uber と Lyft の配車サービス事業に関して、2030 年までに温室効果ガス (GHG) の排出量をゼロにし、車両走行距離の 90%を EV 利用にすることを義務付ける規則を全会一致で採択した。これは、ギャビン・ニューサム知事のゼロエミッション車の執行命令 (知事令 : N-79-20) と同州の達成目標に沿うもので、GHG 排出量を 1990 年

³¹¹ <https://secondmeasure.com/datapoints/rideshare-industry-overview/>

³¹² <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/ride-hailing-market>

³¹³ CARB が 2018 年を基準年として配車サービス企業で使用される車両の温室効果ガス排出量を乗客 1 人 1 マイル当たりで設定し、これに基づき削減目標を企業ごとに設定するもの。各企業は 2022 年 1 月 1 日までに削減計画を策定し、その後隔年で更新しなければならない。 <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/clean-miles-standard>

比で 40%削減し、2045 年までに州全体のカーボンニュートラルを達成するという同州の 2030 年の気候目標達成に向けた取り組みである。

この決定に先立ち、Uber と Lyft は当局に提出した意見書の中で、規制の目標は支持するものの、州政府が低・中所得層のドライバーに対して EV への移行に必要な支出負担を積極的に支援するよう求めている³¹⁴。

<各企業の動向>

● Uber

新型コロナウイルスの流行に伴い宅配事業が盛んになる中、Uber は 2014 年に立ち上げた宅配サービスプラットフォームの Uber Eats に注力している。2020 年 4 月には、配車サービスのドライバー用アプリを更新して、ドライバーが宅配の仕事を受注できるようにした結果、同月に Uber Eats プラットフォームの仕事に従事したドライバーは北米全体の約 40%に上った³¹⁵。

Uber は 2020 年 7 月に、宅配サービス企業の Postmates、2021 年 2 月には酒の宅配サービスを展開する Drizly を買収した。また、同社は、Nimble と処方薬の配達に係るパートナーシップ契約を結び、Costco と食料品の当日配達を試験的に行うなど、提供するサービスを拡大している³¹⁶。さらに、同社は 2021 年 1 月、EV 向けに全米最大の公共高速充電ネットワークを運営する EVgo と提携を結び、米国の 800 以上の都市でドライバーに EV 充電割引を提供するなど、パートナーシップとサービスの拡大を図っている³¹⁷。

● Lyft

Lyft は 2021 年 6 月 15 日、電力会社 Peninsula Clean Energy と提携を結び、サンフランシスコ・ベイエリアの一部で、配車サービスのドライバー向けに EV レンタル試験プログラムを開始すると発表した。また、同社は 2021 年 12 月、レストラン向けのデジタル注文および配送プログラムを開発している Olo と契約を締結し、宅配事業への参入を発表した。同社は、Uber Eats や DoorDash のような消費者向けのプラットフォームを立ち上げない代わりに、Olo のソフトウェア Dispatch を使用するレストランとの連携した業務形態を計画している³¹⁸。

● テスラ

テスラは、2019 年に完全自動運転技術を使ってライドシェア市場に参入する構想を発表した。これは、車両の所有者が車両に乗らない時間に自動運転モードで走らせることで、収益が得られるというものであった。実際には、完全自動運転機能を含むパッケージが発表されて初めて現実化するもので、事業の実現は予定よりも遅れている。同社は「テスラネットワーク」と名付けた

³¹⁴ <https://ww2.arb.ca.gov/news/california-requires-zero-emissions-vehicle-use-ridesharing-services-another-step-toward>

³¹⁵ <https://apnews.com/article/technology-business-virus-outbreak-dara-khosrowshahi-0346209080191b37524931ebdc9be06>

³¹⁶ <https://secondmeasure.com/datapoints/rideshare-industry-overview/>

³¹⁷ <https://investors.evgo.com/news/news-details/2021/Uber-and-EVgo-Expand-Partnership-to-Support-High-Volume-Rideshare-Drivers-with-Fast-Reliable-Public-Charging/default.aspx>

³¹⁸ <https://secondmeasure.com/datapoints/rideshare-industry-overview/>

ライドシェアサービスを通じ、スマートフォンで近くのテスラ車を呼び寄せ、目的地まで自動運転で移動できるようにすることを目指している³¹⁹。

3.2.3 カーシェアリング

<カーシェアリングサービスの全般的な市場動向>

カーシェアリング市場は、世界的に見ると、2015年（約20万台）から2020年（約44万台）にかけて大きく成長した。同サービス用の車両台数は、2025年に約100万台に達すると予想されている。調査会社のResearch and Marketsは、同市場について2021～2026年のCAGRが約16%になると予測している。同社の報告書によると、カーシェアリング市場が成長した背景には、環境に対する関心の高まりや新たなモビリティソリューションの浸透などがある。また、個人が自家用車を直接他人に貸し出せるピア・ツー・ピア（P2P）サービスの拡大や、多くの組織が企業向けカーシェアリングを利用し、車両管理や駐車スペースのコスト削減を図っていることも成長を支えている³²⁰。

P2Pのカーシェアリングは「自動車版 Airbnb」とも言われ、車の所有者が自家用車を短期間レンタルすることで収入を得られ、利用者にとっても安価に利用できるメリットがあるため、拡大する傾向にある。一方、従来のレンタカー企業が課されている手数料や税金などの規制を受けていないといった批判もあり、各州で法規制が整備されつつある。各州の規制には保険、賠償責任、安全、消費者開示といった共通の規制分野が含まれている³²¹。P2Pカーシェアリング企業のTuro（カリフォルニア州サンフランシスコ、2010年設立）によると、2021年にニューヨーク州を含む11の州でP2Pカーシェアリングに関する州法が制定され、2022年1月時点で、20州以上でこのサービスが認められている³²²。

カーシェアリングサービスは、新車不足による中古車価格の上昇などで車両を購入できない人やレンタカーを手配できない人にとって魅力的なサービスである。一方で、新型コロナウイルスの感染拡大に伴う都市封鎖により、同市場にも悪影響が及んでいる³²³。GM、BMW、メルセデスベンツ（ダイムラー）などのOEMは、2020年初頭に車両のサブスクリプションサービスを中止し、レンタカー大手のハーツ・グローバル・ホールディングスは2020年5月に破産を申請した³²⁴³²⁵。カーシェアリングスタートアップのGetaround（カリフォルニア州サンフランシスコ、2009年設立）とTuroは、政府からの融資を受けて経営を維持した上、感染への不安を和らげる

³¹⁹ <https://electrek.co/2021/12/03/tesla-integrating-car-sharing-app-network/>

³²⁰ <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/12/02/2344810/28124/en/Global-Car-Sharing-Market-Report-2021-Featuring-Profiles-of-Key-Players-Autolib-Car2Go-Cityhop-Lyft-and-Zipcar.html>

³²¹ <https://www.ncsl.org/research/transportation/car-sharing-state-laws-and-legislation.aspx#:~:text=Since%202010%2C%20at%20least%208.subm%20recommendations%20to%20the%20legislature>

³²² https://www.thecentersquare.com/new-york/new-york-becomes-latest-state-to-pass-peer-to-peer-car-sharing-law/article_c4715a58-6983-11ec-9542-c3241008a074.html

³²³ <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/12/02/2344810/28124/en/Global-Car-Sharing-Market-Report-2021-Featuring-Profiles-of-Key-Players-Autolib-Car2Go-Cityhop-Lyft-and-Zipcar.html>

³²⁴ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-04-30/car-sharing-startups-emerge-from-pandemic-with-new-lease-on-life>

³²⁵ 2021年6月に同社の再建計画が破産裁判所によって認められ再建過程を終了した。

[Hertz Exits Chapter 11 As A Much Stronger Company | Hertz Global Holdings, Inc.](#)

ために積極的な措置を取った³²⁶。Getaround はキャンセル料を無料にして、オーナーに対し車内に手指消毒剤を置くよう要請し、新型コロナ感染者が利用した車両の検疫プロトコルを導入した。また、Turo は、キャンセル規定をより柔軟にし、頻繁に触れる部分の消毒を義務付け、清掃強化訓練を受けたオーナーの車両には紫色の手洗いアイコンの「バッジ」を付けて宣伝するなどして、利用増加につなげようとした³²⁷。

しかし、カーシェアリングスタートアップ各社は、運営を開始以来、経営不振が続いている。GM 傘下の Maven が 2020 年 4 月に同事業からの撤退を発表し³²⁸、Turo は 2021 年 9 月 30 日に時点で、累計 5 億 4,400 万ドルの損失を計上した³²⁹。他方、新たなスタートアップが台頭しており、Go car subscription（ペンシルベニア州フィラデルフィア、2020 年設立）は 2021 年 10 月、フロリダ州、ペンシルベニア州およびニュージャージー州の一部などで短期間のサブスクリプションサービスを開始し、2022 年 1 月にはテキサス州ダラスやジョージア州、ノースカロライナ州シャーロットでもサービスを拡大している。

<各企業の動向>

- Zipcar（マサチューセッツ州ボストン、2000 年設立）

Zipcar は、エイビス・バジェット・グループの子会社で、2020 年 5 月に新規会員がスマートフォンで車両にアクセスし、入会后数分で運転できる「インスタント・アクセス」を全米で開始したと発表した。有効な運転免許証と自撮り写真を提出することで、本人確認が行われ、数分以内の審査を経て承認されると、Zipcar 車両に即座にアクセスできるようになる³³⁰。また、同社は Dedicated Zipcar というサービスを導入しており、利用者は特定の車両を一定期間予約することができる³³¹。

- Turo

Turo は、北米と欧州の 5,000 以上の都市で約 400 万人の顧客を有し、GV(旧 Google Ventures) や BMW と GM の両ベンチャーキャピタルから出資を受けており、少なくとも 4 億 9,600 万ドルを調達している³³²。同社は 2018 年 1 月、サンフランシスコ市から、サンフランシスコ国際空港での営業に必要な手数料を支払っていないと提訴され、同社は従来のレンタカー会社と同じ規制を受けるべきでないと反論したものの、2020 年 4 月 23 日にサンフランシスコ郡上級裁判所で法律上レンタカー会社であるとの判決が下された³³³。

³²⁶ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-04-30/car-sharing-startups-emerge-from-pandemic-with-new-lease-on-life>

³²⁷ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-04-30/car-sharing-startups-emerge-from-pandemic-with-new-lease-on-life>

³²⁸ <https://techcrunch.com/2020/04/21/gm-exits-car-sharing-business-and-shuts-down-maven/>

³²⁹ <https://www.theverge.com/2022/1/11/22878329/turo-car-sharing-ipo-s1-stock-price-losses>

³³⁰ <https://www.zipcar.com/press/news/zipcar-introduces-%E2%80%9Cinstant-access%E2%80%9D-to-put-new-members-behind-the-wheel-within-minutes>

³³¹ <https://cheddar.com/media/zipcar-rethinks-car-share-experience-as-virus-changes-the-way-we-travel>

³³² <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-04-30/car-sharing-startups-emerge-from-pandemic-with-new-lease-on-life>

³³³ <https://www.autorentalnews.com/357021/calif-superior-court-turo-is-a-car-rental-company>

同社は、脱炭素への取り組みとして、2021年4月にカーボンオフセット開発大手の Bluesource と提携を結び、世界全体での同社の二酸化炭素排出推定量の 100%を相殺すると発表した³³⁴。

● Getaround

Getaround は、全世界で 100 以上の都市でサービスを展開しており 600 万人以上の顧客を有する。同社は 2020 年 10 月、ベンチャー企業の成長度合いを表すランクとして上位にあたるシリーズ E³³⁵で、1 億 4,000 万ドルを調達したと発表した。金融情報サービス会社の PitchBook によると、同社は 2009 年の創業以来、少なくとも 8 億 3,900 万ドルを調達しており、トヨタ自動車からも資金の提供を受けている³³⁶³³⁷。

同社は 2021 年 3 月、複数の車両を貸し出すオーナーを支援する「Power Host」という新プログラムを開始した。これは、カーシェアリング事業を始めたいと考える車両所有者が増加していることに対応したもので、所有者自身が車両を管理できるように設計されている。

他方、同社は 2021 年 7 月、無免許営業などの違反行為により、ワシントン DC 司法長官事務所から約 100 万ドルの罰金を課された。同事務所は、Getaround が同地区で無許可で営業し、レンタカーサービスの安全性について「真実でない、または誤解を招く表現」を行ったと主張した。同社は、この主張には同意しないと反論したものの、和解案に従い損失や損害について有効な請求を行った車両の所有者に補償を続けるとともに、同社が事業を展開する全ての地域で適用される税金を支払うことで合意した³³⁸。

脱炭素化の取り組みに関しては、2021 年 11 月に、同社のプラットフォーム上の車両を 2040 年までに全て EV にする公約を発表した。2030 年以降は、EV と低排出ガス車のみを同社のプラットフォームに追加することを許可し、2040 年までに排気ガスを発生させる全ての自動車を廃止する予定だとしている³³⁹。

³³⁴ <https://turo.com/blog/news/turo-will-offset-carbon-emissions-starting-earth-day>

³³⁵ サービスや商品が公開される前の段階にある「シード」から、収益など企業としての成長のステージに応じて「シリーズ A～E」と呼ばれる。ステージが上がるにつれ調達額の相場も上昇する。

³³⁶ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-04-30/car-sharing-startups-emerge-from-pandemic-with-new-lease-on-life>

³³⁷ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-04-30/car-sharing-startups-emerge-from-pandemic-with-new-lease-on-life>

³³⁸ <https://techcrunch.com/2021/07/23/peer-to-peer-car-rental-startup-getaround-fined-nearly-1m-by-dcs-attorney-general/>

³³⁹ <https://www.prnewswire.com/news-releases/getaround-pledges-all-electric-platform-by-2040-301418021.html>

4 モビリティ市場の変化が自動車産業に与える影響と日系企業のチャンス

<CASE がもたらす業界の変化>

自動車産業は、技術革新と新しいモビリティ市場の台頭によって、さまざまなレベルで大きな変革を迫られている。米国政府は、2050年までに国内のGHG排出量を実質ゼロにするという公約の実現に向けて規制を強化しており、多くの州で将来的なガソリン車の販売を禁止する政策が発表されている。EVはシェアを拡大しつつある一方で、製造に必要な部品の点数は、従来の自動車と比べて少なくなるため、不要となる部品を扱う製造業界では事業縮小が避けられない状況で、米国内でも工場の閉鎖や人員削減が進められている。

自動運転車やコネクテッドカーの分野では、「ハードウェア技術（第1.1.1章参照）」「ソフトウェア（第1.1.2章参照）」「つながる機能（通信）（第2章参照）」の組み合わせによって新たな価値が生み出されており、センサーなどのハードウェア技術をベースとしつつ、機能の実現にはソフトウェアと通信が切り離せないものとなっている。特に、自動車の中でソフトウェアの占める価値はますます大きくなっており、ITシステム開発企業といった、従来の自動車業界のプレイヤーではない異業種からも市場参入が増え、企業間の競争が激化している。同時に、センサー開発企業やマップデータ、交通サービスなどのインフラ関連企業を含む、多様な業種間のパートナーシップ形成が活発化しており、各社が新たな市場で存在感を発揮し、生き抜く道を模索している。

<イノベーション促進と安全性・セキュリティー確保を両立する法規制の難しさ>

このように、多くの企業が参入している一方で、政府による法整備は進んでいるとは言いがたい状況にある。これには、イノベーションを促進したい政府・業界の考え方や、連邦制の枠組みの中で州政府が大きな権限を有するといった米国独自の事情も影響している。

自動車分野の規制に関しては、連邦政府と州政府の管轄が分野ごとに分かれており、基本的には「自動車安全基準の設定」などは連邦政府、「交通法規の制定・施行」や「自動車保険と賠償責任に関する規制」などは州政府の管轄となっている。このような複雑な法規制の在り方を踏まえつつ、連邦政府は連邦法の専占により、包括的な法規制について上下両院で法案を審議しているものの、2022年2月時点で制定には至っていない（第1.3章参照）。自動運転技術といった新技術の公道への展開許可や個人情報保護に関する法規制など、州ごとに規制の内容や進捗状況が異なるため、米国で製品やサービスを展開する企業は、各州の規制内容や進捗状況について慎重に情報を収集し、戦略をとる必要がある。

また、自動車通信の各用途に使用される周波数の確保は、技術の実装や普及に大きく影響を及ぼすが、FCCから示された5.9GHz帯周波数の分割再編案には業界団体からの反発もあり、ITS用途の周波数を今後DSRC用に残すかC-V2X専用に移行するかについては今後の検討課題となっている（第2.5章参照）。これら通信方式の標準化と周波数帯の割当についても、規制の動向や通信業界・自動車業界の動向を注視し、将来の標準化技術に迅速かつ柔軟に対応できるよう準備しておく必要がある。

<モビリティ市場の変化がもたらすビジネスチャンス>

CASEの中でも、特に自動運転車とコネクテッドカーに関して、技術の標準化や法整備が本格化するのはいずれであり、その行方は混沌としているものの、裏を返せば変革の波に乗ることによって大きなビジネスチャンスにつながる可能性があるといえる。また、シェアリングビジネスの成長によって、社会における自動車の位置づけや所有の在り方が変わっていく可能性がある。自動車の価値やサービスの変化によって新たな市場が生まれ、次の3つの視点に基づきビジネスチャンスの拡大が狙えると考えられる。

① 自動車の高付加価値化

自動運転車やコネクテッドカーには、自車周辺や道路状況などのデータを取得するためにセンサーや通信機器が搭載され、ソフトウェア制御により走行することになる。センサーなどのハードウェアや、ハードウェアにより収集されたデータを処理して機能を実現するソフトウェアは、従来の自動車にはない新たな車載機能であり、プラットフォームやこれらを組み合わせたパッケージ化システムとともに、今後大きな市場になると見込まれる（第1.1章参照）。

また、コネクティビティー機能と車両のパーソナライズにより、さまざまな情報や娯楽を提供することが可能になり、自動運転の高度化に伴い車内での過ごし方が変わっていくと予想される。従来は移動ツールであった自動車が、移動時の空間体験を提供するツールへと変化することになる。エンターテインメントサービスの提供に必要な機器やシステム、インターフェイス機能の強化も求められる。これまで以上に車内の居住性・快適性など、自動車の機能と価値の変化により求められる性能が多岐にわたることから、これらのニーズを的確にとらえた製品を提案・実現することが重要であると考えられる。

② モビリティサービスの多様化

米国では、新型コロナウイルスの感染拡大により、一時シェアリングサービス（特に配車サービスやカーシェアリング）利用が落ち込み、自家用車所有への意識の高まりが見られたものの、2021年以降は売り上げが回復しつつあり、大きな流れとしてシェアリングビジネスは今後さらに拡大するものとみられる（第3.1章参照）。

シェアリングサービスの最大のメリットは、利用者の移動に係る経済性であり、将来的には個人所有から法人所有へと所有形態が変化していく可能性がある。シェアリングサービスを提供する企業は、宅配、ヘルスケア、貨物事業など異業種とのパートナーシップを通してさまざまなサービスを展開し始めており、都市部のみならず遠隔地のコミュニティで移動手段を持たない交通弱者にとっても重要なサービスとして地位を確立しつつある。自動車の自動化とコネクティビティー機能の強化と相まって、多様なサービス分野でシェアリングモビリティの利用は加速し、新たなビジネスの機会が生まれると予想される。

また、コネクティビティー機能により、車両センサーなどを通じて得られた大量のデータがネットワークを通じて収集され、これらを活用したさまざまなサービスが展開されると見られ、すでに一部は提供され始めている（第2.1章参照）。具体的には、交通事故発生時の緊急通報サービスといったロードアシストサービスや自動車の状態に応じたメンテナンスサポート、インフォ

テインメントサービス、ドライバーの運転に応じた保険の適用など、その分野は多岐にわたる。日本企業においても、多様な新規モビリティ関連サービスへの参入を狙っていくことも考えられるであろう。

③ 市場プレイヤーによる相乗効果と開発の加速化

市場には多くのプレイヤーが競争を繰り広げているが、目指す方向性・ゴールは共通しており、その早期実現や開発の効率化のためにソフトウェアやプラットフォームのオープン化が進んでいる。

一方で、開発スピードの加速を目指して、プレイヤー間のパートナーシップの形成も活発化している。AI分野では、AI開発企業がモビリティシェアリングサービス企業との提携によってAI学習に必要なデータセットのためのデータ収集で協力したり、OEMはセンサー開発企業やシステム開発企業と連携したりするなどして、開発を加速しようとしている（第1.1、1.2章参照）。新しい技術やビジネスモデルの成長は、プレイヤー間のより大規模なパートナーシップの形成を促すとみられ、新たな需要を的確にとらえ機動的にパートナーシップを形成しネットワークを構築することで、ビジネスチャンスを得る可能性が高まるだろう。日本企業においても、パートナー連合に積極的に加わり、市場の流れをつかみとり、センサー開発やAI開発などの分野にも関わることで、新規のビジネスニーズの発掘・市場展開につなげ、可能性を模索していく必要があるであろう。

レポートをご覧いただいた後、アンケート（所要時間：約1分）にご協力ください。

<https://www.jetro.go.jp/form5/pub/ora2/20220022>



本レポートに関するお問い合わせ先：
日本貿易振興機構（ジェトロ）
海外調査部 米州課
〒107-6006 東京都港区赤坂 1-12-32
TEL：03-3582-5545
E-mail：ORB@jetro.go.jp