

第 8 章

自動運転と運転支援

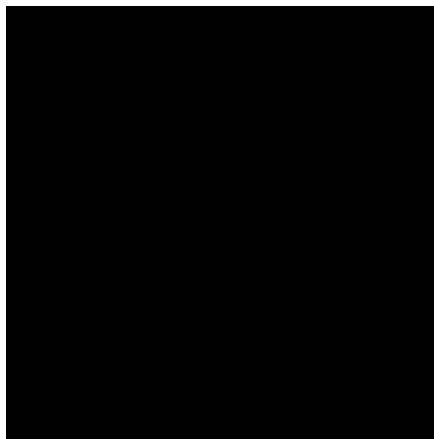
自動運転は、交通事故の削減、自由な移動手段の確保、物流におけるドライバー不足への対応、よりスムーズ、快適で環境にも優しい交通流実現のために活用が期待される。しかしながら、技術課題に加えて安全性、経済性、社会的受容性などの課題もあり、現状では一気に普及が進展する状況とは言い難い。本章では、自動運転の技術、およびその応用で早期の普及が期待される運転支援の技術について、現時点における全体像を概観する。

8.1 自動運転の歴史と概要

8.1.1 自動運転の歴史

自動車という言葉は英語の *automobile* に由来する。これは「自ら動く」という意味であるが、約 250 年にわたる自動車の歴史を通して、自動車は人が運転してきた。車自らが運転する、本来の意味の *automobile* は人類の長い夢である。1939 年の New York World's Fair には、自動運転化された高速道路を含む未来都市の模型 Futurama を観覧できるライドアトラクションが出展され、また、1956 年の電力会社の新聞広告では、自動運転車内で乗員がゲームに興じている様子を表し、“Electricity may be the driver” とうたっていた (図8.1)^[1]。

自動車産業として自動運転技術を開発する大きな目的の一つは、交通事故の削減である。交通事故のほとんどはヒューマンエラーによって引き起こされている。自動運転技術によってヒューマンエラーを排除することが可能となれば、交通事故の大幅な削減が期待される。

図 8.1 自動運転車コンセプト^[1].

1970 年頃から国際的に ESV (Experimental Safety Vehicle program) の取り組みがスタートした^[2]. このプロジェクトは、自動車の安全性を飛躍的に引き上げるためさまざまな安全技術を研究開発し、実験的車両によってデモンストレーションするものであり、衝突安全性能、操縦安定性能等、安全性を向上させる数多くの取り組みが行われた. 当初の ESV に自動運転はなかったが、ESV プロジェクトに 1971 年から参画した本田は、操縦安定性における J ターンテストを安全に実行するために、無人運転システムを開発した (図 8.2). J ターンテストとは、J 字状に 110km/h の直進走行から舵角を一気に 180 度入力する急旋回テストであり、当時の車両としては性能限界領域の試験であった. この実験車は無人とはいえ無線遠隔



図 8.2 無人運転による操縦安定性 (急旋回) テスト (本田技術研究所提供).

操縦によるもので自動運転ではなかったが、車両の操縦をシステムが実行する制御技術は当時から取り組まれていたといえる。

その後、自動運転を実現するべく各種のプロジェクトが推進された。1990年代においては米国カリフォルニアの PATH、日本の AHS (図 8.3)^[3,4]などが代表的なものであった。これらのプロジェクトで開発された技術は、自動車が自立的に自動走行するものではなく、道路側の環境整備も必要とするものであった。具体的には、磁気を帯びた杭などを道路に埋め込み、これを車載センサーで検出しながら自車の軌道を制御するシステムなどであった。日本の AHS においては、1996 年に開通前の上信越自動車道において実証実験が行われたが、インフラへの投資、その後の設備維持等の運用コストが必要なることもあり、実用化には至らなかった。

より自立した自動運転技術の開発を加速する一つのきっかけとなったのは、DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, アメリカ国防省の研究機関) による Grand Challenge であった^[5]。カリフォルニア州郊外の砂漠に設定された約 240km のコースを自動運転車が無人で 10 時間以内に走破するレースで、優勝賞金は 100 万ドルであった。2004 年の第一回は完走チームがなかったが、2005 年の第二回には 5 チームが完走し、スタンフォード大学が 6 時間 54 分で優勝した。

2007 年には空軍基地の跡地に設定された市街地コースで Urban Challenge が開催された^[6]。このレースは、自動運転車がほかの人間ドライバーが運転する車両と混合走行しながら、交通法規を遵守し安全に交差点を通過する等のミッションを実行する、より現実的な環境における自動運転を想定したものであった。

Grand Challenge, Urban Challenge を通じて開発された自動運転技術は、現在の



図 8.3 磁気ネイルを用いた高速道自動運転^[4]。

システムにも応用されている。

8.1.2 自動運転技術の概要

ドライバーは自動車の運転に関わる動的タスクとして、周囲の道路環境を認知し、危険を予測しながら必要な判断を行い、車両を操作している。自動運転においては、システムが動的運転タスクをすべて実行するものとなり、ドライバーは動的運転タスクに関与する必要がなくなる。現状、自動運転の社会実装は限定的だが、ドライバーの動的運転タスクを支援するシステムが、自動運転技術の応用として広く普及し始めている。この運転支援システムは図 8.4 に概念を示すように、人間とシステムが並列に協調しながら運転を行っているものである。システムも外界を認知するためのセンサーを備え、危険を予測して判断を行い、制御量を出力する。必要に応じてドライバーへ情報提供や注意喚起を行い、より危険が迫った場合には警報を出す。ドライバーに対する運転負担を軽減するために操作を支援し、衝突が迫った場合にはブレーキで介入して衝突回避と被害軽減を支援する。

図 8.5 は、自動運転システムの構成例をより具体的に表したものである。自動車の周囲の状況を確認する外界センサーとして、カメラ、ミリ波レーダー、LiDAR (Light Detection And Ranging) を搭載する。ミリ波レーダーはミリ波帯の電波を車両周囲に照射し、対象物によって反射した電波を受信することで、時間遅れから相対距離を、ドップラーシフトによる周波数偏移から相対速度を計測する。LiDAR は赤外線のリレーで車両周囲を高い分解能でスキャンし、光が往復する時間から相対距離を計測する。また、衛星測位システム (Global Navigation Satellite System, GNSS) を用いて地図に対する自車位置を同定する。外界センサーの情報から認識

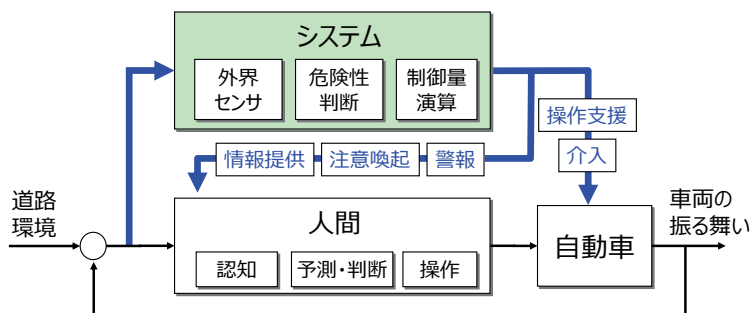


図 8.4 運転支援システムの概念。

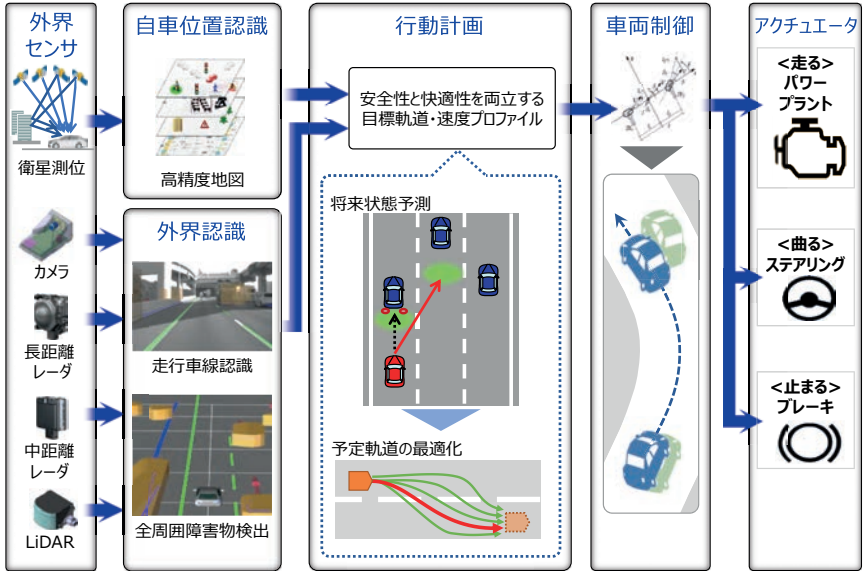


図 8.5 自動運転システムの構成例。

アルゴリズムにより、周囲にある物体の相対位置と相対速度、車線や道路の形状、交通標識などの道路環境情報を認知する。それらの情報をもとに将来の状態予測も行い、安全を確保しつつスムーズで快適な挙動を実現できる行動計画を生成し、自車に対する目標の軌道、速度プロファイルを決定する。この目標値に対して車両が追従するよう、パワープラント、ステアリングアクチュエータ、ブレーキアクチュエータに指示を出力して車両を制御する。

8.2 運転自動化システムのレベル定義と実用化状況

8.2.1 SAE によるレベル定義

自動運転・運転支援システムには、さまざまなレベルのものが存在するが、レベルの定義としては、現在、SAE (Society of Automotive Engineers) による「自動車用運転自動化システムのレベル定義」^[7,8]が広く参照されている。日本においても2017年よりSAEの定義が採用された^[9]。本定義は自動運転レベルと引用されることが多いが、正確には運転自動化システムのレベルであり、すべてのレベルが自動運転システムであるわけではない。

レベル定義を解説する前に、いくつかの重要な用語について解説しておく。

動的運転タスク (Dynamic Driving Task, DDT) 車両を操作するために必要な、リアルタイムの操作上および戦術上の機能 (図 8.6)^[7]。図中の OEDR (Object and Event Detection and Response) とは周囲の交通環境を監視し、対象物と事象を検知し、それらに対して適切な応答を実行することである。ルートや経由地を選択するような戦略上の機能は含まない。

運転自動化 動的運転タスクの一部またはすべてを実行すること。

走行環境条件 (Operational Design Domain, ODD) ある運転自動化システムが機能するように設計された走行条件。環境、地理、時間、交通、道路等の条件が含まれる。限定領域とも呼ばれる。

最小リスク状態 (Minimal Risk Condition, MRC) 運行を継続できない際に、衝突のリスクを低減するため、ユーザもしくは ADS (Automated Driving System) がもたらす安定して静止した状態。

フォールバック (Fallback) システムの故障発生もしくは ODD から外れた際に、ユーザが DDT を実行するか MRC を達成する、もしくはシステムが MRC を達成すること。

引継ぎ要求 (Request To Intervene, RTI) レベル 3 の ADS がユーザに対して、速やかにフォールバックを実行するべきことを伝える通知。

本レベル定義の対象は、持続的に運転自動化制御を行うシステムであり、事故回避を支援する予防安全システム、たとえば衝突被害軽減ブレーキや ESC (Electronic

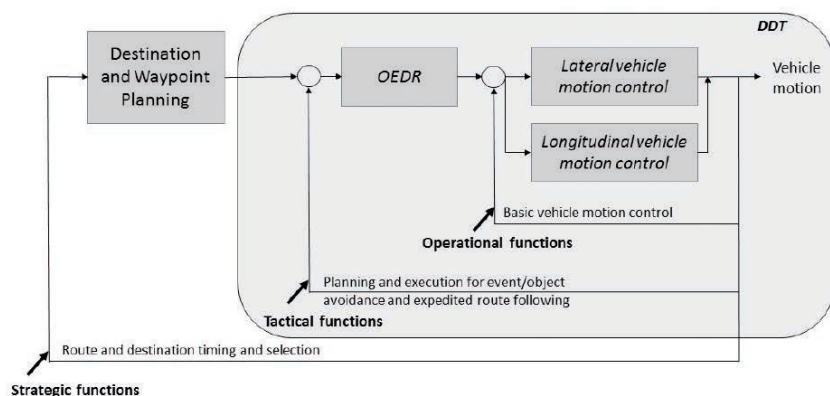


図 8.6 動的運転タスク (DDT) を含む運転スキーム (出典: SAE J3016)^[7]。

Stability Control) のように、衝突が目前に予測される際にのみ介入する制御システムは対象に含まれない。しかしながら、予防安全システムは、すべてのレベルの運転自動化システムに搭載される場合があり、とくにADSにおいては、衝突回避、軽減機能は自動運転機能の一部である。

レベルは0から5までの6段階がある(図8.7)。

レベル0は、すべてのDDTをドライバーが行う。

レベル1とレベル2は運転支援であり、DDTのうち車両の運動制御をシステムが行う。レベル1は前後方向もしくは横方向の車両運動制御を、レベル2は前後方向および横方向の車両運動制御を行う。ドライバーはOEDRを遂行、すなわち周囲の交通環境を監視し続け、適切な応答を実行する必要がある。また、ドライバーはシステムを監視する必要がある。操縦の主体はドライバーである。

レベル3, 4, 5は自動運転であり、システムが機能している間はすべてのDDTをシステムが遂行し操縦の主体となる。レベル3は「条件付運転自動化」と呼ばれ、限定されたODD内においてはシステムがすべてのDDTを遂行するが、ユーザはシステムからのRTIに対して適切にフォールバックを実行することが期待される。レベル4は「高度運転自動化」と呼ばれ、限定されたODD内においてはシステムがすべてのDDTを遂行する。フォールバックが必要な際はシステム自身がこれを実行し、MRCを達成する。レベル5は「完全運転自動化」と呼ばれ、ODDによる限定がなく、従来人間のドライバーが運転できる道路環境すべてにおいて、シス

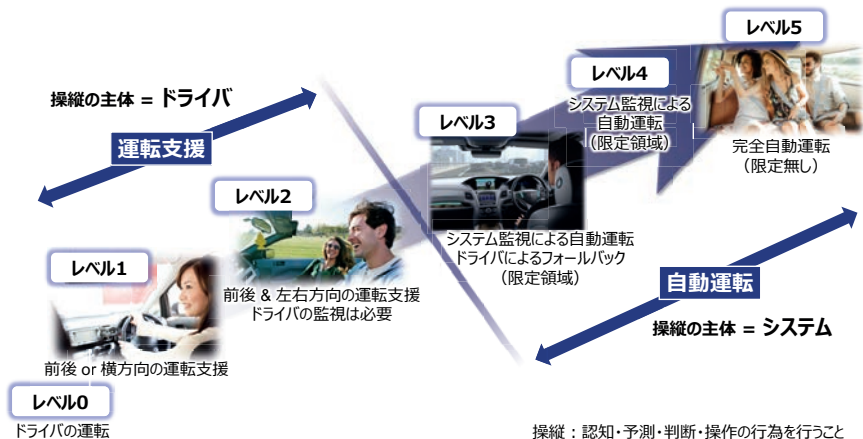


図 8.7 運転自動化システムの定義。

テムがすべての DDT を遂行する。

8.2.2 運転自動化システムの実用化状況

運転自動化レベルについて解説したが、レベルが高いほど技術難易度が高いわけではない。確かにレベル 5 はいつでもどこでも自動運転が可能なので技術難易度は極めて高いが、レベル 4 以下については ODD の広さ次第となる。

図 8.8 は縦軸に運転自動化レベルを、横軸に ODD の広さを示している。

理想となるレベル 5 の完全自動運転に向けては、二つのアプローチがある。一つは従来から販売やリースが行われているパーソナルカー向けのアプローチであり、もう一つは新たな移動サービス向けのアプローチである。

パーソナルカーは、日本で販売されれば日本のどこでも使える必要がある。全国の自動車専用道路から始まり、使用可能な道路条件、走行条件の拡大が取り組まれている。2021 年、日本において世界で初めて自動車専用道路の渋滞時におけるレベル 3 自動運転が実用化された。

一方、新たな移動サービスへのニーズとしては、ドライバーの人手不足への対応や人件費削減の期待があり、ドライバーが不要となるレベル 4 の早期展開が望まれている。レベル 4 実用化の技術難易度は高いため、ODD を狭く限定（たとえば、電磁誘導線を敷設した決められたルートで低速で走行する）しながらアプローチされている。福井県永平寺町において、遠隔監視でのレベル 3 自動運転で実績を積ん

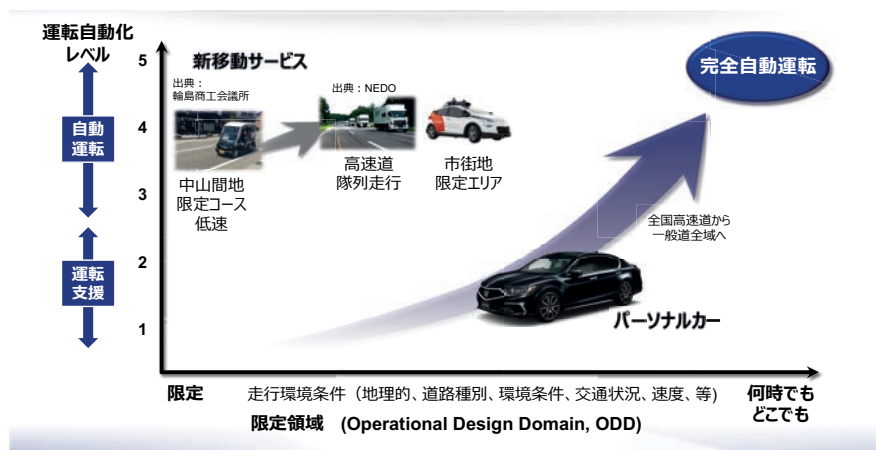


図 8.8 運転自動化レベルと走行環境条件 (ODD)。

だのち、2023年5月からレベル4での自動運転移動サービスが開始された^[10]。海外においても、アメリカ、中国において、運行地域を限定しながらサービスが導入されている。

運転自動化システムについては、レベルのみで整理するのは難しい。図8.9に、現在展開中の運転支援と自動運転をカテゴリーとして整理した。

まずベースとなるシステムとして、交通事故の回避を支援する事故回避支援がある。衝突被害軽減ブレーキやESCなどがあり、事故低減や被害軽減に大きな効果を発揮している。これらのシステムは衝突が目前に予測される際にのみ介入するシステムなので、SAEレベル定義の対象には含まれない。

その上の左側に示すのがパーソナルカーの領域で、まずレベル1から2の運転支援システムがある。代表的な機能として、前後方向の制御を行うAdaptive Cruise Control (ACC)、横方向の制御を行うLane Keep Assist system (LKA, Lane Centering Assist ともいう)がある。これらは運転支援システムなので、ドライバーは従来どおり常に周囲の安全確認を行い、必要に応じてDDTを自身で実行する必要がある。

その上に示されているのが、パーソナルカー向けのレベル3、4のシステムとなるが、いつでもどこでも自動運転が可能となるレベル5ではないので、ドライバーがDDTを行う状態と、システムがDDTを行う状態を行き来するデュアルモードの車両が想定される。

さらに右側に示したのは移動サービスの領域で、ドライバーが不要な自動運行が可能となるものである。搭乗している人間はもはやドライバーではなく乗員であり、



図8.9 運転支援・自動運転のカテゴリー。

システムが DDT を遂行する主体となる。遠隔からの通信によってフォールバックを支援するレベル 3 も考えられるが、基本的にはレベル 4 を目指している。

これらのカテゴリーについて、次節以降で順次解説する。

8.3 事故回避支援

事故回避を支援する予防安全技術としては ESC のようなシャシー制御技術も含まれるが、本節では、システムが外界センサーの情報をもとに予測と判断を行い車両を制御するシステムの代表として、衝突被害軽減ブレーキを紹介する。

衝突被害軽減ブレーキは、ドライバーの前方不注意等によって衝突が差し迫った状況において、システムがブレーキを制御して急ブレーキを実行し、衝突回避と被害軽減を支援するシステムである。2003 年に世界で初めて実用化された。対象となる衝突シーンは技術進化に伴って順次拡大されているが、当初の対象は先行車に対する追突事故であり、追突軽減ブレーキと呼ばれていた。図 8.10 に、システムの動作を示す。ドライバーが前方不注意状態に陥った等の理由で、先行車に接近してもブレーキ操作が行われない場合、システムは一次警報として表示とブザー音でドライバーの注意を喚起し、さらに触覚を伴う二次警報として電動プリテンションでシートベルトを弱く引き込みながら弱いブレーキを作動させる。それでもドライバーの操作が間に合わない場合には、シートベルトを強く引き込みながら強いブレーキを作動させることで、衝突回避と被害軽減を支援するものである。

支援の考え方としては、まずドライバーによる運転操作を中心に考え、通常の運転中には警報が発生しないよう作動タイミングが設定された。さらに強いブレーキ作動については、予想される衝突が車両運動性能として回避可能な物理的限界に近

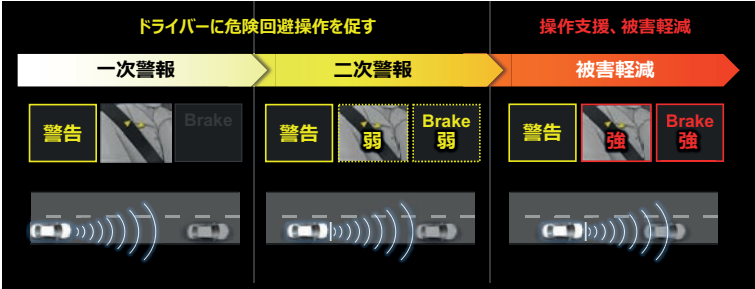


図 8.10 追突軽減ブレーキの動作。

いタイミングに設定されている。

先行車を検知するための外界センサーとしてはミリ波レーダーが採用された。近年ではカメラ画像を用いた認識技術も進化し、検知の対象物体が歩行者、自転車、二輪等へ拡大されたことでカバーされる事故類型も広がり、事故低減効果が大きく向上している。

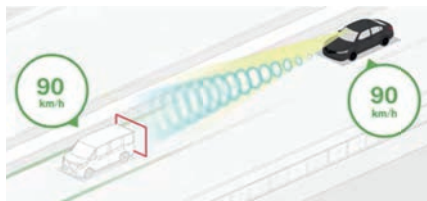
衝突被害軽減ブレーキは、日本においては2021年より装備が義務化されており、世界的にも最も代表的な事故回避支援機能となっている。

8.4 運転支援

運転支援の機能は、レベル1もしくはレベル2に該当する。すでにさまざまな機能が実用化され、現在もさらに拡張されつつあるが、本節では代表的な機能としてACCとLKAについて解説する。

ACCは国土交通省によるASV (Advanced Safety Vehicle) 技術の定義で定速走行・車間距離制御装置と呼ばれる^[11]。従来のクルーズコントロールは、設定した車速を維持するように駆動力を制御して定速走行を行うものであった。これに対してACCはミリ波レーダーやカメラにより先行車を検知し、先行車の車速が設定車速よりも低い場合には車両を減速し、先行車とあらかじめ設定された車間距離を保って追従するように制御を行う(図8.11)^[12]。自動車専用道路のほとんどの交通状況では、アクセルとブレーキの操作が不要となり、ドライバーに対する運転負荷が大きく軽減される。

LKAはASV技術定義で車線維持支援制御装置と呼ばれる^[11]。システムはカメラにより車両前方の車線を認識し、自車線内の中央を維持するようにステアリング操作を支援することで、ドライバーに対する運転負荷の軽減を図る(図8.12)^[13]。市販されている多くの車種では、ドライバーはステアリングホイールに手を添えておくことが必要であり、手を放したまま放置するとHMI (Human Machine Interface) による注意喚起が作動する。近年の一部の車種においては、高精度地図も活用することで、手を放したままでも車線維持が可能な支援を実現している。しかしながら、そのようなシステムでもレベル2の運転支援であり、ドライバーは常に周囲の安全確認を実行する必要がある。ドライバーの状態を見守るカメラが車内に設置され、ドライバーが周囲の監視を適切に実行していないと、システムがドライバーに対して注意喚起を行う。

図 8.11 ACC の動作イメージ^[12]。図 8.12 LKA の動作イメージ^[13]。

8.5 パーソナルカーの自動運転（レベル 3）

パーソナルカー向けの自動運転システムとしては、2020 年 11 月に日本において世界で初めてレベル 3 の自動運転システムが認可され^[14]、2021 年 3 月より販売が開始された。本節では、この中型乗用車に搭載された自動運転システムについて解説する。

8.5.1 システム構成

図 8.13 に自動運転（レベル 3）システムの構成を示す。

自車位置を認識する機能として衛星測位システム（GNSS）を備える。GNSS としては GPS が有名であるが、日本の準天頂衛星システム「みちびき」（QZSS）等も含む複数の衛星システムからの電波を受信し、高精度で自車の緯度経度情報を検



図 8.13 自動運転（レベル 3）システムの構成。

出する。地図 ECU（Electronic Control Unit）には日本全国の自動車専用道路の高精度地図を格納し、GNSS の情報から地図上の自車位置を同定する。高精度地図は定期的に更新され、バックエンドサーバーから通信によって車両へ配信される。

自車周辺の外界を認識する機能としては、前方カメラを 2 台、全周囲をセンシングするミリ波レーダーと LiDAR をそれぞれ 5 台搭載している。それらの情報を処理するサブ ECU も 2 台配置することで冗長系を構成する。車両前方における車線の横位置や形状、周辺の車両の相対位置、相対速度等の道路環境情報を高精度で認識する。

ドライバー状態を検知する機能として、ドライバーの注意状況を見守るためのドライバーモニタリングカメラ、ステアリングの操作状態を検知する把持センサーと操舵トルクセンサーを備える。

メイン ECU は自車位置認識、外界認識、ドライバー状態検知の情報をもとに、自車周辺の局所的な地図（ローカルマップ）を構成し、交通状況に応じた最適な行動計画を作成し、算出された軌道、車速プロファイルを目標として車両制御手段へ制御指令を出力する。

システムの動作状態は、視覚、聴覚、触覚の HMI によってドライバーへわかりやすく伝達される。とくに、ステアリング操作要否の状態を直感的に伝達するため、LED のインディケータがステアリングホイールに設置されている。

車両制御に関しては、曲がる機能の EPS（Electric Power Steering）と止まる機能のブレーキに関して、冗長設計を図っている。電源系に関しても、セカンダリバッテリーを備えて二重化の対応がとられている。

8.5.2 提供機能

システムは、自動運転機能以外にも高度な運転支援機能を提供している。図 8.14 に主な提供機能を示す。自動車専用道路に進入してドライバーがシステムを作動させると、まず前述の ACC と LKA の機能が提供される。自車位置の正確な同定など、定められた条件が満たされるとハンズオフ機能付車線内運転支援機能が起動し、ステアリングホイールから手を離すことも可能となり、ドライバーに対する運転負荷が大きく軽減される。さらにハンズオフ機能付高度車線変更支援機能を作動させると、前方に遅い先行車が存在する場合、後側方の接近車両が検知されなければ、システムはドライバーの安全確認を促しつつステアリングを制御して車線変更を実行する。遅い車を追い越した後は、もとの車線への車線変更を行う。この間も、ドラ



図 8.14 自動運転システムの提供機能。

イバーはステアリングホイールから手を放していることが可能である。これらは高度な機能であるものの、依然としてレベル2の運転支援なので、ドライバーは常に周囲の交通環境を確認する必要がある。

交通状況が渋滞となり、定められた走行環境条件（ODD）が成立すると、トラフィックジャムパイロット（Traffic Jam Pilot）機能が起動する。この機能はレベル3の自動運転であり、システムが動的運転タスク（DDT）を実行する。ドライバーは周辺の交通環境を監視する必要がなくなり、センターディスプレイでテレビやDVDなどの動画を視聴することも可能となる。渋滞が解消し車速が上がると定められた ODD から外れることになるので、システムは HMI を通じて引継ぎ要求（RTI）をドライバーに伝える。ドライバーは速やかに運転を引き継ぐ必要がある。

8.5.3 安全性の確立

自動運転を実現するに当たっての最大の課題は安全性の確立である。レベル2までは DDT の主体はドライバーであったが、レベル3以上は ODD 内のすべての DDT は自動運転システムが実行する。その際、システムに要求される安全性については、「どれほど安全ならば十分に安全なのか？（How safe is safe enough?）」、現在も国際的な議論が継続しているが、国土交通省が2018年に発行した「自動運転車の安全技術ガイドライン」^[15]には、安全性に関する基本的な考え方として「自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」が示された。カメラ、ミリ波レーダー、LiDAR による高い信頼性を有する外界認識システムや、システム全体の冗長設計、完成車とシミュレーションによる徹底的な検証を含む安全論証などを適用することにより、初めて安全

性に対する要求を満たすことが可能となった。

レベル3の自動運転については、システムからドライバーへの運転引継ぎ時における安全性確保も重要な課題となる。実用化されたシステムでは、万が一ドライバーがRTIに応えられない状況も想定し、図8.15に示すリスク最小化制御が開発された。視覚、聴覚によるRTIは、触覚（シートベルト振動）による警報も加えてエスカレーションされる。それでもドライバーの操作がない場合、システムはハザードランプ点滅とホーン吹鳴により周囲に報知しつつ、車両を徐々に減速し停車させる。路肩に安全なスペースが確認された場合は、ステリングを制御し路肩に進入して停車させる。

自動運転技術に関する基準、標準については8.7節で解説するが、自動運転の開発プロセス、安全性の検証について、これに則ればよいという具体的に確立されたものは未だ存在しない。従来から存在した安全性に関する標準を参照し、検討中の基準、標準も先取りしながら開発が行われた。

安全論証の基本方針としては、(1) ODD 内においてシステムが動作し残存リスクが許容可能な範囲内であること、(2) ODD 外においてはシステムが動作しないことの二つを証明した。ODD を適切に設計、限定することにより、残存リスクも最小化することが可能となった。

「合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」に対しては、SOTIF (ISO21448: Road vehicles — Safety of the intended functionality) の考え方を先取りし、「未知」のエリアを「既知」のエリアへ移行させる活動を徹底的に実行することで「合理的に予見される」範囲を明らかにし、さらに「既知」で「危険」なエリ



図 8.15 リスク最小化制御。

アを「危険ではない」エリアへ移行させることで「防止可能な事故が生じないこと」を論証した。

検証フェーズにおいては、シミュレーションと完成車による検証が行われた。シミュレーションとしては、ドライビングシミュレータ、MIL (Model In the Loop) シミュレーション、HIL (Hardware In the Loop) シミュレーションなどの手法を組み合わせて実行された。とくに MIL においては、ODD の対象となる国内すべての自動車専用道路を仮想空間で道路環境モデルとして再現したうえで、想定される交通流パターン、交通流パラメータを組み合わせて膨大な検証パターンを生成して確認が行われた。完成車に関しては、専用テストコースでの動作確認を踏まえ、公道検証として全国で約 130 万 km の走行が行われた。公道検証で取得されたデータはシミュレーションへフィードバックされ、検証の網羅性が担保された。

8.6 移動サービス用の自動運転

自動運転レベル 3 の実用化が主にパーソナルカーとして発展してきた一方で、自動運転レベル 4 はドライバーの存在を前提としていないことから、移動サービスへの適用に主眼を置いた検討が進められてきている。図 8.16 に経済産業省がまとめた自動運転移動サービスの類型を示す^[16]。ここに示されるように、ドライバーの存在を前提としない自動運転を移動サービスへ適用しようとした場合、サービスの形態やその提供範囲により 7 つの類型に分類される。

また、日本政府は自動運転レベル 4 を用いた移動サービスの社会実装の目標を 2025 年までに全国で 50 か所程度、2027 年には 100 か所程度とにおいて、「点から線・面へ」、「実証から実装へ」を基本コンセプトとする中長期的な社会実装計画および政府の推進体制を「デジタルライフライン全国総合整備計画」の中で示しており、民間もこの計画の達成に向け積極的な取り組みを行っている。

8.6.1 地方部における自動運転移動サービス

地方における自動運転移動サービスの社会実装代表事例のひとつとして、福井県永平寺町での「ZEN drive」が挙げられる (図 8.17)^[17]。この事業は 2021 年度より経済産業省と国土交通省が共同で進めてきた「自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト」のテーマ 1 として、社会実装に向けた実証実験が進められ、2023 年 3 月付けで道路運送車両法に基づく自動運行装置と

走行環境の類型	サービス形態	2019年度末まで	短期 (2020年度～2022年度頃まで)	中期 (2023年度～2025年度頃まで)	長期 (2026 年度頃以降)
A 【参考】 閉鎖空間 (工場・空港・港域 等の敷地内等)	低速 中速	・敷地内移動・輸 送サービス (実証実験) ・数か所の工場・空港等において、 小規模かつ閉鎖空間による技術実証 (門内員(実運用中)、羽 田・中部空港等)	・数か所の工場等で遠隔監視のみの自動運転サービスを開始。 徐々に対象を拡大 ・1:Nの遠隔監視を実施	・遠隔監視のみ ・2025年度目録に十か所以上の工場等 で遠隔監視のみの自動運転サービスが普及 ・遠隔監視におけるN数を増加	
B 限定空間 (南線路・ BRT専用区 間等)	低速 中速	・小規模な移動 サービス (実証実験) ・座席数での小規模かつ閉鎖空間による 技術実証(金沢市) ・1:Nの遠隔監視・監視を実施	・遠隔操作及び監視 ・10所程度で遠隔操作及び監視の自動 運転サービスを開始し、徐々に対 象を拡大 ・1:Nの遠隔監視及び監視を実施	・遠隔監視のみ ・数か所で遠隔監視のみの自動運転サービスを開 始 ・1:Nの遠隔監視を実施	・遠隔監視のみ ・2025年度目録に十か所以上で遠隔監視のみの 自動運転サービスが普及 ・遠隔監視におけるN数を増加
C 自動車 専用空間 (高速道路・ 自動車専用道)	高速	・トラック幹線輸 送サービス (実証実験) ・後続車有人列走行、後続車無人シ ステムの実証(新東名等)	・車内保安運転手有 (実証又はTOR対応のみ)による列走行 ・2021年度、車内保安運転手有での有人列走行を商業化。以降、発展型として車 内保安運転手有(TOR対応のみ)での有人列走行の開発・商業化。併せて、後続 車無人列走行の開発・商業化を実施 ・車間通信通信インフラの連携、トラックの運行管理の推進	・遠隔監視のみ又は車内乗務員のみ ・2025年度目録に商業化 ・車内乗務員は車庫中、 列形成時には一部無人	
D 交通環境 整備空間 (幹線道路等)	中速	・都市エリアアク シオサービス ・経路サービス ・小規模な移動 サービス (実証実験) ・数か所において、タクシー・バスによる 技術実証(お台場、みなとみらい 北九州空港周辺等)	・車内保安運転手有(実証又はTOR対応のみ)による自動運転サービスを開始 ・車内保安運転手有(実証又はTOR対応のみ)の自動運転サービスを数か所へ移行 ・1:Nの遠隔監視及び監視を実施	・遠隔監視のみ又は車内乗務員のみ ・2025年度目録に遠隔監視のみ又は車内乗務員のみ の自動運転サービスを数か所へ移行 ・1:Nの遠隔監視を実施 ・車内乗務員の場合、車内サービスを提供	
E 滞在空間 (生活道路等)	低速 中速	・ラストマイルク サービス ・フェイダーバス サービス (実証実験) ・数か所において、バス等による実証実験を実施 (地方都市等)	・遠隔操作及び監視 ・10所程度で遠隔操作及び監視の自動運 転サービスを開始し、徐々に対 象を拡大 ・1:Nの遠隔監視及び監視を実施	・遠隔監視のみ ・数か所で遠隔監視のみの自動 運転サービスを開始し、徐々に 対象を拡大 ・1:Nの遠隔監視を実施	・遠隔監視のみ ・2025年度目録に十か所以上で遠隔監視 のみの自動運転サービスが普及 ・遠隔監視におけるN数を増加

注1：当該ロードマップは、事業者からヒアリング結果を参考に作成。

実証に向けた環境整備については、今後の技術開発等を踏まえて、各地方において適切な時期や在り方について検討し、実証する。

注2：サービス開始後は、一定の収入(乗客からの運賃収入に限らず、自治体・民間企業等による間接的な費用負担を含む。)を得て継続的に輸送等の事業を行うことを意図。

注3：各類型における無人自動運転サービスの実現時期は、実際の走行環境における天候や交通量の多寡など様々な条件によって異なる可能性がある。

無人自動運転サービス実現の早期化及びサービスエリア拡大に向けた対策の例

- ①地域住民の協力や合意形成(自動運転車の走行への配慮)
- ②交差点・乗降所等におけるインフラとの連携(信号情報の整備、専用路線の整備等)
- ③遠隔監視のみの自動運転サービスが難しい交差点・乗降所等の一部区間における遠隔監視手有の自動運転サービスの組み合わせ

図 8.16 無人自動運転サービスの実現・普及に向けたロードマップ^[16]

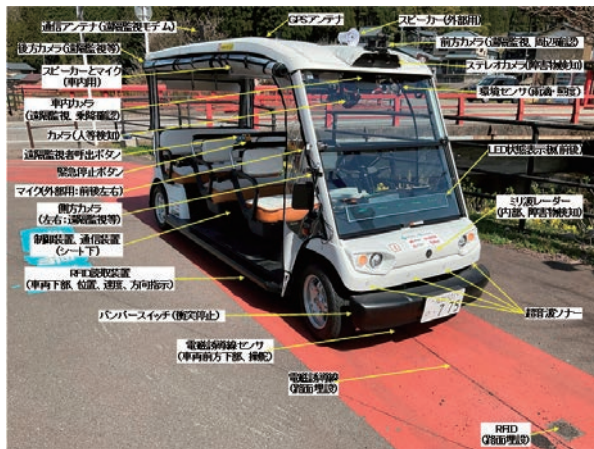


図 8.17 走行環境条件を付与された車両^[17]

しての認可、また同年5月付けで道路交通法に基づく特定自動運行の許可を取得し、事業開始に至った事例である。特定自動運行に使用する車両内にはドライバーなどは乗車せず、遠隔による監視によって同時に3台の車両が走行可能である。この事



図 8.18 自動運転専用車両「クルーズ・オリジン」^[19].

例は前述の 7 つの類型のうち、限定空間（廃線後等）低速となる類型 B に相当する。

8.6.2 都市部における自動運転移動サービス

都市部における自動運転移動サービスの事例は、2023 年末の段階では社会実装に至った事例はなく、バスおよびタクシー事業者や新興技術開発企業が公道での実証実験を実施しているにとどまっている。代表的な実施例として、東京都が進める「令和 5 年度 臨海副都心における自動運転技術を活用したサービスの構築に関するプロジェクト」による公道での実証実験が挙げられる^[18]。

上記以外にもさまざまな地域や都市で実証実験が行われている一方で、事業化を念頭に活動を進めている事例として挙げられるのが、本田技研工業がゼネラルモーターズ社および GM クルーズホールディングス社と合弁会社を設立し 2026 年初頭に自動運転タクシーサービスの開始を目指すことを、2023 年 10 月に発表した事例である（図 8.18）^[19]。このサービスは前述の類型に当てはめると混在空間（生活道路等）中速となり類型 E に相当する。この発表により都市部においても自動運転移動サービスの社会実装が本格化することが予想される。

8.7 自動運転技術に関わる基準，標準

8.7.1 自動運転に関わる国際標準化活動

自動運転の研究開発および社会実装に当たっては、社会的に認知される技術規格の策定とそれに基づく実装、実験が重要である。ここでは、代表的な国際標準化活動を紹介する。

国際標準化機構には、自動車の規格を取り扱う TC22 と高度道路交通システム

(ITS) を取り扱う TC204 という二つの技術部会があり (図 8.19), TC22 は設計標準や試験方法を主な活動範囲とし, その傘下の SC33 WG9 における自動運転の安全性検証手法である ISO 34502 は日本が策定を主導した。この規格では, 自動運転システム (ADS) のシナリオベースの安全評価フレームワークのガイダンスを提供している。フレームワークは, 製品開発中に適用されるシナリオベースの安全性評価プロセスを詳しく説明している。TC204 は車両システムの機能要件を主な取り扱い範囲としており, その傘下の WG14 で策定されたレベル 3 自動運転システムとしての ISO 23792 Motorway Chauffeur System (MCS) も日本が主導した。MCS は, フォールバック対応ユーザー (FRU) の存在を前提に, アクセスが制限された高速道路でレベル 3 の自動運転を実行するシステムとして定義され, 規格の中でシステム特性, システム状態/遷移条件, システム機能など, MCS のフレームワークについて説明されている。

このように自動運転の国際標準化活動では, 日本も主導的な立場で国際議論を牽引していることがわかる。

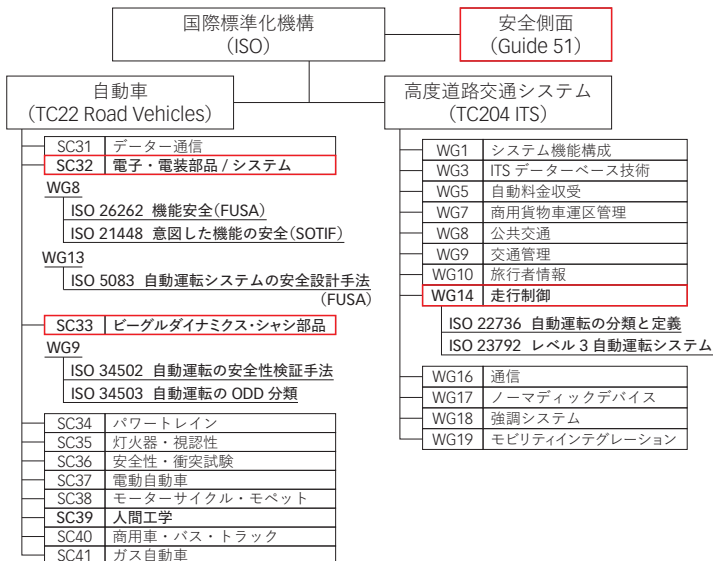


図 8.19 自動運転に関わる国際標準化活動 (ISO)。

8.7.2 自動運転に関わる国際基準調和の動向

2015年にACSF（自動命令型操舵機能）の規制緩和を目的に、IWG（Informal Working Group）が設置され検討が始まった。ここでは、操舵機能のカテゴリーをAからEまで類型化し、自動車線維持（ハンドル把持がカテゴリーB1、ハンドル非把持がカテゴリーB2）、自動車線変更（ドライバー指示がカテゴリーC、システム判断がカテゴリーD）、連続自動操舵（カテゴリーE）と整理されたが、2018年11月にカテゴリーB1およびCがUNECE R79に採用されるにとどまり、自動化度合いが高いカテゴリーB2やD、Eの基準策定には至らなかった。

2018年にはUNECEのWP29（自動車基準調和世界フォーラム）傘下のプレーキと走行装置分科会（GRRF）が再編され、自動運転とコネクティビティを取り扱う自動運転技術分科会（GRVA）となった（図8.20）。2019年6月には自動運転のフレームワークドキュメント（自動運転車の国際的なガイドラインと基準策定スケジュール等）が合意され、自動運転に関する検討が加速することとなった。とくに自動運転の機能要件を示すガイドラインを策定する自動運転機能要求作業グループ（FRAV）と、自動運転の安全性評価技術を検討する自動運転検証手法作業グループ（VMAD）により、自動運転に関する国際的な技術水準が文書として示されることとなった。この活動は2020年6月に開催されたWP29本会議において、「高速道路等における運行時に車両を車線内に保持する機能を有する自動運行装置に係る基準」となるR157の発行につながった。

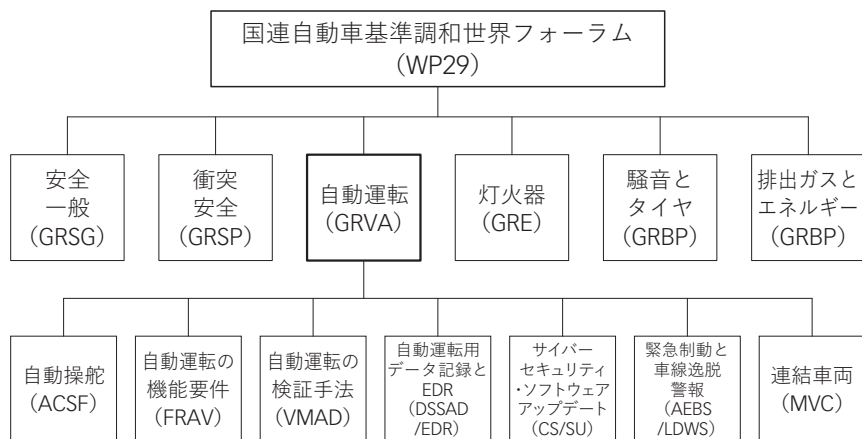


図8.20 自動運転に関する国際基準検討体制。

自動運転に対する国際基準調和の活動が進展する一方で、サイバーセキュリティの脅威も拡大しスマートフォンなどの一般的な無線通信を経由してデータを送受信する OTA (Over The Air) の技術も自動車向けに普及しつつある状況を受けて、WP29 は自動車向けの基準策定にも乗り出した。そして、2021 年 1 月に自動車のサイバーセキュリティおよびサイバーセキュリティ管理システム (CSMS) を定めた UNECE R155、ならびに自動車の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 (SUMS) を定めた UNECE R156 が発効された。

R157 および R155, R156 は自動運転に関わる主要な国際基準であり、日本においても道路運送車両法の保安基準がハーモナイズしている。

UNECE による国際基準調和活動により自動運転に関する基本的な基準が策定されたのに並行して、欧州委員会は「EU における交通安全の向上と完全な無人運転車の実現に向けた新たなルール」を 2022 年 7 月に採択した。この新しい欧州基準は、とくに高速道路でドライバーに代わる自動運転車（自動運転レベル 3）、および都市シャトルやロボットタクシーなどの完全無人運転車（自動運転レベル 4）に焦点を当て、試験手順、サイバーセキュリティ要件、データ記録規則、安全性能のモニタリング、完全無人運転車メーカーによる事故報告要件などを技術基準とするものである。

以上のような国際基準調和活動ならびに国際標準化活動に対応するため、日本政府は自動車基準認証国際化研究センター (JASIC) 内に自動運転基準化研究所を設置し、自動運転に関する国際基準調和のさまざまな課題に対して政府、産業界が連携することで、日本の国際競争力維持に向けた支援を行っている。

8.8 自動運転に関する日本政府の取り組み

2013 年に閣議決定された世界最先端 IT 国家創造宣言^[20]で、2020 年代の自動走行システム試用開始や 2020 年までに世界で最も安全な道路交通社会を実現することがうたわれ、安倍元総理大臣が国会議事堂周辺の一般道で自動運転技術搭載車両に試乗するイベントなども契機となり、日本政府は自動運転技術への取り組みを強化してきた。2014 年には、産官学が連携して推進する戦略的イノベーション創造プログラム (Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program, SIP) の一つのテーマとして「自動走行システム」がスタートした。同年、内閣総理大臣を本部長とする IT 総合戦略本部が「官民 ITS 構想・ロードマップ」を策定し、自動運転

の早期実現を目指す工程表が示された。また、2015年には、経済産業省が国土交通省自動車局と共同で「自動走行ビジネス検討会」^[21]を立ち上げ、さまざまなステークホルダーと諸外国の状況分析、競争領域と協調領域の戦略的な切り分けなどの議論を行っている。

8.8.1 自動運転実用化のための法制度整備

2016年に改訂された「官民 ITS 構想・ロードマップ2016」では、パーソナルカーの高速道路におけるレベル3を2020年を目途に、限定地域、専用空間での無人自動走行移動サービス（レベル4）を2020年までに実現を目指すことが示された。この目標に沿って、2018年には「自動運転に係る制度整備大綱」^[22]が発行され、自動運転の社会実装に必要な法制度整備が加速された。

パーソナルカーのレベル3実現に向けては、ドライバーに対する道路交通法、車両に対する道路運送車両法の二つの改正法規がセットで2020年4月に施行となり、世界で初めて法制度整備が完了した。これにより、2020年11月には世界で初めてトラフィックジャムパイロットを搭載したレベル3の自動運転車の型式指定が行われた^[14]。

また、無人自動走行移動サービスに向けての法規改正も行われ、2023年4月に施行された。2023年3月には福井県永平寺における無人自動走行移動サービスとして運行される車両が自動運転車（レベル4）として認可され^[23]、同5月よりサービスが開始された。

8.8.2 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の取り組み

SIPは内閣府総合科学技術・イノベーション会議が司令塔となり、従来の府省庁の枠を越えて産官学連携を推進しながら、実用化、事業化の出口まで見据えて一貫通貫に研究開発を推進する国家プロジェクトである。自動運転に関しては、SIPの第一期、第二期を通じて2014年度から2022年度まで9年間にわたって取り組まれた^[24]。

まず第一期としては、自動運転技術に関わる競争領域、協調領域の整理がなされ、SIPでの取り組みは図8.21に示す協調領域にフォーカスされた^[25]。

高精度なデジタル地図を基盤としたダイナミックマップについては、SIPにおける取り組みの出口としてダイナミックマップ基盤企画株式会社が設立され、後にダイナミックマップ基盤株式会社として事業化された。日本全国の高速道路と自動車

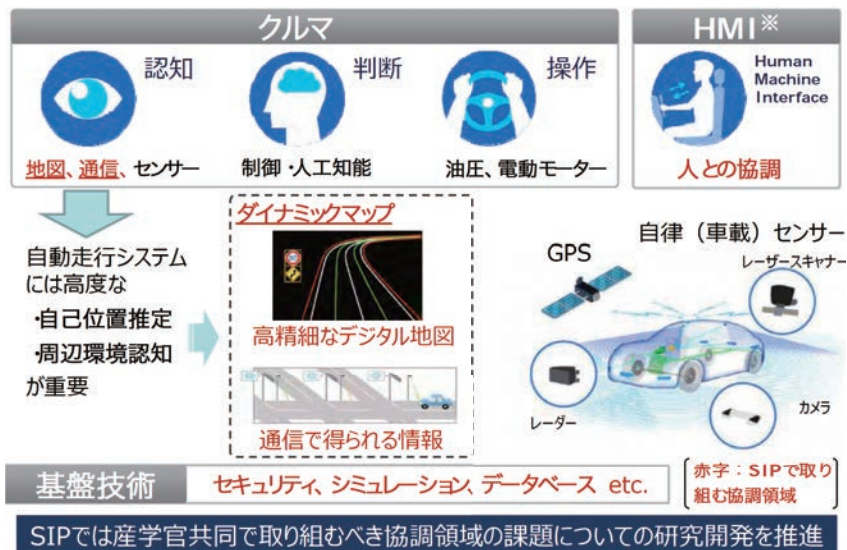


図 8.21 SIP 自動走行システム 第一期の取り組み (出典：SIP シンポジウム 2017)^[25]。

専用道路、約 3 万 km に対して高精度 3D 地図が整備され、2019 年にレベル 2 の高度な運転支援システムに、2021 年にはレベル 3 自動運転システムに採用された。

第二期においては、4本の柱として実証実験、技術開発、社会的受容性醸成、国際連携が推進された。このうち、技術開発としては、信号情報、V2X 情報、車両プローブ情報等から構成される交通環境情報、仮想空間での安全性評価環境、HMI、セキュリティ等が取り組まれた。仮想空間での安全性評価環境については、仮想空間においてさまざまな条件の走行環境を再現し、シミュレーションによって安全性を検証することが目的とされた^[26]。とくにセンサー出力情報の再現精度を高めるために、各センサーの検出原理と、光や電波の反射特性に関する詳細な計測に基づいて、センサーモデル、環境モデルを構築し、実際のセンサー出力とモデルによるセンサー出力の一致性検証を行った(図 8.22)^[27]。その結果、ゴースト現象と呼ばれるトンネルにおけるミリ波レーダーの不要反射出力や、降雨、濡れた路面、逆光等、光を用いたセンサーにとって厳しいさまざまな環境条件におけるセンサー出力をシミュレーションで再現して評価することが可能となっている。本開発は、DIVP (Driving Intelligence Validation Platform) コンソーシアムで推進され、後に V-Drive Technologies 株式会社として事業化された。

検証の取組

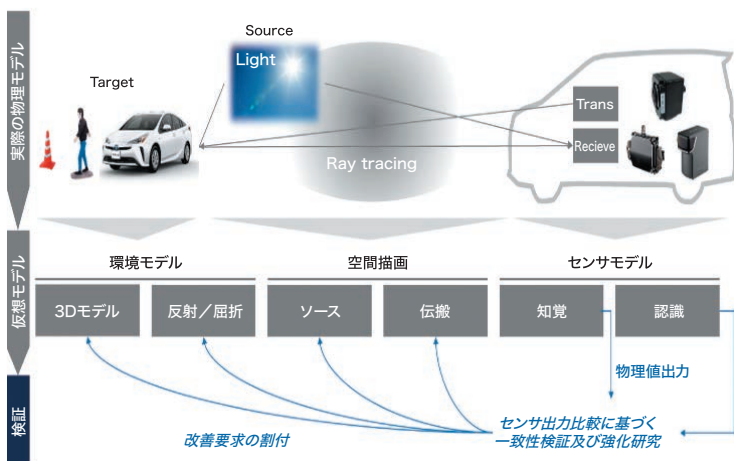


図 8.22 仮想空間モデルとセンサーモデル（出典：SIP 第 2 期自動運転最終成果報告書）^[27]。

8.9 今後の進化

パーソナルカーについては、自動運転システムは自動車専用道路における渋滞時のレベル 3 自動運転機能から、自動車専用道路全域におけるレベル 3 自動運転機能への進化が想定されている。自動運転システムの普及には時間がかかると想定されるが、その開発過程で培われる技術は運転支援の急速な進化に活用されつつある。事故回避機能は、有効に機能できる事故シナリオが拡大されることで、より一層の交通事故低減効果が期待される。運転支援機能については、従来の自動車専用道路における支援から、一般道を含めたシームレスな支援に進化し、ドライバー、とくに高齢ドライバーや運転に不慣れなドライバーに対する運転負荷の軽減に寄与していくだろう。

移動サービス用の自動運転については、公共交通機関や物流領域で深刻化するドライバー不足問題への対応として大いに期待されている。しかしながら、完全無人運転のレベル 4 自動運転は高度な技術と大掛かりな運用システムを要し、大きな投資が必要である。需要の大きい都市部での事業展開が考えられるが、公共交通機関も維持することが困難な地方部においては、より軽い投資と運用費で成立可能な運行形態が求められる。完全無人ではなく補助的支援要員の搭乗を伴う運用、住民の理解による走行空間の確保、他事業との連携などとあわせ、それぞれの地域ニーズ

に適合した移動サービスの導入が求められる。

自動運転技術の社会実装を拡大するには、技術的な課題に加えて社会的受容性の醸成、倫理的な検討も含めた法整備、交通社会設計と持続可能な事業モデルなど、さらなる産学官民の連携が肝要である。自動運転と運転支援のさらなる進化と普及拡大によって、誰もが事故なく安全安心に、いつでもどこへでも自由に移動できる社会が実現されることを期待する。

参考文献

- [1] Marc Weber, “Where to? A History of Autonomous Vehicles”, CHM (Computer History Museum), <https://computerhistory.org/blog/where-to-a-history-of-autonomous-vehicles/> (2023年10月31日閲覧)。
- [2] National Highway Traffic Safety Administration (Department of Transportation), *Report on the First International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles*, 1971.
- [3] 国土交通省道路局, 「AHSとASVの開発経緯」, <https://www.mlit.go.jp/road/ITS/j.html/2002HBook/appendix/6-4j.html> (2023年10月31日閲覧)。
- [4] 古川修ら, 「ホンダAHSの概要」, *Honda R&D Technical Review*, Vol. 8, pp. 12-20, 1996.
- [5] Defense Advanced Research Projects Agency, “The DARPA Grand Challenge: Ten Years Later”, <https://www.darpa.mil/news-events/2014-03-13> (2023年10月31日閲覧)。
- [6] Defense Advanced Research Projects Agency, “DARPA Urban Challenge”, <https://www.darpa.mil/about-us/timeline/darpa-urban-challenge> (2023年10月31日閲覧)。
- [7] Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles J3016_202104, SAE International, 2021.
- [8] 公益財団法人自動車技術会, 「自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義 (SAE J3016:2021 日本語参考訳)」, *JASO Technical Paper*, No. TP-18004-22, 2022.
- [9] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議, 「官民ITS構想・ロードマップ2017」, 2017.
- [10] 経済産業省, 「国内初！レベル4での自動運転移動サービスが開始されました」, <https://www.meti.go.jp/press/2023/05/20230522004/20230522004.html> (2023年10月31日閲覧)。
- [11] 国土交通省自動車局先進安全自動車推進検討会, 「主要なASV技術の概要 (第6期先進安全自動車(ASV)推進計画第6期報告書資料編より)」, 2021.
- [12] 本田技研工業株式会社, 「アダプティブ・クルーズ・コントロール (ACC)」, https://global.honda/jp/tech/Adaptive_Cruise_Control_ACC/ (2023年10月31日閲覧)。
- [13] 本田技研工業株式会社, 「車線維持支援システム (LKAS)」, https://global.honda/jp/tech/Lane_Keeping_Assist_System_LKAS/ (2023年10月31日閲覧)。
- [14] 国土交通省自動車局, 「世界初！自動運転車 (レベル3) の型式指定を行いました」, https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha08_hh_003888.html (2023年10月31日閲覧)。
- [15] 国土交通省自動車局, 「自動運転車の安全技術ガイドライン」, 2018, <https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf>
- [16] 経済産業省自動走行ビジネス検討会, 「自動走行の実現に向けた取組報告と方針」Version4.0 報告書概要, 2020.
- [17] 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 「遠隔監視のみのレベル4の自動運転車両に対する国内初の認可を取得」, https://www.aist.go.jp/aist_j/news/au20230331.html (2023年10月31日閲覧)。
- [18] 日本工営株式会社, 「令和5年度臨海副都心における自動運転技術を活用したサービスの構築に関

- するプロジェクト」, <https://autonomouscar-tokyo.jp/rinkaifukutoshin/index.html> (2023 年 10 月 31 日閲覧).
- [19] 本田技研工業株式会社, 「日本での自動運転タクシーサービスを 2026 年初頭に開始予定」, <https://global.honda.jp/news/2023/c231019a.html> (2023 年 10 月 31 日閲覧).
- [20] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部 (IT 戦略本部), 「世界最先端 IT 国家創造宣言」, 2013.
- [21] 経済産業省, 「自動走行ビジネス検討会」, https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/jido_soko/index.html (2023 年 10 月 31 日閲覧).
- [22] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議, 「自動運転に係る制度整備大綱」, 2018.
- [23] 国土交通省自動車局, 「国内初! 運転者を必要としない自動運転車 (レベル 4) の認可について」, https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000442.html (2023 年 10 月 31 日閲覧).
- [24] 内閣府, 「自動運転 (システムとサービスの拡張) SIP-adus」, <https://www.sip-adus.go.jp/> (2023 年 10 月 31 日閲覧).
- [25] 葛巻清吾, 「自動走行システム」, SIP シンポジウム 2017, 内閣府, 2017.
- [26] 井上秀雄, 「仮想空間における自動走行評価環境整備手法の開発」, SIP 第 2 期自動運転最終成果報告書, pp. 108-119, 内閣府, 2022.
- [27] 保坂修ら, 「安全性確保に向けた技術開発と教育 (概要)」, SIP 第 2 期自動運転最終成果報告書, pp. 104-107, 内閣府, 2022.