

# 米国、世界初のレベル 4 自律走行車の安全規格

米州

米国では、SAE 基準レベル 4 の自律走行車の安全規格策定を、産業界が主導して進めている。Underwriters Laboratories (UL、イリノイ州 Northbrook) は 2020 年 4 月 1 日に、自律走行製品の安全評価規格である UL 4600 を発行した。UL 4600 は国家規格 ANSI としての発行となっている。自動運転レベル 4 以上を対象とする安全規格は世界初である。

日本と欧州では、国連 WP29 において自動車基準認証制度としてレベル 3 の自動運転の枠組みと認証基準を策定しており、ステアリング (ALKS) は 2020 年 6 月に承認された。残り (認証テスト方法、DSSR データストレージ等) は 2021 年に確定するスケジュールで基準策定が

進められている。だが、レベル 4 以上の基準策定には着手していない。一方、型式認証制度が無い米国では、産業界が標準規格を策定することで、一定の基準を保っている。自律走行車では、Waymo、GM、Ford 等の導入計画に合わせて、レベル 4 以上の標準規格策定が進められている。UL 4600 はそうした動きの中で発表された。

自動車の技術が ADAS からレベル 2、レベル 3 の自動化へと進化するとともに、安全規格も ISO 26262 第 2 版や ISO 21448 (SOTIF) が策定されてきた。ISO 26262 はフェイルセーフ、ISO 21448 は意図した機能の安全性を規定している。ISO 26262 がシステムエラーを前提とし

## 【UL、自律走行車レベル 4 以上の安全規格 UL 4600 を発行(2020 年 4 月)】

<p><b>▽UL 4600 発行</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>米国の Underwriters Laboratories (UL) は 2020 年 4 月 1 日、自律走行製品の安全評価規格である「UL 4600 (Standard for Safety for Evaluation of Autonomous Products)」の発行を発表した。</li> <li>UL 4600 は ANSI (American National Standards Institute、米国国家規格協会) の規格として採用されており、SAE の自動運転レベル 4 以上に対応した世界初の安全規格となる。</li> <li>自律走行車など、人間の監督を伴わない (人間が運転しない) 自律走行製品を評価するための安全に関する原則とプロセスをまとめたもの。乗用車、SUV などの小型自動車 (LV) が対象。</li> <li>自律走行車の安全に関する専門家である Edge Case Research の Philip Koopman 博士と協力して規格を策定した。また、策定に際して、産業界、学会、政府機関などが規格策定パネル STP (Standard Technical Panel) に参加。データ提供、提案内容の確</li> </ul>	<p>認、採決を経て、規格発行に合意した。パネルにはドイツ、英国、スウェーデン、中国、シンガポールなどの国からも参加している (次頁参照)。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>UL 4600 シリーズとして、今後大型トラックの規格も策定する予定 (UL 4600-2)。さらに、航空、海洋における自律走行製品も視野に入れている。</li> </ul> <p><b>▽UL の概要</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>UL は、米国イリノイ州 Northbrook に本社を置く第三者安全科学機関で、1894 年設立。調査、規格開発は非営利活動、試験、検査、認証、検証業務は営利活動として推進。</li> <li>UL が発行する UL 規格の 60% は米国の国家規格協会 (ANSI) の規格として採用されている。</li> </ul>
--	--

(UL Japan 広報資料より作成)

## 【ISO 26262/21448 と UL 4600 規格の特徴】

規格	ISO 26262	ISO/PAS 21448 (SOTIF)	ANSI/UL 4600
発行時期	初版 (Ver 1.) 2011 年 11 月 第 2 版 (Ver 2.) 2018 年 12 月	2019 年 1 月発行	2020 年 4 月発行
安全性の分野	機能安全 (フェイルセーフ)	意図した機能の安全性 (=SOTIF、 Safety Of The Intended Functionality)	自動運転の安全性論証、 自律走行製品の安全評価規格
策定目的	ADAS	自動運転レベル 3 への対応	自動運転レベル 4 以上に対応
前提	人間が運転	人間ドライバーが責任を持つ	人間が運転しない自律走行車
規格の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>システムが故障した際、危害を及ぼすリスクを許容できるレベルまで低減させる安全方策 (フェイルセーフ)。</li> <li>機能安全の定義は、「電気・電子 (E/E) システムの機能不全のふるまいにより引き起こされるハザードが原因となる、不合理なリスクの不在」に限定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>意図された機能面での不足に起因する危険、または合理的に予見可能な誤使用を原因とする不合理なリスクをなくすことを SOTIF と呼ぶ。</li> <li>潜在的に危険なシステムの動作に直接つながる可能性がある合理的に予見可能な誤使用も、SOTIF 関連の危険な事態を直接引き起こす可能性のある事態とみなす。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人による監督を伴わない SAE レベル 4 以上の自動運転を評価するための、安全に関する原則とプロセスを含む。</li> <li>セーフティケースを規格策定の中心に位置づけ、「自動運転が十分に安全であると論証する構造化された方法」を提示する、ゴールベースドアプローチ。技術中立となる。</li> </ul>
規格のポジション	<ul style="list-style-type: none"> <li>産業全般の機能安全を対象とする IEC 61508 の分野規格として、自動車に適合する機能安全規格が ISO 26262 として発行された。</li> <li>(IEC は国際電気標準会議、電気/電子の国際標準化機構)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO 26262 はシステムエラーが発生した場合の安全上のリスクへの対処が目的であるが、ISO/PAS 21448 はシステムエラー以外の安全上のリスクを想定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO 26262、ISO 21448 とは競合せず、これら ISO 規格の成果を UL 4600 においても利用することが可能。UL 4600 は ISO 26262、ISO 21448 を補完する関係となる。</li> <li>ANSI は米国国家規格。</li> </ul>

注) PAS= Publicly Available Specification (一般公開仕様書)、ANSI=American National Standards Institute (米国国家規格協会)

(UL Japan 資料より作成)

# UL 4600 を発行、将来の規格一本化へ SAE と連携

自動運転安全規格

た安全上のリスクの対処を規定しているのに対し、SOTIF ではシステムエラーが起こっていないと、起こり得る安全上のリスクを規定している。だが、人間が運転しない自律走行車には、それら既存の規格だけでは不足であるため、レベル 4 以上の自律走行車の安全を担保するために UL 4600 が開発された。

UL 4600 はセーフティケースを中心に構成されており、要求(Claim)が達成されていることを証拠(Evidence)をもって論証(Argument)するプロセスを規定している。規範を示すのではなく、自律走行車がなぜ安全であるのか、その説明を求める内容となっている。UL はこれを「ゴールベースド」アプローチと呼んでいる。これにより、

開発プロセスの柔軟性を許容し、特定の技術にとらわれず技術中立が可能となっている。また、ISO 26262、SOTIF と競合するのではなく、それぞれの目的に沿って重ねて使われることを想定している。

近年では CASE 技術の進화가著しいため、標準化活動が追いついていない現状がある。米国の規格策定団体には、SAE(自動車)、IEEE(電気/電子)、UL など複数の機関があり、それぞれの分野で業界標準を策定してきた。だが、技術進化スピードが速く、国際競争の様相も増してきた自動運転分野で、米国の国家規格としての標準化を進めたい意向もある。2020 年 1 月に米国連邦運輸省(US DOT)が発表した AV 4.0 で、国として

## 【UL 4600 規格の概要】

### ▽UL 4600 の狙い

• ADAS(先進運転支援システム)や自動運転に関わる規格として、ISO 26262 と ISO 21448(SOTIF)が存在するが、SAE 基準レベル 4 以上の自動運転車にはそれだけでは不足である。これら 2 つの ISO 規格のそれぞれの目的に加えて、人間が運転しない自律走行車の安全を担保するために UL 4600 規格が策定された。

### ▽既存の ISO 26262/ISO 21448 の安全性

• ISO 26262 は機能安全であり、システムが故障した際にリスクを許容できるレベルまで低減させるフェイルセーフを規定している。対象が、電気・電子(E/E)システムの機能安全のふるまいに引き起こされるハザードが原因となる、不合理なリスクの不在に限定される。

• SAE レベル 3 の自動化には、ISO 26262 だけでは安全を担保できないため、ISO 26262 の不足をカバーする形で ISO 21448 が発行された(2019 年 1 月公開)。ISO 21448 は意図した機能の安全性(SOTIF)を担保するもの。ISO 26262 がシステムエラーを前提とした安全上のリスク対処を規定しているのに対し、システムエラーが起こっていないと、起こり得る安全上のリスクを想定している。

• ISO 21448 の起こり得る安全上のリスクは、「性能限界」、「機能的な不足」、「予測可能な誤操作・誤使用」の 3 つのアプローチがある。

– 「性能限界」とは自動運転に求められる性能をシステムとして満たさないこと。システムに運転を委ねるには、システムの性能限界を明確にする必要がある。

例) LiDAR の測距などの性能限界

– 「機能的な不足」とは、特定の環境下で自動運転できないケース。

例) 標識が重なっている。雪などによる視界不良。

– 「予測可能な誤操作・誤使用」とは、人間が運転操作に関与する前提(レベル 3)で、人間が誤操作した状況下でも予測可能ならば安全を担保するもの。

例) アクセルとブレーキの踏み間違え

• ISO 26262 と ISO 21448 は、安全な車両を設計するための重要な指針を提示している。いずれも人間のドライバーの存在を前提にしているため、SAE レベル 3 以下の自動運転が対象となっている。

• ISO 26262/ISO21448 は、特定の技術的要件と検証方法を課すとともに、指定された設計プロセスに従うことによって、安全が確保されるようになっている。

## 【UL 4600 の規格策定パネル(STP)への参加者】

Ansys (米国、ソフトウェア開発支援)	Nissan North America Inc. (米国、自動車メーカー)
Argo AI (米国、自動運転システム開発)	NXP Semiconductors (オランダ、半導体)
Aurora Innovation (米国、自動運転システム開発)	Oak Ridge National Laboratory (米国、研究所)
AXA XL (米国、保険)	Pennsylvania Department of Transport(米国、州政府)
Azevtec Inc (米国、自動運転システム開発)	Renesas Electronics Europe GmbH (ドイツ、半導体)
Beijing Research Institute of Automation for Machinery Industry (中国、研究所)	The Mitre Corporation (米国、研究所)
Edge Case Research (米国、研究所)	Uber Technologies, Inc. (米国、モビリティサービス)
Infineon Technologies AG (ドイツ、半導体)	University of Waterloo (カナダ、大学)
Intel Corp (米国、半導体)	University of York (英国、大学)
KATECH (韓国、研究所)	US Department of Transport (米国、政府)
Nanyang Technological University (シンガポール、大学)	Veoneer (スウェーデン、サプライヤー)

注)STP 参加者の投票により、規格を策定する。STP には 32 企業が参画しているが、上記は公開可能な一部のみ。STP のほか、意見をコメントするステークホルダーとして 190 社が参加している(2020 年 10 月現在)。

国家規格策定を積極的に進めていく方向性が示されたことを背景に、これまで無かった規格策定機関間の連携を行うことになった。

米国では GM、Ford、トヨタを発起人に自動車業界が、SAE 内の ITC 組織を活用してコンソーシアム AVSC(Automated Vehicle Safety Consortium)を形成

(2019年4月)。公道テスト方法、ODDコンセプトフレームワーク、EDR(Event Data Recorder)など多様なベストプラクティスを発表している。2020年6月にはULとそのSAEが自律走行車の規格開発について連携することに合意した。今後、UL 4600規格は、今後自動車業界のSAE規格に参照される形で使われる見込みである。(田中)

【UL 4600 規格の概要】(つづき)

▽UL 4600 の特徴

- UL 4600 は、人間のドライバーによる監督を伴わない(すなわち人間が運転しない)レベル 4 以上の自動運転を評価するために策定された。
- セーフティケースを規格策定の中心に位置づけ、「自動運転が十分に安全であると論証する構造化された方法」を提示している。セーフティケースは、要求(安全の達成)、論証、証拠の3つの要素で構成された、安全の論証方法である。ISO 26262においてもセーフティケースは参照されているが、UL 4600では規格の中心にセーフティケースを置いていることが異なる。
- セーフティケースは、自動運転車が安全であることを目標にする。目標を明確にする「ゴールベースドアプローチ」を取る。目標を達成するならば、設計プロセスは不問となり、技術的に中立となる。

【ゴールベースドアプローチ】

- UL 4600 は規範を示すのではなく、ゴールベースドのアプローチをとる。自動運転車がなぜ安全であるのか、その説明(証拠による論証)を求める。
- ゴールベースドアプローチは、設計プロセスの柔軟性を許容する。論証できれば良く、特定の設計プロセスや、特定の技術にとらわれることはない。検証方法も指定しない。そのため、技術的に中立となる。

【セーフティケースの論証】

- セーフティケースによる論証を行う。セーフティケースは、要求(安全の達成)、論証、証拠(作業成果物)の3つの要素で構成された、安全の論証方法である。
- 要求(Claim)は、一般的なシステムレベルの安全要求や要素レベルの安全要件など、特定の状況で安全であることを説明。
- 論証(Argument)は、なぜ要求が達成されたかについての説明。
- 証拠(Evidence)は、分析、シミュレーション、テスト結果に基づき、論証が有効であることを示す。

《ゴールベースドアプローチ》

例)センシング

- 様々なセンサーが存在するが、UL 4600では特定のセンシング技術を要求しない。運行設計領域(ODD)の範囲内で、センサーが対象物を正常に検出し、識別できることをセーフティケースで論証することができれば、センシング技術の種類を問わない。結果が全て(=ゴールベースド)。
- また、市場導入前の路上試験の累積距離を課すことはない。分析、シミュレーション、テストコース、公道試験の組み合わせで、システムの安全性が適正なレベルで確保されていることの論証を求めている。このアウトプットの組み合わせで論証するプロセスを提示している。

▽開発プロセスでの使い易さを追求

- UL 4600 にはセーフティケース事例のハザードなど広範なリストが用意されている。規格策定に参加した諸機関が提供したデータも含まれている。
- 各社個別の自動運転システムの能力に応じた運行設計領域(ODD)の対応もしている。
- ODD とは、設計上、自動運転システムが作動する前提となる条件。走行環境や運用方法を制限する。

【ODD の分類と例】

道路条件	高速道路、一般道、車線の数、車線の有無、自動運転専用の道路、等
地理条件	都市部、山間部、ジオフェンスの設定、等
環境条件	天候、夜間制限、等
その他条件	速度制限、信号情報等のインフラ協調の要否、特定された経路のみに限定すること、保安要員の乗車の要否、等

- UL 4600 は、セーフティケースをつくるうえで、想起できる事例やビットフォール(見落としがちな事例)を、網羅的ではないが示している。

▽UL 4600 の範囲外となるもの

- リスクを軽減するための、人による動的制御タスクの実行、または監視
- 人とシステム間のタスクの移動(レベル3に発生する)
- 製品個別の意図した機能や要件
- 倫理的なガイドライン

▽他規格との関係

- UL 4600 は既存の ISO 26262、ISO/PAS 21448 規格と競合する規格ではない。UL 4600 は ISO の両規格を補完するものとなっている。ISO 26262、ISO 21448 への適合の成果物は UL 4600 でも利用可能で、適合プロセスが冗長にならないように配慮されている。

《セーフティケースの例》

要求(Claim):

「自動運転車は歩行者に衝突しない」

論証(Argument):

「自動運転車はあらゆるタイプの歩行者を検出する」  
「自動運転車は歩行者を検知し止まる、あるいは衝突を回避する」  
「我々は歩行者検知の困難な状況を引き起こすリスクを定義し、そして軽減した」

証拠(Evidence):

「検出と回避テストの結果」  
「様々なタイプの歩行者のカバレッジ分析」  
「高い歩行者カバレッジを示す信頼性の成長データ」

(UL Japan ヒアリングおよび提供資料より FOURIN 作成)

## 【ULとSAE、自律走行車の規格開発連携を発表(2020年6月2日)】

- ULとSAE International(米国自動車技術会、以下SAE)は2020年6月2日、自動運転およびその他の自動車アプリケーション製品に重点を置いた協力関係を関係を締結、覚書(MOU)を交わした。
- 規格策定団体であるULとSAEは、それぞれ自律走行車の規格策定を手がけているが、業務の効率化を図るために協力することで合意した。
- 合意内容は以下のとおり。
  - ①両団体間のコミュニケーションの促進
  - ②重複作業の極小化
  - ③相互の規格策定活動の情報共有と規格策定知識の向上
  - ④相互の規格策定活動へ関係者の参加促進

- ⑤共同規格策定イニシアチブの特定と実行
  - ⑥既存の共同規格策定および発行プロセスの改善
  - ⑦他の規格策定団体との協働合意の機会創出
- ULは2020年4月1日に自律走行車の安全規格であるUL 4600を発行している。一方、SAEは自動車産業の分野の規格策定を行う主要団体で、規格策定を進めている。
  - SAEのJack Pokrzywa氏(Global Ground Vehicle Standards Director)は「さまざまな地域の委員会により策定された慣例を調和させて、混乱と作業の重複を避ける必要がある。SAEとULは協力して、SAE路上自動運転専門委員会(ORAD)が策定する規格にUL 4600の側面を適用することに同意した」と述べた。

(UL Japan 広報資料より)

## 【米国、SAE/AVSCの標準化動向(自動車業界主導)】

## ▽AVSCの発足

- AVSC(=Automated Vehicle Safety Consortium)はFord、GM、トヨタの自動車メーカー3社が参加して、SAE ITC (Industry Technologies Consortia)のプログラムとして2019年4月に設立された。
- 2019年末までにHonda、Daimler、VWグループ、Uber ATG、Lyftが参加した。安全で社会の利益となるLevel 4/5の自動化システムの社会受容醸成を目的とする。
- SAE ITCはSAE International傘下の非営利業界団体。SAE Internationalはエンジニア個人がメンバーであるが、SAE ITCは諸機関が構成メンバーの中心。航空、オフロード、自動車、モビリティ等専門分野毎にコンソーシアムを形成して標準化活動を行っている。



## ▽EDRガイドライン発行

- 自動車メーカー主導のコンソーシアムであるAVSCは2020年9月20日にEDR(Event Data Recorder)のベストプラクティスを発行した。タイトルはBest Practice for Data Collection for Automated Driving System Dedicated Vehicles(ADS-DV) to Support Event Analysis。
- SAE基準レベル4およびレベル5を対象とする。38のデータ要素収集に関するベストプラクティスとなっている。
- AV(自動運転車)が「見た」あるいは「行った」情報を収集する。
- ADS(自動運転システム)が人間ドライバーに取って代わると、センシング、プロセッシング、コントロールのシステムについて新たなことを考慮しなければならない。「ADSの事故分析のため、常時データを収集し安全に役立てる必要がある。」(Amy Chu氏, AVSC Director)

## ▽AVSCのベストプラクティス発行

- AVSCはこれまでに3件のベストプラクティスを発行している。
- 公道テスト方法(セーフティドライバー):  
Automated Vehicle Testing Safety Operator Procedures Released by Collaborative Group of Top Vehicle Manufacturers and Ride Share Providers(2019年11月12日)
- ODDコンセプトフレームワーク:  
Describing an Operational Design Domain: Conceptual Framework and Lexicon(2020年4月30日)
- 乗員による緊急停止と緊急コール:  
Best Practice for Passenger-Initiated Emergency Trip Interruption(2020年7月9日)

## ▽モビリティデータコンソーシアムの発足

- 2019年12月10日、データからモビリティを改善するためのフレームワーク作成を目的としたコンソーシアム「Mobility Data Collaborative」が発足した。
- 米国SAE ITC(Industry Technologies Consortia)のプログラムだが、産業界横断の中立的な組織。
- モビリティの世界において、自動車・自転車・キックスケーターなどのシェアリング事業が新たなサービスとしてビジネス化している。この新サービスが生むビッグデータからベストプラクティスを導き、交通政策やインフラ計画策定に有効活用することが狙い。
- 発足時点の加盟企業・団体は14社・機関。行政側ではBellevue市、Tallahassee市、Denver市議会、Miami-Dade郡など。また、モビリティサービス側からBird(eスケーターシェアリング)、Ford傘下のSpin(同)、Lyft(配車サービス)、Uber(同)、北米自転車シェア協会が参加している。

## ▽新モビリティデータのベストプラクティスの発表

- Mobility Data Collaborativeは2020年5月5日、シェアモビリティデータの分類基準とガバナンスについて、以下の2つのベストプラクティスを発表した。ガバナンスにはデータのプライバシー、透明性、データ所有などの内容を含む。
- Data Sharing Glossary and Metrics for Shared Micromobility(シェアマイクロモビリティのデータシェア用語および基準)
- Guidelines for Mobility Data Sharing Governance and Contracting(モビリティデータシェアのガバナンス)

## ▽米中独連携自動運転認証方法の発行

- 米国、中国、ドイツの5機関が提携して、IAMTS(International Alliance for Mobility Testing and Standardization)を設立。2019年4月10日、SAEの年次総会WCXで発表した。
- IAMTSでは、自動運転車テストのエコシステムと将来の成長のために協力し、テスト手法と認証方法を開発する。
- IAMTSはSAEのITCの下で立ち上げられたAVSC(Automate Vehicle Safety Consortium)とも協力する。
- 創設メンバーの5機関は以下。
  - 米国SAE(自動車技術者協会)
  - 中国CATARC(中国自動車技術研究センター)
  - 中国Shanghai Intelligent Automotive Center(SIAC)
  - 中国ITIC(International Transportation Innovation Center)
  - ドイツTÜV SÜD(第三者試験機関)
  - オーストリアAVL
- IEEE(標準化団体)、Michigan大学MCity、Florida Polytechnic大学、GoMentum(テスト施設)、CAR(ミシガン州)、Velodyn、(以上米国)、独Tilke、韓KAIPI(Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute)が発足後に参加。米Humanetics(衝突安全分析用ダミーの開発製造)、オランダTNOなどの安全評価関係機関も参加している。

(SAE ITC/AVSC資料、各団体広報資料より作成)