



自動運転の普及で見直しを迫られる人間と車両の関係性

完全自動運転車両の時代はすぐそこまで来ています。しかし、自律システムがあらゆる条件、環境、状況に対応できるようになるまで、自動運転は人と機械の連携プレーであり続け、人の存在は運転に不可欠です。

この連携プレーを続けながら技術を発展させるうえで、明確な課題がいくつかあります。現在、多くのOEMはレベル2以上の高度な部分運転自動化、レベル3の条件付運転自動化へと移行しています。ドライバーを特定の運転作業から一定時間解放する機能にとどめることで、性能と車両コストのバランスを取っているのです。このメリットを裏返せば、人が介入して車両を制御しなければならない場面もあるということです。

ハンドオフ、つまり制御の引き継ぎを可能な限り滑らかに行うことは、自動化システムが目指すところであり、またそれと同じぐらい人間にとっての目標でもあります。そこで求められるのは、ドライバーと連携するインテリジェントなアプローチです。車内外の環境モデルに、状況に応じた支援と意味理解を備えたドライバーモデルを組み合わせ、制御の移行に適切に対応するために必要なツールをドライバーに提供する手段と言ってもいいでしょう。

準備ができているかどうか

たとえば、大陸を横断する旅をしているとします。高速道路は草原地帯を貫き、ゆるやかなカーブを描きながら何マイルも続いています。ティーンエイジャーの息子に運転をまかせ、あなたは気を緩めてリラックスしています。過去に休暇で目にした景色を思い出したり、これから始まる冒険に思いをはせたりしているかもしれません。本に手を伸ばしたり、スマートフォンで SNS を見たり、少しうとうとしてしまうこともあるでしょう。

そんなとき突然、息子から「運転を代わってほしい」と頼まれます。何かが起こり、自分ではどう対応していいかわからなくなってしまったのです。心ここにあらずのあなたは、できるだけ早く、状況を判断しようとして、ここはどこなのか、どの車線にいるのか、周囲にはどんなクルマがいるのか、どんな危険が迫っていて、今何をすべきなのか、どんな交通標識があるか、と考えを巡らせるのです。

もちろん、混雑した高速道路の真ん中で人間が安全に運転を代わることはできませんが、これは、あるレベルの自動運転における課題を示す良い例です。これが特に問題になるのは、レベル3の自動運転に移行するときです。特定の状況下で人間が運転行為から完全に離脱することが予想される状況です。ある段階では、人間が完全に注意を向けていること、そして引き継ぐ準備が整っていることが要求される場合もあります。

現在のシステムでは、制御の移行に対応するために、警告を点滅させたり、ドライバーによる制御が始まるまでの時間を見込んだりしています。しかしドライバーの引き継ぎにかかる時間や能力は、制御の移行に至るまでのさまざまな要因、たとえば運転に関係のない作業にドライバーがどの程度関わっているのか、集中力が低下した状態にあるかどうか、運転状況がどの程度複雑か、などに左右されます。

| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|-------------|------------|---|--|---|--|---|--|------------|
| | | 運転自動化なし 自律性はゼロ。すべての運転作業をドライバーが行う必要がある。 | 運転支援 車両を制御するのはドライバーだが、車両の設計にいくつかの運転支援機能が搭載されている場合がある。 | 部分運転自動化 車両には加速や操舵などの自動化機能が併用されているが、ドライバーは常時、運転作業に従事し、周囲を監視する必要がある。 | 条件付き運転自動化 ドライバーは必要だが、環境を監視する必要はない。ドライバーは、通知を受けたら車両を制御できるように常に準備を整えておく必要がある。 | 高度運転自動化 特定の条件下で車両がすべての運転機能を実行できる。ドライバーが車両を制御することも可能。 | 完全運転自動化 あらゆる条件下で車両がすべての運転機能を実行できる。ドライバーが車両を制御することも可能。 | |
| 車両の機能 | 安全に停止 | × | × | 2 △ (車線内で減速) | 2+ △ | 3 △ | 3+ ○ | ○ |
| | センシング | - | 1 - 2 | 3 - 4 | 4 - 6 | 10 - 12 | 15 - 20 | 20+ |
| | システムの冗長性 | × | × | × | × | × | × | ○ |
| | ドライバー監視 | × | × | × | タッチ/ドライバーの状態 | ドライバーの準備状況 | ドライバーの準備状況 | ドライバーの準備状況 |
| ドライバーの関与度 | オン | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | オフ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | タスクを認識している | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | タスクを見ている | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ハンドルを握っている | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 足がペダルに乗っている | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |

OEMは、効果的かつ迅速に制御を引き継ぐ準備ができるよう人間のドライバーを支援する方法を模索する必要があります。人間とマシンがタッグを組んで運転する場合、システムがそのパートナーである人間をリアルタイムで理解することが重要です。つまり、ドライバーの認知状態、行動、意図を理解し、自動で安全に運転するために、パーソナライズされたドライバーのプロファイルを作成することが必要になるのです。

理解への架け橋

幸い、今日の自動車業界では、運転中のドライバーの体調に加え、制御の移行に至るまで、個々のドライバーとの最適な連携方法を学習させるために、できるだけインテリジェンスを車両にもたらせるツールの開発が進んでいます。その視点と車両周辺の環境情報を組み合わせることで、自動システムは車両のインターフェースを能動的に適応させ、ドライバーの意思決定を補強することが可能となります。

環境モデル

それを効果的に行う鍵は、車両の周囲の環境に注意を払うことです。先進運転支援システム(ADAS)では、天候、交通状況、時間帯、走行背景(高速道路を走行しているか市街地を走行しているか)など、環境のさまざまな側面が考慮されます。

車両の世代が変わるごとに、レーダー、カメラ、LiDAR、超音波センサーなどのセンサーが増え、地図、交通、天候のデータを無線で入手できるようになっています。車両の周囲で起こっている事柄を分析して状況的な脅威を評価する優れた環境モデルが、[センサーフュージョン](#)を使って構築されます。

課題となるのは、車両の環境モデルを人間のモデルと一致させることです。人間には独自の感覚があり、またシステムや環境に対する独自のメンタルモデルもあります。

人間とロボットは共存できる

自動システムと人間の連携は、決して自動車分野が初めての事例ではありません。主立った例として、航空、防衛、宇宙開発などがあります。そのいずれの分野も次のことが求められます。

- 安全文化
- 人間と機械の連携における悪条件、動的条件、不確実条件下の回復力
- 異なる人や機械間における円滑なタスクの引き継ぎ
- 自動システムの機能を利用するユーザーの教育とトレーニング

また、どの分野も、チームベースの枠組みが採用されてきました。それは管理上の役割に加え、それを補う調整と支援という、チームの共通目標から成り立っています。これらの分野から得た教訓は、今注目を集めている自動運転にも適用されるべきものです。

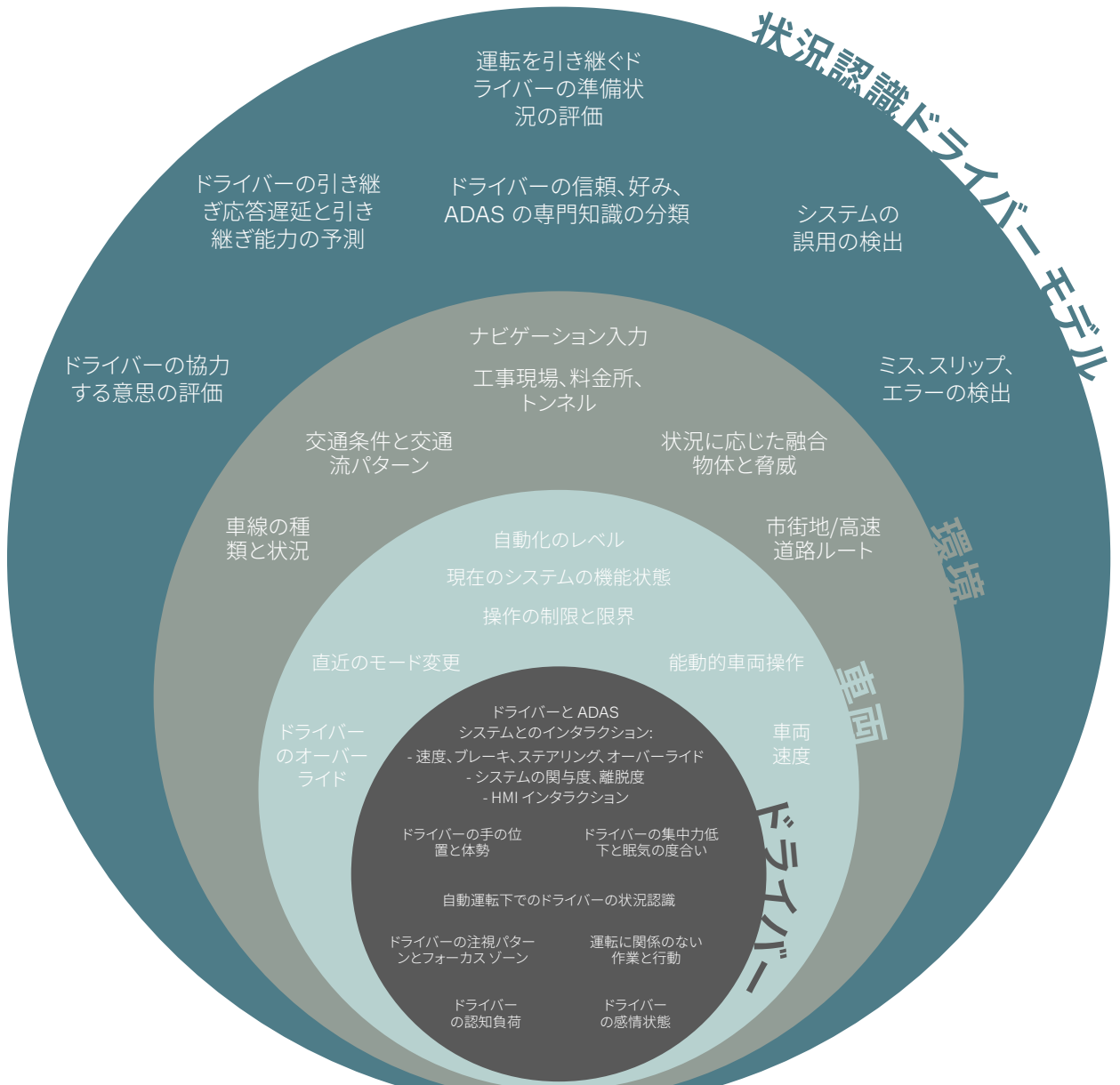
ドライバーモデル

両者の違いを埋める方法のひとつは、カメラでドライバーの注意力、集中力低下、眠気を判断する[ドライバー監視システム](#)を活用して、ドライバーのモデルを作成することです。

従来のシステムは、規則に基づくアプローチに従ったり、ドライバーの行動が固定的であることを想定したりしていましたが、実際の状況は遙かに多様です。表情や認知など複数の可変情報を監視するとなればなおさらです。たとえば、車線変更する意図の有無や、そのときのドライバーの注意力の状態に関係なく、車線逸脱の警告がシステムから出ることがあります。しかし高度な[車内センシング](#)システムであれば、時間をかけてドライバーを観察し、さまざまな状態や運転状況におけるドライバーの様子と行動のモデルを構築することができるでしょう。

ドライバーは、自動車線変更支援などのレベル 2+ に移行する機能を体験する過程で、不安定な交通の流れ、さまざまな交通密度、車間距離を保った合流など、さまざまな交通シナリオにおけるシステムの挙動と処理を徐々に学んでいきます。ドライバーがシステムの機能を学ぶ最初期の段階は、技術に対する全体的な信頼と受容に重要な役割を果たします。ドライバーは、その動作に関するメンタルモデルを形成し、システムの振る舞いが控えめか積極的か、迷惑か適切かを判断するのです。

この間、ドライバー モデルも、人間のドライバーについてリアルタイムに学習できます。前述の例では、自動車線変更の操作前、操作中、操作後のドライバーの反応やシステムとのやり取りが、ドライバー モデルによって分類されます。



ドライバー モデルによって、システムはドライバーに対する総合的な理解を深めることができます。ドライバーとのやりとりの履歴から、そのドライバーが自動システムを信頼しすぎる傾向があるのか、それともあまり信頼していないのかが判断されます。また、ドライバーが運転に集中しているときとそうでないときのパターンも見出されます。そして、そのドライバーと今後どのようなコミュニケーションをとるのがベストなのかが推測されるのです。たとえば、車両が今何をしているのか、なぜそうするのかという情報をドライバーがより多く受け取りたいのか、それとも介入は少ない方がいいと思っているのかをシステムは観察できます。

状況に応じた支援

環境モデルとドライバー モデルが揃ったことで、運転という行為を成功させるためにドライバーに何が必要かを自動システムはより深く理解できるようになりました。たとえば、ドライバーからの問い合わせに対し、機械学習を活用した意味解析を行うことで、関連し合う概念とコンテキスト (状況) とをよりの確に結びつけることができます。自動システムは、ドライバーのニーズを予測し、必要な情報を必要なときに最適な形で提供することに特化したコンテキスト アシスト (状況に応じた支援) 機能を備えている必要があります。

ドライバーがいつ、どのような支援を必要とするかは、コンテキスト アシスト機能で予測することができます。たとえば、ドライバーの動揺を察知して、人間のドライバーが同乗者に対して行うように、確証を持つための情報を能動的に提供することができます。

このとき、ドライバー モデルは次の 2 とおりの方法で活かされます。

- **ドライバーのパターンに合わせて、ヒューマンマシン インターフェースを調整する。** 困難な運転条件など不確実性が高い状況下では、このことが特に重要となります。たとえば、車線変更時に、車線のリスク推定の変化をドライバーに知らせ、周囲の交通流の複雑さに応じて早期警告を与えることで、システムに対するドライバーの信頼を高めることができます。
- **ADAS の応答を個々のドライバーの運転特性に適合させる。** 車線変更の例では、速度、自己主張度、許容できる車間距離などの変数を、各ドライバーの快適度に合わせてパーソナライズできます。

さらに、ドライバー モデルと状況に応じた支援には、ヒューマン エラーを抑止する効果があります。たとえば、高速道路でドライバーが突然レベル 3 の自動運転を解除した場合、システムはその状況を注視し、ドライバーがその切り替えにどう反応するかを観察することで、スイッチを切ったことが、実際には不注意によるものだったのかどうかを判断することができます。不注意によるものだったとすれば、ドライバーは車の制御を引き継ぐ意思もなく、準備もできていないため、非常に危険な状況に陥る可能性があります。そのような場合、制御の移行中に一時的に制御アシストを有効にして、ドライバーをサポートするようにシステムを設計することができます。

Aptiv は現在、複数の OEM と連携してドライバーのモデル化と、特定の運転状況に応じた注意基準の管理に取り組んでいます。

状況認識システムの利点

状況認識システムは、ドライバーの意思決定プロセスを支援します。その方法は次のとおりです。

- ドライバーの状態、道路状況、ADAS の状態を考慮して総合的に状況を分析する
- ドライバーの快適さ、運転技術、最新の情報を処理する能力を考慮し、安全性が最も高いと思われる方法でドライバーを支援する

ハンドオフ

ハンドオフを行う際の鍵となる課題は、くつろいだ状態のドライバーを機敏で警戒心の強い状態へと速やかに移行させることです。これは長距離を移動しているときに限った話ではありません。渋滞しているときの状況を考えてみてください。ドライバーは、コーヒーを飲む、メールをチェックするなどの行動をはじめ、手に何か物を持っていたり、背もたれに寄りかかる、脇見をするなど、姿勢を崩していたりする可能性があります。

ここで、環境モデルによる状況・脅威の評価とドライバーモデルが作用し始めます。システムは、その環境モデルによって、注意を必要とする要素としない要素を把握することができます。たとえば、ドライバーは近くにいる2台の大型トラックにまず目を向けるかもしれませんが、もっと問題なのは、もしかしたらドライバーの車線に進入してくる車の方かもしれません。システムはドライバーモデルを使用して、該当する車両を効果的に強調表示することができます。たとえばヘッドアップディスプレイで車両の周囲にビジュアルマーカーを表示したり、インフォテインメントシステムで情報を伝えたり、音声で情報を伝達したりすることが考えられます。

最近では、ハンドオフをスムーズに行うために、ドライバーと車両とが一緒になって操作や不確実性に取り組む協調的インタラクションを模索するアプローチが注目を集めています。アクティブセーフティシステムは、環境や交通の条件によっては、取るべき対応が当てにならない場合があります。そこで車両は、運転中のある時点で、「自動運転を監視する協定」をドライバーと結ぶ、つまり工事現場などの不確実な状況が近づいていることをドライバーに知らせ、協力の意思を見極めることができます。ドライバーは協力する意思を能動的に伝え、工事現場付近の車線でシステムが行う操作を注意深く見守ることになります。この密接な連携が人と機械のチームワークを生み出し、安全性の向上につながるのです。

視線の誘導と再設定



状況: システムは周囲の車両を追跡して脅威を分析する傍ら、ドライバーの視線とその状況認識パターンを追跡します。



認識の評価: システムはドライバーに制御を移行するための準備をする過程で、ドライバーが左側の脅威を認識していないと判断し、それをヘッドアップディスプレイで強調表示します。



視線の再設定: 車線に進入しようとしている車両を強調表示することで、制御が移行する瞬間に最も懸念される環境の要素をドライバーに気付かせることができました。

人と機械の連携

結局、ドライバーとの連携方法は、原子力発電所の技術者や最新の旅客機のパイロットとの連携に似ているのかもしれませんが、発電所や旅客機も安全を最重視すべきシステムですが、オペレーターが常に主導権を握っているわけではありません。その代わりに、システムの重要な側面の状態を把握し、異常や脅威を監視するようにオペレーターは訓練されています。

人間は異常を発見することや、分類したり一般化したりすることが得意であるのに対し、コンピューターは大量のデータを見てそれを解析し、さまざまな複雑な操作を一度に行うことが得意であることがわかっています。優れたコンテキスト アシスト機能は人間の思考方法に適合し、データを処理して、ドライバーに異常を気付かせることができます。また、ドライバーを訓練して、車両と効果的に連携できる ADAS の強力なオペレーターに育て上げるのにも、コンテキスト アシスト機能は役立つでしょう。

開発者は、レベル 2 やレベル 3 で車両を操作するためには人間のドライバーが不可欠であるという事実を見失わず、安全に車両を操作するために必要な支援をド

ライバーに提供するシステムを設計する必要があります。学習方法やシステムとの連携方法は一人一人異なるため、画一的なアプローチでは必ずしも十分ではありません。

ドライバーと車両との安全で協力的な関係を築くには、ドライバーと環境に関する高度なモデルの構築が不可欠です。ドライバーが自分自身のこと、そして車両の周りで起こっていることをシステムが本当に把握していると悟ったとき、そのシステムは信頼され使ってもらえる可能性が高くなるのです。

ドライバーが運転を引き継ぐまで



ドライバーが運転を引き継げるよう準備する

車両、交通、道路状況といった周囲の環境に対するドライバーの認識は、制御の移行を安全に実施するうえで極めて重要です。Aptiv は、最初のドライバー状況認識推定モデルを開発しました。ドライバーの視線がどこにあるかに着目し、その視線が周囲の車両や環境全体とどの程度関連しているかを評価するモデルです。

環境センシング データとドライバー センシング データとを組み合わせ、ドライバーが制御を引き継ごうとするときの状況認識の質を推測するものです。ドライバーの状況認識能力が低いことがわかった場合、車両は視線を特定の方向に向けるようドライバーに指示し、脅威となりうる特定の物体を強調することもできます。

著者について



Nandita Mangal

HMI、自動運転部門、プラットフォーム ファンクション オーナー

Nandita Mangal は、Aptiv で先進運転支援システム用のヒューマン マシン インタラクション (HMI) プラットフォームの開発を担当しています。車室内での人間と車両の関係性を中心とした、「設計安全」が確立されたシステム作りに取り組んでいます。L2/L3 ADAS および L4/L5 システムの製品設計とインタラクション研究における豊富な経験を備えています。Aptiv の自律型シェアード モビリティの設計研究を主導した実績に加え、Lyft と共同で、Aptiv のロボットタクシー車両の立ち上げのために、ラスベガスで大規模なオンロード自動運転車両研究に従事した経験もあります。Nandita は 13 件の米国特許を保有し、その功績が認められて 2021 年には Aptiv Innovation Hall of Fame に選出されています。Aptiv に入社する前は、米国陸軍研究所と国防総省に所属し、地上戦闘車両とフィールド ロボットの設計を主導していました。

詳細については、[APTIV.COM/UX](https://www.aptiv.com/ux) をご覧ください →