

次世代の自動車とドライバ特性

Driver Characteristics utilized
in Automotive Engineering



景山 一郎

Ichiro KAGEYAMA

日本大学 生産工学部
自動車工学リサーチセンター
センター長
教授 工学博士

まえがき

自動車を操縦するドライバの特性の重要性を歴史的にさかのぼると、蒸気機関を持つ世界最初の自動車であるキュニョーの砲車に行き着く。この車両は世界最初の交通事故(1770年)(Figure 1)を起こしたことで有名であり、この原因をフランス国立技術博物館に現存する車両について見ると、二点の問題点が見出せる。一つ目が操舵系であり、ハンドルを回すことにより、ボイラーを含め蒸気機関他が取り付けられている駆動系を含む前輪系全体を操舵する機構である。この機構からみて速やかな転舵が行える機構では無く、障害物回避性能は全く期待できないことがわかる。二つ目が制動装置である。ブレーキペダルの下にとりつけられている爪を、テコを用いて直接前輪に押しつけて制動する機構を持っている。このため人間の踏力から考え、駆動中の前輪を制動することは期待できず、急制動すること自体不可能と思われる。当時新たな原動機により砲車を動かすことが最大の課題であり、旋回や制動は主検討事項でなかったことを物語っているが、これは設計にドライバの限界特性等を考慮していないことがわかる。つまり、世界最初の自動車は基本的な人間の特性を考慮していないために、交通事故を起こしたとも考えられる。このように、自動車の歴史は、この領域で活用すべき人間工学の必要性を知らしめる歴史でもあり、その後のドライバ特性の活用へと繋がる。現在ドライバの特性を考える場合、反応時間や発生力等ドライバの基本特性を広いユーザに対し把握することが重要であり、さらにユーザ・インターフェイスを含め快適性や信頼性も重要な要素となる。

他方、2004年に米国国防高等研究計画局(DARPA)により

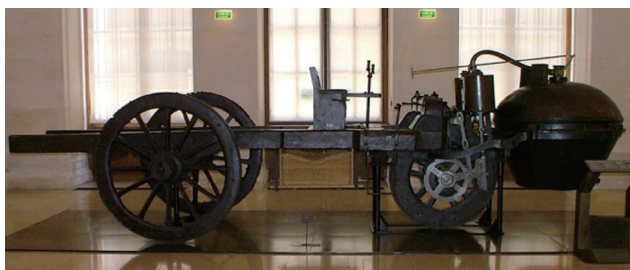


Figure 1 キュニョーの砲車(パリ工芸技術博物館 著者撮影)

実施された自律走行車両レース(グランドチャレンジ)^[1]は自動車社会への新たな方向性を示した。これを機に次世代の自動車技術の筆頭に自動操縦車両が躍り出たことになる。その時までも自動操縦車両に関わる研究は各国で実施されており、特にアメリカではカーネギメロン大学のNAVLAB^[2]やカリフォルニア大バークレー校が中心となったカリフォルニアPATHプログラム^[3]が実施されて来た。この二つの大きな違いは、前者が完全自律走行を狙ったものであるのに対し、後者はインフラに依存する磁気誘導方式となる。この自律走行技術を大きく飛躍させたものがこのDARPAのレースとなる。この年のレースを含め2005年、2007年の三回実施されており、特に2007年に実施されたアーバンチャレンジでは、都市内における自律走行車両の可能性を示した。その後2009年よりこの技術を受け継いだGoogle Car^[4]はカリフォルニア州やネバダ州において公道走行実験を開始し、それ以降Google Carは自律走行で160万キロ以上の走行を達成しているが、この6年間で14回の交通事故に遭遇したことが公表された。これらは人身障害を伴うような重大なものではなかったが、2016年2月に発生した事故^[5]はGoogle側が自律走行車両の“非”を初めて認めたもので、それまで議論されてきた自律走行車両の事故の責任問題を浮き彫りにし、今後の自律走行車両開発に大きな問題を定義した。

著者がこのような自律走行車両普及時にもっとも大きい問題と考える点は、通常のドライバと自律走行車両が混在走行する場合のお互いの認識の差である。自律走行車両は交通ルールを遵守するように構築されているが、通常ドライバは慣れ等から来る独自のルール(たとえば他車両とのアイコンタクト)を前提に走行している。このため、一般車両の交通流に教習車両が流入するような状態に匹敵し、近年海外における交通事故の原因の一つとして注目されるドライバのロードレイジ(Road Rage: ドライバが走行中他車両等に対する苛立ちや激怒)を周りの車両のドライバに与えてしまう可能性を持っているからである。つまり自律走行車両が走行する環境下では、これまで主に行われてきた運転に関する人間工学的な取り扱いでは不十分となり、走行する車両間のドライバ特性の連携が重要となる。そこで、本稿では自動車技術とドライバ特性に焦点を当て、筆者の

考えをまとめる。

自動車に活用される人間工学

自動車はドライバにより制御されるため、その制御性が重要な課題であり、同時に乗員に対し適切な環境になっているかがドライバの特性や評価等に大きく絡む。そこで、検討すべき項目を分類すると以下となる。

- (1) ドライバの運転環境とその改善に関わる分野
- (2) ドライバ行動計測・推定・評価に関わる分野
- (3) ドライバ状態計測・推定・評価に関わる分野
- (4) 運転支援・評価に関わる分野
- (5) ドライバのモデリング等に関わる分野
- (6) ドライバ意図検知過程に関わる分野
- (7) 周辺環境認識・推定・評価に関わる分野
- (8) 交通事故等の行動データベースに関わる分野
- (9) 交通事故時等の障害予測・評価に関わる分野
- (10) その他の分野(例えば長距離走行経路決定に関わるモデル、さらに自動車の選定等にかかわるユーザモデルや趣向等に関わる解析等、上記以外の人間に関わる分野)

これらの分類はドライバに課せられる種々のタスクの一分類と考えられる。また、これらの項目は単独で議論されるものではなく、総合的な人間の能力や理解等と絡む内容であり、自動車の開発にはこれらの人間に関わる総合的な研究が必要となる。特に次世代の自動車技術として自動操縦技術が普及すると、これまでとは大きく異なるドライバの

役割分担に注目する必要がある。そこで、次章でこの内容について触れる。

次世代のドライバ・自動車・環境系

車両の制御レベルとドライバ特性

前述のドライバの行動に関わる種々の検討項目に対し焦点をあてる必要があるが、次世代の自動車技術として現在脚光を浴びている自動操縦車両に注目する場合、ドライバの役割を規定しておく必要がある。そこで、これを航空機で扱うフライトコントローラとしてのパイロットの役割で見ると次の三つに分けられる^[6]。

- ① Human-in-the closed loop of vehicle
(パイロットによる手動制御)
- ② Human-on-the closed loop of vehicle
(パイロットが自動化システムを監視して必要に応じてオーバーライドするシステム)
- ③ Human-out-of-the closed loop of vehicle
(パイロットの支援を必要としない完全自律なシステム)

本稿では特にドライバの役割に注目して自動操縦車両の自動化レベルに注目してみる。

Figure 2に国土交通省で議論された自律走行車両の自動化レベル案を示す。これは米国運輸省道路交通安全局(NHTSA)が定義したものと米国自動車技術会(SAE-International)が行った定義をまとめて整理したものであ

NHTSA レベル	SAE レベル	SAEにおける呼称	SAEにおける定義	ハンドル操作、加減速の実行主体	走行環境のモニタリング	運転に関わる主導権	運転操作のバップアップ	システム能力(運転モード)
0	0	手動	ドライバが上記全ての運転操作を行う	ドライバ	ドライバ	ドライバ	ドライバ	なし
1	1	補助	運転支援システムが走行環境に応じたハンドル操作、あるいは、加減速のいずれかを行うとともに、システムが補助をしない部分の運転操作をドライバが行う。	ドライバ + システム	ドライバ	ドライバ	ドライバ	幾つかの運転モード
2	2	部分的な自動化	運転支援システムが走行環境に応じたハンドル操作と加減速を行うとともに、システムが補助をしていない部分の運転操作をドライバが行う。	システム	ドライバ	ドライバ	ドライバ	幾つかの運転モード
3	3	条件付自動化	システムからの運転操作切り替え要請にドライバは適切に応じるという条件のもと、特定の運転モードにおいて自動化された運転システムが車両の運転操作を行う。	システム	システム	ドライバ / システム	ドライバ	幾つかの運転モード
4	4	高度な自動化	システムからの運転操作切り替え要請にドライバが適切に応じなかった場合でも、特定の運転モードにおいて自動化された運転システムが車両の運転操作を行う。	システム	システム	システム	ドライバ / システム	幾つかの運転モード
	5	完全自動化	ドライバが対応可能でない、いかなる道路や走行環境条件のもとでも、自動化された運転システムが、常時車両の運転操作を行う。	システム	システム	システム	システム	全ての運転モード

Figure 2 自動操縦車両の自動化レベル(参考：自動運転—検討課題の整理—国土交通省)^[7]

る。この中で、レベル0が前述の①に相当するドライバ・自動車・環境系となる。これに対し種々の運転支援システムを組み込み、この延長線上としてレベル2が考えられる。これは限られた環境下での自動化されたシステムレベルを言い、現状で既に市場投入されているACC(Adaptive Cruise Control：定速走行・車間距離制御装置)、レーンキープアシスト、ならびに自動ブレーキを組み合わせることで実現されており、同様に部分的なものとして自動駐車アシストも市場投入されている。これに対し、レベル3以上が今後市場に投入される自動操縦システムになる。このレベル3のシステムでは、走行環境のモニタリングは自動化システムが行うが、運転操作のバックアップの主体は人間にあり、全システムの責任を人間が持つというシステム構成となっている。ある意味ドライバ運転支援システムの域を出ていない。つまり、走行環境のモニタリングはシステムが行うものの、ドライバがシステム監視を怠ることはできないことになる。特に、システムからドライバへの操縦動作の権限移譲要求があった場合、どれだけの許容時間をもって移譲要求が出されるかに応じて、ドライバは対処できない状態で権限移譲されることになり、単にドライバに対しての責任転嫁となるためである。

さらに、レベル4においても、システムが権限移譲要求を出す場合があり、ドライバが適切に対応できない場合はシステムが運転操作を行うことになるものの、ドライバが行う監視体制を全く解放しているわけではない。この場合、システムはドライバの覚醒度等を含め状態監視を行う必要があり、さらにはドライバが操縦動作等の権限委譲ができる状態にあるのかを常に判断する必要がある。しかし、このようなドライバ自体を監視するための研究は未だ実用化レベルまで行われておらず、今後自律走行車両技術の高度化が進むのに合わせ実施しなければならない重要な課題となる。ここまでが前述の②に相当する。これに対し、前述の③に相当する内容はSAEにおける呼称のレベル5に相当する。この段階の走行にはドライバ自体が存在せず、乗員すべてが乗客となる状況である。その段階で乗員が行うタスクは目的地の設定程度である。完全自動機であるため、例えばエレベータに乗っている場合に相当し、目的階数を指定すること以外せいぜい早めに扉を閉めるという意味指定しかない。そこで、この段階での人間工学的検討項目は、主に乗員側から見た受動的な特性となる。例えば長時間振動環境等におかれる場合の疲労、乗員としての不安や恐怖、音や温度を含む周りの雰囲気、周辺や位置等に対する情報提示方法等々に関わる。この場合、運転している場合の提示と、このような③における提示ではタス

ク等に対する負担の種類や大きさが異なるため、①や②と比較して検討項目や評価基準が異なる可能性がある。そこで、本稿では主に①と②について扱う。

通常車両を運転するドライバ特性

ドライバ特性を考える場合、情報の伝達経路を考える必要がある。そこで、一般的なドライバ・自動車・環境系のモデルをFigure 3に示す。この図は前述の①に相当するものであり、人間が主コントローラとしての役目を担うシステムである。この場合の人間・自動車・環境に分類され、特に環境要素はいくつかの内容に分類され、それぞれ直接自動車に働く項目、人間が直接受け取る項目、両方に絡む項目に別けることができる。この図において、ドライバは感覚器(視覚、聴覚、触覚・力覚、加速度感覚等々)で直接車両の運動情報(位置、加速度、速度、ヨーレート他)を受け取る他、情報表示器等からの情報(速度、エンジン回転数、ナビゲーション情報、オーディオ情報等々)を受け取る。また、種々の環境情報を受けとり(道路形状、周りのクルマの行動、歩行者等の環境、渋滞情報、信号情報等)、現状の状況認識等の情報処理過程を基に運転行動を決定することになる。さらに運動器官を用いてこの結果を自動車に伝える(ハンドル操作、アクセル操作、ブレーキ操作等々)ことになる。この間に種々の検討項目が存在する。安全性確保のためにはドライバの視線行動、入出力時の感度、HMI(Human Machine Interface)評価、肉体的な能力等々の様々な人間の特性が重要となる。このため、これらドライバ特性の詳細を検討する必要があるが、人間のモチベーションレベル、その時の覚醒度を含めた集中レベル、人間の個人差や個人内差等様々な問題があり、実施しなければいけない膨大な課題が存在し、全容を掴むまでには至っていない。図中には現在検討が行われている個別項目を記載してあるが、この他、非常に広範囲な情報提示およびその情報の理解・評価等が検討課題として残されている。

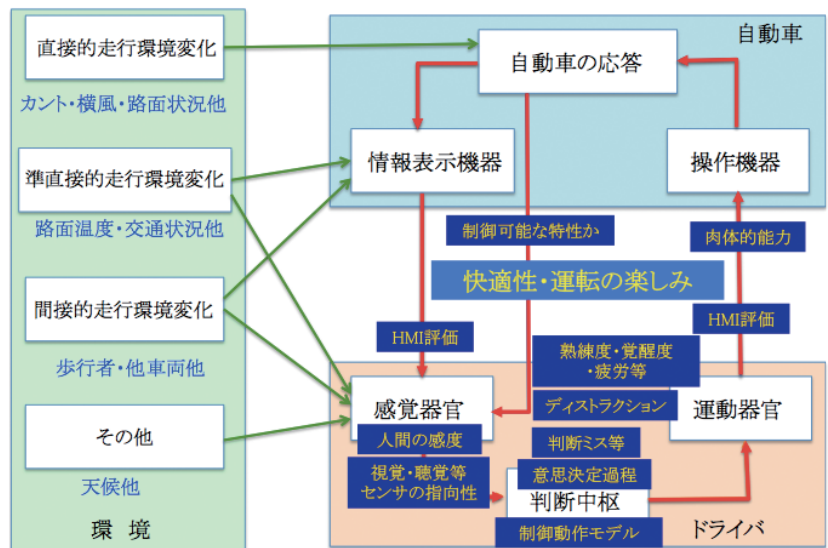


Figure 3 ドライバ・自動車・環境系

自動化システムにおけるドライバ特性

現在各種車両には種々の支援システムが搭載されており、現状でも搭載されているECUの数も数十を数える。そこで、ドライバが意識しているかどうかは別として、目的に応じた自動化された支援が行われている。しかし、運転の主体が人間にあり、基本の三つの機能(走る・止まる・曲がる)に関わる意思決定や動作等が人間によって行われている場合は手動制御に分類される。そこで、前節の基本タスクからある程度開放された自律システム(SAEの区分ではレベル2以上)について検討を必要とするが、紙面の都合上ここでは特にこれから展開される自律走行システムについて取り扱う。

自律走行車両とドライバの関係は、プラント等の自動化システムにおけるオペレータの監視業務に近い位置けであり、Figure 4に示す情報の流れとなる。つまり、その制御系の情報処理は自律系コントローラに任されているが、特にその導入初期段階では人間が操縦する車両との混合交通となるため、意思決定や操作等のアルゴリズムは人間の行動に学ぶ必要がある。このような③に到達する前までの自律走行車両系はスーパーバイザリー・コントロールシステムと呼ばれ、ドライバ席に座る人間には、いくつかの課題が課せられる。この図はドライバが基本制御システムから独立していることを示しており、自律系コントローラは環境情報や車両情報をすべて監視下に置き、自動車の操縦操作を司ることになる。この場合、レベル3の状態ではドライバは常に監視義務が生じ、システムが動作異常に陥ったり権限移譲要求を出した場合に、これを受け操縦動作を行う必要がある。この場合、ドライバの能力として人間工学的に検討を必要とするのは、システム監視の集中度合い、システムの状態理解、疲労レベル等であり、さらに、権限移譲を受ける場合の無駄時間や反応速度が上げられる。本来人間がこのような監視業務を行う場合、オペレータはシステ

ム全体をイメージできる必要があるが、一般ドライバにこれを期待するには無理がある。つまり、レベル3以上では何故システムが制御破綻を起こしたかが重要な情報となり、権限移譲されてもドライバが操縦動作を継続できるかが重要な問題となり、この場合、ドライバのシステム理解が最大の課題と考えられる。このようなスーパーバイザリー・コントロールを行うためには、これまでの運転訓練とは異なる権限移譲に関する訓練が必要となる。特に権限委譲が必要になった経緯や事由が分からない状態での権限委譲は、かえって危険な状態すら作りかねない。このあたりの人間の特性(特にシステム理解)に対する検討が十分でないかぎり、自動操縦車両への移行には安全上の問題が残る。さらに、現状の自動操縦車両で実施しているドライバがハンドルをいつでも握れる状態にして走行することは、通常運転よりも疲労を増大することになり、本来の自律走行車両の意味を持たない、あくまで自律走行車両の安全性を確認するまでの試験的な状態となる。

自律走行車両構築に向けたドライバ特性

自律走行車両が最初に走行する環境は、人間が運転する車両と共存する道路となる。このため、システムの安全性を考える上で人間の特性を明確に把握する必要がある。Google Car が起こした種々の事故の原因は、周りのドライバとの意識の齟齬にあることは明白である。特に前述のGoogle側が非を初めて認めた自動操縦車両の事故においても、相手の運転手との間の意思疎通が十分でないことに起因しているものと思われる。自律走行車両は本来ドライバが受け持つ情報処理のなかの「知覚」「認知」「判断」「操作」に関わる部分をすべて自律化することになるが、人間の特性が明確に把握でき、さらに人間の意思決定過程を明確に理解し、その行動を予測して運動を決定しなければ自動操縦車両の安全性も確保できないことになる。しかし、このような他車両のドライバとの意識の齟齬により起こす事故は、人間のドライバ間で頻発する問題でもある。つまり、人間が操縦する車両がどのような原因で事故を起こしているか等の把握が、今後訪れる自律走行車両が普及する社会の安全性確保のために非常に重要となる。しかし、現状で構築されているこれら事故データベースは事故の統計処理のために用いられており、必ずしも自律走行車両の安全性確保の目的で利用できるように展開がされているわけではない。その意味から、自律走行車両の安全性を前提にした事故データベース(本質的な原因やドライバ間の意識の齟齬等の解析を含む)を早急に整備する必要がある。

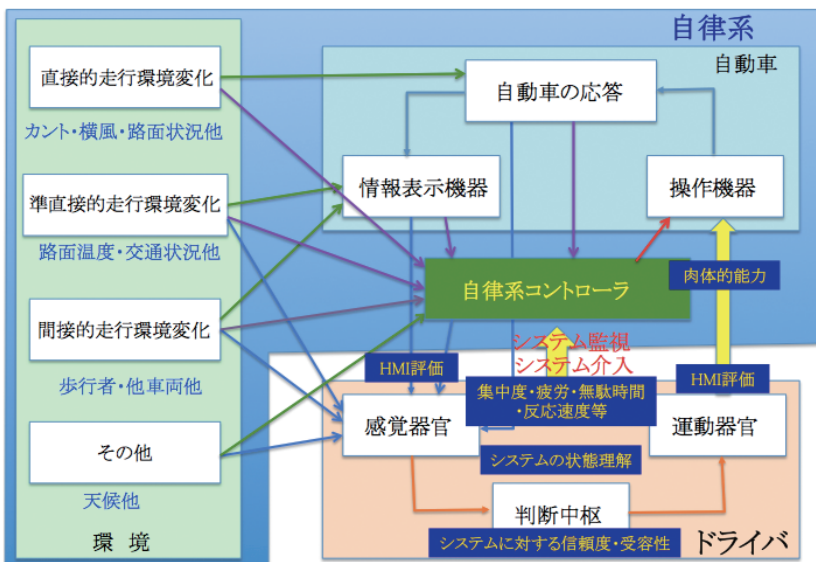


Figure 4 自律走行車両におけるドライバの位置付け

まとめ

完全な自律走行車両までの道のりは人間への支援や低負担化という同一直線上を歩んでいるように見えるが、実際にドライバ特性に対する検討項目を見ると、同一線上にいるわけではないことがわかる。つまり、前述Figure 2のフェーズごとにドライバが担うタスクが異なることになり、特に前述の①と②と③の間で全く異なっていることを示した。このため、その段階のシステム構築には異なった視点からの人間の特性検討が必要となる。つまり、①の段階ではドライバがいかに安全に、また快適に運転が行えるかに対する検討が重要であり、②の段階ではドライバがシステム状況をいかに理解するか、また異常時にどのように権限委譲をすることが安全上重要か等々の監視業務に変わっているため、システムが破綻した場合に、通常のドライバと同じ行動を取ることを前提に議論をすることはいけないことになる。そこで、フェーズ③が本来の自律走行車両であるが、フェーズ②はフェーズ①と③の両面を重ね合わせたものと考えるのは問題である。つまり、安全上システムを二重系にし、片方のシステムが破綻した時にもう一方のシステムを使用するが、そのバックアップシステムを人間が担うという考え方になる。しかし、自律走行車両システムの場合、人間の反応速度等と比較するとシステムの動作速度や情報処理速度が早く、対処時間等が圧倒的に短いという問題点がある。これを一般ドライバに課す場合、別途システム状況理解や監視方法等の特殊な訓練を必要とする。そこで、自律走行車両の開発には、自律系の設計自体非常に重要となり、そのハード面の検討がどうしても先行するが、これと並行して人間工学的な検討を十分に行っておくことがいかに重要であるかを理解しておく必要がある。

あとがき

平成27年の交通事故死者数は4117名となり、近年もっとも多い死者数を出した昭和45年の16765名に対し1/4以下に減少している。現状の自動車におけるドライバ運転支援は必ずしも十分とはいえないが、種々の対策効果が確実に現れている。しかし、ここ数年はあまり大きな減少がなく、種々の対策効果が収束して来ているように思われ、さらに大きな効果を期待するには自律走行車両の普及が一つの策になるものと考えられる。しかし、その投入初期は必ずしも劇的な効果を期待できるわけではない。それらは前述のドライバ特性をどの程度考慮できるか等が不透明であることにも依存する。特に不確定性の大きい人間のドライバと自律走行車両の混合交通が大きな問題となることは明らかである。以前、井口雅一東大名誉教授が、将来の自動車のあり方について指摘した「現在乗馬をしたい人は馬場に行くのと同様に、将来自動車を自分で運転したい人はサーキット等に行き、通常の道路からは人間が操縦する車両は排除されるだろう」という流れがどのくらい先に実現され

るかにも依存する。また、自動操縦車両への新たな問題点が外部からの悪意によるハッキングであり^[6]、交通の安全性に関しては、別な意味での人間の特性が介在する可能性を持っている。

参考文献

- [1] <http://archive.darpa.mil/grandchallenge/>(参照：2016-04-04)
- [2] <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/alv/www/>(参照：2016-04-04)
- [3] <http://www.path.berkeley.edu/>(参照：2016-04-04)
- [4] <https://www.google.com/selfdrivingcar/>(参照：2016-04-04)
- [5] <https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/ja//selfdrivingcar/files/reports/report-0216.pdf>(参照：2016-04-04)
- [6] 金井喜美雄, “フライトコントローラ設計とCAE”, 自動車技術に関するCAEフォーラム2016, b2-3, 2016
- [7] <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/pdf/05/2.pdf>(参照：2016-04-04)
- [8] <http://www.asahi.com/articles/ASH974WJ8H97ULFA014.html>(参照：2016-04-04)