

## ③ 人機能との協調—先進運転者支援システム—

■ 齊藤裕一 ■ 東京農工大学

### 運転に要する人機能

本稿では、先進運転者支援システムにおける人と機械の協調を論ずる。機能とは、「ある物が本来備えている働き」を意味するが、人は、いかなるときも期待された機能を発揮できるであろうか。日常の人の生活を振り返れば、それがいかに困難であるかは容易に想像のつくことであろう。自動車運転に要する機能は、一般に、(a) 知覚機能、(b) 状況理解機能、(c) 行為選択機能、また (d) 行為実行機能に大別され<sup>1)</sup>、人の運転行動は、これらの繰り返しと捉えることができる。自動車事故の発生要因は、人的要因、環境要因、車両要因の3つに大別することができるが、本稿では、人的要因と環境要因で生じる自動車事故に焦点を絞り、知能機械はいかにして運転に要する人機能と協調（または調和）し得るかについて具体事例を踏まえて述べてみたい。

### 先進運転者支援システム

交通事故が前触れなく起こることは少ない。平穏であった状況は、人、環境、車両の何らかの要因によって事故リスクが高まりつつある状況（通常からの逸脱）に移り、たとえば人が期待された行動をとることに失敗したとき、「事故の危険が差し迫った状況」に至る。自動車運転に要する機能のうち、基本となる機能は、知覚と状況理解である。しかし、平穏時において人が知覚、または状況を理解しなければならぬ対象は多岐にわたる上、人は「機能の実行を長時間にわたって反復的に実行し続ける」ことを得意としない。また、緊急時に陥った際に、人が適切な対応を実行するために使用できる時間は数秒しかない。知覚機能の失敗、状況理解機能の失敗、

行為選択機能の失敗、また行為実行機能の失敗などがあり得ることから、予防安全領域では、人機能をバックアップする仕組みが構築されてきた。

先進運転者支援システムは、「運転の主体は人である」ことを前提に、直面した状況に応じて人の運転行動の各過程に適した支援を行う。(1) 見えないもの、または見えにくいものを可視化する「知覚機能拡大」、(2) 運転に危険をもたらす可能性のある存在を明示的に示す「注意喚起」、(3) 危険回避に必要な特定の行動の実行を指示する「警報提示」、(4) 特定の行動の実行を行う「制御介入」である<sup>1)</sup>。これらの支援は、人が車両安全の確保に関与できる機会を多層的に創出するために、時間的多層構造の形態をとることがある。緊急回避ブレーキの動作例を述べよう。システムは、前方障害物との衝突の可能性が高まったとき、運転者へ適切な回避行動の実行を指示する警報を与える。また、警報を与えた後、運転者に適切な回避行動が見られないならば、「人は適切な回避行動を行うことに失敗した」と判断し、システムが人に代わって衝突回避を図るブレーキを実行する。このように、周囲の環境と人の心身状態に応じて、知能機械は、人を支援する形態を柔軟に変えながら人機能との協調を図る。

### 人機能と協調する技術

本章では、自動車事故の具体事例を挙げながら、自動車運転を取り巻く環境、限りある人機能、人と協調する技術を具体的に紹介したい。

#### ■ 人の要因が関与する事故

運転をしている中で、運転者が眠気を生じることが稀なことではない。シフトワークと人の作業ミス

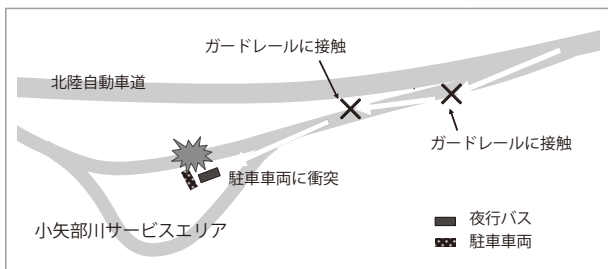


図-1 居眠りに起因した事故事例

の関係は、古くから研究がなされており、死亡事故率の高い時間帯は、午前0時の深夜から午前6時の早朝までの時間である。人は眠気を感じたときにどのような対応を行っているだろうか。Stutts et al. の調査<sup>2)</sup>によると、窓を開ける、エアコンを調整する、カフェインを摂るなどの回答が多く、「休憩のために停車する」は12.2%にとどまる。さて、なぜ運転者は早期に休憩をとろうとはしないのだろうか。運転者が居眠り運転の危険性を認識しており、休憩する気持ちがあれば、コンビニエンスストアの駐車場やサービスエリアなどで休憩をとることは可能であろう。しかし、深夜に仕事を終え、早く帰宅したい運転者であれば、多少の眠気を我慢してでも運転をすることはあるだろう。また、観光バスや事業用貨物自動車を運転する職業運転者は、目的地への到着時刻を守らなければならないなど、眠気を感じたからといって早期に休憩をとるなどの対策をとりづらい。図-1に、北陸自動車道上り線小矢部川サービスエリアにおいて、夜行バスが駐車中の大型トラックに衝突した事故事例を示す。夜行バスは、高速道路の左側のガードレールに接触し、またサービスエリアへの流入口の右側のガードレールにも接触し、その後ブレーキが踏まれることなく大型トラックに衝突した。運転者が居眠りに陥った、あるいは運転者の心身機能が喪失したときの安全をいかに確保すればよいか。

上記の事例から分かるように、運転者の心身状態が万全ではない場合、人に車両の安全確保を求めることは難しい。運転の主体は、あくまで人であるが、運転者が居眠りに陥った、あるいは運転者の心身機能が喪失したならば、システムは、「運転者は運転

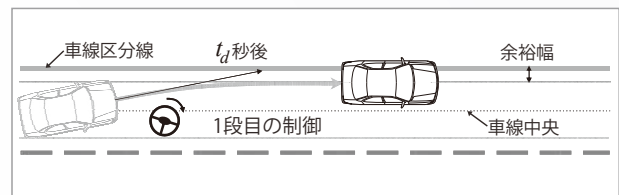


図-2 最低限に要求された制御の実行

継続に適した状態にない」と可能な限り早期に判断し、車両制御の権限をシステムが持つ、すなわち人に代わってシステムが車両の安全確保を図ることが重要である。ここで、(i) 車両の安全確保と、(ii) 運転者が状況認識不全状態（低覚醒状態や心身機能喪失状態）に陥っているか否かの判定という2つの目的を1つの制御で達成する双対制御論的運転支援システムを紹介したい<sup>3)</sup>。

制御工学の分野において、制御対象への入力信号は、「制御量を目標値に近づけること」と「制御対象の状態や特性の同定を行うこと」の2つの役割を持つ。双対制御は、制御対象の状態や特性を同定するための入力信号を、その対象の制御にも有効なものにしようとする考え方である<sup>4)</sup>が、制御と同定を同時に行うことは簡単ではない。制御の立場としては、システムにおける入力信号の変動を抑制したいが、同定の立場としては、制御対象の動特性を詳しく調べる上で、入力信号をできるだけ大きく変動させたい<sup>5)</sup>。芳谷<sup>4)</sup>は、双対制御の考え方を、「よくわからない対象を扱うときに、慎重に恐る恐る扱うとともに少し探りを入れて対象の状態や特性を明らかにする」と表現する。双対制御論的運転支援システムは、制御対象（車両）への入力信号によって、運転者の状態（状況認識の不全に陥っているか否か）を同定しようとするものである。車両が車線から $t_d$ 秒後に逸脱しそうな状況を考えよう（図-2）。

システムが車両の車線逸脱を予測したとき、システムは、車両を車線中央に戻すための一部の制御を「1段目の制御」として実行する。この1段目の制御は、車両が車線区分線付近で区分線と並行となる操舵制御であるが、車線逸脱を防ぐだけでなく、車線逸脱までの余裕時間を延長し、人が車両安全の

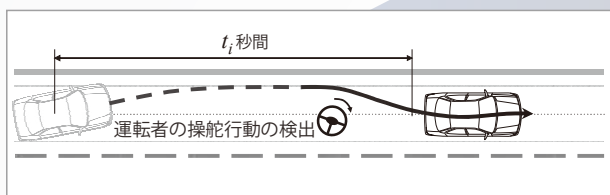


図-3 運転者の対応行動の有無

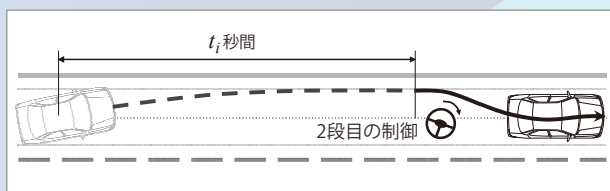


図-4 残りの制御の実行

確保に主体的に関与できる機会を与える。通常であれば、運転者は車線区分線付近を走行することに対して不快に感じるであろう。もし、所定の時間内 ( $t_i$  秒間) に運転者が車両を車線中央に戻すために必要な残りの制御を行うならば、システムは「運転者は状況認識が可能な程度に覚醒している」と判断する(図-3)。一方、所定時間の間に運転者が残りの制御を実行しないならば、システムは、「状況認識の不全に陥っている」と判断し、人に代わって残りの制御(2段目の制御)を実行する(図-4)。さらに、このような状態が継続するのであれば、システムは、「人は運転継続に適した状態にない(正常に人機能を発揮することができない)」と判断し、停車に導く制御を開始する。

このように、車両が車線逸脱しつつある状況のもとでの人と機械の間のやりとりの文脈を理解することによって、システムは、運転者の状態の推定をも行うことが可能となり、人の心身状態に応じたさらなるバックアップ機能(停車制御)を作動させることができる。

### ■ 環境の要因が関与する事故

運転をしている中で、突然、歩行者が見通しの悪い場所(無信号交差点など)から飛び出してくるなど、事故を回避する上で、運転者が深刻な状況に追い込まれるときが稀にある。昨今、障害物との衝突可能性がきわめて高い緊急時に作動する緊急回避ブ

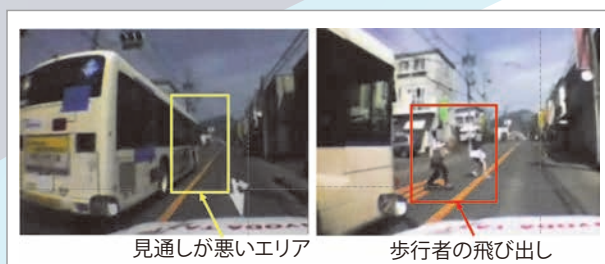


図-5 環境の要因が関与したヒヤリハット事例<sup>☆1</sup>

レーキが実用化されているが、見通しの悪い場所から歩行者などが現れる場合において、機械の情報獲得・分析の機能の限界から期待された能力を十分に発揮できるとは限らない。たとえば、図-5は、駐車車両の追い越しを試みた運転者がヒヤリハット(状況:歩行者が道路横断を開始した)を起こした事例である。

上記のヒヤリハット事例から分かるように、人が厳しい環境に追い込まれることがある。運転者はいかにしてこのような「まさかの事態」に対応し得るか。自動車運転に要する人の主な機能は、(a) 知覚機能、(b) 状況理解機能、(c) 行為選択機能、また (d) 行為実行機能であるが、これらの機能のパフォーマンスは、(1) タスクと環境の要因(ワークロード、複雑さ、不確実さ、時間的余裕など)、(2) 運転者固有の要因(先読み、知識、経験、能力など)によって左右され得る<sup>6)</sup>。交通事故発生率の高い若年者における主な事故要因の1つは、「運転経験の欠如」である。運転者は、運転の経験を積むことによって、状況に応じた柔軟な意思決定を行いながら事故リスクをマネジメントしているとみなせる。たとえば、熟練した運転者は、「歩行者の飛び出しに備え(予見し)、あらかじめ速度を下げるなどの危険予測に基づく運転」を実施している(図-6)。しかしながら、このような「まさかの事態」に遭遇することはきわめて稀であり、またその状況は多岐にわたる。すなわち、不確実状況のもとで、運転者は、常にこのような先読みを行うことを維持し続けることが可能で

<sup>☆1</sup> 路線バスは乗客を下車させるために頻繁に停車と発進を繰り返すことから、バスに後続する運転者には、「機会があれば、早期に追い越してしまいたい」という心理が働くと考えられる。

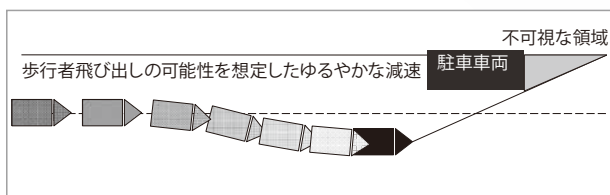


図-6 運転シーンの先読みと危険予測運転

あろうか。容易ではないであろう。ここで、リスク予測的な減速操作を支援する運転支援システムを紹介したい。

車両が、駐車車両背後などの見通しの悪い場所に接近している状況を考えよう。システムが駐車車両を認識したとき、システムは、歩行者の急な飛び出しに備え、現実に飛び出したとしても緊急回避ブレーキが十分に対応できるように、事前に規範速度にゆるやかに減速する、すなわち最低限に要求された速度制御を実行する。この部分的な速度制御は、速度を下げるだけでなく、現実に歩行者が飛び出したときの衝突余裕時間を延長し、運転者が車両安全の確保に主体的に関与できる機会を与える。もし歩行者の飛び出しが起こらなかったのであれば、その速度を維持しながら駐車車両を追い越す。もし歩行者が現実に飛び出した、かつ衝突の可能性がきわめて高いのであれば、システムが人に代わって安全確保を図る緊急回避ブレーキを実行する。このとき、衝突回避の可能性は、歩行者飛び出し時における自車速度に依存することから、事前に速度を下げることによって予防安全性能が向上することは明らかである。このように、注意すべき対象（バス停、路線バス）などから交通の文脈を先読み（歩行者飛び出しの可能性を予見）することによって、万が一に備えた人機能との協調が可能となる。

## 人と機械の調和

運転者を取り囲む環境は、時々刻々とその様相を変える。人は、いかなるときも期待された機能を発揮できるわけではない。本稿では、人的要因と環境要因で生じる自動車事故に焦点を絞り、自動車運転を取り巻く周囲環境、また人の心身状態に応じて、人を支援する形態を柔軟に変えながら人機能との協調を図る先進運転者支援システムの具体事例とその考え方を紹介した。主に人機能との協調に焦点を当てているが、さらなる人と機械の調和を狙う上では、人と機械のお互いが機能を高め合うことが重要である。今、自動車の高機能化・高知能化が人々の注目を集めているが、人機能との協調を図る形態の理論・技術も進捗の途上である。さらなる人と機械の調和を狙う人間機械系の理論・技術の構築を目指したい。

### 参考文献

- 1) 稲垣敏之：人と機械の共生のデザイン — 「人間中心の自動化」を探る一，森北出版（2012）。
- 2) Stutts, J. C., Wilkins, J. W. and Vaughn, B. V. : Why Do People Have Drowsy Driving Crashes? Input from Drivers Who Just Did, AAA Foundation for Traffic Safety, Washington, DC, pp.1-81 (1999).
- 3) Saito, Y., Itoh, M. and Inagaki, T. : Driver Assistance System With a Dual Control Scheme : Effectiveness of Identifying Driver Drowsiness and Preventing Lane Departure Accidents, IEEE Transactions on Human-machine Systems, Vol.46, No.5, pp.660-671 (2016).
- 4) 芳谷直治：二元予測制御（同定と制御の同時最適化）の周辺，電気学会論文誌 C, Vol.123, No.6, pp.1045-1048 (2003)。
- 5) 足立修一：Matlab による制御のためのシステム同定，東京電機大学出版局（2011）。
- 6) Endsley, M. R. : Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems, Human Factors, Vol.37, No.1, pp.32-64 (1995)。

(2016年9月20日受付)

■ 齊藤裕一 y-saito@cc.tuat.ac.jp

2015年から東京農工大学機械システム工学専攻特任助教。専門は人間機械システム設計・認知システム工学。近年の研究テーマは、運転支援システム設計、潜在リスク環境でのシェアードコントロールなど。