

人間中心設計によるイノベーション創出と自動運転技術の安全性向上への取り組み

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
ヒューマンモビリティ研究センター

研究センター長 北崎 智之



1. はじめに

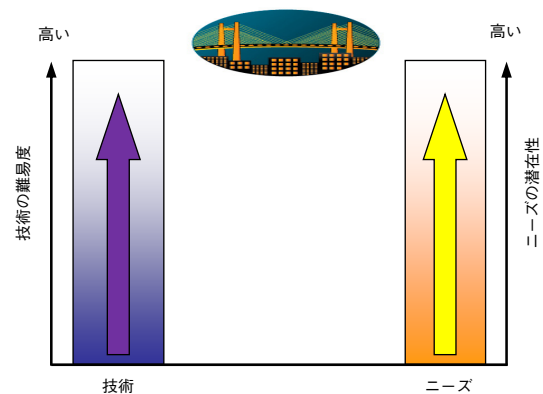
ビジネスのグローバル化に伴って、企業の国際競争力を高めるためにイノベーション創出は重要なものとなっている。また学術界においても、そのような産業界ニーズに貢献することが求められている。一方あらゆる工業製品やサービスにおいて、ユーザーは安全とならんで、快適性や使いやすさ、楽しさなど（カタログ数値ではなく）感性に訴える商品を求めており、人間中心設計の重要性が再認識されている。人間中心設計とは、製品やサービスの安全性、快適性、楽しさのために、人の特性や能力を理解し、それに適合するようにそれらを設計することと考えられる。本稿においては、イノベーション創出、および自動運転技術の安全性向上の取り組みにおける人間中心設計の重要性について解説する。

2. 人間中心設計とイノベーション創出

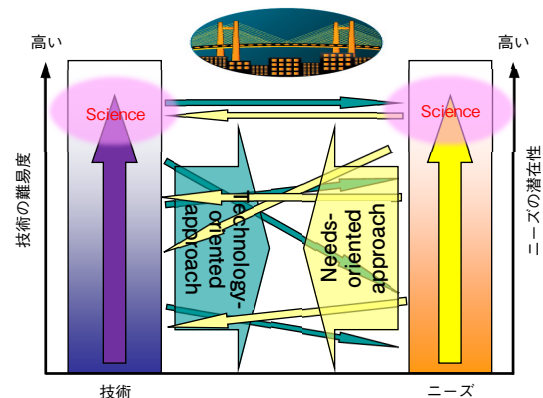
イノベーション (Innovation) とよく似た言葉にインベンション (Invention) がある。イノベーションとインベンションの違いは何か、1つの例をもって説明する。1903年に歴史上初めて飛行機によって空を飛んだライト兄弟のことは、誰もが知っている。一方、1936年に大西洋を初めて燃料無補給で横断飛行したダグラスDC-3のことを知っている人は少ない。結論から言うとライト兄弟が達成したことはインベンション、ダグラスDC3が達成したことはイノベーションと言われている。ダグラスDC3はその低燃費により連続長距離飛行を可能にしたばかりでなく、運賃の価格破壊をもたらした。それまでごく限られた富裕層の移動手段であった飛行機を、一般庶民のものとしたものであった。この2つの対比でわかるように、インベンションはその意味どおり発明であり、イノベーションは人々に新たな価値をもたらし、生活を変えるものと定義されている。またイノベーションを定義するのは、作り手ではなくユーザーである。

イノベーションとは技術とニーズに橋を架けることで

ある(第1図)。ここで技術にはさまざまな難易度があり、ニーズには顕在化したものから潜在的なものまでさまざまである。技術軸もニーズ軸も上に行くほど困難であり、その上端はサイエンスの領域に達する(第2図)。イノベーションとしての橋は、最上端に架ければ、高い技術によって潜在的なニーズを充足することになり、非常に大きなイノベーション機会となる。しかしながら、企業が求めるイノベーションはそのような大きなものばかりで



第1図 イノベーションの定義：
イノベーションとは、技術とニーズに橋を架けること



第2図 さまざまな橋としてのイノベーションと、
イノベーション創出のための2つのアプローチ

はなく、さまざまな場所に架かる橋である。なぜならば、スピード（競合他社に先んじるスピード、移り行くニーズに応えるスピード）もイノベーションを構成する重要なファクターであるからである。橋のかけ方には2とおりある。技術軸から作り始めるアプローチ（Technology-oriented approach）とニーズ軸から作り始めるアプローチ（Needs-oriented approach）であり、どちらも重要である（第2図）。前者は例えば「こんな新しい特性の材料ができたが、何かに使えないだろうか？」というもので、後者は「ユーザーのこのようなニーズに応えるためには、どうしたらよいかだろうか？」というものである。

いくつかの例をとって、さまざまなイノベーションとしての橋を解説する。2006年に発売されたNintendo Wii^(注1)、2007年に発売されたiPhone^(注2)はイノベーションと言ってよいのではないだろうか。前者はそれまで子供の社会性の成長を妨げるものとして親の敵であったコンピュータゲームに、家族や友人と一緒に楽しむという新しい価値をもたらした。iPhoneは直感的なタッチパネル操作とともに、コンピュータを持ち歩くことを可能にした。どちらも潜在ニーズに応えて大きな価値を生み出し、ユーザーの生活を変えたと言えるが、それを実現するための技術は必ずしも先端的なものではなかった。一方一番高いところに架けた橋として、MoT（Management of Technology）でもよく題材として取り上げられるのがポスト・イット^(注3)である。強い接着剤を開発していた3M Companyの研究者が偶然に弱い接着剤を開発し、それが「付けたり剥がしたりするメモ用紙」という潜在ニーズを掘り起こした（1980年）。もう1つ1番高いところに架けた橋の例として挙げたいのが、旭山動物園である。動物の生態に関する深い知識が、人々が今まで見たことのない（潜在ニーズ）生き生きとした動物の姿を見せることに成功した（Behavior exhibitionと名付けられている）。

潜在ニーズに応えることは、イノベーションを創出する可能性が高いが、ユーザー自身も気づかない潜在ニーズを発掘することは容易でない。潜在ニーズを発掘する手法として行動観察がある。これはユーザー行動を観察することにより、ユーザーのアンメットニーズを発掘する手法である。さらに深いニーズを探求するためには、エスノグラフィという手法がある。これはある一定の期間にわたってユーザーと同じ環境で生活を送り、そこに

ある生活や根底にある価値観などを理解し、深い潜在ニーズを発掘するものである。人間工学や認知工学などの人間研究も潜在ニーズ発掘に必要なことがある。これは人間の身体・認知特性を実験的に理解することにより、使いやすさ、快適性、安全性の根底にある潜在ニーズを発掘することと解釈することができる。

人間研究による潜在ニーズと技術との橋渡しの例として車酔い低減後席ディスプレイの研究開発について紹介する。自動車の後席で同乗者がテレビや映画を楽しむためのディスプレイは、特にファミリーユース向けのミニバンなどにおいて人気が高いが、ディスプレイ視聴中の車酔いが顕在化している。しかしながら、そのメカニズム（潜在ニーズ）を理解しないと、技術との橋渡しにより解決することはできない。

動揺病（酔い）は一般的に「感覚矛盾説」で引き起こされると言われている。これは、自分の動きに関する互いに矛盾する知覚入力があったときに、脳がこれらの情報を統合できないために、いわばSOSを発信しこれが酔いとなって表れるというものである。後席ディスプレイによる酔いを軽減するためには、具体的に矛盾が生じている情報を特定し、この矛盾を軽減しなければならない。

一般に酔いを引き起こす動きは、0.5 Hz以下の低周波の揺動であることがわかっている[1]。走行中の車両は、ドライバーの運転操作や路面の凹凸などによってさまざまな動きをする。ここで車体に固定されたディスプレイは、酔いを引き起こす低周波において、車体と剛連結されていると考えることができる。車体の挙動は、シートを介して乗員に伝達し、さらに身体を伝達して頭部に達する。人は自らの動きを頭部に位置する耳石や三半規管などの前庭器官によって平衡覚として知覚する。耳石は並進加速度、三半規管は角加速度センサであり、静止する全体座標系における動きとして知覚する。一方視覚情報は自らの動きを理解するための重要な情報であるが、車室内においては、車両に固定された局所座標系における動きとして知覚する。乗員がディスプレイを視聴しているときには、このように自らの動きに関して、前庭器官による平衡覚と視覚情報に座標系の違いによる矛盾が生じ、これが酔いにつながるという仮説を立てることができる（第3図）。

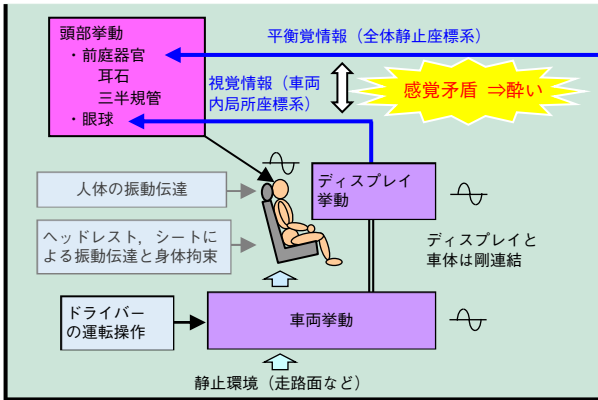
酔い発生メカニズムの仮説により、車両挙動をセンサで検出し、ディスプレイ内のイメージに車両挙動と関係した動きを情報として付加すれば、感覚の矛盾を低減することが可能と考えられる（第4図）。一般にバスなどの車酔いに関する調査から、酔いに感度が高い車両挙動が、制動、加速時の車両のピッチ動であることがわかっている[1]。したがって、車両のピッチ動をセンサによって検

(注1) 任天堂（株）の日本国内およびその他の国における登録商標または商標。

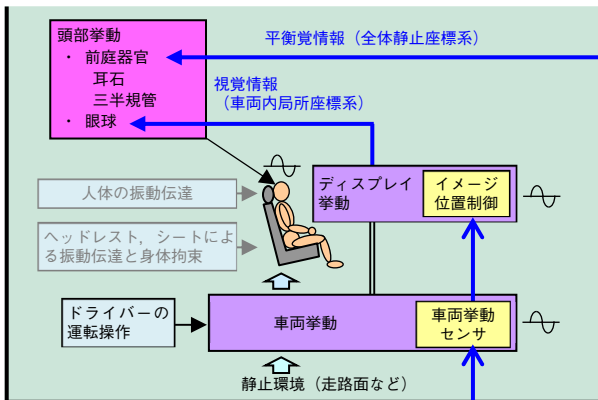
(注2) Apple Inc.の米国およびその他の国における登録商標または商標。

(注3) ポスト・イットおよびPost-itは、3M Companyの登録商標または商標。

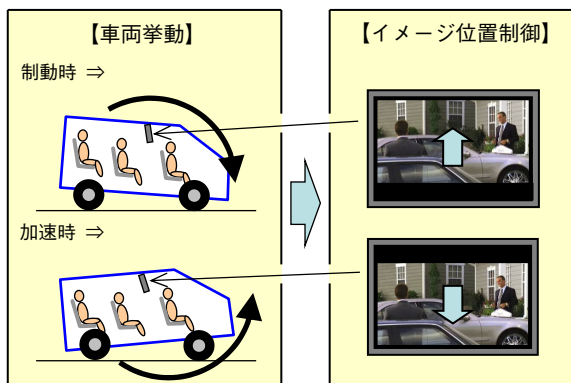
出し、それに応じてディスプレイ内のイメージ位置を上下方向に動かした（第5図）。



第3図 ディスプレイ視聴時の車両/ディスプレイと乗員の挙動、および乗員の挙動知覚における感覚矛盾による車酔い発生メカニズムの仮説



第4図 ディスプレイ視聴時の車酔い低減手法の原理

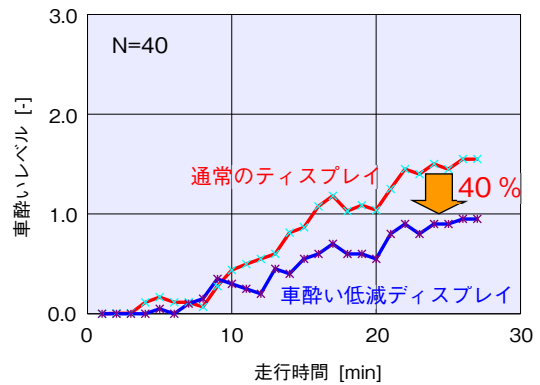


第5図 制動時、加速時の車両挙動に連動したイメージ位置制御

車酔い低減ディスプレイと通常ディスプレイの酔いの発生とレベルを実験により比較した（第6図）。被験者は

それぞれのディスプレイにつき20人で（被験者間比較）、走行ルートは一旦停止を多く含む住宅街とし、運転者には加減速度計を表示し、事前訓練により毎回ほぼ同じ加減速度で停止・発進を行うようにした。評価はCar sickness rating scale（0：症状無し～6：吐き気，[2]）を用い、同乗の実験者が1分ごとに質問した。車酔い低減ディスプレイは通常のディスプレイと比較して、約40%の酔い低減効果があることがわかった[3]。なお仮説検証のために、酔い低減ディスプレイに加えて、ディスプレイ前にコーリメーションレンズを設置し、乗員とディスプレイの相対運動を視覚的に取り除くことにより、酔いは70%低減することを確認した。また、バックレストの拘束を強めて乗員の動きを低減することにより、酔いは同じく70%低減した。仮説は検証されたと考えられる。

ディスプレイ視聴時の車酔い低減という比較的顕在化したニーズに対して、酔いの発症メカニズム（潜在ニーズ）を理解し、それを比較的容易な技術によって解決することができた。酔い低減ディスプレイは残念ながらコストの関係で商品化に至らなかった。したがって、これがイノベティブであるかどうかはわからないが、人間研究により技術とニーズの橋渡しの一例として紹介した。



第6図 車酔い低減ディスプレイ評価結果：通常ディスプレイと比較して、酔いが約40%低減した。

3. 自動運転技術の人間中心設計による安全性向上への取り組み

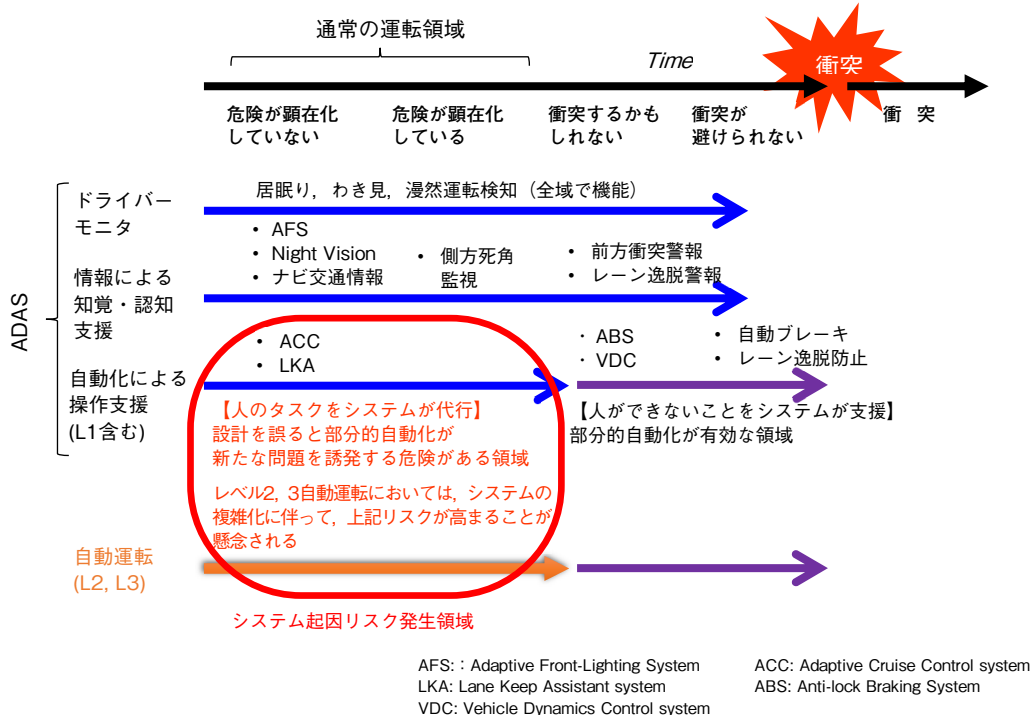
自動運転技術への社会的期待は多岐にわたるが、交通事故削減はそのなかでも特に大きな期待である。日本の交通事故死亡者数は1992年以降減少を続け、2020年は2839人であった。それは政府が「第10次交通安全基本計画（2016年3月11日）」で定めた、2020年までに2500人の目標値に迫るものであった。次の目標は「戦略市場創造プラン（2013年5月21日）」で定めた、2030年までに交通事故死亡者ゼロである。この目標を達成するための方策として、自動運転技術への期待が高まっている。

現在起きている交通事故の9割以上がドライバーのヒューマンエラーに起因することはよく知られている。コンピュータが運転する自動運転技術は、ヒューマンエラーを排除し、大幅な事故の削減が期待されている。しかしながら、発展途上のレベル2、レベル3[4]のような部分的あるいは条件付き自動運転においては、ドライバーとシステムの複雑な協調が求められ、その設計を誤ると、ドライバーの過信、誤審、能力限界に起因する新たなリスクが発生する。第7図は運転支援システム（ADAS; Advanced Driver Assistant System）と自動運転の作動領域を概念的に示したものである。リスクが潜むのは、通常運転領域における自動化による操作支援である。30年近くの歴史をもつACC（先行車追従機能）やLKA（車線維持機能）については、問題が起きないように細心の注意をもって設計されてきた。一方レベル2、3においては、ドライバーとシステムのタスク協調が複雑であり、この領域におけるリスクが高まることが懸念される。世界中で起きている自動運転車の事故の多くは、このようなリスクが事故に至ったものである。レベル2、3自動運転システムにより交通事故を削減するためには、(1)式に示すように、システム起因事故を極限まで減らすことが重要である。

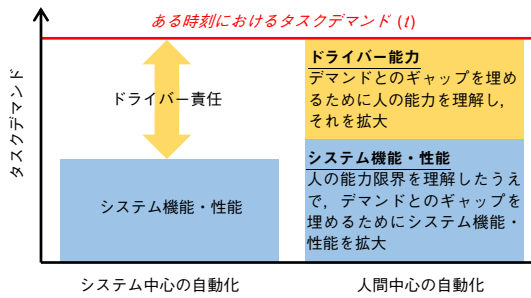
$$\text{自動運転技術による事故の削減数} = \text{手動運転におけるヒューマンエラーに起因する事故の件数} - \text{自動運転システムに起因する新たな事故発生数} \dots\dots\dots (1)$$

通常のコルマの運転においては、時々刻々変化する環境において、コルマを安全に走らせるためのタスクデマンドレベルにドライバー能力が達しないときに不安全となる。レベル2、3自動運転システムは、通常のコルマのドライバータスクの一部をシステムが代行するものであるため、コルマ全体の能力はドライバー能力とシステム能力の総和となる。このときシステム中心設計は、システム機能・性能を高める努力をするもの、タスクデマンドレベルとのギャップをドライバー責任として、一方的にドライバーに割り当てるものである。したがって、ドライバーの能力が不足すれば、不安全な事態に陥る可能性がある。一方人間中心設計は、人の能力限界や過信、誤審などの特性を理解し、あらゆる環境におけるタスクデマンドレベルにコルマ全体としての能力が対応するように、システムとドライバー両方の能力拡大を目指すものであると言える。人の能力拡大については、HMI（Human Machine Interface）の工夫が重要であるが、ドライバーの教育や訓練も同時に考えるべきである（第8図）。

人の能力を拡大するためのHMIとして、ドライバーモニタリングシステム（Driver Monitoring System, DMS）がある。DMSはドライバー状態を監視し、運転引き継ぎを安全に実行できない状態にあることを検知したときにはメインシステムに報告する。メインシステムは、警報・

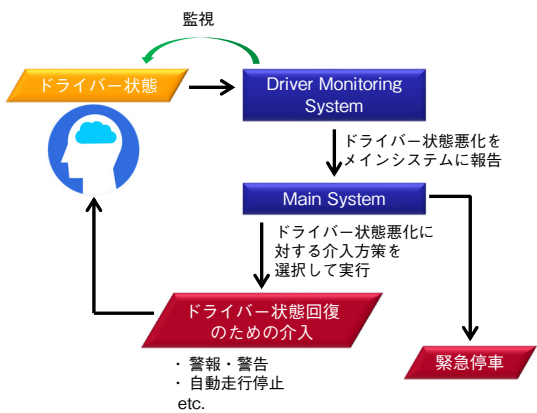


第7図 ADASと自動運転作動領域の概念図とシステム起因リスクの発生領域



第8図 「システム中心の自動化」と「人間中心の自動化」におけるタスクデマンドとシステム機能およびドライバー責任／ドライバー能力の関係

警告や、自動運転停止など、ドライバー状態を回復するための介入方策を繰り返し実行する。そしてもしドライバー状態の改善が見られないときには、安全確保のために車両の緊急停止を実行する場合もある(第9図)。DMSを開発するためには、2つの研究課題に取り組む必要がある。①運転引き継ぎに対して、どのようなドライバー状態がどのような影響を及ぼすのか、②そのようなドライバー状態はどのような計測指標で監視すればよいのか。



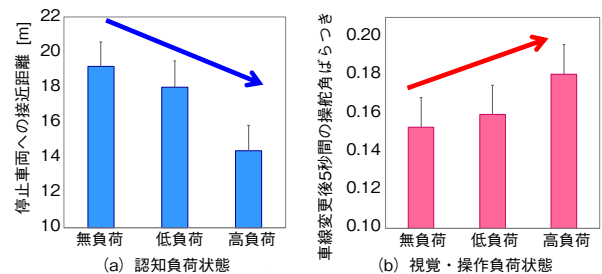
第9図 レベル 2,3 自動運転システムからの安全な運転引き継ぎを支援するためのドライバーモニタリングとシステム介入の概念図

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第1期自動走行システムの「自動走行システムの実現に向けたHMIなどのヒューマンファクタに関する調査検討」においては、非運転作業などで誘発される認知負荷および視覚・操作負荷の各ドライバー状態について、運転引き継ぎへの影響と計測指標を検討した。

ドライビングシミュレータにレベル2自動運転を再現した。ドライバー席に着座した被験者(80人)には、自動走行中に認知タスク(N-backタスク[6])と視覚・操作タスク(SuRT[7])の2種類の非運転タスク(それぞれ負荷の大小2条件を設定)が課せられた。またこのとき、被

験者の各種生理指標を計測した。運転シナリオは中程度の緊急度の運転引き継ぎおよび危険回避場面を含み、そのときのパフォーマンスを計測した。なお運転引き継ぎ場面は、レベル2先行車追従中に、システム故障による運転引き継ぎ要請(RtI)が発信され、システムは機能を停止。1秒後に先行車が車線変更すると、停止車両が出現するというものである。RtIの発信は衝突時間(Time to Collision, TTC)6秒とした。被験者はRtIに従って運転を引き継ぎ、停止車両を発見した後に、これを手動による車線変更によって回避しなければならない。

自動走行中のドライバーの認知負荷レベルについては、RtI発信後の手動による停止車両回避時の、停止車両への接近距離との相関が得られた(第10図(a))。自動走行中の認知負荷は、手動運転開始後にも影響が残り、危険回避行動プロセスを遅延させていると考えることができる。一方自動走行中のドライバーの視覚・操作負荷レベルについては、車線変更後5秒間のステアリング操作のばらつきとの相関が得られた(第10図(b))。自動走行中の視覚負荷がドライバーの周辺状況認識(situation awareness)の低下をもたらし、それが車線変更の急操作による車両の安定化操作の低下につながったと解釈することができる[8]。



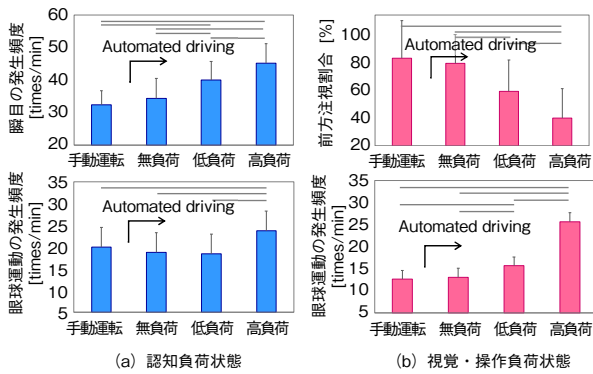
第10図 ドライバーの負荷状態と運転引き継ぎにおけるパフォーマンス

自動運転走行中の認知負荷レベルについては、瞬目発生頻度と眼球運動(サッケード)発生頻度、視覚・操作負荷レベルについては、前方視認割合と眼球運動発生頻度との相関が得られ(第11図)、これらを計測指標とすることができることがわかった。

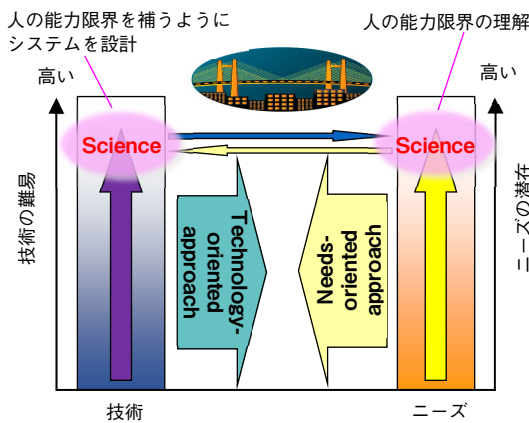
認知負荷と視覚・操作負荷状態が運転引き継ぎに及ぼす影響と、それらの計測指標が明らかになった。運転引き継ぎに影響を及ぼすドライバーの状態は、姿勢や覚醒度低下など他にもあるが、基本的に同様の手法により、その影響と計測指標を明らかにすることができる。それらが明らかになれば、DMSのセンサ仕様が決まり、主要なロジックを開発することが可能となる。

以上レベル2, 3自動運転の安全性に関わる人間中心設

計の考え方を述べた。もともと技術軸からのアプローチとして始まった自動運転技術開発であったが、ここにきて、人の能力限界や過信、誤審といったユーザーが自覚していない潜在ニーズの理解に基づくアプローチの重要性が増している（第12図）。



第11図 ドライバーの負荷状態と相関が取れた生理指標（計測指標）



第12図 自動運転システムの人間中心設計によるイノベーションの創出

4. まとめ

人間中心設計の重要性をイノベーション創出、および自動運転技術の安全性向上への取り組みの観点から解説した。筆者は長年にわたってクルマの人間中心設計を進めてきた。しかしながら、人間というものは研究すればするほどわからないことばかりである。心理学、脳神経科学や生理学などのもっと深く統合的な理解が必要と感じるとともに、最近の情報科学で用いられているような大量のデータからデータドリブンで人間を理解することも必要ではないかと思う。しかしながら今のところ「データドリブンの人間工学」は暗中模索である。次の世代に期待したいと思う。

参考文献

- [1] Griffin, M.J., Handbook of Human Vibration, Academic Press, London, 1990, ISBN:0-12-303040-4.
- [2] Golding, J. F. et al., “A comparison of the nauseogenic potential of low-frequency vertical versus horizontal linear oscillation,” Aviation, Space, and Environmental Medicine, vol. 63, no. 6, pp.491-497, 1992.
- [3] Kazuhito Kato et al., “A study for understanding carsickness based on the sensory conflict theory,” SAE Technical Paper Series 2006-01-0096.
- [4] Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, SAE J3016, Society for Automotive Engineers, Sept. 2016, June 2018.
- [5] International Organization for Standardization, Road Vehicles - Human performance and state in the context of automated driving - Part 2: Considerations in designing experiments to investigate transition processes, ISO TR21959-2, 2020.
- [6] Kirchner, W. K., “Age differences in short-term retention of rapidly changing information,” Journal of Experimental Psychology, vol. 55, no. 1, pp. 352-358, 1958.
- [7] International Organization for Standardization, “Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems - Calibration tasks for methods which assess driver demand due to the use of in-vehicle systems,” ISO TS14198, 2019.
- [8] Choi, D. et al., “Effects of cognitive and visual loads on driving performance after take-over request (TOR) in automated driving,” Applied ergonomics, vol. 85, May 2020, 103074.

《プロフィール》

北崎 智之（きたざき さとし）

1983 京都大学 工学部卒業
 1985 京都大学大学院 工学研究科 修士課程修了
 1985-2012 日産自動車（株）
 1990-1993 University of Southampton 研究員
 1995 University of Southampton Ph.D.
 2012-2015 University of Iowa, Department of Neurology 教授
 2015-2020 (国研) 産業技術総合研究所 自動車ヒューマンファクター研究センター 研究センター長
 2020-現在 (国研) 産業技術総合研究所 ヒューマンモビリティ研究センター 研究センター長
 2016-現在 名古屋大学 工学部 招聘教員
 ISO/TC22/SC39/WG8エキスパート
 2018-現在 (公社) 自動車技術会フェロー, 代議員

専門技術分野：自動車のヒューマンファクター