

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：33934

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21486

研究課題名(和文) 自動運転のあるべき姿とは？ ドライバ負荷軽減と依存，システムダウン後の復元から

研究課題名(英文) What is the ideal autonomous driving systems? - from the point of reduction of driver's mental workload, reliance on autonomous driving and recovery after system failure of autonomous driving system

研究代表者

荒川 俊也 (Arakawa, Toshiya)

愛知工科大学・工学部・教授(移行)

研究者番号：50631248

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：ドライビングシミュレータによる市街地走行を通じ，自動運転(AD)への依存と，AD破綻後のドライバ状態について検証した，依存については，視線挙動の観点から，マニュアル運転(MD)時では進行方向に視線が集中するが，AD時は周辺視方向にも視線が停留し，漫然化傾向が示唆された．また，ブレーキ準備行動の観点からADにおける制御への依存も示唆された．システム破綻については，AD破綻前に比べ破綻後のMDで血圧の増加傾向が見られ，ADからMDへの遷移によるメンタルワークロードの増加が示唆された．一方，ADにおける認知・判断の依存に起因し，破綻前に比べ，AD破綻後のMDにおける脳活動の著しい低下が示唆された．

研究成果の概要(英文)：The effect of a system failure on autonomous driving (AD) and the state of the driver were verified for city driving using a driving simulator. With respect to a driver's dependency on AD, the driver's gaze was observed to be concentrated in the direction of their own vehicle during manual driving (MD). However, during AD, the driver's peripheral vision became more dominant thereby suggesting that the driver's gaze had transitioned to a roaming state. With respect to system failure, the driver's blood pressure during MD after an AD system failure was higher than that during MD prior to the failure thereby suggesting that the driver's mental workload increased because of the transition from AD to MD. In contrast, the driver's brain activity during MD decreased more noticeably after an AD system failure than that during MD prior to the failure. This decreased brain activity can be attributed to the driver's dependency on autonomous cognition and judgment during AD.

研究分野：人間工学，ヒューマンファクタ，統計科学，地理情報システム

キーワード：自動運転 依存 破綻 ヒューマンファクタ ドライビングシミュレータ

1. 研究開始当初の背景

2020年の東京オリンピックをマイルストーンとして、自動運転車の開発が進んでいる。わが国においては2008年から2012年にかけて、安全で環境にやさしい次世代の物流輸送システムの実現を目指した大型トラックの隊列自動走行技術が開発されるとともに、2014年度より政府が中心となり自動運転車の実用化を目指した取組み(SIP-adus)が開始されている。このような技術開発が進む一方で、自動運転における課題も存在しており、例えば法令面や社会的受容性、国際標準化等の問題を有している。その中の一つとして、ヒューマンファクタの問題がある。特に、自動運転(AD)レベル3以上を想定した場合、自動運転システムへの依存や、自動運転のシステムがダウンした後、マニュアル運転(MD)に遷移した際に、ドライバが正しく認知・判断・操作を行うことができるか、といった、運転状態の遷移に起因するドライバ状態については未だ検証されていない。しかし、今後、自動運転の量産化を見据えると、ドライバが自動運転を用いることで、どのような問題点が生じるかをヒューマンファクタの観点から明確化し、どのような姿勢で自動運転に向き合うべきか、理解・留意する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、ドライビングシミュレータにおける15分程度の市街地走行において、

- ① MDからADに遷移した際に、ドライバはADに依存するか否か
- ② MDからADに、また、ADからMD(システム破綻を想定したもの)に遷移した際に、2回目のMDにおける認知・判断がどのようなものか、また、この結果がADの影響によるものか
- ③ MDからAD、また、ADからMD(システム破綻を想定したもの)に遷移した際に、ADの経験期間によって、AD経験後のMDにおけるドライバ行動(車速、操舵角)が、AD経験前のMDに比べて変化するか

について評価を行い、ADへの依存傾向の有無およびAD経験によるドライバ状態やドライバ行動の変化について検証することを目的とする。

3. 研究の方法

ドライビングシミュレータ(D3Sim, 愛知工科大学現有設備)を用いて、市街地を約15分走行するシナリオを構築した。このシナリオを用いて、第2章に示す①から③の検証を行った。それぞれ検証の方法は次の通りである。

- ① 5名の実験協力者(男性5名、全て22歳)にドライビングシミュレータで走行してもらい、MDにより市街地のシナリオを走行した後、休憩を挟み、ADにより同シナリオを走行する。この際、アイマー

クレコーダにより運転中のドライバの視線挙動を計測すると共に、ブレーキ(準備)行動およびドライバの顔画像をwebカメラで記録した。MDおよびADにおける視線挙動、ブレーキ(準備)行動の比較を行った。また、ADにおいては、ドライバの顔画像からNEDOの評価法に基づく覚醒度を算出し、ADによる運転を継続した際の覚醒度の変化についても検証した。

- ② 14名の実験協力者(男性13名、女性1名、22歳から46歳)に3週間ドライビングシミュレータで走行してもらった。1週間につき3日運転を行い、最初の1週間はMDによる運転、次の1週間はADによる運転、最後の1週間はMDによる運転とした。なお、最後の1週間のMDは、ADが破綻したことを想定したものであるが、ドライビングシミュレータの仕様上、ハンドオーバーは考慮していない。この際、ドライバ状態を評価するにあたって、アイマークレコーダにより運転中のドライバの視線挙動を計測すると共に、漫然状態の評価指標として体圧検知センサによる運転中のドライバの座圧、ストレスの指標として連続血圧計による運転中のドライバの血圧、認知判断の指標としてポータブルNIRSによる運転中のドライバの脳血流を計測した。また、運転前後において、ドライバの唾液を採取し、ストレスの指標として唾液アミラーゼの濃度も計測した。これらのドライバ状態を基にして、ADへの依存に関して、また、AD破綻後のドライバのワークロードや認知判断能力について検証した。なお、運転後に口頭アンケートも実施した。
- ③ 6名の実験協力者(男性6名、22歳から23歳)にドライビングシミュレータにより走行してもらった。全ての実験協力者がMDにより市街地を1回運転し、その後、決められた期間ADにより市街地を運転し、最後に再度MDにより市街地を1回運転した。6名の実験協力者を2名ずつ3群に分割し、1つの群はADを1週間、1つの群はADを2週間、1つの群はADを3週間運転するように指示した。運転は1週間につき3日行った。このとき、AD経験前のMDおよびAD経験後のMDにおける、直進時(SR)および右左折時(右折:RC,左折:LC)の車速、角速度を評価し、AD介入およびその期間に伴う車速と角速度の変化について検証した。なお、本研究で述べるADは、自動運転レベル3を模擬したものである。

4. 研究成果

第2章および第3章に示す①から③の検証を行った結果、以下のことが判明した。

- (1) 視線挙動の観点から、MD時は自転車

進行方向に視線が停留する割合が多いが、AD時はMD時に比較すると自動車進行方向に視線が停留する割合が減少し、運転とは直接関係のないと考えられる、周辺視領域に視線が停留する割合が増加することが示唆される(図1)。なお、図1において、横軸は視線の水平方向角度、縦軸(下方向が正)は経過時間であり、赤色の領域は視線停留の割合が高く、青色の領域は視線停留の割合が低いことを意味している。

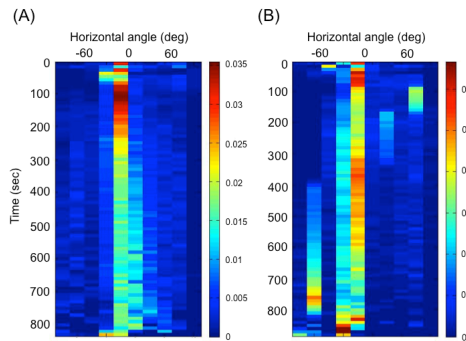


図1 ①における視線挙動の比較(一例)。(a):MD時, (b):AD時。

- (2) ADにおける自動ブレーキのタイミングに対して、ドライバがブレーキペダルに足を乗せた(乗せている)タイミングの割合を算出した結果、1名を除くと5割を切っている(表1)。以上から、AD時に自動ブレーキに依存する傾向にあることが示唆される。なお、1名は事前にADが破綻する可能性について教示した結果、ADを全く信用せず、過度に緊張してブレーキペダルに絶えず足を添えていた。

表1 ADによるブレーキタイミングとドライバのブレーキ(準備)行動タイミングの一致率(単位:%)

Driver	Concordance rate
Driver A	42.2
Driver B	98.8
Driver C	49.2
Driver D	27.9
Driver E	13.3

- (3) ADにおいては、時間と共に覚醒度が低下し、高々15分程度のADによる運転であっても、眠気レベル3にまで陥る実験協力者も見られた(図2)。このことから、ADへの依存に起因して、ADによる運転時の覚醒度の低下が示唆される。
- (4) MD-AD-破綻を想定したMDと経て運転をした際に、ADおよび破綻を想定したMDでは、最初のMDに比べて血圧が増加する傾向にある(図3)。

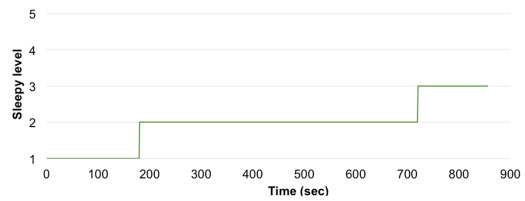
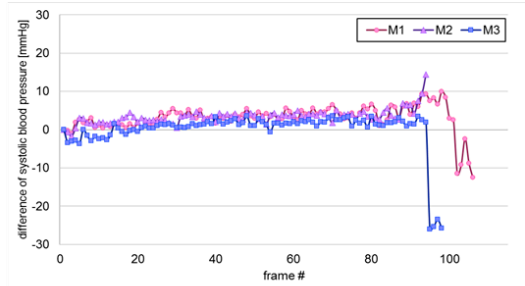
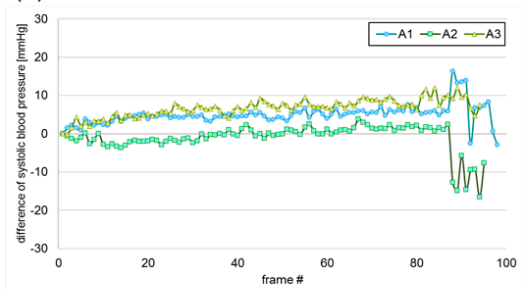


図2 眠気レベル変化の一例

(1) M1-M2-M3



(2) A1-A2-A3



(3) M4-M5-M6

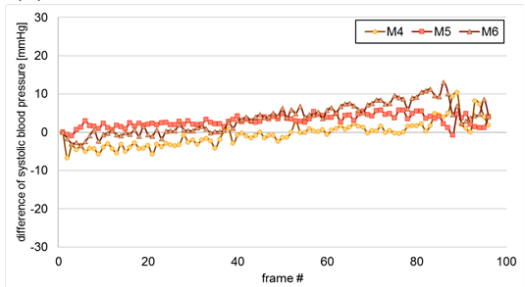
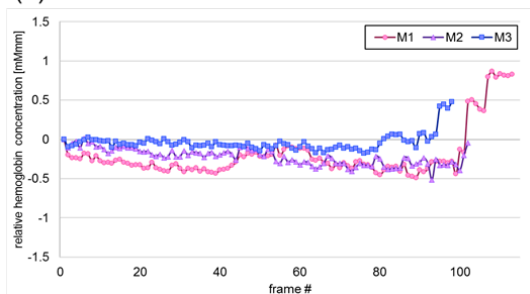


図3 ②における、MD, AD, 破綻を想定したMDそれぞれの血圧の時系列グラフ(運転開始時からの相対変化)。M1-M3はMD1日目-3日目, A1-A3はAD1日目-3日目, M4-M6は破綻を想定したMD1日目-3日目を示す。

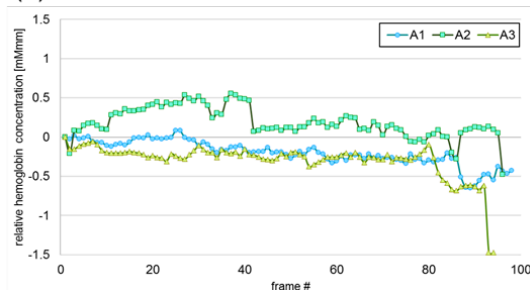
ADについては、ドライバがこれまで経験していなかった運転であるため、自身の運転感覚とADによる制御の感覚とのズレや、ADに対して完全に信頼できないという不安感などの心理に伴う血圧の増加と考えられる。また、破綻を想定したMDにおける血圧の増加は、これまでADによりドライバは運転負荷が抑制されていたが、MDに遷移することで、ドライバ自身で認知・判断・操作の必要があることに起因したメンタルワークロード増加によるものと考えられる。

(5) MD-AD-破綻を想定した MD と経て運転をした際に、破綻を想定した MD では、血中ヘモグロビン濃度が減少する傾向にあり、認知・判断能力が低下していることが示唆される (図 4). これは、AD によって、ドライバは認知・判断・操作を行っていたが、MD によって、全てを自身で行う状況に陥った. その一方で、あたかも AD を継続しているかのように、ドライバ自身で周辺車両や障害物を認知・判断しなくても良いと錯覚していることなどが影響しているものと考えられる (図 4).

(1) M1-M2-M3



(2) A1-A2-A3



(3) M4-M5-M6

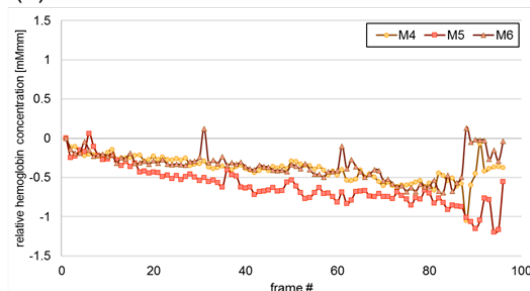


図 4 ②における、MD, AD, 破綻を想定した MD それぞれの前頭部血中ヘモグロビン濃度の時系列グラフ (運転開始時からの相対変化). M1-M3 は MD1 日目-3 日目, A1-A3 は AD1 日目-3 日目, M4-M6 は破綻を想定した MD1 日目-3 日目を示す.

(6) MD-AD-破綻を想定した MD と運転した場合、直線路における車速や操舵角には顕著な傾向が見られなかったが、AD を 3 週間経験した際の、右左折における車速のばらつきが、AD を 1 週間経験した場合、2 週間経験した場合に比べて大きいことがわかっ

た. 操舵角は、AD を 3 週間経験した際に、AD 経験前よりも転舵量が小さい状況で右左折をする傾向にあることが示唆された (図 5).

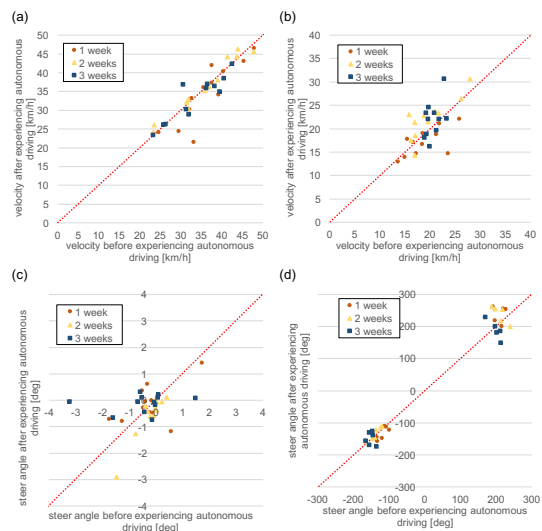


図 5 AD 経験期間毎の、SR および RC/LC における AD 経験前の車速および操舵角と AD 経験後の車速および操舵角の関係

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

1. Toshiya Arakawa, Ryosuke Hibi and Taka-aki Fujishiro (2018) (in press) “Psychophysical assessment of a driver's mental state in autonomous vehicles,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 査読あり
2. 荒川俊也 (2018) 「ビジネスモデル構築に向けて生体計測技術はどうあるべきか？」研究開発リーダー, 2018 年 3 月号, 35-38, 株式会社技術情報協会. 査読なし
3. Toshiya Arakawa (2017) “Trial Verification of Human Reliance on Autonomous Vehicles from the Viewpoint of Human Factors,” *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 14(2), 491-501. 査読あり
4. Toshiya Arakawa (2017) “Validity of detection of driver's surprised state based on systolic blood pressure,” *Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers*, 5(3), 136-140. 査読あり
5. 荒川俊也 (2017) “シバヤギの発情予測手法の提案と評価,” *日本機械学会論文誌*, 83(848), 16-00447. 査読あり
6. Toshiya Arakawa (2017) “Driver Attention Based on Eye-movement and Time-series Analysis - Concept of Driver State Detection Devices,” *American Journal of Mechanical Engineering*, 5(1), 18-23. 査読あり
7. Toshiya Arakawa (2017) “Modeling of the Feeling of Visibility Reduction by the Right-A Pillar of a Japanese Vehicle and Evaluation of Visibility using the K-means

- Method,” ICIC Express Letters, 11(3), 657-664. 査読あり
8. 荒川俊也 (2017) 「ドライバモニタリングシステムの技術動向と展望」愛知工科大学紀要, 14, 55-61. 査読なし
 9. Ryosuke Sugie, Toshiya Arakawa and Kazuhiro Kozuka (2016) “Detection of Fatigue in Long-Distance Driving by Heart Rate Variability,” ICIC Express Letters, 10(7), 1553-1559. 査読あり
 10. 荒川俊也 (2016) “若年ドライバの高速道路走行時スマートフォン操作が及ぼす影響の検証,” 産業応用工学会論文誌, 4(2), 31-36. 査読あり
 11. 荒川俊也 (2016) “高校生向け PBL 型教育を通じた自動車工学と予防安全技術への関心向上策,” 工学教育, 65(1), 94-99. 査読あり
 12. 荒川俊也, 土谷隆 (2016) “最大電力供給の統計的解析と節電について - 東日本大震災がもたらした構造変化 -,” オペレーションズ・リサーチ, 61(10), 64-76. 査読あり
 13. Toshiya Arakawa (2016) “Consideration for Inhibiting Over-reliance of Autonomous Vehicle,” proceedings of ICISIP2016: The 4th International Conference of Intelligent Systems and Image Processing 2016, 58-61. 査読あり
 14. Toshiya Arakawa and Kunihiko Oi (2016) “Verification of Autonomous Vehicle Over-reliance,” Proceedings of Measuring Behavior 2016, 177-182. 査読あり
- [学会発表] (計 29 件)
1. 荒川俊也, 日比亮輔 (2018) 自動運転継続期間がドライバの運転行動に及ぼす影響の基礎的考察, 自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会 (パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市), 2018 年 5 月 23 日)
 2. 加賀翔太郎, 荒川俊也, 大西正敏 (2018) 鼻部皮膚温度測定によるストレス検知システムの開発, パーティクルフィルタ研究会 2018 年 3 月度研究会 (統計数理研究所 (東京都立川市), 2018 年 3 月 1 日)
 3. 荒川俊也 (2017) 生体情報の観点による自動運転システム破綻時の Human Factors の考察, 第 5 回愛知工科大学 ITS シンポジウム (愛知工科大学 (愛知県蒲郡市), 2017 年 12 月 1 日)
 4. 加賀翔太郎, 荒川俊也, 大西正敏 (2017) 鼻部皮膚温度測定によるストレス検知システムの研究開発, 計測自動制御学会中部支部オープンラボ・若手研究発表会 (トヨタ産業技術記念館 (愛知県名古屋), 2017 年 11 月 30 日)
 5. 荒川俊也, 日比亮輔, 藤城孝彰 (2017) 自動運転システムの破綻時におけるドライバ状態の考察, 自動車技術会 2017 年秋季大会学術講演会 (グランキューブ大阪 (大阪府大阪市), 2017 年 10 月 13 日)
 6. 荒川俊也, 榊原規彰, 近藤針次 (2017) 超音波ドップラー方式による車載かつ連続計測可能な血圧計の開発, 産業応用工学会全国大会 2017 (九州工業大学 (福岡県北九州市), 2017 年 9 月 22 日)
 7. 荒川俊也 (2017) 機械学習によるシバヤギの発情行動推定手法, 第 33 回ファジィシステムシンポジウム (山形大学 (山形県米沢市), 2017 年 9 月 13 日)
 8. 荒川俊也, 加賀翔太郎, 大西正敏 (2017) パーティクルフィルタを用いた鼻部トラッキングおよび皮膚温度計測によるストレス評価, パーティクルフィルタ研究会 2017 年 7 月度研究会 (西日本工業大学 (福岡県北九州市), 2017 年 7 月 21 日)
 9. 荒川俊也 (2017) 生体データを活用したドライバ状態検出・推定システムの現状 - パーティクルフィルタの適用に向けて, パーティクルフィルタ研究会 2017 年 3 月度研究会 (統計数理研究所 (東京都立川市), 2017 年 3 月 21 日)
 10. 荒川俊也 (2016) 生体計測の主要技術と生体データ利用にむけた評価・解析のポイント, サイエンス&テクノロジー株式会社技術セミナー (東京流通センター (東京都大田区), 2016 年 12 月 21 日)
 11. 藤城孝彰, 荒川俊也 (2016) 自動運転に対する依存とシステム破綻時のヒューマンファクタ, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2016 (滋賀県立体育館 (滋賀県大津市), 2016 年 12 月 6 日)
 12. 荒川俊也, ドライバモニタリング技術の研究開発動向と展望 - 自動運転の時代に向けて -, 電気三学会関西支部専門講習会 「人の内面状態理解のための生体情報センシング最新動向」 (中央電気倶楽部 (大阪府大阪市), 2016 年 10 月 28 日)
 13. 荒川俊也, 視線挙動に基づく自動運転時のヒューマンファクタ, 生体医工学シンポジウム 2016, 大雪クリスタルホール (北海道旭川市), 2016 年 9 月 17 日)
 14. 荒川俊也, 神永健多, 榊原規彰, 近藤針次 (2016) 容積脈波法によるステアリング装着型連続血圧計の開発と評価, 産業応用工学会全国大会 2016 (京都市国際交流会館 (京都府京都市), 2016 年 9 月 11 日)
 15. Toshiya Arakawa (2016) Consideration for Inhibiting Over-reliance of Autonomous Vehicle, ICISIP2016: The 4th International Conference of Intelligent Systems and Image Processing 2016 (Kyoto International Community House (Kyoto-city, Kyoto), 8 September, 2016)
 16. 荒川俊也 (2016) 自動運転技術へのドライバの依存に関する検証および考察, Dynamics and Design Conference 2016, 山口大学常磐キャンパス (山口県宇部市),

- 2016年8月23日)
17. 荒川俊也 (2016) 自動車技術の進展におけるドライバーモニタリングの役割と位置付け及びその技術動向, サイエンス&テクノロジー株式会社技術セミナー (AP品川アネックス (東京都品川区), 2016年7月25日)
 18. 荒川俊也 (2016) 生体計測の基礎と測定・解析ノウハウ, 株式会社技術情報協会技術セミナー (株式会社技術情報協会 (東京都品川区, 2016年7月9日)
 19. 荒川俊也, 田邊彰, 高橋阿貴, 柿原聡, 小出剛, 土谷隆 (2016) 隠れマルコフモデルによるマウス社会行動推定手法とフリーソフト"DuoMouse"の開発, パーティクルフィルタ研究会 2016年6月度研究会 (東北大学 (宮城県仙台市), 2016年6月30日)
 20. 荒川俊也 (2016) 自動運転への依存に関する実験的考察 - ヒューマンファクタの観点から -, 自動車技術会中部支部 2016年度支部通常総会併催研究発表会 (名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市), 2016年6月9日)
 21. 荒川俊也 (2016) 技術動向と応用事例から学ぶ生体計測のポイント~測定・解析のポイントと計測データの活用方法~, 株式会社情報機構技術セミナー (品川区立総合区民会館 (東京都品川区), 2016年6月6日)
 22. Toshiya Arakawa and Kunihiko Oi (2016) Verification of Autonomous Vehicle Over-reliance, Measuring Behavior 2016 (Radisson Blu Royal Hotel (Dublin, Ireland), 25 May, 2016)
 23. 荒川俊也 (2016) ドライバー状態の検出・推定・制御技術の研究開発動向と展望, S&T 出版株式会社技術セミナー (高橋ビルヂング (東京都千代田区), 2016年5月20日)
 24. 荒川俊也 (2016) 自動運転の要素技術と国内外の研究動向および課題・問題点, 株式会社テックデザイン技術セミナー (株式会社テックデザイン会議室 (東京都江東区), 2016年4月22日)
 25. 大井邦彦, 荒川俊也 (2015) 自動運転技術におけるドライバの依存について, 計測自動制御学会中部支部オープンラボ・若手研究発表会 (トヨタ産業技術記念館 (愛知県名古屋市), 2015年11月26日)
 26. 荒川俊也 (2015) 自動運転技術におけるドライバとシステムのあり方, 自動車技術会エレクトロニクス部門委員会 (首都大学東京秋葉原サテライトキャンパス (東京都千代田区), 2015年11月26日)
 27. 荒川俊也 (2015) 自動運転技術におけるドライバのレジリエンス, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2015 (函館アリーナ (北海道函館市), 2015年11月18日)
 28. 荒川俊也 (2015) ドライバ・レジリエンス, 第4回愛知工科大学 ITS シンポジウム (愛知工科大学 (愛知県蒲郡市), 2015年11月6日)
 29. 大井邦彦, 荒川俊也 (2015) 自動運転技術におけるドライバの依存に関する検証, 第4回愛知工科大学 ITS シンポジウム (愛知工科大学 (愛知県蒲郡市), 2015年11月6日)
- [図書] (計4件)
1. 荒川俊也 他 54名 (2018) 生体情報センシングとヘルスケアへの最新応用, 株式会社技術情報協会, 540ページ
 2. Toshiya Arakawa, Akira Tanave, Aki Takahashi, Satoshi Kakihara, Tsuyoshi Koide and Takashi Tsuchiya (2016) Automated Estimation of Mouse Social Behaviours Based on a Hidden Markov Model, in "Hidden Markov Models: Methods and Protocols", chapter 14, 185-197
 3. 荒川俊也 他 22名 (2016) 製品開発のための生体情報の計測手法と活用ノウハウ, 株式会社情報機構, 255ページ
 4. 荒川俊也 (2016) 4週間でマスターする重回帰分析, 株式会社テックデザイン, 70ページ
- [その他]
1. 愛知工科大学 荒川研究室 ホームページ:
<http://www1.aut.ac.jp/~arakawa-lab>
 2. 愛知工科大学広報誌 KOKA Times 第19号:
http://www.aut.ac.jp/media/001/201704/new_sletter19.pdf
 3. 愛知工科大学ホームページ トピックス:
http://www.aut.ac.jp/news/univ_news/entry-1731.html
6. 研究組織
- (1)研究代表者
荒川 俊也 (ARAKAWA, Toshiya)
愛知工科大学・工学部・教授
研究者番号: 50631248
 - (2)研究分担者
なし
 - (3)連携研究者
なし
 - (4)研究協力者
なし