

室内気体環境から集中状態改善の 提案を行う対話型ロボット

川隅恭介†1 岩井将行†2

概要: 本研究は、運転手自身では認識することができない運転中の集中力の低下を検知しフィードバックすることで、交通事故やその原因になるミスが減らすことを目的としている。集中力の低下は自動車車室内の空気環境から推定する。車内の二酸化炭素濃度や温湿度をセンシングし、それらの数値から運転手の集中力の低下を推定する。今回はその推定結果と、実際の運転手の集中力を比較して、運転中の室内環境と集中力の関係を検証する。実際の集中力の測定には、次の方法を用いる。一定の間隔で運転手の意思決定能力を問う問題を出題して、その回答に対する正誤や回答時間などから運転手の現状の集中力を測定する。また、本研究では集中力が低下した場合の改善を目指す。センシングの結果から、運転手に集中力の低下が見られると判断できる場合、その改善案を運転手にフィードバックする。フィードバックと同時に SNS 等で共有する事により、コミュニティ全体での意識改善を行う。操作は運転中でもハンズフリーで出来るように音声認識・音声合成を用いた対話型インタフェースで行う。

キーワード: 室内環境, 集中力推定, IoT, 音声認識, 音声合成, SNS, 対話型インタフェース, 生体センシング, 運転

Interactive robot to perform the proposal of a centralized state improvement from the indoor air environment

Kyosuke KAWASUMI^{†1}
Masayuki Iwai^{†2}

Abstract: This study, by feeding back detected a decrease in the concentration in operation that can not be recognized by the driver himself, it is an object to reduce the mistakes made in traffic accidents and their causes. Loss of concentration is estimated from the automobile passenger compartment of the air environment. Sensing the carbon dioxide concentration and temperature and humidity in the car, to estimate the reduction in the concentration of the driver from those numbers. This time and the estimation result, by comparing the concentration of the actual driver, to verify the concentration of the relationship between the indoor environment during the operation. The measurement of the actual concentration, using the following method. To question the problem of questioning the decision-making ability of the driver at regular intervals, to measure the concentration of the current state of the driver from, such as correctness and answer time for the answer. In addition, in the present study aims to improve when the concentration fell. If the results of the sensing, it can be determined that a decrease in concentration in the driver can be seen, and feeds back the proposed improvements to the driver. By sharing in the feedback and at the same time SNS or the like, and the consciousness improvement of the entire Konyuniti. Operation is carried out in an interactive interface using speech recognition and speech synthesis to allow hands-free even during operation.

Keywords: indoor environment, ability to concentrate, IoT, speech recognition, speech synthesis, SNS, interactive interface, bio-sensing, driving

1. はじめに

近年、自動車の制御技術の向上や交通安全基本計画の継続的な実施によって、交通事故件数が減少傾向を示している。平成 26 年の交通事故死者数は 4,113 人となり、14 年連続で減少し、6 年連続で 5,000 人を下回り、過去最悪であった昭和 45 年の 1 万 6,765 人の 4 分の 1 以下となっている。しかしながら、交通事故死者数の減少幅は年々縮小傾向にあり、交通事故死者数全体に占める 65 歳以上の

高齢者の割合が高い水準で推移している。また、死者数の指標となる致死率についても 2 年連続で上昇に転じており、死者数が減りにくい状況となっている。さらに、死傷者数についても、それまで減少傾向にあった年間交通事故死傷者数が増勢に転じた昭和 55 年と比較すると、平成 26 年の死傷者数は 1.18 倍となっている。なお、平成 26 年中の死傷者数は 71 万 5,487 人と 10 年連続で減少したものの、依然として高い水準にある。自走車保有台数、走行距離、免許取得者数についても、ともに増加傾向にあり、現状の自

†1 東京電機大学大学院未来科学研究科情報メディア学専攻
Tokyo Denki University, Graduate School of Science and Technology for
Future Life

†2 東京電機大学未来科学部情報メディア学科
Tokyo Denki University, School of Science and Technology for Future Life,
Department of Information Systems and Multi-media Design

走車交通システムでの事故防止を難しくしている要因なっていると考えられる^[1]。しかし、道路整備、信号機、道路標識等の交通安全施設の増設といった交通システムの改善には総合的かつ長期的な施策が必要であり、自動運転技術をはじめとする急速な交通社会の変化に対応することは難しい。さらに年間70万件以上ある交通事故件数のうち、居眠りや前方不注意、ハンドルの操作ミスなどの集中力の低下が影響していると思われるものは全体の50%を超えており、今後、より一層安全な交通社会を目指すためには運転者の状況判断力や注意力自体の向上が必要不可欠であるといえる。

自走車運転中の運転手に集中力の低下や眠気の発生が見られることは多くの研究で報告されている^{[2]~[6]}。そこで本研究では集中力の低下の幾つかある要因の中から、自動車車室内の空気環境(以下、室内環境)に関して考察する。車室内の温熱環境の差異が、運転手の認知・行動様式に影響を及ぼす事が内田ら^[7]の研究で報告されている。村上ら^[8]は実験室実験及び現地実測に実施により、室内の温熱・空気環境が学習効率並びに集中力に及ぼす影響を検討している。橋本ら^[9]は温熱・空気環境といった室内環境の質が集中力に及ぼす影響を考察している。また、二酸化炭素濃度と集中力の低下や眠気にも密接な関係がある。アメリカのローレンス・パークレー国立研究所の研究報告^[10]により、人間の思考力は二酸化炭素濃度が1000ppmを超えると低下し始め、2500ppmを越えたあたりから急速に低下し、集中力や意思決定に支障をきたすことが確認されている。

以上より、室内環境を管理し、高い集中力を保つ事で交通事故の発生を軽減させる事が出来ると考えられる。本研究では、気体センサによる室内環境の計測により、運転手自身では認識することが難しい運転手の身体の状態を推定し、改善案を提示するシステムを提案する。

2. 研究概要

本研究の研究目的及び提案手法、また提案するシステムの実装環境、システム構成は以下の通りである。

(1) 研究目的

本研究は、運転手自身では認識することができない運転中の集中力の低下を検知し運転手にフィードバックすることで、交通事故やその原因になるミスを減らすことを目的としている。

(2) 提案手法

気体センサを搭載したロボットを車内に設置し、二酸化炭素濃度や温湿度をセンシングする。センシングした数値から運転手の集中力の低下を推定する。集中力の推定には温度と湿度から計算される不快指数^[11]及びアメリカのローレンス・パークレー国立研究所の研究報告^[10]による二酸化炭素濃度と意思決定能力テストの平均スコアの関係式

から総合的に判断する。不快指数の計算式並びに平均スコアの関係式を以下に示す。

A) 不快指数

不快指数をDI, Tを乾球気温(°C), Hを湿度とすると以下の式が成り立つ。

$$DI = 0.81T + 0.01H * (0.99T - 14.3) + 46.3$$

B) 二酸化炭素濃度と平均スコアの関係式

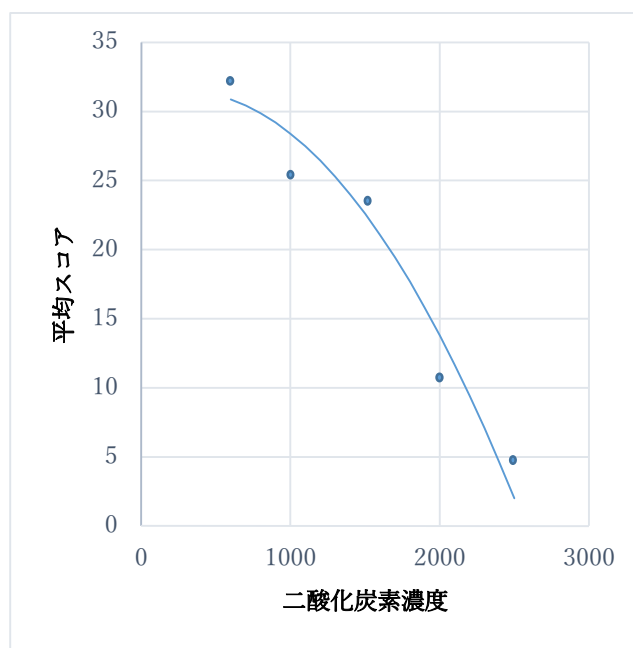
二酸化炭素濃度をPPT, 平均スコアをSとして、ローレンス・パークレー国立研究所の研究報告^[10]の実験結果より、PPTとSの相関の近似式を計算すると以下の式が成り立つ。

$$S = -6 * 10^{-6} PPT^2 + 0.0034 PPT + 31$$

$$(600 \leq PPT \leq 2500)$$

上記の式により得られるSを二酸化炭素濃度による集中力指数とする。また、相関と近似式を以下の表に示す。

表1 二酸化炭素濃度と平均スコアの関係の近似式
 Table 1 Approximate expression of the relationship between carbon dioxide concentration and the average score



不快指数DIはその値が大きいほど集中力の低下が見られ、二酸化炭素濃度による集中力指数Sはその値が小さいほど集中力の低下が見られるとする。これらの数値と実際の運転手の集中力の低下の関係を検証するために、運転手の意思決定能力を問う問題を一定間隔毎に出題し、その回答の正誤や回答にかかった時間を計測することで運転手の意思決定能力を測定する。その測定方法を以下に示す。

C) 意思決定能力の測定方法

意思決定能力を DC, 運転手の回答の正誤を A, 回答にかかった時間を T 秒とする. 回答が正しかった場合は A に 0, 間違っていた場合には A に 1 を代入する.

$$DC = -(5A + T) + 10$$

不快指数 DI, 二酸化炭素濃度による集中力指数 S から運転手の現状の集中力を総合的に推定し, 意思決定能力 DC と比較することで, 室内環境と運転手の集中力の関係を検証する. 具体的には, 不快指数 DI と二酸化炭素濃度による集中力指数 S の値に対応した集中力低下レベルをつけ, そのレベルが大きいほど集中力が低下していると判断する. 不快指数 DI が $60 \leq DI \leq 75$ であった時はレベル 1, $55 \leq DI < 60$, $75 < DI \leq 80$ であった時はレベル 2, $DI < 55$, $80 < DI$ であった時はレベル 3 とする. 次に二酸化炭素濃度による集中力指数 S が $20 \leq S$ であった時はレベル 1, $10 \leq S < 20$ であった時はレベル 2, $S < 10$ であった時はレベル 3 とする. それぞれの評価値と集中力低下レベルの関係を以下の表にまとめる.

表 2 DI, S の範囲と集中力低下レベルの関係
 Table 2 Relationship of poor concentration level with the range of DI and S and DC

	DI	S
レベル 1	$60 \leq DI \leq 75$	$20 \leq S$
レベル 2	$55 \leq DI < 60$ $75 < DI \leq 80$	$10 \leq S < 20$
レベル 3	$DI < 55$ $80 < DI$	$S < 10$

不快指数の集中力低下レベルを DI レベル, 二酸化炭素濃度による集中力指数の集中力低下レベルを S レベルとする. DI レベルや S レベル毎に意思決定能力 DC を測定し, 室内環境と集中力の関係を検証する. さらに, 実際の運転中に DI レベル, S レベルが上がった場合にそれぞれのレベルに応じた改善案を提示するロボットを自動車車内に設置して, 運転中の集中力の低下を防ぐ. レベルに応じた改善案を以下にまとめる.

表 3 DI レベルや S レベルに応じた改善案

Table 3 Improvement plan in accordance with the DI level and S level

	DI	S
レベル 1	—	—
レベル 2	窓を開ける事の提案	窓を開ける事の提案
レベル 3	休憩の提案	休憩の提案

また運転手の集中力の情報を SNS で共有し, コミュニティ全体での意識改善を目指す.

(3) 実装環境

本手法を実装するデバイスには ARM プロセッサを搭載したシングルボードコンピュータである Raspberry Pi 2 model B を利用した. 車内の二酸化炭素濃度・温度・湿度を測定する気体センサには株式会社ユードムの CO2 デテクタを利用し, 測定した情報は Raspberry Pi に構築したデータベースに入力して使用するときに必要な値を取り出せるようにした. データベースには SQLite を使用した. 使用言語は基本的に Python2.7 を使用したが, CO2 デテクタとの相性の問題で, データベースにデータを受け渡す部分は Ruby2.0 を使用した. また, 運転中にハンズフリーで操作できるように音声認識と音声合成を用いた対話型インタフェースを実装した. 音声認識には指向性マイクで入力した音声を名古屋工業大学が開発した大語彙連奥音声認識エンジンである Julius で解析し Text に変換した. 音声合成には HMM テキスト音声合成システム OpenJTalk を利用し, 生成した wav ファイルを小型スピーカーで再生した. さらに合成する音声は性別・音質・ピッチ・話速などのパラメータを自由に操作できるようにして, 様々な声色や心情を設定し必要に応じて変更させる事を可能にした. そして, 測定した情報や推測される運転手の状況等は Twitter API を利用することにより, リアルタイムでの共有が可能になっている. 車内で使用するため, モバイルバッテリーで電源を確保し, ネットワーク通信を行うため, モバイル Wi-Fi ルータと Wi-Fi アダプタを使用する.

以下に今回使用した主なハードウェアを示す.



図 1 ハードウェアの接続構成
Figure 1 Connection configuration of hardware



図 2 CO2 デテクタ
Figure 1 CO2 detector

次に今回使用した主なソフトウェアや開発環境を示す。

表 4 ソフトウェアや開発環境
Table 4 Software and development environment

OS	Raspbian Jessie
使用言語	Python2.7, Ruby2.0
データベース	SQLite3.8.2
音声認識	Julius4.3.1
音声合成	OpenJTalk1.09
API	Twitter API

(4) システム構成

本手法のシステム構成を以下に示す。

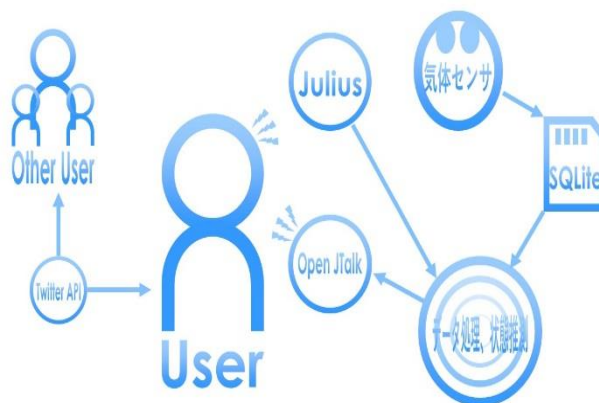


図 3 システム構成図
Figure 3 System Configuration

3. 評価実験

前章で提案したロボットを制作して実際に使用し、室内環境が運転手の集中力にどのような影響をあたえるかを検証した。また、ロボットにより改善案提示することで、実際の集中力が改善されるのかを同時に検証した。以下に実際に制作したロボットの外観を示す。



図 4 実際に制作したロボット
Figure 4 The robot fabricated

3.1 実験概要

理系大学院生 20 人を対象に実験を行った。被験者にはそれぞれに、運転するのに 2 時間程度かかるコースを運転してもらった。はじめの 1 時間はロボットからの集中力低下の警告や改善案を提案はせず運転手自身の判断に任せた。休憩して車内を換気したあと残りの 1 時間はロボットからの集中力低下の警告や改善案を提案して車内の環境を最適に保ちながら運転してもらった。室内環境と意思決定能力の変化を記録して比較した。また最初の 1 時間と次の 1 時間の運転中に得られたデータを比較した。

3.2 実験結果

以下に、実験によって得られたデータを示す。初めの1時間を改善案なし、次の1時間を改善案ありとする。

表 5 平均不快指数の変化

Table 4 Changes in the average discomfort index

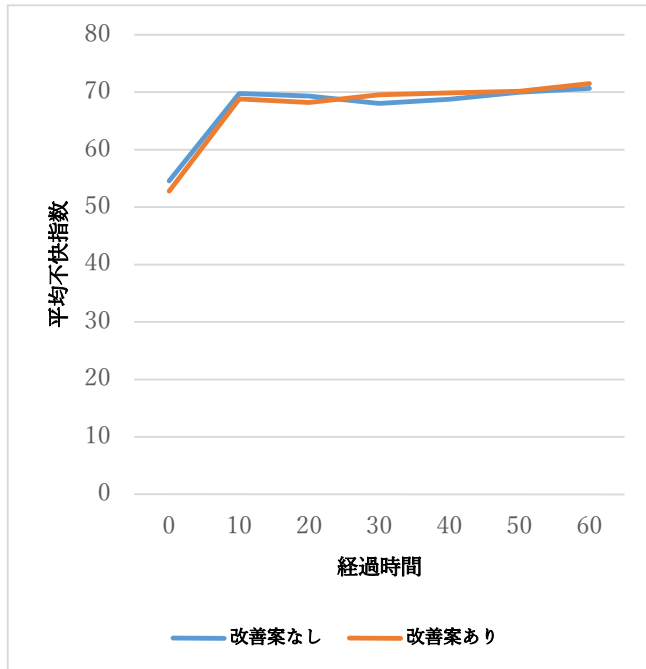


表 7 平均意思決定能力の変化

Table 7 Changes in the average decision-making ability

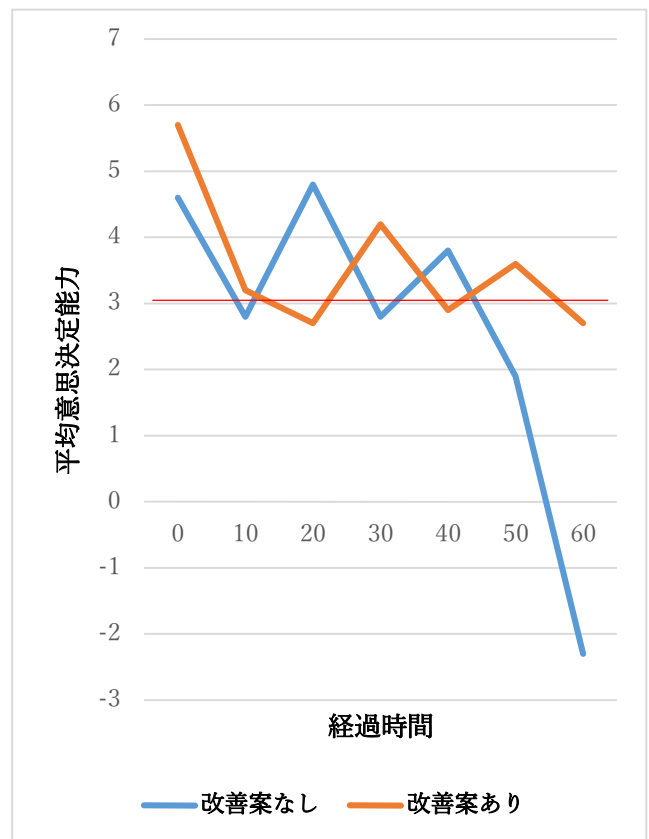


表 6 二酸化炭素濃度による平均集中度力指数の変化

Table 6 Changes of the average concentration index by the carbon dioxide concentration

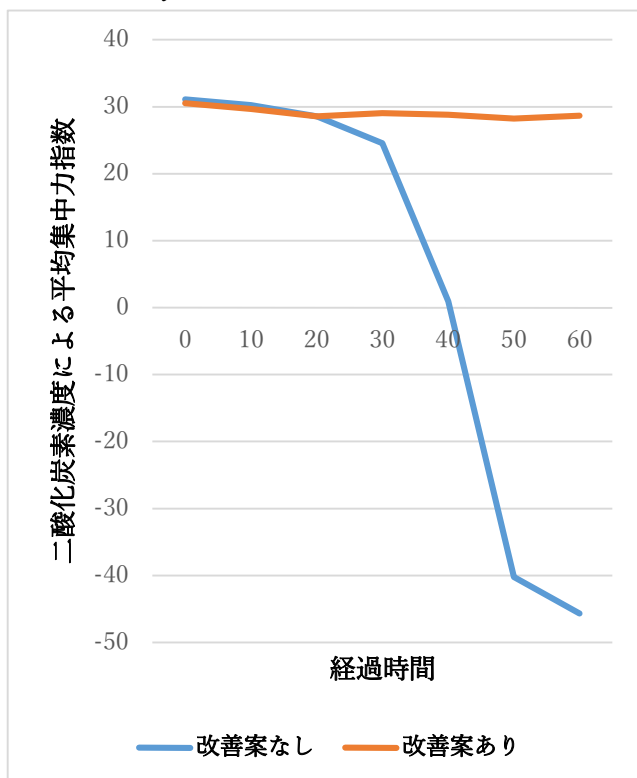
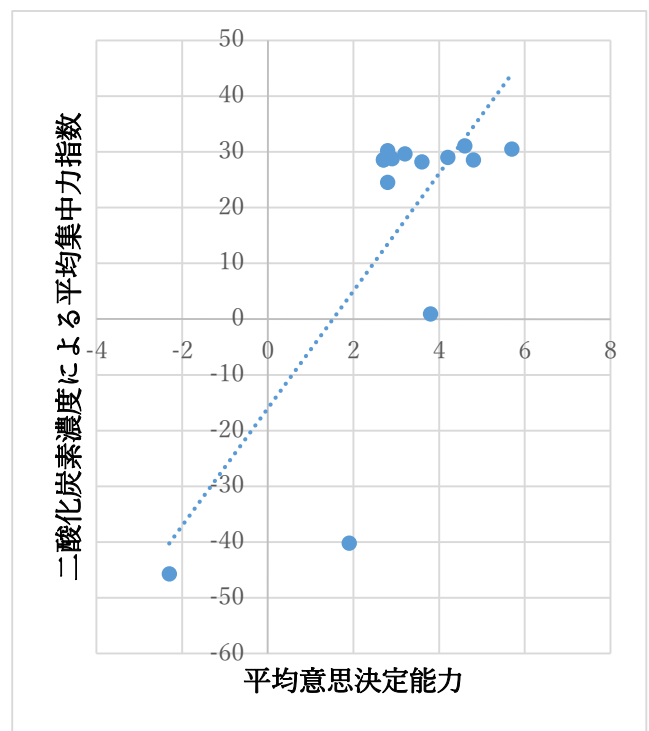


表 8 平均意思決定能力と平均集中度力指数の分布図

Table 8 Distribution chart of the average concentration index and the average decision-making capacity



3.3 考察

実験の結果により得られた知見を以下にまとめる。

- ① 二酸化炭素濃度と集中力の関係性
表7より、二酸化炭素濃度による集中力指数が小さくなればなるほど意思決定能力も小さくなる相関が見られた。よって二酸化炭素濃度と集中力には関係があり、二酸化炭素濃度が高いほど集中力が低下する事が分かった。
- ② 不快指数と集中力について
不快指数と集中力については、車の室内環境での範囲内では関係が見られなかった。今回の実験では検証出来なかったが、温度と湿度をもっと大きく変化させると関係性が見えてくる可能性がある。
- ③ 改善案の提案について
表5、表6により、運転手の自己判断に従う場合と今回製作したロボットを使用していた場合を比較する。実験結果より、運転手の自己判断に従う場合の方では二酸化炭素濃度による平均集中力指数と平均意思決定力の低下が見える。この結果にから、ロボットを使用していた方が、集中力が低下しにくい事が分かった。
- ④ SNSでの共有について
今回の実験ではSNSでの共有による、集中力の低下防止の評価は出来なかった。しかし、実験後のアンケートから一定の効果が見られた。

4. まとめ

気体センサを搭載したロボットを車内に設置し、センシングした数値から運転手の集中力の低下を推定する事が出来た。また、集中力の低下が見られた場合、運転手に改善案を提示する事で、運転中の集中力の低下を防ぐ事が出来た。今回の実験を通して、幾つかの課題が明らかになった。

今後の課題を以下にまとめる。

- 音声の誤認識の改善
- SNSでの共有の評価
- 温度と湿度が大きく変化する場合での検証
- 長時間、長期間での実験
- モバイルバッテリーの持続時間
- 運転中に問題を出すことによる注意力散漫

これらの課題を今後の実験考察を通じて改善していきたいと思う。

謝辞

本研究は H27 科研費若手研究(A)(代表者:岩井将行, 課題番号:25700007) の一部により行われている。

SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 課題「レジ

リエントな防災・減災機能の強化」巨大都市・大規模ターミナル駅周辺地域における複合災害への対応支援アプリケーションの開発の一部として行っている。

参考文献

- [1] 交通安全白書 平成 27 年度版, 2015, 総務省
- [2] 石橋富和, 夜間運転時の疲労, 交通科学, 21-2(1992), 89-90.
- [3] 西村千秋・小坂明生・常光和子・吉沢修治・南雲仁一. 皮膚電気水準による自動車運転時の覚醒水準評価の試み I - 路上運転時の皮膚電気変化, 人間工学, 23(1987a), 103-110.
- [4] 西村千秋・小坂明生・常光和子・吉沢修治・南雲仁一. 皮膚電気水準による自動車運転時の覚醒水準評価の試み II - 諸生理量の比較. 人間工学, 23(1987b), 111-118.
- [5] 加藤正明, 交通事故誘因の徹底分析知られざる原因とドライバーの意識, (1993), 134, 技術書院.
- [6] Summala, H. and Mikkola, T., Fatal Accidents among Car and Truck Drivers: Effects of Fatigue, Age, and Alcohol, Human Factors, 36-2(1994), 315-326.
- [7] 内田仁, 松尾典義, & 大北幸宏. (1994). 自動車車室内温熱環境の運転者反応時間に与える影響. 衛生工学シンポジウム論文集, 2, 172-175.
- [8] 村上周三, 伊藤一秀, ポール ワルゴッキ: 教室の環境と学習効率, 建築資料研究社, pp44-108, 2007.10.
- [9] 橋本哲, et al. "室内環境の改善によるプロダクティビティ向上に関する調査研究." 空気調和・衛生工学会論文集 93 (2004): 67-76.
- [10] BERKELEY LAB, Elevated Indoor Carbon Dioxide Impairs Decision-Making Performance, Feature Story Julie Chao (510) 486-6491 • OCTOBER 17, 2012.
- [11] 武田 京一. 体感気候と不快指数. 気象集誌: 日本気象学会誌: journal of the Meteorological Society of Japan / 日本気象学会 編. 41(6) 1963.12. ISSN 0026-1165.