

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350478

研究課題名(和文) 眼球頭部協調運動を用いた作業者の精神的負担把握システムの構築

研究課題名(英文) Development of a system to evaluate of worker's mental workload using Eye-Head Coordination

研究代表者

山中 仁寛(Yamanaka, Kimihiro)

首都大学東京・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：00404939

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)：本研究の狙いは、眼球運動と頭部運動を総合的に評価することにより、作業者のメンタルワークロードを評価することができる指標を提案することである。

実験では、メンタルワークロードが増大(作業者の負担が増す)と有効視野が狭窄することに着目し、メンタルワークロードを段階的にコントロールし、その際の眼球運動、頭部運動の計測を行った。得られたデータを解析することで、眼球と頭部運動の開始時間差をはじめとする眼球頭部協調運動をパラメータとすることで、作業者のメンタルワークロード(情報処理余裕度)を評価できることを示した。

研究成果の概要(英文)：Mental workload (MWL) has been an important concept in Human Factors. In a human-machine system, MWL can explain operator errors at times. Therefore, the aim of this study was to propose an evaluation index for MWL based on eye-head coordination. In the experiment, the mental workload was changed in a stepwise manner in order to narrow the useful field of view. Then, we calculated the probability that head starts to move earlier than the eye movement by measuring the eye and head movements. The results showed that the probability of the preceding head movement can estimate MWL from eye-head coordination

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：視認行動 眼球運動 頭部運動 メンタルワークロード

1. 研究開始当初の背景

人間と機械システムとの間のインタラクション(ヒューマン・インタフェース)における構造健全性や安全性が向上しない要因のひとつにヒューマンエラーが挙げられる。また、安全なシステムの設計法は、人間中心の人工物創生を目指す上において作業者の快適性・健全性という面を確保する有力な技術である。しかしながら、人間が介在するシステムにおいて、安全性の確保は作業者の知覚・認識に関する確率的特性などをふくむ作業状態(身体的・精神的)の情報が得られるか否かが実用化の鍵となっていた。

最近では、海外の研究機関や学会会議などにおいてこの点に着目し、産官学の共同研究が進んでいる。このことは、ヒューマン因子という最も科学的評価の困難な因子の不確定性を取り込むことにより、真の安全性を確保した設計技術として活かされる方向を示すものである。

この点について、これまでにヒューマンインタフェースや人間信頼性に関する国際会議(AHFE, ICBAKE)などで報告する中で、本研究の背景や意義について国内外で多くの賛同を得ている。また、実用化の点からも社会への貢献は大きいものと考えられる。

2. 研究の目的

ヒューマンインタフェースにおける重大事故の要因であるヒューマンエラーを防止するために、作業者の精神的負担を定量的に評価する方法を提案し、実験的に提案した手法の有効性を検証するものである。また、多くの先行研究で未だ明らかになっていないヒューマンエラー解明のために人間の行動規範や原理究明を目指し、作業時の処理しなければならない情報量と処理することができる情報量の関係を示すことで、生体が与えられた情報を処理するメカニズムを明らかにすることも目的の1つである。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために実験的アプローチにより研究を実施する。まず、精神的負担の異なる条件において視認行動中の眼球運動、頭部運動をそれぞれ計測し、精神的負担と眼球頭部協調運動の関係を明らかにする基礎実験を行う。得られた結果から、精神的負担の評価指標になりうる眼球頭部協調運動を明確にし、そのメカニズムについて検証を行う。次に、仮想運転作業時の眼球頭部協調運動から運転者の精神的負担を推定することができるかについての検討を行う。実施する実験では、効率的な研究を進めるために、実験条件のランダム化と実験計画法による影響因子の割り振りを行う。

また、研究を遂行する上での具体的な工夫としては、被験者の精神的負担のリファレンス指標として、生理信号を用いることで提案手法の有効性を客観的に把握するところで

ある。

具体的には、以下の手順で研究を遂行する。
(1) 作業者の精神的負担の一つと考えられる覚醒度を低下させる単純繰り返し刺激提示システムの開発

(2) 開発した単純繰り返し刺激提示システムにより、被験者の覚醒度の変動を計測し、開発システムの有効性を検証する。さらに、提示された刺激への反応時間などの心理物理量と合わせて考察することで被験者の精神状態を把握する。

(3) あらかじめ決められた視距離に提示した視覚刺激への視点移動時の眼球運動、頭部運動の振る舞いから精神的負担と相関のある眼球頭部協調運動パラメータを明らかにする。

(4) (3) で明らかにしたパラメータの正当性を様々な実験を通じて評価する。

4. 研究成果

ドライビングシミュレータを用いて自動車運作者(ドライバー)の余裕度推定を題材とした実験の結果を示す。この実験では、主課題として自動車運転を、副次課題として数的課題を被験者に課した。数的課題は、負荷の小さい順に「なし」、「読み上げ」、「加算」とし、メンタルワークロードを段階的に設定する課題として多くの研究で用いられているものである。

実験の結果、主観的負担度評価であるNASA-TLXから算出したAWWL得点とメンタルワークロードには統計的にも有意な関係があることを示した。このことは、本研究で実施した実験課題においてメンタルワークロードが被験者に対して段階的な付加となっていたことを示すものであった。

図1に頭部運動先行確率とMWLの関係を示す。図中、横軸には数的課題、縦軸には個人差を考慮して頭部運動先行確率をz-scoreでそれぞれ示す。図の得点についても数的課題の種類を要因とした一元配置分散分析を行った結果、数的課題の種類に主効果($p<0.05$)が認められ、下位検定を行った結果、数的課題条件「読み上げ」は「なし」条件と比べ頭部先行確率が有意に増加することがわかった($p<0.05$, Holm)。この結果は、「読み上げ」条件で「なし」条件に比べてMWLが増大し、有効視野が狭窄することで視野外への視点移動が増えたため頭部運動先行率が大きくなったと考えられる。しかしながら、これまでの結果や主観的負担度からMWLが最も大きくなる「加算」条件で、「読み上げ」条件に比べて頭部運動先行確率が小さくなる傾向がみられた。この傾向は、「加算」条件のような非常に負荷の大きな状況においては、視野の狭窄度合いが大きくなったとしても、視点を視野境界やそれ以上遠方へ移動する余裕がなくなり、視野内での視点移動を繰り返しているため、頭部運動先行確率が逆に低下していることが考えられる。その

ため、12名の被験者をMWLが最も大きくなる「加算」条件で頭部先行確率が低下するグループ（強度の負荷：5名）と「加算」条件で頭部先行確率が上昇するグループ（中程度の負荷：7名）の2群に分けそれぞれの群で再度解析を行った。

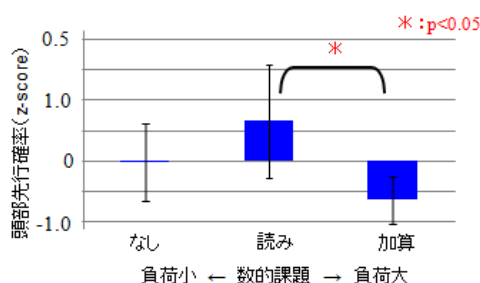


図1 頭部先行確率と数的課題

図2, 3に頭部運動先行確率とMWLの関係を示す。図2は強度の負荷となる群、図3は中程度の負荷となる群での結果をそれぞれ示す。両図とも、横軸には数的課題、縦軸には個人差を考慮して頭部運動先行確率をz-scoreでそれぞれ示す。同時に統計的検定結果も示した両図より、負担の度合いによってMWLと頭部運動先行率の関係が異なることがわかった。図1に示した強度の負担となる群において、「加算」条件で頭部先行確率が低下した理由が、上記で考察したとおり余裕がなくなり視野内の非常に近い距離への視点移動をしていることとするならば、この群での視点移動量（眼球運動量と頭部運動量の和）は、他の「なし」、「読み上げ」条件に比べて小さくなっていることが予想できる。そこで、図4に強度の負担となる群における視点移動量とMWLの関係を示す。また、数的課題の種類を要因とした一元配置分散分析、下位検定の結果も合わせて図中に示す。図より、「なし」と「加算」、「読み上げ」と「加算」条件間に有意な差があり、「加算」条件での視点移動量が最も小さくなっていることがわかる。この結果は、強度の負荷となる群においては、視野の狭窄度合いが大きくなったとしても、視点を視野境界やそれ以上遠方へ移動する余裕がなくなり、視野内での視点移動を繰り返しているため、頭部運動先行確率が逆に低下するといった仮説を支持するものであった。

これらの結果より、頭部運動先行確率のみで余裕度を評価することは難しく、頭部運動先行確率と視点移動量の関係を明らかにする必要がある。

得られた結果をまとめると、本研究では、眼球・頭部協調運動を計測することで負荷の強度によるものの頭部先行確率により余裕度の評価が可能であることを示唆した。

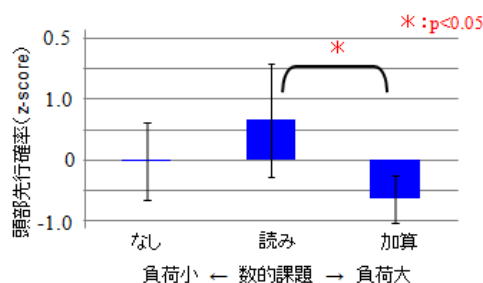


図2 頭部先行確率と数的課題（高負荷）

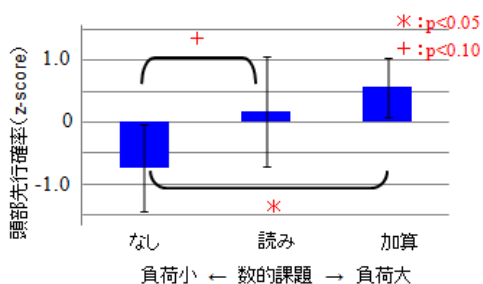


図3 頭部先行確率と数的課題（中負荷）

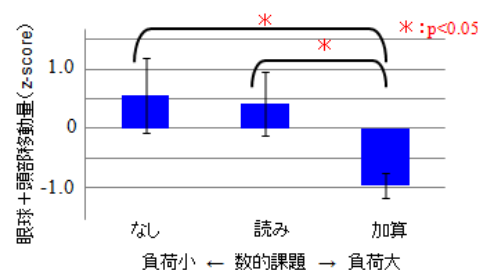


図4 視認運動量と数的課題（高負荷）

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計5件）

査読あり、森島圭祐、浦宏、茅原崇徳、山中仁寛、大本浩司、自動車運転におけるドライバーのメンタルワークロード推定、構造物の安全性および信頼性、Vol.8, pp.444-449, 2015.

査読あり、森島圭祐、水内淳、阿部光一郎、古木翔、山中仁寛、大本浩司、眼球・頭部非固定における自動車運転時の有効視野計測、日本機械学会論文集（C編）、Vol.79, No.806, pp. 272-284, 2013.

査読あり、森島圭祐、水内淳、林田吉正、高嶺恭平、山中仁寛、大本浩司、追従運動時のメンタルワークロードと有効視野の関係、日本人間工学会論文誌、Vol.49, No.5, pp. 203-210, 2013.

査読あり、森島圭祐、水内淳、石井雅己、山中仁寛、大本浩司、眼球運動パラメータを用いた有効視野推定、ヒューマンインタフェ

ース学会論文誌 , Vol.15, No.2, pp. 121-130, 2013.

査読あり , Kimihiko Yamanaka, A model of human behavior based on visual information processing mechanism for reliability-based system design, Psychology and Behavioral Sciences, Vol.2, No.2, pp. 20-27, 2013.

〔学会発表〕(計 4 件)

Jian Wang, Ryoichi Ohtsuka, Kimihiko Yamanaka, Kohei Shioda, Mitsuyuki Kawakami, Relation between Mental Workload and Visual Information Processing, International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics 2015, Procedia Manufacturing 3, pp.5308-5312, Las Vegas (United States), 2015. 7. 28.

Ryoichi Ohtsuka, JianWang, Takanori Chihara, Kimihiko Yamanaka, Keisuke Morishima, Hiroshi Daimoto, Estimation of Mental Workload during Motorcycle Operation, International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics 2015, Procedia Manufacturing 3, pp.5313-5318, Las Vegas (United States), 2015. 7. 29.

Kimihiko Yamanaka , Atsushi Monochi, Measurement of Useful Field of View during Ocular Following Response, International Conference on Human-Computer Interaction 2013 International, Vol.373 of the series Communications in Computer and Information Science, pp.455-459, 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), 2013. 7. 5.

Masaki Ishii, Atsushi Minochi, Kimihiko Yamanaka , Takanori Chihara, Evaluation of mental workload based on pursuit eye movement, 2013 International Conference on Biometrics and Kansei Engineering, pp.121-124, 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), 2013. 7. 5.

〔図書〕(計 2 件)

森島圭祐, 山中仁寛, 車載ディスプレイの HMI と視認性, 安全性向上, 有効視野を用いたメンタルワークロード推定手法とその定量化, 3 章 9 節, pp.152-161, (株)車載技術情報協会, ISBN 978-4-86104-593-6, 2015.

Keisuke Morishima, Hiroshi Ura, Hiroshi Daimoto , Takanori Chihara, Kimihiko Yamanaka, New Ergonomics Perspective, Estimation of useful field of view by machine learning on parameters related to eye movements, pp.53-62, CRC Press (Taylor & Francis Group) ,ISBN 978-1-138-0275-0, 2015.

〔その他〕

特になし

6 . 研究組織

(1)研究代表者

山中仁寛 (Yamanaka, Kimihiko)

首都大学東京・システムデザイン研究科・
准教授

研究者番号 : 00404939

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし