

平成21年 5月25日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18710146

研究課題名（和文） 知覚情報に対する生体応答機構の解明とヒューマンエラーを考慮した安全設計法の開発

研究課題名（英文） DEVELOPMENT OF SAFETY DESIGN METHOD BASED ON HUMAN RESPONSE WITH PERCEPTUAL INFORMATION AND HUMAN ERROR

研究代表者

山中 仁寛（YAMANAKA KIMHIRO）

首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：00404939

研究成果の概要：

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、人間の応答や生理反応の特性分析が必要であると考え、作業時の視覚情報収集可能範囲の計測法と評価法を提案した。提案した手法を用いて、マンマシンインタフェースにおける作業者の特性と加齢とパフォーマンスの関係を5種類の実験により明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
平成18年度	1,900,000	0	1,900,000
平成19年度	700,000	0	700,000
平成20年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総 計	3,100,000	150,000	3,250,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：安全システム

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。人間に対する信頼性評価は多くの複雑な因子を内在するため、ヒューマンエラーの工学的解明はなかなか進まないのが現状である。また、昨今の、重大事故の要因のうち人間に派生するものが少なくない。このため人間-機械系における安全性の確保には、知覚認知機構の解明は急務である。中でも、原子力プラ

ントや航空機のように機械のメカニズムが複雑になり、また作業の目的や作業環境が高度で複雑になり、複数の人と機械がシステムを構成するハイテクシステムが登場しても、運用上の最終意思確認は人間が実施しなければならない。ただし、そうした状況下では従来とは異なるヒューマンエラーを生じることが危惧される。たとえば、名古屋空港での中華航空機事故や原子炉操作事故、最近では焼津市上空での航空機ニアミスなど新しい形態の事故が発生している。こうした事故において、人間による機器操作に由来する事故

原因はほとんどが誤った認識に派生するものが大半であり、しかもこうした原因のうち視覚情報の取り扱いに関するものの占める割合は大きい。

一方、人工情報処理の一つであるコンピュータによるデジタル画像処理技術は、画像計測、目視検査、パターン認識などの産業分野のみならず医療技術の分野でも発展してきている。また、人工知能や知識工学の分野ではこうした情報処理に加えて、本来の人間内部の情報処理機構を探索し、こうした認知科学研究の成果をこれからの知的機械の創生に生かそうとする研究が盛んである。特に、人間の視覚機能の一部をロボットなどに応用する分野はコンピュータビジョン、機械学習などの分野で盛んである。

ところで、このような人間の視覚機能の一部を情報知能機械によって実現する可視化技術(Visualization)は、人間の視覚のみでは把握し難いあるいは把握できない、長さ、重さ、速度、加速度、波長、周波数等の情報をデジタル情報として人間に分かりやすく提示できる入力手段として効果を挙げている。このため、操作卓やコクピットに制御信号が GUI(Graphical User Interface)によって画像表示される機器においては、こうした画像刺激に対する人間の認知応答や視覚における情報処理過程を明確にすることが特に大切である。たとえば、自動車を安全に運転するために運転者は常に視覚、聴覚などの感覚器で注意を喚起しなければならない。このうち視知覚は、運転に必要な情報の最も多くを与えている。特に交通事故のうち、重大な人身事故の発生原因は実に 83%が視覚認知の欠如と応答遅れに由来していることが知られている。このように人間・機械系の信頼性・安全性確保には、認知の欠如と応答遅れの両者が関連する実際の場面でのフィールドデータの定量的解析が急務である。

2. 研究の目的

本研究は、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、人間の応答や生理反応の特性分析を実験的に実施する。また、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、作業時の視覚情報収集可能範囲の計測と視覚情報を生体が処理するメカニズムを明らかにするものである。このため、3年間に於いて、以下の2点を明らかにしようとした。

1) 視覚作業者が作業背景の中から検出対象物を検出する際に、対象物(視覚刺激)の種類によって視覚情報処理機構が異なるのか否かを明らかにする。さらに、もし異なるとすればどのような評価法が、人間を対象とした特性値評価法としてふさわしいのか

を提案する。また、どのようなデータ解析法がヒューマン因子の特性を正確に抽出でき、さまざまな視覚作業における安全なシステムの設計に有用な情報を提供できるのかを検討する。

2) 視覚作業者の検出対象物に対する視認に要する時間や視覚情報収集可能範囲などが客観的に数量化できる場合、こうした人間のゆらぎの大きい感覚的な心理物理量をヒューマン因子の不確定性として心理、生理の両視点から視覚情報処理モデルを考案し、安全なシステムの設計に取り入れる方式を提案する。

本研究は、ヒューマン・インタフェースにおけるヒューマンエラーを防止し、安全なシステムの設計法の実用化を目指したものである。このため、視覚作業時の検出対象物に対する生体の振る舞いより、視覚刺激に対する応答特性として視認に要する時間と視覚情報収集可能範囲を計測する方法を明確にする。特に、視覚情報収集可能範囲を計測する方法は、作業背景に対して検出対象物の対応が問題になり、視覚認知する課題ごとに計測法や視野の定義が専門分野や対象物ごとに個別になされ、統一した計測法と評価法が存在していない。こうした人間のゆらぎの影響が大きい視覚情報収集可能範囲を推定する方法は申請者によってかなり研究が進み、その範囲を視覚認知量として計測し、その結果から確認しうる領域の閾値を確率分布として定量化が可能になりつつある。

しかしながら、こうした技術を駆使したシステム内においても作業を遂行する上での最終的な意思決定は人間の判断にゆだねられている以上、ここに大きなヒューマン因子の不確定性が介在せざるを得ない。このことに対する、工学的設計での系統的な対処法は特になく、従来は認知科学や認知工学分野で提案された“人間信頼性モデル”などを参考に設計変更が加えられてきた。

本研究は、この点に焦点を当て人間の知覚による視覚情報処理機構を感覚・生理学的知見から考察するとともに、心理物理量と生理信号の同時計測、解析により人間の判断値のゆらぎを定量的に分析する。これらは学術的に充分独創的であるのみならず、実用面においても心理物理量測定で作業者の認知確率変動と感覚・生理面から機構的に誘導されるヒューマン因子の確率変動を同時に把握しようとする画期的方法に基づいている。また、心理学、認知科学の分野では、視覚に関わる情報処理資源に一定説を提唱している。この説では、視野狭窄など従来確かめられた現象を説明することは出来るものの、はたして視覚情報処理の資源は一定であるのか、視覚的注意によってこの資源配分がどのように影響を受けるのかまでは明確にされておらず、

情報処理の資源の実体も明らかではない。

しかしながら、本研究での心理物理量と生理信号の同時計測、解析に基づく検討を深めていけば、視覚情報処理の資源の実体やそれらが一定となるメカニズムを解明する途が開かれるものと期待できる。したがって、ヒューマン・インタフェースにおける安全なシステムの設計に強力なヒューマン因子の不確定情報を定量モデルとして提供することを目指す。

3. 研究の方法

研究計画としての研究の流れは図1に示すとおりである。

平成18年度においては、まず、視覚刺激の種類による情報処理機構の違いを探るため、ノイズの中から刺激を見出すまでの認識に要する時間を計測するための視覚刺激提示アルゴリズムを開発し、さらに作業者の視覚情報収集可能範囲を計測できる実験システムを開発する。

研究を進める上での主要設備としては、視覚刺激提示装置（日本バイナリー製）を計上した。この装置は、被験者に提示できるスクリーンの範囲を変更することができ、一定の視野範囲内で開発した視覚刺激提示アルゴリズムプログラムを走らせ、対象となる視覚刺激を認識するまでに要する時間を把握した上で、作業者が提示した視野範囲内で検出できる対象物の個数などを計測し検出確率を実測する装置である。研究の遂行は、この装置上において視覚刺激の種類や提示した視野範囲内におけるノイズの出現量などの支配因子を変更させて一連の実証実験を行う。本研究の実施上、主要部分の実装はこの装置上で行うが、実験で採取した被験者の応答データの統計的解析は、申請者の所属機関の既設設備でも併用して進める。また、視覚刺激を認識するまでに要する時間と視覚情報収集可能範囲を心理物理量として計測すると同時に生理信号である脳波も計測する。生理信号の計測は、設備備品として計上した誘発電位検査・解析装置（日本光電製）を用いる。

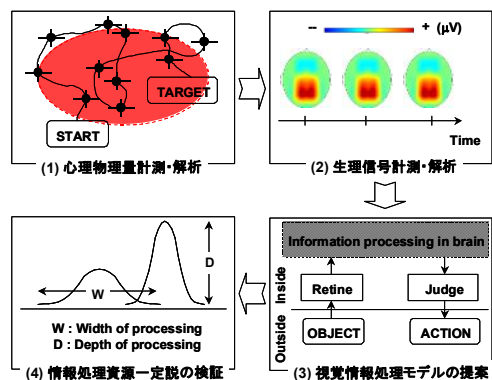


図1 研究の流れ

具体的には、以下の三つの課題を遂行する。

- 1) ノイズの中から刺激を見出すまでの認識に要する時間を計測するための視覚刺激提示アルゴリズムを開発する。
- 2) 開発した視覚刺激提示アルゴリズムプログラムにより、作業者が提示された視野範囲内で検出できる対象物の個数、反応時間、検出確率を実測する。
- 3) 視覚刺激提示装置上で、視覚情報収集可能範囲を定量的に計測するための実験パラダイムを考案し、合わせて被験者のヒューマン因子の抽出、心理物理量である閾値の直接計測評価法を開発し、その有効性を実験で検証する。

研究を遂行する上でのアイデアとしては視覚情報収集可能範囲の計測法に関することである。現在、視覚情報収集可能範囲の実用的かつ定量的な計測・評価法は存在していない。本研究では、その範囲を視覚認知量として計測し、その結果から認識しうる領域の閾値を確率分布として求める方法を実施する。具体的には、統計的手法として恒常刺激法により心理測定曲線を描く。心理測定曲線とは、心理的なものを数量的に測定しようとする方法論であり、刺激量を実験的に操作して、被験者の心理的な反応（正答率など）を記録する。本研究では、申請者の所属機関の既設設備であるアイマークカメラ（nac製）を用い、実作業に近い自由視での視覚作業環境において、視覚刺激が出現した瞬間の注視点からの距離を刺激量とし、視覚刺激に対する検出確率をとる心理測定曲線を描く。この手法であれば、検出確率により閾値を定量的に評価できるものと考えられる。

さらに、効率的に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支配因子の割り振りを行う。実験パラダイムを考える上で実験計画法により因子の割り振りを行えば、従来とは異なった統計的な客観性を持った支配因子の同定と分析が可能である。また、支配因子が多い場合には直交表を用い実験数を減少させることも可能である。

平成19年度以降は、平成18年度に開発した実験システムにより得られた心理物理量および生理信号解析から、視覚作業者の視覚刺激を検出する視覚情報処理機構のモデルを提案して、このモデルに基づいて視覚作業時のヒューマン因子は何がどのくらい視覚刺激を認識するまでに要する時間と視覚情報収集可能範囲の形成に影響を与えているのかを明らかにしていく。さらに、こうした知見を活用することにより、どれくらい実際の安全システムの設計に寄与できるかを明らかにする。

平成19年度に、設備備品として計上したソフトウェア Atamap II（nac製）、P300検査

プログラム（日本光電製）により生理信号を解析する。まず、Atamap II により視覚作業時における脳内の活動領域の変化を時間的、空間的に分解するため脳内活動電位マップを描く。得られた電位マップにより、情報処理過程で活動する領域の機能により視覚情報収集可能範囲の形成機構を考察し解明する。このときのポイントは、認識可能範囲の形成に関わる情報処理資源が均一なものであるか否かである。また、そうした傾向が個人差を超えて一般的に存在するか否かを明らかにすることである。

次に、P300 検査プログラムにより視覚刺激の種類や提示した視野範囲内におけるノイズの出現量などの支配因子が、視覚刺激を認識するまでに要する時間と視覚情報収集可能範囲の心理物理量にどの程度影響を与えるかを調べるために事象関連電位を抽出する。事象関連電位の P300 は、視覚、聴覚、体性感覚などの刺激種類によらない内因性の成分と考えられ、刺激課題に対する難易度、注意配分、処理の深さ、記憶の強さ、作業集中度を反映するといわれており支配因子の影響を検証するのに有用な手段であると考えられる。

このように、心理物理量と生理信号の両者の実験・分析・方法論の検証を進め、最終的には視覚作業中の認知心理物理実験結果と生理信号解析結果を結びつける視覚情報処理モデルを提案し、ヒューマン因子の関わりを実験結果から明らかにする。

研究を遂行する上での具体的な工夫としては、心理物理量と生理信号の同時計測を実施するところである。その結果、被験者ごとに存在する個人差を踏まえたうえで客観的な物理データを得ることが可能である。また、因子間に交互作用を伴った場合、それぞれの影響を明らかにすることができる。したがって、これまでの心理物理量のみでの分析では従

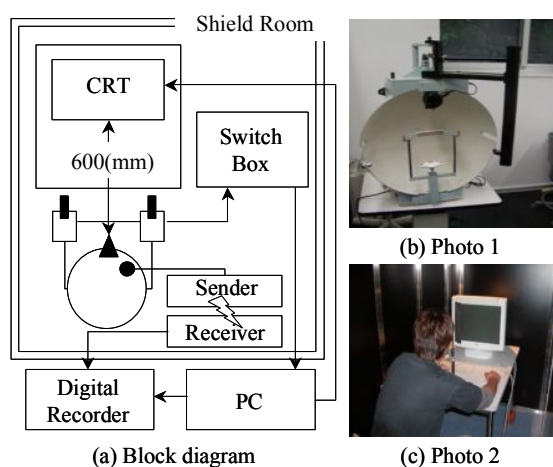


図 2 1) の実験外略図

来から提唱されている現象は説明できてもその原因、実体を明らかにすることはできない。しかしながら、生理信号による分析を加えることで生体の情報処理機構を明らかにすることができれば、提唱されている現象の実体を解明することができるものと考えられる。

4. 研究成果

1) 視覚認知作業時の有効視野評価法の開発

本研究では、均一背景で固視点から離れた位置に認知対象物がある方位に出現させ、被験者が検知した標的対象物の位置情報を刺激の強度ととらえ、心理測定曲線を恒常刺激法による検出確率曲線として求める方法を提案する。この方法によれば、確率点を感覚刺激に対する生体の反応閾値と規定すれば、この閾値の軌跡を描くことにより個人の有効視野を定量的かつ標準的な方法で推定できる。特に、有効視野の形状が長軸と短軸の二つのパラメータによって形状と大きさを表示できる点に着目し、効率と精度の両面を満たす計測法、評価法、表示法を検討した結果、次の知見を得た。実験外略図を図 2 に示す。

- (1) 認知確率点を生体の反応閾値と規定することで、有効視野を認知確率基準で推定できることを示した。また、有効視野の算出に楕円曲線を近似関数として求める方法を考案し、3 方位の計測で精度も効率も良い視野評価が可能であることを示し得た。
- (2) 各方位での PSE の推定に関するステアケース法とプロビット法の比較では差が無いことより、ステアケース法は有効視野の推定に精度と効率の両面で有効であることを示した。
- (3) 認知対象物による違いを調べた結果、提案手法によれば、こうした対象物の属性の違いによる有効視野の広さが異

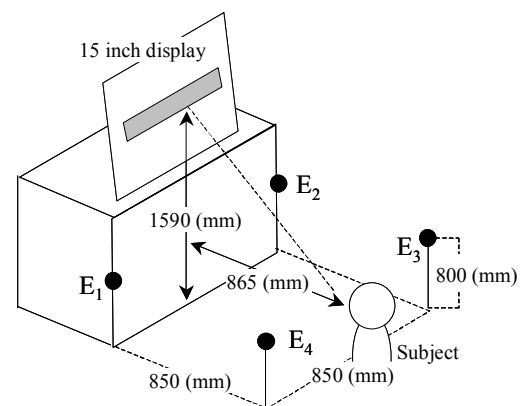


図 3 2) の実験外略図

なることを精度良く求めることが可能であることを示した。

2) 横スクロール表示が生体の運動視に与える影響

本研究では、文字列の表示領域とスクロール表示速度の段階的变化による視認性に着目し、眼球運動計測により得られる停留、随従、サッカード運動の距離と時間について考察を行い、適正な横スクロール表示の条件を提案することを目的に実験を実施した結果、次の結果を示した。実験外略図を図3に示す。

- (1) 文字列の横スクロール表示速度の違いは、運動視における行動的側面である眼球運動（停留状態、随従運動）に影響を与える。また、横スクロール表示速度が上昇するほど停留状態は減少し、随従運動は増加する。
- (2) 文字列の認識に適正な文字列の横スクロール表示速度の設計には、眼球の振る舞いである停留状態と随従運動の特性が重要となる。
- (3) 文字列の表示領域が $7.62^{\circ} \sim 15.24^{\circ}$ の場合の横スクロール表示の文字列を認

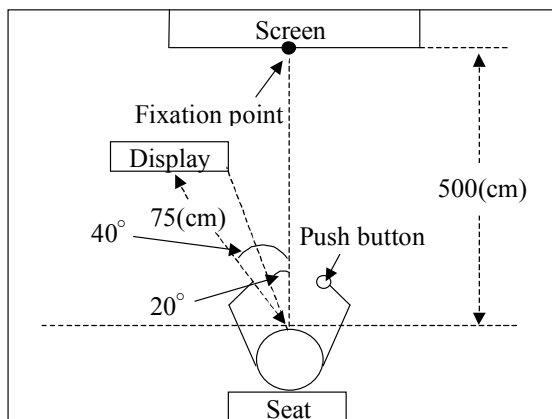


図4 3)の実験外略図

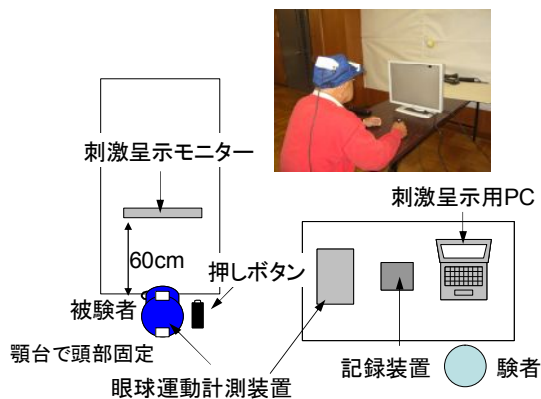


図5 4)の実験外略図

識するのに適正な速度は、 $5.08(\text{deg/s}) \sim 8.89(\text{deg/s})$ である。

(4) 眼球運動と横スクロール表示速度の関係を示す実験式を提案した。

3) 自動車運転時を想定した画像表示ディスプレイの適正な設置位置の提案

本研究では、安全運転のために重要なファクターである視覚、ならびに反応能力に焦点を絞り、カーナビゲーションシステムのディスプレイの設置位置の違いが、自動車運転時におけるドライバーの文字情報の視認時間および視覚情報処理機能に与える影響について考察し、適正な設計要因を提案することを目的とし実験を実施した結果、次の知見を示し得た。実験外略図を図4に示す。

- (1) ディスプレイの設置位置の違いは、視認時間、視点飛躍時間、視点停留時間に影響を与える。また、視認時間は被験者の眉間点よりディスプレイの設置位置が離れるほど増加することを示し得た。
- (2) ディスプレイの設置位置は、水平方向より垂直方向で視認時間の増加へ大きな影響を与えることを示し、このことはサッカード運動特性と有効視野領域に依存する。
- (3) 本研究で提案したディスプレイ設置位置と視認時間の関係を示す実験式は安全な設置位置を決定する際に有効である。

4) 若年者と高齢者の視覚情報処理における眼球運動の違い

本研究では、若年者と高齢者の視覚情報処理機能を比較することにより、一連の視覚情報処理過程の中で、どの機能が加齢により最も影響を受けるのかを実験により検討し、高齢者の視認性低下の原因を分析することを目的とし研究を行った結果、次の項目を明らかにした。実験外略図を図5に示す。

- (1) 静的周辺視野については、若年者に比べ高齢者は垂直方向で約 1° 水平方向で約 3° 狭くなるものの大きな差はないことを示した。
- (2) 視対象へ注視点を移動する際のサッカード潜時については、高齢者は若年者に比べて延長し、さらに、近距離への注視点移動においてもサッカード潜時に遅れが生じる。また、高齢者は修正サッカードの発生確率が若年者に比べて高いことから、加齢によりサッカード精度が低下することも示した。
- (3) 高齢者は、若年者に比べて視対象の特性を認識するために要する時間が延長する。また、高齢者と若年者の認識時間の差は、視対象の種類によって異なる。

ることも示した。さらに、若年者、高齢者に限らず、サッカー潜時と認識時間に高い相関は認められないことも明らかにした。

5) 自動車運転時における画像表示ディスプレイの位置知覚と聴覚への情報提示

本研究では、視覚と聴覚を統合した情報提示が視認行動に与える影響を考察する。具体的には、ドライバーにカーナビゲーションのディスプレイに表示される情報に対して視認を促す際、聴覚刺激によるディスプレイの設置位置に関する情報の提示が、自動車運転時におけるドライバーのディスプレイに対する視認行動に与える影響について考察し、適正な設計要因を提案するために実施した実験の結果を要約すると次の通りである。実験外略図を図6に示す。

- (1) 聴覚刺激を用いた設置位置の情報提示により、位置知覚に関する情報処理過程において獲得する視認対象物の位置情報の精度が向上するため、視認時間、サッカー運動時間、視点停留時間、反応時間が短縮することを示した。
- (2) ディスプレイの垂直方向設置角度が注視点から離れるほど聴覚刺激を用いた情報提示による視認時間の短縮効果が大きいことを示し得た。

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6件)

- ① 山中仁寛，前田多章，中易秀敏，視覚認知作業時の有効視野評価法に関する研究，日本機械学会論文集(C編)，72-719，pp. 2248-2256，2006。
- ② 川上満幸，斉藤康祐，山中仁寛，鈴木哲，横スクロール表示が生体の運動視に与える影響，日本機械学会論文集(C編)，72-720，pp. 2588-2594，2006。

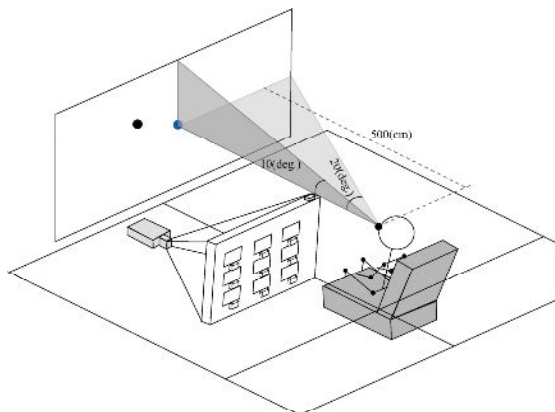


図6 5)の実験外略図

- ③ 川上満幸，米田圭祐，山中仁寛，鈴木哲，自動車運転時を想定した画像表示ディスプレイの適正な設置位置に関する研究，日本機械学会論文集(C編)，72-722，pp. 3256-3263，2006。
- ④ 山中仁寛，中西由佳，川上満幸，若年者と高齢者の視覚情報処理における眼球運動の違いに関する研究，日本生理人類学会誌，13-1，pp. 39-48，2008。
- ⑤ 米田圭祐，山中仁寛，川上満幸，自動車運転時における画像表示ディスプレイの位置知覚に聴覚への情報提示が与える影響，日本機械学会論文集(C編)，74-740，pp. 92-929，2008。
- ⑥ K. Yamanaka，Y. Nakanishi and M. Kawakami，Differences of Visual Information Processing Between Younger and Aged Person, Promotion of Work Ability Towards Productive Aging, Vol.1, pp. 275-280, 2009。

〔学会発表〕(計3件)

- ① Kimihiro Yamanaka，Differences of Visual Information Processing Between Younger and Aged Person, 3rd International Symposium on Work Ability, in CD-ROM, 2007。
- ② K. Yamanaka，S. Yamamoto and M. Kawakami，A Study on Visibility with Night Driving, 6th Conference of the International Society for Gerontechnology, in CD-ROM, 2008。
- ③ K. Yamanaka and M. Kawakami，Relation between the change of pupil diameter and mental workload, 1st East Asian Ergonomics Federation Symposium, in CD-ROM, 2008。

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計0件)
- 取得状況(計0件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山中 仁寛 (YAMANAKA KIMIHIRO)
 首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・准教授
 研究者番号：00404939