

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 4月12日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22710164

研究課題名（和文） 自由視での有効視野計測・評価法の開発

研究課題名（英文） Development of measurement and evaluation for useful field of view under eye and head free condition

研究代表者

山中 仁寛 (KIMIHIRO YAMANAKA)

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（和文）：本研究では、認識可能とされている眼球運動速度  $30^\circ/\text{sec}$  以下<sup>4)</sup>の状態において、眼球運動の速度や方向の違いが有効視野にどのような影響を与えるか、実験的に検討を行い、自由視での有効視野推定式の提案を行うことを目的とし、研究を行った。その結果、眼球運動方向、眼球速度の上昇、認識対象物の注視点に対しての方向の違いにより、有効視野の狭窄率に違いがあることを示した。また、斜め方向移動時の狭窄率の特性は垂直方向移動と類似性があることも示し、眼球運動方向・眼球運動速度を変数とした、自由視状態における有効視野推定式の提案を行った。

研究成果の概要（英文）：There have been numerous studies related to useful field of view with regard to ensuring safety during activities and preventing recognition failures that can result in human error. As a result, the form of the useful field of view has been determined and methods for its measurement have been proposed. Most studies have assumed a fixed gaze, however, thus failing to consider the useful field of view during eye movement. The present research takes an experimental approach toward discovering the effects of eye movement speed and direction on useful field of view, limiting eye movement speed to  $30^\circ/\text{s}$ . As a result, the direction of gaze movement, increases in speed, and the direction of the recognized object with respect to the focal point cause variation in the narrowing of the useful field of view.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

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・安全工学

キーワード：信頼性工学, マン・マシンシステム

## 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の認知の欠如に派生するものが少なくない。このためヒューマン・インタフェースにおける安全性の確保には、作業者の有効視野(UFOV)の把握は急務である。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、運用上の最終意思決定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。

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 21 世紀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、人間が介入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)の情報が行きわた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。

## 2. 研究の目的

申請テーマは、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、作業者の有効視野を自由視の状態です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ことを目的としている。自由視での有効視野を定量的に評価することができれば、視覚情報処理により処理しなければならない情報量と視野狭窄の関係が明らかになることが可能となり、ヒューマン因子という最も科学的評価が困難な因子の不確定性を取り込み構造健全性、安全性の確保されたヒューマン・インタフェースのシステム設計が行える。

### (1) 何をどこまで明らかにするか

申請テーマは、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、作業者の有効視野を自由視の状態です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。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範囲(有効視野)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。

申請者らは科学研究費(若手研究(B))の交付を希望する 2010 年度から 2012 年度までの 3 年間において、以下の 2 点を明らかにしようとしている。

1) 申請者がこれまでに開発した固視状態における有効視野を認識確率基準で定量的に評価できる手法を用いて、眼球回転運動中の有効視野を実験により計測する。眼球運動の回転速度、回転方向、背景映像の複雑さを要因とし様々な組合せで実験を実施し、2011 年度以降の自由視での有効視野を推定する方法の開発への基礎データ蓄積を行う。

2) 蓄積した上記データを、自由視で計測した視覚作業中の視線軌跡とその眼球回転速度にあてはめることで有効視野の推定法を考案し、検証実験により有効性を検証する。さらに、情報処理量に相当する背景映像の複雑さと有効視野の関係を考察することで、安全なシステムの設計に取り入れる方式を提案する。

### (2) 研究の特色・独創的な点

申請テーマは、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。作業者の有効視野を自由視における眼球運動計測から推定する方法を確立する。これまでに提案されている有効視野の計測法としては、三浦や阿山らによる自動車運転作業者の有効視野の測定、Owsley らが独自に開発した有効視野計による測定が挙げられる。しかしながら、これらの研究では、有効視野を予め円形と定義し固視点からの半径を尺度とするものなど、視野の定義と計測法と評価法が精度良く得られているとは言い難い。このように、固視点保持の状態では周辺視野領域に標的刺激を出現させ、これを認知できる領域を有効視野として評価することはきわめて難しく、有効視野を定量的に精度良く計測できているものは少ない。それに対して、申請者は統計的手法を用いた方法で定量的に視覚域を測定する方法を開発している。具体的には、固視点から離れた位置に認知対象物の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である。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。

申請テーマは、これまで自由視では計測することができなかった有効視野の評価法を確立し、どの程度情報処理量が増加すれば認知の欠如、または視野狭窄が起こるかを客観的に明らかにしようとしている。これらは、

学術的に充分独創的であるのみならず、実用面においても作業者の認識可能範囲を定量的に把握できることから、ヒューマンエラーにより起こりうる大事故を未然に防ぐことができる画期的方法である。

また、本研究では作業者の視線軌跡を計測するために申請者の所属機関の既設設備である視線軌跡計測・解析イマークカメラシステム（ナック製）を使用するが、将来的には据え置き顔情報検出カメラと画像処理技術により、作業者へのセンサ装着などの拘束状態ではなく非接触で有効視野を把握できるものと期待できる。さらに、有効視野形成メカニズムに関する検討を深めていけば、認知の欠如によって引き起こされるヒューマンエラーの発生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できるものと期待できる。

### 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、自由視での有効視野形成に影響を与えられとされる眼球回転速度、方向や視覚刺激のサイズ、形状等の要因を任意に変更できる視覚刺激提示アルゴリズムプログラムを開発する。次に、開発したプログラムにより、様々な背景映像での有効視野を計測し、各条件における実験を繰り返すことで有効視野を把握する。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、視野狭窄との関係を明らかにする予定である作業者が処理しなければならない情報量の評価に、生理信号である視覚誘発電位を用いることにより処理しなければならない情報量を定量的に把握することである。

#### (1) 2010年度の研究方法

当該年度においては、研究目的を達成するために視覚刺激提示プログラムを開発する。このプログラムは、本実験の実験因子となる眼球回転速度を制御する注視点の移動速度と移動方向を自由に変化させることができ、提示する視覚刺激のサイズや形状も変更可能となるように作成する。さらに、処理しなければならない情報量を変更した数種類の背景映像と重ね合わせて提示することで、様々な条件下での眼球運動中の有効視野(UFOV)計測を行う。

研究を進める上での主要設備としては、70

インチリアプロジェクター（ビクター製）を計上した。この装置を用いることで、被験者と提示装置の距離を考えた場合に視界全体に作成した視覚刺激を提示することが可能となり、別途計上したインポザ（IDK製）と組み合わせることで自由に背景映像と視覚刺激を重ね合わせた映像を被験者に提示することができる。また、背景映像の定量化は被験者の視覚誘発電位の振幅量を同時に計測することで、背景映像の複雑さ、すなわち処理しなければならない情報量を客観的に評価する。視覚誘発電位の計測は申請者の所属機関の既設設備である誘発電位検査装置（日本光電製）を用いる。

研究の遂行は、基本的に申請者が研究計画から実施、解析、まとめまでを行う予定であるが、申請者の所属機関に勤務する専門知識を有した研究者に研究討論等を依頼する。また、プログラムの開発ならびに実験準備、実験については、申請者が所属機関で開講している研究室の大学院生（約10名）と共に実施する。

具体的には、当該年度においては、以下の2つの課題を遂行する。

- 1) 眼球回転速度、方向や視覚刺激のサイズ、形状を任意に変更でき、被験者の有効視野を計測するための視覚刺激提示アルゴリズムプログラムを開発する。
- 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、様々な背景映像での有効視野を計測し、各条件における有効視野を把握する。

研究を遂行する上でのアイデアとしては、有効視野を客観的に評価する方法である。具体的には、固視点から離れるほど対象物の認識が難しく刺激の強度が強いとした場合、固視点近傍では認識率が高く、周辺になるほど認識率は低くなる。図1に示すように固視点  $S_1$  から各方位における心理測定曲線が得ら

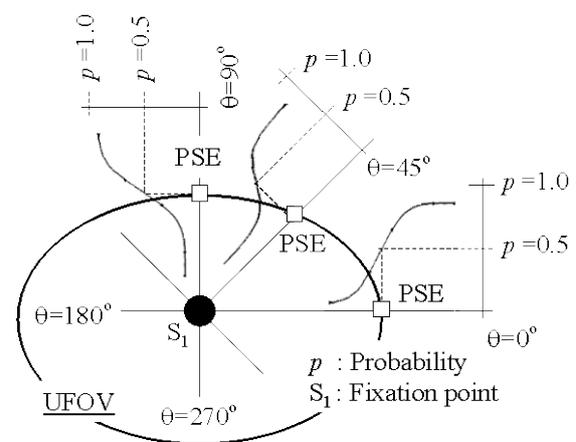


図1 有効視野の定義

れるとき、それぞれの方位における刺激閾値を結んだ包絡線によって得られる領域を本研究では有効視野と定義する。ここでの刺激閾値は、心理測定曲線が固視点からの距離を引数とする非検出確率の累積分布関数であることより、非検出確率を指定したときの累積分布関数の逆関数で得られるパーセント点に相当している。非検出確率が50%の場合の刺激閾値は主観的等価値(PSE)に相当し、有効視野の境界に相当すると考えられる。

## (2) 2011年度以降の研究手法

2011年度以降は、2010年度に蓄積した実験データを基に、作業中の視線軌跡に眼球回転速度ごとの有効視野をあてはめることで自由視での有効視野を推定する方法を考案する。さらに、どの程度処理しなければならない情報量が増加すると有効視野の狭窄が起こるのかも脳波信号から得られる視覚誘発電位を抽出・解析することで明らかにする。

申請者の所属機関の既設設備であるドライビングシミュレータ（三菱プレジジョン製）により仮想運転作業中の被験者の視線軌跡を計測する実験を実施し、運転作業中の有効視野を推定し、運転タスクのパフォーマンスの結果と比較することで提案手法の有効性を検証する。さらに、2011年度に設備備品として計上した生理学データ解析ソフト（ELEMEC製）により、前年度に蓄積した実験データから背景映像ごとの処理しなければならない情報量とドライビングシミュレータでの運転環境（道路混雑度）等を定量的に把握し、作業中に処理しなければならない情報量と有効視野の関係についても明らかにする。

上記研究計画は、申請者が研究遂行の計画と総括を行い、前年度同様実験の実施やデータ解析等については所属機関の大学院生（約10名）と共に実施する。

## 4. 研究成果

### (1) 視線移動時の有効視野計測

表1に、各方向への視線移動時における、有効視野の縁を条件ごとに全被験者の平均値で示す。表の結果より、眼球移動の方向がいずれの場合においても、眼球の移動速度が速くなるにつれて、有効視野の範囲が狭くなっていることがわかる。眼球の移動速度と注視点に対しての方向を要因とした二元配置の分散分析を行った結果、視線の移動速度が速くなるほど、注視点に対しての全ての方向で視野狭窄が起こることが分かった（ $p < 0.01$ ）。

また、眼球移動速度における狭窄率について着目すると、視線の移動方向が垂直および斜め方向への視線移動時の結果で、それぞれ

表1 各条件における有効視野の縁（°）

眼球の状態 (移動速度)		注視点に対しての方向		
		水平	斜め	垂直
固視 (0° /s)		7.72	5.70	6.16
水平移動	10° /s	7.74	5.37	6.07
	15° /s	6.23	4.64	5.15
	20° /s	5.44	4.85	5.13
垂直移動	10° /s	6.46	5.03	4.90
	15° /s	4.75	4.01	3.67
	20° /s	3.75	2.81	3.09
斜め移動	10° /s	6.77	5.22	5.30
	15° /s	5.94	4.59	4.40
	20° /s	4.43	3.89	3.50

視線の移動方向である、斜め・垂直方向の視野狭窄率が最も小さいことから、それぞれ、視線移動方向においての視野の狭窄率が最も小さくなることも分かった（ $p < 0.01$ ）。しかしながら、水平方向への視線移動時では、移動速度により視野狭窄が大きくなるが、斜め方向で最も視野狭窄率が小さく垂直、斜め方向への視線移動時とは異なる結果であった。

これらの結果より、視線移動方向が垂直、斜め方向移動においての、眼球移動速度が速くなった場合の視野の狭窄の起こり方には、同様の特性があることが考えられる。これは、眼球運動の制御を行う外眼筋の働き方が運動方向によって、異なるためではないかと考えられる。

### (2) 自由視での有効視野計測法の提案

視覚的に認識可能とされている眼球運動速度(30°/sec以下)での有効視野範囲の推定を行うために、速度変化と眼球運動方向による視野狭窄率に関する関係式が必要となる。そこで、本研究で得られたデータから実験式を求める。有効視野の長軸における眼球移動方向と移動速度の関係を眼球の移動方向が、水平、斜め、垂直の順に式(1)~(3)に、短軸における同様の関係を式(4)~(6)にそれぞれ示す。

$$y = -0.007x^2 + 0.027x + 7.294 \quad (1)$$

$$y = -0.010x^2 + 0.054x + 7.242 \quad (2)$$

$$y = -0.006x^2 + 0.067x + 7.282 \quad (3)$$

$$y = -0.050x + 5.830 \quad (4)$$

$$y = -0.003x^2 + 0.097x + 5.800 \quad (5)$$

$$y = -0.006x^2 + 0.004x + 5.792 \quad (6)$$

眼球運動方向の有効視野推定式の考え方は、図2に示す考え方より以下のように提案する。

$$d_x = d_v + \frac{(90-x)d_v}{xd_h + (90-x)d_v} (d_h - d_v) \quad (7)$$

ただし、 $m = \frac{xd_h}{d_f}$  ,  $n = \frac{(90-x)d_v}{d_f}$

この案では眼球の移動方向が斜め(45°)方向を基準とし、移動方向が0°~45°方向の場合と45°~90°方向の場合とで場合分けを行い、それぞれで有効視野推定値を求めている。また、固視に対する狭窄率の違いも考慮した。

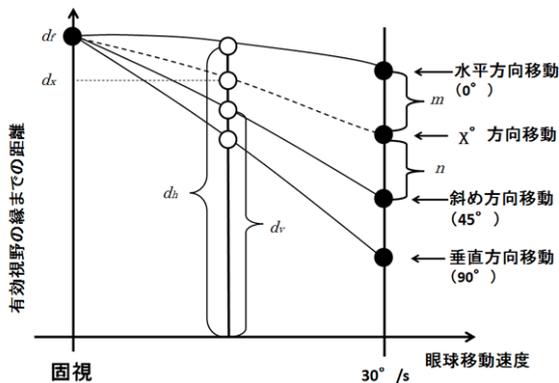


図2 眼球移動方向に関する実験式の考え方

## 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2件)

① K. Yamanaka and H. Nakayasu, Relationship between the useful visual field and event related potential P300 in driving an automobile, Vision in Vehicle, Vol.10, 2012, 20-30.

② 町田宇祥, 朴美卿, 山中仁寛, 川上満幸, ハンズフリーシステムによる会話と発着信操作が自動車運転に与える影響, 日本機械学会論文集C編, Vol.77, No.775, 2011,1071-1077.

[学会発表] (計8件)

① 古木翔, 阿部光一郎, 林田吉正, 山中仁寛, 森島圭祐, 大本浩司, ドライビングシミュレータを用いた自動車運転環境におけるメンタルワークロードと有効視野, 自動車技術会秋季大会, 2012.10, 大阪.

② 石井雅己, 水内淳, 高嶺恭平, 山中仁寛, 森島圭祐, 大本浩司, 眼球運動パラメータを用いた視野推定, ヒューマンインタフェースシンポジウム, 2012.9, 福岡.

③ 石井雅己, 林田吉正, 山中仁寛, 森島圭祐, 大本浩司, メンタルワークロードと検出視野の関連性, 日本人間工学会53回大会, 2012.6, 福岡.

④ 水内淳, 高嶺恭平, 山中仁寛, 森島圭祐, 大本浩司, 覚醒度と検出視野の関連性, 日本人間工学会53回大会, 2012.6, 福岡.

⑤ 町田宇祥, 朴美卿, 山中仁寛, 川上満幸, モダリティの異なる刺激課題における瞬目波形に関する研究, 日本人間工学会関東支部大会, 2011.12, 東京.

⑥ K. Yamanaka and M. Kawakami, Proposal model of human behavior by visual information processing mechanism for reliability-based system design, International Conference on Biometrics and Kansei Engineering, 2011.9, 香川.

⑦ 古木翔, 山中仁寛, 川上満幸, 交通法規の違いがドライビングパフォーマンスに与える影響, 日本人間工学会52回大会, 2011.6, 東京.

⑧ 町田宇祥, 朴美卿, 山中仁寛, 川上満幸, 自動車運転時のハンズフリーシステムの有効性に関する研究, 日本人間工学会51回大会, 2010.6, 東京.

[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]

なし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山中仁寛(KIMHIRO YAMANAKA)

首都大学東京・大学院システムデザイン

ン研究科・准教授

研究者番号: 00404939