

ユーザの Awareness を支援する
情報呈示方法に関する研究

平成 17 年度

竹 本 雅 憲

目次

1. 序論	1
1-1 研究の背景	1
1-2 監視制御に関するヒューマンファクターズ	3
1-2-1 監視制御システム	3
1-2-2 制御盤設計の変遷	6
1-2-3 監視制御に関わるヒューマンファクター研究の潮流	7
1-3 人間の認知面を表現する概念	10
1-3-1 人間の情報処理モデル	10
1-3-2 シチュエーション・アウェアネス	12
1-4 監視制御における表示情報の役割と状況認識	15
1-4-1 人間の注意という観点による表示情報の分類	15
1-4-2 ユーザ受動型情報表示	16
1-4-3 監視制御の流れから見た表示情報の役割	16
1-5 ユーザのウェアネスを高める情報呈示方法の検討	19
1-5-1 システムの異常状態を表現する表示情報に対する要件	19
1-5-2 動的な色彩変化を用いた表示方法の可能性	21
1-5-3 グラデーション情報表示	22
1-6 研究の目的と概要	23
2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討	25
2-1 実験方法および実験条件	25
2-1-1 実験方法	25
2-1-2 実験条件	28
2-2 実験結果および検討	33
2-2-1 監視作業における異常状態に対する検出時間による検討	33
2-2-2 選択作業と監視作業を合わせた評価による検討	39
2-2-3 主観評価によるグラデーション情報表示の特徴に関する検討	43
2-3 表示情報の特性と表示情報としての特徴との関係性に関する検討	47
2-4 まとめ	51

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討	53
3-1 ディスプレイ上での色彩イメージの評価	53
3-1-1 実験方法および実験条件	54
3-1-2 実験結果および検討	56
3-2 VDT 作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響	58
3-2-1 実験方法および実験条件	59
3-2-2 実験結果および検討	61
3-3 まとめ	67
4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討	68
4-1 システムの状態表現としてグラデーション情報表示を利用するための予備実験	68
4-1-1 HLS カラーモデル	69
4-1-2 色彩から受ける印象の強さに関する評価実験	70
4-1-3 異常の状態を表現する色彩変化の決定	72
4-2 実験方法および実験条件	76
4-2-1 実験方法	76
4-2-2 実験条件	76
4-3 実験結果および検討	81
4-3-1 視線解析による検討	81
4-3-2 検出時間及びアンケート結果からの検討(時間情報による検討)	84
4-3-3 検出時間及びアンケート結果からの検討(故障情報による検討)	86
4-3-4 検出時間及びアンケート結果からの検討(故障・時間情報による検討)	89
4-4 まとめ	92
5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン	94
5-1 実験から得られたグラデーション情報表示に関する特徴	94

5-2	グラデーション情報表示の仕様と特徴との影響関係	97
5-3	作業内容の SRK モデルに基づくガイドラインの提案	100
5-3-1	SRK モデル	100
5-3-2	SRK モデルによるグラデーション情報表示利用のための ガイドライン	102
5-3-3	システムの異常状態におけるグラデーション情報表示利用の ためのガイドライン	108
5-3-4	作業への習熟度を高めるためのグラデーション情報表示の 利用可能性	119
5-4	グラデーション情報表示の現実場面への応用可能性	110
5-5	まとめ	112

6. 結論 **113**

参考文献

1. 序論

1-1 研究の背景

時代が進み、機械の姿・機能・大きさ・複雑さが変わろうと、その機械を利用する人間の立場に立って、機械のデザインを行うことが、人間・機械系⁽¹⁾⁻⁽³⁾に関する普遍のテーマである。このような考えは、現在では、人間中心設計 (Human Centered Design) として、幅広く、設計に関わる分野で検討されている。

一時、コンピュータが人間の種々の役割を担っていく未来には、人間が行う作業はなくなるといった神話があった。確かに自動化が進むことで、手や脚といった運動機能を使うことは少なくなり、見かけ上、人間がすることは減少した。しかし、そこで従事する作業者に求められる要件は減っておらず、状況判断や予測といった認知的機能が要求される機会が著しく増してきている。また、逆に言えば、機械の機能が変遷することで、人間が有する能力・経験にも違いが生じている。

このように、時代の変遷とともに、人間、機械それぞれの機能・役割は変化していく。したがって、人間と機械との関係性に関しても、その時代において望ましい姿は変わる。たとえば、Jordan はこのような関係性を、「人と機械とは相補的な関係にあり、決して代替的ではない」として述べている⁽⁴⁾。

原子力発電所や航空機など、高度な自動制御機構が導入されたシステムにおいても、すべての作業が自動で行われるわけではない。たとえば、想定外の異常事象が発生した場合には、種々の状況判断を即時に行い、対応操作を決定することが求められる。このような対応は、人間の方が優れている。そのため、Sheridan が示すような監視制御 (Supervisory Control) という形態、すなわち通常は自動制御機構がシステム制御を担い、緊急時などには人間が介入してシステムの制御を行う、が用いられている。しかしながら、いつ起こるともしれない事象を、ただ待つというのは、人間に対して様々な影響を与える。たとえば、状況認識力の喪失、システム理解の低下、技量や熟練度の低下、単調・退屈に陥って生じるエラー、危険に対する警戒心の低下、仕事のやりがいの喪失などである。

このような問題は、人命・施設外の環境に重大な影響を及ぼし、場合によっては死亡事故あるいは生命に関わる損傷を受けた事故、施設外の環境状態を想定外にさせた事故へとつながる。そのため、ヒューマンファクターズ分野を中心に、これらの問題の解決が図られてきた。すなわち、その環境で求められる技術とそれに関するヒューマンファクターの問題を探り、望ましい姿を追求

1. 序論

することである。具体的には、

- マン・マシン・インタフェース
- 作業方法を含めた手順
- 作業支援方法
- 訓練、教育方法

などを見直すことになる。

その際、特に重要となるのが、人間の認知的機能特性を十分考慮することである。人間は、機械からの情報を受信した後、それを知覚し、知識との照合を行い、状況を解釈する。その解釈の結果を受けて、行うべき行動を決定する。ここで、はじめて、目にみえる形での行動が現れる。つまり、単に見やすい表示、操作しやすい機器という、人間の運動機能からみた検討では不十分である。より人間の認知機能(知覚や判断)を支援するように、インタフェースや作業内容をデザインしていかななくてはならない。

また、状況把握へ至る認知的な流れが複雑になると、状況把握のための認知的負担に加えて、精神的な負担もかかる。そのため、人間に過剰な心的負担をかけないという配慮も必要になる。これらの負担を除去するため、人間の認知面や感情面なども総合的に考慮することが、表示機器設計では要求されている。

人間が監視すべき画面に関しても、

- 情報の見やすさ(形状、大きさ、色、表示方式)
- 確認のしやすさ
- 関連情報をまとめる(グルーピング)
- 関連性の明示 (関連性を線でつなぐ等)

といった人間工学的設計原則をより詳細に実現させていくことが必要である。人間の行動は一つの結果であり、行動は種々の要因、すなわち行動形成要因(PSF: Performance Shaping Factors)によって左右される。逆に言えば、PSFを的確に把握し、PSFに応じた設計を行うことが、人間中心設計へとつながる。

特に、人間が操作に介入する際の情報提示は、手動介入操作の成否に大きく影響する。したがって、単に機器の異常を知らせるだけでなく、人間の注意を適切に誘導し、その後の人間の判断、意思決定を支援することが、監視画面におけるヒューマンファクター上の課題の一つと言える。

そこで、本研究でも、この点に着目し、人間の手動介入操作を支援できるよう、人間中心の考えに立脚した、監視画面に含む副次的な情報呈示方法の検討を図った。

1. 序論

1-2 監視制御に関するヒューマンファクターズ

1-2-1 監視制御システム

図 1-1 は人間-機械系を概念的に表現したものである。また、人間と機械との接点をマン・マシン・インタフェースと呼ぶ。

原子力発電所や化学プラント、航空機などの大規模システムのように、自動化が進んだシステムでは、この関係性は図 1-2 のような監視制御という形態で表現できる。すなわち、通常はコンピュータを中心とした自動制御機構がタスクを実行する。システムにおいて、何らかの問題が生じた場合には、人間が手動介入し、タスクの実行を図る。また、Sheridan らは自動化のレベルを表 1-1 に示す 10 段階に分類している⁽⁶⁾。

監視制御における人間の役割は、自動制御機構の監視、異常の発見、さらに状況に応じた介入操作である⁽⁸⁾⁻⁽¹¹⁾。ただし、自動制御機構の能力により、これらの役割における時間配分は大きく変わる。現在の多くのシステムでは、監視作業が 95%以上を占めるものが多く、人間が手動介入する機会は極めて少ない。そのため、人間には肉体的負担はかからないものの、緊張の持続などによる精神的負担が大きい。そのことが異常発生時の対応の遅れやヒューマンエラーにつながる可能性が増している。これは、Yerkes らが示した監視作業における人間の心的負担の程度とパフォーマンスとの関係(図 1-3 Yerkes-Dodson 則)^{(13),(14)}でも明らかである。Yerkes-Dodson 則から、人間の情報処理活動に期待する場合には、心的負荷が人間の能力を逸脱せず、かつ過小にならないような範囲が適切であると考えられる。

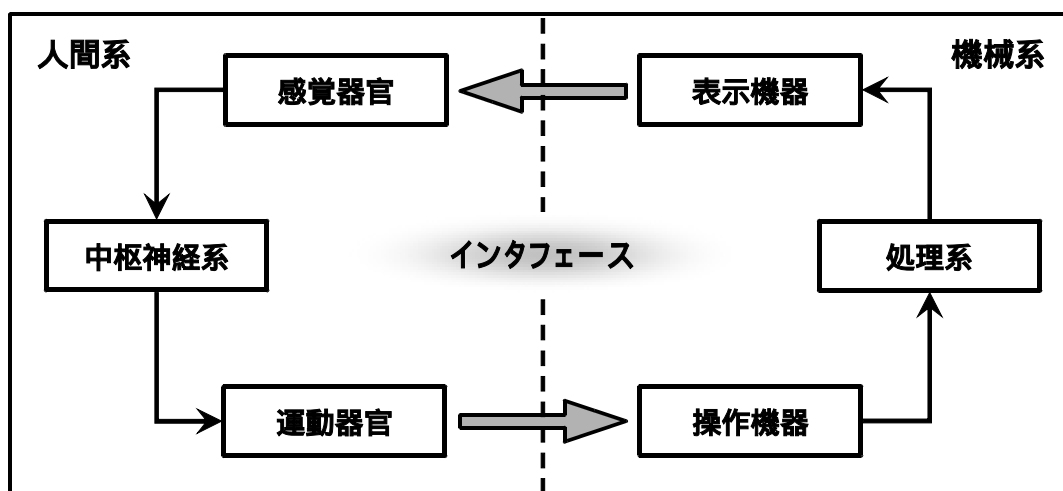


図1-1 人間 - 機械系

1. 序論

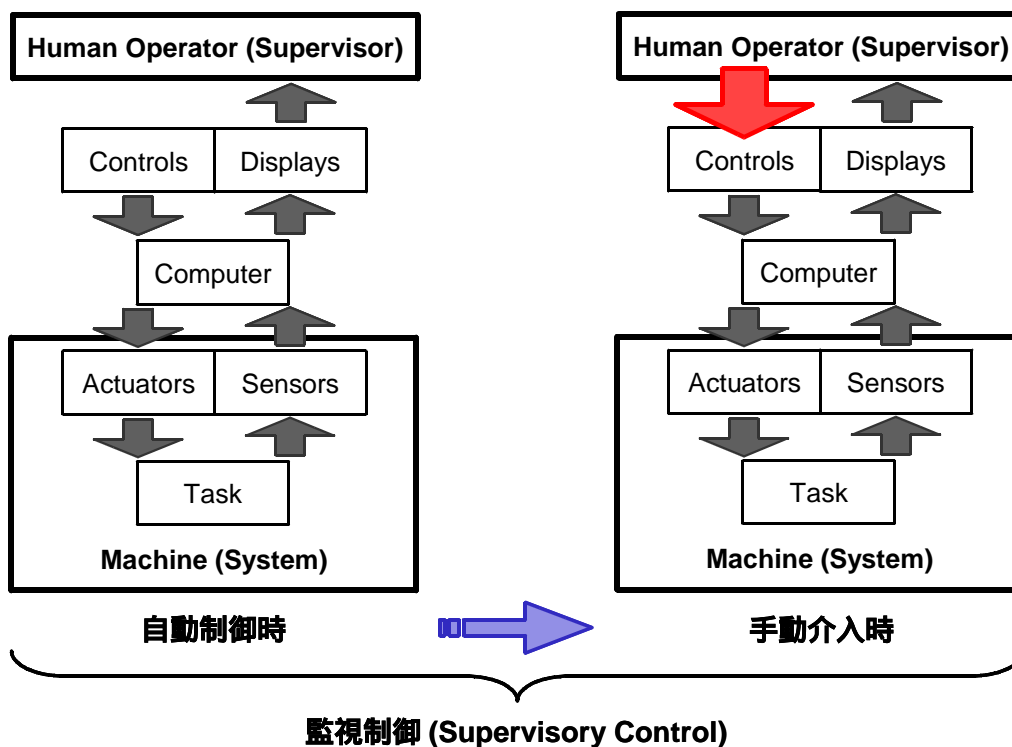


図1-2 監視制御 (Sheridan 1992)

表1-1 自動化のレベル

自動化のレベル	自動化の定義
1	コンピュータは支援せず、人間がすべての決定、操作を行う
2	コンピュータが一連の決定、操作の代替案を提示する
3	コンピュータが一連の決定、操作の代替案をいくつかに絞り込む
4	コンピュータが一連の決定、操作の最善案を提案する
5	人間の承認を得た上で、コンピュータがその最善案を実行する
6	コンピュータが自動的に実行する前に、人間に拒否権を発動するための猶予時間を与える
7	コンピュータが自動的に実行し、その後必ず人間にそれを報告する
8	自動的に実行した後に、人間に要求されたときだけ報告する
9	自動的に実行した後に、コンピュータが必要だと判断したときだけ人間に報告する
10	人間を無視して、コンピュータがすべてを自動的に決定していく

1. 序論

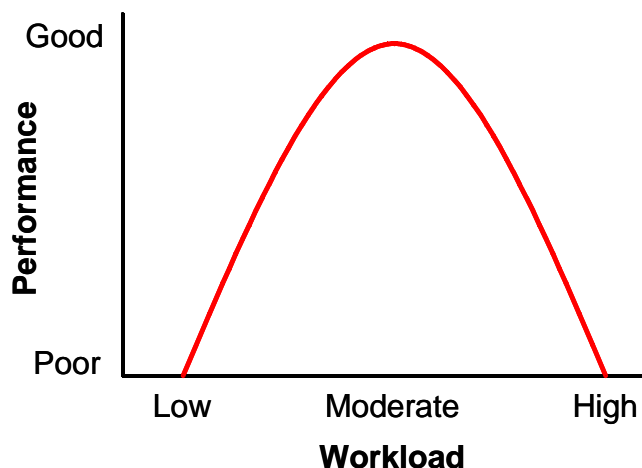


図1-3 Yerkes-Dodson則

また、システムの大型化・複雑化は、人間が処理しなければならない情報量をも増大させている。状況に応じて、処理すべき情報を的確に選択し、より迅速かつ的確な判断を人間が行えるようにするためには、人間の認知的な負担の軽減を図らなくてはならない。

このように、自動化に関しても、自動制御機構の機能だけを考えるのではなく、それに関わる人間の諸特性を鑑み、人間中心の自動化を推し進めることが必要である。すなわち、

人間が制御の主体であり、責任とともに有効な権限を人間に持たせ、ある程度自由な措置や方法で、人間が機械に指示・命令できるようにしなくてはならない。

機械は常に人間を支援するべきである。人間が完全に自分で制御する、あるいは機械が完全に全部行う(完全自動制御)といった選択を求めるような設計は避けなくてはならない。

人間の役割は、システムの監督者である。機械が行っていることを常に把握し、的確な判断を下すことを意識しなくてはならない。また、そのような人間の役割が実行できるようなシステム設計でなくてはならない。

である。このような考え方を、いかにシステム設計に組み込むことができているかが、自動化システムにおける人間と機械との調和を図る鍵となる。

1. 序論

1-2-2 制御盤設計の変遷 ⁽¹⁵⁾⁻⁽²¹⁾

原子力発電所などの大規模システムにおける監視制御は、中央制御室(航空機の場合はコックピット)に設置された制御盤(中央制御盤)を通して行われる。以下に、原子力発電所を例として、制御盤の変遷を見る。

(1) 第 1 世代

ハードワイアード型と呼ばれる。アナログ技術に基づき、一つのセンサーで得られた物理量を一つの計器で表示する形態であり、操作機器と表示機器とが一对一の対応を取っている制御盤である⁽²²⁾。

システムが巨大になるほど、表示すべき情報が増え、さらにそれに対応した操作機器も増える。そのため、制御盤が大きくなり、作業者は身体的な移動を行わなくては、情報を見ることもできないといった問題点がある。さらに、表示方式が固定であるため、作業内容によって、ユーザビリティの違いが大きい。

(2) 第 2 世代

1980 年代に入ると、第 1 世代の部分的な改善と並行して、プロセス計算機の進歩と各種制御装置の信頼性向上により可能となった諸技術を導入した制御盤が開発、設置された。主要な特徴としては、広範囲の CRT 表示を導入してプラントの監視性を向上し、プラントの起動、停止操作を部分的に自動化した。また、プラントの起動、停止時や定例試験時の手動操作に対して、操作ガイダンスが CRT 表示された。第 2 世代の制御盤では、CRT 表示と従来の表示機器とが共存しているものもあり、制御盤自体の大きさは第 1 世代よりも大きい場合もある。加えて、運転員間のコミュニケーションは発話に依存し、プラント全体の情報は個々の運転員に共有されないという問題も残っている。しかし、作業自体は CRT 表示を中心に行われ、情報が分かりやすくなり、システムの状態把握のしやすさ、身体移動の少なさといった面で運転員の負担は軽減した。その結果、ユーザビリティは格段に向上した。

(3) 第 3 世代

1990 年頃には、デジタル化技術の発展を背景に、表示は完全にディスプレイに変わり、タッチオペレーションを基本とした操作へと変容していった。このことは、様々なヒューマンファクター的問題を改善し、ヒューマンエラーの防止をはじめとした、ユーザビリティの向上に高く寄与している。第 3 世代の制御盤の特徴は、主たる監視操作を集約した主盤と、プラント全体の状況を運転員全員の共通情報として提供する大型表示盤から構成されていることである。大型表示盤に関しては運転員間での情報共有化を実現させただけでなく、大型ミミック表示の導入によってシステム全体の状況に対する認識を向上させ

1. 序論

た。また、警報と重要警報の分別表示により、対応操作の判断を支援している。主盤は座位による監視操作を可能にし、身体の大きな移動がなくなった。このような中央制御盤の変遷は、情報技術の高度化などの新しい技術を導入することで、運転員の認知的および身体的負担を大きく軽減させた。

このように、現在の制御盤はディスプレイそのものを母体としており、情報の提示は画面の切替によって行われている。したがって、インタフェースのデザイン自体も、ハードウェアではなく、ソフトウェアになってきている。したがって、デザイン仕様の変更の簡便性も増し、インタフェースの見直しも適宜実施できるようになっている。

さらに、近年では大規模システムだけではなく、ビル管理システムなどの中小規模システムにおいても、中央制御室などにおける監視制御が行われるようになってきており、制御盤は幅広い分野で見ることができる⁽²⁹⁾。特に、ネットワーク等の通信技術の発達に伴い、より広範囲の情報を集中管理する傾向が最近は強い。したがって、監視作業という特性を考慮した制御盤、すなわち画面デザインに関しては、作業員の視点に立った設計がより望まれている。

1-2-3 監視制御に関わるヒューマンファクター研究の潮流

システムの自動化に伴う制御盤の変遷に見られたように、自動化が進んだシステムでは人間が行うべき作業を自動制御装置が代替して行う。そのため、人間の物理的な負担は大幅に軽減した。特に、システム全体の状況を把握できるようにミミック表示や大型画面が導入され、情報を迅速に得られるようにタッチオペレーションが使用されている。このように、監視制御における自動制御時から手動介入時への流れの中で、人間の認知面への配慮を意識した設計が進められてきた。

その一方で、極端に自動化が進んだことにより、自動化システム特有の問題点、特に、認知的な負担や心的な負担が新たに生じている。そのような問題点としては、状況認識力の喪失、システムに対する理解の低下、作業員の技量や熟練度の低下、精神的負担の増加などが挙げられる^{(7),(15)}。つまり、システムの自動化によって人間が行う仕事が大幅に削減されたが、実際には人間の役割が「正確な操作者」から「システムの監視を行う管理者」へと変貌してきたと捉えるべきである。そして、人間に要求される技術や能力も変化していると考えられる。よって、自動化が進んだシステムでは、予測が困難な状況に対応することや、システムの変化に応じて状況を認識することが重要になってきている。

1. 序論

上述したシステムの自動化による新たな問題点に対して、人間の認知構造、思考構造などに焦点を当てた、いわゆる人間を中心とした自動化の在り方について考えられるようになってきている。つまり、高度な認識や判断が要求される場面での人間の状況認識を高めるために、監視画面上でのシステムに関する情報の表示方法などのヒューマン・マシン・インタフェースに関する研究が進められている。その研究の流れとして大きく二つの方向性があると考えられる。一つは、監視画面上の表示情報に対する視覚的なユーザビリティを高めるというアプローチである。ただし、これらの研究は、従来の人間工学的設計原則に則り、単純に見やすさを追求するものではない。表示情報を知覚した後の思考、判断に寄与するイメージの形成を支援するような表示情報の実現を意図している研究である。つまり、監視制御に携わる運転員の持っているシステムのイメージと、表示機器で提供されるシステムの内部状態の表示とを一致、あるいは類似させることを目的としている。これにより、システムの挙動を心的イメージへと変換する負担が軽減され、システムの理解や挙動の予測に役立つと考えられている。もう一つは、監視制御における人間の行動をタスク解析して、対応措置をとるまでの思考プロセスを支援するようなインタフェース設計を試みるというアプローチである。人間が操作を要求されるのはシステムの異常、緊急状態である。そのような場合に、いかにしてシステムの異常を同定し、対応する操作を行っていくのかを生理指標や心理指標を用いて解析する。そして、それに基づいて監視画面上のインタフェース設計を行うのに役立てるという研究である。

システムに対する運転員の心的イメージと表示情報との関係に関する研究を可能にしているのは、制御盤の変遷と関係が深いと考えられる。制御盤にディスプレイを使用することで、表示情報の表現能力は大きく向上した。また、GUI (Graphical User Interface) などを利用してグラフィカルな表示情報を提示することも可能になっている。こうした背景から、監視画面上の表示情報をより実物のシステムの機器に近づけることにより、システムと人間との対話性を高める工夫は種々行われてきている。これにより、運転員は監視画面を見ることで実際のシステム、あるいはシステムを構成する機器がどのような状況にあるのかをイメージしやすくなる。

人間と機械との対話性を向上させるためには、人間の認知的機能を考慮することが必要である。たとえば、河野らは、訓練用シミュレータにより緊急時の運転員の行動解析を行った^{(36),(37)}。彼らは、運転員の行動観察、手順書によるタスク分析、運転員へのインタビュー等を行った。その結果、従来の監視画面の構成を変え、階層的なプラントイメージの形成を促進する画面デザインを考

1. 序論

案し、実験的検討を通してその有効性を確認している⁽³⁸⁾。西谷らは、監視操作を行う運転員に対して発話プロトコルを収録して分析する方法(プロトコル分析)⁽³⁹⁾を利用している。彼らは、人間の思考過程を洞察することを通して監視画面の改善を行い、システムの状態に関する認識のしやすさを実験的評価により示した⁽⁴⁰⁾。また、プロトコル分析に加えて、脳波を用いて人間の思考状態を推定したり、視線解析による情報取得の検討や習熟による視線移動の変化に関する検討も行なっている^{(41)・(42)}。その他にも、人間の行動と発話プロトコルをもとに、プラント異常時の情報検索に関する思考プロセスを解析し、画面上の情報量と思考プロセスとの関係について研究した例がある^{(43)・(45)}。また、認知過程だけでなく、精神状態を含めて運転員の内面の状態を推定し、情報提示形態として表現することを試みた研究も見られる⁽⁴⁶⁾。応用的な研究としては、タスク解析を通してプラントの運転を遠隔支援するシステムの構築を試みている例もある⁽⁴⁷⁾。これらの研究は、運転員がプラントに対するイメージを正常に抱いている状態、特に運転員の積極的な行動を支援するような方向で研究が進められている。

また、人間が実際に作業を行う機械、すなわちプラントの緊急時における運転員の判断や行動に関する検討もある。坂田らは、対応が明確な操作、経験のあるトラブルの処置は適切に実行可能であるのに対して、初めて遭遇するトラブル、機能以上の検出や大局的な状況判断に関しては不適切な行動をとられる可能性が高まることを確認している⁽⁵³⁾。これは、緊急時という状況が運転員を緊張させる結果、状況把握や判断といった論理思考が阻害され、対応行動の失敗につながると考えられている。また、三友らの研究では、模範オペレーションとの比較を通してタスク解析を行っている⁽⁵⁴⁾。その中で、状態が切り替わる情報の確認については高いパフォーマンスが確認された。しかし、連続的に変動する状態変化についてはパフォーマンスの低下が見られ、複雑な情報に対する状況認識の更なる研究の必要性を示唆している。

1. 序論

1-3 人間の認知面を表現する概念

監視制御を含めた制御盤に関するヒューマンファクター研究の大きな流れとして、人間の思考や意思決定といった内面的な問題が検討されている。そのような研究の中で、認知科学的な面で重要な人間の情報処理モデルと、近年注目されているシチュエーション・アウェアネスについて、ここで整理する。

1-3-1 人間の情報処理モデル

人間を情報処理システムとして捉えて、人間が情報を知覚してから行動に至るまでの過程をモデル化することは、認知科学、認知心理学の分野で数多くなされてきた。

Card らは、コンピュータを使用する場合の人間の行動を定量的に解析、予測することを目的として、認知心理学的知見をまとめて人間情報処理モデルを提案した⁽⁵⁵⁾。図 1-4 に示すように、このモデルでは人間の情報処理を知覚、認知、運動の 3 段階に分けている。そして、知覚システムと認知システムはプロ

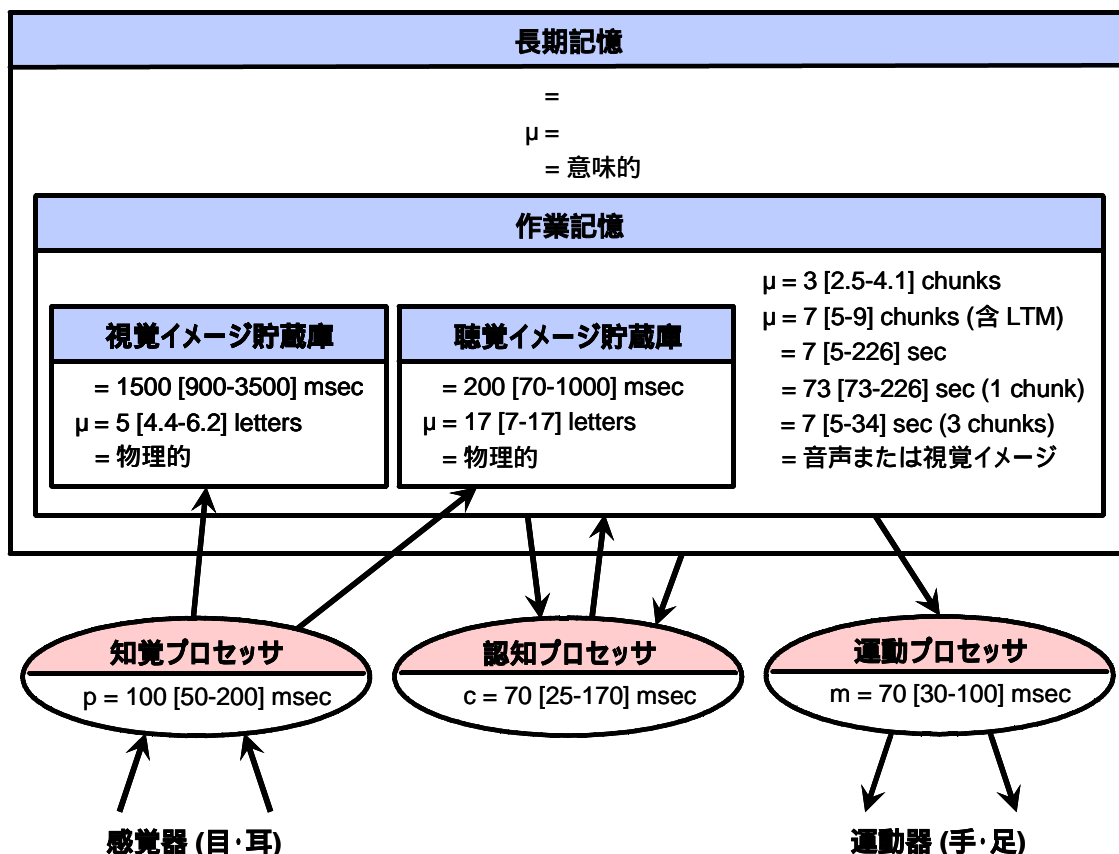


図1-4 人間情報処理モデル

1. 序論

セッサとメモリから構成され、運動システムはプロセッサのみから構成されるものとしている。また、メモリとプロセッサの動作特性を少数のパラメータにより記述している。メモリには記憶容量(μ)、保持時間()、主な符号化コード()の三つ、プロセッサにはサイクル時間()の一つのパラメータが用いられており、具体的な数値として示されている。これにより、人間情報処理モデルを用いて、マン・マシン・インタフェースの操作性や心的作業負荷を定量的に見積もることが可能である。

図 1-1 で示した人間-機械系において、人間系と機械系とのインタフェースを通じた情報の流れを記述した認知的モデルとしては、Norman の 7 段階モデルがある⁽⁵⁶⁾(図 1-5)。人間は自らの目標を達成するために、インタフェースを通じてシステムの物理的状態を操作することになる。その後、この目標の達成を確認するために、インタフェースを通じて操作後のシステムの物理的状態を評価する。前者のプロセスは、目標の確立、意図の形成、行動の選択、行動の実行から構成される。一方、後者のプロセスは、システム状態の知覚、システム状態の解釈、目標、意図に照らしたシステム状態の評価から構成される。ここで重要になるのが、ユーザの心理的世界にある目標と、物理的世界にあるシステムの物理的状態の隔たりである。Norman は前者を「実行の淵」、後者を「評価の淵」と呼んだ。人間-機械系の設計では、これらの淵を小さくすることが必要である。つまり、人間が目標を達成する行動を決定する過程と、システムの状態を理解する過程を円滑に進めることが重要である。

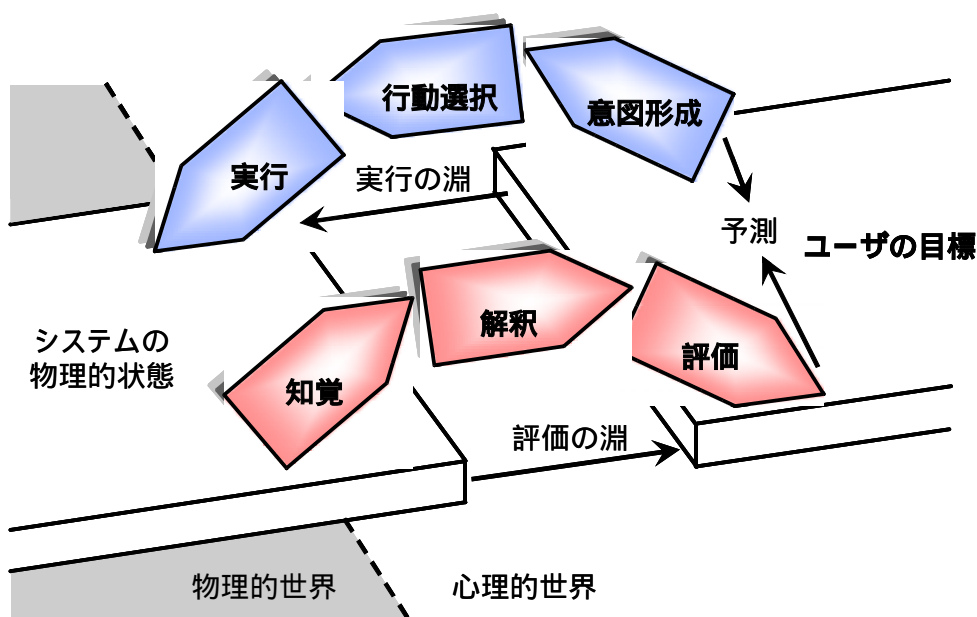


図1-5 相互作用の7段階モデル

1. 序論

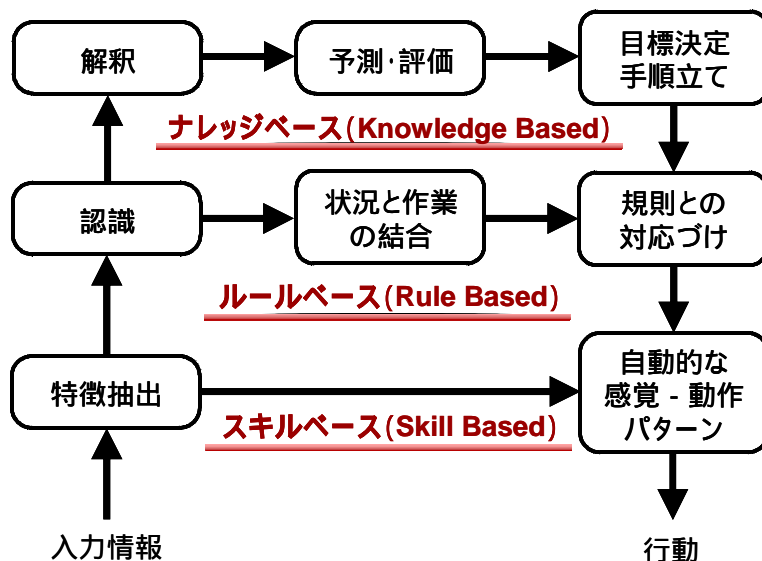


図1-6 SRKモデル

Norman のモデルで記述されていない学習や認知タスク自体の内容に着目し、認知活動のレベルを扱ったものが Rassmussen の提唱した SRK モデルである⁽⁵⁷⁾、⁽⁵⁸⁾ (図 1-6)。このモデルでは、人間の認知活動にはスキルベース (Skill Base) の行動、ルールベース (Rule Base) の行動、そしてナレッジベース (Knowledge Base) の行動という三つのレベルがあるとしている。そして、それぞれについて外界からの情報の形態と認知処理に使用する知識の形態が異なることを指摘している。このモデルによれば、人間の知識やタスク習熟度によって認知活動のレベルは変わる。よって、状況に依存して適切な認知活動のレベルに移行することが要求される。しかし、システムにおける人間の行動を高めるための訓練が重要であり、また、これらを支援するインタフェースも必要であると考えられる。

1-3-2 シチュエーション・アウェアネス

監視制御システムのような複雑なシステムにおける状況認識に関する考え方として、近年、シチュエーション・アウェアネス (Situation Awareness) という概念がある。シチュエーション・アウェアネスは、人間の周囲の環境を要因として、その関係性をもとにした状況認識について考えられており、様々な分野で研究が進められている。

シチュエーション・アウェアネスとは、1988 年に Endsley により提案された理論であり、「一連の時間と空間の中の環境における要素を知覚すること、それらの意味を理解すること、そして、それらがその後どうなるのかを推し量る

1. 序論

こと」として定義されている⁽⁵⁹⁾。つまり、シチュエーション・アウェアネスとは、時々刻々と動的に変化する環境の状態、すなわち、人間の周りで起こっているあらゆる事柄のうち、相対的に重要である事柄を認識することである。広義には、人間の周りで起こっている様々な状況に関する知識やメンタルモデルとされている。起源的には、第二次世界大戦中に、空中戦において戦術上の状況認識を指すものとして使われた航空関係の用語であった。しかし、現在では、航空関係はもとより、プラント、自動車、航空管制、医療システム、通信、鉄道、宇宙、メンテナンス、製造等、人間の制御を要する動的で複雑なシステムを対象とした場合において広く適用されている。

Endsley や Wickens は、種々の論文でシチュエーション・アウェアネスに関する理論的なモデルを示している。その中で、短期記憶、知覚、作動記憶、そして長期記憶がシチュエーション・アウェアネスの基本構造を構成するとしている⁽⁵⁹⁾⁻⁽⁶³⁾。特に、1995年に報告された論文では、動的な環境下におけるシチュエーション・アウェアネスについての理論的なモデルを提案している⁽⁶³⁾(図1-7)。このモデルの中で、先に示したシチュエーション・アウェアネスの定義は、以下の三つのレベルに分類されている。レベル1は、環境における重要な要因を知覚することである。レベル2は、それらの要因が何を意味するのかを、特にそれらの要因がユーザの目標に関連して統合される時に理解することである。そして、レベル3は、将来システムに何が起こるのかを理解することである。さらに、より高いレベルのシチュエーション・アウェアネスによって、人間はタイミング良く効果的に機能することができる。

シチュエーション・アウェアネスに基づいたタスク分析の研究例も、主に航空関係を対象としていくつかが示されており、他の自動化システムへと応用されている⁽⁶⁴⁾⁻⁽⁷⁰⁾。さらに、ユーザのシチュエーション・アウェアネスをもとに、作業環境を評価する手法についても、いくつかが提案されている^{(71),(72)}。特に、Endsley は、航空関係におけるコンセプトやマン・マシン・インタフェースのデザイン等を評価する際に、ユーザのシチュエーション・アウェアネスを直接的かつ客観的に測定する手法、SAGAT(Situation Awareness Global Assessment Technique)を提案している⁽⁷¹⁾。また、このSAGATを用いて、新しいシステムのコンセプト評価をした例も紹介されている⁽⁷³⁾。

シチュエーション・アウェアネスとヒューマンエラーの関連性に関する調査報告の例としては、軍における航空戦で生じるエラーの最も大きな要因は、シチュエーション・アウェアネスの欠如であるという報告がある⁽⁷⁶⁾。さらに、航空事故に関する研究では、ヒューマンエラーに起因する全事故の88%がシチュエーション・アウェアネスに基本的な問題があるという報告もある⁽⁷⁷⁾。

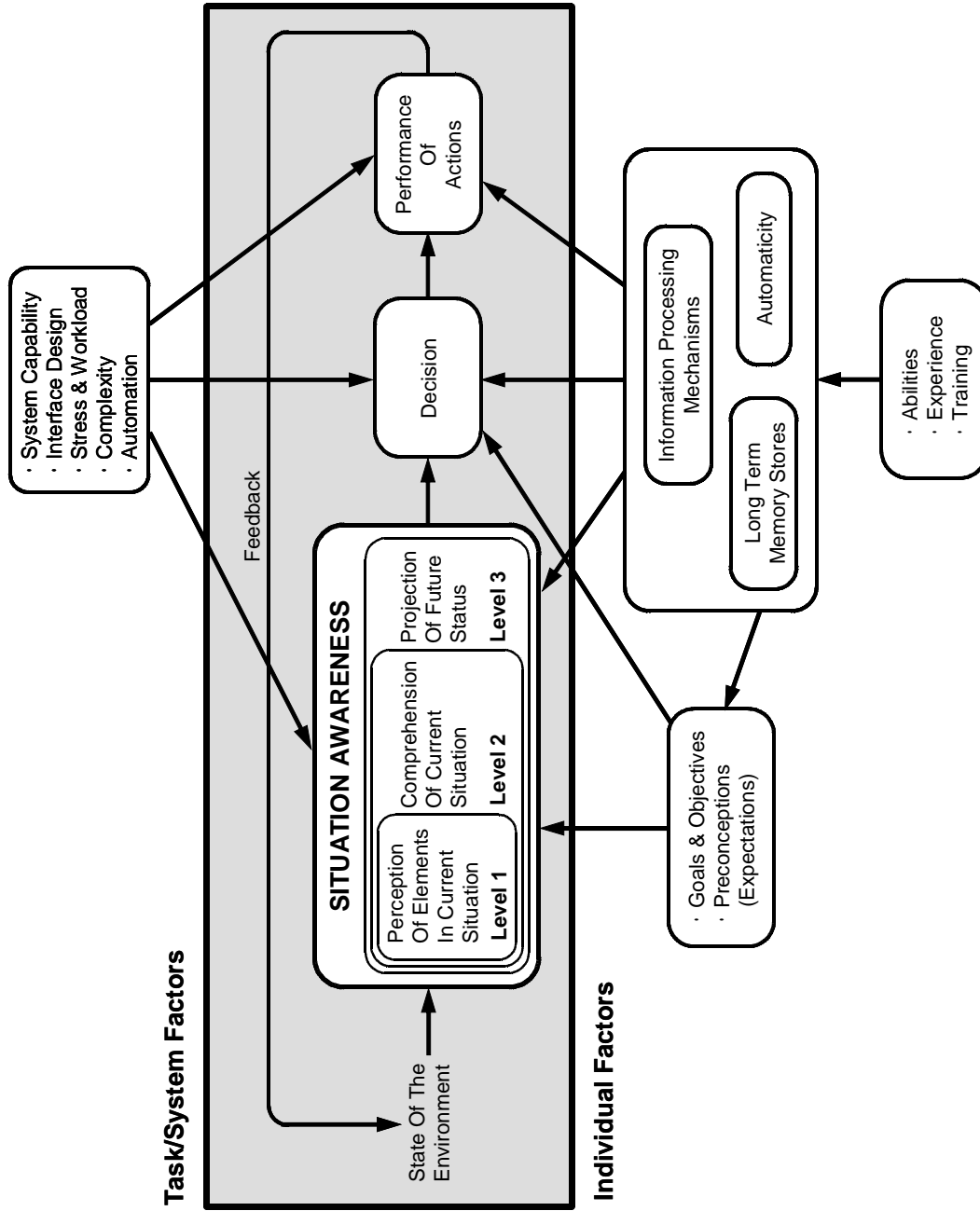


図1-7 動的な意思決定におけるシミュレーション・アウェアネスのモデル

1. 序論

以上のような既存研究からも、シチュエーション・アウェアネスの概念は、複雑で動的なあらゆる環境下においても、人間が有効な意思決定、および行動をするために重要であると考えられる。

1-4 監視制御における表示情報の役割と状況認識

1-2 で述べてきたように、監視制御における自動制御時から手動介入時への流れを見たときに、人間が適切に状況を認識して、手動による操作を円滑に行うことが重要である。一方、シチュエーション・アウェアネスの考え方では、人間を取り巻く環境における種々の要因が、動的な意思決定における状況認識に対してどのように影響するかが重要であると捉えられている。

そこで、本節では、監視制御における人間の状況認識を高める一つの要因として、監視画面上の表示情報に着目した。すなわち、監視制御の流れを人間の情報処理モデルから捉えて表示情報の役割について検討する。

1-4-1 人間の注意という観点による表示情報の分類

ここでは、監視画面上の表示情報に対する人間の注意、意識という観点から、表示情報を次のように分類した。

(1) ユーザ受動型情報表示

表示情報が人間に働きかけることで、人間が特別に意識を向けなくても受動的な立場で受信することが可能な情報である。監視制御では、システムが正常状態から異常や緊急状態へと状況が変化したことを人間に報せ、人間の介入を要求する役割を持つ。このとき、人間が表示情報の変化を容易に知覚できることが重要となる。しかし、表示情報の変化の仕様によっては、人間は詳細な情報内容まで理解できない。したがって、人間の注意を喚起するような工夫がデザイン上の要件となる。ここでいう注意とは、単に異常の発生という事実だけでなく、異常の内容や兆候までを含めている。

代表的な表示形式は、警告表示の点滅、鳴動であり、聴覚情報である警報音、警告音も含まれる。いずれも、ある閾値を超えた状態の有無によってシステムの異常を表現している。

(2) ユーザ能動型情報表示

表示情報に対して人間自身が意識を向けて、積極的な立場で受信する必要がある情報である。すなわち、画面上に示された数値情報やグラフといった、システムの状態を示す表示すべてを指す。なお、画面デザインは、このように人間が注意を向けたという前提のもとで作成されている。

1. 序論

1-4-2 ユーザ受動型情報表示

既存のユーザ受動型情報表示としては、警告表示(警告灯、アナウンスエータなど)、警報などがある。

警告表示とは、監視画面上で、システムに異常が生じていることを示す表示情報である⁽⁷⁹⁾。制御盤における警告表示に関する人間工学的研究は多い。CRTオペレーションにおける警告表示に関しては、プラント内での警報の提示方法について、色、形状についての適切なデザインを人間の認知過程に適合させて検討した研究^{(80),(81)}や、警報に用いる色や記号、文章表現の適切な組み合わせに関する研究⁽⁸²⁾⁻⁽⁸⁷⁾などがある。

警報音とは、システムの異常状態を報せる聴覚的な情報である⁽⁷⁹⁾。特に、最近では、警報音と警告表示の適切な組み合わせについて言及した研究も見られている^{(100),(101)}。

このような研究に対して、警告表示などのユーザ受動型情報表示に対する問題点も指摘されている。Sheridan は、監視制御におけるヒューマン・コンピュータ・インタラクションは、当初期待されていたほど信頼性が高くないことを示し、これらの問題を正しく認識して解決していかなければならないとしている⁽¹⁰²⁾。特に、今日の監視制御において多く挙げられる問題の一つに、運転員に対する情報過多がある。情報過多は、肝心な情報に対する刺激が弱すぎるという問題も生じさせる⁽¹⁰³⁾。そのため、通常運転時では、運転監視に本来必要な情報の表示のみに絞り、システム全体の状況が把握できるような集約化が必要である⁽¹⁰⁴⁾。

以上のような問題点を緩和する方策として、プラントの異常診断など、状況の進展などの予測支援情報がある⁽¹⁰⁹⁾。しかしながら、予測や診断に関しては、多様な経験と知識をもとに行われる人間の高度な判断を代替するまでには至っていない。

このように、ユーザ受動型表示に関しては、ヒューマンファクター的に解決すべき課題を持っているものの、まだ十分な成果を得られてないのが現状である。

1-4-3 監視制御の流れから見た表示情報の役割

そこで、ここでは人間の情報処理モデルをもとに、ユーザ受動型情報表示とユーザ能動型情報表示の特徴の整理を図る。

人間の情報処理過程は、大別すると、知覚、思考・判断、行動という段階に分けられる。知覚段階では、物理的な刺激を目や耳などの諸感覚器官から取り

1. 序論

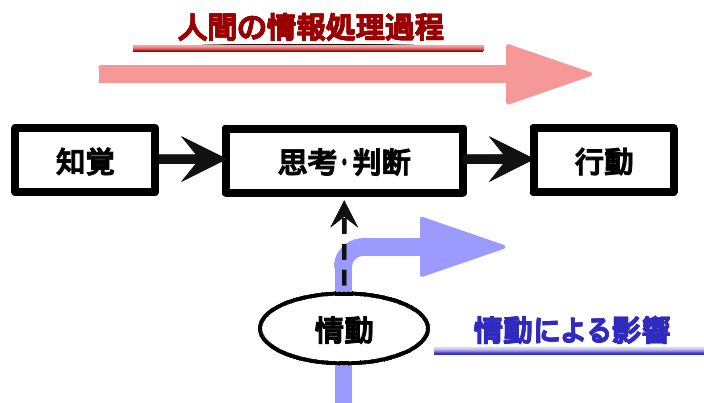


図1-8 情動を含む情報処理過程

入れ、神経回路に伝達する。その後、得られた情報をまとめ、既に持っている知識や経験をもとに、思考・判断段階で行動の内容を決める。思考・判断段階では、学習、意思決定、理解(解釈)、意図形成、方法選択、推論といった複雑な情報処理を行い、知識だけでなく記憶も重要な役割を果たす。さらに、人間の意思は受信した情報と知識、記憶だけでは決まらず、感情や情動などの要因によって影響を受けることになる。思考・判断段階における情報処理が終了した後、決定された意思に従って、行動段階において実際の行動が行われる。その際、手や脚などの人間の運動器官が変化し、はじめて他者から見える状態になる。

また、精神的な負担は、状況認識力など思考・判断に影響を与える。ここでは、そのときの人間の心理の状態を含め、幅広い意味で“情動”として表現し、この影響も加味することとする(図1-8)。

このとき、次の二つの流れを考慮することが、表示系設計においては重要である。一つは、表示情報の変化を知覚し、思考・判断段階を経由して行動に至るといった情報処理過程の基本的な流れである。これは、いわゆる“わかりやすい表示”というように、これまでのヒューマンファクターズ、人間工学の分野におけるインタフェース研究の王道ともいえるものである。もう一つは、人間の心的状態による影響を加味した流れである。これは、人間の心的状態が、人間の思考・判断に影響を与えるということを示すものである。たとえば、焦りや緊張感が、短絡的な行動を誘発するといった例が挙げられる。

この流れをもとに、先に示した、ユーザ受動型表示とユーザ能動型表示の役割を見ると、図1-9としてまとめられる。

まず、異常の発生を知らせる信号が発せられる。この時点では、ユーザの注

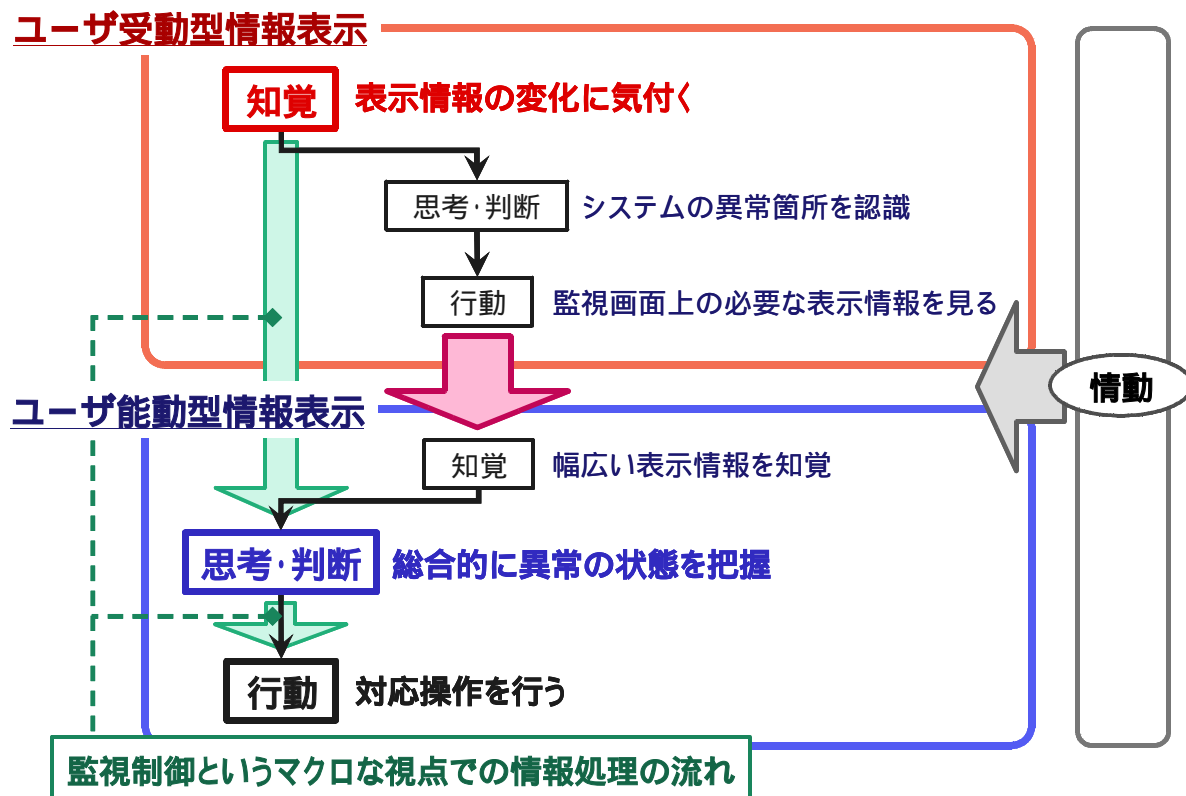


図1-9 監視制御システムの異常状態における情報処理の流れ

意は、まだその情報に向けられていないので、作業員への注意喚起を呼び起こす、つまりユーザ受動型情報表示である。その後、作業員は、異常箇所に関する情報など、システムの状況把握に向けた情報収集を行う。この時点では、すでにユーザの注意に向けられているので、ユーザ能動型情報表示となっている。

つまり、監視制御における手動介入操作のきっかけは、ユーザ受動型情報表示が担い、その後の手動介入操作の本質を担う情報提供は、ユーザ能動型情報表示が担っている。

ところで、現在の制御盤では、このユーザ受動型情報表示とユーザ能動型情報表示は、それぞれ個別の機器あるいはデザインで提供されている。これは、それぞれが担う役割が異なることによる。しかし、作業を行う人間の立場から見た場合、警報という受信を受けると同時に、種々の情報を収集し、判断を行うという、ひとつの情報処理過程として捉えることができる。

したがって、人間中心設計という概念から言えば、このユーザ受動型情報表示からユーザ能動型情報表示へという流れを、より円滑にさせることが望ましい。さらに言えば、ユーザ受動型情報表示の段階で、ある程度の兆候情報を与えることができれば、ユーザ能動型情報表示を用いた認知処理過程における負

1. 序論

担の軽減が期待できる。

すなわち、ユーザ受動型情報表示の段階で、適切な注意誘導を作業者に与えることが、次のユーザ能動型情報表示における作業者の行動(手動介入操作)の支援につながる。ここでいう注意とは、単なる意識を向けるという意味ではなく、シチュエーション・アウェアネスの理論で述べられている状況把握を含む作業者の意識レベルに相当する。そこで、本研究では、あえて“注意”ではなく、“アウェアネス”という言葉で表現することとした。

1-5 ユーザのアウェアネスを高める情報呈示方法の検討

1-5-1 システムの異常状態を表現する表示情報に対する要件

ユーザ受動型情報表示、ユーザ能動型情報表示に対して、その定義および監視制御における役割をもとに、生理学的な観点および認知科学的な観点から、システムの異常状態に対する状況認識のために必要な要件を考える(表 1-2)。

まず、ユーザ受動型情報表示については、生理学的な観点から見た「気付やすさ」として、一定以上の刺激、動的な変化などが必要となる。認知科学的な観点からは、異常状態において迅速な行動へつながるよう、短時間に行動を誘導するような直観への訴求性が要求される。

一方、ユーザ能動型情報表示については、生理学的な観点から見た「見やすさ」として、視認性、識別性、コントラストなどが必要となる。認知科学的な観点からは、要求される行動に結びつくような情報内容の理解のしやすさが重要となる。

前節までに見てきたように、システムが異常状態になったときの手動介入操作では、より適切で迅速なアウェアネスを促すような情報表示が望ましい。しかしながら、Hoggらによる既存のシステムのシミュレータを用いた研究では、システムに異常が生じた場合、その初期段階においては、既存の警報音、警告

表1-2 監視制御の異常状態に対する状況認識のために
表示情報に必要な要件

	ユーザ受動型情報表示	ユーザ能動型情報表示
生理学的観点	一定以上の刺激 動的な変化	視認性 識別性 コントラスト
認知科学的観点	直観への訴求性	情報内容の理解のしやすさ

1. 序論

表示は人間の状況認識を十分に高めてはいないことが明らかになっている⁽⁸⁹⁾。また、Bastl らの研究では、特に錯綜した異常な状況下において、システムの状態を人間に認識させるユーザ受動型情報表示の場合、兆候情報を含めた注意喚起が将来的なマン・マシン・インタフェースの課題として挙げられている⁽¹¹⁷⁾。加えて、兆候情報を含めた注意喚起が、複雑なシステムの状態観察、および予期できないプロセスの十分な理解に対して効果を発揮すると述べている。さらに、異常時、緊急時とは人間が客観世界(計器や装置の光、音データなど)からの情報を主観世界(ヒューマンの五感的内的世界)で異常事態と感じた瞬間から始まるものとしている⁽¹¹⁸⁾。このことから、ユーザ受動型情報表示においては、人間がシステムの状態、状況について、直観的に理解しやすい表示方法が有効であると考えられる。これは、マン・マシン・インタフェースの設計やデザインにおいて考慮すべき、モノの訴求性(アフォーダンス)の概念にも通じる⁽¹¹⁹⁾。

以上の点をまとめると、次のようになる。

既存のユーザ受動型情報表示における一つ目の課題は、ユーザ受動型情報表示とユーザ能動型情報表示とのつながりが薄い点である。たとえば、異常の発生をユーザ受動型情報表示が発しても、その異常のレベルや内容までは全くわからない。多少なりとも、その傾向をユーザ受動型情報表示が示すことができれば、ユーザ能動型情報表示を用いた際の判断に寄与できるであろう。もちろん、兆候情報がある方が好ましいが、単に兆候情報を含めるだけでは、作業者が処理すべき情報量を増やすことになり、かえって作業者の認知的負担を高めてしまう恐れが高い。したがって、作業者の負担をあげることなく、異常の兆候を知らせる機能を、ユーザ受動型情報表示に盛り込むことが理想であると言えよう。

もう一つの課題は、ユーザ受動型情報表示が唐突に注意喚起を作業者に発することによる影響である。警報の点灯や明滅、警報音の発生は、作業者に緊張や焦りを生じさせる危惧がある。もちろん、手動介入という特別な状態に変遷することを作業者に意識させる意味で、ある程度の緊張感を高めるといった配慮は必要である。しかしながら、過度の精神的負担は好ましくない。

以上より、手動介入時の作業者の判断や行動を支援するためには、ユーザ受動型情報表示において以下の三つの点があることが望ましいと考えられる。

- (1) システムの異常状態に関する大まかな変化を表現し、人間の注意を適切に喚起すること
- (2) システムの異常に関する兆候情報を表現し、手動介入操作時の情報収集、思考・判断における作業者の認知的負担の軽減を図ること

1. 序論

(3)過度な精神的負担を与えないよう配慮することである。

1-5-2 動的な色彩変化を用いた表示方法の可能性

そこで、本研究では、刺激の強弱の自由度が高く、変化させることが容易であり、意味をもたせることができる⁽¹²⁰⁾⁻⁽¹²³⁾、といった特徴を持つ色彩に焦点を当てた。色彩という仕様が有する特徴は、ユーザ受動型情報表示として望まれる注意喚起や、状態変化の意味を直観的に伝えるという役割を満足させる可能性が高い。

監視画面上における色彩の使われ方としては、JIS で規定されている安全色の意味や⁽¹²⁰⁾⁻⁽¹²³⁾、慣例化している意味を単色に割り振るとするのが基本である。例えば、プラントにおける表示灯では、緑によって機器の停止状態を、赤によって機器の起動状態を表現している。しかし、これらは離散的な表現に止まっており、中間的な変化はない。

これは、既存のユーザ受動型情報表示が、システムの異常状態に関する変化、すなわち、ある閾値を超えた状態の有無を表現するという機能を具現化させるという意図に基づいたものであると考えられる。しかし、ここまで述べたように、ユーザ受動型情報表示によって、システムの異常に関する兆候情報など、時間とともに変化する連続量を表現することが望ましい。つまり、現在のよう有限な色彩を切り替える方式ではなく、徐々に色彩が変化していく動的なグラデーションの方式を採用することが有用であると考えられる。

既存の表示情報でも、例えば、温度の変化を色彩によって表現するサーモグラフィなどは、静的な色彩のグラデーションが用いられている。このように、静的な色彩のグラデーションによって情報内容の変化を表現するものは数多く存在する。しかし、時間と共に変化する動的な色彩のグラデーションを利用した表示情報に関しては、十分なヒューマンファクター研究はなされていない。そのため、発電プラントなど、作業における人的信頼性に関して高い基準を要求する分野では、ヒューマンエラーの可能性を既存の表示方法と比較することができないため、運用を含め、検討の俎上にさえ上っていない。

そこで、本研究では、時間軸に沿って色彩が動的に変化する表示情報を「グラデーション情報表示(法)」と呼び、作業者に及ぼす種々の影響について、ヒューマンファクターの観点から検討を行った。この結果を踏まえ、兆候情報などの経過時間に伴う情報内容の変化をグラデーション情報表示によって表現する可能性を計った。

1-5-3 グラデーション情報表示

グラデーション情報表示に期待される可能性、および表示情報として使用するための要件について検討する。

はじめに、表示情報の変化に対する人間の注意喚起について考える。既存のユーザ受動型情報表示である警告灯の変化など、監視画面上の小さな表示を変化させるだけでは十分な注意喚起を行うことは困難である。発電プラントなどでも、警告灯の変化だけではなく、警報音などの聴覚情報を併用していることからそのことは明らかである。また、視野周辺部でも動きのある情報を速やかに捉えられる特性によって、異常兆候の発見、事象の判定に要する時間を効果的に短縮することも明らかになっている⁽¹³⁶⁾。そこで、周辺視で十分に知覚可能な広さを持つ、監視画面上の背景部分に、グラデーション情報表示を適用することとする。ここで言う背景部分とは、監視画面上で情報が表示されていない周辺部分の領域を指す。ただし、背景部分にグラデーション情報表示を用いることにより、監視画面上の他の表示情報とのコントラストが悪くなる可能性がある。したがって、他の表示情報の見やすさを損なわない場所に適用する必要がある。

次に、システムの異常に関する兆候情報の表現について考える。サーモグラフィなどの静的なグラデーションでも見られるように、表示された色彩のイメージは、その色彩が表現する情報内容と対応していなくては、逆にわかりにくい表示となってしまう。たとえば、青から赤への色彩のグラデーションによって物体の表面温度を表現している場合、青色であるほど低温で、赤色であるほど高温を示すのが通常である。このような色彩イメージ、色彩心理を考慮した設計を行うことが、グラデーション情報表示によって兆候情報を示す場合にも必要である。つまり、システムのある状態のイメージと、色彩のイメージができる限り一致するようにしなくてはならない。そのイメージの一致性が、システムの状態を、感覚的に作業者が得ることにつながるからである。

三つ目に、過度な精神的負担を与えない配慮について言及する。表示の変化が視覚特性から見て大きいほど、人間にとっては知覚しやすい。しかし、その変化が意味するものが、異常や緊急ということであると、変化が大きいほど、作業者に与える精神的動揺も当然大きくなる。十分知覚できるような変化の度合いを持ちながら、作業者の心的動揺を極力抑えるよう、その動的変化の幅を調整することが必要である。逆に言えば、このような調整を作業毎、作業者毎に行えることが、既存の表示方法にはないグラデーション情報表示の特徴とも言える。したがって、この特徴をより有用に利用できるデータが望まれる。

1. 序論

このように、グラデーション情報表示は、既存のユーザ受動型情報表示が本来持つ機能を維持しつつ、さらに手動介入操作への支援などをも行える可能性が高い。

以上を踏まえ、本研究では、グラデーション情報表示を以下のように適用する。

- (1) 周辺視で十分に知覚可能な広さを持つ監視画面上の背景部分によって表現すること
- (2) 異常の兆候情報など、システムの状態を色彩の変化によって表現すること

1-6 研究の目的と概要

本研究では、システムの監視状態から手動介入操作に移行するような状況を対象とし、そのような状況における人間のアウェアネスおよび行動を支援する情報呈示方法について検討を行う。すなわち、ユーザ受動型情報表示に対し、より強い注意喚起の特性と兆候情報などの作業者の思考・判断を支援する特性、さらには過度な精神的負担を作業者に与えない特性を与えることを図る。具体的には、監視画面において、システムの様々な情報を画面の背景色を動的にグラデーション変化させる“グラデーション情報表示法”を用い、そのヒューマンファクターを探る。さらに、その検討結果を踏まえ、グラデーション情報表示の特徴をより効果的に運用させるための、画面設計指針の提言を図る。

最後に、本研究の概要を示す。

1章では、監視制御システムにおける制御盤の変遷、および監視制御に関わるヒューマンファクター研究の潮流を調べることにより、現在の監視制御において研究の焦点となっている状況認識の問題を導いた。さらに、既存の表示情報の問題点を踏まえ、監視制御において表示情報に要求される役割をもとに、動的グラデーション表示を提案した。

提案した情報呈示方法に対し、実際の監視制御へと適用するためには、その実用性について詳細に検討する必要がある。そこで、2章から4章では種々の実験を通して、人間の認知面、および心理面を考慮してグラデーション情報表示に関するヒューマンファクターを検討する。

2章では、監視制御において通常状態から異常状態への変化を表現する、警報音などの既存の表示情報と、注意喚起と兆候情報の表現の働きを持たせたグラデーション情報表示とを実験を通して比較することにより、その特徴について検討する。

3章では、特に、監視制御の異常状態における緊急性による心理的側面から

1. 序論

の影響について着目し、グラデーション情報表示を監視制御に適用した場合を想定して、表示情報の変化による人間の情動への影響について検討する。

4章では、システムの詳細な情報内容を表現する、監視画面上の表示情報に対する支援として、グラデーション情報表示が表現できる情報内容の種類、およびその実用性について実験的に検討する。

5章では、実験で得られた知見をもとに、提案したグラデーション情報表示を実際の監視制御に利用するための指針を、作業内容の認知レベルに即して整理し、種々の状況において提案した情報呈示方法を利用する可能性について検討する。

最後に、6章において、本研究の結論を示す。

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

前章では、既存のユーザ受動型情報表示に対する改善方針を基に、色彩の動的なグラデーションを利用した情報呈示方法、すなわち、グラデーション情報表示を提案した。本章では、監視作業においてグラデーション情報表示に期待される特長について、次の三つの観点から実験を通して検討する。すなわち、(1)強い注意喚起という特性、(2)異常に対する思考・判断の支援という特性、(3)過度な精神的負担への配慮という特性、である。ここで、現実の監視作業では、人間が常に監視画面上の表示情報に意識を向けているわけではない。図 1-9 に示したように、システムの異常状態をユーザ受動型情報表示が刺激として表し、それによって人間はシステムの異常状態を把握する。また、仮に監視画面に意識を向けていたとしても、すべての表示情報に意識を向けて、それらの変化を認識することは困難である。そこで、本章では、異常の発生に応じて人間の注意を喚起するという、ユーザ受動型情報表示が本来持つべき働きに主眼を置いた。すなわち、異常の兆候情報を表現させたグラデーション情報表示と既存のユーザ受動型情報表示について、注意喚起の効果を比較する実験を行った。これにより、グラデーション情報表示が持つ特徴を検討する。さらに、監視作業において、ユーザ受動型情報表示として利用するために検討すべき項目を明確にする。

2-1 実験方法および実験条件

2-1-1 実験方法

実験では、図 2-1 に示すように、被験者の正面に情報選択型の VDT 作業(選択作業とする)を行うためのディスプレイ(選択画面とする)を配置した。また、選択画面の右側もしくは左側に、異常状態を監視、検出するためのディスプレイ(監視画面とする)を配置した。ここで、選択作業を行うのは、ユーザ受動型情報表示による、監視作業での異常状態に対する注意喚起の効果を調べるためである。すなわち、監視画面上の表示情報が異常状態を表現していない場合に、監視画面に対して被験者の注意を向けさせないことを意図している。以下に、監視画面、選択画面に表示される情報、および各画面に対して要求されるタスクの詳細を説明する。

はじめに、監視画面のデザインを図 2-2 に示す。監視画面には 8 分割した画面を表示し、各画面には、システムの状態を値として表現した棒グラフを表示

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討



図2-1 実験環境

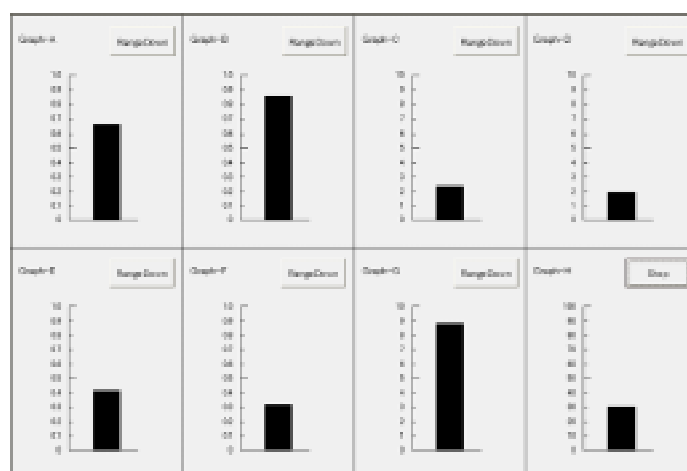


図2-2 監視画面

している。棒グラフの変動に対する予測が容易にならないように、各棒グラフは係数の異なる指数関数に従って変化する。実験が開始された時点で、各棒グラフに対する縦軸の目盛りは0～1.0に10等分されている。また、この目盛りは、分割された各画面の右上に配置されたレンジ変更ボタンを押すことで、0～1.0、0～10、0～100と3段階に変更される。ここで、各棒グラフの値が、表示された目盛りの80%を超えた場合を異常状態とした。異常状態では、被験者がレンジ変更ボタンを押して目盛りを変更し、正常状態へと戻ることができる。異常状態以外では、レンジ変更ボタンを押しても目盛りを変更できないようにした。一例として、棒グラフの値が0.9の場合に、レンジ変更ボタンを押

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

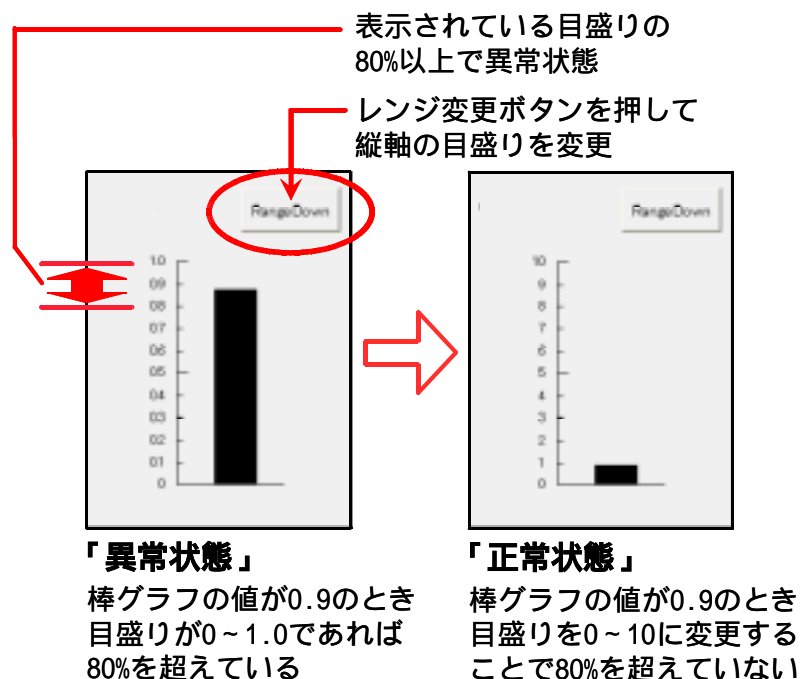


図2-3 異常状態におけるレンジ変更操作の例

して正常状態へ戻した例を図 2-3 に示す。また、目盛りが 0 ～ 100 のときに異常状態となり、レンジ変更ボタンを押した場合には、棒グラフの値は 0 まで減少して変動しないものとした。

続いて、選択画面のデザインを図 2-4 に示す。正面に配置した選択画面では、被験者の注意を継続して画面に集中させるために、操作を連続して行う、簡単な情報選択型の VDT 作業を行わせた。画面の左側には、意味を持たない文字列を 15 行、3 列で配置した。図 2-5 に示すように、各文字列はアルファベットで構成され、1 文字のみ大文字で、他は小文字になっている。大文字のアルファベットは A から F までの 6 種類で、その大文字に対応するボタンが画面の右側に配置されている。選択画面に対する被験者のタスクを次のように設定した。被験者は 45 個の文字列から一つを選択し、その文字列の大文字のアルファベットに対応するボタンを、右側の 6 つのボタンから選択する。そして、この作業を繰り返す。

以上を整理すると、本実験で被験者に要求するタスクの内容は、次のように設定される。通常、被験者は選択作業を継続して行う。ただし、監視画面に分割されたいずれかの画面が異常状態になった場合、選択作業を中断して、できる限り早くレンジ変更ボタンを押す。この操作によって異常状態を検出し、正常状態に戻すこととした。また、選択作業もできる限り多く行うこととした。

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討



tnkyunAk

図2-5
選択画面に表示される
文字列の例

図2-4 選択画面

2-1-2 実験条件

監視画面上の異常状態を表現する表示情報として、図 2-6 に示す 7 種類の条件を用意した。また、棒グラフのみを表示した条件を基本条件とした。各条件の説明を以下に記す。

まず、既存のユーザ能動型情報表示として、以下の 2 条件を用意した。

条件(a)棒グラフのみ(基本条件) :

監視画面上には棒グラフのみが表示されている。この条件では、監視画面上で棒グラフが変動しているだけで、被験者に対して強い刺激が与えられるわけではない。

条件(b)境界線 :

各棒グラフに対して、縦軸の目盛りの 80%を示す位置に赤線の境界線が引かれている。これにより、異常状態の既定値としての境界を表現する。棒グラフの変動に対して境界線自体は変化しないため、境界線もユーザ能動型情報表示と捉えることができる。

次に、既存のユーザ受動型情報表示として、次の 3 種類を用意した。

条件(c)警告灯 :

各画面に対して図 2-6 に示すように警告灯を配置し、異常状態では警告灯が赤く点灯する。

条件(d)警報音 :

8 分割されたいずれかの画面で異常状態になった場合に、警報音を鳴らすことで異常状態を表現する。また、監視画面上で異常状態を表現する視覚情報は、

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

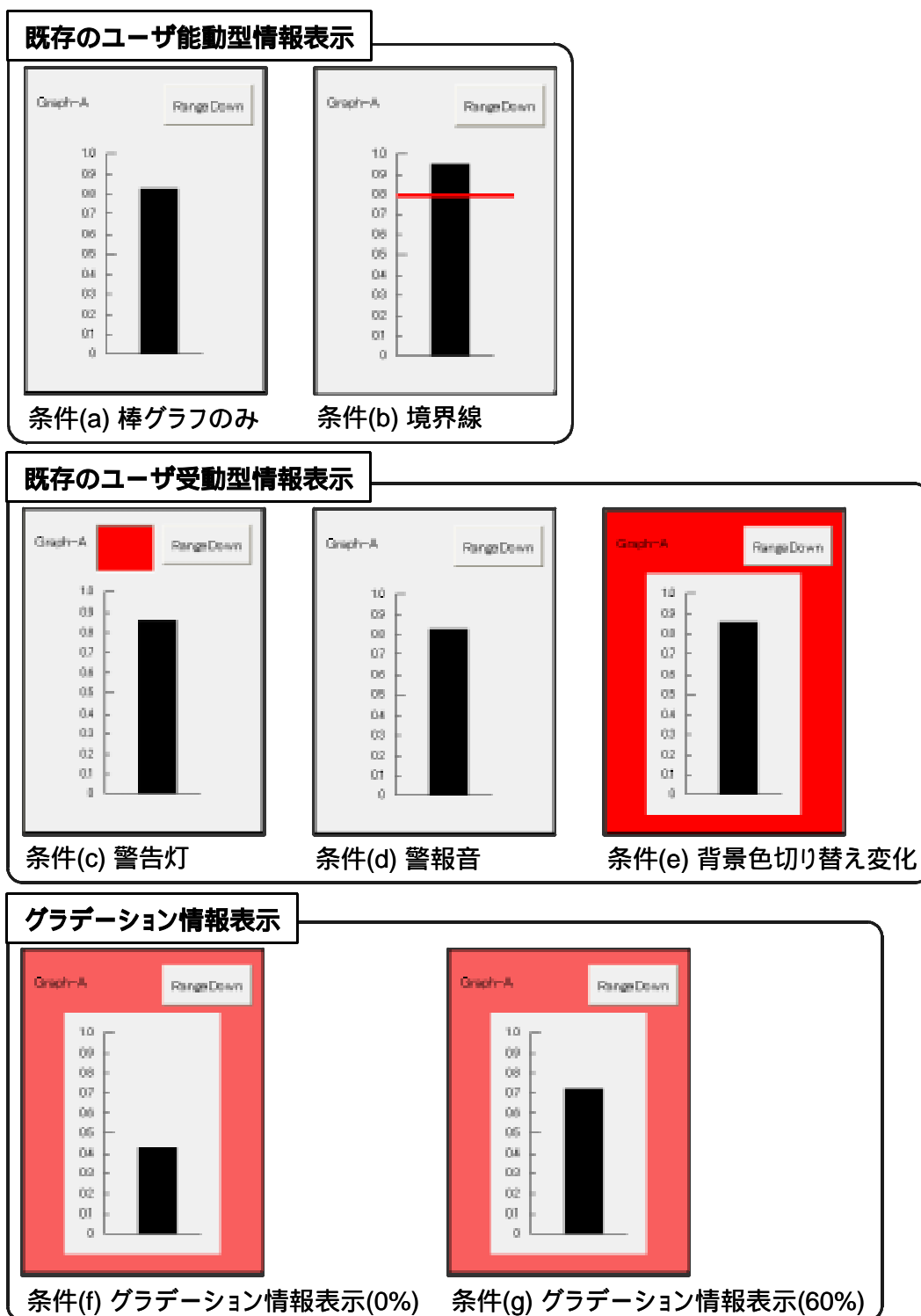


図2-6 実験条件

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

棒グラフのみである。ここで、ひとつの画面で異常状態になっている場合と、複数の画面で異常状態になっている場合とでは、警報音に違いはないものとした。

条件(e)背景色切り替え変化：

条件(f)、(g)のグラデーション情報表示において、各画面の背景部分の色彩を変化させるのと同様に、異常状態になった場合に背景部分が赤い色に変化する。ただし、色彩の変化はグラデーションではなく、異常状態になった瞬間に切り替わる。このため、基本的な異常状態の表現方法は警告灯と同じであり、色彩の切り替わる領域が背景部分になったものと捉えられる。

最後に、グラデーション情報表示については、以下の2種類を用意した。条件(f)グラデーション情報表示(0%)、および条件(g)グラデーション情報表示(60%)での背景色の変化と、棒グラフの目盛りとの対応を図2-7に示す。図2-7に示すように、2種類のグラデーション情報表示は色彩が変化し始めるタイミングが異なる。これにより、異常の兆候情報を表現した場合における、注意喚起のタイミングによる影響を検討することとした。

条件(f)グラデーション情報表示(0%)：

図2-6に示すように、各画面の背景部分にグラデーション情報表示を適用した。ここで、背景部分の色彩変化の仕方について説明する(図2-7)。棒グラフの値が縦軸の0%を示すときに、背景部分の色彩を基本条件の場合と同じRGB=(240, 240, 240)の無彩色とした。また、棒グラフの値が縦軸の80%を示すとき、背景部分の色彩をRGB=(255, 0, 0)の赤とした。そして、棒グラフの値が縦軸の0%から80%の間では、図2-7のように背景色が徐々に変化する。棒グラフの値が縦軸の80%を超えた場合には、RGB=(255, 0, 0)の赤のまま変化しない。つまり、背景部分の色彩がRGB=(255, 0, 0)の赤である状態では、その画面が異常状態であることを意味する。一例として、条件(f)における背景部分の色彩変化を図2-8に示す。

条件(g)グラデーション情報表示(60%)：

基本的には条件(f)グラデーション情報表示(0%)と同じように背景部分の色彩が変化する。ただし、色彩が変化し始めるタイミングが条件(f)とは異なる。棒グラフの値が縦軸の60%となるまでは、背景色の色彩は、基本条件の背景色と同じRGB=(240, 240, 240)の無彩色で変化しない。そして、棒グラフの値が縦軸の60%から80%の状態では、図2-7に示すようにグラデーションにより変化する。

以上の7条件に対して、1回の実験時間を5分として実験を行った。また、レンジ変更ボタンを押すことによって監視画面上のすべての棒グラフの挙動が

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

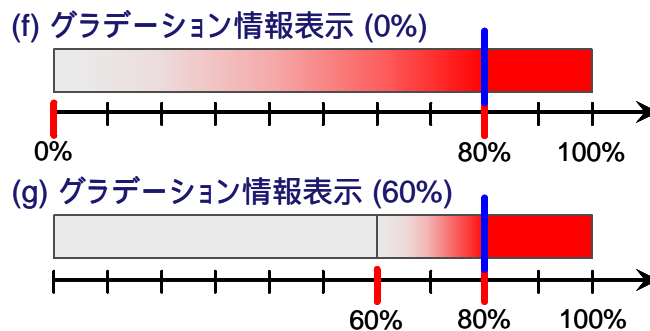


図2-7 条件(f)、条件(g)における色彩変化の仕方

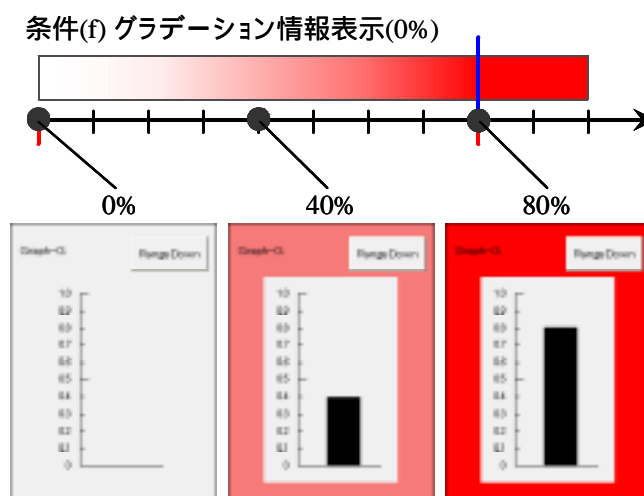


図2-8 条件(f)における背景部分の色彩変化の仕方

停止した後も、被験者は実験終了まで選択作業を続けるものとした。選択画面と監視画面の配置については、被験者の正面に選択画面を配置し、その右側か左側のいずれかに監視画面を配置した。そして、各配置について、1回ずつ実験を行った。被験者は21歳から28歳までの健康な学生男女10名で行った。選択画面のディスプレイには21インチCRTディスプレイ(NEC三菱電機ビジュアルシステムズ株式会社製)を使用した。また、監視画面のディスプレイには19インチTFT液晶ディスプレイ(SONY製)を使用した。選択画面の平均鉛直面照度は157.6[lx]であった。監視画面の平均鉛直面照度は、右側配置の場合に148.3[lx]、左側配置の場合に152.4[lx]であった。

被験者は各条件に対する実験の終了後に、アンケート形式による主観評価を行った⁽¹⁴¹⁾。アンケートの項目は、(1)強い注意喚起という特性の観点、(2)異常に対する思考・判断の支援という特性の観点、(3)過度な精神的負担への配

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

慮という特性の観点から、それぞれ 2 項目ずつの 6 項目で構成されている。また、アンケートによる主観評価は、- 4 点から + 4 点までの 9 段階で行った。以下にアンケートの項目について説明する。

(1) 強い注意喚起という特性の観点による項目

「情報の変化に気付きやすい - 情報の変化に気付きにくい」:

選択作業を継続しているときの、異常状態を表現する監視画面上の表示情報の変化に対する気付きやすさという観点からの評価項目

「監視画面に受動的に注意を向ける - 監視画面に能動的に注意を向ける」:

選択作業を継続しているときの、監視画面上の表示情報に対して向けられる注意の積極さという観点からの評価項目

(2) 異常に対する思考・判断の支援という特性の観点による項目

「基準値の見極めが容易である - 基準値の見極めが困難である」:

監視画面上の棒グラフが異常状態の境界となる基準値(目盛りの 80%)を超えているか否かの見極めに対する容易さという観点からの評価項目

「異常の予測がしやすい - 異常の予測がしにくい」:

監視画面上で変動している棒グラフについて、異常状態が接近しているか否かに対する予測のしやすさという観点からの評価項目

(3) 過度な精神的負担への配慮という特性の観点による項目

「表示情報の変化に焦らない - 表示情報の変化に焦る」:

棒グラフを含めた監視画面上の表示情報の変化(聴覚情報である警報音も含む)に対する焦りという観点からの評価項目

「監視画面上の表示情報の動きが気にならない - 監視画面上の表示情報の動きが気になる」:

選択作業を行っているときに、監視画面上の表示情報の変動に対して、被験者がどの程度気になるかという観点からの評価項目

ここで用いている「気になる」という表現は、煩わしく感じるといった不快感に近いネガティブな感情を意味する。つまり、表示情報により注意を喚起され、被験者自身が監視画面上の表示情報を積極的に「気にする」という意味合いではない。

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

2-2 実験結果および検討

2-2-1 監視作業における異常状態に対する検出時間による検討

ここでは、各表示情報による人間の注意喚起への効果を検討するために、監視作業における異常状態に対する検出時間を次のように定義し、各条件の比較を行った。すなわち、監視画面に表示された棒グラフが異常状態になってから、被験者が対応するレンジ変更ボタンを押すまでの時間を検出時間として測定した。ここで、監視画面に表示された棒グラフの異常状態に対する人間の注意喚起という観点から、次に述べるように2種類の検出時間を区別した。本実験の監視作業では、被験者が選択作業を継続して行い、異常を表現する監視画面上の表示情報の変化を知覚する。その後、監視画面に視線を移動して異常状態である棒グラフを認識し、対応するレンジ変更ボタンを押す(図 2-9)。被験者が異常を検出する際、この流れが基本となる。しかし、監視画面に視線を移動した後に、別の棒グラフが異常状態となり、選択作業へ戻らずに連続してレンジ変更ボタンを押す場合がある。この場合、後から異常状態になった棒グラフに対する検出時間には、監視画面の表示情報の変化を知覚して、選択画面から監視画面へと視線を移動するまでの時間が含まれない(図 2-10)。よって、異常に対する注意喚起という観点から考えると、純粋な検出時間とは呼べないため、このような場合の検出時間を「連続検出時間」とした。そして、先に述べた検出時間を「純粋検出時間」として、別々に扱った。以上の考え方により、純粋検出時間と連続検出時間を区別して、各実験条件に対して検出時間に関するヒストグラムを作成した。ヒストグラムは、検出時間を横軸の階級にとり、度数の総数に対する各階級の度数の割合を縦軸にとって作成した。

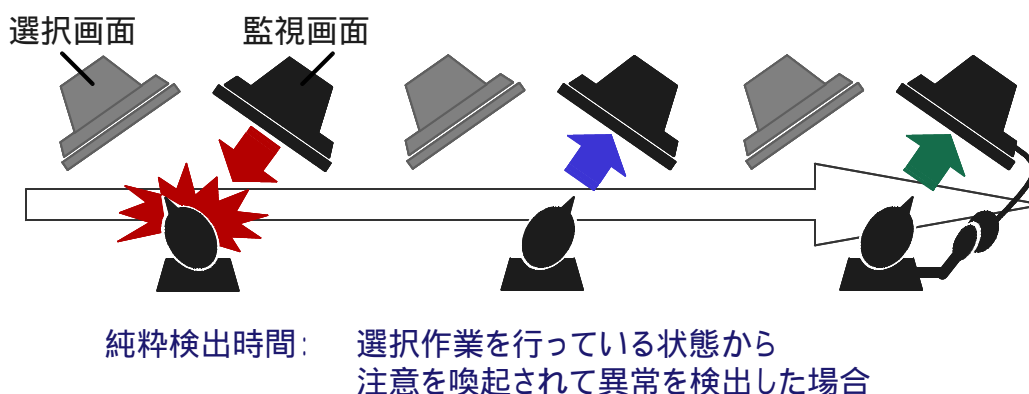
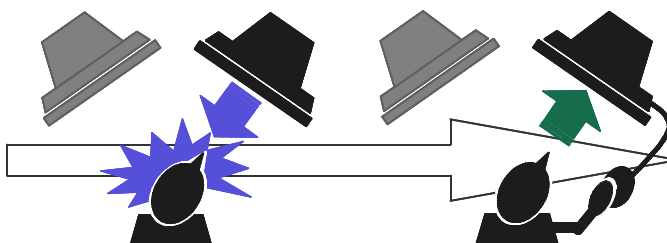


図2-9 純粋検出時間

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討



連続検出時間： 監視画面に視線が移動している状態から注意を喚起されて異常を検出した場合

図2-10 連続検出時間

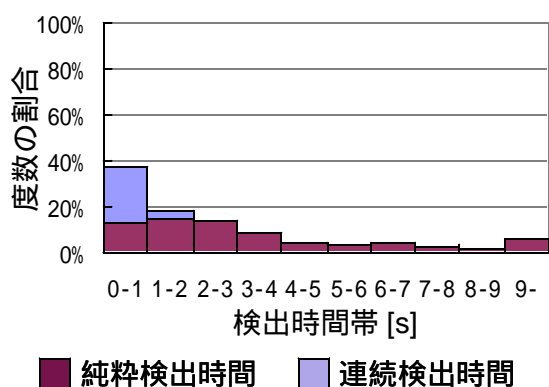


図2-11 検出時間の度数分布 (条件(a) 棒グラフのみ)

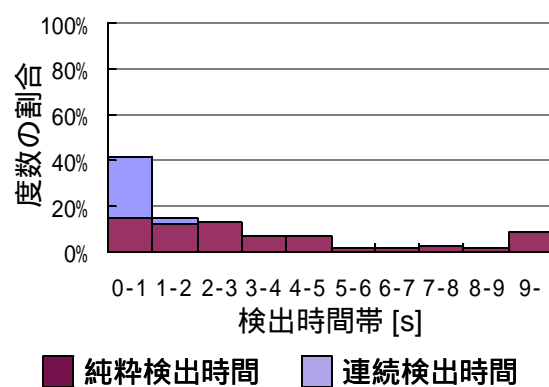


図2-12 検出時間の度数分布 (条件(b) 境界線)

はじめに、図 2-11、図 2-12 に示された、ユーザ能動型情報表示のみを表示した条件(a)棒グラフのみと、条件(b)境界線における検出時間の結果を見る。連続検出時間に関しては、その定義の通り、被験者は監視画面上に視線を移動してから棒グラフの異常状態を認識して、レンジ変更ボタンを押す。このため、連続検出時間では、棒グラフが異常になってからレンジ変更ボタンを押すまでの時間が短い。これにより、すべての条件で共通するが、連続検出時間だけの度数分布を見ると、反応時間が0～1秒での度数が最も高くなっている。条件(a)、(b)でもこの傾向が見られる。しかし、純粋検出時間だけを見ると、反応時間のばらつきが大きいことが確認できる。

ここで、7種類の実験条件における、純粋検出時間と連続検出時間を合わせた検出時間の平均と分散を図 2-13 に示す。これらは、条件(a)の反応時間の平均、および分散の値に対する比率として求めている。図 2-13 を見ても分かるように、ユーザ受動型情報表示を用いない条件(a)、(b)では検出時間の分散が

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

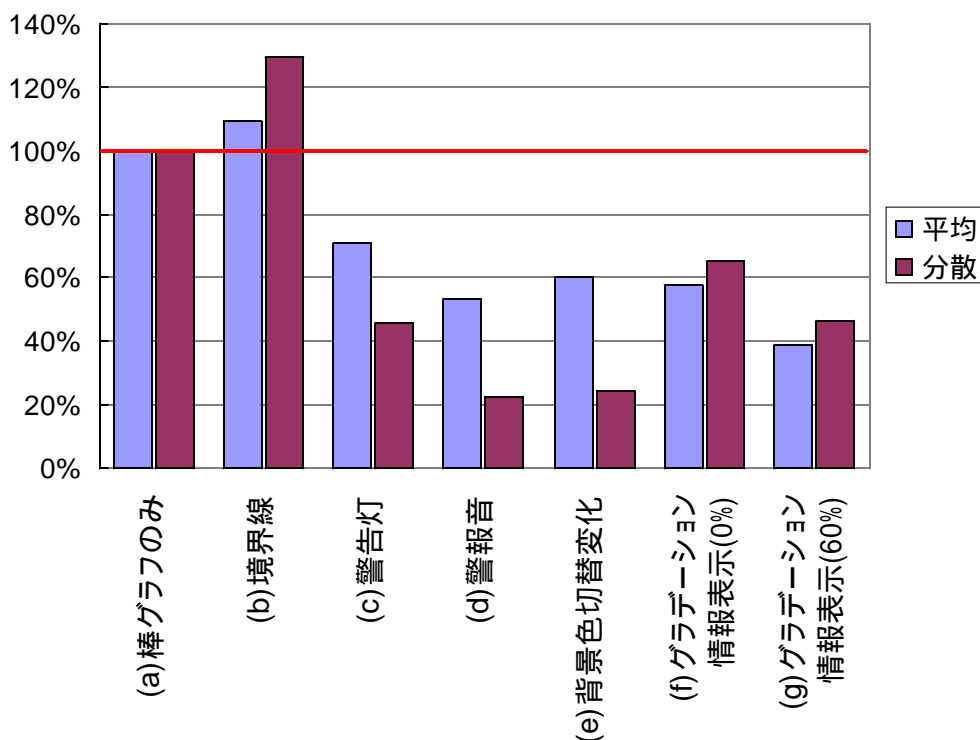


図2-13 検出時間の平均と分散

大きい。その結果として、検出時間の平均も大きくなっていると解釈できる。条件(a)、(b)で検出時間の分散が大きいのは、異常状態を表現するユーザ受動型情報表示を用いていないことに起因すると考えられる。これらの条件では、監視画面上の表示情報が被験者の注意を喚起することはない。よって、監視画面に対して被験者自身が意識的に注意を向けないと異常状態を認識できないと考えられる。そのため、監視画面へ向ける被験者の注意は確実性が低く、異常状態を見逃して検出が大幅に遅れる場合が多かったと解釈される。

また、条件(b)で異常状態の境界を示した境界線は、被験者が監視画面に視線を移動した際、異常状態である棒グラフの認識を支援すると考えられる。しかし、図 2-11 と図 2-12 を比較すると、検出時間の遅れに関する改善を見ることができない。さらに、図 2-13 からは、条件(a)よりも条件(b)の方が検出時間の平均および分散が大きいことが確認される。また、ユーザ受動型情報表示、グラデーション情報を用いた条件と比較したとき、ユーザ能動型情報表示を用いた条件(a)、(b)における検出時間の平均および分散は非常に大きい。

以上より、ユーザ能動型情報表示は被験者の注意を喚起するための刺激とはならず、ユーザ受動型情報表示としては機能していないと理解できる。

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

次に、既存のユーザ受動型情報表示を使用した、条件(c)警告灯、条件(d)警報音、条件(e)背景色切り替え変化における検出時間の結果を図 2-14、図 2-15、図 2-16 に示す。まず、検出時間の分散について見る。図 2-13 より、これらの 3 条件では、既存のユーザ能動型情報表示よりも分散が小さい。これにより、図 2-14、2-15、2-16 を見ても分かるように、検出時間が大きく遅れることも少なくなっている。

検出時間の遅れに対する大きな要因としては、異常状態を表現する表示情報の変化を見落とすことが挙げられる。このとき、聴覚情報である条件(d)警報音は、音として被験者に刺激を与える。そのため、被験者が表示情報の変化を見落とすという可能性はないと考えられる。したがって、条件(d)警報音では、異常状態において被験者の注意を確実に喚起することが可能であり、図 2-15 からも確認できるように検出時間が大きく遅れることはない。これに対して、図 2-14 から、条件(c)警告灯では検出時間が大きく遅れる場合がある。異常状

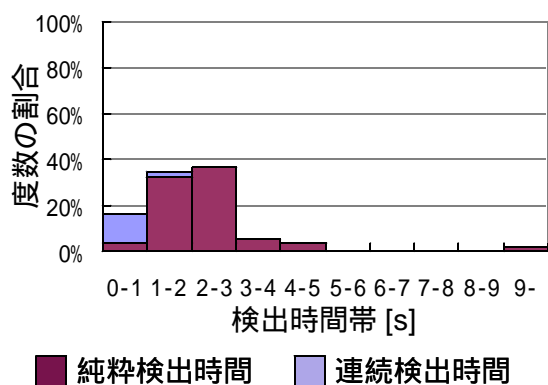


図2-14
検出時間の度数分布
(条件(c) 警告灯)

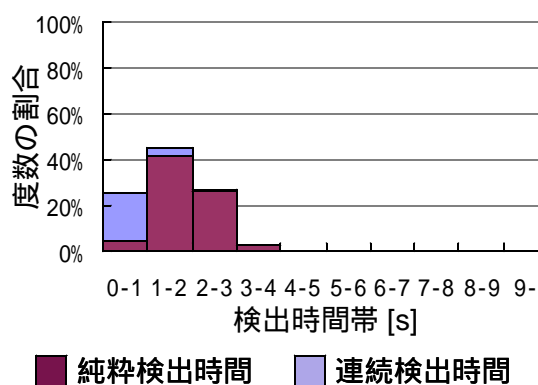


図2-15
検出時間の度数分布
(条件(d) 警報音)

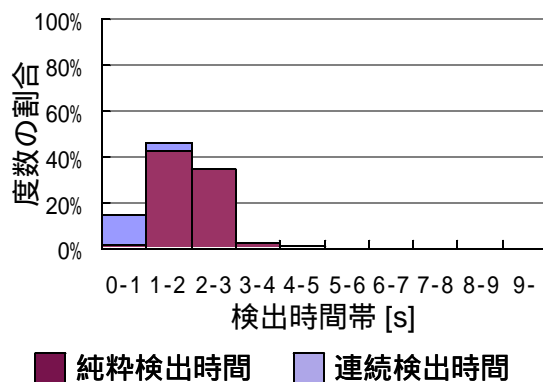


図2-16 検出時間の度数分布 (条件(e) 背景色切り替え変化)

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

態において、警告灯は監視画面上の小さな領域での色彩が切り替わる。このため、条件(d)、条件(e)に比べると、被験者に与える刺激が小さいと考えられる。その結果、被験者は表示情報の変化を見逃す場合があり、検出時間の遅れにつながったと解釈できる。これらの結果から、ユーザ受動型情報表示としての刺激の強さが、表示情報の変化に対する見落としを防止する要因になっていると考えられる。

続いて、これらの3条件について、検出時間の早さについて考える。検出時間の度数分布を見ると、0～1秒では20%前後の値となっている。しかし、純粹検出時間で見ると、0～1秒では非常に低い度数となっており、1～2秒、あるいは2～3秒の階級で度数が最も高くなっている。

既存のユーザ受動型情報表示を使用した場合、監視画面上の表示情報が変化してから、被験者は異常状態を認識して、監視画面に対する行動を開始する。よって、監視画面への視線移動は表示情報による刺激を受けて、異常状態を認識した後に限られると考えられる。このため、異常状態になった直後(0～1秒)の時間帯でレンジ変更ボタンを押すことは困難であると理解される。これにより、既存のユーザ受動型情報表示を使用した条件では検出時間の分散が小さく、異常状態に対する認識が確実になる。しかし、その反面、純粹検出時間に関しては、ほとんどが1～3秒の間に収まり、人間の情報処理能力を考慮すると、これ以上早く異常を検出することは不可能であると想像される。このとき、刺激により表示情報の変化を知覚してからレンジ変更ボタンを押して異常を検出するまでに、時間的な余裕がなく、精神的な負担が高まると考えられる。

また、補足として、同様に色彩を切り替えることによって異常状態を表現している、条件(c)警告灯と条件(e)背景色切り替え変化の結果を比べる。条件(e)背景色切り替え変化は、条件(c)警告灯の色彩変化を、棒グラフが表示されている周辺領域の背景部分に換えたものである。つまり、ユーザ受動型情報表示としての刺激を強くしていると考えられる。この結果、図 2-13 に見られるように、条件(e)の方が条件(c)よりも検出時間が若干短くなり、特に分散が小さくなっている。このことは、異常に対する人間の注意喚起を高めるために、グラデーション情報表示において背景部分の色彩を変化させていることが適当であることを示唆している。

最後に、グラデーション情報表示を用いた2つの条件(f)、(g)における検出時間の結果を、図 2-17、図 2-18 に示す。グラデーション情報表示を用いた2条件では、既存のユーザ受動型情報表示とは異なり、異常状態になった直後(0～1秒)での検出時間の度数が最も高い。この結果は、グラデーション情報表示による兆候情報の表現に起因すると考えられる。つまり、被験者は棒グラフ

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

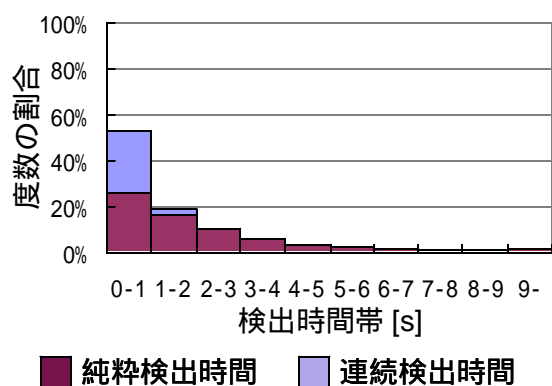


図2-17
検出時間の度数分布
(条件(f) グラデーション情報表示(0%))

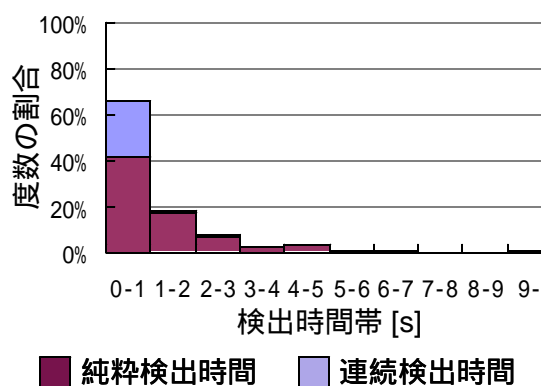


図2-18
検出時間の度数分布
(条件(g) グラデーション情報表示(60%))

が異常状態になる前に異常の兆候情報を得ることができ、時間的に余裕を持って異常の検出を行っていたと解釈される。

ここで、2種類のグラデーション情報表示では、色彩が変化し始めるタイミングが異なる。特に、条件(f)グラデーション情報表示(0%)では、縦軸の0%の状態から色彩が変化し始めるため、予兆情報の表現のために色彩が常に変化している。このため、条件(f)グラデーション情報表示(60%)に比べると、被験者の注意喚起が要求されるときに、相対的に刺激が弱まると思われる。その結果、被験者は異常に対して十分に注意を喚起されず、図2-13に見られるように、検出時間の平均や分散が大きくなったと考えられる。

これに対して、条件(g)グラデーション情報表示(60%)では、異常状態の境界に近い時点で色彩が変化し始める。このため、被験者にとってある程度適切なタイミングで刺激を与えることになり、条件(f)に比べて検出時間が短くなったと解釈できる。この結果は、色彩を変化させるタイミングや、それに伴う色彩変化の速さなど、グラデーション情報表示の仕様を変えることで、注意喚起の効果が変わることの意味している。つまり、グラデーション情報表示の仕様を適切に設定することにより、被験者は異常に対する認識を早め、時間的に余裕を持って対処できると考えられる。そして、被験者の認知的および精神的負担の軽減につながると考えられる。この点において、グラデーション情報表示は、既存のユーザ受動型情報表示よりも優れていると捉えられる。

以上より、グラデーション情報表示は、監視画面上のユーザ能動型情報表示が表現する情報内容に関して兆候情報を表現することにより、ユーザ受動型情報表示として必要な刺激を維持していると解釈できる。そして、監視作業において、人間の認知的および精神的負担を軽減する情報呈示方法となる可能性が

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

高いと考えられる。ただし、図 2-13 に見られたように、既存のユーザ受動型情報表示、特に条件(d)警報音と比べると、検出時間の分散が大きく、異常の検出が大きく遅れる場合がある。したがって、異常に対する人間の注意を確実に喚起するためには、更なる検討が必要となる。

2-2-2 選択作業と監視作業を合わせた評価による検討

グラデーション情報表示を利用した条件では、既存のユーザ受動型情報表示よりも、監視作業における検出時間が短くなった。しかし、異常状態に対する兆候情報の表現により、被験者は実際に異常状態になるよりも早めに注意を喚起されるため、当然の結果とも言える。一方で、兆候情報の表現によって早めに選択作業を中断することになる。その結果、グラデーション情報表示を使用した場合には、選択作業でのタスク回数(アルファベットの文字列を選択し、対応するボタンを選択する回数)が少なくなると想像される。そこで、必要ときに監視画面へ注意を喚起できているかという観点から、選択作業と監視作業の両方を合わせた総合的な評価を行った。

監視画面に対して早めに注意を喚起されて視線を移動する場合、選択作業のタスク回数は少なくなる。一方で、被験者は時間的に余裕を持って異常を検出できるため、検出時間が短くなる。そこで、両者を総合的に評価するために、選択作業で実際に被験者が行ったタスク回数に指標を揃えた。つまり、監視作業における検出時間の早さを時間的な利益と捉え、選択作業のタスク回数に相当させた潜在的なタスク回数を算出した。そして、実際に選択作業で行ったタスク回数との合計によって評価した。ここで、実際のタスク回数と、潜在的なタスク回数を次のように定義する。

実際タスク回数：選択画面で被験者が実際に指定されたタスクを行った回数であり、監視画面への注意喚起の時間的な長さを説明する指標と捉えられる。

潜在タスク回数：平均検出時間が最も長かった条件(b)境界線を 0 として、各条件の平均検出時間との差をタスク回数として換算した、潜在的なタスク回数である。潜在タスク回数は、監視画面への注意喚起の有効性を説明する指標と捉えられる。

上記の定義に従い、条件(a)における実際タスク回数と潜在タスク回数の合計タスク回数を 1 とした場合の、各条件における両タスク回数の相対的な割合を図 2-19 に示す。

既存のユーザ能動型情報表示である条件(a)棒グラフのみ、条件(b)境界線では、先の結果に見られたように監視作業における検出時間が長い。このため、

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

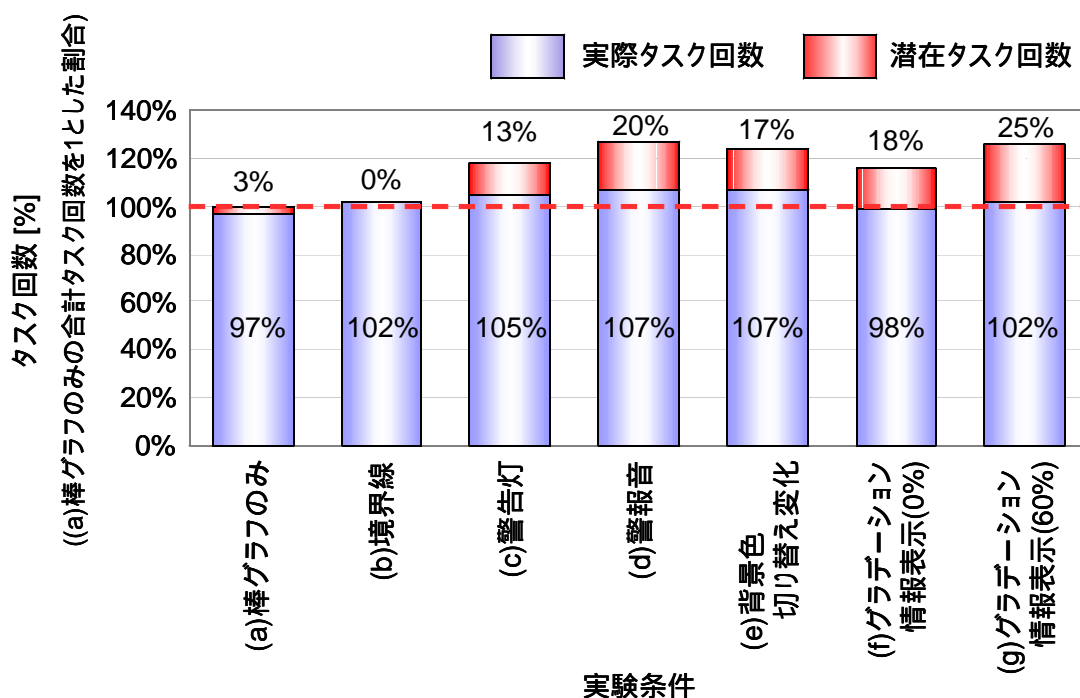


図2-19 実際タスク回数と潜在タスク回数の合計による総合的な評価

他の条件に比べて潜在タスク回数が大幅に少ないことが分かる。さらに、選択作業における実際タスク回数も、既存のユーザ受動型情報表示に比べると少なくなっている。ユーザ受動型情報表示を用いた条件では、被験者は特別意識をしなくても、表示情報の変化を知覚することが可能である。一方で、ユーザ能動型情報表示だけを用いた場合、監視画面上の棒グラフの挙動などから、被験者自身が異常状態に関する情報を積極的に取得しなくてはならない。このため、監視画面へ向ける注意が大きくなることから、視線を移動する時間も長くなり、結果として、選択画面での実際タスク回数も少なくなったと考えられる。

既存のユーザ受動型情報表示である条件(c)警告灯、条件(d)警報音、および条件(e)背景色切り替え変化では、選択作業における実際タスク回数が多いことが確認される。既存のユーザ受動型情報表示では、異常の有無を ON / OFF の情報によって明確に表現する。このため、表示情報の変化を知覚してから異常を検出するまで、監視画面へ視線を移動している時間に無駄が少ないと考えられる。このため、選択作業に費やす時間が他の条件よりも長くなり、実際タスク回数の多さにつながったと理解できる。特に、条件(d)警報音、条件(e)背景色切り替え変化で実際タスク回数が多くなった。この結果は、条件(d)および条件(e)では、ユーザ受動型情報表示としての刺激が強いことを意味している。つまり、選択作業を継続している間は、特に監視画面に対して注意を向け

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

なくとも、被験者は表示情報の変化に気付くことが可能であったと考えられる。これに対して、条件(c)警告灯では、ユーザ受動型情報表示としての刺激が先の2条件よりも小さい。そのため、被験者が監視画面へ多少の意識を向けており、選択作業のパフォーマンスとしての実際タスク回数が減少したと解釈される。さらに、条件(d)警報音、条件(e)背景色切り替え変化について合計タスク回数を比較すると、検出時間による潜在タスク回数の差だけ、条件(d)の方が多くなっている。以上より、条件(d)警報音は、既存のユーザ受動型情報表示の中で、最も強く被験者の注意を喚起していると考えられる。

最後に、グラデーション情報表示を使用した条件(f)グラデーション情報表示(0%)と、条件(g)グラデーション情報表示(60%)の結果を見る。実際タスク回数に関しては、既存のユーザ受動型情報表示に比べて回数が少なく、既存のユーザ能動型情報表示と同程度であることが分かる。グラデーション情報表示を使用した場合、色彩変化の程度により異常状態の兆候情報を得られる。このため、被験者は異常状態になるよりも早めに監視画面に視線を移動することになる。これに対して、既存のユーザ受動型情報表示を使用した条件では、被験者は異常状態になってから監視画面に視線を移動する。このため、グラデーション情報表示を用いた条件では、被験者が選択作業を中断して、監視画面上で棒グラフが異常状態になるのを待っている時間が長くなると考えられる。その結果、検出時間が短くなる一方で、選択作業による実際タスク回数が少なくなったと解釈される。特に、条件(f)グラデーション情報表示(0%)では、被験者は監視画面に対して必要以上に早く注意を喚起される。あるいは、色彩が常に変化していることから相対的に刺激が弱くなるため、積極的に監視画面に注意を向ける必要があると思われる。これらの原因により、選択作業を中断して異常状態になるのを待つ時間が長くなり、実際タスク回数が非常に少なくなったと理解される。一方、条件(g)グラデーション情報表示(60%)では、条件(f)に比べると注意を喚起されてから監視画面上で異常状態を待つ時間が短いと考えられる。このため、選択作業を中断する時間も短くなり、実際タスク回数が多くなったと解釈できる。

グラデーション情報表示を使用した条件に関して、選択作業の実際タスク回数と、監視作業の検出時間による潜在タスク回数との総合的な観点からの評価を見る。条件(g)では、監視画面上で異常状態を待つ時間があるものの、ある程度適切なタイミングで注意を喚起していると考えられる。その結果として、選択作業の中断による実際タスク回数の減少も条件(f)ほど多くはない。また、条件(g)は、検出時間による潜在タスク回数が全条件の中で最も多くなっている。これにより、条件(g)グラデーション情報表示(60%)は、既存のユーザ受

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

動型情報表示の中で最も合計タスク回数が多い条件(d)警報音と同等の評価となっている。つまり、総合的な評価を見ても、グラデーション情報表示が監視作業におけるユーザ受動型情報表示として十分に機能していると言える。また、本研究における選択作業は、監視画面への注意喚起の効果という観点から行ったものである。このため、注意喚起の効果を示す検出時間の観点から見れば、合計タスク回数が最も多く、かつ、潜在タスク回数が最も多かった条件(g)が、最も有効なユーザ受動型情報表示であると考えられる。

さらに、グラデーション情報表示の兆候情報による注意喚起の効果について、上述した結果を、本実験の監視作業における時間的な流れから考える。図 2-20 は、既存のユーザ受動型情報表示の中で合計タスク回数が最も多かった条件(d)警報音と、総合評価が同程度となった条件(g)グラデーション情報表示(60%)における監視作業の流れを示している。警報音を使用した場合、被験者は選択作業を継続して行い、棒グラフが異常状態になると同時に注意を喚起される。その後、監視画面において異常を検出し、再び選択作業を継続することになる。一方、グラデーション情報表示を使用した場合、兆候情報を表現することにより、被験者は異常の発生よりも早めに注意を喚起される。これにより、警報音の場合よりも早く、異常を検出することができる。このとき、警報音を使用した場合に異常の検出に要する時間は、グラデーション情報表示においても同程度の時間を要すると考えられる。すなわち、表示情報の変化を知覚して異常の

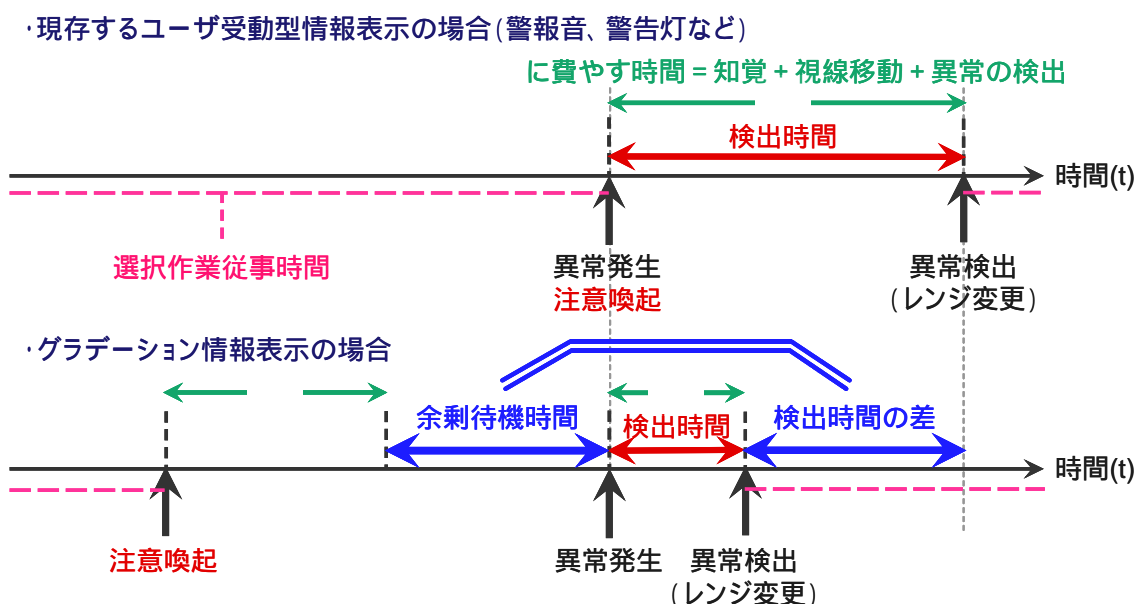


図2-20
条件(d)警報音と条件(g)グラデーション情報表示(60%)における監視作業の流れ

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

発生を認識し、監視画面へ視線を移動して、レンジ変更ボタンを押すことにより異常を検出するのに要する時間である。そのため、図 2-20 に示すように、グラデーション情報表示では、監視画面に視線を移動した後、棒グラフが異常状態になるまでに余剰な待機時間があると考えられる。これが、選択作業に対する実際タスク回数を減少させた原因となっていると解釈できる。このとき、両者の合計タスク回数が同等であった結果を考慮すると、二つの条件での検出時間の差が、余剰な待機時間と同程度であったと捉えられる。

以上の検討より、グラデーション情報表示の兆候表現による注意喚起の効果について、次のようなことが挙げられる。まず、兆候情報を表現することで、システムが異常状態になる前に余剰な待機時間が生まれる。これにより、人間は余裕を持って異常状態を認識し、適切な対応操作を行うことができる。既存のユーザ受動型情報表示では、異常の発生と共に注意を喚起され、迅速な対応操作を要求される。このため、時間的および精神的な負担が大きいと思われる。つまり、グラデーション情報表示は、これらの負担を軽減するという大きな利点を有すると考えられる。また、条件(f)、(g)の比較から、グラデーション情報表示では色彩を変化させ始めるタイミング、色彩変化の速さなどの仕様を変更することで、検出時間が安定することが確認された。このことから、図 2-20 における余剰な待機時間を短くし、より効果的な注意喚起を実現することも可能であると予想される。さらに、監視作業の作業員が初心者であれば、この余剰な待機時間を長くして余裕を持って対処させるなど、作業員の熟練度に適した注意喚起を行うことも可能であると考えられる。

2-2-3 主観評価によるグラデーション情報表示の特徴に関する検討

ここでは、先に議論した検出時間から見た注意喚起の効果を踏まえ、実験後に各表示情報に対して行ったアンケートによる主観評価の結果によりグラデーション情報表示が持つ特徴について検討する。

(1) 検出時間の早さについて

図 2-13 から確認されたように、グラデーション情報表示では既存のユーザ受動型情報表示よりも、検出時間の平均値が小さくなった。この理由として、次の 2 点が考えられる。一つめの理由は、ユーザ受動型情報表示として必要な注意喚起のための刺激が十分だったことである。もう一つの理由は、連続的な変化量を表現できるために、異常の兆候情報を表現できたことである。これらの理由による、異常状態に対する注意喚起の効果を検討するために、評価項目「監視画面に受動的に注意を向ける」の評価結果を図 2-21 に示す。また、評

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

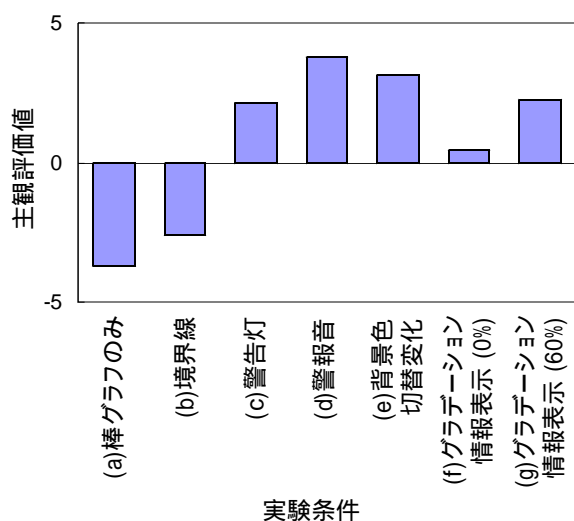


図2-21
「監視画面に受動的に注意を向ける」
に対する主観評価の結果

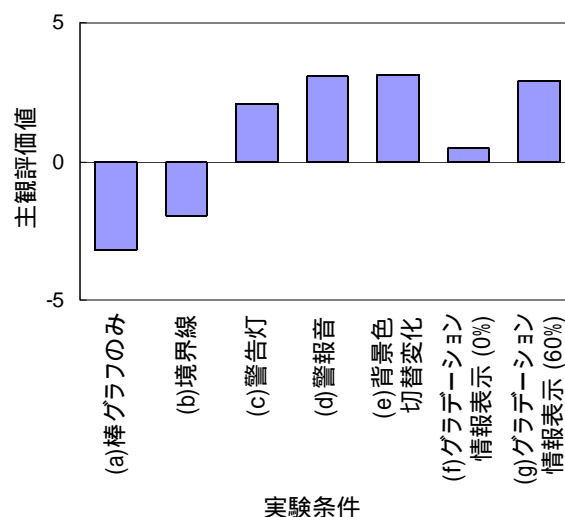


図2-22
「情報の変化に気付きやすい」に
対する主観評価の結果

価項目「情報の変化に気付きやすい」の評価結果を図 2-22 に示す。

図 2-21 より、既存のユーザ受動型情報表示では、監視画面への注意の向け方から、条件(d)警報音、条件(e)背景色切り替え変化、条件(c)警告灯の順に刺激が強いと考えられる。この結果は、検出時間についての議論と合致している。一方、条件(g)グラデーション情報表示(60%)は、刺激の強い条件(d)、条件(e)に比べると、監視画面に対して多少積極的に注意を向けていることが分かる。しかし、図 2-22 を見ても分かるように、監視画面上の表示情報の変化に対する気付きやすさは、条件(d)警報音などと大きな差はない。したがって、先の検出時間の結果と合わせて考えても、ユーザ受動型情報表示として必要な異常状態への注意喚起は十分に役割を果たせていると解釈できる。これに対して、条件(f)グラデーション情報表示(0%)は、検出時間の結果について議論したように、常に色彩が変化しているため、相対的に刺激が弱くなる。このため、主観評価の結果からも確認されるように、被験者は表示情報の変化に気付きにくくなり、監視画面に対して積極的に注意を向ける必要があったと言える。

次に、異常の兆候情報の表現について考える。図 2-23 に、評価項目「異常の予測がしやすい」の評価結果を示す。聴覚情報である警報音を含めた既存のユーザ受動型情報表示では、異常状態になってから表示情報が変化する。そして、兆候情報を表現しているのは監視画面上のユーザ能動型情報表示である棒グラフだけである。このため、グラデーション情報表示を除く他の実験条件では、被験者は兆候情報を把握しにくいことが分かる。これに対して、グラデー

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

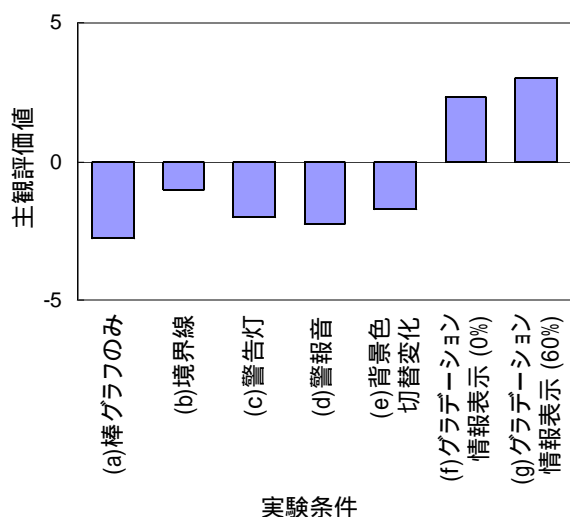


図2-23
「異常の予測がしやすい」に対する主観評価の結果

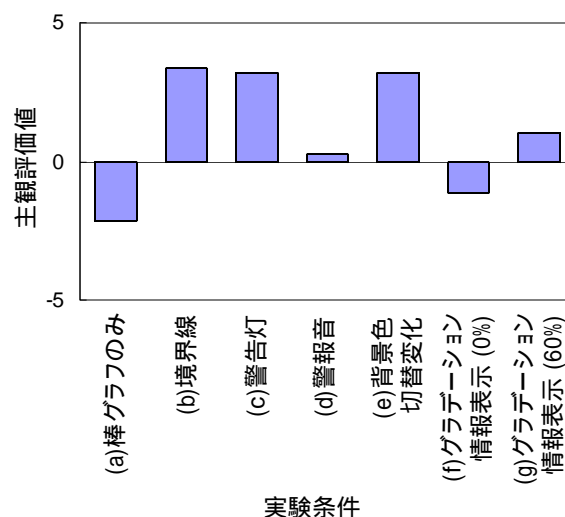


図2-24
「基準値の見極めが容易である」に対する主観評価の結果

ション情報表示を用いた条件(f)、条件(g)では、色彩のグラデーションによって異常の兆候情報を表現できていることが分かる。二つの条件を比べると、条件(f)よりも条件(g)の方が兆候情報を表現できていることが分かる。これは、先に述べたように、条件(f)ではユーザ受動型情報表示としての刺激が弱まっていることに起因すると解釈される。一方、条件(g)では、効果的に兆候情報を表現することで、被験者は時間的に余裕を持って異常の検出を行えたため、検出時間の平均が小さくなったと理解できる。

(2) 検出時間の分散の大きさについて

グラデーション情報表示を用いた条件での検出時間の平均値が小さくなった一方で、検出時間の分散が大きくなった理由を考える。図 2-21 で見られたように、既存のユーザ受動型情報表示である条件(d)警報音、条件(e)背景色切り替え変化に比べると、グラデーション情報表示は注意を喚起するための刺激が多少弱い。これは、グラデーション情報表示では、色彩が徐々に変化していることに起因すると考えられる。このため、注意喚起のための十分な刺激とならず、被験者が表示情報の変化を見落とし、異常状態になっても気付かない場合があったと想定される。

さらに、評価項目「基準値の見極めが容易である」の評価結果を図 2-24 に示す。聴覚情報である条件(d)警報音では、監視画面上には棒グラフのみが表示されているため、基準値の見極めが困難になっている。また、グラデーション情報表示を用いた条件(f)、(g)について見ると、視覚情報のユーザ受動型情

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

報表示である条件(c)警告灯、条件(e)背景色切り替え変化に比べて、基準値の見極めが困難であることが確認される。これは、グラデーション情報表示では色彩が連続的に変化するため、異常状態を示す RGB=(255, 0, 0)の赤になる瞬間を、厳密には認識しにくいためであると考えられる。この考え方を裏付けるものとして、実際に、実験では次のような被験者の行動が確認された。すなわち、棒グラフの値が 80%になる以前に異常状態であると誤認識して、レンジ変更ボタンを誤って押してしまう場合が見られた。その場合、正常状態に戻らなかったことを確認してから、再びレンジ変更ボタンを押すことになる。このような行動も、検出時間の分散の大きさにつながった一つの要因であると思われる。グラデーション情報表示によって表現される情報のみに頼ると、異常状態の境界を厳密に認識することは困難であると考えられる。この点は、既存のユーザ受動型情報表示に比べて、グラデーション情報表示が持つ一つの欠点であると捉えられる。

(3)グラデーション情報表示による情動への影響について

最後に、グラデーション情報表示による情動への影響について考える。評価項目「表示情報の変化に焦らない」の評価結果を図 2-25 に示す。また、評価項目「監視画面上の表示情報の動きが気にならない」の評価結果を図 2-26 に示す。図 2-25 より、特に、聴覚情報である条件(d)警告音などは注意喚起のための刺激が強く、既存のユーザ受動型情報表示に対して懸念される問題点が確認できる。これに対して、グラデーション情報表示では色彩が徐々に変化するため、瞬時に表示情報が変化する既存のユーザ受動型情報表示に比べると、表示情報の変化による刺激を緩和していると考えられる。このことは、既存のユーザ受動型情報表示の問題点を改善する情報呈示方法として、グラデーション情報表示に期待した役割と合致している。

一方、図 2-26 より、グラデーション情報表示は、既存のユーザ受動型情報表示である条件(c)、条件(d)、条件(e)に比べて、表示情報の動きが気になるという欠点が見られる。これは、グラデーション情報表示が、既存のユーザ受動型情報表示とは異なり、表示情報としての色彩が徐々に変化することに起因すると解釈できる。グラデーション情報表示は、表示情報の変化による刺激を緩和し、兆候情報を表現するという利点がある。その一方で、表示情報が変化している時間が長く、また、表示情報に対して多少積極的に意識を向けているため、表示情報の動きが気になるという結果に至ったと考えられる。

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

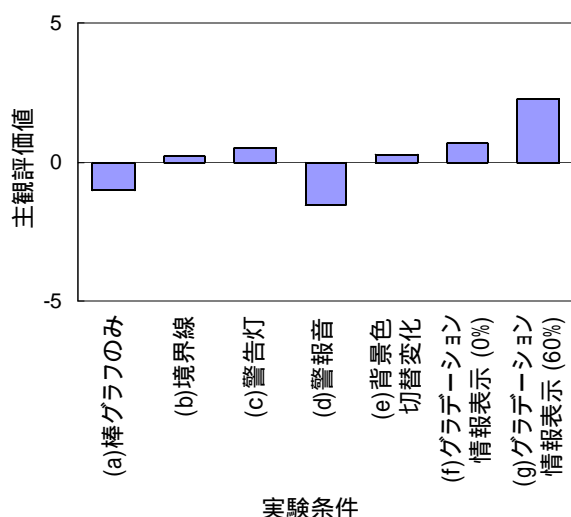


図2-25
「表示情報の変化に焦らない」に対する主観評価の結果

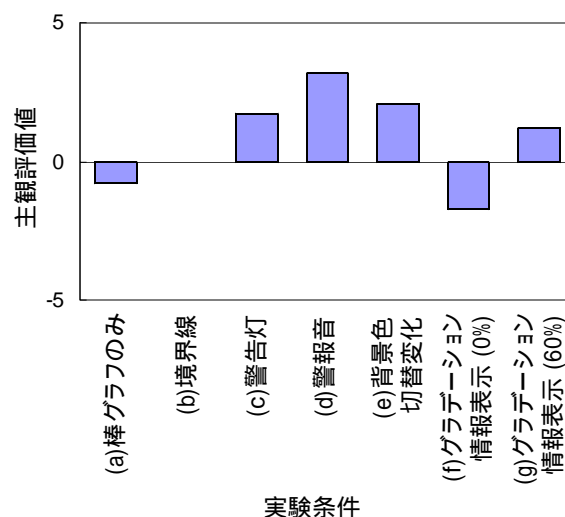


図2-26
「監視画面上の表示情報の動きが気にならない」に対する主観評価の結果

2-3 表示情報の特性と表示情報としての特徴との関係性に関する検討

2-2 で見てきたように、グラデーション情報表示は兆候情報を表現することにより、既存のユーザ受動型情報表示が有する注意喚起という働きを、さらに効果的に行っていると考えられる。その一方で、新たに懸念される問題を生み出していることが確認された。これは、主に離散的な変化をしていたユーザ受動型情報表示を、連続的な変化にしたことに起因すると考えられる。そこで、検出時間の結果、および主観評価の結果をもとに、各表示情報の特性と表示情報としての特徴との関係性を検討した。ここでは、既存のユーザ受動型情報表示である条件(c)警告灯、条件(d)警報音、条件(e)背景色切り替え変化と、検出時間の結果から有効性が確認された条件(g)グラデーション情報表示(60%)を対象とする。

はじめに、表示情報としての特徴に影響を与える表示情報の特性として、以下の4点を挙げた。

情報表現の種類：

システムの状態に関する情報を、連続的に表現するか、離散的に表現するかという特性

情報受信の感覚器官：

ユーザ受動型情報表示としての刺激を、人間がどの感覚器官で受信するかと

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

表2-1 表示情報の特性に対する各表示情報の評価点

表示情報としての特性	条件(c) 警告灯	条件(d) 警報音	条件(e) 背景色 切替変化	条件(g) グラデーション 情報表示(60%)
・情報表現の種類：連続的 / 離散的	離散:-1	離散:-1	離散:-1	連続:+1
・情報受信の感覚器官：視覚 / 聴覚	視覚:+1	聴覚:-1	視覚:+1	視覚:+1
・情報表現の種類と情報受信の 感覚器官による特性	-1	-2	-1	+2
・刺激の強さ	-1	+2	+1	-1

いう特性

情報表現の種類と情報受信の感覚器官とを合わせた特性：

実験結果を見ると、条件(d)警報音と条件(g)グラデーション情報表示とで、相異なる強い特徴を持つ傾向が見られたため、上記の二つの特性を合わせたものとして考慮する特性

刺激の強さ：

ユーザ受動型情報表示として、異常状態に対するユーザの注意を喚起するための刺激の強さ

対象とした4種類の表示情報に対して、これら4種類の特性を、-2、-1、+1、+2点で相対的に評点付けした。その結果を表2-1に示す。ここで、表示情報の特性として挙げた情報表現の種類(連続的 / 離散的)、情報受信の感覚器官(視覚 / 聴覚)、情報表現の種類と情報受信の感覚とを合わせた特性に対する評点に関しては、正負の符号に意味はなく、あくまで状態を表現している。また、刺激の強さに関しては、正で値が大きいほど強い刺激を持つものとして評点付けしている。

次に、(1)強い注意喚起という特性、(2)異常に対する思考・判断の支援という特性、(3)過度な精神的負担への配慮という特性の3つの観点から、表示情報としての特徴について、以下の7項目を挙げることにした。

(1)強い注意喚起という特性に関する項目

情報内容の知覚に対する意識の受動の度合い：

主観評価項目「監視画面に受動的に注意を向ける - 監視画面に能動的に注意を向ける」に従い、監視画面上の表示情報に対してユーザが受動的に意識を向けるか、積極的に意識を向けるかという項目

表示情報の変化に対する注意喚起：

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

主観評価項目「情報の変化に気付きやすい - 情報の変化に気付きにくい」に従い、監視画面上の表示情報が異常状態を示したことに對する気付きやすさに関する項目

(2)異常に對する思考・判断の支援という特性に関する項目

兆候情報の表現：

主観評価項目「異常の予測がしやすい - 異常の予測がしにくい」に従い、監視画面上の表示情報が異常の兆候情報を表現できているかという項目

異常状態に對する境界の見極め：

主観評価項目「基準値の見極めが容易である - 基準値の見極めが困難である」に従い、異常の有無を監視画面上の表示情報から認識しやすいかという項目

表現内容の多様性：

ユーザ能動型情報表示が表現する情報内容を支援するために、表示情報がどれだけ多様な情報内容を表現できるかという項目

(3)過度な精神的負担への配慮という特性に関する項目

表示情報の変化に對する焦り：

主観評価項目「表示情報の変化に焦らない - 表示情報の変化に焦る」に従い、表示情報の変化による刺激によって、人間が焦りを感じるかという項目

表示情報の変動に對する気になり具合：

主観評価項目「監視画面上の表示情報の動きが気にならない - 監視画面上の表示情報の動きが気になる」に従い、監視画面上の表示情報が変化する動きに對して、人間がどの程度気になるかという項目

表示情報としての特徴に関するこれらの項目についても、対象とした4種類の表示情報に對して、- 2、- 1、+ 1、+ 2点で相対的に評点付けした。その結果を表 2-2 に示す。これらの評点付けは、正で値が大きいほど、監視作業に對して効果的な特徴を持つことを意味している。

続いて、各表示情報の特性と表示情報としての特徴との関係性を検討するために、表 2-1 に示した表示情報の特性に對する評点と、表 2-2 に示した表示情報としての特徴に對する評点との相関係数を算出した。その結果から、相関係数の高さを基準として、表示情報の特性と表示情報としての特徴との影響関係より、図 2-27 を得た。この図より、グラデーション情報表示の特徴について検討する。なお、図 2-27 において、六角形の中に表記された符号は、条件(g)グラデーション情報表示(60%)の特性および特徴を表現している。

表示情報の変化による刺激の強さは、異常状態に関する変化を離散的に表現した場合、特に聴覚情報で強くなる。この刺激の強さに影響する特徴が、ユーザ受動型情報表示としての注意喚起であり、刺激の強さと正の影響関係となる。

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

表2-2 表示情報としての特徴に対する各表示情報の評価点

	条件(c) 警告灯	条件(d) 警報音	条件(e) 背景色 切替変化	条件(g) グラデーション 情報表示(60%)
(1) 強い注意喚起という特徴				
・情報内容の知覚に対する意識の受動の度合い	-1	+2	+1	-1
・表示情報の変化に対する注意喚起	-1	+2	+2	+1
(2) 異常に対する思考・判断の支援という特徴				
・兆候情報の表現	-2	-2	-2	+1
・異常状態に対する境界の見極め	+2	+1	+2	-1
・表現内容の多様性	-1	-2	-1	+1
(3) 過度な精神的負担への配慮という特徴				
・表示情報の変化に対する焦り	-1	-2	-1	+1
・表示情報の変動に対する気になり具合	+1	+2	+1	-1

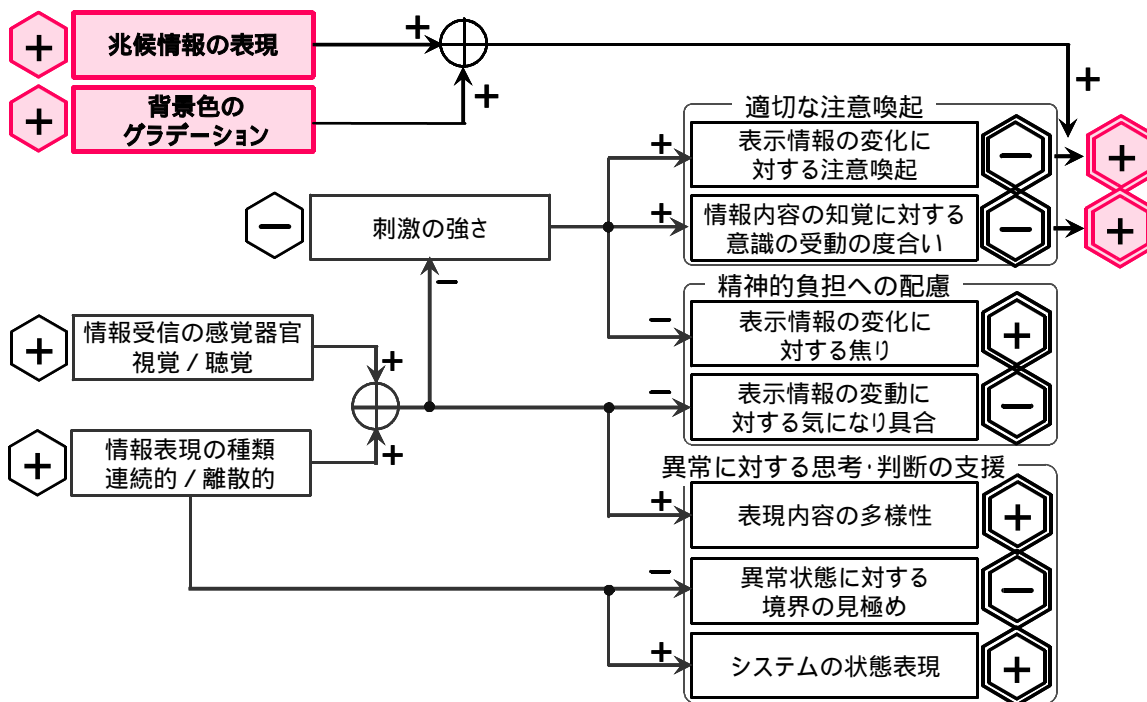


図2-27 表示情報の特性と表示情報としての特徴との関係

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

一方で、刺激の強さは、表示情報の変化に対する焦りを誘発する。このことから、ユーザ受動型情報表示としての注意喚起と、表示情報の変化に対する焦りとは、反対の関係にあることが分かる。つまり、既存のユーザ受動型情報表示は、注意喚起を高めるために刺激が強くなっており、表示情報の変化によってユーザの焦りを生み出していると理解される。これに対して、グラデーション情報表示は、色彩を徐々に変化させるグラデーションという形態をとることで、表示情報の変化に対する焦りを軽減していると解釈できる。このとき、図 2-27 の影響関係により、刺激を弱めることで注意喚起が弱まるはずである。しかし、グラデーション情報表示はその特性により、特有の特徴を持っている。すなわち、周辺視でも知覚可能な領域を持つ背景部分の色彩を変化させること、および、グラデーションによって異常の兆候情報を表現することである。これにより、刺激を弱めても十分な注意喚起を実現していることが、検出時間の結果から確認された。

一方で、グラデーション情報表示は、色彩の動的なグラデーションにより、システムの情報内容を連続的に表現することが可能である。これにより、兆候情報の表現を可能にするなど、監視画面上のユーザ能動型情報表示が表現する情報内容に対する人間の思考・判断を支援している。しかし、表示情報が連続的に変動することで異常状態に対する境界の見極めを困難にし、色彩の変化に対する気になり具合も高めてしまっている。これらは、既存のユーザ受動型情報表示の特性を変更したことにより、グラデーション情報表示に現れた特有の問題点である。特に、異常状態に対する境界の見極めを困難にすることは、異常状態に対する認識を厳密に要求されるような場面で欠点となりかねない。本実験における検出時間の結果からは、グラデーション情報表示に関して、ユーザ受動型情報表示としての有効性が示された。しかし、システムの詳細な情報表現が特に要求される場合には、他のユーザ受動型情報表示と併用するなど状況に応じた使用が必要となる。また、これらの問題点に関しては、さらに検討する必要があると思われる。

2-4 まとめ

本章では、表示情報の変化に対する強い注意喚起という観点から、注意喚起と異常の兆候情報の表現という働きを持たせたグラデーション情報表示と、既存のユーザ受動型情報表示を監視作業に適用し、実験を行った。その結果、グラデーション情報表示について、次のような特徴が得られた。

第一に、検出時間の結果などから確認されたように、システムの異常状態に

2. システムの異常状態への注意喚起に関する検討

対するユーザの注意喚起に関しては、グラデーション情報表示は既存のユーザ受動型情報表示と比べて遜色なく、十分に機能することが分かった。監視作業における適切な注意喚起を実現させた要因として、グラデーション情報表示では、周辺視で知覚可能な領域を持つ背景部分の色彩を変化させていることが挙げられる。さらに、連続的な色彩変化により実現した、異常に関する兆候情報の表現も一つの要因である。これにより、人間は早めに注意を喚起され、時間的および精神的に余裕を持って異常を検出することができる。

第二に、グラデーション情報表示では、異常に対する人間の注意喚起と、表示情報の変化に対する焦りの緩和を、同時に実現できている。つまり、周辺視で知覚可能な背景部分の色彩を変化させたことにより、異常に対する注意喚起を高めることができると考えられる。また、グラデーションによって徐々に色彩を変化させることで、表示情報の変化に対する焦りを緩和すると思われる。これに対して、既存のユーザ受動型情報表示では、表示情報の変化による刺激の強さによって効果的な注意喚起を実現するが、その一方で変化に対する焦りを生み出すと考えられる。

第三に、グラデーション情報表示を用いた場合には、既存のユーザ受動型情報表示に比べると、人間は多少積極的に注意を向ける必要がある。また、兆候情報を表現することで早めに注意を喚起し、人間が監視画面へ注意を向ける時間が長くなる。これは、監視画面へ向ける注意の度合いという観点で見れば、監視作業における人間の負担を増加することになる。しかし、余剰に注意を向けている時間に相当する分だけ、異常の検出時間が早まり、また、時間的に余裕を持って異常の検出を行えるという利点もある。さらに、異常に関する表示情報の変化を知覚してから異常の検出を行うまでの人間の情報処理能力を考慮して、色彩を変化させ始めるタイミングを変えることで、注意を余剰に向ける時間を削減できる可能性があると思われる。

第四に、グラデーション情報表示が特有に持つ、新たな問題点が見出された。すなわち、グラデーション情報表示は、情報内容の変化を連続的に表現するため、異常状態の境界が曖昧になる。また、表示情報が変化している時間が長い場合、人間は色彩の変化が気になり、心理的な不快感を人間に与える可能性がある。このため、不快感を与えずに注意喚起を維持するように、両者のバランスを考えて、特に使用する色彩の選択については十分な検討を要する。これらの問題点について、色彩のグラデーションによる作業中の心理面への影響を、3章で実験的に検討する。また、ユーザ能動型情報表示に対する支援として、異常状態の境界を含めて、どの程度の情報内容を表現し、人間が認識できるのかという点についても、4章で実験的に検討する。

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

グラデーション情報表示は、既存のユーザ受動型情報表示とは異なり、兆候情報などの連続的な情報内容を表現する。これにより、兆候情報によって効果的な注意喚起を実現するという利点、および、表示情報の変化による刺激を緩和するという利点を持つ。その一方で、表示情報が変化している時間が長い場合、人間が表示情報の動きが気になるという、焦りとは別の意味での心理的な問題点が確認された。すなわち、グラデーションに使用する色彩によっては、心理的な不快感をもたらし、人間の情動に対して不適切な影響を与える可能性が懸念される。

このような観点から、本章では、監視作業中に操作を行っているときの、色彩の動的なグラデーションによる情動への影響について実験的に検討する。

3-1 ディスプレイ上での色彩イメージの評価

監視作業としての操作中における、グラデーション情報表示による情動への影響を評価するにあたり、はじめに、ディスプレイ上における色彩イメージの評価を行った。つまり、色彩が動的に変化するグラデーション情報表示による情動への影響を評価する前に、静的な状態での色彩イメージを評価した。

JIS(日本工業規格)では、「安全に関する意味が与えられている特性をもつ色」として、赤、黄赤、黄、緑、青、赤紫の有彩色6色を安全色として定義している^{(121),(122)}。これらの安全色に対する一般的な意味は表3-1の通りである。また、白、黒の無彩色は、イメージを持たない色として、安全色に対して対比色が必要な場合に使用される。ディスプレイ上のデザインに色彩イメージを利用する場合、紙上での評価がそのまま適用されるのが通常である。実際に、紙上で表現される色彩のイメージに関しては多くの研究が行われてきた⁽¹⁴²⁾⁻⁽¹⁵⁹⁾。しかし、ディスプレイ上では紙上とは異なり、色彩の表現に対して画面自体による発光、すなわち輝度が影響すると考えられる。

また、ディスプレイ上で色を表現する場合、光の三原色と呼ばれる赤(R)、緑(G)、青(B)による加法混色を基本として、各色を0から255までの値として表現する⁽¹⁶⁰⁾⁻⁽¹⁶²⁾。例えば、ディスプレイ上で最も彩度が高く、色みが強い赤(高彩度の赤)を表現する場合、Rを最大値の255、GとBを最小値の0として、 $(R, G, B) = (255, 0, 0)$ のように表現される。この表現方法により、通常、PCのディスプレイ上では、 $15,777,216(256 \times 256 \times 256)$ 色の表現が可能になり、ほ

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

表3-1 安全色の一般的な意味

安全色	意味又は目的
赤	防火 禁止 停止 高度の危険
黄赤	危険 航海、航空の保安施設
黄	注意
緑	安全 避難 衛生・救護・保護 進行
青(*)	義務的行動 指示
赤紫	放射能

注(*) 青は円形の中に用いられる場合だけ、安全色とみなされる

とんどすべての色を再現できる。これに対して、安全色で規定されている色彩は各色に対して高彩度の色彩のみであり、同一色で濃淡の異なる色彩については言及されていない。しかし、色彩イメージに対する過去の研究では、濃淡に関するイメージも研究されている。実際に PCCS 系統式名などでは、ソフト(やわらかい)、ディープ(こい、ふかい)などと、トーンについても区分されている⁽¹⁶⁰⁾⁻⁽¹⁶²⁾。ここで、トーンとは、色彩の明るさ、鮮やかさの複合概念と言えるものであり、明・暗、強・弱、濃・淡、浅・深などの色の調子を意味する。

以上の観点から、本実験では、ディスプレイ上における色彩イメージを、濃淡を含めて評価した。

3-1-1 実験方法および実験条件

本実験で、評価の対象とする色彩は次の通りである。すなわち、ディスプレイ上で表現される基本的な色彩と、安全色で規定された色彩を合わせた赤、黄赤、黄、緑、緑青、青、赤紫の7種類の有彩色に無彩色を加えて、それぞれ5段階に濃淡を変化させた合計40色である。これらの色彩を対象として、ディスプレイ上における色彩イメージを評価した。5段階の濃淡に関しては、先述した高彩度の色彩を「純色」と表現し、濃淡を変えて、強淡色、弱淡色、純色、弱濃色、強濃色と称する。実験に使用した40色の色彩に対するRGBの値を図3-1に示す。本実験で使用したディスプレイはタッチパネル・システムズ社製17型タッチモニター(1600万色モード)である。実験プログラムはMicrosoft

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

Visual Basic 6.0 によって作成した。評価の対象とするカテゴリーは、安全色の主要な意味であると考えられる禁止、注意、指示、安全の4種類とした。

図 3-2 に示すように、実験では 40 色の色彩ボタンをランダムに配置した。被験者は呈示されたカテゴリーに対して、そのイメージが強い順に色彩ボタンをタッチした。選択するボタンの個数には制限を設けなかった。実験は 4 つのカテゴリーに対してそれぞれ行い、色彩ボタンの配置が評価に影響しないよう、各カテゴリーに対して 5 回ずつ、色彩ボタンの配置をランダムに変えて合計 20 回行った。被験者は 20 歳から 25 歳の健康な男女学生 15 名であった。

実験中は色彩ボタンを選択した時刻を計測し、各色彩に対するイメージの強さを以下の式に従って得点化して、各被験者の思考時間から標準化した。

$$\text{単位思考時間 [秒/個]} = \frac{1\text{実験あたりの平均実験時間 [秒]}}{1\text{実験あたりに選択した色彩ボタンの平均数 [個]}}$$

$$\text{色彩評価得点} = 10 - \frac{\text{色彩ボタンを選択したときの経過時間 [秒]}}{\text{単位思考時間 [秒/個]}}$$









































	強淡色	弱淡色	純色	弱濃色	強濃色
黄	 R = 255 G = 255 B = 192	 R = 255 G = 255 B = 128	 R = 255 G = 255 B = 0	 R = 192 G = 192 B = 0	 R = 128 G = 128 B = 0
黄赤	 R = 255 G = 224 B = 192	 R = 255 G = 192 B = 128	 R = 255 G = 128 B = 0	 R = 192 G = 64 B = 0	 R = 128 G = 64 B = 0
赤	 R = 255 G = 192 B = 192	 R = 255 G = 128 B = 128	 R = 255 G = 0 B = 0	 R = 192 G = 0 B = 0	 R = 128 G = 0 B = 0
赤紫	 R = 255 G = 192 B = 255	 R = 255 G = 128 B = 255	 R = 255 G = 0 B = 255	 R = 192 G = 0 B = 192	 R = 128 G = 0 B = 128
青	 R = 192 G = 192 B = 255	 R = 128 G = 128 B = 255	 R = 0 G = 0 B = 255	 R = 0 G = 0 B = 192	 R = 0 G = 0 B = 128
緑青	 R = 192 G = 255 B = 255	 R = 128 G = 255 B = 255	 R = 0 G = 255 B = 255	 R = 0 G = 192 B = 192	 R = 0 G = 128 B = 128
緑	 R = 192 G = 255 B = 192	 R = 128 G = 255 B = 128	 R = 0 G = 255 B = 0	 R = 0 G = 192 B = 0	 R = 0 G = 128 B = 0
無彩色	 R = 255 G = 255 B = 255	 R = 224 G = 224 B = 224	 R = 192 G = 192 B = 192	 R = 128 G = 128 B = 128	 R = 0 G = 0 B = 0

図3-1 実験で使用した色彩のRGBの値

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

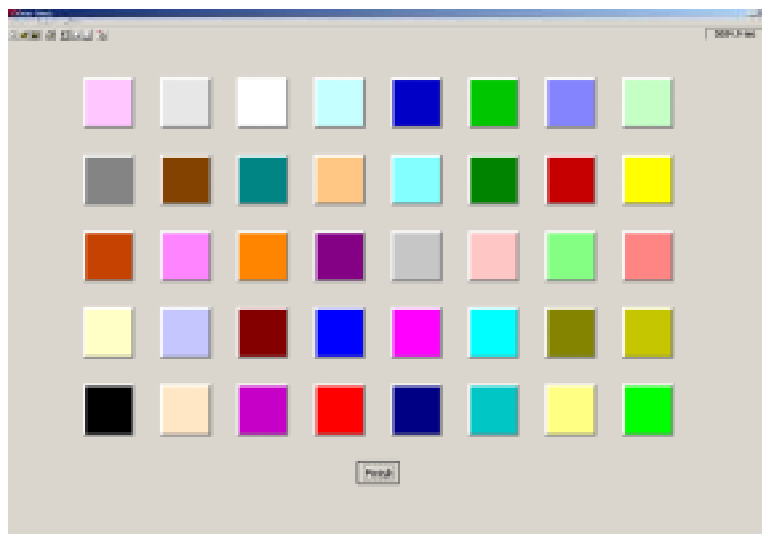


図3-2 実験画面

3-1-2 実験結果および検討

基本的に、安全色の意味に従って、禁止では赤系統、注意では黄系統、指示では青系統、そして安全では緑系統の色彩が最も高く評価された。このことから、被験者の多くは安全色の意味を認識していると考えられる。放射能を意味する紫、および危険を意味する黄赤については、安全色での意味が類似した禁止、注意で評価される傾向が見られた。

安全色のイメージを明確に認識していると考えられる被験者は、各カテゴリーに対するイメージを色相(赤、黄、青などの色み)として捉えている。このため、色みが最も鮮やかな高彩度の純色を中心に評価する傾向にあった。例として、カテゴリー「安全」に対する色彩イメージの評価を、図 3-3 に示す。図 3-3 より、安全を意味する安全色が緑であることを認識し、緑系統の色彩、および安全色の意味が類似している青系統の色彩を中心に評価していることが分かる。

これに対して、数名の被験者は安全色に対する認識が低く、各カテゴリーに対するイメージを色彩の濃淡などにより捉えていた。具体的には、禁止、注意、指示などの人間に対して強く訴える意味合いを持つカテゴリーでは、高彩度の純色系の色彩を評価していた。特に、カテゴリー「注意」に関しては、強く注意を引くというイメージから、輝度が高い色彩や目立つ色彩を評価する傾向があった。このとき、図 3-4 に見られるように、安全色で注意に意味が類似した

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

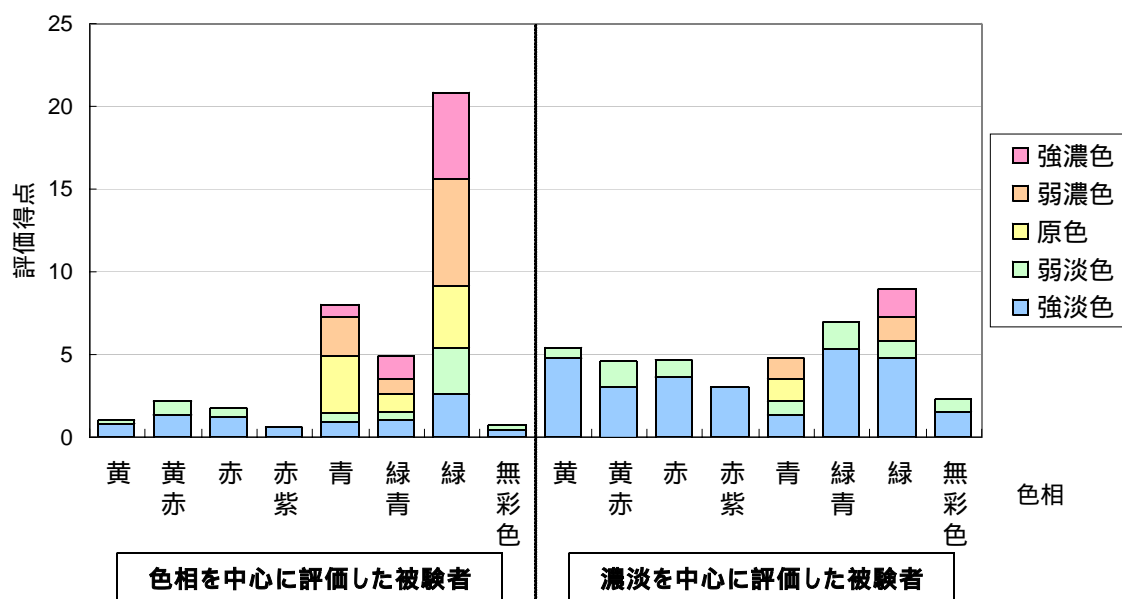


図3-3 カテゴリー「安全」に対する色彩イメージの評価

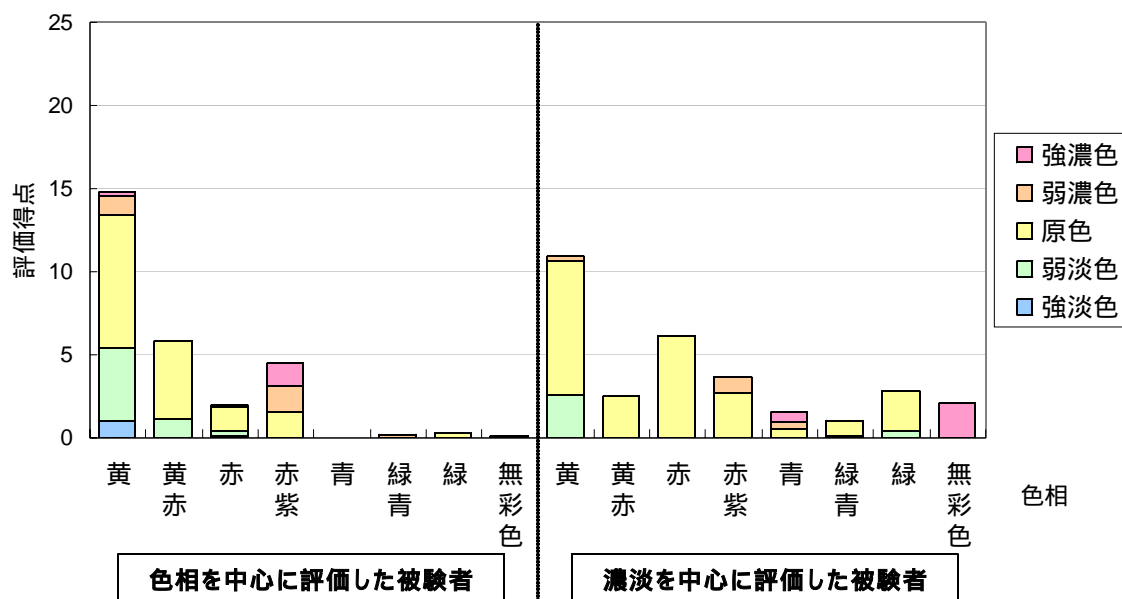


図3-4 カテゴリー「注意」に対する色彩イメージの評価

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

赤や黄の純色だけでなく、安全色では意味が全く異なる緑や緑青の純色も評価されていた。このことから、特定の色相を基準としていないことが分かる。また、図 3-3 に示したカテゴリー「安全」では、柔らかいイメージを与える淡色系の色彩を中心に評価しており、特定の色相をイメージすることはなく淡色系統の色彩を全般的に評価していた。

このように、色彩の色相に加えて、濃淡や輝度も基準として色彩イメージを評価するという傾向は、安全色の意味を認識していると考えられる被験者でも多く見られた。例えば、禁止で赤系統の色彩を評価する際に、純色に近い色彩は強いイメージを受けるので高く評価される。ただし、強淡色は柔らかいイメージを持つことから禁止とは異なる意味合いを感じ、禁止に対する評価は非常に低くなった。輝度に関して言えば、安全色の意味を認識していると考えられる被験者は色相によるイメージが強いため、各カテゴリーにおいて高彩度の純色を最も高く評価している。ただし、カテゴリー「安全」に関しては、緑の純色((R, G, B) = (0, 255, 0))では輝度が高いため、緑の弱濃色((R, G, B) = (0, 192, 0))が最も高い評価となった。

以上をまとめると、ディスプレイ上における色彩イメージの形成に関しては、次のようなことが言える。基本的には安全色の意味が定着しており、それが色彩イメージを形成する大きな要因となっている。ただし、色彩の濃淡、あるいはディスプレイの発光による輝度も色彩イメージ形成の要因となる。このとき、色相よりも濃淡や輝度の方が、色彩イメージの形成に対して大きく影響する場合もある。

3-2 VDT作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響

ディスプレイ上における色彩イメージに対する評価実験の結果をもとに、監視作業の操作中における、グラデーション情報表示による情動への影響について、実験的に検討した。

実際に、グラデーション情報表示を監視作業に適用する場合、2章で行った実験のように、グラデーション情報表示の色彩変化は、システムの状態に関する変化を表現する。このとき、図 3-5 に示すように、グラデーション情報表示によって導かれる人間の行動には、二つの流れが考えられる。一つは、知覚、思考・判断、行動という人間の情報処理過程である。人間は、グラデーション情報表示による色彩変化を知覚し、色彩イメージにより情報内容を理解して、行動を決定する。もう一つは、その時の人間の情動による思考・判断への影響という流れである。すなわち、グラデーション情報表示が人間の情動に影響を

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

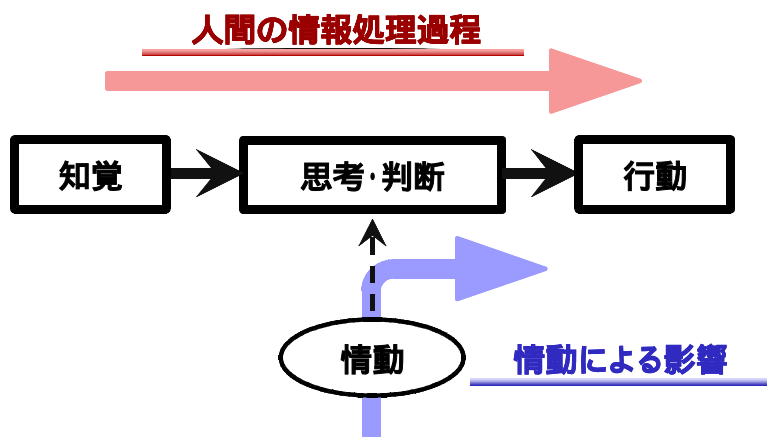


図3-5 グラデーション情報表示による行動への影響に対する二つの流れ

与え、その時の情動が思考・判断に影響を与えるという流れである。本章では、情動に与えるグラデーション情報表示の影響について検討することを目的とする。そのため、人間の情報処理過程による行動への影響を除くために、グラデーション情報表示の色彩変化には情報内容としての意味を持たせなかった。これにより、監視作業の操作中における、グラデーション情報表示による情動への影響を検討することとした。

3-2-1 実験方法および実験条件

3-1 で行った色彩イメージに対する評価の実験から、色彩イメージを形成する際には、安全色が規定するような色彩の色相からだけではなく、濃淡などによっても影響を受けることが確認された。そこで、本実験では、グラデーション情報表示における色彩変化の仕方として次の2種類を用意した。

(1)色相グラデーションタイプ：

開始色から終了色へと色彩の色相のみが変化し、色彩の濃淡は変化しない。

(2)トーングラデーションタイプ：

開始色から終了色へと、淡色を介して色彩が変化する。よって、色彩の色相だけでなく、濃淡も変化する。

色相グラデーションタイプ、トーングラデーションタイプの一例として、開始色を赤、終了色を青とした場合の色彩変化の仕方を図 3-6 に示す。図 3-6 の帯は時間経過による色彩変化の様子を表現し、左端をグラデーションの開始時刻、右端を終了時刻とする。

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

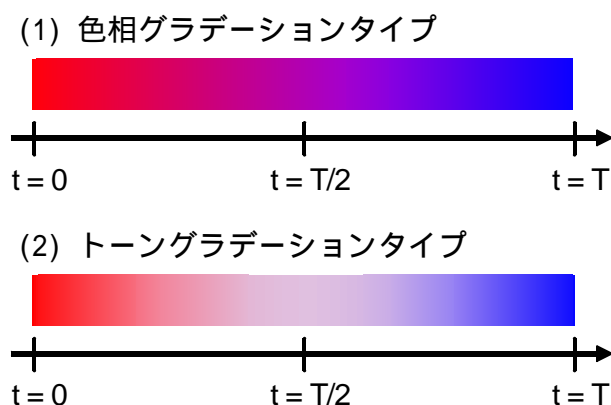


図3-6 2種類の色彩変化の仕方

本実験で使用するグラデーション情報表示では、図 3-6 に示すように、開始色から終了色へと一定の割合で色彩が徐々に変化するものとした。グラデーションの基準色としての開始色と終了色には、色彩イメージの評価実験において、禁止、注意、指示、安全の各カテゴリーで最も高く評価された 4 種類の色彩を使用した。具体的には、禁止の赤((R, G, B)=(255, 0, 0))、注意の黄((R, G, B)=(255, 255, 0))、指示の青((R, G, B)=(0, 0, 255))、そして安全の緑((R, G, B)=(0, 192, 0))である。実際にグラデーション情報表示によって情報を表現する場合、安全色の主要な意味である赤、黄、青、緑の 4 色が最も重要であると考え、基準とする色彩を以上のように決定した。また、トーングラデーションタイプにおける中間の淡色には、色彩イメージの評価実験で用いた開始色と終了色の中間の色相における強淡色を用いた。

このような色彩変化をするグラデーション情報表示に対して、監視作業の操作における色彩変化による情動への影響を、アンケートによる主観評価で検討した。実験の対象作業は、2章の実験における選択作業と同一の作業とした。実験方法、実験条件も同様である。アンケートの項目は、図 3-7 に示すように、色彩感情の観点から 5 項目、視認性の観点から 3 項目、色彩変化の観点から 3 項目の合計 11 項目で構成されている。アンケートに対する評価は、各評価項目に対して対の意味を持つ文字表現を付した数直線上に、「どちらでもない」を中心として - 5 点から + 5 点までフリースケールで主観的に評価するものとした。

1 回の実験時間は 30 秒とした。被験者は、30 秒間の実験時間を通して選択作業を行った。また、実験終了後に、色彩のグラデーションについて、アンケート項目により主観評価を行った。実験に使用した色彩変化は、色相グラデー

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

色彩感情に関する項目

- ・安全な - 危険な
- ・安心な - 不安な
- ・動的な - 静的な
- ・落ち着いた - 落ち着かない
- ・暖かい - 冷たい

視認性に関する項目

- ・明るい - 暗い
- ・澄んだ - 濁った
- ・見やすい - 見にくい

色彩変化に関する項目

- ・色彩変化が快適 - 色彩変化が不快
- ・焦らない - 焦る
- ・酔わない - 酔う

図3-7 アンケート項目

シオンタイプ、トーングラデーションタイプに対して、4種類の基準色について開始色と終了色とで異なる組み合わせとなる12通りとし、合計24種類で行った。実験では順序効果が起こらないよう、ランダムに順番を設定した。本実験の被験者は3-1で行った実験の被験者と同じであり、20歳から25歳までの健康な学生男女15名である。また、本実験で使用したディスプレイは、タッチパネル・システムズ社製17型タッチモニターで、プログラムはMicrosoft Visual Basic 6.0により作成した。

3-2-2 実験結果および検討

11個のアンケート項目について、主観評価による得点から主成分分析を行った。

図3-8にアンケート項目に対する主成分負荷量を示す。ここでは、主成分分析の結果に対して各主成分の軸の意味を考えるために、アンケート項目において各項目の対になる項目名も付置してある。このとき例えば、「明るい」とその対になる「暗い」は、原点に対して対象に位置する。

第1主成分については、正方向に心理的に安定なイメージ、負方向に心理的に不安定なイメージを表現する項目が付置された。そこで、第1主成分を「情動の安定性」と名付けた。正方向は情動が安定することを示し、負方向は情動が不安定になることを示す。第2主成分については、正方向に感情が昂ぶるイメージ、負方向に感情が沈むイメージを表現する項目が付置されたため、第2主成分を「情動の抑揚」とした。

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

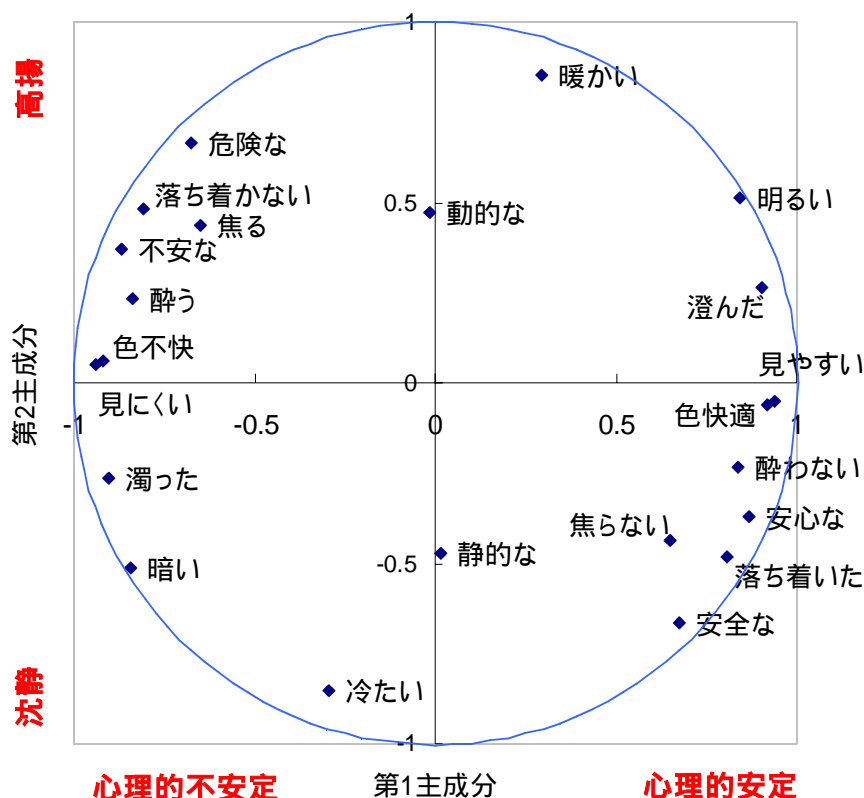


図3-8 主成分負荷量

次に、色相グラデーションタイプ、トーングラデーションタイプの各色彩変化に対する主成分得点を図 3-9 に示す。図中の表記は、グラデーションの開始色、および終了色とグラデーションの色彩変化の仕方を表現している。例として、「赤 - 青(色相)」であれば、開始色を赤、終了色を青とする色相グラデーションタイプを意味している。図 3-9 の散布図から見られる、全体的な傾向は次の通りである。第 1 主成分については、色相グラデーションタイプ、トーングラデーションタイプの色彩変化の仕方に影響している傾向がある。第 2 主成分については、グラデーションに使用した色彩に影響する傾向が見られる。そこで、各主成分得点について検討した。

図 3-10 に第 1 主成分得点の結果を示す。まず、色相グラデーションタイプの第 1 主成分得点について考えると、赤と緑、赤と青を組み合わせたグラデーションに対して評価が低くなっていることが確認される。この理由として、色彩変化の不快感、および色彩イメージの混乱が考えられる。

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

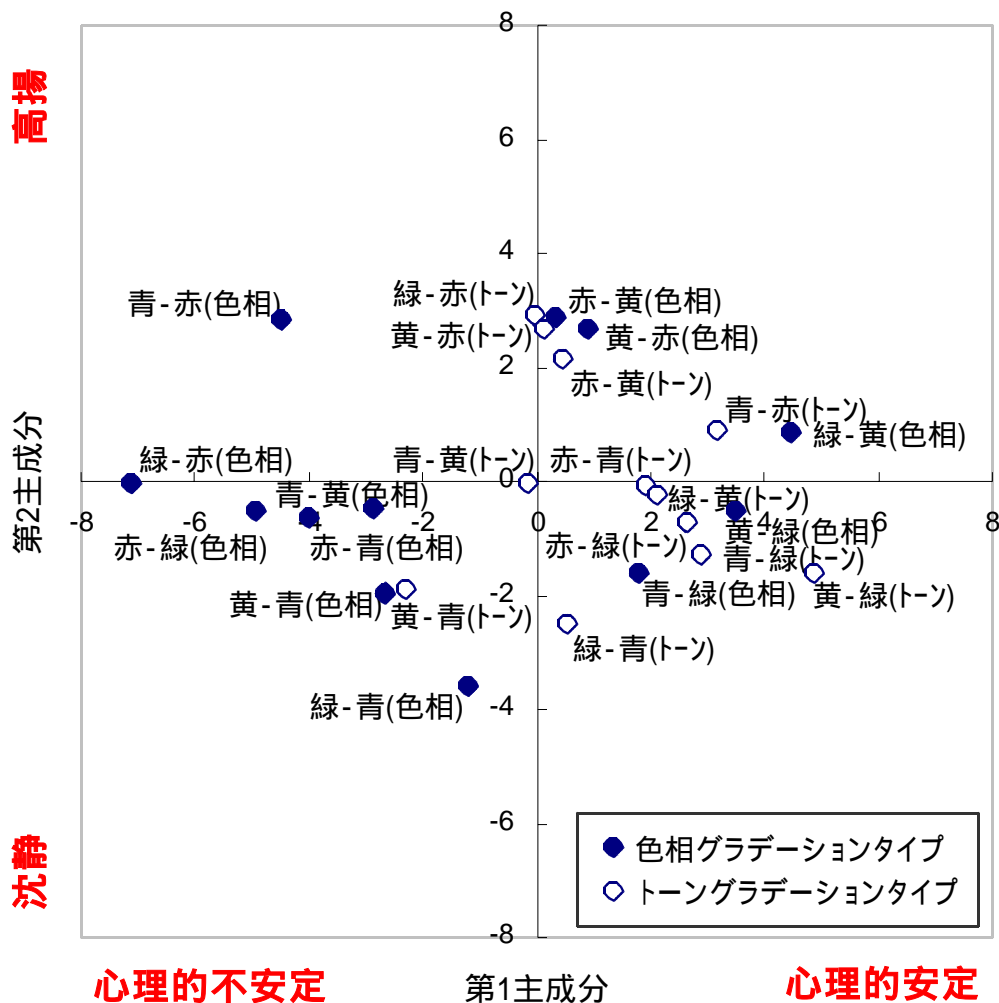


図3-9 主成分得点

まず、色彩変化の不快感について考える。例として、開始色を青、終了色を赤とする色相グラデーションタイプの色彩変化と、開始色を緑、終了色を赤とする色相グラデーションタイプの色彩変化を図 3-11 に示す。図 3-11 より、赤と青の組み合わせでは中間の色彩が紫、赤と緑の組み合わせでは中間の色彩が茶となっている。これらの色彩は、高彩度の純色でありながら非常に濁った色彩である。実際に、視認性に関するアンケート項目「明るい - 暗い」、「済んだ - 濁った」、「見やすい - 見にくい」に対する評価結果では、特に評価が低くなっている。これにより、「色彩変化が快適 - 色彩変化が不快」で確認されるように、グラデーションの過程において被験者に対して不快感を与えたと考えられる。

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

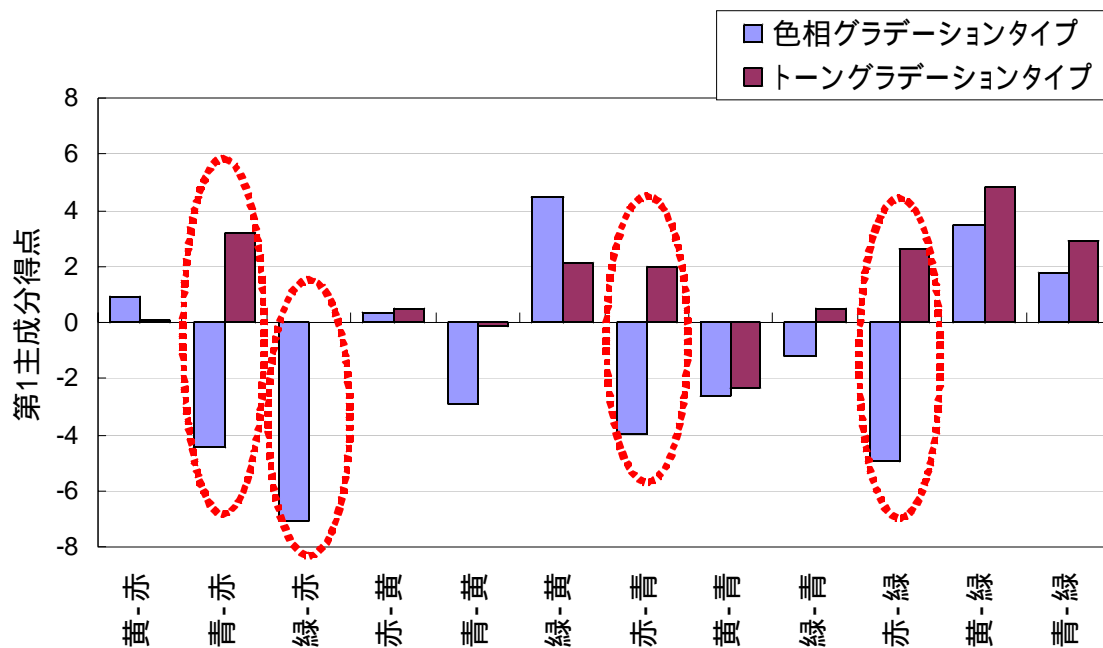
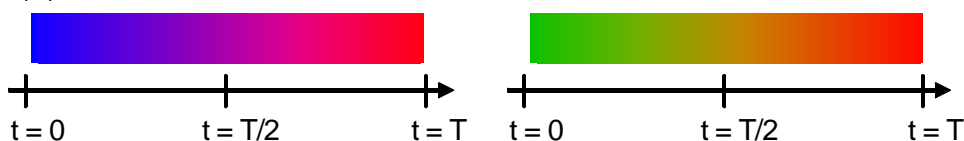


図3-10 第1主成分得点

(1) 色相グラデーションタイプ



(2) トーングラデーションタイプ

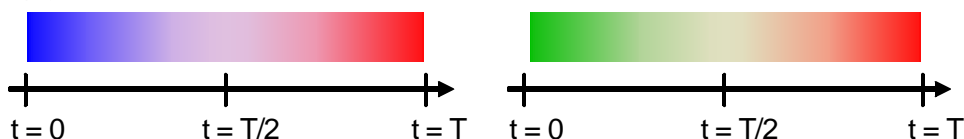


図3-11 不快感を与えるグラデーション

さらに、もう一つの理由として、色彩イメージの混乱について考える。図 3-12 に示すように、グラデーションの基準色とした 4 種類の色彩は、大きく二つに分類される。禁止を意味する赤、注意を意味する黄は、行動を抑制するようなネガティブなイメージを有する。一方、指示を意味する青、安全を意味する緑は、行動を誘導するようなポジティブなイメージを持つ。このため、両者の意味が大きく異なる赤と青、赤と緑の組み合わせでは、グラデーションの過程において色彩から受けるイメージが連続的にならず、結果として色彩イメージを混乱させ、情動を不安定にしたものと思われる。

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

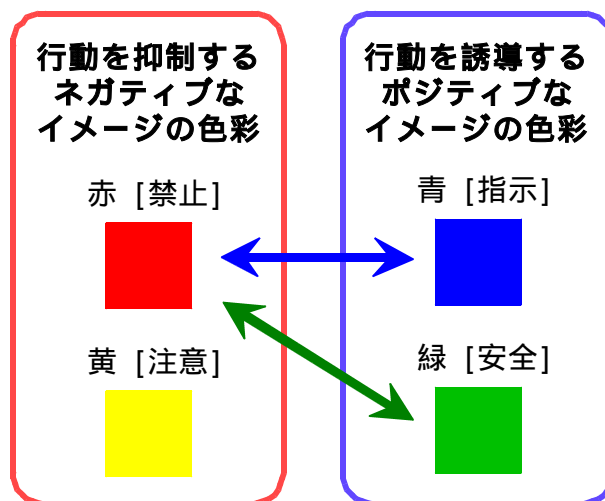


図3-12 色彩イメージの混乱を引き起こす基準色の組み合わせ

ここで、図 3-10 より、色相グラデーションタイプで第 1 主成分得点の低かった 4 種類の色彩変化について考える。これらの色彩変化は、開始色と終了色で同じ色彩を使用したトーングラデーションタイプにおいて、第一主成分得点が高くなる傾向が見られる。つまり、色相グラデーションタイプからトーングラデーションタイプにすることで、情動が安定すると解釈される。

トーングラデーションタイプの色彩変化により情動が安定するという結果に対して、二つの理由が考えられる。一つは、トーングラデーションタイプでは柔らかいイメージを持つ淡色を介して色彩変化しているため、グラデーションの過程において被験者に不快感を与えなかったと考えられる。もう一つの理由は、グラデーションの色彩変化による色彩イメージの混乱に関係する。動的に色彩が変化するグラデーションの過程では、中間色の淡色はほとんど白に近い色として知覚される。そのため、中間の淡色によって前半の色彩イメージがリセットされ、グラデーションの過程で色彩イメージの混乱が生じなかったと考えられる。

このようにして、淡色を用いるなどグラデーションの過程で色彩の濃淡を変えることは、動的に変化する場合の色彩イメージにおいても、柔らかいイメージによって情動を安定させる効果が期待される。

続いて、第 2 主成分得点の結果を図 3-13 示す。図 3-13 より、色相グラデーションタイプ、トーングラデーションタイプにかかわらず、終了色が第 2 主成分得点に影響していることが確認される。つまり、終了色を禁止の赤、注意の黄などのネガティブな意味を持つ色彩にした場合に、第 2 主成分得点が高くなる。一方、終了色を指示の青、安全の緑などのポジティブな意味を持つ色彩に

3. 監視作業中におけるグラデーション情報表示による情動への影響に関する検討

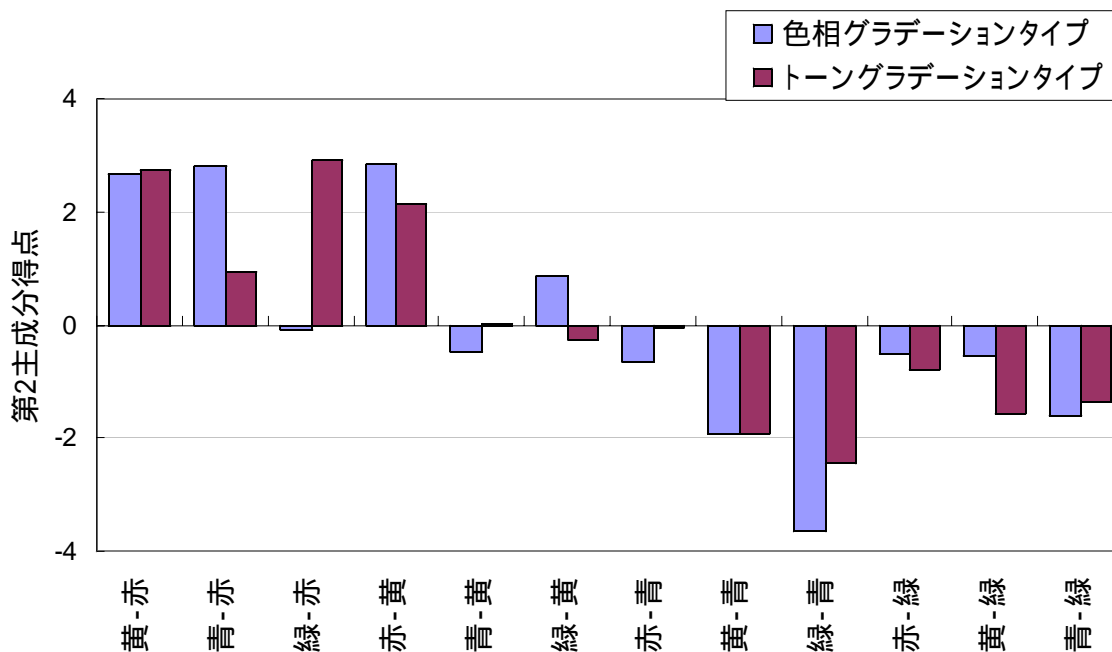


図3-13 第2主成分得点

した場合に、第2主成分得点が低くなる傾向にある。

このことから、色彩の動的なグラデーションによる情動への影響として、次のようなことが考えられる。

終了色を赤や黄などのネガティブなイメージを持つ色彩にした場合、主成分分析の結果から情動が高揚すると考えられる。このとき、第1主成分得点が低く、情動が不安定な状態にある場合、グラデーションによる焦りなど好ましくない状態になると考えられる。そして、思考・判断、および行動に影響を与えらると思われる。一方、第1主成分得点が高く、情動が安定な状態にある場合は、情動が高揚することはモチベーションの向上につながり、より迅速に対応操作を行えるなど好ましいパフォーマンスを導く可能性が期待される。

グラデーション情報表示に使用する色彩を決定する際には、表現しようとするシステムの状態に対応させて決定することになる。その際、静的な状態の色彩イメージのみを考慮するのではなく、動的な色彩変化の過程全体での色彩イメージを吟味する必要がある。これにより、グラデーション情報表示による色彩変化に対して、人間が心理的に不快に感じることを防止できると考えられる。

3-3 まとめ

本章では、グラデーション情報表示の色彩変化による情動への影響について検討した。ここでは特に、静的な状態での色彩イメージに対する評価の結果をもとに、動的な色彩変化による情動への影響について、実験的に検討した。さらに、実験結果をもとに、グラデーション情報表示に使用する色彩として考慮すべき要件について検討した。その結果、グラデーション情報表示の色彩変化が情動に与える影響について、次のような特徴が得られた。

第一に、グラデーションの過程において、静的な状態でも不快なイメージを与える色彩を使用することで、人間は動的な色彩変化の過程でも不快感を生じる。このような情動への影響は、結果として人間の情報処理過程における思考・判断にも影響を与える。そして、最終的には、人間の行動、すなわちパフォーマンスを阻害することが懸念される。ただし、この場合、グラデーションの過程に柔らかいイメージを持つ淡色を用いるなど、色彩のトーンを変更することで、色彩変化による不快感を緩和することが期待される。

第二に、グラデーションの過程において色彩イメージが連続的に変化しない場合、色彩イメージによる混乱を生じ、情動に影響を与える。また、グラデーション情報表示の色彩変化によって情報内容を表現する場合にも、色彩イメージが不連続であれば、人間は適切な情報内容を認識することが困難になると予想される。ただし、この場合においても、淡色を利用することで色彩イメージを連続的にすることが可能になる。

第三に、グラデーションの過程において、時間の経過とともに色彩が変化する方向に対してネガティブなイメージを強めていくことで、人間に対して種々の影響を与えると考えられる。このとき、人間の情動が安定しているか、不安定であるかにより、その影響は異なる。すなわち、安定していれば、グラデーション情報表示の色彩変化に対して、人間の情動に対して不適切な影響を与えることを防止できると考えられる。

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

本章では、システムの異常に対する思考・判断の支援として、グラデーション情報表示が表現可能な情報内容の種類、および、その実用性について検討する。具体的には、監視・検出型の VDT 作業にグラデーション情報表示を適用し、動的な色彩イメージからシステムの状態を把握して、対応操作としての異常検出をする実験を行った。実験では、特徴の異なる情報内容をグラデーション情報表示によって表現し、システムの状態を表現する情報としての特徴を検討する。

4-1 システムの状態情報としてグラデーション情報表示を利用するための予備実験

2 章で示したような、異常の兆候情報を含めたシステム状態を表現する情報として、グラデーション情報表示を利用するためには、人間の認知面および情動への影響について考慮しなくてはならない。

はじめに、システムの情報内容に対する思考・判断を支援するために、変化する色彩のイメージと情報内容とを適切に対応させる必要がある。グラデーション情報表示は時間の経過に従って色彩が動的に変化する。このとき、表示情報として利用するためには、各瞬間で表示される色彩が、システムの状態に応じて表現されることが要求される。ここで、色彩の静的なグラデーションによる表示情報であるサーモグラフィを例にして考える。サーモグラフィは、低温をイメージさせる青から高温をイメージさせる赤へと、温度の高さに応じて色彩が変化することで、温度の高さという情報内容を表現する。この考え方は、色彩の動的なグラデーションを利用した情報呈示方法においても、考慮すべき要件である。

また、グラデーション情報表示における色彩変化について、色彩イメージが連続的に変化すると同時に、知覚的にも色彩が連続的に変動する必要がある。2 章および 3 章の実験では、ディスプレイ上の色彩表現として利用される RGB 表色系に従い、R、G、B の各値を連続的に変化させることで、この問題を解決した。この考え方は、グラデーション情報表示によってシステムの詳細な情報内容を表現する場合に考慮する必要がある。

次に、情動への影響について考える。3 章の実験から導かれたように、実際に VDT 作業を行っている状況で背景部分の色彩が動的に変化する場合、グラデーションの過程で色彩イメージが連続的に変化することが重要となる。これ

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

を満足しない場合、イメージの混乱による不快感などによって、人間の情動に影響を与える。そして、人間の思考・判断を阻害し、結果として最終的なパフォーマンスである行動に対して影響が現れる。

以上の考え方により、予備実験として、色彩から受ける印象の強さを評価した。そして、その結果に基づき、人間の認知面、および情動への影響を考慮して、グラデーション情報表示に使用する色彩変化の仕方を決定した。これにより、グラデーション情報表示によって表現される色彩イメージから、人間は正確な情報内容を認識できると考えられる。

4-1-1 HLSカラーモデル

本章の実験では、グラデーション情報表示における色彩の変化について、色彩イメージが連続的に変動していることに加えて、知覚上でも連続的に変化する必要がある。ここで、ディスプレイ上における色彩の表現方法には、多くの種類が存在する。RGB 表色系や XYZ 表色系は一般的な表色系であるが、表色系を構成する数値の変動と人間が感じる色彩の変化が対応していない。また、人間の知覚に基づく表色系としてはマンセル表色系⁽¹⁶⁰⁾⁻⁽¹⁶²⁾など複数のものがあるが、色票などで示されることが多く、ディスプレイ上での色彩表現としては適していない。

これらの表色系に対して、ディスプレイ上での色彩表現として、人間の知覚に基づいて体系化されている HLS カラーモデル⁽¹⁶³⁾がある。図 4-1 に示すように、HLS カラーモデルは以下の三つの要素によって、ディスプレイ上に表示される色彩を表現する。

色相 (Hue) : 通常、我々が「色」として呼んでいるもので、赤、青などの色みを定義し、図 4-1 に示すように、円形の色相軸によって 0 ° から 360 ° の角度で表現する

明度 (Lightness) : 色彩の照度レベルをパーセンテージで表示したもので、純粋な白が最高値 (=100%)、純粋な黒が最低値 (=0%) となる

彩度 (Saturation) : 色みの鮮やかさをパーセンテージで表示したもので、最も高彩度の色彩 (=100%) で色みが強く、彩度 = 0% で色みを持たない無彩色 (白、黒、灰色) となる

このように、HLS カラーモデルは、構成する要素の変動と、人間が知覚的に感じる色彩の変化とが対応している。また、ディスプレイ上で連続的に色彩を変化させることも可能である。以上の考え方により、グラデーション情報表示によって情報内容を詳細に表現するために、HLS カラーモデルにより色彩を表

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

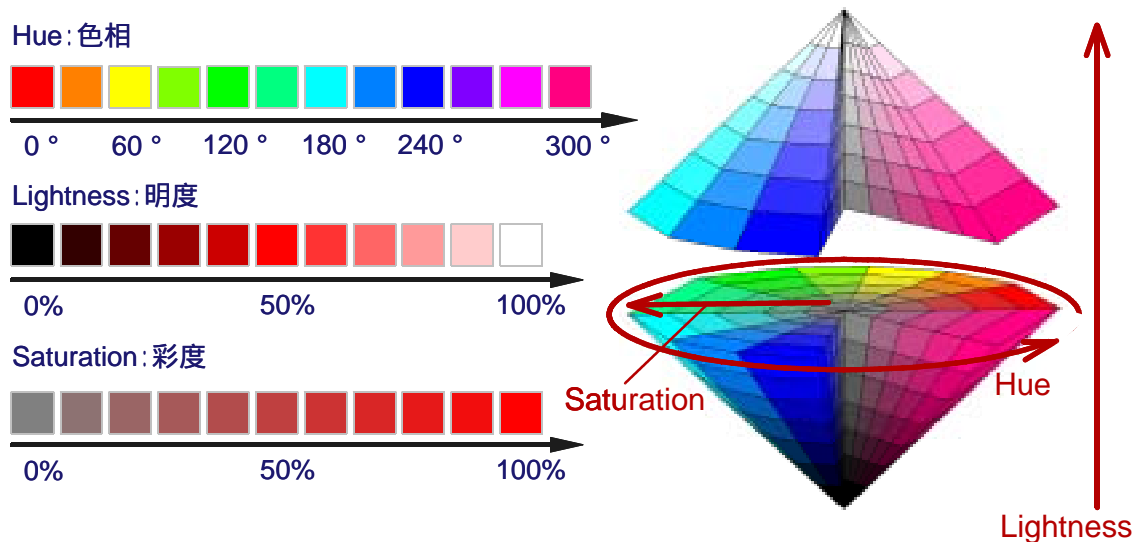


図4-1 HLSカラーモデル

現した。

4-1-2 色彩から受ける印象の強さに関する評価実験

グラデーションによる色彩の変化は、個々の色彩が連続的に移り変わることによって表現される。したがって、グラデーション情報表示の色彩変化において、色彩イメージを連続的に変動させるためには、人間が個々の色彩から受けるイメージを評価する必要がある。しかし、色彩のイメージは、表現する情報の内容によって多種多様に存在するため、情報内容ごとにイメージを評価しなくてはならない。そこで、本実験では、色彩から受ける印象の強さに着目し、それを基準としてグラデーション情報表示に適用しようと考えた。ここで言う印象の強さとは、色彩から受けるイメージ、輝度の強さ、色彩の濃淡による強さなどを含めた、総合的な強さとする。

続いて、予備実験の実験方法、および実験条件を説明する。

色彩から受ける印象の強さを評価するにあたり、図 4-2 のような実験画面を用意した。実験画面には二つの正方形を並べて、イメージを持たないとされる無彩色の中で、最も明度が低い純粋な黒(色相=0°、明度=0%、彩度=0%)を左側に配置した。そして、評価対象とする色彩を右側に配置した。表 4-1 に評価の対象とした色彩を示す。すなわち、有彩色(色みを持つ色彩)としては、色相を 12 段階、明度を 9 段階、彩度を 5 段階に変化させた 540 色を用意した。また、無彩色(色みを持たない色彩)としては明度を 11 段階に変化させた 11 色を

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

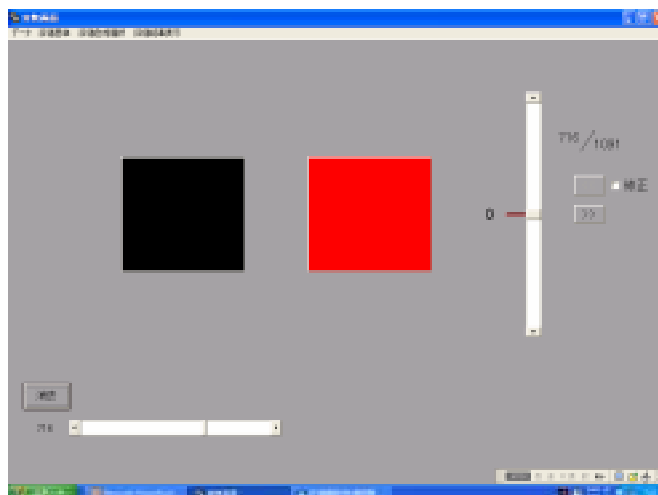


図4-2 予備実験画面

表4-1 評価対象色彩

<p>有彩色</p> <p>色相: 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300°, 330°</p> <p>明度: 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%</p> <p>彩度: 20%, 40%, 60%, 80%, 100%</p>
<p>有彩色</p> <p>色相: 不定</p> <p>明度: 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%</p> <p>彩度: 0%</p>

用意し、合計 551 種類の色彩を評価した。被験者は、黒から受ける印象の強さを評価基準の 0 点として、各色彩から受ける印象の強さを - 100 点から + 100 点まで相対的に評価した。評価対象とする色彩はランダムに表示させた。また、表示された色彩の残像が残らないように、評価色彩を変更する際には、背景色と同じ無彩色の灰色を呈示してから、次の評価色彩を呈示した。被験者は 21 歳から 26 歳までの健康な学生男女 10 名で行った。実験に使用したディスプレイは 15 型の TFT 液晶ディスプレイ (SONY 製) で、画面の平均鉛直面照度は 174.5 [lx] であった。

4-1-3 異常の状態を表現する色彩変化の決定

情報内容を表現するグラデーション情報表示の色彩変化を決定するためには、HLS カラーモデルの各要素の変化に対して、印象の強さが変化する方向性を被験者間で統一する必要がある。ここでは、図 4-3 に示すように、各色彩を色相、明度、彩度の3つの値で決定される3次元空間の座標と考えた。そして、隣接する座標の色彩と、印象の強さに関する大小関係を比較して、構造グラフの作成に利用されるISM(Interpretive Structural Modeling)法⁽¹⁶⁴⁾により評価結果を統合した。印象の強さを算出する手順を以下に示す。

()各被験者の評価結果に対して、図 4-3 に示すように、3次元空間上で隣接する座標の色彩について、色彩から受ける印象の強さの大小関係を比較した。その大小関係の結果より、1と0で表現した551×551の行列を作成した。

()各被験者に対して作成された行列から、被験者全員で評価が一致している成分を1、一致していない成分を0とする行列を新たに作成した。

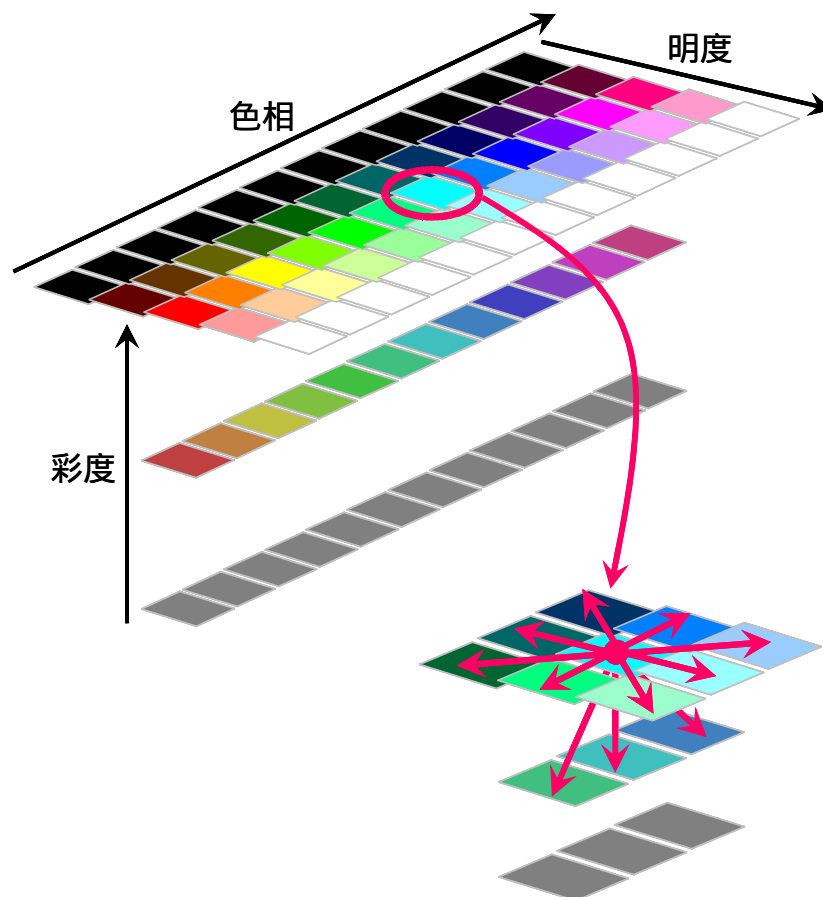


図4-3 HLSカラーモデルの3要素による色彩の3次元空間

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

()ISM 法を利用して、()で得られた行列から構造グラフを作成し、その構造グラフにおける階層の高さを、色彩から受ける印象の強さとした。

この結果、各色彩の印象の強さは、0 から 7 までの 8 段階(以後、評価レベルとする)に階層化された。

ここで、3 章の実験より、柔らかい印象を与える明度や彩度の変化を利用することが、色彩イメージの混乱、違和感、そして不快感など、情動への影響を緩和することが確認された。本章で行う実験では、この結果を踏まえることとした。すなわち、異常に関するシステムの状態を表現する情報として、グラデーション情報表示を利用することを考慮し、JIS で規定された安全色で禁止などのネガティブなイメージを有する赤に色相を固定した(色相=0°)。そして、明度と彩度を変化させた色彩の変化を、グラデーション情報表示に適用した。色相=0°における明度および彩度と、評価レベルとの関係を図 4-4 に示す。

図 4-4 より、色相=0°、明度=50%、彩度=100%の色彩が、最も評価レベルが高いことが確認される。この色彩は RGB 表色系で表記すれば RGB=(255, 0, 0)となる。ここでは、明度と彩度の変化を利用して色彩のグラデーションを決定するため、この色彩を含み、明度軸および彩度軸に対して平行に図 4-4 のグラフを切断した色彩変化を考えることにした。色相=0°、彩度=100%での明度と評価レベルとの関係を図 4-5 に示す。また、色相=0°、明度=50%での彩度と評価レベルとの関係を図 4-6 に示す。図 4-5、図 4-6 で示された結果から、知覚的な色彩の変動と印象の強さの増加方向を一致させた。つまり、明度軸、および彩度軸で印象の強さが単調に増加する部分(図中の矢印の部分)を、グラデー

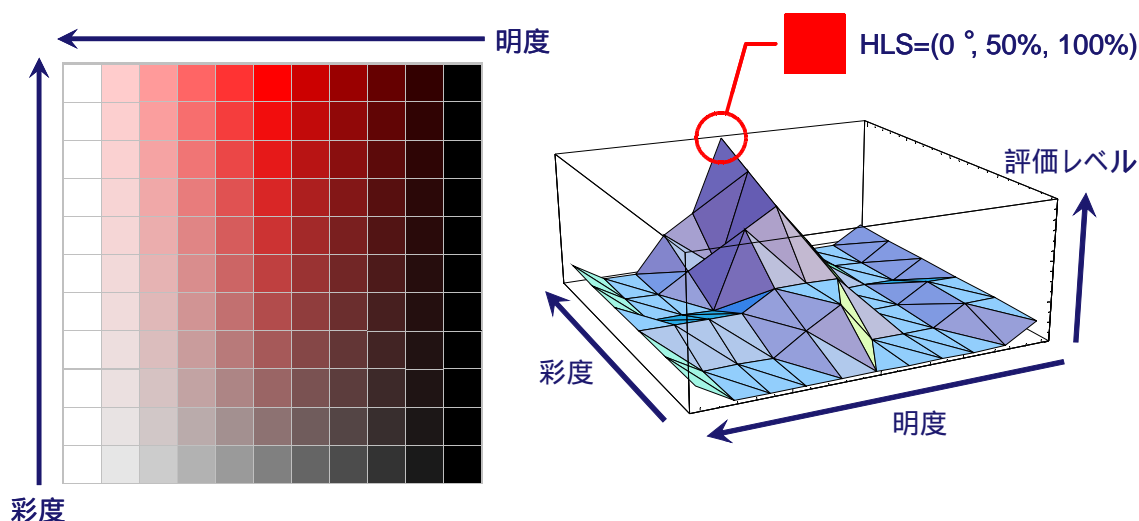


図4-4 色相=0°における明度、彩度と評価レベルの関係

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

評価レベル

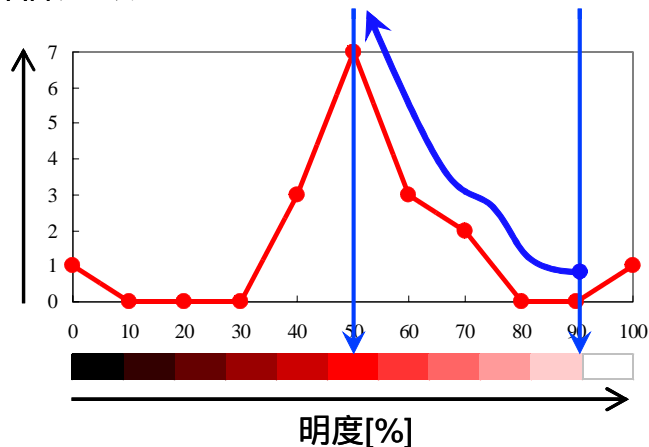


図4-5 色相 = 0°、彩度 = 100%における明度と評価レベルの関係

評価レベル

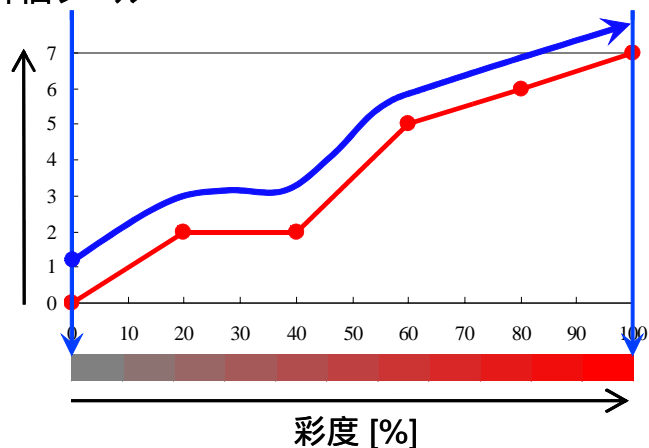


図4-6 色相 = 0°、明度 = 50%における彩度と評価レベルの関係









シオン情報表示で色彩を変化させる範囲とした。図 4-5 より、明度=90%から明度=50%での色彩変化を、明度変化によるグラデーション情報表示とする。また、図 4-6 より、彩度=0%から彩度=100%での色彩変化を、彩度変化によるグラデーション情報表示とする。

3章の実験結果より、濁色を含めたグラデーションは人間に不快感を与えること、および、淡色がグラデーションの不快感を緩和するという知見が得られた。この結果を踏まえ、明度変化によるグラデーション情報表示を決定する際に、明度が低い濁色の変化ではなく、明度が高い淡色の変化を選択した。ここで、彩度変化によるグラデーション情報表示では、図 4-6 に見られるように、彩度=0%から 100%まで印象の強さが単調に変化している。これに対して、明

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

度変化によるグラデーション情報表示では、図 4-5 に見られるように、明度=100%の白の方が明度=90%の色彩よりも印象が強くなっている。これは、純粋な白は淡色とは異なり、輝度の高さが印象の強さに影響を与えたものと考えられる。そのため、明度変化によるグラデーション情報表示では、明度=90%から 50%までの範囲で色彩を変化させることにした。これにより、明度変化によるグラデーション情報表示では、無彩色である白から色彩変化を始めていないことが一つの特徴になっている。一方で、彩度変化によるグラデーション情報表示が無彩色である灰色から色彩変化を始めている。明度変化および彩度変化によるグラデーション情報表示で、基準となる色彩の XYZ 表色系における色度 x 、 y 、輝度 Y 、および RGB 表色系、HLS カラーモデルによる値を表 4-2 に示す。

表4-2 明度変化、彩度変化によるグラデーション情報表示において基準となる色彩の仕様

		XYZ 表色系		RGB 表色系 (R, G, B)	HLS カラーモデル (H, L, S)
		色度(x, y)	輝度Y [cd/m ²]		
明度変化		(0.362, 0.340)	77.7	(255, 204, 204)	(0°, 90%, 100%)
		(0.446, 0.333)	46.3	(255, 138, 138)	(0°, 77%, 100%)
		(0.564, 0.344)	31.9	(255, 66, 66)	(0°, 63%, 100%)
		(0.591, 0.346)	29.9	(255, 0, 0)	(0°, 50%, 100%)
彩度変化		(0.332, 0.323)	22.3	(128, 128, 128)	(0°, 50%, 0%)
		(0.491, 0.338)	19.9	(170, 85, 85)	(0°, 50%, 33%)
		(0.569, 0.346)	24.5	(213, 42, 42)	(0°, 50%, 67%)
		(0.591, 0.346)	29.9	(255, 0, 0)	(0°, 50%, 100%)

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

4-2 実験方法および実験条件

4-1 で決定した、2 種類の色彩変化の仕方によるグラデーション情報表示を用いて、システムの異常に関する詳細な情報内容を表現し、グラデーション情報表示が持つ特徴について検討した。

4-2-1 実験方法

本実験では、実際の監視作業から、次のような故障検出作業を設定した。作業内容としては、図 4-7 に示すように、中央の四角形の内部に配置された 25 個の計器に対して、故障した計器を検出して選択するという作業である。各計器は正常な状態では 1 秒毎に 1 ずつ変動し、故障した場合には 1 秒毎に 2 ずつ変動する。故障はランダムに起こるものとした。1 回の実験時間は 4 分であり、故障計器をできる限り早く検出すること、実験時間内にすべての故障計器を検出することを、被験者のタスクとした。被験者は、故障の状態、および経過時間を画面上の表示情報から知ることができる。これらの情報を既存の一般的な表示情報、およびグラデーション情報表示によって表現した。

4-2-2 実験条件

本実験で対象とする故障検出作業では、一般的な表示情報として、計器の故障の状態に関する情報(故障情報)を警告灯で表現する。また、経過時間の状態に関する情報(時間情報)をタイムバーで表現する。そして、これらの情報をグ

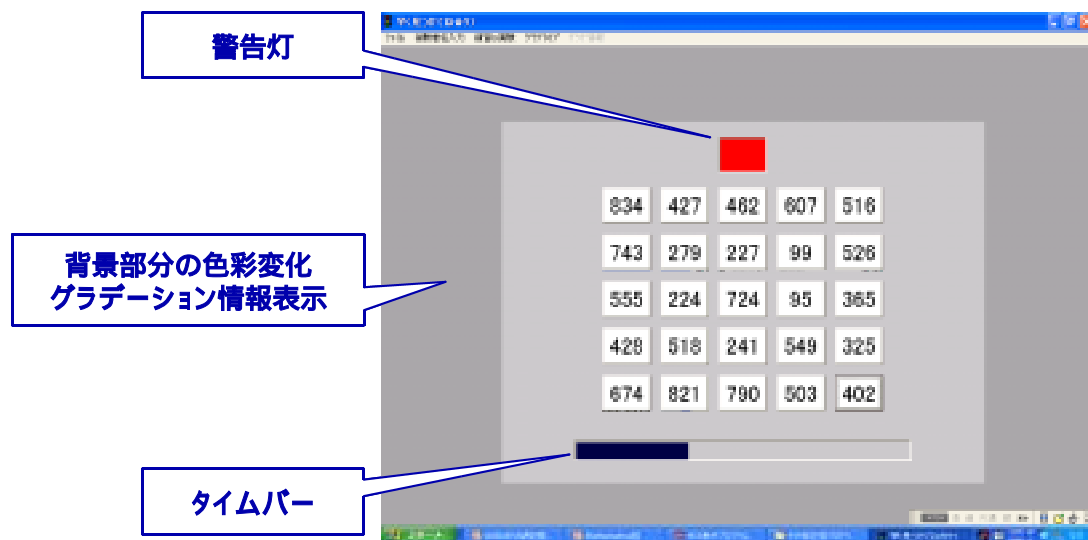


図4-7 実験画面

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

ラデーション情報表示によって表現する(図 4-7)。実験に使用したグラデーション情報表示は、時間情報および故障情報に関して、図 4-8 に示すように、時間情報、故障情報、および故障・時間情報の3種類を用意した。その詳細を以下に説明する。

(a) 時間情報を表現するグラデーション情報表示：

経過時間を表現し、経過時間に比例して色彩が変化する。

(b) 故障情報を表現するグラデーション情報表示：

警告灯が表現する故障計器の有無に加えて、故障数を表現する。故障数の表現は、1個、2個、3個以上の3段階として、それに対応させて色彩の変化量を3段階に設定した。

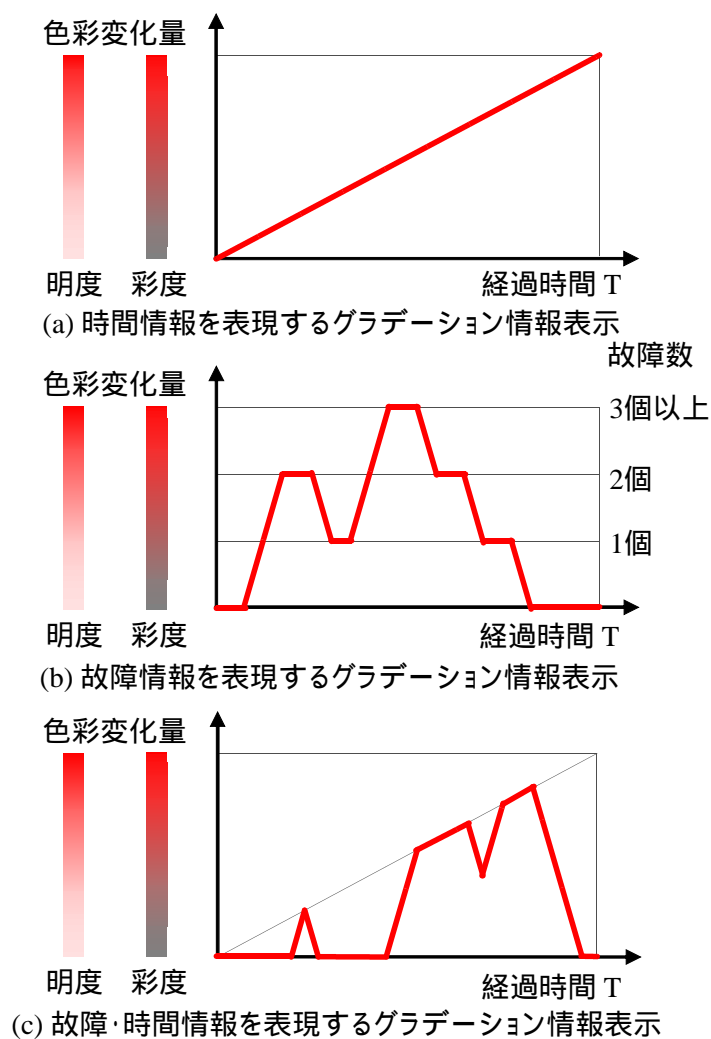


図4-8 3種類のグラデーション情報表示での色彩変化の仕方

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

(c)故障・時間情報を表現するグラデーション情報表示：

故障計器の有無と経過時間を合わせて表現する。故障計器がない場合には色彩は変化しない。故障計器がある場合には、実験時間内にすべての故障計器を検出するというタスクの内容から、時間の経過に対応した変化量により、色彩を変化させた。

なお、(b)故障情報を表現するグラデーション情報表示、および(c)故障・時間情報を表現するグラデーション情報表示において、計器が故障した時の色彩変化の仕方を図 4-9 に示す。つまり、色彩が瞬時に変化するのではなく、計器の故障した瞬間から 5 秒間、等速度で色彩が徐々に変化する。

以上より、上記の 3 種類の情報内容(a)、(b)、(c)を表現するグラデーション情報表示を、それぞれ、4-2-1 で決定した明度変化、彩度変化による色彩変化で表現した。そして、既存の表示情報である警告灯、およびタイムバーを用いた場合を基本条件として、グラデーション情報表示と比較した。このようにして設定した 7 種類の実験条件を図 4-10 に示す。ここで、グラデーション情報表示の適用箇所は、画面上で中央の四角形を取り囲む周辺領域の背景部分とした(図 4-7)。

被験者は 21 歳から 27 歳までの健康な学生男女 10 名で、各条件に対して 3 回ずつ実験を行った。実験中は故障計器の発生時刻、故障計器の検出時刻などの操作ログを記録した。また、各故障計器に対する故障計器の発生時刻、および故障計器の検出時刻から、評価基準として、以下の式に従って検出時間を算出した。

$$\text{検出時間} = \text{故障計器の検出時刻} - \text{故障計器の発生時刻}$$

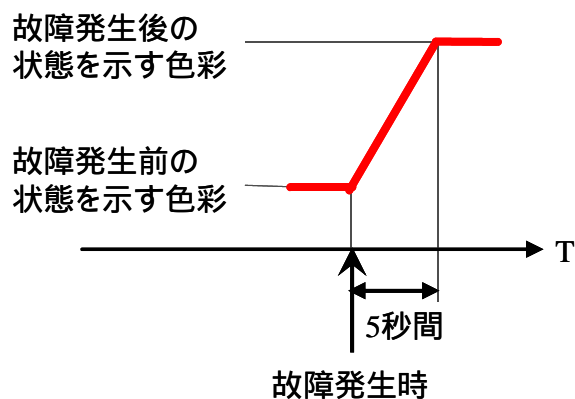
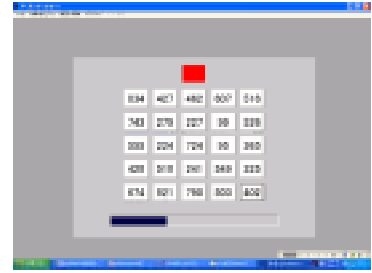


図4-9 故障情報、故障・時間情報を表現するグラデーションの仕方

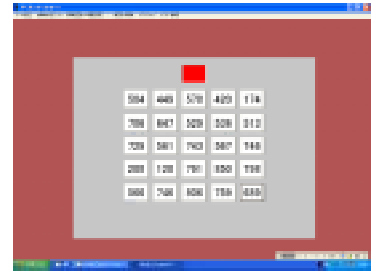
4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

基本条件 故障情報: 警告灯
時間情報: タイムバー



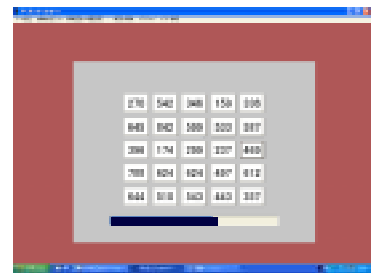
条件A-1 故障情報: 警告灯
時間情報: 時間情報を表現するグラデーション情報表示
(明度変化によるグラデーション)

条件A-2 故障情報: 警告灯
時間情報: 時間情報を表現するグラデーション情報表示
(彩度変化によるグラデーション)



条件B-1 故障情報: 故障情報を表現するグラデーション情報表示
(明度変化によるグラデーション)
時間情報: タイムバー

条件B-2 故障情報: 故障情報を表現するグラデーション情報表示
(彩度変化によるグラデーション)
時間情報: タイムバー



条件C-1 故障情報 } 故障・時間情報を表現する
時間情報 } グラデーション情報表示
(明度変化によるグラデーション)

条件C-2 故障情報 } 故障・時間情報を表現する
時間情報 } グラデーション情報表示
(彩度変化によるグラデーション)

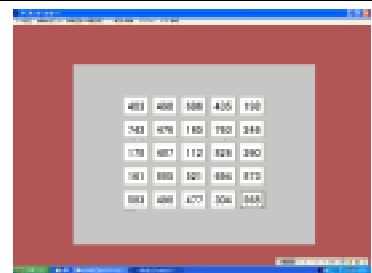


図4-10 実験条件(時間情報と故障情報に対する情報呈示方法)

また、図 4-11 に示すように、角膜反射法⁽¹⁶⁵⁾による測定装置である視線解析装置(アイマークレコーダー)により、視線移動の記録も行った。実験に使用した視線解析装置は、アイマークレコーダー EMR-8B(ナックイマジテクノロジ社製)であった。また、15型のTFT液晶ディスプレイ(SONY製)を使用し、画面の平均鉛直面照度は174.5[lx]であった。さらに、各実験の終了後に、各表示情報に関して、表 4-3 に示す内容のアンケートを行った。アンケート項目は、経過時間の情報に対する感情、故障計器の情報に対する感情、情報受信に対する感情、そして情報呈示方法に対する感情という4種類の観点から作成した。

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

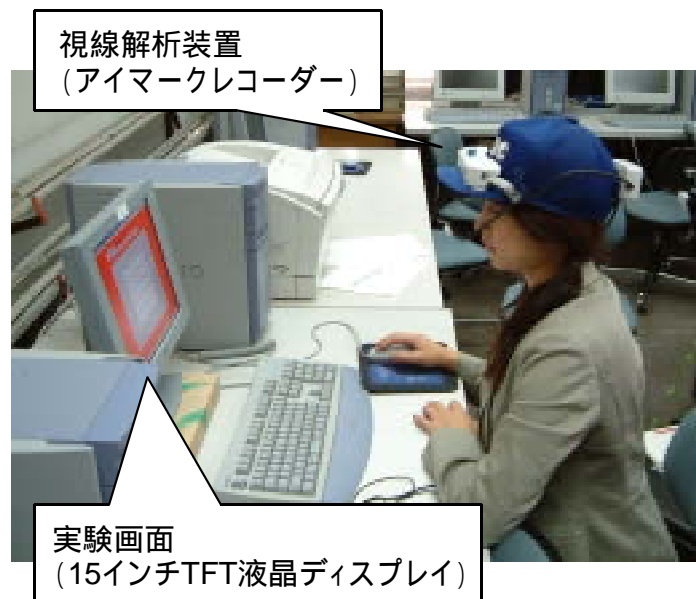


図4-11 実験環境

表4-3 アンケート項目

・経過時間の情報に対する感情	
終了時点を認識しにくい	— 終了時点を認識しやすい
経過時間を認識しにくい	— 経過時間を認識しやすい
・故障計器の情報に対する感情	
計器の故障に気がつきにくい	— 計器の故障に気がつきやすい
故障計器をすべて検出し終えたことに気がつきにくい	— 故障計器をすべて検出し終えたことに気がつきやすい
故障計器の総数を認識しにくい	— 故障計器の総数を認識しやすい
・情報受信に対する感情	
検出作業に対する集中が持続しない(飽きる)	— 検出作業に対する集中が継続する
精神的に疲れる	— 精神的に疲れない
・情報呈示方法に対する感情	
表示情報の変化に焦る	— 表示情報の変化に焦らない
不快に感じる	— 快適に感じる
楽しくない	— 楽しい

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

4-3 実験結果および検討

4-3-1 視線解析による検討

はじめに、アイマークレコーダーにより記録された視線移動の結果から、情報の取得について、基本条件に用いた一般的な表示情報とグラデーション情報表示とを比較する。図 4-12 は警告灯とタイムバーを使用した基本条件で、被験者が故障計器を検出しているときの視線移動と、視線の停留時間を示している。また、図 4-13 は、彩度変化による故障・時間情報を表現するグラデーション情報表示を使用した条件 C-2 での、被験者の視線移動と視線の停留時間を示している。これらの図は共に、計器が 3 個同時に故障してから、被験者がすべての故障計器を検出し終えるまでの、一連の視線移動を示している。

図 4-12 を見ると、故障計器を検出する一方で、頻繁に警告灯やタイムバーへの大きな視線移動が確認される。つまり、警告灯やタイムバーを使用した場合、表示情報の知覚には視線移動を伴い、被験者は能動的に情報を取得する必要があることを示している。これは、被験者が故障計器を検出する度に、まだ故障計器が存在するかを警告灯によって、あるいは、残り時間をタイムバーによって確認しているためである。

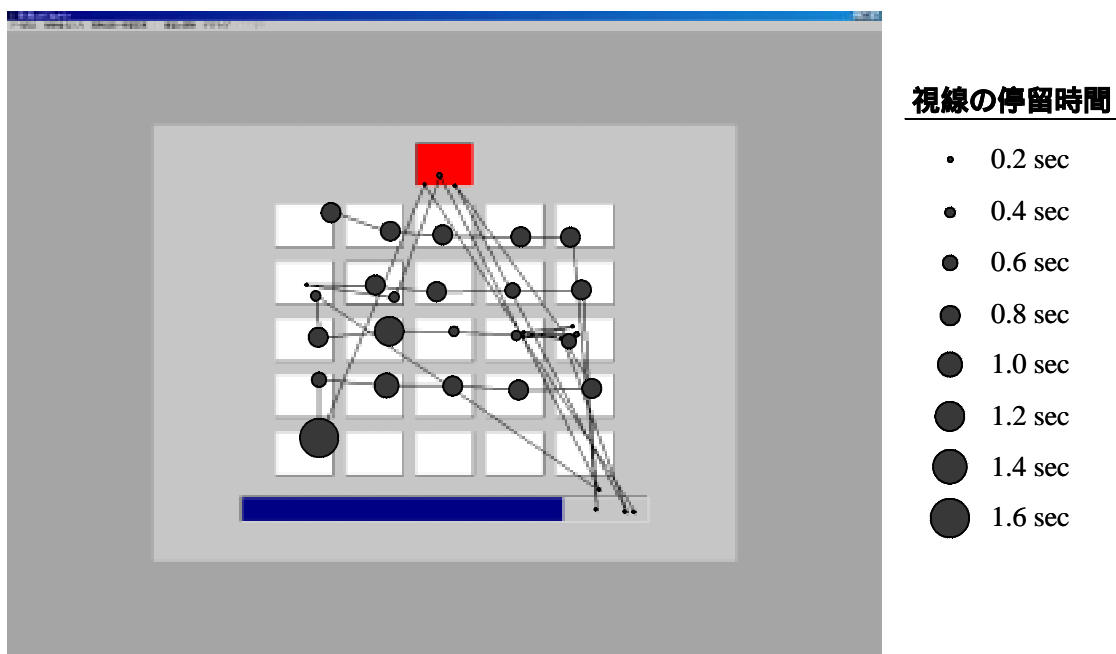


図4-12 基本条件における視線移動と視線の停留時間

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

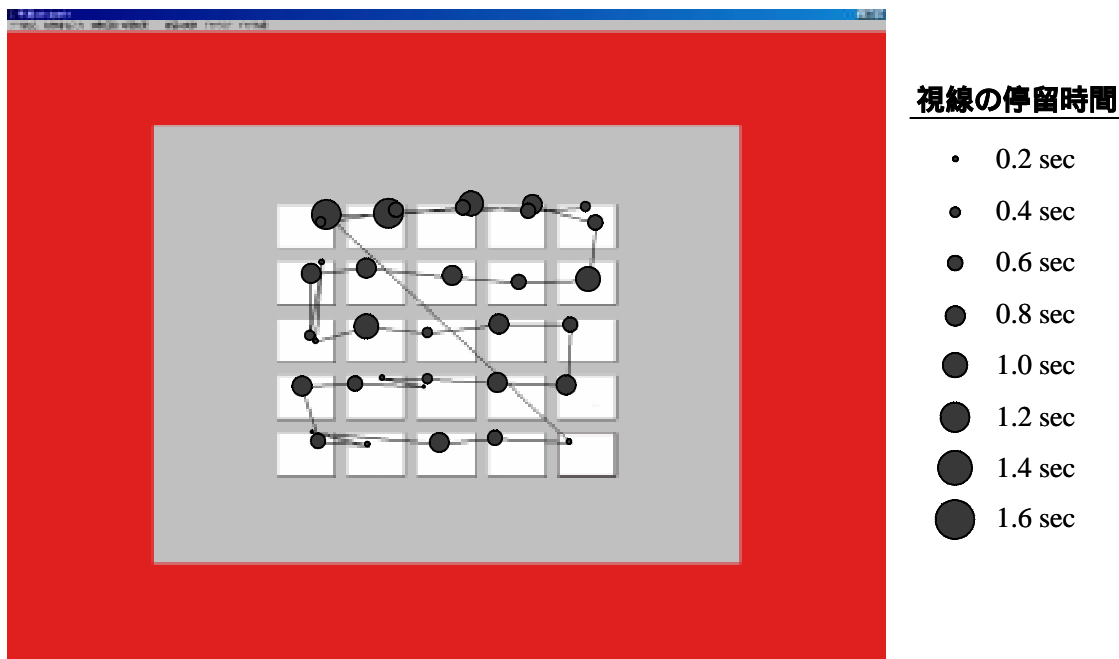


図4-13 グラデーション情報表示を使用した場合(条件C-2)の
視線移動と視線の停留時間

続いて、グラデーション情報表示を使用した場合の視線移動の結果を見る。図 4-13 より、情報が表示されている背景部分への視線移動は見られず、故障計器を連続して検出していることが確認される。つまり、グラデーション情報表示によって情報を受信する場合、被験者は周辺視で表示情報の変化を認識できていると考えられる。この結果から、グラデーション情報表示を用いた場合、被験者は受動的に表示情報の変化を認識し、同時に検出作業に集中することができるという利点を有すると解釈される。

ここで、基本条件における視線移動の結果から、本実験における人間の情報処理の流れは図 4-14 のようになると考えられる。計器が故障して故障情報が変化すると、被験者は故障計器の有無に関する情報を知覚して、故障計器の存在を認識する。続いて、時間情報により、経過時間(残り時間)を確認する。このとき、残り時間が少ないほど被験者は故障計器の検出を急ぐ必要があり、時間情報から判断して故障計器を検出するためのモチベーションを決定する。そして、故障計器の検出を開始する。また、故障計器を一つ検出すると、再び故障情報を確認して、故障計器の有無を認識する。

図 4-14 に示した人間の情報処理の流れを考えると、本実験で表示された 2 種類の情報、すなわち、故障情報と時間情報は次のように解釈される。故障情報が変化すると、被験者は故障計器の検出を開始する。このため、故障情報は

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

被験者に行動を要求する情報と解釈できる。これは、注意を喚起するという、ユーザ受動型情報表示が持つ働きに相当すると考えられる。一方、被験者は、時間情報である経過時間によって故障計器の検出に対するモチベーションを決定する。このため、時間情報は、行動に対する被験者のモチベーションを要求する情報と捉えられる。時間情報は故障計器を検出するために許容されている残り時間を表現するため、システムの詳細な状態を表現する情報である。よって、ユーザ能動型情報表示が持つ働きに相当すると考えられる。

条件 C-2 でグラデーション情報表示を使用した場合の人間の情報処理の流れを、図 4-15 に示す。図 4-13 の視線移動の結果で見たように、グラデーション情報表示を使用した場合は連続して故障計器を検出している。これにより、表示情報の変化を知覚し、行うべき行動を決定するという、知覚段階、思考・判断段階における認知的な負担を軽減していると考えられる。つまり、ユーザ受動型情報表示としての注意喚起と、ユーザ能動型情報表示としてのシステムの詳細な状態を表現するという二つの役割を、効果的に果たしていると思われる。

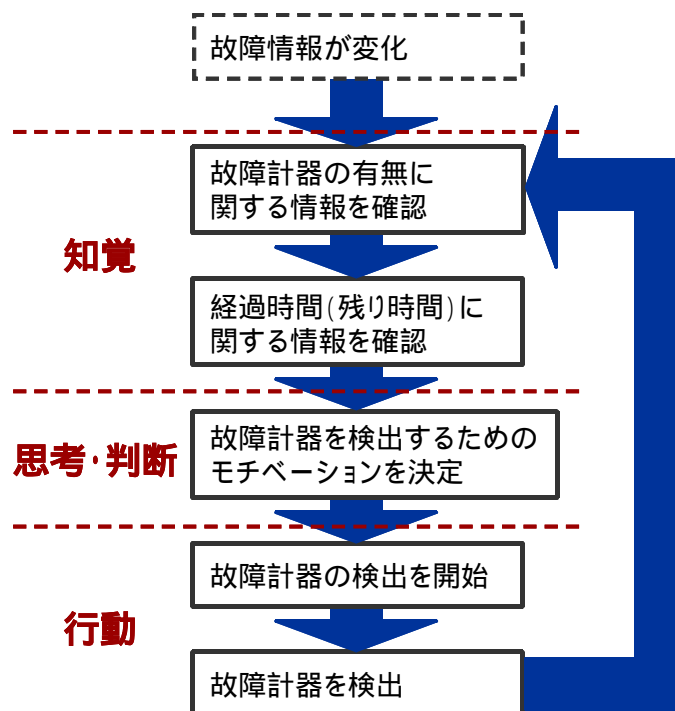


図4-14 本実験における情報処理の流れ

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

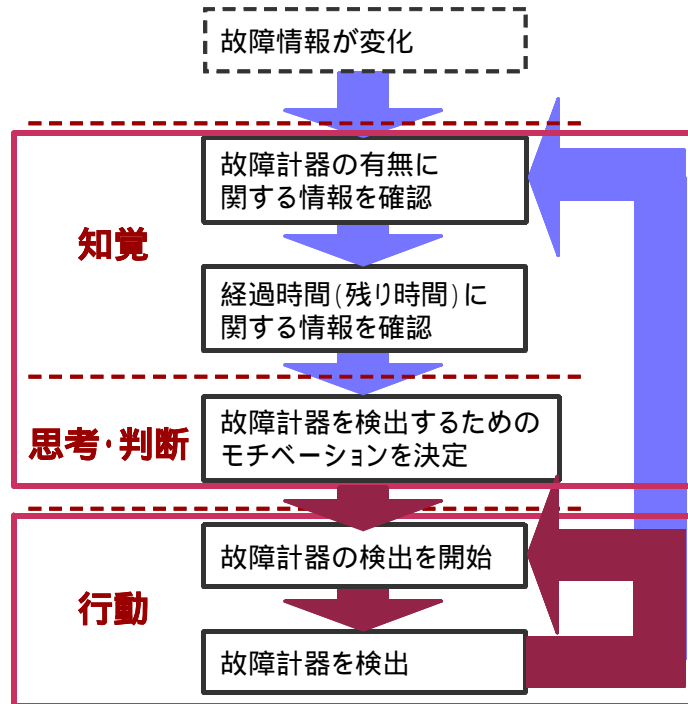


図4-15 グラデーション情報表示を使用した場合(条件C-2)の情報処理の流れ

4-3-2 検出時間及びアンケート結果からの検討(時間情報による検討)

時間情報に関する検討を行うために、基本条件、条件 A-1、条件 A-2 を比較する。これらの条件は、図 4-10 に示したように、故障情報を警告灯で表現する。そして、時間情報をタイムバー、および明度変化、彩度変化により時間情報を表現するグラデーション情報表示によって表現する。

ここで、各被験者の検出時間に関するデータを統合する場合、平均検出時間には大きく個人差があることが確認された。そのため、各被験者に対して標準化した検出時間を算出し、その平均を評価指標とした。図 4-16 に示すのは、4 分間の実験時間に対して、計器が故障した時間帯と、その故障計器に対する標準化検出時間との関係である。また、図 4-17 は、これらの 3 種類の実験条件に対する、アンケートによる主観評価の結果である。

図 4-16 に示した検出時間の結果を見ると、全体的に時間の経過と共に検出時間が短くなっているのが確認される。この傾向は、被験者に要求したタスクの内容によって説明される。本実験において、被験者は実験時間内にすべての故障計器を検出する必要がある。そのため、経過時間の進行につれて、残り時間に対する意識が高まったものと考えられる。この考え方をもとに、行動に対

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

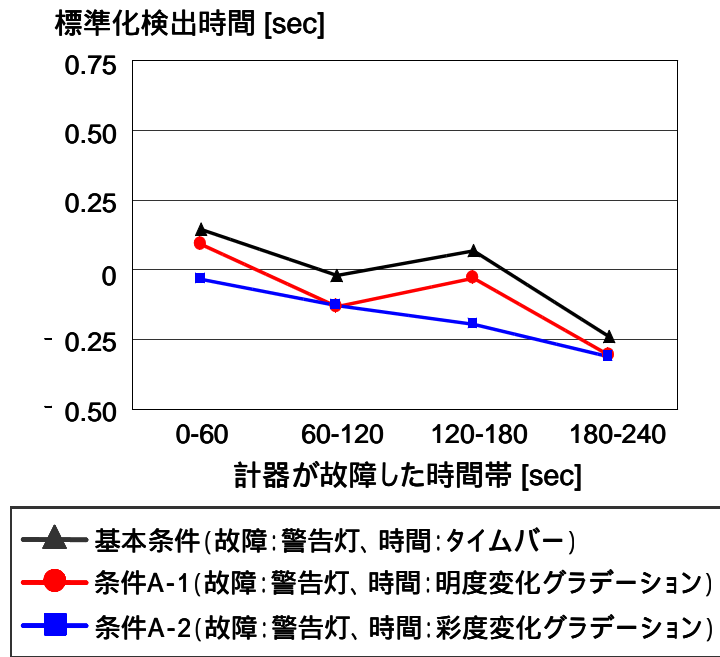


図4-16 基本条件、条件A-1、A-2における計器が故障した時間帯と検出時間の関係

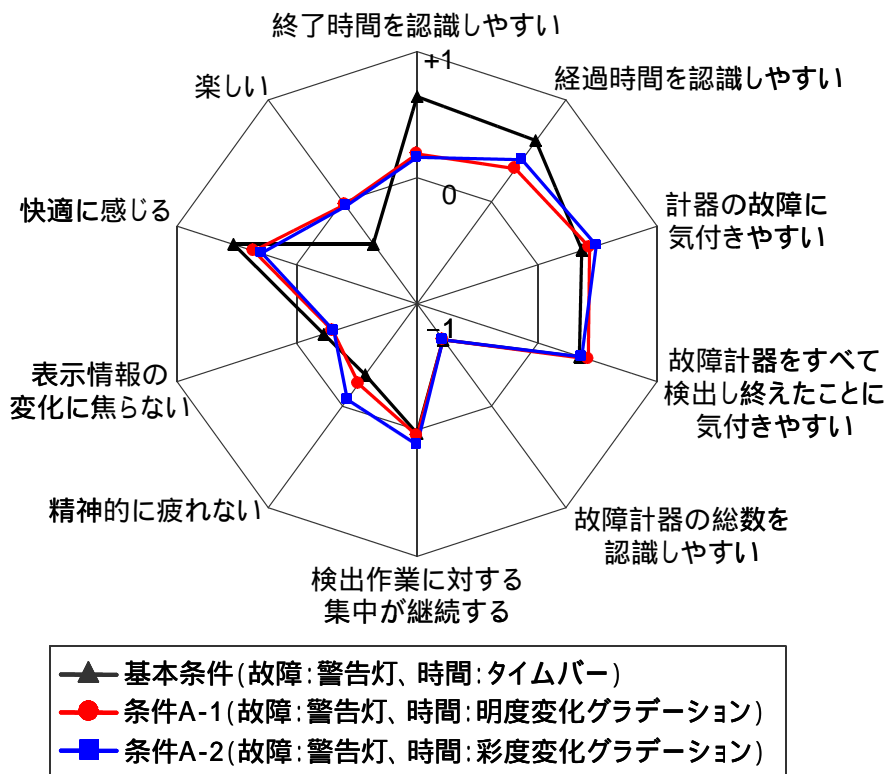


図4-17 基本条件、条件A-1、A-2における主観評価の結果

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

するモチベーションを要求する情報という観点で時間情報を捉えて、検出時間の結果を見る。特に、彩度変化により時間情報を表現するグラデーション情報表示を用いた条件では、検出作業に対するモチベーションを上手くコントロールしていることが確認される。つまり、グラデーション情報表示が、直観的な色彩イメージによって、経過時間に関する適切な情報内容を被験者に与えていると解釈される。

次に、図 4-17 より、「経過時間を認識しやすい」、「終了時間を認識しやすい」の評価項目に見る。これらの項目に対する評価結果より、2 種類のグラデーション情報表示を用いた条件では、被験者は時間情報を明確に認識することが困難であったことが分かる。これは、グラデーション情報表示が連続的な色彩変化により情報内容を表現することから、厳密な時間情報を同定することが難しいためであると解釈できる。しかし、検出時間の結果に見られたように、検出作業に必要な情報は適切に与えていると思われる。

以上の結果より、時間情報のようにシステムの詳細な状態の表現にグラデーション情報表示を利用するためには、色彩イメージの強さと情報内容の程度とを適切に対応させることが重要であると考えられる。

4-3-3 検出時間及びアンケート結果からの検討(故障情報による検討)

故障情報に関する検討を行うために、基本条件、条件 B-1、条件 B-2 を比較する。これらの条件は、図 4-10 に示したように、時間情報をタイムバーで表現する。そして、故障情報を警告灯、および明度変化、彩度変化により故障情報を表現するグラデーション情報表示によって表現する。図 4-18 は、ある計器が故障したときの故障に関する状態、つまり故障計器の総数と、その故障計器に対する標準化検出時間との関係を示している。また、図 4-19 はこれらの三つの実験条件に対する、アンケートによる主観評価の結果である。

被験者に要求したタスクの内容より、故障情報を表現したグラデーション情報表示は、二つの情報内容を表現するものと捉えられる。一つめは、故障計器の総数に応じて色彩の変化量を 3 段階に設定したように、故障計器の総数を表現する情報である。そして、もう一つは、警告灯と同じく故障計器の有無を表現する情報である。このとき、故障情報を、人間に対して行動を要求する情報として捉えると、監視作業におけるユーザ受動型情報表示としては、特に故障計器の有無を表現する情報としての役割が重要になると解釈できる。

はじめに、故障計器の有無を表現する情報という観点から考える。故障計器の総数が 0 個の状態から 1 個の状態へと変化する場合、単純に故障数の変化だ

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

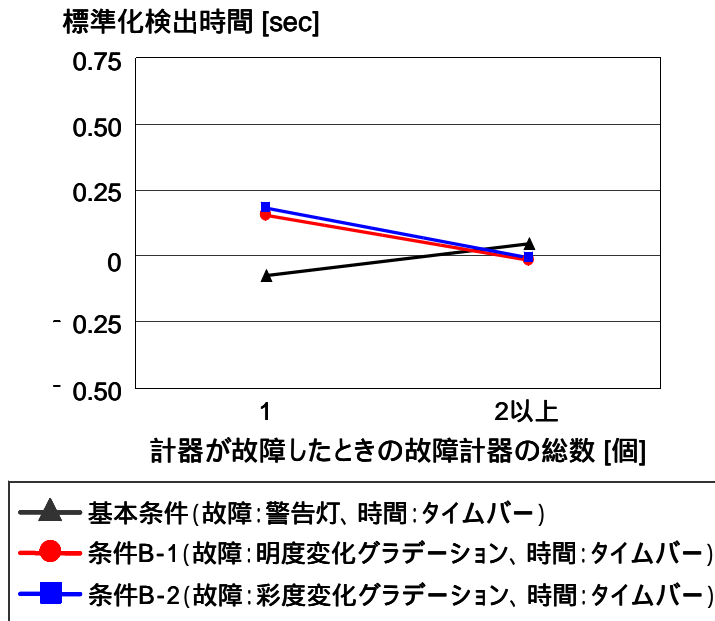


図4-18 基本条件、条件B-1、B-2における計器が故障したときの総故障数と検出時間の関係

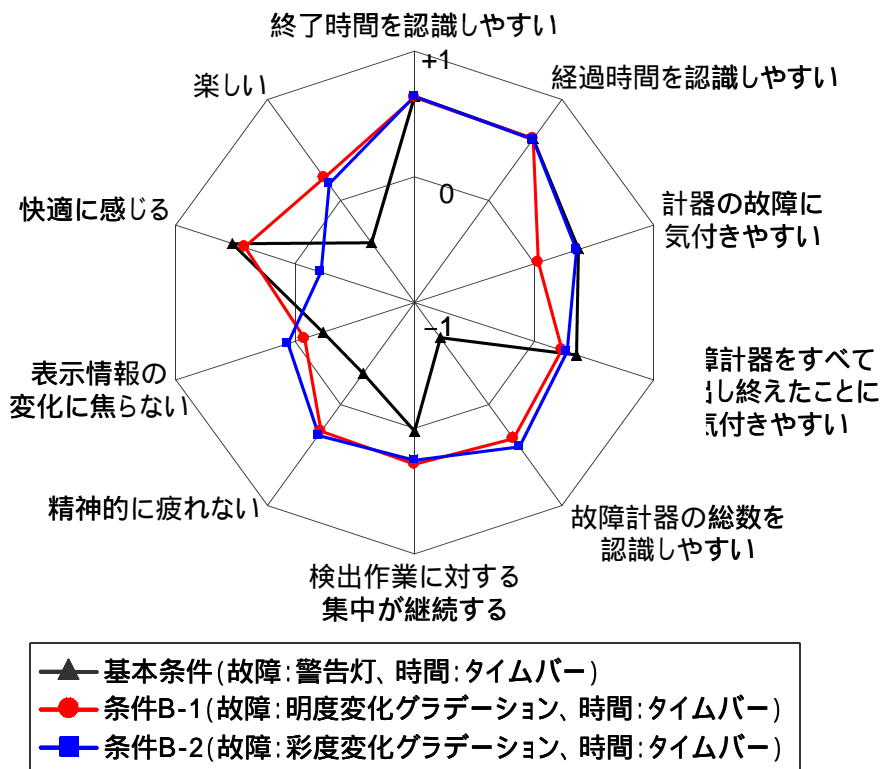


図4-19 基本条件、条件B-1、B-2における主観評価の結果

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

けではなく、故障計器の有無に関する変化を表現することになる。つまり、図 4-18 で、計器が故障したときに総故障数が 1 個の場合がこの状況に相当する。図 4-18 を見ると、グラデーション情報表示を用いた 2 条件では、検出時間が長くなっている。さらに、図 4-19 に示した、「計器の故障に気づきやすい」、「故障計器をすべて検出し終えたことに気づきやすい」の評価項目の結果を見る。これらの項目に対する評価結果より、被験者は、故障計器の有無に関する認識が困難であったことが分かる。これは、故障情報を表現するグラデーション情報表示では、故障計器の総数に応じてグラデーションで変化する色彩の変化量全体を 3 等分したことが原因であると理解できる。つまり、故障計器の有無に関する状況の変化を表現するためには色彩の変化量が不十分であり、故障情報の本来の役割を弱めてしまったと解釈できる。したがって、行動を要求する情報など、システムの状況変化に関する重要な情報に関しては、人間の注意を喚起するために、十分に知覚可能な刺激となる色彩の変化量が必要になると考えられる。

次に、故障計器の総数を表現する情報という観点から考える。故障情報を表現するグラデーション情報表示では、故障計器の有無に加えて、3 段階に設定した色彩の変化量により、故障計器の総数を表現する。このとき、図 4-19 に示した「故障計器の総数を認識しやすい」の評価項目に対する結果から、被験者は故障計器の総数を認識できたことが確認される。故障計器の総数のような量的データを表現する場合、デジタル表示やアナログ表示などのユーザ能動型情報表示による表現が一般的である。しかし、表示情報を読み取るためには、本実験で使用した警告灯やタイムバー以上に、情報が表示された場所を注視する必要があると思われる。そのため、視線移動、および視線の停留時間が長くなり、さらにパフォーマンスの低下を招くことが予想される。これに対してグラデーション情報表示では、故障計器が複数ある場合、図 4-13 で確認されたように、被験者は視線を移動せずに連続して故障計器を検出することができる。この結果、図 4-18 に示されるように、故障計器の総数が 2 個以上の場合には、検出時間が短くなる傾向にある。これに対して、基本条件では、故障計器を検出する度に視線移動によって警告灯を確認する必要がある。このため、故障計器の総数が 2 個以上の場合には、1 個の場合に比べて検出時間が長くなっている。これらの結果から、グラデーション情報表示によって故障計器の総数のような量的なデータを表現する場合、視線移動の軽減によって情報受信に対する負担を減らすと思われる。その結果、行動に対する意思決定や最終的なパフォーマンスを高める可能性が期待できる。

最後に、情報受信に対する感情に関する評価項目である、「検出作業に対す

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

る集中が継続する」、「精神的に疲れない」の結果から、グラデーション情報表示による心理面への影響について検討する。これらの項目の評価結果を見ると、故障情報を表現するグラデーション情報表示では評価が高くなっている。さらに、先ほどの時間情報を表現するグラデーション情報表示の場合よりも、その傾向が強いことが分かる。つまり、状況の変化に応じて被験者に行動を要求するような情報を表現する場合、グラデーション情報表示は、情報受信時における人間の精神的な負担を大きく軽減すると解釈できる。

一方で、故障情報を表現するグラデーション情報表示では故障計器の状態に応じて色彩が変化するため、時間情報を表現するグラデーション情報表示の場合に比べると色彩が変化する頻度が高いと考えられる。このため、色彩の動的なグラデーションに対して被験者が不快感を抱く場合があると思われる。特に、図 4-19 に示した「快適に感じる」の評価結果より、低彩度の色彩を使用した彩度変化によるグラデーション情報表示では、色彩変化に対して、被験者が不快感を抱いていることが確認される。このように、システムの状態を表現する情報としてグラデーション情報表示を使用する場合、グラデーションに使用する色彩には不快感を抱く色彩の使用を避けることが望ましい。

以上より、人間が行った操作に対するフィードバック情報をもとにして、行うべき行動を決定する場合、グラデーション情報表示は、視線を移動せずに周辺視で表示情報の変化を知覚、認識することを可能にする。その結果として、最終的な行動であるパフォーマンスを高めるという点で有効であると考えられる。特に、情報受信に対する精神的な負担を軽減する効果が期待される。一方で、状況の変化により行動を要求する場合には、情報内容の程度と色彩の変化量とをそのまま対応させるだけでは不十分である。つまり、要求する行動の重要性や許容される時間等を考慮して色彩の変化量を設定する必要がある。

4-3-4 検出時間及びアンケート結果からの検討(故障・時間情報による検討)

最後に、明度変化、彩度変化により故障・時間情報を表現するグラデーション情報表示をした条件(条件 C-1、C-2)と基本条件との3条件の結果を比較する。図 4-20 は、時間情報に関して検討した場合と同様に、計器が故障した時間帯と、その故障計器に対する標準化検出時間との関係を示している。また、図 4-21 は、これらの3種類の実験条件に対するアンケートの結果である。

故障・時間情報を表現するグラデーション情報表示では、時間情報と故障情報を同時に表現している。このとき、本実験で被験者に要求したタスクの内容を考えると、故障計器の有無を表現することが特に重要な役割であると言える。

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

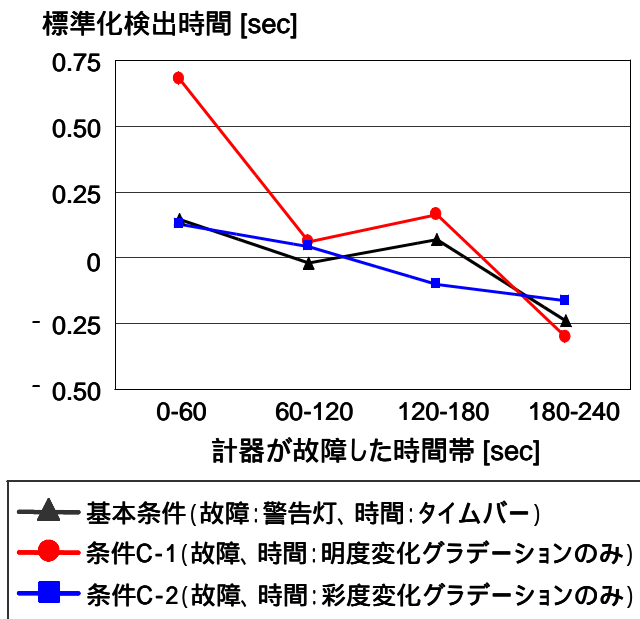


図4-20 基本条件、条件C-1、C-2における計器が故障した時間帯と検出時間の関係

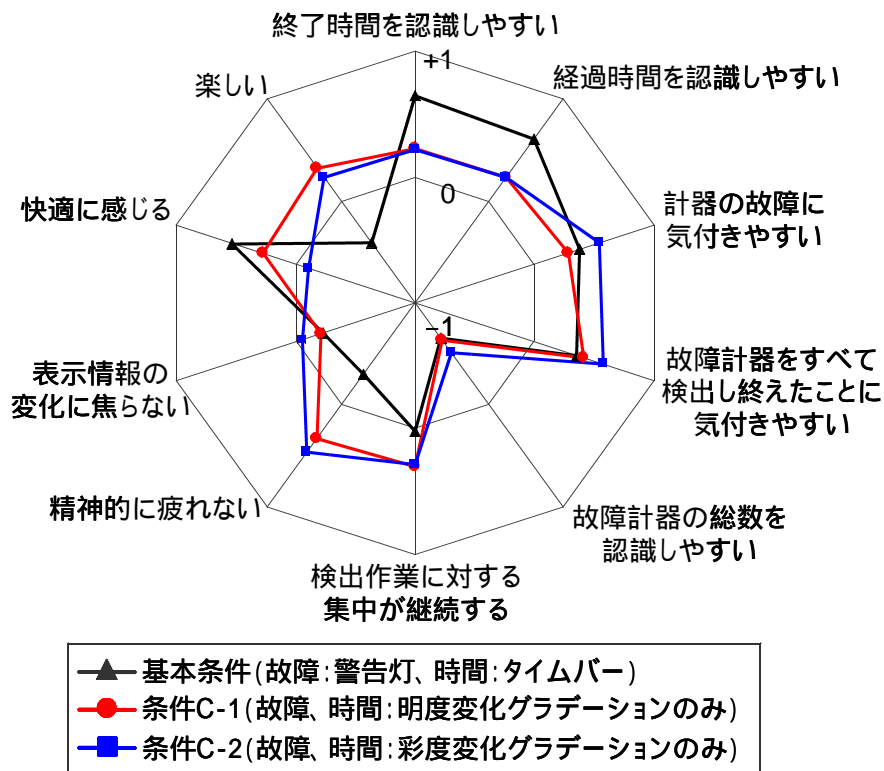


図4-21 基本条件、条件C-1、C-2における主観評価の結果

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

一方、時間情報に関しては、被験者の注意を喚起するための刺激となる色彩の変化量が経過時間に応じて異なっている。これは、実験時間内にすべての故障計器を検出するというタスクの内容から、時間の経過とともに、故障計器に対する重みが増していると考えたことに因る。そのため、計器が故障した時間帯によって表示情報の特徴が変化すると解釈できる。

図 4-20 を見ると、明度変化によるグラデーション情報表示を使用した条件では、0 ~ 60 秒の時間帯で検出時間が大きく遅れている。グラデーション情報表示は、経過時間に応じて色彩の変化量が決定されている。そのため、この時間帯では、故障計器の有無を表現する色彩の変化量が不十分であり、被験者は状況の変化を認識するのが困難であったと考えられる。つまり、故障情報を表現したグラデーション情報表示の場合と、同様の問題点として理解される。

一方、彩度変化によるグラデーション情報表示では、このような傾向が見られない。その理由として、グラデーションの過程で使用した色彩の問題が挙げられる。明度変化では、色みを持つ有彩色の範囲内で色彩が変化する。これに対して、彩度変化では、故障計器の総数が 0 の状態を色みのない無彩色で表現し、計器が故障すると有彩色に変化する。よって、被験者は故障の有無に関する状況の変化を認識しやすかったと考えられる。このように、人間の知覚能力を考慮すると、知覚上の基準として無彩色を利用することが有効であると解釈できる。

その他の時間帯での検出時間を見ると、故障・時間情報を表現するグラデーション情報表示は、基本条件に劣らない結果となっている。このため、情報呈示方法として十分に機能していると思われる。すなわち、故障計器の有無と経過時間という異なる情報を、色彩変化という 1 次元の情報で同時に表現できていると捉えることができる。このようにして、グラデーション情報表示によって複数の異なる数種類の情報を同時に表現する場合、表示する情報内容の特徴や重要性、および人間に要求する行動を考慮することが重要であると考えられる。

グラデーション情報表示によって 2 種類の情報内容を同時に表現できることによる効果は、検出時間の結果には見られなかった。しかし、図 4-21 を見ると、「検出作業に対する集中が継続する」、「精神的に疲れない」の評価項目で高い評価となっている。このようにして、2 種類の情報内容を同時に表現することは、情報受信に対する知覚、思考・判断上の負担、そして、特に精神的な負担を大きく軽減することが期待できる。

4-4 まとめ

本章では、監視作業における、システムの異常に対する思考・判断の支援として、グラデーション情報表示が表現できる情報内容の可能性に着目した。ここでは、特に、特徴の異なる情報内容に対してグラデーション情報表示を適用した。そして、監視・検出型の VDT 作業を対象とした実験を行い、その特徴を既存の表示情報と比較、検討した。その結果、グラデーション情報表示について、次のような特徴が得られた。

第一に、監視画面上の周辺領域である背景部分の色彩を動的に変化させるグラデーション情報表示では、人間は周辺視によって表示情報の変化を認識できる。それにより、検出作業などの行動をしながら、必要な情報内容を把握し、行うべき行動を決定することが可能になる。特に、自分が行った操作のフィードバック情報をもとに、行うべき行動を決定する場合に効果的である。また、表示情報の変化を周辺視によって受動的に認識できることは、システムの情報内容に対する思考・判断を支援するだけでなく、精神的な負担を軽減するという効果が大きい。

第二に、色彩のグラデーションによる表示情報の変化から、情報内容を正確に把握するためには、色彩イメージの強さと情報内容の程度とを適切に対応させる必要がある。ただし、人間に対して行動を要求するための注意喚起が必要な場合には、単純に対応させるだけではなく、表示情報の変化を知覚できるだけの十分な刺激が必要となる。このため、色彩の変化量や変化の速度を適切に設定する必要がある。

第三に、色彩の動的なグラデーションは連続的に色彩が変化するため、2章で見られた基準の境界のように、厳密な意味での情報内容を認識することは困難である。しかし、色彩イメージと情報内容とを適切に対応させることで、色彩イメージによって人間が行うべき行動のモチベーションを決定できるという特徴を持つ。この特徴により、最終的な行動に対して必要な情報に関しては、十分な情報内容を表現し、認識させることが可能であると考えられる。

第四に、色彩の変化によって人間に行動を要求する場合、グラデーション情報表示で用いる色彩に無彩色を使用することが、表示情報の変化に対する知覚上の基準として有効である。ただし、彩度の低い色彩は、明度の低い濁色と同様に人間に対して不快感を与える可能性がある。このため、情動への影響について配慮する必要がある。

第五に、グラデーション情報表示では、複数の異なる情報内容を同時に表現できる可能性が高い。このとき、各情報内容の特徴を考慮した上で、最終的な

4. グラデーション情報表示による情報表現に関する検討

行動に結びつけて情報内容を統合し、色彩の変化として表現することが重要である。

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

前章までは、システムの監視作業における幅広い概念での人間のアウェアネスを高める情報呈示方法として、グラデーション情報表示を提案し、その特徴を実験的に検討してきた。

本章では、それらの特徴を踏まえ、グラデーション情報表示を現実場面に適用する際のガイドラインの提案を図る。

はじめに、種々の実験を通して得られたグラデーション情報表示の特徴を整理する。次に、作業内容の認知レベルによって人間行動を分類した SRK モデルをもとに、システムの監視作業に対してグラデーション情報表示を利用するためのガイドラインを提案する。さらに、提案したガイドラインに基づき、現実場面への適用可能性について検討する。

5-1 実験から得られたグラデーション情報表示に関する特徴

本研究では、既存のユーザ受動型情報表示が持つ役割を維持し、監視制御全体の流れにおける作業者の作業支援が期待される情報呈示方法として、グラデーション情報表示を提案した。

監視制御システムにおける自動制御時から手動介入時への流れを考えたとき、ユーザ受動型情報表示に求められる最も重要な役割は作業者に異常の発生を報せることである。このときに、表示情報の変化を十分な刺激として作業者に対して与えることが、作業者にとって適切な注意を喚起させる。

その一方、システムの異常状態の発生という事実は、作業者に対して精神的な負担をかける。特に、迅速な行動を要求するような表示は、緊張や焦りを生じさせやすく、状況認識などの思考・判断を阻害する要因となりえる。このような点を両立させるよう、グラデーション情報表示の設計においても配慮しなくてはならない。すなわち、(1)強い注意喚起、(2)異常に対する思考・判断の支援、(3)過度な精神的負担への配慮という、三つの面を満足してはいなくてはならない。ちなみに、既存のユーザ受動型情報表示は、これら3つの面をいずれも十分に満足させてはいない。

ここでは、以上の三つの観点により、グラデーション情報表示が有する特徴について、本研究で得られた知見をまとめる。

(1) 強い注意喚起という観点からの特徴

強い注意喚起を行うためには、異常になったことをより鋭敏に知覚できるように、表示情報の単位時間あたりの変化を大きくさせることが望ましい。グラデーション情報表示では、これは色彩変化量の時間微分値に相当する。

しかしながら、グラデーション情報表示は、監視画面上の背景部分の色彩を徐々に変化させる形態をとっている。そのため、警報音などの既存のユーザ受動型情報表示より、単位時間あたりの刺激が弱くなってしまふ。したがって、その刺激の弱さを補うために、知覚可能な色彩の変化量および変化の速さを与える必要がある。

また、グラデーション情報表示を適用する背景部分の面積や、使用する色彩のイメージの強さも、刺激の強さに関連する要因と十分考えられる。したがって、色彩を変化させる面積を大きくし、色彩イメージを強くすることも、注意喚起を高める一つの方策になると期待される。

さらに、グラデーション情報表示は、連続的な情報内容を表現することもできる。したがって、システムの異常に関する兆候情報を扱える。このことが、単に異常の発生のみならず、異常内容のアウトラインをも作業者に同時に与える。すなわち、作業者はシステムの異常に対する高度なアウェアネスを早い段階で得ることができ、より時間的および精神的余裕を持った状態で、次の行動へ進むことができる。

(2) 異常に対する思考・判断の支援という観点からの特徴

システムの異常に対する思考・判断の支援として、グラデーション情報表示に対して考慮すべき要件は、システムの詳細な状態を表現することである。従来の表示情報としては、ユーザ能動型情報表示がこの役割を担っている。デジタル表示やアナログ表示などの既存のユーザ能動型情報表示は、目盛りなどの数値を表示することで正確な情報内容を表現し、作業者に認識させることを可能にしている。

これに対して、グラデーション情報表示は、直観的な色彩イメージの変化により情報内容を表現する。このため、既存のユーザ能動型情報表示と比べた場合、表示情報に対する積極的注意を要求しないという利点を持つ。その一方で、詳細な情報を呈示することは難しい。この欠点のある程度補うためには、色彩イメージが鍵となる。つまり、色彩イメージの強さと情報内容の程度とを適切に対応させることが、作業者の状況判断を支援することにつながる。

4-1 で検討したように、本研究では色彩から受ける印象の強さを実験的に評

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

価し、その結果から明度変化、彩度変化というグラデーション情報表示における色彩変化の仕方を決定した。具体的には、色彩の印象の強さが増加する方向を考慮し、明度や彩度などの色彩を表現する要素と情報内容の程度とを比例関係で対応させた。また、状況の特殊性が明らかな場合には、色彩イメージに関する特性を調査、整備することで、状況に関する情報に即した色彩変化を提供することもできよう。

さらに、対応操作までも踏まえると、作業者が行うべき対応操作の迅速性や要求精度などを考慮に加え、色彩の変化量や、色彩を変化させるタイミングを決めることが望ましい。

上述したように、グラデーション情報表示は、色彩イメージによって情報内容をある程度表現することができる。したがって、システムの異常内容の同定といった、作業者の思考・判断を支援する機能を持つことができる。

これに加えて、グラデーション情報表示によるユーザ受動型情報表示としての特徴が、特定の情報の検出とシステム全体の状況判断を同時に処理することができる。視線解析による検討で見られたように、グラデーション情報表示を利用した場合、人間は周辺視によってシステムの状態に関する表示情報の変化を認識することができる。このため、故障計器の検出を続けながら、システム状態の全体把握をすることもできる。その結果、行動の決定に関わる思考・判断を迅速に行うことを助ける。特に、自分が行った操作に対するフィードバック情報をもとに次の行動を決定する場合に効果的である。

また、異常の兆候情報を表現することは、作業者に対して時間的な余裕を与える。そのことが、結果として思考・判断に対する支援として機能していると考えられる。加えて、表示情報の変化を周辺視によって受動的に受信できるよう、グラデーション情報表示を適用する背景部分の面積や、色彩イメージの強さを適切に設定する必要がある。

ただし、グラデーション情報表示では、システムの異常を表現する境界が曖昧である。そのため、“すでに異常になっている”状態を“異常になりかけている”状態であると、誤認識してしまい、対応が遅れる恐れがある。したがって、重大なトラブルにつながる恐れが高い機器に関しては、異常状態に陥っていることを素早く作業者に知らせる表示を盛り込むなどの工夫が必要である。

(3) 過度な精神的負担への配慮という観点からの特徴

刺激の強さは、注意喚起にとっては望ましいが、過度の刺激は作業者に精神的負担を与える。既存のユーザ受動型情報表示のように、突然異常を知らせる

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

ような仕組みは、このような精神的負担を作業者に与える。

一方、グラデーション情報表示では、状態の変化を色彩の変化によって表現している。したがって、色彩の変化を調整することにより、作業者に与える刺激を調整することが可能である。つまり、適切な注意喚起を与える最小限の変化量を設定することで、作業者への精神的負担を抑制させることができる。

また、グラデーション情報表示特有の問題がある。それは、色彩の変化がもたらす不快感、違和感という心理的影響である。これらは、つぎの二つの配慮を施すことで緩和することができる。一つは、グラデーションの過程で色彩イメージを連続的に変動させ、色彩変化に対してイメージの混乱などの違和感を抱かせないことである。システムの状態を適切に表現するためには、表現する情報内容の程度と色彩イメージの強さを適切に対応させる必要があり、この点は必然的に改善される。二つめは、グラデーションの過程を含め、作業者に不快感を与える色彩が出現しないようにすることである。特に、明度の低い色彩や彩度の低い色彩は、その色彩自身が不快感を与える。このため、グラデーションの過程にこれらの色彩を使用した場合、情動へ影響を与え、不適切な思考・判断を誘発する可能性がある。したがって、明度の高い淡色を利用すべきである。

5-2 グラデーション情報表示の仕様と特徴との影響関係

5-1 で整理したグラデーション情報表示の特徴を、グラデーションにおける色彩の変化量、色彩変化の速さなどのグラデーション情報表示の仕様にもとづいて検討する。ここで、グラデーション情報表示の特徴より、次の二つの働きが対応していると考えられる。一つ目は、強い注意喚起と精神的負担への配慮である。二つ目は、異常に対する思考・判断の支援と精神的負担への配慮である。そこで、これらの二つの観点から話を進める。

(1) 強い注意喚起と精神的負担への配慮という観点からの特徴

はじめに、表示情報の変化に対する強い注意喚起に関するグラデーション情報表示の特徴と、過度な精神的負担への配慮に関する特徴について考える。5-1 で検討した内容より、これらの特徴とグラデーション情報表示の仕様との関係をまとめたものが図 5-1 になる。

既存のユーザ受動型情報表示のように、異常状態に対する作業者の注意を喚起するためには、表示情報の動的な変化が必要となる。グラデーション情報表示についても同様に、注意喚起のためには刺激となるだけの動的な変化が必要

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

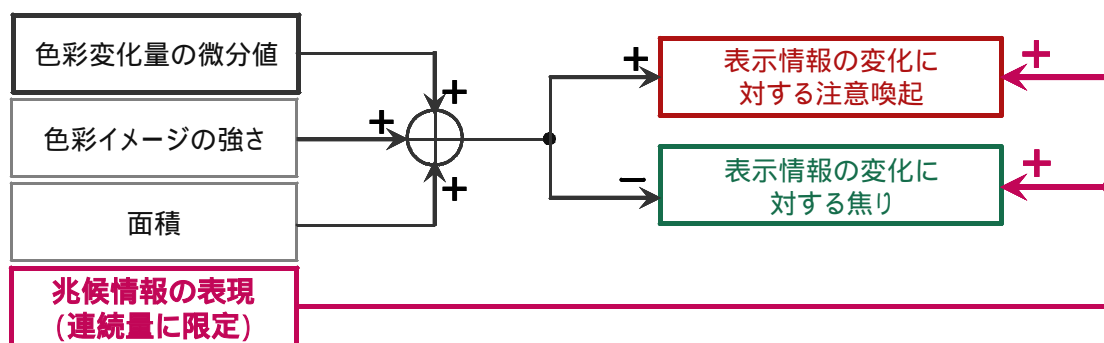


図5-1 適切な注意喚起と精神的負担への配慮という観点から見た
グラデーション情報表示の仕様と特徴との関係

となる。よって、色彩の変化量、色彩が変化する速さが十分に必要になる。つまり、色彩の変化量の時間微分値が高いほど、表示情報の変化に対する注意喚起が高くなる。また、グラデーションに使用する色彩のイメージの強さ、監視画面上の背景部分でグラデーション情報表示を適用する領域の面積も、それぞれを大きくすることで注意喚起を高める。

これに対して、作業者の注意喚起を高めるようにグラデーション情報表示の仕様を決めることは、表示情報の変化としての刺激を強める。刺激の強さは表示情報の変化に対する焦りを生む。したがって、グラデーション情報表示を利用する環境において、作業者に要求される注意喚起と、配慮すべき精神的負担を考慮して、両者のバランスによりグラデーション情報表示の仕様を決定する必要がある。

情報内容の変化が連続的であれば、グラデーション情報表示の持つ大きな特徴として、システムの異常に対する兆候情報を表現することが、両者に対して有効に作用する。兆候情報を表現することは、早めに作業者の注意を喚起することになり、余裕を持って異常状態に対処できる。一方、兆候情報によって時間的に余裕を持って対応操作を行えることが、精神的負担を軽減することにつながる。これにより、強い注意喚起と過度な精神的負担への配慮を両立させることが可能になる。

(2) 異常に対する思考・判断の支援と精神的負担への配慮という観点からの特徴

異常に対する思考・判断を支援するためのシステムの状態表現と、表示情報の変動が気になるという精神的負担への配慮という特徴について考える。5-1

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

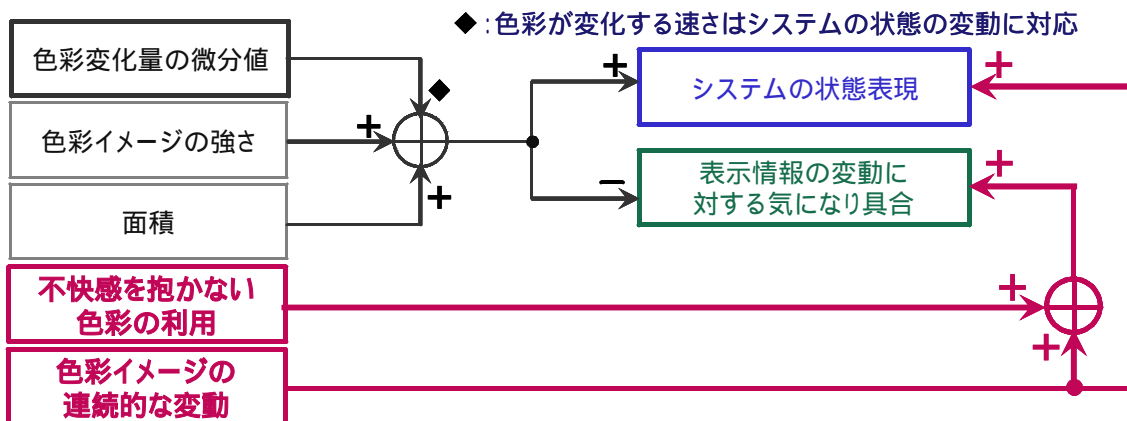


図5-2 異常に対する思考・判断の支援と精神的負担への配慮という観点から見たグラデーション情報表示の仕様と特徴との関係

で検討した内容より、これらの特徴とグラデーション情報表示の仕様との関係をまとめたものが図 5-2 になる。

注意喚起の場合と同様に、システムの状態表現に対しては、グラデーションにおける色彩変化量の時間微分値が影響してくる。色彩が変化する速さは、システムの状態の変動に対応させることが重要であり、動的な情報内容の変化を表現することができる。その結果、グラデーション情報表示によって、作業者はシステムの状態を適切に把握することができる。

また、グラデーション情報表示を利用した場合、作業者は周辺視で情報内容の変化を認識することができる。特に、行動しながら思考・判断するような場面では、背景色から受けるイメージが強い方が情報内容を知覚しやすくなり、迅速な判断を行える。つまり、色彩イメージの強さ、面積の大きさが認知的側面の思考・判断段階への働きに影響すると予想される。

一方で、色彩の変化が作業者に与える不快感を除去させるためには、適切な色彩の適用、さらには変化のなめらかさなどが効果的である。

このように、グラデーション情報表示は仕様を変更することで、それに伴う特徴も変わってくる。図 5-3 に示すように、監視作業全体としての流れを見ると、既存のユーザ受動型情報表示、ユーザ能動型情報表示は異なる役割を担う。ユーザ受動型情報表示は、システムの異常状態に対して作業者の注意を喚起する。一方で、ユーザ能動型情報表示は、システムの異常に関する詳細な情報内容を表現する。グラデーション情報表示は、その特徴をうまく用いることで、これらの既存の表示情報が持つ役割を同時に表現することが可能である。さら

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

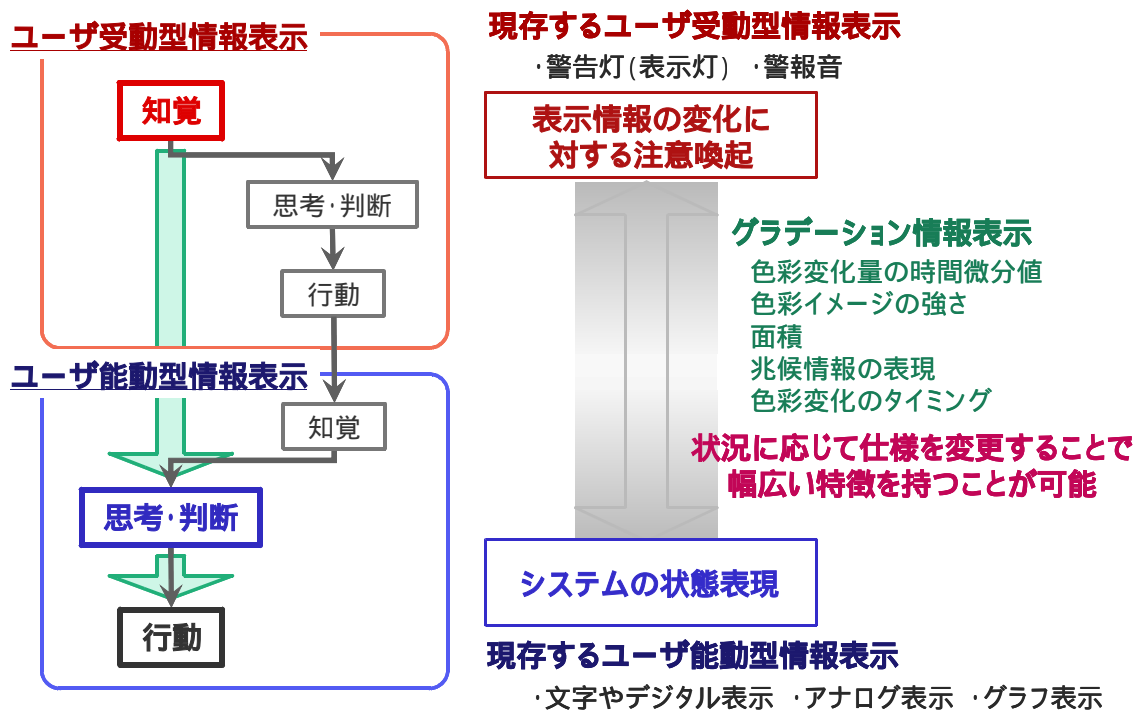


図5-3 監視作業におけるグラデーション情報表示の特徴

に、状況に応じてその仕様を変更することで、注意喚起とシステムの状態表現という二つの役割のバランスを変えて、幅広い特徴を持つことができる。

5-3 作業内容のSRKモデルに基づくガイドラインの提案

グラデーション情報表示の特徴を効果的に活かすためには、グラデーション情報表示を使用する状況、つまり、監視作業を行う作業員や作業内容について検討する必要がある。ここでは、監視作業における状況を作業内容の認知レベルとして捉え、システムの監視作業に対してグラデーション情報表示を利用するためのガイドラインを考える。

5-3-1 SRKモデル

作業内容の認知レベルに関しては、1-3-1 に先述したように、Rasmussen が提唱した人間行動を分類する SRK モデルがある^{(57),(58)}。図 5-4 に SRK モデルを再掲する。図 5-4 に示されるように、SRK モデルは次の三つのカテゴリーから構成され、人間の思考・判断のレベルを分析する際に有効である。

- ・スキルベース (skill based) : 行動パターンとして意識しないで実行される行動

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

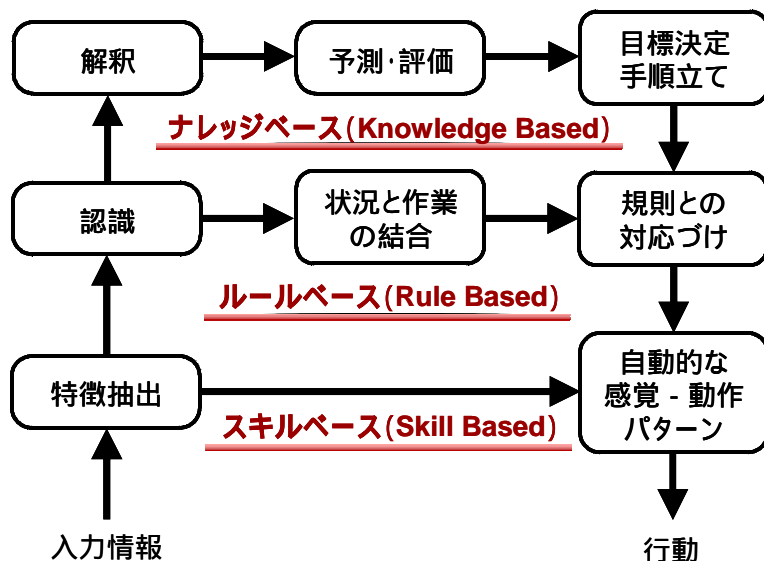


図5-4 SRKモデル

である。例えば、変化するものを目で追従することや、簡単な組み立て作業での手の動かし方などがそれに該当する。注意や制御といった作業者が意識した思考プロセスではなく、熟練した作業であるとも言える。

- ・ルールベース (rule based) : 教育や訓練などを通じて培ったルール (例えば作業手順) に基づいて実行される行動である。そのルールを用いた意図形成を行っている点がスキルベースとは異なるが、その境界は判別しにくい。

- ・ナレッジベース (knowledge based) : 過去に経験がない、あるいはほとんど経験がないといった不慣れな状況などにおける、試行錯誤や状況の理解、効果の予測などを実行する行動である。簡単に言えば、与えられた情報を基に考えをめぐらし、答えを模索して行動を決定するという、思考・判断を伴う行動と言える。特に、熟練度の低い作業員では、この行動が大勢を占める。

SRK モデルに関しては、同じ作業であっても、作業員の熟練度や経験が増すにつれ、ルールベース、スキルベースへと行動が変わっていく。なお、このモデルはあくまでも行動の特徴をつかむためのカテゴリーを示すものにすぎず、ナレッジベースが望ましくなく、スキルベースが望ましいといったことを意味するものではない。

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

5-3-2 SRKモデルによるグラデーション情報表示利用のためのガイドライン

ここでは、監視作業における作業内容を SRK モデルによる分類をもとに捉え、(1)表示情報に期待される役割、(2)役割を果たすグラデーション情報表示の使い方(仕様の決定)、(3)グラデーション情報表示による情報処理上の効果、という三つの流れによって、グラデーション情報表示利用のための指針を提言していく。また、グラデーション情報表示の仕様としては、実験で得られた特徴により、以下の7つを挙げる。

色彩の変化量

グラデーションの色彩変化における開始の色彩と終了の色彩との変化量

色彩変化の速さ

グラデーションが変化する速さ

色彩変化量の時間微分値

色彩の変化量を時間で微分した値であり、色彩の変化量が大きく、色彩変化の速さが速いほど大きくなる

グラデーション情報表示を適用する背景部分の面積

グラデーション情報表示を適用する背景部分の面積の大きさ

色彩変化における最終的な色彩のイメージの強さ

グラデーションの色彩変化における終了の色彩に対するイメージの強さ

色彩を変化させるタイミング

兆候情報の表現によって生まれる時間的な余裕の長さを決定する、色彩を変化させるタイミング

色彩イメージと情報内容との対応

グラデーション情報表示によってシステムの詳細な状態を表現するために、色彩イメージの強さと情報内容の程度とをどの程度厳密に対応させるか

ここで、1-3-2 で示した、動的な意思決定におけるシチュエーション・アウェアネスのモデル(図 1-7)をもとに、システムの監視作業における作業者のアウェアネスに影響する要因をまとめる(図 5-5)。このとき、作業者のアウェアネスの度合いは、シチュエーション・アウェアネスの3段階のレベルに対応させると、

レベル1：システムの状態の切替りを知覚

レベル2：システムの現在の状態を理解

レベル3：システムのその後の状態(状態の変動)を推定

として捉えることができる。作業者に要求されるアウェアネスのレベルも、SRK

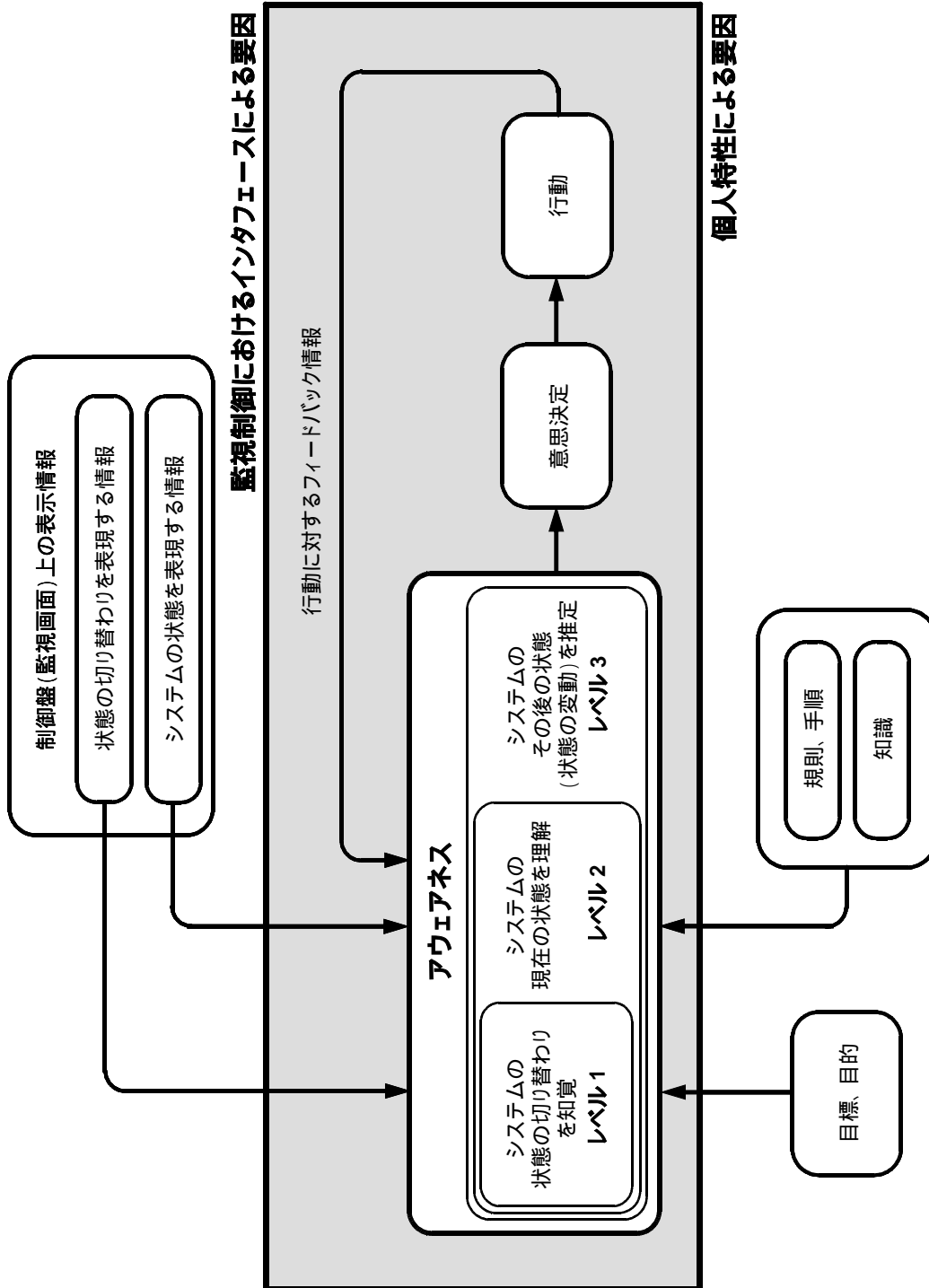


図5-5 システムの状態に対するアウェアネス

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

モデルの行動レベルに応じて変化する。さらに、要求されるアウェアネスのレベルに応じて、監視画面上の表示情報に求められる役割も変わってくる。そこで、グラデーション情報表示の利用ガイドラインを提言するにあたり、図 5-5 のような作業者のアウェアネスの概念も検討に加える。

(A) ナレッジベースの行動に対するガイドライン

(1)表示情報に期待される役割

ナレッジベースの行動では、情報内容を解釈して作業者自身が行う操作の効果を予測し、操作のフィードバック情報をも評価した上で、次に行うべき行動を決定することが重要である。したがって、表示情報に期待される役割は、システムの状態表現を主としたものになる。

(2)役割を果たすグラデーション情報表示の使い方

色彩を変化させるタイミング

ナレッジベースの行動では、現在のシステムの状態を正確に把握し、その後の変動を予測するなど、複雑な思考・判断を要求される。これは、思考・判断に要する時間が長いことを意味する。したがって、推論・解釈といった思考を早い段階で始められるように、僅かな兆候の段階から表示を行うことが望ましい。

ただし、実際には、兆候段階で、その作業がナレッジベースになるかルールベースになるかは不定である。したがって、その情報の変化の特異性、つまり、非日常性を基準として、設定することが現実的であろう。

色彩イメージと情報内容との対応

システムの状態を表現するために最も重要な要件は、色彩イメージの強さと情報内容の程度を適切に対応させることである。特に、ナレッジベースの行動では複雑な思考・判断を伴うために、システムの状態を詳細に表現し、適切な状況認識を支援することが望まれる。状況に応じては、色彩イメージの強さと情報内容の程度とを厳密に対応づけさせることも必要である。

色彩の変化量

色彩変化の速さ

色彩変化量の時間微分値

ナレッジベースの行動に対しては、兆候情報をより早い時点から与えることが望まれる。したがって、システムの異常の程度に対応した色彩の変化が表現

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

されれば十分であり、単位時間あたりの変化を大きくする必要はない。

グラデーション情報表示を適用する背景部分の面積

色彩変化における最終的な色彩のイメージの強さ

注意喚起のための刺激を生むこれらの要因は、ナレッジベースの行動では特に必要ではない。むしろ、不適切な思考・判断をもたらす情動への影響を配慮し、色彩変化の速さとともに、過度な刺激は避けるべきである。

(3)グラデーション情報表示による情報処理上の効果

グラデーション情報表示の動的な色彩イメージによって、システムの状態を適切に表現できることで、作業者は以下のような効果を期待することができる。まず、直観的な色彩イメージによって、システムの状態、およびその変動を把握することが可能になる。その結果、システムの現状把握だけでなく、その後、のシステム変動の予測をも支援することができる。

さらに、グラデーション情報表示では、周辺視によって受動的に情報内容を認識できる。そのため、対応操作を行いながら、システムの状態の変動を認識することも可能となる。

(B) ルールベースの行動に対するガイドライン

(1)表示情報に期待される役割

ルールベースの行動では、情報内容を認識し、作業者自身が持つ規則と対応づけて、行うべき操作を決定する。言い換えれば、作業者はシステムの現在の状態を的確に認識し、迅速に規則と対応づけることができれば、適切な手順を選択し、実行することができる。したがって、ルールベースの作業に対して、表示情報に期待される役割は、異常後の迅速かつ的確な状況把握の支援である。つまり、異常になる時点をわかりやすくさせ、異常になったと同時に対応を開始できるようにすることが望ましい。そのためには、システム状態への注意喚起を高めることも必要である。

再掲にはなるが、兆候段階で、その作業がナレッジベースになるかルールベースになるかは不定である。したがって、その情報の変化の特異性を基準として、このパラメータの変化はそれほど特異ではない場合には、本設定で行うことが現実的であろう。

(2)役割を果たすグラデーション情報表示の使い方

色彩を変化させるタイミング

異常状態に備えた準備を行う意味で、異常の兆候を知らせることは有効である。しかし、あまりに早い兆候情報の提供は、ルールの選択ミスなどを引き起こす可能性がある。したがって、ある程度、兆候が明らかになってきた時点より呈示する方がよい。

色彩イメージと情報内容との対応

システムの状態を表現するためには、ナレッジベースの場合と同様に、色彩イメージの強さと情報内容の程度を適切に対応させる必要がある。ただし、ルールベースの行動では手順立てて操作が行われるため、システムの状態の変化はナレッジベースの場合ほど複雑ではなく、単調な変化であることが多い。このため、グラデーション情報表示は、システムの状態を詳細に表現するというより、異常状態になるまでの時間的な変動を表現できれば十分である。

色彩の変化量

色彩変化の速さ

色彩変化量の時間微分値

ナレッジベースほど、思考・判断に有する時間は必要ないので、ナレッジベースほど緩やかな変化にする必要はない。逆に注意喚起を高め、兆候表示開始後の注意の遅れを予防し、迅速な対応につなげるような配慮が望ましい。

グラデーション情報表示を適用する背景部分の面積

色彩変化における最終的な色彩のイメージの強さ

手順的に操作を進めるため、次の手順を行う際の基準を色彩で表現することが望まれる。たとえば、状態の切替りを、十分な刺激となるだけのイメージの強い色彩で表現するなどである。

(3)グラデーション情報表示による情報処理上の効果

ルールベースの作業に対して、システムの状態表現と作業者の注意喚起の役割を実現することで、手順的に行う作業を円滑に進めることが期待できる。つまり、作業者が行った操作のフィードバック情報を含めて、システムの状態の変動、およびその状態の切り替わりを受動的な立場で認識できる。これにより、状況認識に対する作業者の認知的および精神的な負担を軽減できると考えられる。さらには、その後の意思決定、行動を円滑に進めることができる。

補足として、ルールベースの行動では、手順的な操作のため手順実行の基準を表示させることが望ましい。特に、厳密な状態の切替えを確認する必要がある場合には、他の表示情報をグラデーション情報表示に加える必要がある。

(C) スキルベースの行動に対するガイドライン

スキルベースの行動では、注意や制御など作業者が意識した思考プロセスがないため、入力情報に大きく依存することになる。これに基づき、スキルベースの作業内容に対するガイドラインを以下のように提言する。

(1)表示情報に要求される役割

スキルベースの作業では、システムの状態を詳しく把握するという思考・判断はあまり関係ない。このため、グラデーション情報表示によって、システムの詳細な状態を表現するという役割はそれほど重要ではない。むしろ、作業者に対して行動を要求するような状況の変化を表現することが重要であり、注意喚起の役割が必要となる。

(2)役割を果たすグラデーション情報表示の使い方

色彩の変化量

色彩変化の速さ

色彩変化量の時間微分値

グラデーション情報表示を適用する背景部分の面積

色彩変化における最終的な色彩のイメージの強さ

これらの仕様は、作業者の注意を喚起するための刺激となる要因である。スキルベースの行動では作業者の注意を確実に喚起することが要求されるため、刺激を強めるようにグラデーション情報表示の仕様を決定することが望ましい。しかし、過剰な刺激の強さは既存のユーザ受動型情報表示が抱える、表示情報の変化に対する焦りを生み出す。したがって、精神的負担への配慮を含めて、適切な注意喚起が行えるようにこれらの仕様を決定する必要がある。

色彩を変化させるタイミング

スキルベースの行動では条件反射的に行動するため、時間的余裕をもたらす兆候情報の表現は必要ない。つまり、グラデーション情報表示が色彩変化に要する時間のみを考慮して、色彩を変化させるタイミングを決定すればよい。

色彩イメージと情報内容との対応

兆候情報は必要なく、色彩が変化する速さも速いため、色彩イメージの強さと情報内容の程度との対応はそれほど要求されない。ただし、色彩が変化するにつれて、色彩イメージを強くする必要はある。

(3)グラデーション情報表示による情報処理上の効果

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

スキルベースの作業において作業者に行動を要求する場合、単純に注意喚起という観点から見れば、確実に注意を喚起できる警報音などの既存のユーザ受動型情報表示の方で十分であるかもしれない。しかし、グラデーション情報表示を使用した場合、表示情報の変化に対する注意喚起の役割を維持しつつ、情動への影響も緩和することができる。したがって、その情報の示す重篤性、すなわちトラブルへの波及性など考慮して、既存のユーザ受動型表示との選択を図ることが望ましい。

5-3-3 システムの異常状態におけるグラデーション情報表示利用のためのガイドライン

5-3-2 では、自動制御時に表示情報を確認するといった単純な作業を含めて、SRK モデルの行動レベルに応じて、監視作業全般に対する基本的なガイドラインを提言した。しかし、監視作業の中で、表示機器などのインタフェースに特に要求されるのは、手動介入ということを含めた異常状態での作業に対する支援である。そこで、システムの異常検出から対応操作に至る流れに対する、グラデーション情報表示の効果について検討する。

監視作業における異常同定作業は、ルールベース、あるいはナレッジベースの行動として捉えることができる（図 5-6）。このとき、ルールベースとナレッジベースの行動の違いは、作業者自身が持つ規則、手順などに対する選定の仕方にある。ルールベースの行動では、作業者自身が既に持ち合わせているルールをそのまま用いて、適切なルールを選定し、意思決定を経て行動が実行される。これに対してナレッジベースの行動では、不慣れな状況において試行錯誤的に行動が実行される。よって、作業者自身が持つルールを整合する必要があり、その上で整合されたルールの選定、意思決定、そして行動へと続くことになる。

次に、これらの行動に対するグラデーション情報表示の使い方を考える。ルールベースの作業では、作業者自身がルールに基づいて意図形成できるため、ルールを選定し、意思決定するための時間を十分に与えればよいと考えられる。つまり、異常の兆候について、「あとどのくらいで異常に対する操作が要求される」とか、「システムの状態が急激に悪化している」といった、時間的な変化をグラデーション情報表示によって表現することで、十分な効果が期待できる。これにより、作業者は時間的および精神的に余裕を持って、行うべき操作に対する意思決定を行うことができる。

一方、ナレッジベースの作業では、ルールの整合という過程が加わるため、

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

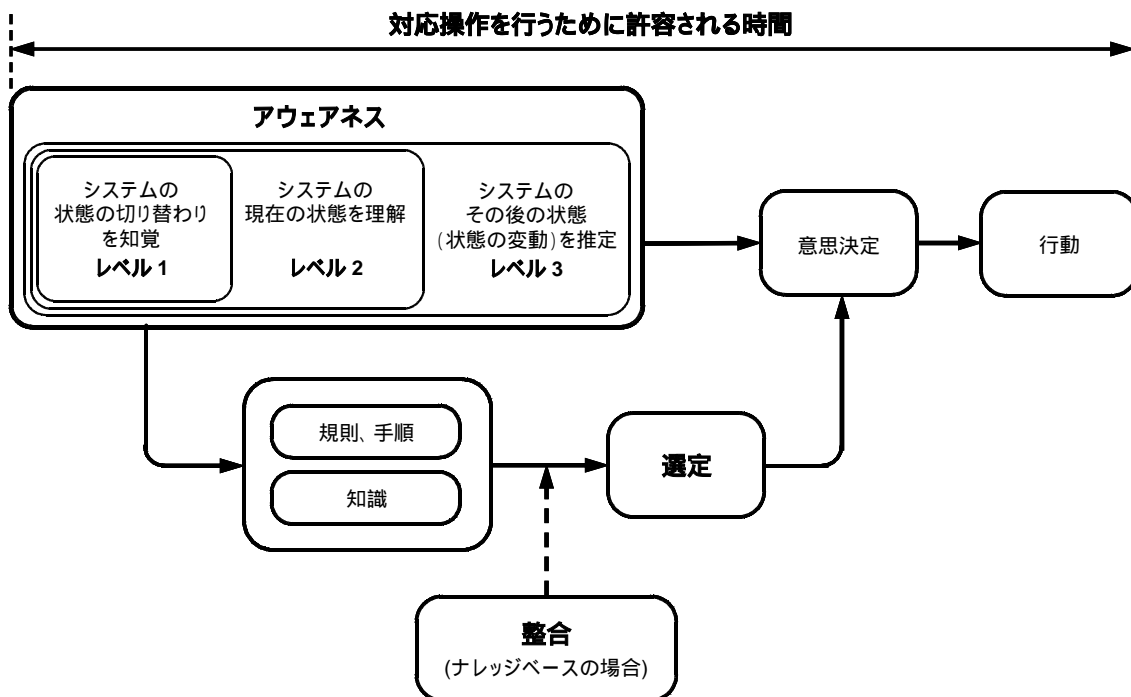


図5-6 監視制御の異常状態におけるルールベース、ナレッジベースの行動の流れ

さらに複雑な思考プロセスとなる。したがって、一つの策としては、ルールベースの作業に対するよりも、時間的な余裕を長くすることが考えられる。さらに、作業者が行うルールの整合を支援できるように、異常の程度や機器の故障情報などの詳細な状態の内容を表現できることが望ましい。そのため、表現する情報内容に応じてグラデーションに使用する色彩を変えたり、監視画面上の特定の箇所にグラデーション情報表示を適用したりするなど、グラデーション情報表示のパターンを変えるといった方策が考えられる。

異常を検出してから対応する操作を行うまでに時間的な余裕が与えられない場合、作業者は誤った規則、手順を短絡的に選定したり、不十分な整合を行ったりすることになる。したがって、適切なグラデーション情報表示を用いれば、ヒューマンエラーの防止も期待できる。

5-3-4 作業への習熟度を高めるためのグラデーション情報表示の利用可能性

ここまで提言してきた SRK モデルに基づくガイドラインは、基本的に熟練者に対してのガイドラインであると考えられる。すなわち、熟練者であれば、

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

監視制御に対して必要な知識やルールといったものは既に兼ね備えていると考えられ、ナレッジベースの行動がルールベース、スキルベースへと変わっていくことはあまりない。

一方で、監視制御に対して熟練度の低い場合、監視制御に必要な知識やルールを持ち合わせていないため、多くの行動がナレッジベースとなる。しかし、それらは作業に対する熟練度に応じて、ルールベース、そしてスキルベースへと変わっていく。したがって、グラデーション情報表示が持つ役割である、注意喚起とシステムの状態表現という特徴を上手く利用することで、作業への習熟度を高めることができると考えられる。

また、作業者が行った操作によってシステムの状態が悪化するような場面においても、フィードバック情報をグラデーション情報表示することで、より速いリカバリーを実現できる可能性がある。このようなグラデーション情報表示の使い方は、ヒューマンエラー防止策としても期待される。

5-4 グラデーション情報表示の現実場面への応用可能性

SRK モデルにより、作業内容の認知レベルから作成したガイドラインに従って、現実の監視作業への適用可能性を検討する。対象作業としては、原子力発電プラントにおける起動作業を選んだ。作業内容から SRK モデルにおけるカテゴリーを考慮して、グラデーション情報表示の使用方針、期待される効果という観点から適用可能性について議論する。

図 5-7 に BWR プラントの起動曲線例を示す⁽¹⁶⁶⁾。図 5-7 のように、プラントの起動作業では、種々の機器を起動し、機器の変動を確認しながら順序立てて起動操作を行う。このとき、各機器の変動は単調なため、ある程度予測可能であるが、外気温などの状態によって温度の上昇率などが多少変動する。また、機器の状態がある一定の条件に達した時点で、次の機器の起動を開始するといったことも要求される。

このような作業内容を考慮すると、予測可能な状態の変動に伴う手順的な操作であると考えられるため、ルールベースの作業内容であると捉えられる。したがって、グラデーション情報表示に期待される役割は、次の 2 点となる。一つめは、機器の変動の様子を認識するためにシステムの詳細な状態を表現することである。二つめは、手順的に機器を起動することから、その基準となる状態の境界を知らせるために作業者の注意を喚起することである。具体的には、各機器を起動し、規定された状態になるまでの各主要パラメータの変動を、グラデーション情報表示によって表現することになる。

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

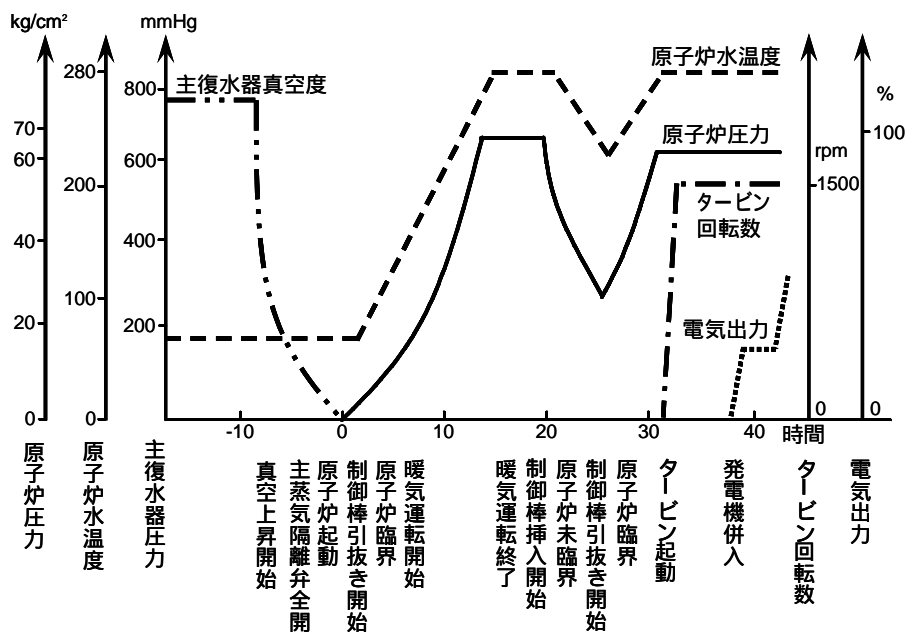


図5-7 BWRプラントの起動曲線(例)

プラントの起動作業では、複数の機器が同時に変動している。各機器の状態をグラデーション情報表示することで、複数の危機の状態を把握することも支援可能であり、手順的な作業の進行を円滑にすることが期待できる。

ここでは、状態の切り替わりまでの変動の様子を表現することが重要である。特に、ある機器が規定された状態になることが、次の機器の起動の開始の前提条件であるので、各機器の状態表示を明確に示すことは、手順の円滑な遂行にとって欠かせない要件である。したがって、機器の起動操作に要する時間と状態表示の明確さを踏まえ、グラデーションの色彩変化量、色彩変化のタイミング、適用する色彩を決定する必要がある。

また、プラントの起動作業では、規定された状態を数値で確認することが求められる。したがって、グラデーション情報表示にデジタル表示などを付加させるなども考慮しなくてはならない。

5. グラデーション情報表示の利用ガイドライン

5-5 まとめ

本章では、前章までの実験により得られたグラデーション情報表示に関する特徴をもとに、グラデーション情報表示を監視作業に利用するためのガイドラインを示した。

グラデーション情報表示は幅広い特徴を持ち、監視作業における情報呈示方法として利用するためには、状況に応じた使い分けが重要である。そのことにより、より作業効率の向上、ヒューマンエラーの抑制、作業者の心的快適性の向上など、種々のヒューマンファクター上の効果を実現することができる。

そのためには、各作業現場の特性はもちろん、作業者の特性をも踏まえた、より詳細な情報収集が必要であるが、そのことがより実用性の高いグラデーション情報表示の提供につながると考える。

6. 結論

発電プラント、交通管制、ビル管理システムなど、高度に情報化されたシステムでは、そのシステムの状態を示す情報を監視する作業の重要性が高まっている。このような監視制御を行っているシステムでは、ユーザの Awareness を高めるようなヒューマン・マシン・インタフェースの導入が望まれる。

本研究では、システムの監視状態から手動介入操作に移行するような状況を対象とし、人間の Awareness および行動を支援する情報呈示方法についての検討を行った。システムにおいて、自動制御機構では対応できないような異常が発生した時に、作業者は手動介入して適切な対応操作を行う。この過程においては、異常を知らせる表示が重要な役割を担う。この役割は、単に作業者に異常が発生したことを知らせる注意喚起だけではなく、異常が起こりそうであるという兆候情報、さらには異常内容の質に関する情報を示すことである。さらに、作業者に過度な精神的負担を与えないことも要件となる。これらの点を踏まえ、従来の警報・アナウンサーといったユーザに注意を向けさせる表示情報(ユーザ受動型表示)に対し、画面の背景色を動的にグラデーション変化させる“グラデーション情報表示法”を本研究では提案した。

簡単な監視作業を対象として実験を行ったところ、異常の兆候をユーザに与える機能を持つグラデーション情報表示は、既存の表示情報(警報、警告音)と比較して、異常状態に対する注意喚起の役割も十分に果たしていることが確認された。しかしながら、表示に用いる色彩や、色彩変化のパターン、さらには色彩の変化の速度などにより、ユーザビリティ上の効果に影響を与えることが分かった。そこで、いくつかの実験を通じ、グラデーション情報表示を利用する際の要件や留意点を検討した。

適用する色彩に関しては、ユーザに不快感を与えない色彩を利用することが必要である。さらに、ユーザに与えるイメージをもとに決定することが重要であり、ユーザが抱くイメージが連続的に変化するように色彩変化のパターンを設定しなくてはならない。また、このように、ユーザが抱く色彩イメージの強さを考慮することで、兆候の度合いを表現することも可能となる。このことが、ユーザの異常検出や異常同定を支援することにつながる。

色彩の変化のタイミングを早めることは、ユーザへの注意喚起を早めることにつながり、その効果は大きい。しかし、変化を早めることは、注意を散漫にさせる危険性もあるので、作業内容に応じて、適度なタイミングを設定することが望ましい。特に、作業における認知レベル、すなわち、スキルベース、ル

6. 結論

ールベース、ナレッジベースという三つの段階に応じて、変化の速度を決定することが、作業者の認知的負担を軽減することに効果を発揮する。

グラデーション情報表示は、本来の詳細な表示情報のユーザビリティを損なうことなく、ユーザへの注意喚起、さらには概略的な状況把握を周辺視によって実現できるという特徴を有する。このことは、これまでの表示方法にはない点であり、上述した表示仕様に関する要件をデザイン時に適切に組み込むことで、ユーザの作業支援、特に異常同定から対応決定に至る過程の支援を図ることができる。ただし、種々の実作業への応用を考えた場合、各作業環境の特性に応じ、表示内容や文脈性をも考慮したデザインとすることが望ましい。

人間機械系における、人間と機械との接点であるヒューマン・マシン・インタフェースの設計においては、ユーザ中心設計、すなわち、使う人間の立場や視点に立って設計を行うことが重要である。本研究で提案した、グラデーション情報表示は、監視作業におけるユーザの様々な負担を軽減するだけでなく、快適性をも増すことが期待できる方法であり、ユーザ中心設計を満足させている。このことは、監視作業のみならず、他の作業における情報表示方法としての可能性をも示唆している。

ヒューマンファクター的検討が望まれる分野が広がる現在、ヒューマンエラーの防止やユーザビリティの向上など、作業改善が望まれる種々のフィールドにおいて、グラデーション情報表示がひとつの有効な具体的解決策となるよう、その汎用性を含めた検討を行っていくことが、今後の課題といえよう。

参考文献

- (1) 林喜男, 大川雅司, 井口雅一: 人間・機械システムの設計, 人間と技術者, 1971.
- (2) 林喜男他: 人間工学, 日本規格協会, 1981.
- (3) 林喜男, 行待武生他: 人間工学, 日本規格協会, 1987.
- (4) Jordan, N: Allocations of functions between man and machine in automated systems. *J. of Applied Psychology*, 47, 161-165, 1963.
- (5) Sheridan, T. B.: *Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control*, The MIT Press, 1992.
- (6) Sheridan, T. B., and Verplank, W. L.: *Human and Computer Control of Undersea Teleoperators*, MIT, 1978.
- (7) 岡田有策: ヒューマンファクターズ概論 - 人間と機械の調和を目指して, 慶應義塾大学出版会, 2005.
- (8) 古田一雄: プロセス認知工学, 海文堂出版, 1998.
- (9) Sheridan, T. B.: Supervisory control. In Salvendy, G. (Ed.), *Handbook of Human Factors*, Chap. 9.6, 1243-1268. New York: John Wiley & Sons, 1987.
- (10) Sheridan, T. B.: Human and computer roles in supervisory control and telerobotics: Musing about function, language and hierarchy. In Goodstein, L.P., Andersen, H.B. & Olsen, S.E. (Eds.), *Tasks, Errors and Mental Models*, Chap. 9, 149-160. London: Taylor & Francis, 1988.
- (11) Sheridan, T. B.: Supervisory control: Problem, theory and experiment for application to human-computer interaction in undersea remote systems., Dept. of Mechanical Engineering, MIT, 1982.
- (12) Kaber, D. B., Endsley, M. R., and Onal, E.: Design of Automation for Telerobots and the Effect on Performance, Operator Situation Awareness and Subjective Workload, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 10(4), 409-430, 2000.
- (13) Yerkes, R. M., and Dodson, J. D.: The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit-Formation., *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, 459-482, 1908.
- (14) Mitchell, P. J., Cummings, M. L., Sheridan, T. B.: *Human Supervisory Control Issues in Network Centric Warfare*, MIT, 2004.
- (15) 行待武生他: ヒューマンファクターの最近の話題, 日本原子力学会誌,

参考文献

- 35(3), 179-202, 1993.
- (16) 田辺文也: 原子力発電プラントにおける人間中心のマンマシンシステムの構築へ向けて(ミニ特集 人間中心の自動化システム), 計測と制御, 32(3), 193 - 198, 1993.
- (17) 岩城克彦, 大塚士郎, 三宅雅夫: A B W R 型中央制御盤の開発と完成, 日本原子力学会誌, 39(8), 2-8, 1997.
- (18) 五福明夫, 古川宏, 北村正晴: 連載講座 ヒューマンファクター 第6回 ヒューマンインタフェースに関する原則, 緒言と将来展望, 日本原子力学会誌, 45(3), 195-207, 2003.
- (19) 鈴木登久穂, 山岡俊樹: 中央監視盤(制御卓), 電設工業, 31(3), 1985.
- (20) 浅井喜代治, 現代人間工学概論, オーム社, 1980.
- (21) 河野龍太郎, 藤家美奈子, 大塚勉: 最新型制御盤ヒューマン・マシン・インタフェースのヒューマンファクターの観点からの評価, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌 1(1), 46-57, 1996.
- (22) 大島正光監訳: ヒューマンファクター 12.5 プロセス制御におけるヒューマンファクターの挑戦: 原子力プラントの場合, 同文書院, 1989.
- (23) Kemeny, J. G: Report of the President's Commission on the Accident at Three Mile Island. The need for change: The Legacy of TMI, Pergamon Press, October, 1979.
- (24) 米国大統領特別調査委員会: スリーマイル島原発事故報告, ハイライフ出版, 1980.
- (25) Bloswick, D. S., Jumonville, J., Baker, D. R., Sandquist, G.: Control Room Design: A Review of Ergonomic Design Criteria Andanalytical Tools, Procs of Int'l MTG on Nuclear Power Plat and Facility Maintenance, 1991.
- (26) Seminara, J. L., Haward, L., Parris: Effective Plant Labeling and Coding, EPRI NP-6209S, 1988.
- (27) Sawyer, D., Talley, W. T.: Display Legibility Guidelines: A Design Aid, Information Display, 1987.
- (28) Sears, A., Shneiderman, B.: High precision touchscreens: design strategies and comparisons with a mouse, International Journal of Man-Machine Studies, 43(4), 593-613, 1991.
- (29) IPv6style: IPv6 building management leads to business advantage, Retrieved August 8, 2004, from <http://www.ipv6style.jp/en/action/20030929/index.shtml>
- (30) 原田悦子: 人の視点からみた人工物研究, 共立出版, 1997.
- (31) Ravden, S. and Johson, G.: Evaluating usability of human-computer interfaces.

参考文献

- Ellis Horwood, Chishester, 1989.
- (32) 東基衛監訳, 小松原明哲訳: ユーザインタフェースの実践的評価法, 海文堂, 1993.
 - (33) 石井春江, 西谷紘一: 監視操作システムの評価と改善のための設計指針, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 3(1), 47-57, 1998.
 - (34) 湯地弘幸, 大賀幸治: 電気学会研究会資料, 原子力研究会 NE99-12, 491, 1999.
 - (35) 若林二郎他: 原子力発電プラント・セーフティサポートシステムの開発, 日本原子力学会誌, 43(4), 331-341, 2001.
 - (36) Kawano, R. and Fujiie, M.: NPP Operator Performance Analysis by Using Training Simulators, Proceedings of IERE Workshop "Human Factors in Nuclear Power Plants", 27-30 May, Yokohama, Japan, 1996.
 - (37) Kawano, R. et al.: Evaluation of Human-Machine Interface of the ABWR Type Control Room Panel based on Operators' Behaviors and Subjective Data, Proceedings of CSEPC'96, 12-15 November, Kyoto, Japan, 1996.
 - (38) 河野龍太郎, 大塚勉, 真杉剛: 運転員の持つプラントイメージを利用した CRT 画面の有効性に関する基礎研究 - 画面に詰め込むか、分割するか -, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 5(1), 33-42, 2000.
 - (39) 海保博之, 原田悦子編: プロトコル分析入門, 新曜社, 1993.
 - (40) 西谷紘一, 藤原健史, 黒岡武俊, 北島禎二, 福田稔: プラント運転制御システムに対するユーザビリティテストの試み, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 1(1), 26-35, 1996.
 - (41) 黒岡武俊, 木佐昌文, 山下裕, 西谷紘一: 脳波を用いたプラントオペレータの思考状態推定, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 3(2), 100-109, 1998.
 - (42) 山本順平, 黒岡武俊, 山下裕, 西谷紘一: 視線分析を用いたプラントオペレータの挙動の分析, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 5(2), 88-98, 2004.
 - (43) 小林大二, 信達谷学, 岡田有策, 行待武生: プラントの異常同定に関するメンタルアルゴリズムの実験的検討, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌 1(1), 36-45, 1996.
 - (44) 小林大二: CRT 画面を用いた異常同定におけるメンタルアルゴリズムの実験的検討, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 2(1), 55-63, 1997.

参考文献

- (45) 小林 大二: メンタルアルゴリズムから見た CRT 画面表示から得られる情報の量に関する実験的評価, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 3(2), 137-145, 1998.
- (46) 氏田博士, 久保田龍治: プラント運転員のための適応ヒューマンインタフェースの提案とインタフェース評価手法の検討, 日本原子力学会誌, 36(7), 665-675, 1994.
- (47) 五福 明夫, 大井 忠, 伊藤 広二: コオペレータとしての動的操作パーミッションシステム, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, 5(2), 55-60, 2003.
- (48) Swain, A.D., Weston, L.M.: An approach to the diagnosis and misdiagnosis of abnormal conditions in post-accident sequences in complex man-machine system, Tasks, Errors and Mental Models, 209-232, Taylor & Francis, 1988.
- (49) Smidts, C, Shen, S-H, Mosleh, A: A taxonomy and root-cause analysis of human cognitive behavior based on a cognitive model, Annual Reliability and Maintainability Symposium 1995 Proceedings, IEEE, 303-314, 1995.
- (50) 氏田博士, 久保田龍治, 河野龍太郎: プラント運転員の緊急時における認知過程の実験的分析, 人間工学, 29(4), 239-248, 1993.
- (51) Bainbridge, L: What Should a 'Good' Model of the NPP Operator Contain?, Proceedings of the International Topical Meeting an Advances in Human Factors in Nuclear Power Systems, April, 21-24, 1986.
- (52) S.Yoshimura, K.Takano, K.Sasou: Proposal for operator's mental model using the concept of multilevel flow modeling, Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, 31(2), 227-235, 1995.
- (53) 坂田晃一, 石井春江, 黒岡武俊, 西谷紘一: 異常対応訓練にみるオペレータの拳動の特長, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 4(2), 112-120, 1999.
- (54) 三友 信夫, 宮崎 恵子, 丹羽 康之, 松原 暁雄: 原子力プラントのマン・マシン・インターフェースに関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告, 102(541), 15-20, 2002.
- (55) Card, S. K., Moran, T. P. and Newell, A.: The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- (56) Norman, D. A.: Cognitive Engineering, in User Centered System Design, ed. Norman D. A. and Draper S. W., Erlbaum, Hillsdale, 31-61, 1986.
- (57) Rasmussen, J.: Information Processing and Human-Machine Interaction. An Approach to Cognitive Engineering. Amsterdam: Elsevier, 1986.

参考文献

- (58) Rasmussen, J.: Skills, rules, knowledge: signals, signs, and symbols and other distinctions in human performance models. *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*. MSC-13, 257-267, 1983.
- (59) Endsley, M. R.: Design and evaluation for situation awareness enhancement. *Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting*, Human Factors Society, Santa Monica, CA, 97-101, 1988.
- (60) Endsley, M. R.: Situation awareness in dynamic human decision making: Theory and measurement (doctoral dissertation). Los Angeles, CA: University of Southern California, 1990.
- (61) Endsley, M. R.: Situation awareness in dynamic systems. In Y. Queinnee & F. Daniellou (Eds.), *Designing for Everyone* (pp. 801-803). London: Taylor and Francis, 1991.
- (62) Endsley, M. R.: Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64, 1995.
- (63) Wickens, C. D.: *Engineering Psychology and Human Performance* (2nd ed.). New York: Harper Collins, 1992.
- (64) Endsley, M. R.: Final report: Situation awareness in an advanced strategic mission (NOR DOC 89-32). Hawthorne, CA: Northrop Corporation, 1989.
- (65) Endsley, M. R.: A survey of situation awareness requirements in air-to-air combatfighters. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(2), 157-168, 1993.
- (66) Endsley, M. R.: Situation awareness in FAA Airway Facilities Maintenance Control Centers (MCC): Final Report. Lubbock, TX: Texas Tech University, 1994.
- (67) Endsley, M. R., & Jones, D. G.: Situation awareness requirements analysis for TRACON air traffic control (TTU-IE-95-01). Lubbock, TX: Texas Tech University, 1995.
- (68) Endsley, M. R., & Robertson, M. M.: Team situation awareness in aircraft maintenance. Lubbock, TX: Texas Tech University, 1996.
- (69) Hogg, D. N., Torralba, B., & Volden, F. S.: A situation awareness methodology for the evaluation of process control systems: Studies of feasibility and the implication of use (1993-03-05). Storefjell, Norway: OECD Halden Reactor Project, 1993.
- (70) Endsley, M. R., Farley, T. C., Jones, W. M., Midkiff, A. H., & Hansman, R. J.: Situation awareness information requirements for commercial airline pilots (ICAT-98-1). Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology

参考文献

- International Center for Air Transportation, 1998.
- (71) Endsley, M. R.: Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 65-84, 1995.
- (72) Hogg, D. N., Folleso, K., Torralba, B., Volden, F. S.: Measurement of the Operator's Situation Awareness for Use within Process Control Research: Four Methodological Studies, HWR-377, OECD Halden Reactor Project, 1994.
- (73) Endsley, M. R., Mogford, R. H., & Stein, E. S.: Controller situation awareness in free flight. Paper presented at the Human Factors and Ergonomics Society 41st Annual Meeting, Santa Monica, CA, 1997.
- (74) RTCA.: Report of the RTCA Board of Directors select committee on free flight. Washington, D.C., 1995.
- (75) Endsley, M. R., & Rodgers, M. D.: Distribution of attention, situation awareness, and workload in a passive air traffic control task: Implications for operational errors and automation. *Air Traffic Control Quarterly*, 6(1), 21-44, 1998.
- (76) Hartel, C. E., Smith, K., & Prince, C.: Defining aircrew coordination: Searching mishaps for meaning, Sixth International Symposium on Aviation Psychology. Columbus, OH, 1991.
- (77) Endsley, M. R.: A taxonomy of situation awareness errors. In R. Fuller & N. Johnston & N. McDonald (Eds.), *Human Factors in Aviation Operations* (pp. 287-292). Aldershot, England: Avebury Aviation, Ashgate Publishing Ltd, 1995.
- (78) Endsley, M. R.: Designing for situation awareness in complex systems. Proceedings of the Second international workshop on symbiosis of humans, artifacts and environment, Kyoto, Japan, 2001.
- (79) 大久保 堯夫編: 人間工学の百科事典, 丸善, 2005.
- (80) Frischenschlag, F.: Analysis and Presentation of Annunciations in Nuclear Power Plants, Specialists' Meeting on Procedures and Systems for Assisting an Operator, 1979.
- (81) Beltracchi, L.: Alarm Coding of a Model-based Display, 1988 IEEE Fourth Conference on Human Factors and Power Plants, 1988.
- (82) Braun, C. C., Shaver, E. F.: Warning Sign Components and Hazard Perceptions, *Procs of the Human Factors and Ergonomics Society 43rd Annual Mtg*, 878-882, 1999.
- (83) 辻倉米蔵: 「軽水炉に関する安全研究の現状」(その2) HUMAN FACTOR ; MAN - MACHINE INTERFACE 等を中心として, 原子力安全

参考文献

- 研究総合発表講演会要旨集, 21, 110-126, 1989.
- (84) 牧野真臣, 難波英明, 岩本崇敬, 朝日隆一: 新形中央制御盤 (PODIA) および高信頼型原子炉制御装置 (ADMIX) の成果, 東芝レビュー, 23-26, 1986.
- (85) 須山勉: プラント制御用 CRT 表示画面の設計, 第 1 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, 43-48, 1985.
- (86) 梶沢嘉彦: 原子力発電所新型制御盤 CRT 表示の人間工学的評価について, 中部電力研究資料 第 71 号, 107-119, 1983.
- (87) Scianna, A., Brambilla, A., Colozza, E., Maini, M.: Design of a Man Machine Interface for Plant Operation: Symbol Specifications and Browsing Criteria, 2711-2716, 1994.
- (88) J.Ohara, W.S.Brown, B.Hallbert, G.Skraaning: The Use of Simulation in the Development of Human Factors Guidelines for Alarm Systems, BNL-NULEG-64316, 1977.
- (89) D.N.Hogg, K.Folleso, F.S.Volden, B.Torralba: Development of a Situation Awareness Measure to Evaluate Advanced Alarm System in Nuclear Power Plant Control Rooms, Ergonomics, 38(11), 2394-2413, 1995.
- (90) N.Stanton: Operator Reactions to Alarms: Fundamental Similarities and Situational Differences, Human Factors in Nuclear Safety 79-98, 1996.
- (91) J.M.O'hara, W.S.Brown: Human Factors Engineering Guidelines for the Review of Advanced Alarm System, NUREG/CR-6105, BNL-NULEG-52931, 1991.
- (92) E.Marshall, S.Baker: Alarms in Nuclear Power Plant Control Rooms: Current Approaches and Future Design, Human Factors in Alarm Design, 183-191, 1994.
- (93) E.M.Hickling: Ergonomics and Engineering Aspects of Designing an Alarm System for a Modern Nuclear Power Plant, Human Factors in Alarm Design, 165-178, 1994.
- (94) H.J.G.Zwaga, H.C.M.Hoonhout: Supervisory Control Behavior and the Implementation of Alarms in Process Control, Human Factors in Alarm Design, 119-134, 1994.
- (95) N.Stanton: Alarm Initiated Activities, Human Factors in Alarm Design, 93-117, 1994.
- (96) N.Stanton: A Human Factors Approach, Human Factors in Alarm Design, 1-10, 1994.
- (97) J.Jenkinson: Alarm Systems -Where to Apply our Experties?, CEGD/CIDOCS 1337, IEEE Colloquium London, 1987.

参考文献

- (98) D.A.Tompmler, D.C.Burgy, D.R.Roth, P.A.Doyle: Survey and Analysis of Communications Problems in Nuclear Power Plants, EPRI NP-2035, 1981.
- (99) W.L.Rankin, T.B.Rideout, T.J.Triggs, K.R.Ames: Computerized Annunciator Systems, NUREG/CR-3987, PNL-5158, BHARC-400/84/021, 1985.
- (100) 江崎昭: 安全確保とアラーム各論 4 警告灯・そのハード面の研究開発の状況, 安全, 42(10), 25-27, 1991.
- (101) 西村幸高, 伊東徹, 藤田祐志, 川中子信司: 情報認知形態に基づく警報の分類とそれによる警報システムの改善, (社)日本原子力学会「昭 62 年会」, 186-186, 1987.
- (102) Sheridan, T. B.: HCI in Supervisory Control: Twelve Dilemmas, Lecture Notes in Control and Information Sciences, 253, 1-12, 2000.
- (103) Stanton, N.: Operator Reactions to Alarms: Fundamental Similarities and Situational Differences, Human Factors in Nuclear Safety, 79-98, 1996.
- (104) 今任邦治, 宮永克也: 自動化された化学プラントにおけるヒューマン・エラーとその防止, 品質, 24(1), 14-23, 1994.
- (105) Bainbridge, L.: Ironies of Automation, New Technology and Human Error, 271-283, 1987.
- (106) Lisboa, J.: Human Factors Assessment of Digital Monitoring Systems for Nuclear Power Plants Control Room, IEEE Nucl Sci Symp Med Imaging Conf NoL2, 1457-1463, 1991.
- (107) 三友信夫, 宮崎恵子, 丹羽康之, 松原暁雄: 原子力プラントのマン・マシン・インターフェースに関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告, 102(541), 15-20, 2002.
- (108) Sarter, N. B., Woods, D. D.: How in the World did We Ever Get into that Mode? Mode Error and Awareness in Supervisory Control, Human Factors, 37(1), 5-19, 1995.
- (109) 五福明夫, 田中豊: プラント機能情報の知的表示に基づいた運転員支援手法, 日本機械学会 IIP'98 情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集, 108-112, 1998.
- (110) 渡辺浩二: ヒューマンエラーを防止する手法 ~ 石油化学工場での例 ~, プラントの操業におけるヒューマンファクターの役割 - OECD 東京 WS 資料, 1991.
- (111) 塩路保夫: ヒューマンエラーの防止と影響緩和のためのハードウェア対策 - 法例規制内容の概要と化学工場の対策例 -, プラントの操業におけるヒューマンファクターの役割 - OECD 東京 WS 資料, 1991.

参考文献

- (112) Strauss, R.: A Methodology for Measuring the Judgmental Components of Situation Awareness, Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress, 44(1), 105-108, 2000.
- (113) 高橋信, 渡辺幸子, 鈴木 弘一, 北村正晴: 原子力プラントの実規模運転訓練における状況認識と意思決定, システム・情報部門学術講演会講演論文集, 175-178, 2001.
- (114) Sebok, A., Kaarstad, M.: Crew Situation Awareness, Diagnoses, and Performance in Simulated Nuclear Power Plant Process Disturbances, Specialist Meeting on Human Performance in Operational Events, 1997.
- (115) 田中敬司: 人間と調和したハードウェアシステムの設計等のための人間特性に関する研究 ヒューマンエラー防止のための情報呈示方式の研究, システムと人間との調和のための人間特性に関する基礎的・基盤的研究, 17-40, 1999.
- (116) 狩川大輔, 高橋信, 石橋明, 北村正晴: オートパイロットの状況認識支援のための情報提示法に関する実験研究, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 5(1), 11-17, 2003.
- (117) Bastl, W., Markl, H.: Key-Role of Advanced Man-Machine Systems for Future Nuclear Powerplant, International Conference on Man-Machine Interface in the Nuclear Industry, 1988.
- (118) 武田正治: プラントの緊急時におけるヒューマンファクターズ, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 6(2), 78-85, 2001.
- (119) 尾入正哲: オペレータと機器デザイン - 安全シリーズ 2 -, 労研維持会資料 NO . 1259 ~ 1261, 1990.
- (120) ISO 9241-8: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 8 Requirements for displayed colours
- (121) JIS Z 9101: 安全色及び安全標識
- (122) JIS Z 9103: 安全色 - 一般的事項
- (123) ISO 3864: Safety colours and safety signs
- (124) 落合信寿, 佐藤昌子: 安全色の視認に及ぼす阻害要因の検討, 第 48 回日本デザイン学会研究発表大会概要集, 368-369, 2001.
- (125) 堀江良典, 大内啓子, 名取和幸: 薄明視における安全色の視認性の研究, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 7(2), 125-131, 2002.
- (126) Braun, C. C., Silver, N. C.: Interaction of Signal Word and Colour on Warning Labels: Differences in Perceived Hazard and Behavioural Compliance, Ergonomics, 38(11), 2207-2220, 1995.

参考文献

- (127) Shaver, E. F., Braun, C. C.: Effects of Warning Symbol Explicitness and Warning Color on Behavioral Compliance, Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress, 44(4), 290-293, 2000.
- (128) 佐川賢: 色彩環境の快適性の定量化手法 - 色彩科学の心理物理的手法による研究から -, 日本科学技術振興財団, 36(276), 69-74, 1995.
- (129) 中西吉造: 効果的な表示・標識を考える 安全管理における表示・標識の役割, 安全, 48(6), 10-13, 1997.
- (130) 福井宏和: 原子力発電所のサインシステム, 働く人の安全と健康, 51(6), 556-558, 2000.
- (131) 高橋誠, 窪田悟, 西岡昭: CRT ディスプレイの好適表示色に関する実験的研究, 労働科学, 69(8), 327-339, 1993.
- (132) Mathews, M. L.: The Influence of Colour on CRT Reading Performance and Subjective Comfort under Operational Conditions, Applied Ergonomics, 323-328, 1987.
- (133) Pionek, J., Heidenreich, M., Shanahan, M., Schoepke, D.: Factors Affecting User Response to Polygon Displays, Procs of the Human Factors & Ergonomics Society 41st Annual Meeting, 1052-1055, 1997.
- (134) Crawford, R. L., Toms, M. L., Wilson, D. L.: Effects of Display Luminance on the Recognition of Color Symbols on Similar Color Backgrounds, Procs of the Human Factors Society 35th Annual Meeting-1991, 1466-1470, 1991.
- (135) 大崎紘一, 李森, 梶原康博, 宗澤良臣: モニター監視における照明による配色の視認性に関する研究, 日本経営工学会論文誌, 52(2), 117-124, 2001.
- (136) 長坂彰彦, 吉野賢治: 人間特性とヒューマンエラーの実験研究(その1) - CRT表示の評価およびストレス, エラー, 人間特性の関係の予備的検討 -, 電力中央研究所研究調査資料 NO. S92902, 1992.
- (137) 竹本雅憲, 岡田有策: CRT オペレーションにおける画面デザイン上の色彩効果に関する研究, 日本プラント・ヒューマンファクター学会誌, 8(1), 34-44, 2003.
- (138) Takemoto. M, Okada. Y: A Proposal of Guideline for Colour Arrangement on Screen Design Used in VDT Work, Proceedings of the 10th International Conference on HCI (Human Computer Interaction), Crete, Greece, 711-715, 2003.
- (139) Takemoto. M, Okada. Y: A Study on Application of Color Gradation for Additional Information in Monitoring Work, Proceedings of the 7th International

参考文献

- Conference on WWCS (Work With Computing Systems), Kuala Lumpur, Malaysia, on CD-ROM, 2004.
- (140) Takemoto. M, Okada. Y: A Guideline for Application of Dynamic Information in Consideration of the Characteristics of Tasks, Proceedings of the 11th International Conference on HCI (Human Computer Interaction) in Las Vegas, USA, on CD-ROM, 2005.
- (141) 増山英太郎: 心に浮かぶイメージをはかる - SD法の理論と応用 -, 産業科学システムズ, 1996.
- (142) 川上元郎他: 色彩の事典, 朝倉書店, 259-271, 1992.
- (143) 柳瀬徹夫: 色彩計画 (阿部公正他編工業デザイン全集) 第4巻3章, 日本出版サービス, 1982.
- (144) Oyama. T, Sooma. L, Tomiie. T and Chijiiwa. H: A Factor Analytical Study on Affective Responses to Colors, Acta Chromatica, 1, 164-173, 1962.
- (145) 富家直: 色彩感情の研究(1), 聖心女大論叢, 31, 32 合併号, 65-98, 1969.
- (146) 柳瀬徹夫, 朝倉昌也: 色彩連想に関する研究, 色彩研究, 31(1), 2-17, 1984.
- (147) 大山正, 田中靖政, 芳賀純: 日米学生における色彩感情, 心研, 34, 109-121, 1963.
- (148) 小保内虎夫, 松岡武: 色彩象徴テストの原理と方法, 日本製版, 東京, 1964.
- (149) Chou, S. K. and Chen, H. P.: General vs. Specific Color Preferences of Chinese Students, J.Soc.Psychol., 6, 290-314, 1935.
- (150) Norman, R. D. and Scott, W. A.: Color and Affect, A Review and Semantic Evaluation, J.gen.Psychol., 46, 185-223, 1952.
- (151) 相馬一郎, 橋本仁司: 色彩嗜好調査, 色彩研究, 2(2), 1956.
- (152) 柳瀬徹夫, 椿文雄, 近江源太郎: 日本人の色彩嗜好(2), 色彩研究, 25(2), 1978.
- (153) 橋本仁司: 色彩嗜好の調査, 色彩研究, 1(2), 1955.
- (154) 近江源太郎: 色彩の嗜好調査, 色彩研究, 15(4), 1968.
- (155) 千々岩秀彰: 色彩学, 福村書店, 1983.
- (156) 近江源太郎, 柳瀬徹夫, 椿文雄: 日本人の色彩嗜好(1), 色彩研究, 25(1), 1978.
- (157) 近江源太郎, 柳瀬徹夫, 椿文雄: 日本人の色彩嗜好(3), 色彩研究, 27(2), 1980.
- (158) 近江源太郎, 柳瀬徹夫, 椿文雄: 日本人の色彩嗜好(4), 色彩研究, 28(2),

参考文献

- 1981.
- (159) 柳瀬徹夫, 椿文雄, 近江源太郎: 日本人の色彩嗜好(5), 色彩研究, 30(2), 1983.
- (160) 日本色彩学会: 新編色彩科学ハンドブック, 377-386, 東京大学出版会, 1998.
- (161) 大井義雄, 川崎秀昭: カラーコーディネータ入門, 日本色研事業株式会社, 32-57, 1996.
- (162) 大山正: 色彩心理学入門, 213-230, 中央公論新社, 1994.
- (163) 日本色彩研究所編: デジタル色彩マニュアル, 株式会社クレオ, 2004.
- (164) 榎木義一, 河村和彦: 参加型システムズ・アプローチ - 手法と応用, 日刊工業新聞社, 33-42, 1981.
- (165) 苧阪良二, 中溝幸夫, 古賀一男: 眼球運動の実験心理学, 219 - 231, 名古屋大学出版会, 1993.
- (166) (財)原子力安全研究委員会燃料安全特別専門委員会: 軽水炉燃料のふるまい(コンサイス版), 1981.

謝辞

本研究を進めるにあたり、慶應義塾大学理工学部岡田有策助教授には、多大なご指導、ご鞭撻を賜るとともに、国際学会をはじめとして多くの貴重な経験をさせて頂きました。また、常日頃から非常に独創的な発想を拝見させて頂き、ヒューマンファクターズという分野への興味を抱かせて頂きました。心から感謝致します。

慶應義塾大学理工学部櫻井彰人教授、萩原将文教授、大門樹助教授には、著者の拙い文章による論文を査読して頂き、また、研究内容に関する貴重なご意見、ご指摘を頂くと共に、工学的な論文を執筆する人間としての意識を改めさせて頂きました。深く御礼申し上げます。

共に岡田研究室に在籍する博士課程の学生として、互いに切磋琢磨して学問に励み、良き理解者として議論してくれた、現東京理科大学工学部助手中西美和さんに、心から感謝致します。

岡田研究室の同期諸君は、在学中、共に研究活動に励むだけでなく、就職した後も著者を激励してくれました。岡田研究室の先輩方、後輩諸君には、多くの実験に協力してもらいました。特に、石田知広くんには、本研究における数々の実験を手伝ってもらいました。ここに感謝致します。

最後に、著者の研究活動を温かく見守り、励ましてくれた家族に、深く感謝致します。

平成 18 年 3 月