

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03051

研究課題名(和文) 学習者の疲労、負担とヒューマン・エラーの視点からの最適な画面設計の提案

研究課題名(英文) Proposal of optimal screen design from a viewpoint of fatigue, load and human errors of learners

研究代表者

本多 薫 (HONDA, Kaoru)

山形大学・人文社会科学部・教授

研究者番号：90312719

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：学習者の疲労や負担、ヒューマン・エラーの視点から、学習支援システムの最適な学習画面設計における課題を明らかにするために、学習者の視線移動や心拍、課題成績、作業時間、主観評価などを測定する実験を実施した。実験結果から、学習支援システムの学習画面の設計では、画面の四隅を避けて見つけやすい位置に学習情報を配置することや、学習情報の表示位置と解答の入力位置との位置関係と距離、適切な画面サイズにするなどを考慮することで、学習者の負担軽減につながることを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学習支援システムでのヒューマン・エラーや学習者の疲労や負担は、生徒・児童などの学習者の健康にも関係しており、学術的に検討する必要がある。しかし、学習者の疲労や負担、ヒューマン・エラーの視点から、学習支援システムの画面設計を検討した研究報告は少なく、また最適な情報表示方法や利用に関する指針なども存在しない。研究成果は、学習支援システムの画面設計の最適な条件と課題を示し、情報機器を使用した学習環境の基礎資料となる。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify issues in the optimal screen design of learning support systems from the viewpoints of learner fatigue, load, and human error, experiments were conducted to measure learners' eye movement, heart rate, task performance, work time, and subjective evaluation. Based on the experimental results, we proposed that the design of the screen design of a learning support system can reduce the burden on the learner by avoiding the four corners of the screen and placing learning information in an easy-to-find position, and by considering the positional relationship and distance between the display position of learning information and the input position of answers, and by setting an appropriate screen size.

研究分野：情報科学、人間工学、ヒューマンインタフェース

キーワード：学習支援システム 画面サイズ 表示位置 視線移動 負担

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

語学や資格試験の自学自習用、小中学校用の学習補助教材、通信制大学の e-Learning などの学習支援システムが広く導入されている。学習支援システムの研究課題として、学習コンテンツの内容や学習効果に関する検討は数多く行われている。しかし、学習支援システムの画面設計に関しては、学習コンテンツの表示位置や解答などを入力する位置、メニューの配置などに一貫性がなく、また、学習者の疲労や負担を考慮した学習支援システムの画面設計の指針なども存在しない。情報表示においては、「目の移動距離が短くなるような表示が必要不可欠である」と指摘されている(引用文献)が、既存の学習支援システムの中には学習コンテンツの表示や入力する位置などが画面の上下左右に点在しているものがあり、目の移動距離が長く学習者の疲労・負担が大きいと思われるものが数多く存在している。これらのことを踏まえて、学習支援システムによる学習時の視覚情報処理特性の把握や学習者の疲労・負担、ヒューマン・エラーの視点から最適な画面設計についての検討が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、表示位置や提示される学習コンテンツ、情報量、画面のサイズなどの学習条件を設定した実験用の学習支援システムを構築する。学習コンテンツや学習条件を変えた複数の条件での学習者の視線移動や心拍、課題成績・反応時間、主観評価などを測定する実験を実施する。そして、学習者の疲労や負担、ヒューマン・エラーの視点から、学習支援システムの最適な画面設計における課題を明らかにし、学習支援システムの最適な画面設計の指針(学習情報の表示位置や注意すべき事項など)を提案する。

3. 研究の方法

学習者の疲労や負担、ヒューマン・エラーの視点から、学習支援システムの最適な学習画面設計における課題を明らかにするために、4年間で予備実験を含めて9実験を実施し検討した。そのうち、本報告書では研究成果として3実験を紹介する。最後に学習支援システムの最適な画面設計の提案内容のポイントを述べる。

(1) 実験A (学習情報の表示位置と情報量・解答を入力する位置(画面の中央)の検討)

実験Aでは、モニター画面における学習情報の表示位置と解答を入力する位置との関係に着目し、画面の中央に入力する位置を固定した場合において、情報が表示される位置の違いにより、画面上の視線移動、検索・入力時間、入力のエラー率、主観評価(負担度)などに差異が見られるのかを、実験を通して検討した。実験参加への同意、実験前に視力、視野について、過去に何らかの指摘を受けたことがないことを確認した。実験では、画面を9分割し、画面中央の位置を「入力位置」とした。それ以外の周囲8か所にランダムなアルファベットの文字列を表示する「表示位置」を設定した。アルファベットは3文字又は7文字を表示した。実験は1回80試行として3文字と7文字の2回実施した。被験者には、画面周囲の8か所に表示される文字列を検索して、見つけ次第入力位置にキーボードで文字を入力し、入力完了後にエンターキーを押させた。実験中の視線移動を測定した。また、表示位置、検索・入力時間(文字が表示されてからエンターキーを押すまでの時間)、入力の正誤(エラー率)を記録した。各実験の終了後、文字入力・文字検索・文字記憶の負担度を7段階で回答させた。また、入力しやすかった表示位置と入力しにくかった表示位置を回答させた。

(2) 実験B (学習情報の表示位置と解答を入力する位置に関する検討)

実験Bでは、モニターの画面サイズ24インチと10インチを取り上げ、学習情報の表示位置と解答を選択する位置(クリック位置)との関係に着目し、画面サイズの違いにより、画面上の視線移動の回数、検索時間、正答率、心拍数、主観評価などに差異が見られるのかを実験を通して検討した。実験では、右手でマウスを操作し、画面に表示された色を表す漢字に該当する色を選択する検索課題(読みの照合)を行わせた。画面を横に3分割し、そのうち2か所に漢字を表示する表示位置と、マウスを操作するクリック位置を配置した。実験は、1回5分間とし、2種類の画面サイズで配置の全ての組み合わせ(6種類)として、合計12回行った。表示位置には、領域の中央に色を表す漢字10種類のうちのいずれかを表示した。またクリック位置には、同様の10種類の色で描画された一辺20mmのアイコン(四角)を、5個ずつ2列に表示した。検索課題は、漢字に該当する色を、10個のアイコンの中から選択しクリックする作業とした。実験中の視線移動を測定した。また、5分間の作業数、検索時間(文字が表示されてからクリックするまでの時間)、クリックの正誤(正答率)を記録した。

(3) 実験C (学習情報の表示位置(画面の中央)と解答を選択するクリック位置の検討)

実験Cでは、モニターの画面サイズ24インチと10インチを取り上げ、検索課題の検索時間、画面上の視線移動、心拍数などを指標として、学習に関する情報(表示・検索・画面クリック)の表示位置と画面サイズが学習者に与える影響の違いについて実験を通して検討した。実験で

は、画面サイズは、24 インチと 10 インチの 2 種類とした。画面を 9 分割し、画面中央に色を表す漢字 1 文字を、周囲 8 か所に色の読み仮名となるひらがなをそれぞれ表示し、漢字の読みに合致するものをマウスでクリックする検索課題(読みの照合)を行わせた。画面中央を「表示位置」、それ以外の周囲 8 か所の解答を選択する位置を「クリック位置」とした。漢字と読み仮名は 8 種類(黄・緑・水・桃・赤・茶・黒・青:き・みどり・みず・もも・あか・ちゃ・くろ・あお)とした。実験は 1 回 80 試行として 24 インチと 10 インチの 2 回実施した。被験者は、表示位置に表示される漢字の読み仮名を、8 か所のクリック位置に表示されるひらがなから検索して、見つけ次第マウスでクリックする。クリックすると次の漢字が表示され、連続で検索させた。また、検索時間、エラー率、視線移動、心拍数、主観評価を測定した。

4. 研究成果

(1) 実験 A の結果と考察

検索・入力時間の結果を図 1 に示す。全ての表示位置において、3 文字よりも 7 文字の方が検索・入力時間が長い。また、3 文字では「右」、7 文字では「右上」の表示位置の検索・入力時間が最も長い。表示位置と被験者を要因とする分散分析の結果、7 文字の表示位置間で有意差が認められた ($p < 0.01$)。アルファベット入力のエラー率(被験者平均)の結果を図 2 に示す。全ての表示位置において、3 文字と比較して情報量の多い 7 文字の方がエラー率の高い傾向がみられた。また、3 文字と 7 文字ともに「右上」、「左」、「右」でエラー率が高く、「左上」で低かった。しかし、表示位置と被験者を要因とする分散分析の結果、表示位置間では有意差が認められなかった。

視線の累積回数の結果を図 3 に示す。視線の累積回数とは、実験時間中に表示位置にあった視線点(1/30 秒間隔でサンプリング)の累積回数である。全ての表示位置において、3 文字よりも 7 文字で視線の累積回数が多い。また、3 文字と 7 文字ともに、画面の上下の視線の累積回数が多く、画面の左右が少ない。画面の左右に注目すると、3 文字では、「左上」の視線の累積回数が少なく、「右上」、「右」が多い。7 文字では、「左上」の累積回数が少なく、「右」、「左」が多い。表示位置と被験者を要因とする分散分析の結果、表示位置間で有意差が認められた(3 文字: $p < 0.05$ 、7 文字: $p < 0.01$)。

3406.1	3365.1	3437.9	7378.4	7082.3	7439.3
3313.7	入力位置	3528.4	7310.7	入力位置	7312.0
3354.6	3182.7	3440.9	7158.0	6898.6	6941.8
3 文字			7 文字		

図 1 検索・入力時間(単位:msec)

7.0	9.0	10.0	14.2	19.2	24.3
10.2	入力位置	14.2	22.6	入力位置	19.9
6.0	7.0	8.2	17.5	17.1	17.3
3 文字			7 文字		

図 2 エラー率(単位:%)

180.8	624.8	300.4	458.7	1054.1	560.2
221.9	入力位置	274.6	615.4	入力位置	764.3
236.4	634.7	233.4	499.0	1308.7	547.7
3 文字			7 文字		

図 3 視線の累積回数(単位:回)

主観評価(文字入力、文字検索、文字記憶の 3 項目の負担度を 7 段階評価)の結果では、3 文字よりも 7 文字で負担度が高かった。また、7 文字では、10 名中 8 名が「右上」が入力しにくいと回答した。3 文字と 7 文字の負担度について対応のある t 検定を行った結果、文字入力、検索時間、文字記憶ともに有意差が認められた ($p < 0.01$)。

情報表示においては、目の移動距離が短くなるような表示が必要不可欠であることや、検索・入力時間、エラー率の視点から、画面の中央に解答を入力する場合には、学習課題などの学習情報を「右上」、「右」、「左」に表示すると、学習者の負担が大きいと考えられる。

(2) 実験 B の結果と考察

学習情報の表示位置を「情」、解答のクリック位置を「ク」、空き位置(空白)を「空」と略し、グラフの横軸の配置は左から、1.ク空情、2.空ク情、3.ク情空、4.空情ク、5.情ク空、6.情空クとする。検索課題(読みの照合)中の 5 分間に「学習情報の表示位置」、あるいは「回答を選択するクリック位置」にあった視線の累積回数(1/30 秒間隔)の結果を述べる。表示位置における配置で最も視線の累積回数が多いのは、2(空ク情)、3(ク情空)、5(情ク空)の配置である。逆に視線の累積回数が少ない配置は、1(ク空情)、6(情空ク)である(図は省略する)。視線の

累積回数に対して配置(6水準)の一元配置分散分析を行った結果、表示位置(24インチ)に有意差($F(5,54)=3.033, p<0.05$)が認められた。作業数が最も多い配置は、10インチと24インチともに、4(空情ク)の配置である。作業数に対して配置(6水準)の一元配置分散分析を行った結果、表示位置(10インチと24インチ)に有意差は認められなかった。また、作業数は、全ての配置で10インチよりも24インチの方が少ない(図は省略する)。対応のあるt検定を行った結果、全ての配置で有意差がみられた。図4に検索時間の結果を示す。検索時間が最も短い配置は、10インチと24インチともに、4(空情ク)の配置である。検索時間に対して配置(6水準)の一元配置分散分析を行った結果、表示位置(10インチと24インチ)に有意差は認められなかった。また、検索時間は全ての配置で10インチよりも24インチの方が長い。対応のあるt検定を行った結果、全ての配置で有意差がみられた。図5に正答率(平均)の結果を示す。正答率が最も高いのは、10インチと24インチともに、4(空情ク)の配置である。正答率に対して配置(6水準)の一元配置分散分析を行った結果、表示位置(10インチと24インチ)に有意差は認められなかった。また、正答率は10インチよりも24インチの方が高い。対応のあるt検定を行った結果、4(空情ク)と6(情空ク)の配置で有意差がみられた。主観評価(24インチ)では、最も作業に苦勞した配置は、12名中7名が1(ク空情)であったと回答した。なお、心拍数の結果は省略する。

有意差は見られなかったが、検索時間が最も短い配置は10インチと24インチともに「4(空情ク)」であり、また、課題の正答率が最も高いのは10インチと24インチともに「4(空情ク)」である。また、主観評価で、最も作業に苦勞した配置は、「1(ク空情)」の画面の中央に空白を入れ、左側に回答を入力するクリック位置、右側に学習情報を表示した場合である。このことから、右手でマウスを操作する場合には、学習情報は画面の「中央」に配置し、回答を入力するクリック位置は画面の「右側」に配置することが良いと考えられる。

10インチよりも、24インチの作業数が少ないにも関わらず、表示位置の視線の累積回数に特徴的な差はみられない。さらにクリック位置では、10インチよりも24インチで視線の累積回数が多く、また検索時間が長い。これらのことは、24インチの方では10インチよりも、情報認知に費やす時間が長いことを示している。すなわち、画面サイズが大きいと解答を検索することにより多くの時間を費やすとともに、視線移動が多くなり学習者の疲労・負担が大きくなると考えられる。また、検索課題の正答率においては、24インチよりも10インチの方が低い傾向がみられた。特に画面の右側に解答を選択する位置(クリック位置)がある場合に、正答率に有意差がみられた。このことから、画面サイズが小さくなると作業数が多くなる一方で正答率が低下する。特に画面の右側に視線を向けて行う作業などでヒューマン・エラーが増加した。

(3) 実験Cの結果と考察

各クリック位置の検索時間(被験者平均)の結果を図6に示す。10インチと24インチともに、検索時間が最も長い表示位置は、「右下」、次いで「左下」、「左上」である。逆に検索時間が最も短い表示位置は、「左」、次いで「上」、「右」である。検索時間に対して表示位置(8水準)の一元配置分散分析を行った結果、表示位置(10インチ)に有意差($F(7,72)=2.828, p<0.05$)が認められた。各表示位置間の多重比較を実施した結果、「左」と「右下」($p<0.01$)、「上」と「右下」($p<0.01$)の間に有意差が認められた。また、検索時間に対して表示位置(8水準)の一元配置分散分析を行った結果、表示位置(24インチ)に有意差($F(7,72)=4.229, p<0.01$)が認められた。各表示位置間の多重比較を実施した結果、「左」と「右下」($p<0.01$)、「上」と「右下」($p<0.01$)、「下」と「右下」($p<0.01$)、「右」と「右下」($p<0.01$)の間に有意差が認められた。10インチと24インチを比較すると、全てのクリック位置で10インチよりも24インチの検索時間が長くなっている。画面サイズを要因とする分散分析の結果、「左」、「左下」で有意差が認められた(左: $p<0.05$ 、左下: $p<0.01$)。入力のエラー率(誤った読み仮名をクリックした割合)については、各クリック位置で0~3%であった。

視線の累積回数(被験者平均)の結果を図7に示す。視線の累積回数は、実験時間中にクリック位置にあった視線点(1/30秒間隔でサンプリング)の累積回数である。10インチ、24インチともに、「右」の累積回数が多い。逆に累積回数が少ないクリック位置は、「左上」、「左下」、「右上」、「右上」の四隅と「左」である。特に「左上」、「左下」が顕著である。画面サイズとクリッ

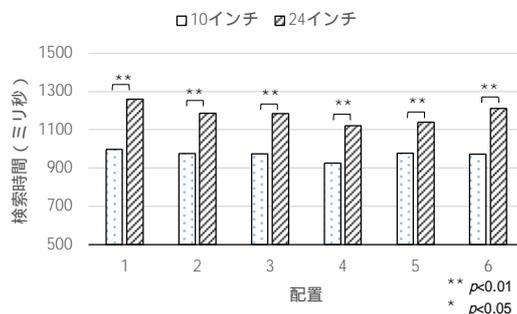


図4 検索課題の検索時間

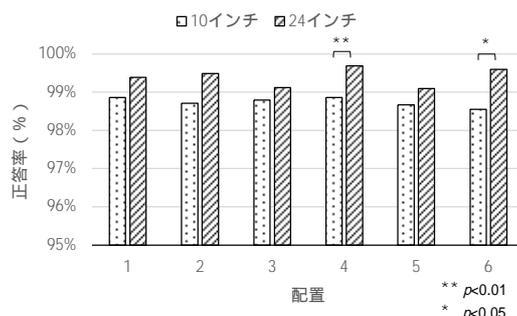


図5 検索課題の正答率

ク位置を要因とする分散分析の結果、クリック位置間で有意差が認められた ($p < 0.01$)。

心拍数については、10インチと24インチでの検索課題中の心拍数は80拍/分程度である。対応のあるt検定を行った結果、画面サイズ間に有意差はみられなかった。主観評価（文字検索の難易度、余裕度、画面サイズの適切度を7段階評価）の結果では、10インチよりも24インチで難易度が高く、余裕が無く、画面サイズも適切ではないとの結果であった。対応のあるt検定を行った結果、すべての項目で有意差がみられた ($p < 0.01$)。また、10インチ、24インチともに、「左」、「上」、「下」、「右」で見つけ易く、「左上」、「左下」、「右上」、「右下」で見つけ難いと回答した被験者が多かった。

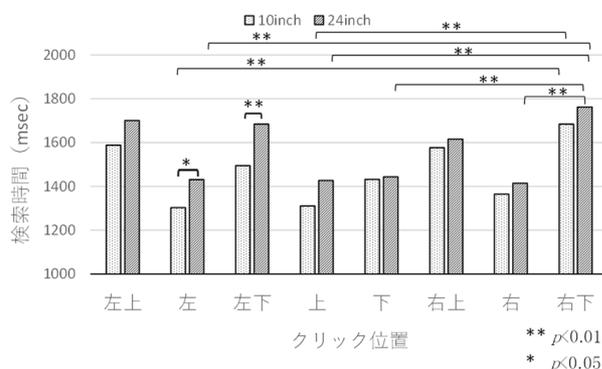


図6 各クリック位置の検索時間

59.2	227.8	163.9
151.4	表示位置	537.8
62.4	190.6	168.7

10インチ (単位: 回)

90.7	236.0	195.0
135.4	表示位置	536.3
70.6	231.9	151.0

24インチ (単位: 回)

図7 視線の累積回数

画面の中央に学習情報を表示する場合には、画面の「左上」、「左下」、「右上」、「右下」の四隅は、検索時間が長く、視線が向きづらい表示位置であり、主観評価からも「見つけにくい」との結果であった。最初に視線が画面の中央にある場合には、画面の四隅に学習情報が配置されると発見が遅れ、視線移動の距離が長くなることから、学習者の負担が大きくなると考えられる。

(4) まとめ

学習支援システムの最適な画面設計の学習情報の表示位置や注意すべき事項などの提案内容のポイントを以下に示す(本報告書で取り上げた3実験以外の実験結果の知見も含まれている)。

画面の中央に学習情報を表示する場合には、画面の四隅は視線が向きづらい傾向があり、表示された学習情報の発見の遅れや見逃す可能性がある。

画面の中央に解答などを入力する場合には、学習課題などを「右上」、「右」、「左」に表示すると、学習者の負担が大きいと予想される。

右手でマウスを操作する場合には、学習情報は画面の「中央」に配置し、回答を入力するクリック位置は画面の「右側」に配置する。

短時間で画面全域に情報を表示するような場合には、画面サイズが大きくなるとユーザの負担が増加する。

画面サイズを小さくして、学習情報を画面内に集約するとエラーが増加する。

最初に視線が画面の中央にある場合には、画面の四隅および左側に学習情報が配置されると発見が遅れるとともに、視線移動の距離が長くなり、学習者の負担が大きくなる。

学習支援システムの画面配置において、画面中央に課題文などの主学習情報を表示する場合には、使用頻度が高い学習情報(解答例、ヒントなど)や重要度の高い学習情報は、見つけやすい画面の「右」に配置し、重要度が低い学習情報やメニューなどは画面の左側の上下に配置することが推奨される。

本研究から、学習支援システムの学習画面の設計では、見つけやすい位置に学習情報を配置することや、学習情報の表示位置と入力位置との関係を考慮することで、操作性の向上や学習者の負担軽減につながることを明らかとした。学習支援システムでのヒューマン・エラーや学習者の疲労や負担は、生徒・児童などの学習者の健康にも関係しており、国内外を問わず学術的に検討する必要があるが、十分に検討されているとはいえない。研究成果は、学習支援システムの画面設計の最適な条件と課題を示し、情報機器を使用した学習環境の基礎資料となる。今後の展望は、追加実験を実施し、最適な条件を整理して画面設計の指針(ガイドライン)を作成する予定である。

< 引用文献 >

村田厚生、ヒューマン・インタフェースの基礎と応用、日本出版サービス、1998、93-110

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kaoru Honda	4. 巻 2
2. 論文標題 Effects of the Use of a Widescreen Display on Information Retrieval	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021), Springer	6. 最初と最後の頁 736-741
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-74605-6_93	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 本多薫、門間政亮	4. 巻 17
2. 論文標題 記憶再生、視線移動、負担からの情報表示における画面サイズと表示位置に関する検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 山形大学人文社会科学部研究年報	6. 最初と最後の頁 45-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 門間政亮、本多薫
2. 発表標題 モニター画面における学習情報の表示位置と画面サイズの検討：検索時間、視線移動、心拍数等を指標として
3. 学会等名 日本教育工学会2021年秋季全国大会（第39回大会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本多薫、門間政亮
2. 発表標題 モニター画面における表示位置と入力位置に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本教育工学会2021年春季全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 門間政亮、本多薫
2. 発表標題 視線移動、検索時間からのモニター画面における表示位置とクリック位置との関係について
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本多薫、門間政亮
2. 発表標題 記憶再生、視線移動、負担からのモニター画面の表示位置に関する検討
3. 学会等名 日本生理人類学会第80回大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	門間 政亮 (MOMMA Tadasuke)	宇部フロンティア大学短期大学部・食物栄養学科・准教授	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------