

認知負荷に基づきヒューマンエラーを低減する UI デザイン学習ツール

バスマジユ貴和[†] 大島登志一[†]

概要：本研究は、認知負荷による判断・理解力の低下と、それによるヒューマンエラーのリスク増大といった課題に対応するため、情報を直感的に理解できる UI デザインを探求する。例えば、スリーマイル島原子力発電所事故は、制御室パネルのインターフェースの複雑さが原因で、非常時の状況認識を困難にし、事故の要因の一つになった事例として知られている。このような課題に対し、認知特性に関する知識や、デザイン原則を体験型学習ツールに組み込むことを提案する。これにより、デザイン初学者が感覚的に捉えがちなデザインを論理的に理解する力を育み、人間の認知特性を考慮した情報デザインに応用できることを目指す。

1. はじめに

1.1 研究背景

現代社会において、災害対応や医療、行政サービスなど多様な領域で、情報の提示方法が人々の判断や行動に大きな影響を及ぼしている。特に非常時のような高ストレス環境下では、UI設計の不備が誤判断や操作ミスを誘発し、重大な社会的・人的リスクにつながる可能性がある。

この問題を示す代表的事例として、1979年に発生したスリーマイル島原子力発電所事故が挙げられる。同事故では、機器故障に加え、制御室における情報表示やインターフェースの分かりにくさが運転員の状況認識を困難にし、適切な判断を妨げたことが指摘されている[1][2]。この事例は、UI設計が人間の認知や判断に大きな影響を与えることを示している。

一方、近年は Web 技術の普及により、専門知識を持たない人でも容易に UI を制作できるようになったが、概念設計や情報設計が不十分なまま構築された UI も多く、ユーザーにとって分かりにくい情報構成が問題となっている[3]。この傾向は民間だけでなく、公共機関や行政サービスにおいても見られる。

さらに、デザイン教育の分野では、初学者がデザインを感覚的に捉えやすく、UIの構造や情報設計を体系的に理解することが難しいという課題が指摘されている[4][5]。その結果、従来の紙媒体や講義中心の学習では、実務に結びつく知識の定着が十分に行われていない。

以上より、UI設計が社会的に重要であるにもかかわらず、初学者がそれを体系的かつ実践的に学べる教育環境が十分に整備されていない点が、本研究の背景にある主要な問題である。

1.2 研究意義および目的

近年、UI/UX設計の重要性が高まる一方で、前節で示した通り、初学者がデザインを体系的かつ実践的に学ぶ機会は依然として不足している。特にUI設計は直感的・感覚

的に捉えられやすく、認知理論や論理的構造に基づいた理解が難しいという課題がある。また、非常時などの高ストレス環境下では、ユーザーの認知や判断が制約され、デザインの違いが情報理解や行動に大きな影響を与えることが指摘されている[6]。

本研究の目的は、非常時の情報伝達を題材とした体験学習ツールを開発し、初学者が人間の認知特性を考慮したUI設計を実践的に学べる環境を構築することである。特に、情報理解において重要な「レイアウト」に焦点を当て、重要情報を階層的に提示する設計プロセスを、インタラクティブな操作を通して学習する。体験的学習は、UIの構造やユーザー認知への理解を促進し、直感に依存しない論理的なデザイン判断の育成に寄与する[7]。

なお、本研究ではUX全体ではなく、画面構成や情報配置といった具体的要素から成るUIに焦点を絞ることで、初学者にとって理解しやすい学習導入を目指す。

2. 先行研究と事実調査

2.1 先行研究

(1) UX/UI デザイン教育向け概念モデル学習システム

UX/UI デザイン教育においては、初学者が視覚的表現に偏り、概念設計に基づく体系的理解に至りにくいという課題が指摘されている。『UX と UI のデザインスキル向上のための概念モデル学習システムの提案』[3]では、この課題に対し、UX/UIの本質的理解と設計能力の育成を目的とした教育システムが提案されている。同研究では、UX/UI設計に必要な学習要素を整理し、認知的徒弟制に基づく段階的学習プロセスを通して設計思考を育成する構成を採用している。

一方、本研究は、非常時における判断や誤操作に直結する情報配置や視線誘導を対象を限定し、初学者が理解しやすい UI 設計要素に焦点を当てている点に独自性がある。また、概念理解を中心とする先行研究に対し、レイアウト

[†] 立命館大学 映像学部 映像学科
(College of Image Arts and Sciences, Ritsumeikan University)

操作によって、人間の認知特性と情報デザインの関係を直感的かつ実践的に学習できる点が異なる。

(2) 総合防災アプリ『クロスゼロ』

防災領域における UI デザイン研究の事例として、静岡大学教育学部と KENTEM が共同開発した防災支援アプリ『クロスゼロ』[8]が挙げられる。同アプリは、災害時と平時の双方で利用可能なフェーズフリー設計を特徴とし、教育現場での防災学習にも活用されている。

『クロスゼロ』は、災害時の行動支援を目的に、情報の優先度が明確で直感的に理解しやすい UI デザインが評価され、グッドデザイン賞を受賞している。特に、情報優先順位の明確化や文字サイズ・色覚への配慮といった設計は、非常時における認知負荷の軽減や誤操作防止に寄与する実践的事例である。

本研究では、これらの設計指針のうち、情報の階層化、視線誘導、操作結果の可視化といった要素を抽出し、初学者向けの体験型学習教材として再構成した点に独自性がある。

2.2 事実調査

本節では、UI デザインにおける主要視覚要素と認知負荷に関する既存研究を整理し、本研究がレイアウトに焦点を当てる理由と、学習ツールで扱うデザイン指針を明らかにする。

(1) UI の主要視覚要素

UI の視覚要素には色彩・アイコン・レイアウトがあり、いずれもユーザーの情報処理に影響を与える。色彩は注意喚起や情報の区別に寄与し、アイコンは文字情報を補完することで認知コストを低減する[2][9][10]。これらに対し、レイアウトは情報配置や視線の流れを規定し、ユーザーの理解順序や認知プロセス全体を決定づける要素である[9][11]。

(2) ヒューマンエラーと認知負荷

ヒューマンエラーは、情報過多や分かりにくい UI による認知負荷の増大によって引き起こされることが多い。この認知負荷を説明する枠組みとして、認知負荷理論では、認知負荷は内生的・外在的・生成的負荷に分類され、UI デザインによって制御可能なのは外在的認知負荷である[12]。特に非常時にはワーキングメモリ容量が低下するため、情報整理や選択肢の制御が重要となる。

(3) 研究対象としてのレイアウトと採用指針

本研究がレイアウトに着目する理由は、

- ① 視線誘導や注意配分に最も直接的に関与し、認知負荷低減や誤操作防止に効果が高い点
- ② 情報の階層化や理解順序を操作体験を通して学習でき、初学者にとって理解しやすい点

以上の2点である。

そこで、レイアウト4原則 - 近接・整列・対比・反復(図1)、ヒックの法則(図2)、Zパターン(図3)を中心に扱う。レイアウト4原則は情報構造の整理に有効であり[13]、

ヒックの法則は選択肢数と意思決定時間の関係を示す[14]。また、Zパターンは視線の自然な流れに基づく情報配置の指針である[11][13]。これらの指針は、

① 外在的認知負荷の低減に直接寄与すること

② 操作体験を通じて直感的に理解しやすいこと

これらの理由により、本研究の学習ツールに適している。



図1 レイアウト4原則の概念図

ヒックの法則

選択肢の数が増えるほど、意思決定にかかる時間が対数的に長くなる



図2 ヒックの法則の概念図

Z - パターン

人の視線が左上 - 右上 - 左下 - 右下へと流れる特性を活かしたレイアウトモデル



図3 Zパターンの概念図

3. ツールの設計および実装

3.1 システム概要

本研究で開発した学習ツールは、UI デザインにおける認知負荷低減と基本的なデザイン原理を、初学者が体験的に理解することを目的としている。システムは3つのセッションから構成され(図4 システム構成図4)、本章では主に体験学習パートの設計および操作仕様について述べる。

01

Overview

作品概要および学習目的を示すイントロダクションムービー：
研究背景、問題設定について動画形式で提示する。



02

Theory

認知負荷理論に関する解説パート：

内在的・外在的・関連的負荷の3分類と、UIデザインにおける外在的認知負荷低減の意義、UIにおいて重要な要素となる色彩・アイコン・レイアウトについてインタラクティブな画面で説明する。



03

Practice

アプリケーションのUIデザインの体験：

操作を通じてレイアウト4原則・ヒックの法則・Zパターンを学び、認知負荷を下げるための情報構造化を実践的に理解できるよう設計した。

図4 システム構成

本ツールの制作には、Adobe Illustrator・Photoshop・Blenderを用いたデザイン制作、Premiere Pro・After Effectsによる映像制作、およびUnityによるインタラクティブ実装を用いた。図5に本ツールの処理フローを示す。

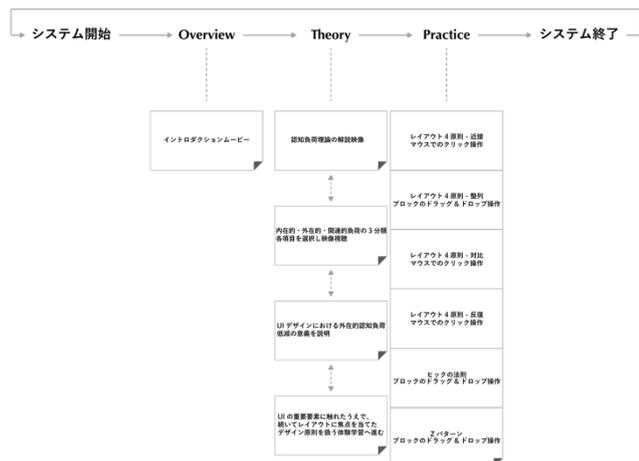


図5 本ツールのフローチャート

3.2 レイアウト4原則

レイアウト4原則の学習パートでは、ユーザーが要素配置を直接操作することで、情報配置が外在的認知負荷に与える影響を体験的に理解できるよう構成している。各原則に基づく操作を通じて、視線誘導や情報のまとまりが改善され、結果としてワーキングメモリへの負担が軽減されることを確認できる。

(1) 近接

「近接」を有効化すると、関連要素間の距離が自動調整され、グルーピングの有無を比較できる(図6)。近接した要素は一まとまりとして知覚されるため、情報構造が明確になり、作業記憶の負担が軽減される。



図6 レイアウト4原則 - 近接の操作画面

(2) 整列

整列では、ブロックをドラッグ操作で縦横にそろえて配置する(図7)。正しい位置ではスナップが発生し、情報の秩序性や視線移動のしやすさが向上することを体感できる。



図7 レイアウト4原則 - 整列の操作画面

(3) 対比

対比では、見出しサイズの調整により、重要情報の視認性の変化を確認できる(図8)。対比が不十分な場合との比較を通して、視線誘導や情報探索の容易さへの影響を理解できる。



図8 レイアウト4原則 - 対比の操作画面

(4) 反復

反復では、色やフォントなどのスタイルを統一する操作を行い、一貫性が情報理解を助けることを体験する(図9)。反復の有無による印象の違いを比較できる。



図9 レイアウト4原則 - 反復の操作画面

3.3 ヒックの法則

ヒックの法則の学習では、散在する情報ブロックをタブに整理する操作を行う(図10)。選択肢を階層化することで、操作前後の判断しやすさを比較し、選択肢数が意思決定に与える影響を理解できる。



図 10 ヒックの法則の操作画面

3.4 Z パターン

Z パターンの学習では、複数のブロックをドラッグし、左上から右下へと視線が流れる配置を構成する (図 11)。適切な配置では視認フローに視覚的フィードバックが与えられ、情報の認識順序を制御できることを学習できる。



図 11 Z パターンの操作画面

4. 評価実験

4.1 実験目的

本実験の目的は、開発した学習ツールが初学者の UI 設計における論理的構造および認知的配慮の理解を促進するかを検証することである。具体的には、

- ① ツール利用による理解度および認知負荷に関する理解の向上
- ② 従来の講義形式や紙媒体教材と比較した際の有用性
この 2 点を評価する

操作体験が理解促進や認知負荷低減に寄与するかを確認することが本実験の主眼である。

4.2 評価指標

学習効果を評価するため、以下の 2 つの指標を設定した。

- ① 理解度の変化: ツール体験前後で、認知負荷の 3 分類、レイアウト 4 原則、ヒックの法則、Z パターンの理解度 (5 段階尺度) を測定し、その差分を評価する
- ② 有用性・教育的価値の評価: ヒューマンエラー低減への寄与、実践への活用可能性、全体満足度の 3 項目 (5 段階尺度) から、本ツールの学習支援効果を評価する。

4.3 調査参加者と実験環境

デザイン経験者および未経験者を含む学生 20 名を対象とした。実験は PC 上の Unity アプリケーションで行い、操作後に Google フォームを用いてアンケートを実施した。未経験者による支援効果の検証に加え、経験者を含めることで、既存知識を持つユーザーへの影響も確認する。

5. 実証実験

5.1 参加者属性

実験参加者 20 名のデザイン経験レベルを図 12 に示す。未経験者が 65% を占め、独学や授業での経験者を含む初学者が中心の構成であった。実務経験者は含まれていない。

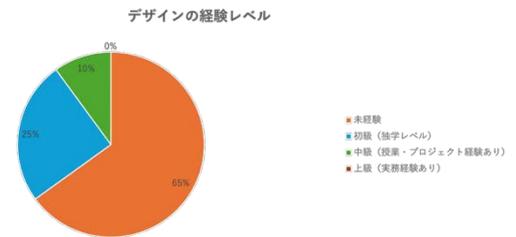


図 12 デザイン経験レベル

5.2 理解度の変化

ツール使用前後における 5 段階尺度での理解度調査の結果を図 13、図 14 に示す。事前調査では「認知負荷の 3 分類」「ヒックの法則」の未学習者が多く、全項目で平均 1.40 ~ 2.55 と低かった。しかし、ツール使用後の事後調査では、すべての項目で平均 4.5 以上へと大幅な向上が見られた。

特に「認知負荷の 3 分類」では、「全く知らない」から「よく理解している」への理解度の大きな変化が確認され、本ツールの効果が示された。

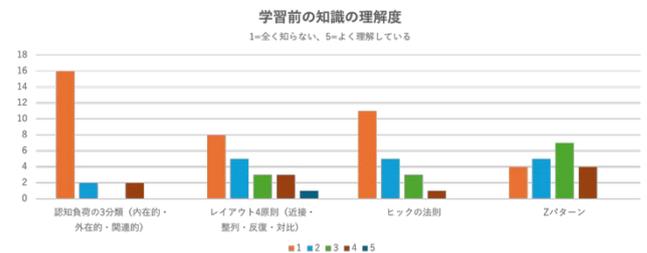


図 13 学習前の知識の理解度

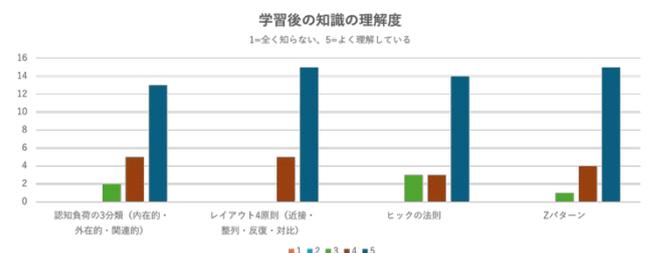


図 14 学習後の知識の理解度

5.3 有用性・教育的価値の評価

ツールの有用性に関する 3 項目の調査結果の回答分布を、図 15、図 16、図 17 に示す。いずれも「4」または「5」の高評価が大半を占めた。具体的には、ヒューマンエラー低減の考え方の習得や、今後のデザイン実践への活用可能性

において高い肯定的評価が得られた。これにより、本ツールが単なる知識提供に留まらず、実践的な学習支援として有効に機能することが確認された。

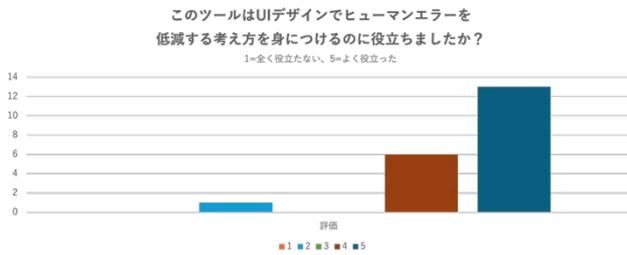


図 15 本ツールのヒューマンエラー低減における有用性

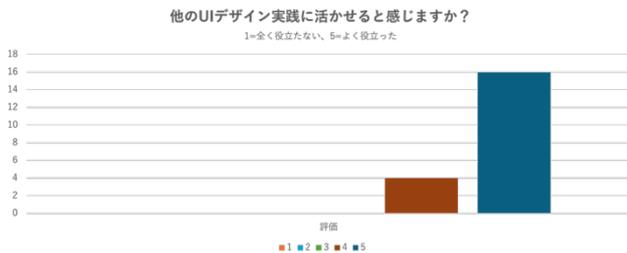


図 16 本ツールのデザイン実践への有用性

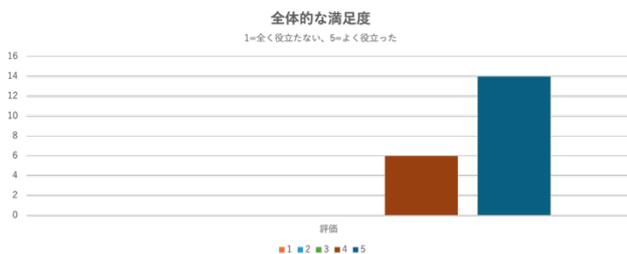


図 17 本ツールの満足度

6. 考察

6.1 理解度の向上と学習内容の性質

5.2 の結果から、全項目で平均理解度が 4.5 以上に達し、初学者がデザイン原則を論理的に理解する上で本ツールが有効であることが示された。特にレイアウト 4 原則や Z パターンなど、操作体験と直結する項目で高い理解が得られた。一方で、体験者からは「認知負荷理論」の理解に時間を要したとの意見があり、概念の抽象度が影響したと考えられる。映像による解説のみならず、抽象的な概念をいかに具体的な操作体験へと落とし込むかが、知識定着を深める上での課題である。

6.2 有用性と教育的価値

評価実験から本ツールは「直感的判断ではなく、認知特性に基づく論理的デザインの理解」という研究目的を概ね達成したことが明らかになった。自由記述では「感覚的だったレイアウト決定に理論的根拠を得られた」との声があ

り、体験型学習がデザインリテラシーの向上に寄与したといえる。一部で「ヒューマンエラー低減との結びつきが弱い」との指摘があった点は、認知特性の解説と実践的意義の橋渡しに改善の余地があることを示唆している。今後は具体事例の拡充により、理論の有用性をより強調する必要がある。

6.3 属性による影響と一般化の可能性

参加者のデザイン経験にかかわらず一貫して高い学習効果と有用性が得られたことは、本ツールの汎用性を示している。特に操作と解説を交互に行う構成が、初学者の学習継続に寄与した。本実験はデジタルリテラシーの高い大学生 20 名を対象とした限定的な検証であるが、教育的効果の傾向を把握する基礎データとしては十分な有意性を示した。今後は、より多様な層を対象とした追加調査により、操作負荷や興味関心の違いが学習効果に与える影響を検証することが課題である。

7. むすび

本研究では、初学者が UI 設計における論理的構造を体験的に学べる教育ツールを開発し、その有効性を評価した。従来の紙媒体や講義形式では困難であった、認知特性に基づくデザインの体系的理解という課題に対し、操作体験を通じた学習アプローチを提案した。

評価実験の結果、デザイン経験レベルを問わず、レイアウト原則や視線誘導に関する理解度が大幅に向上し、本ツールがデザインリテラシーの向上に有効であることが示された。一方で、認知負荷などの抽象的概念については知識定着に課題が残り、操作体験と実践的意義（ヒューマンエラー低減等）をより密接に結びつける工夫の必要性が明らかになった。

今後の展望として、アイトラッキング等の生体計測を用いた認知負荷の可視化や、色彩・アイコンなど学習範囲の拡充を行い、より包括的なデザイン教育システムへと発展させる予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、副査である武田港准教授には、研究の過程で貴重かつ示唆に富んだご助言を賜り、内容の精度向上に大いに役立ちました。深く感謝申し上げます。さらに大島ゼミの皆様には、日頃のゼミ活動を通じて多くの刺激と学びをいただきました。研究に行き詰まった際の意見交換や励ましにより、本研究を最後までやり遂げることができました。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] J. G. Kemeny, et al.: "Report of the President's Commission on the Accident at Three Mile Island: The need for change: The legacy of TMI", U.S. Government Printing Office, 1979.
- [2] D. A. Norman: "The design of everyday things", *The Design of*

Everyday Things, Basic Books, pp. 1 - 49, 2013.

- [3] 松山聡志, 千石靖: “UX と UI のデザインスキル向上のための概念モデル学習システムの提案”. 情報処理学会研究報告 IPSJ SIG Technical Report. Vol.2014-HCI-160 No.21, Vol.2014-UBI-44 No.21, 2014-10-15.
- [4] A. G. Sutcliffe: “User-Centred Requirements Engineering”, Springer, 2002.
- [5] 伊藤文彦: “デザインリテラシー教育のための『デザイン知識』の応用に関する考察”. 静岡大学教育学部研究報告 (人文・社会・自然科学篇), No.64, pp. 193-204, 2014-07-01.
- [6] 松岡号介: “UI 設計における認知心理学”. UX デザインの実践. 2024-09-20. <https://uxdesign-tools.com/archives/130>, (参照 2025-12-08).
- [7] 石森広美: “体験的学習の教育的意義 (示唆)”. J-STAGE 国際教育, 24 巻, pp. 1-17, 2018.
- [8] KENTEM (株式会社建築システム): “総合防災アプリ クロスゼロ”. <https://x-zero.jp>, (参照 2025-12-08).
- [9] C. Ware: “Information visualization: perception for design”, *Information Visualization: Perception for Design*, Morgan Kaufmann, pp. 25 - 78, 2013.
- [10] M. S. Wogalter, and K. R. Laughery: “Warning design and assessment”, *Warning Design and Assessment*, Taylor & Francis, pp. 100 - 110, 2006.
- [11] J. Nielsen: “Usability engineering”, *Usability Engineering*, Morgan Kaufmann, pp. 110 - 156, 1993.
- [12] J. Sweller: “Cognitive load during problem solving: effects on learning”, *Cognitive Science*, Vol.12, No.2, pp. 257 - 285, 1988.
- [13] W. Lidwell, K. Holden, and J. Butler: “Universal Principles of Design: 125 Ways to Enhance Usability, Influence Perception, Increase Appeal, Make Better Design Decisions, and Teach Through Design”, Rockport Publishers, 2010.
- [14] W. E. Hick: “On the rate of gain of information”, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol.4, No.1, pp. 11 - 26, 1952.