

製造現場の認知構造に基づく UI/UX 設計が 製造プロセスの意思決定に与える影響

鈴木萌々花^{†1}

株式会社 UACJ

大町奈央子^{†2}

株式会社 UACJ

磯田祐世^{†3}

株式会社 UACJ

山本佑樹^{†4}

株式会社 UACJ

1. はじめに

近年、製造業では生産性の向上や品質改善を目的とした内製アプリケーションの開発が進められている。しかし、こうしたアプリケーションの多くが現場で十分に活用されていないという課題が存在する。その主な原因として、開発されたアプリケーションが製造現場の具体的な業務ニーズや現場ユーザーの認知構造に適合していない点が挙げられる。この結果、現場での使用頻度が低下し、導入効果が限定的なものとなっている。

特に、ユーザーの業務特性や価値観、現場独自のプロセスを考慮せずに設計された UI(ユーザーインターフェース)や UX(ユーザーエクスペリエンス)は、利用意欲の低下を招くだけでなく、作業効率や意思決定の妨げにもなり得る。このような現状において、アプリケーション設計にユーザー中心設計(User-Centered Design, UCD)の視点を導入することは重要である。ユーザー中心設計とは、ユーザーのニーズや価値観を中心に据えた設計手法のことである[1]。しかしながら、この設計手法について製造現場に対し適用可能な具体的な方法論として十分に整理されていない。本研究の目的を以下に示す。

1. ユーザー中心設計の具体的手法の明確化

製造現場におけるアプリケーション設計に適用可能な UCD のプロセスを体系化し、その具体的な方法を提示する。

2. 工場ドメインの認知負荷に適合した UI/UX 設計の効果の検証

UCD を用いて設計されたアプリケーションが、現場ユーザーの作業効率や意思決定プロセスにどのような影響を及ぼすかを実証的に評価する。

これにより、製造現場の実情に即したアプリケーション設計の基盤を構築し、現場での内製アプリケーションの有効活用を促進するための知見を提供することを目指す。本研究の成果は、現場における DX(デジタルトランスフォーメーション)の進展を支える重要な一助となると考えられる。

Impact of UI/UX design based on the cognitive structure of the manufacturing site on manufacturing process decision making

^{†1} MOMOKA SUZUKI, UACJ Corporation

^{†2} NAOKO OMACHI, UACJ Corporation

^{†3} YUSEI ISODA, UACJ Corporation

^{†4} YUKI YAMAMOTO, UACJ Corporation

2. ユーザー中心設計の具体化方法

2.1 アクションリサーチサイクル

ユーザー中心設計の実現に向け、アクションリサーチ手法を取り入れた。アクションリサーチはユーザー/開発者が積極的に関与し、ニーズや価値観に則した課題解決を目指すアプローチである[2]。アクションリサーチは実践研究と訳されることがあるが、単なる「実践についての研究」ではなく、研究者が現場の人々に働きかけ、対象者への援助と研究(実践)を同時に進める「実践を通しての研究」を指す。そのため、現場の変革を含む実践がアクションリサーチの特徴である[3]。

図 1 に示すアクションリサーチサイクルを適用し、ユーザー(工場ドメインの従業員)および開発者が主体的に関与する形で、ニーズに基づく課題解決を目指した。

アクションリサーチは「コンテキストと目的」を明確にしたうえで「課題構築」「アクション計画」「アクション実行」「アクション評価」の 4 段階で実施される。

以下に、アクションリサーチについて具体的な実施内容を述べる。



図 1 アクションリサーチのサイクル

Figure1 Action Research Cycle.

2.1.1 コンテキストと目的

研究の背景や必要性を具体化し、アクションリサーチを用いる妥当性を検証するフェーズである。

当社におけるアルミニウム加工工程では、生産効率の向上と高品質製品の製造を目指す上で、潤滑油の性状を安定

化させることが極めて重要である。しかし、潤滑油の性状は日々変動し、その変動に即応する迅速かつ適切な調整が求められるにもかかわらず、現行の意思決定プロセスには複数の課題が存在している。例えば、調整作業の遅延や不適切な対応が頻発しており、これが生産効率や製品品質の向上を阻む要因となっている。さらに、潤滑油管理のような専門性の高い領域では、既存の内製アプリケーションが現場で十分に活用されていない現状がある。この背景には、アプリケーションが現場特有の業務プロセスやユーザーの認知負荷に十分配慮されていない設計上の課題があると推察される。

そのため今回は、潤滑油調整業務の現場ユーザーを対象に、業務特性に即したアプリケーション設計を目指す。ユーザー中心設計を採用し、アクションリサーチ手法で問題を分析・改善する。これにより、UI/UX 設計の最適化と内製アプリケーションの有効活用を促進する基盤を提供することを目指す。

2.1.2 課題構築(抽出)

アクションリサーチの中で、ユーザーヒアリングや観察を通じて、ユーザーの抱える日常的な負担や非効率性の具体例を把握しつつ、現行の課題を以下のように洗い出した。

①手入力および手動グラフ作成の負担

潤滑油の性状データは Excel で管理されており、日々の分析値を手入力し、項目ごとに手動でグラフを作成している。この作業は属人化しやすく、ヒューマンエラーのリスクを伴うほか、作業負担が大きい。

②膨大なデータ量への対応の困難さ

性状データは多岐にわたり、過去データも膨大であるため、必要な情報を迅速に抽出できず、重要な情報を見落とすリスクが高い。

③データ可視性の課題

グラフが個別項目ごとに分散しているため、異常値や注目すべき項目を直感的に把握することが難しい。

2.1.3 アクション計画

2.1.2 で洗い出した課題は、認知負荷理論(Cognitive Load Theory)の概念を適用することで解消できると考えられる。認知負荷理論とは、人間の短期記憶が処理できる情報量には限界があるという認知心理学の知見に基づいており、情報の過剰な提示や不適切な形式は、理解を妨げ、意思決定の遅延や誤りを招く可能性を示唆する[4]。学習やタスク遂行時の認知負荷は外在的負荷、内在的負荷、関連的負荷の3つに分類される[5]。

- 外在的負荷：非効率な情報提示や不要な作業によって生じる負荷を指し、削減が可能である。
- 内在的負荷：タスクそのものの複雑性に起因する負荷であり、削減が難しいが管理は可能である。
- 関連的負荷：学習やタスク遂行に必要な認知的努力を指し、適切な水準を保つことが求められる。

製造現場のデータ管理や可視化における課題に対し、外在的負荷を最小化することで、内在的負荷への対応力を高め、関連的負荷を適切に調整することが可能となる。この認知負荷理論をベースに、プロトタイプの UI/UX 設計を行った(Table1)。

表 1 課題に対する外在的負荷とそれに対応可能な UI/UX 設計

Table 1 Extrinsic load on the issue and the ability to respond to it UI/UX design

課題	外在的負荷	対応可能なUI/UX
手入力・手動グラフ作成	単調作業による集中力の低下 確認の負担増加 個人差による扱いづらさ	・統一されたグラフデザインの自動生成 ・Plotlyでインタラクティブな操作性
膨大なデータ量への対応の困難さ	データ探索の煩雑さ 重要データの見落としのリスク	・項目数の絞り込み ・最新数値の提示
データ可視性の課題	異常の即時把握が困難 全体像の把握がしづらい	・カード形式の可視化 ・視認性の向上

2.1.4 アクション実行

Table1 をもとに、実際にアプリのプロトタイプを作成した結果、完成した UI デザインを以下に示す。

視覚的アラート機能付きカード型 UI

膨大なデータ量への対応の困難さ・データの可視性課題に対し、視覚的アラート機能付きカード型 UI の導入を考案した(Fig.2)。以下に、工夫点を示す。

● 直観性・視認性

カード型 UI では、管理範囲が設定されている項目に対して、カード下部に色を付与することで正常・異常を識別可能にしている。管理範囲内であれば正常を表す緑色、管理範囲外であれば異常を表す赤色を使用することで各項目の状態を一目で把握できるようにした。色にはセマンティックカラーという定義があり、特にアラート関連ではセマンティックカラーを活用することが一般的である[6]。これにより、視覚的かつ直感的な現状把握が可能となる

● アクセシ性・操作性

アンカー機能を設置した。カード型 UI に配置されたアラートをクリックすることで、該当するグラフに自動的にスクロールされ、ユーザーがグラフの詳細を素早く確認できるようになる。また、グラフ付近に「トップページへ戻る」ボタンを配置し、ナビゲーションの手間を軽減した。このような操作の簡素化により、ユーザーは無駄な操作を減らし、効率的に情報を取得可能となる

● 柔軟性・カスタマイズ性

ユーザーが必要とする管理項目だけを表示し、情報を絞り込むことで、過剰なデータに圧倒されることなく、最も重要な情報を効率よく取り扱うことができる。

● 全体的な情報の整理・一貫性

カード型 UI はデータを分かりやすく集約する役割を果たす。この一貫したデザインにより、ユーザーは異常値や重要なデータを素早く認識できるだけでなく、必要な情報に集中しやすくなる。余白が均等になり、情報が整理されていることで、データ間の関係性が把握しやすくなり、ユーザーが行う意思決定の質も向上することが期待される。

対話的なグラフ表示 UI

手入力・手動グラフ作成の課題に対し、対話的なグラフ表示 UI の導入を考案した(Fig.3)。以下に工夫点を示す。

● 直観性・視認性

自動生成グラフ内で管理範囲を示す上限・下限線や移動平均線を表示していることから、ユーザーは瞬時に異常値やトレンドを視覚的に確認可能である。

● 柔軟性・カスタマイズ性

ユーザーは、グラフ内の表示範囲やトレンドラインを自由に調整できるため、データの解釈や解析を自分の作業フローに合わせて柔軟に行うことが可能である。

● 全体的な情報の整理・一貫性

グラフのデザインが統一されていることで、ユーザーは複数の項目を比較する際にデザインの違和感を抱くことなく、直感的に理解できる。これにより、情報整理が効率化され、ユーザーは短時間でデータ間の関係性を把握できるようになる。

● インタラクティブ性

対話的なグラフ表示は、ユーザーがデータを動的に操作することで、データの迅速な解釈を支援する。グラフを拡大したり縮小したり、表示範囲を調整することで、ユーザーは必要なデータを迅速に見つけ、効果的に活用することが可能である。

このように、視覚的アラート機能付きカード型 UI と対話的なグラフ表示 UI は、それぞれのカテゴリにおいて、ユーザーのニーズに応じた直感的で効率的なデザインを提供することが期待される。



図 2 視覚的アラート機能付きカード型 UI
Figure2 Card-style UI with Visual Alert Features.

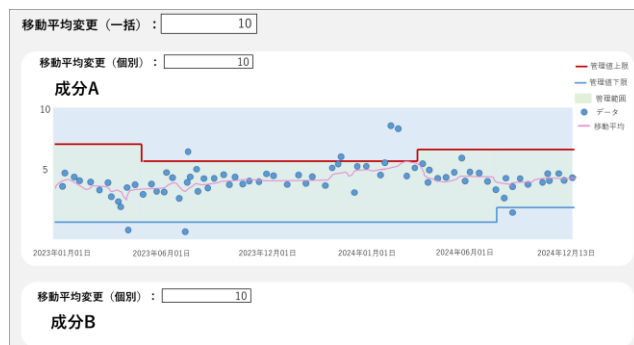


図 3 対話的なグラフ表示 UI
Figure3 Interactive UI of graph.

2.1.5 アクション評価

プロトタイプの評価に向けて、工場ドメインに対しプロトタイプに関するワークショップを開催し、ドメイン作業員からプロトタイプに関する以下フィードバックを得た。

- グラフ UI の操作性に関する改善点
- カード型 UI の情報量調整やカスタマイズ性に関する要望

フィードバックの収集から改善策の立案、実装、評価までの一連のサイクルを、ここでは「ユーザー中心のアクションリサーチサイクルの螺旋構造」と呼ぶ(Fig.4)。この螺旋構造は、初期のフィードバック収集から改善策の立案、実装、評価までを繰り返し実施することで、ユーザーのニーズに応じた継続的な改善が可能となる。各サイクルの終わりには新たなフィードバックが得られ、次のサイクルでさらに改善が重ねられ、最終的にはユーザーの生産性向上や作業効率化に貢献できるアプリ開発が達成されることが期待できる。

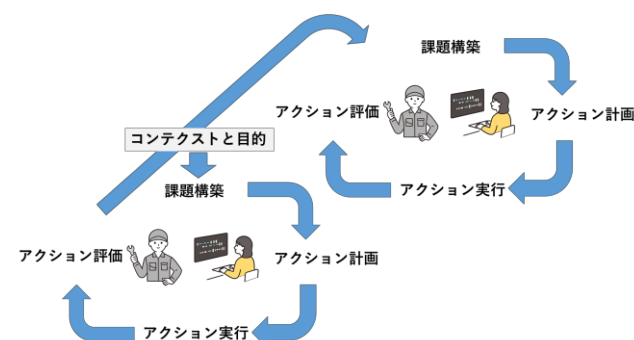


図 4 アクションリサーチサイクルの螺旋構造
Figure4 Spiral Structure of the Action Research Cycle.

3. 結果と考察

3.1 ユーザー中心設計の結果

アクションリサーチを繰り返し、実際に完成したアプリを工場ドメインに展開した。その結果、毎日アプリは活用されている。この結果の効果を検証するため、以下の2点について調査を行った。

1. ユーザー中心設計を満たすアプリ開発が実現したか (UI/UX 設計の評価)
2. 工場ドメインにおけるユーザー中心設計(ニーズや価値観)とは何か

3.2 認知負荷におけるアンケート調査

UI/UX 設計により認知負荷を改善したアプリを展開し、ユーザーおよび潤滑油に関するドメイン知識を持つ4名を対象にアンケート調査を実施した。調査では、アプリ導入前後の作業負荷の変化を、抽出課題「①手入力および手動グラフ作成の負担」、「②膨大なデータ量への対応の困難さ」、「③データ可視性の課題」に関してリッカート尺度(1: 全く感じない〜5: 非常に感じる)を用いて評価し[7]、結果を図5に示した。グラフから、アプリ導入後の認知負荷が導入前に比べて大幅に軽減されていることが確認できた。本UI設計がタスクの複雑さやストレス軽減に寄与したと考えられる。特に「手入力・手動グラフ作成」の項目では、アプリの自動化機能が大きく寄与していると考えられる。

アンケート調査データを見ると、アプリ導入前から一部のユーザーはすでに特定の項目で認知負荷を問題としておらず、当該ユーザーにとってはアプリの改善効果が強く感じられていない可能性があるが、全体的な使い勝手の向上については評価している。以上の結果から、アプリによる認知負荷の軽減が工場ドメインにおけるUI/UX 評価の向上につながり、ユーザー中心設計を満たすアプリ開発が実現したといえる。

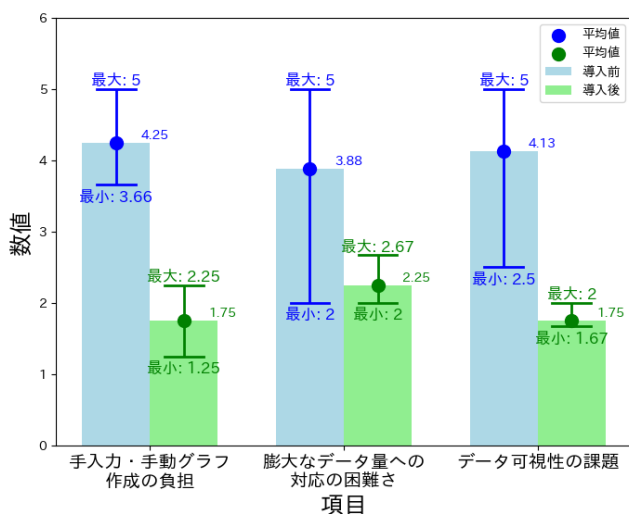


図 5 アプリ導入前後の作業負荷の変化

Figure5 Change in usability before and after application introduction.

3.3 インタビュー調査の解析結果

アンケートによるUIの認知負荷に関する評価に加え、ユーザーのUI/UXにおける主観的な意見や改善要望を把握するためにインタビューを実施し、その結果を定量的に処理すべく自然言語処理(Natural Language Processing, NLP)を行った。具体的には、各ユーザーのインタビュー内容を事前に定義したカテゴリに分類し、各カテゴリとの類似度を計算した。この分析には、SentenceTransformerを使用して各ユーザーのインタビュー内容とカテゴリの埋め込みを生成し、その埋め込みを基にコサイン類似度を算出した。SentenceTransformerとは、Reimers and Gurevych(2019)によって提案された深層学習モデルであり、文や文章の意味的特徴を高次元空間上に埋め込みとして表現する技術である。本モデルは、BERT(Bidirectional Encoder Representations from Transformers)などのTransformerアーキテクチャを基盤としており、文間の類似度計算、分類、クラスタリングなど多様なタスクにおいて高い性能を発揮することが知られている[8]。本研究では、事前学習済みのSentenceTransformerモデルを用いてインタビュー内容の埋め込みを生成し、それらとカテゴリの埋め込みとの間でコサイン類似度を計算することで、各コメントがどのカテゴリに関連するかを定量的に評価した。これにより、各コメントがどのカテゴリに最も関連しているかを定量的に評価し、どのテーマがユーザーにとって重要であるか、またどの改善要望が強く求められているかを明確に可視化することができる。UI/UX 設計における価値観のカテゴリを以下のように設定した。

- 直観性・視認性
- アクセス性・操作性
- 柔軟性・カスタマイズ性
- 全体的な情報の整理・一貫性
- インタラクティブ性

上記カテゴリは、UI/UX において、ユーザーが使いやすさや満足感を感じるための基本的な要素でありながら、今回のUI/UX 設計において特に重視したポイントである。ユーザー毎の価値観を分析した結果をFig.6に示す。分析結果から、製造業のユーザー全員がUI/UX 設計における価値観として「全体的な情報の整理・一貫性」を高く評価していることが明らかになった。この評価は、特にグラフUIの一貫したデザインやカード型UIにおける情報の集約と余白の均一性などによる、整理されたデザインが効果的に機能している点に起因すると考えられる。「全体的な情報の整理・一貫性」が重視される背景として、製造業の特性が挙げられる。製造業では標準化が重要視される傾向があり、このようなドメイン特性がユーザーのUI/UX に対する価値観に影響を与えていると推測される。たとえば、ISO 9001(会社や組織が提供する“商品やサービス”の品質向上を目的とした品質マネジメントシステムに関する国際規格)において

もプロセスの標準化が求められる。製造業の工場ドメインでは、全ユーザーが同一のインターフェースを使用することが標準化の大きなポイントとなり、一般的にはこの部分に寄与する価値観が強いと考えられる。これにより、異常検知や報告手順が一貫性を持ち、業務の効率化が図られるだけでなく、ミスや誤解の発生が抑制され、品質の安定性が向上する。このことから、製造業における UI/UX 設計において「全体的な情報の整理・一貫性」が特に重要なポイントであると言える。

「全体的な情報の整理・一貫性」に対する価値観は共通するもののユーザー毎に価値観の分布が異なる点も見逃せない。各ユーザーの認知負荷の軽減度の平均値および 5 項目の価値観における標準偏差の関係を Fig.7 に示す。認知負荷の軽減度が高いと感じるユーザーほど、UI/UX における複数の価値観(直観性・視認性、アクセス性・操作性、柔軟性・カスタマイズ性、インタラクティブ性)をバランスよく評価している傾向が見られる。このことから、アプリに対する UI/UX の要素の重要性が高いことが考えられる。一方、認知負荷の軽減度が低いユーザーは、価値観のばらつきが大きく、特に「全体的な情報の整理・一貫性」に強く依存する傾向がある。このことから、他の価値観をあまり重要視せず、統一感のある情報整理を最優先に求めており、その部分に対してのみ認知負荷が軽減したため、UI/UX の効果が相対的に小さかったと考えられる。そのためこのユーザーはアプリに対する UI/UX の要素の重要性は限定的であり、UI/UX 以外の要素を重要視しているのではないかと考えられる。

UCD に基づく開発アプローチは、ユーザーの認知負荷を軽減するだけでなく、業務フローに即した柔軟なシステム設計を可能にする。しかしながら、ユーザーの価値観やニーズは時間とともに変化するため、アプリの設計・開発は一度で完結するものではない。今後もアクションリサーチを継続し、ユーザーのフィードバックを取り入れながら、システムの改善を繰り返す必要がある。これにより、長期的な視点でユーザーとの信頼関係を構築し、実際の業務環境に適応したシステムを維持することができると考えられる。

以上の結果より、工場ドメインにおける UCD は、「全体的な情報の整理・一貫性」の価値観を踏まえた設計である。しかし、ユーザー毎に多様な価値観があることも明確であり、継続的な改善による信頼性や使いやすさ向上の余地は多分にある。

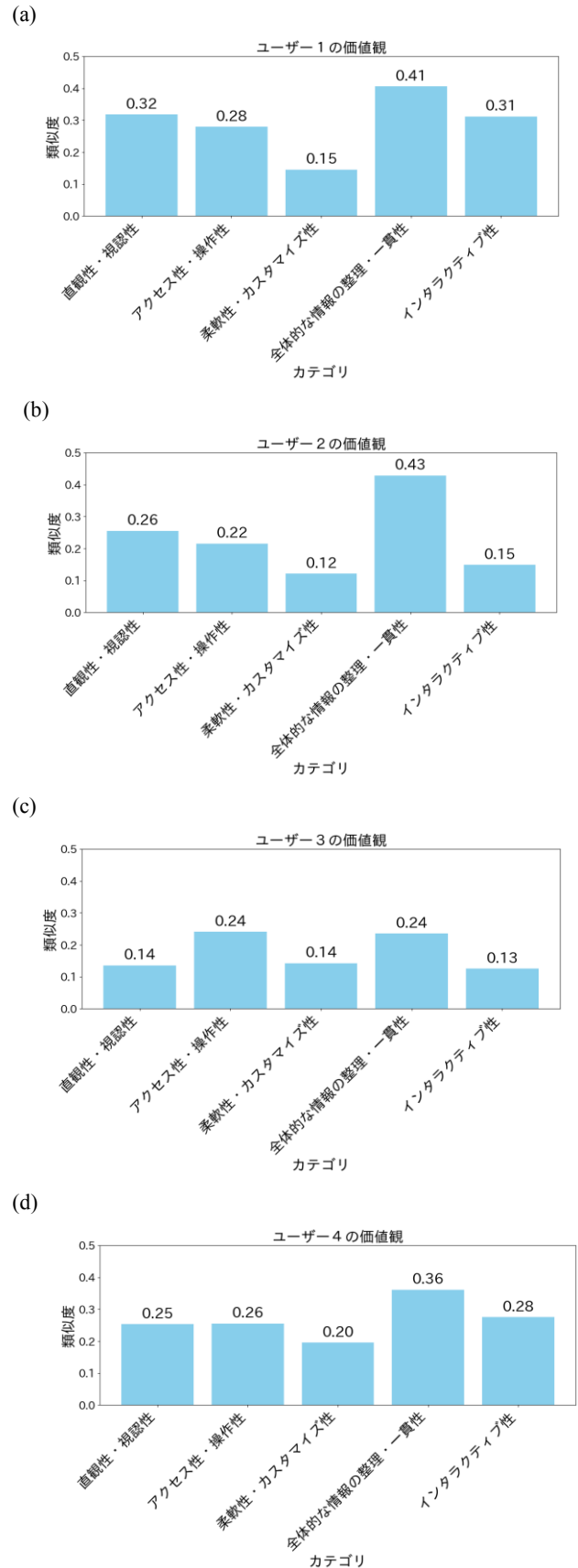


図 6 各ユーザーにおける UI/UX の価値観

(a) ユーザー1, (b) ユーザー2, (c) ユーザー3, (d) ユーザー4

Figure6 UI/UX values for each user

(a) User 1, (b) User 2, (c) User 3, (d) User 4

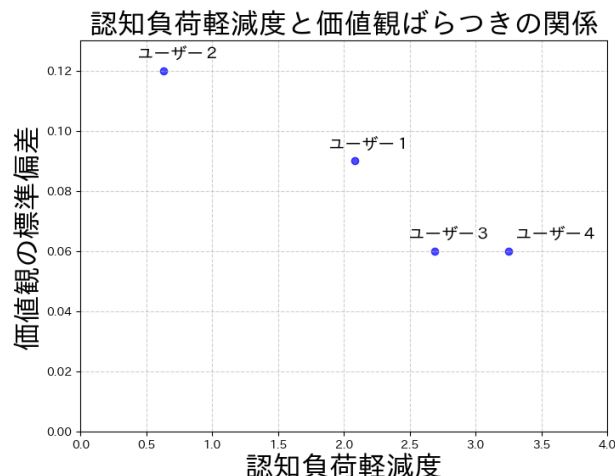


図 7 各ユーザーにおける認知負荷軽減度と UI/UX に対する価値観のばらつきの関係性

Figure7 Relationship between the degree of cognitive load reduction and variation in values for UI/UX for each user.

4. まとめ

本研究では、製造現場の認知構造に基づく UI/UX 設計が製造プロセスの意思決定に与える影響について検討した。ユーザー中心設計(UCD)を具体化するためにアクションリサーチ手法を導入し、以下の成果を得た。

- 工場ドメインにおいてアクションリサーチ手法を取り入れることで、継続的に活用されるアプリを開発できたことより、ユーザー中心設計を実現した。
- 認知負荷理論を適用した UI/UX 設計を行った結果、アプリ導入前より認知負荷を軽減することが可能となった。
- ユーザーが持つ価値観の定量的な把握が可能となり、工場ドメインに関しては「全体的な情報の整理・一貫性」が特に重視されることが明らかとなった。
- 全体としてのユーザー毎の価値観は異なり、また時間とともに変化する可能性があるため、今後もアクションリサーチサイクルの継続が重要である。

UCD のプロセスを通じて、製造業におけるドメイン固有の価値観を具体化することに一定の成功がみられた。本プロセスでは、ユーザーの業務特性や行動パターン、価値観に基づいた設計アプローチを採用し、単なる短期的な解決策に留まらず、長期的に活用されるシステムの開発方法を体系的に明確化した点が特色である。これにより、当該ドメインにおいてユーザーがシステムを積極的に利用し続ける基盤を築き上げ、ソリューションの展開事例数の増大を目指すことが可能となった。

今後の展望：データドリブンな意思決定

本研究で得られた成果は、製造業における DX(デジタルトランスフォーメーション)の加速を支える重要な基盤となることが期待されている。ユーザーがシステムを通じて日々の業務を改善し、データを活用した効果的な意思決定を実現することで、企業全体の競争力向上にも寄与する可能性がある。今後は、より高度なユーザー体験(UX)の向上を目指し、システム設計の改善を継続するとともに、ユーザーが成長し続けられる仕組みを整備することで、データドリブンな意思決定や製造プロセスの進化を促進していくことが求められる。

参考文献

- [1] 黒須正明, 三樹弘之, 他. ISO13407 がわかる本. オーム社, 2001 年.
- [2] デイビッド・コフラン, テレサ・ブラニック, 他. 実践アクションリサーチ. 碩学舎, 2021 年.
- [3] 中村和彦(2008). アクションリサーチとは何か? - 人間関係研究(南山大学人間関係研究センター紀要), 7, 1-25
- [4] Sweller, J. "Cognitive load during problem solving: Effects on learning," Cognitive Science, Vol. 12, No. 2, pp. 257-285, 1988.
- [5] 三輪和久, 寺井仁, 松室美紀, 前東晃礼: 「学習支援の提供と保留のジレンマ解消問題」, 教育心理学研究, Vol. 62, No. 2, pp. 156-167, 2014.
- [6] デジタル庁. (n.d.). セマンティックカラー. デジタル庁. <https://design.digital.go.jp/foundations/color/>, (参照 2024-11-26)
- [7] Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. Archives of Psychology, (140), 44-53.
- [8] Reimers, N., & Gurevych, I. (2019). Sentence-BERT: Sentence embeddings using Siamese BERT-networks. Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. arXiv:1908.10084.