

東京電機大学

博士論文

インタラクティブシステムにおける
ユーザインタフェースの一貫性評価に基づく
設計解の最適化手法

Design Solutions Optimization Method
Based on Consistency Evaluation of User Interfaces
in Interactive Systems

2022年3月

岡本鉄兵

目次

第 1 章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	3
1.2.1	設計文書を対象とした UI の一貫性評価手法を確立する	4
1.2.2	設計者とユーザとの間における機能分類の差を可視化する手法を確立する	5
1.2.3	UI 設計解を取捨選択するためのユーザ受容性評価手法を確立する	5
1.3	論文の構成	7
第 2 章	関連研究と本研究の位置づけ	8
2.1	UI の一貫性に関連する先行研究	8
2.2	ユーザビリティ関連の国際規格	9
2.2.1	ユーザビリティの定義 (ISO 9241-11)	9
2.2.2	システム・ソフトウェア品質モデル (ISO/IEC 25010)	11
2.2.3	人間中心設計プロセス (ISO 9241-210)	15
2.3	本研究の位置づけ	17
第 3 章	機器操作一貫性の定量的評価に基づくユーザインタフェース設計手法	19
3.1	はじめに	19
3.2	関連研究	20
3.3	UI 設計手法の提案	21
3.3.1	UI 設計フロー	21
3.3.2	機器操作一貫性の定量的な評価手順	23
3.3.2.1	機能の選択	23
3.3.2.2	操作方法の選択	25
3.3.2.3	類似度の計算	27
3.3.2.4	機器操作一貫性の評価	28
3.4	提案手法のプロトタイプ作成と評価実験	31

3.4.1	プロトタイプ作成と実験準備.....	31
3.4.2	適用実験.....	33
3.5	考察.....	36
3.5.1	×判定および△判定の妥当性.....	36
3.5.1.1	×判定について.....	36
3.5.1.2	△判定について.....	37
3.5.2	操作方法の見直しにおける課題.....	38
3.5.2.1	操作方法を見直しても△判定の原因.....	38
3.5.2.2	複数の操作方法を有する機能の扱い.....	39
3.5.3	開発効率の改善について.....	39
3.6	まとめ.....	40
第4章	メンタルモデルの定量的評価に基づくユーザインタフェース設計手法.....	41
4.1	はじめに.....	41
4.2	関連研究.....	42
4.2.1	メンタルモデルの評価手法.....	42
4.2.2	UIの一貫性評価手法.....	43
4.3	UI設計手法の提案.....	44
4.3.1	UI設計フロー.....	44
4.3.2	メンタルモデルの定量的評価.....	46
4.3.2.1	比較する樹形図の特徴.....	46
4.3.2.2	樹形図の比較方法.....	46
4.3.2.3	メンタルモデルの評価基準.....	50
4.3.3	操作方法の見直し.....	51
4.3.3.1	操作方法の初期状態.....	51
4.3.3.2	操作方法の見直し手順.....	52
4.4	提案手法の評価実験.....	52
4.4.1	カードソーティング実験.....	52
4.4.2	樹形図の比較実験.....	54
4.5	考察.....	57

4.5.1	提案手法の妥当性	57
4.5.1.1	Bad 判定の妥当性	57
4.5.1.2	Average 判定の妥当性.....	57
4.5.1.3	Excellent 判定の妥当性.....	58
4.5.2	提案手法の有効性	58
4.5.2.1	Bad 判定の操作方法見直し.....	59
4.5.2.2	Average 判定の操作方法見直し.....	61
4.5.3	機能の再定義に関する問題	61
4.6	まとめ	62
第 5 章	ユーザ受容性評価によるユーザインタフェースの一貫性設計の最適化.....	63
5.1	はじめに	63
5.2	UI 設計における課題とユーザ受容性評価による最適化	64
5.2.1	一貫性に考慮した UI 設計における課題	65
5.2.2	UI 設計最適化のためのユーザ受容性評価	67
5.3	デジタルカメラの UI 設計解に対するユーザ受容性評価の適用実験	70
5.3.1	実験の目的・準備	70
5.3.2	実験方法	73
5.3.3	実験結果	74
5.4	UI 設計最適化におけるユーザ受容性評価の妥当性と有効性についての考察.....	76
5.4.1	タスク毎の UI 設計最適化	77
5.4.1.1	タスク 1 における UI 設計最適化.....	77
5.4.1.2	タスク 2 における UI 設計最適化.....	78
5.4.1.3	タスク 3 における UI 設計最適化.....	79
5.4.1.4	タスク 4 における UI 設計最適化.....	81
5.4.2	ユーザ受容性評価の妥当性と有効性	81
5.4.2.1	UI の一貫性評価の妥当性と有効性.....	81
5.4.2.2	心変わり計測の妥当性と有効性.....	82
5.4.2.3	パーソナライズ判定の妥当性と有効性.....	82
5.5	まとめ	83

第 6 章	結論	84
6.1	研究の成果	84
6.1.1	UI の一貫性に基づいて UI 設計解を導き出す 2 つの設計手法を開発	84
6.1.2	UI 設計解の採否を判断するためのユーザ受容性評価手法を開発	86
6.2	今後の課題	87
6.2.1	UI 設計解を自動的に導き出す試み	87
6.2.2	本研究の将来的な展望	90
	謝辞	91
	参考文献	92
	研究業績	98

第1章 序論

1.1 研究の背景

道具の歴史は人類の歴史と軌を一にする。そのきっかけは、我々の遠い祖先である猿人が二足歩行を獲得したことである。恐らくは、路傍の石や折れた枝を掴んだだけの粗末な道具がそのはじまりであった。古代人たちは、やがて黒曜石^{こくようせき}を鋭利に加工した石器や、獣の骨や角から精巧に削り出した釣り針などに道具を洗練させ、火を利用する段になって煮炊きをするための土器を作った。このように人類は、気の遠くなるような時間をかけて自身の進化とともに様々な道具の発明と改良とを繰り返し、それらを利用することによって自らの身体能力を超える仕事を成し遂げ、生存可能領域を広げていった。遂には豊かな文明社会を築き上げ、この地球上で最も繁栄するに至った^[1]。

道具を作りそれを使いこなすことは、人間として必要不可欠な能力と言えよう。これは科学技術が高度に発達した現代社会においても変わらない。我々の生活を快適かつ豊かにしてくれる家電製品などを意図したように使えずに苦手意識を持ってしまう「機械音痴」や、高度情報化社会においてインターネットに代表される情報通信技術（ICT: Information and Communication Technology）を利用できる者と利用できない者との間に生じる格差である「デジタル・ディバイド（digital divide）」など^[2]、人間が作り出した道具を使いこなせないとその恩恵を享受できないという不幸を招くからである。

現在でも古くから存在する道具、例えば鋸^{のこ}や金鋸^{かなづち}などはそれぞれが単機能でその使い方も複雑ではなく、使用者（ユーザ）が使いこなせるまでに費やす労力は小さい。一方、スマートフォンに代表される ICT 機器などコンピュータ制御の各種システムは、多機能かつ高性能であるが故にそれらを実現するための種々の細かな設定項目が必要となってその操作方法は複雑化の一途を辿っている。それに比例してユーザがシステムを使いこなせるまでに費やす労力も増大している。このことは、ユーザがシステムを使いこなせなくなる可能性が高まっていることを意味する。この問題に対しては、ユーザのシステムに対する指示入力やシステムのユーザに対する出力応答を行うユーザとシステムとの境界であるユーザインタフェース（UI: User Interface）を介して交わされる対話的なやり取り（インタラクション）を適切に設計することによって、システムがユーザの操作を支援してユーザの意図する目

標を達成できるようにすることが重要である^{[3][4]}。また、このようなインタラクションに基づいて動作するシステムは、インタラクティブシステム (Interactive System) と呼ばれる。

インタラクションを適切に設計するとは、即ち UI の構成要素を最適化することである。人間の五感に基づく情報伝達手段の中から視覚情報 (画面等に表示する文字・記号, 操作ランプ等の光の明滅), 聴覚情報 (操作音, 音声ガイド), 触力覚情報 (タッチパネル操作時の振動) などを組み合わせて UI は構成されるからである。これらが適切に選択・配置されることによって, ユーザはシステムの操作方法を理解して使いこなせるようになると期待できる。ではどのようにして UI 構成要素の選択・配置が適切であると判断すればよいのだろうか。その処方箋の 1 つが国際標準化機構 (ISO: International Organization for Standardization) および日本産業規格 (JIS: Japanese Industrial Standards) の規格群である。

例えば, インタラクティブシステムの多くはコンピュータ制御, 即ちソフトウェアによって動作するシステムであることからソフトウェア品質に関する国際規格 ISO/IEC 25000 シリーズ: ^{ソフトウェア}SQuaRE (Systems and software Quality Requirements and Evaluation) を参照すると, システムが製品として備えておくべき 8 つの品質特性のうちの 1 つに「使用性 (usability)」を挙げている。また「使用性」の下位概念として「運用操作性 (operability)」や「アクセシビリティ (accessibility)」など 6 つの品質副特性が定義されており, それらを評価するための品質測定量の例が挙げられている^{[5][6]}。このようにユーザビリティに作用すると期待されるソフトウェアの品質測定量 (ソフトウェアメトリクス) を開発し, 定量的な品質管理のしくみを UI 設計プロセスに取り入れることが製品のユーザビリティ向上の鍵になると考えられる。

人とシステムとのインタラクションに関する国際規格 ISO 9241-210 では, ユーザビリティ向上のための人間中心設計プロセスを標準化している。このプロセスは「利用状況の理解及び明示」, 「ユーザ要求事項の明示」, 「ユーザ要求事項に対応した設計解の作成」, 「ユーザ要求事項に対する設計の評価」の 4 つの活動で構成されており, その特徴は「ユーザ要求事項に対する設計の評価」に基づき他の 3 つの適切な活動へとフィードバックする反復型開発を目指している点である^[7]。このように UI 設計解の評価に基づいて UI 設計解の作成にフィードバックする反復型開発を UI 設計プロセスに取り入れることも製品のユーザビリティ向上の鍵になると考えられる。

しかしながら, 取り組むべき課題が明確であるのにも拘らず, 世の中は依然として使いにくいシステムであふれているのはなぜだろうか。この理由として, ユーザビリティ改善活動

には相応のコストがかかることが挙げられる。十分なユーザビリティ評価の実施には多数の評価者をリクルートする必要がある、その評価結果を設計にフィードバックするには仕様変更に伴う追加の開発工数が発生するからである。また、ユーザビリティは評価者によって評価がばらつく属人的かつ評価自体も様々な要素が複合的に絡み合った定性的なものであるため、数値化が難しい品質項目である。したがって、ユーザビリティ改善活動の具体的な効果として売り上げの増加にどれだけ貢献するのかを数字で示すことも難しい。故にユーザビリティという品質とコストとの間におけるトレードオフでは、ユーザビリティ改善活動の必要性を説けば総論賛成となる一方でコストがかかると分かるや否や費用対効果を数字で示す困難さも相俟^{あいま}って各論反対となり十分なコストをかけることができなくなる^[8]。このようなジレンマをユーザビリティ改善活動は抱えているため、その重要性は理解されつつあるものの改善の道半ばというのが実情である。

1.2 研究の目的

1.1 で述べた背景を踏まえて、本研究はインタラクティブシステムの UI 設計においてユーザビリティ向上のため人間中心設計プロセスに基づく反復型開発を低コストで実現することを目指す。反復型開発の低コスト化は、組織導入のしやすい利用品質メトリクスを開発し、定量的な品質管理のしくみで UI 設計解の評価・最適化を実現することで達成する。組織導入のしやすい「現場で使える道具」となり得るメトリクスとは、人的および時間的なコストの増加を抑制するため、以下に示す3つの条件を満足するメトリクスと規定する。

①評価を自動化する 設計者は厳しい日程の中で製品を開発しているため、新たな作業追加に対して抵抗感を持つことが予測される。したがって評価を自動化することによって、設計者の手を煩わせることなく設計者が UI 設計解をセルフチェックできるようにする。また、自動化によって手作業では非現実的であった総当たりの評価を可能にする。

②成果物を測定する 設計者は測定を意識して UI を設計するのではなく、これまで通りに UI を設計するだけでよい。その成果物である UI 設計解をインプットとして測定できるようにする。これによって設計者の作業目的が変わらないようにする。

③概念設計で評価する 詳細設計まで作り込んでから評価するのではなく、概略動作レベルの UI 設計解で評価する。これによって仕様変更による手戻りの影響を小さくし、UI

設計プロセスの中で評価結果を設計まで確実にフィードバックできるようにする。

1.2.1 設計文書を対象とした UI の一貫性評価手法を確立する

本研究では、前述した①～③の条件を満足するため「概念設計（条件③）を総当たりで評価する（条件①）」即ち「全体を俯瞰して評価する」という観点から、UI 設計における効果的な評価項目として「一貫性（consistency）」に着目する。UI の一貫性は、ユーザがシステムの操作方法を推測・学習することを容易にさせると考えられており、UI 設計の評価において重要なポイントの1つである^{[9][10]}。1.1 で紹介した SQuaRE の解説書^[6]では、品質特性「使用性」における品質副特性「運用操作性」について「運用操作性は、操作や表示に一貫性があり使いやすいこととともに、現在状態表示やパラメータ設定機能等によって操作しやすさの向上や操作の中断といった制御が可能であることを表す。（p. 168）」と詳説されている。したがって、UI の一貫性は運用操作性に関連した利用品質メトリクス的一种と見做すことができるため、UI の一貫性評価手法を確立することが本研究における第 1 の目的である。

前述の解説書における運用操作性の説明に基づく操作や表示といった構成要素の共通項目が多い UI ほど一貫性が高いと考えることはできそうだが、単に共通項目が多い UI が目指すべき最適化の状態であるかと問われると必ずしもそうであるとは言い切れない。なぜならば、共通項目が多くても操作が複雑で表示が分かり難い UI は、ユーザビリティ改善には繋がらないからだ。即ち、使いやすさに繋がる機能毎に適した操作方法（表示を含む）であることが一貫性評価の前提になると考えられる。この傾向は、UI を単一の操作方法で実現することが困難になる多機能な製品になるほど顕著になると予測される。したがって本研究では、製品に搭載される機能を分類し、類似した機能群単位に適した操作方法が振り分けられていることを以て、UI の一貫性を評価する。この手法は、機能定義や操作方法概略といった UI 設計における成果物である設計文書を測定することで評価できると考えられるため、満足すべきメトリクスの条件②にも合致する。

UI 設計者の成果物である設計文書の測定では、Google などのインターネット検索に代表される情報検索分野における文書比較手法として実績のあるコサイン類似度^[11]を用いて機能の分類と、操作方法の分類をそれぞれ実現する。コサイン類似度では、機能の特徴や操作方法を構成する要素を文書に含まれる特徴語と見做す。その特徴語の有無に基づいて文書を機能単位の多次元ベクトル、操作方法単位の多次元ベクトルでそれぞれ表現し、比較対象

の機能ベクトル同士あるいは操作方法ベクトル同士の内積計算によって比較対象間の距離尺度として数値化する。その成果は、第 1 の原著論文^[12]において報告した。

1.2.2 設計者とユーザとの間における機能分類の差を可視化する手法を確立する

1.2.1 で述べた設計文書の分類は、言うなれば設計者による機能分類の結果に基づいて操作方法を振り分けることによって UI の一貫性を担保している。しかしながら、一貫性の拠り所となっている設計者による機能分類に対してユーザによる機能分類がそれと一致していないとしたらどうであろうか。設計者の視点では UI に一貫性があると評価したとしても、ユーザの視点では UI に一貫性がないと評価されることも考えられるのだ。したがって、設計者の機能分類とユーザの機能分類との間に乖離がないことを確認する必要があるため、設計者とユーザとの間における機能分類の差を可視化する手法を確立することが本研究における第 2 の目的である。

設計者の機能分類は、前述したコサイン類似度に基づく階層化クラスタリングから樹形図 (dendrogram) と呼ばれる分類木で得られる。これと比較するため、ユーザの機能分類はカードソーティング (card sorting) ^[13]を用いて分類木を生成する。これらの分類木同士の構造を比較することによって設計者による機能分類とユーザによる機能分類との間における一致度合いを数値化する。その成果は、第 2 の原著論文^[14]において報告した。

1.2.3 UI 設計解を取捨選択するためのユーザ受容性評価手法を確立する

設計者による機能分類に基づいて操作方法を振り分けて得られる UI 設計解と、ユーザによる機能分類に基づいて操作方法を振り分けて得られる UI 設計解は、一致しないことが有り得ることは前述した通りである。このような場合、ユーザビリティ改善には後者 (ユーザ由来) の UI 設計解を選択することが一見すると正しいように思える。しかしながら、前者 (設計者由来) の UI 設計解は機能を機械的に分類したことによって評価者の先入観の影響が小さく、後者の UI 設計解は機能を手作業で分類したことによって評価者の先入観の影響が大きいため、後者の UI 設計解を導出する拠り所としたユーザの機能分類における先入観が合理的なものであったのか否かを見極める必要がある。したがって、1.2.1 で述べた設計者由来の UI 設計解と、1.2.2 で述べたユーザ由来の UI 設計解とが異なる場合、これらの UI 設計解を取捨選択するためのユーザ受容性評価手法を確立することが本研究における第 3 の目的である。

それぞれの UI 設計解に対してユーザ受容性評価を実施し、UI 設計解を取捨選択することによって UI 設計の最適化が達成される。このユーザ受容性評価は、情報システムを利用する人間の行動モデルである技術受容モデル (TAM: Technology Acceptance Model) [15] に基づいている。その成果は、第 3 の原著論文 [16] において報告した。

以上を踏まえて本研究の提案概要を図 1-1 に示す。本研究は、機能の分類に基づいて操作方法を振り分けることによって UI の一貫性を担保するため、設計文書の機能定義と操作方法概略を機械的に分類する 1.2.1 で述べた第 1 の手法 (J1: 第 1 の原著論文) と、機械的に分類した結果と手作業で分類した結果との間の一致度合いを測定する 1.2.2 で述べた第 2 の手法 (J2: 第 2 の原著論文) をそれぞれ提案する。そして、第 1 の手法から導出した設計者由来の機能分類に基づく UI 設計解と、第 2 の手法から導出したユーザ由来の機能分類に基づく UI 設計解が一致しない場合、1.2.3 で述べた UI 設計解を取捨選択するためのユーザ受容性評価 (J3: 第 3 の原著論文) をさらに実施することによって UI 設計の最適化を達成する。これらを通して本研究は、UI の一貫性評価に基づく UI 設計手法を確立し、低コストで反復型開発を実現することによって UI 設計品質としてのユーザビリティ向上を目指す。

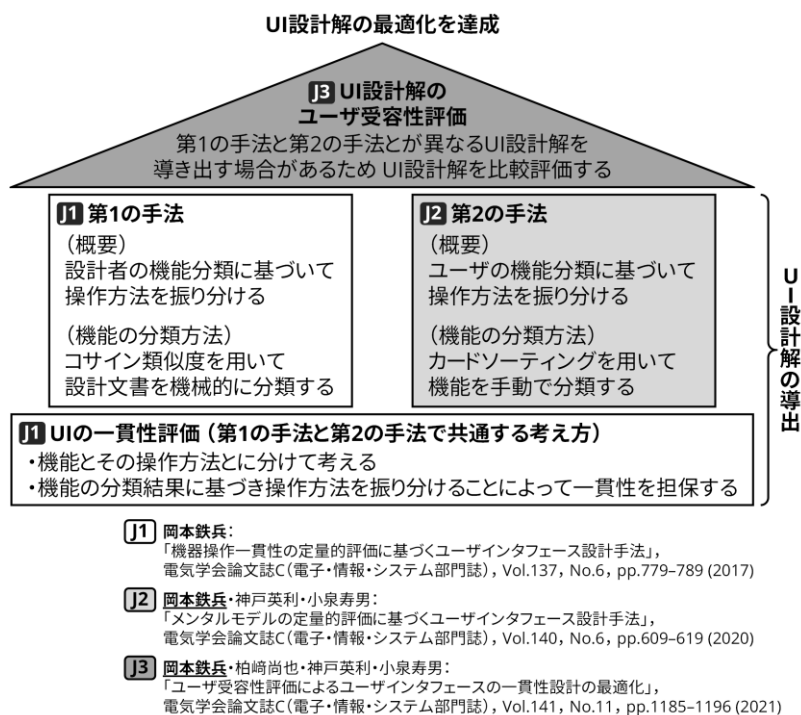


図 1-1 本研究の提案概要と著者の原著論文との対応関係

1.3 論文の構成

本論文は、図 1-2 で示すように全 6 章で構成する。第 1 章は、インタラクティブシステムにおける UI 設計が抱える問題について述べ、本研究の背景および目的を明らかにした。第 2 章は、UI の一貫性に関連する先行研究と、人間工学国際規格におけるユーザビリティの定義およびユーザビリティ向上のための人間中心設計プロセスと、ソフトウェア工学国際規格におけるシステム・ソフトウェア品質モデルについて概観し、本研究の位置づけを明らかにする。第 3 章は、ユーザビリティ向上のため設計者由来の機能分類に基づいて UI の一貫性を担保する第 1 の UI 設計手法について論じる^[12]。第 4 章は、ユーザビリティ向上のためユーザ由来の機能分類に基づいて UI の一貫性を担保する第 2 の UI 設計手法について論じる^[14]。第 5 章は、第 1 の手法と第 2 の手法とが異なる UI 設計解を導出した場合、ユーザ受容性評価に基づいて UI 設計解を取捨選択する UI 設計の最適化について論じる^[16]。第 6 章は、本研究の成果について要約し、今後に残された課題の例として UI 設計の自動化の試み^[17]について述べ、本論文を結ぶ。なお、本論文の各章と著者の査読付き論文との対応関係は、該当する章における主たる論文を太線矢印で示し、該当する章に関連する論文を細線矢印で示す。

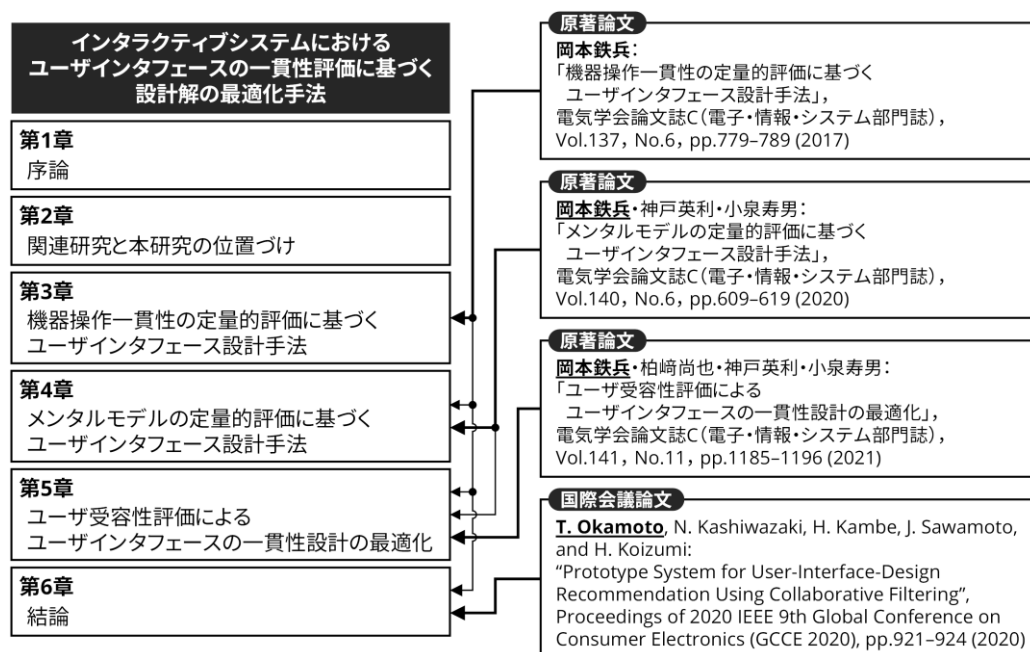


図 1-2 本論文の構成と著者の査読付き論文との対応関係

第2章 関連研究と本研究の位置づけ

本研究は、インタラクティブシステムのユーザインタフェース (UI: User Interface) 設計品質としてのユーザビリティ (usability) を高めるため、評価対象として UI の一貫性 (consistency) に着目している。また、企業が製品開発をする際には品質を一定水準以上に保つため、ISO (International Organization for Standardization) または JIS (Japanese Industrial Standards) といった国内外の標準規格に準拠することが求められている。そこで第 2 章では、UI の一貫性に関連する先行研究と、ユーザビリティ関連の国際規格を概観する。先行研究から UI の一貫性がユーザビリティに及ぼす影響について^{ひもと}繙く。人間工学国際規格 (ISO 9241 シリーズ) からは、ユーザビリティの定義およびユーザビリティ向上のための人間中心設計プロセスを取り上げる。ソフトウェア工学国際規格 (ISO/IEC 25000 シリーズ) からは、システム・ソフトウェア品質モデルを取り上げる。これらを通して本研究の位置づけを明らかにする。

2.1 UI の一貫性に関連する先行研究

UI 設計において一貫性を保つことの重要性は古くから提唱されている。その一方、UI の一貫性を定義することは難しい。なぜならば、UI の一貫性には様々な側面があると考えられているからである。ある特定の製品単体およびその製品群における一貫性は「内部一貫性」と呼ばれ、メーカーに関係なく業界全体としての共通ルールや様々な適用分野で共通して用いることによって一般化した慣例に従うといった一貫性は「外部一貫性」と呼ばれる^{[1][2]}。

例えば、本研究の適用実験において題材としたデジタルカメラでは、特定のメーカーの製品としての操作や表示の共通性は「内部一貫性」に該当するが、そのメニュー画面を構成するチェックボックスやスクロールバーなどの部品はアプリケーションソフトウェアに共通する慣例に従った「外部一貫性」に該当するものである。また、画面に表示される一部のアイコンは業界団体によって標準化された図案を用いているため「外部一貫性」に該当する^[3]。このように特定の製品における UI 設計の中でも「内部一貫性」と「外部一貫性」の側面が混在しているため、何を以て「一貫性がある」と一義的に定義することが難しいのである。

UIの一貫性を定義することは難しいが、UI設計において一貫性を保つことの重要性について専門家の見解は一致している。一貫性を保つことによって、ユーザはそのUIに対して統一感を感じたり意味を理解したりすることが知られている。UIの一貫性が保たれた製品をユーザが使用する場合、一部の機能を使った経験があれば、使ったことのない他の機能の操作方法についても推測に基づいて使いこなせる可能性は高まる。また、操作方法がパターン化することによってユーザが操作方法を習得しやすくなるとも考えられる^{[4][5]}。このような効果が期待できるため、UI設計では一貫性を保つことが重要である。

なお、本研究におけるUI評価の対象は「内部一貫性」に該当する。「外部一貫性」への適合は、操作方法を検討する際に設計者自身が留意する必要がある。

2.2 ユーザビリティ関連の国際規格

2.2.1 ユーザビリティの定義 (ISO 9241-11)

ユーザビリティは、ユーザが道具を容易に使いこなすことで目標を達成できるようにすることを目的とした、道具の使いやすさや分かりやすさに関する品質概念であることが一般的に知られている。このようなユーザの視点に立って使いこなせる道具はどうあるべきか、換言するとユーザ（人間）と道具（システム）との間におけるインタラクションはどうあるべきかについて人間工学の観点からまとめたものがISO 9241シリーズである。この一連の規格群の1つISO 9241-11 (JIS Z 8521)においてユーザビリティは、以下のように定義されている^{[6][7]}。なおISO規格は英文であるため、本論文ではISO規格を対応JIS規格 (ISO規格を和文に翻訳して国内規格としたもの) の引用で説明する。

ユーザビリティ (usability)

特定のユーザが特定の利用状況において、システム、製品又はサービスを利用する際に、効果、効率及び満足を伴って特定の目標を達成する度合い

この定義で使われている個々の用語も同規格では、以下のように定義されている。

ユーザ (user)

システム、製品又はサービスとインタラクションする人

利用状況 (context of use)

ユーザ, 目標及びタスク, 資源並びに環境の組合せ

効果 (effectiveness)

ユーザが特定の目標を達成する際の正確性及び完全性

効率 (efficiency)

達成された結果に関連して費やした資源

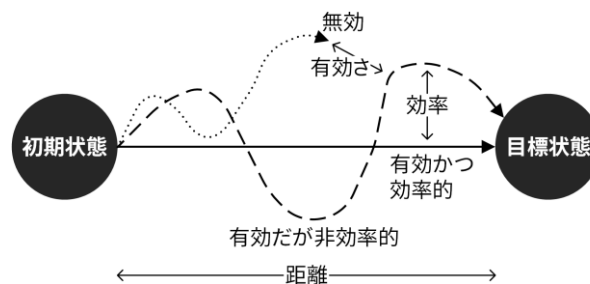
満足 (satisfaction)

システム, 製品又はサービスの利用に起因するユーザのニーズ及び期待が満たされている程度に関するユーザの身体的, 認知的及び感情的な受け止め方

目標 (goal)

意図した成果

ISO 9241-11 におけるユーザビリティの定義を理解するため, 図 2-1 で示した概念図で説明する^[8]。あるユーザがある目標を達成するため, 道具 (システム・製品・サービス) を利用する状況を想定する。ユーザは目標を達成していない初期状態から, 道具を利用することによって目標状態に到達すると考えられる。点線矢印のように目標状態に到達しなかった場合, 目標未達で完全性が損なわれるので「効果」を満たしていない。破線矢印のように目標状態には到達しているものの到達するまでの過程で紆余曲折 (操作に迷った/操作をやり直した) があった場合, 「効果」を満たしている一方で「効率」を満たしていない。実線矢印のように目標状態に直線的に到達している場合, 「効果」と「効率」を同時に満たしている。したがって, ユーザビリティが高い可能性があると考えられるのは, 実線矢印のようにユーザが道具を利用できた場合である。



出典: Kurosu *et al.* (2012), p.293

図 2-1 目標達成

ところで、図 2-1 の概念図では「満足」は図示されていない。なぜならば、「効果」および「効率」はユーザが道具を利用する外面的な行動から直接観測できるのに対して、「満足」はユーザの内面における受け止め方であり直接観測できないからだ。例えば、「効果」は複数のユーザが同じタスクを実行した場合の達成率、「効率」はユーザがタスクを達成するまでの所要時間や操作回数などで直接的に評価できる。一方、「満足」は目標達成のため道具の利用を通してユーザがどう感じたのかを利用後のアンケートやインタビューから間接的に評価できるものの直接的に評価するのは困難である。したがって、「効果」と「効率」の関係性を示す概念図上で評価軸の異なる「満足」を説明することは困難であるため、図示されていないと考えられる。

「満足」の評価では、道具を利用する前提条件であるユーザと目標の設定が適切であることが重要である。例えば、自動車を運転すること、いわゆるドライブを趣味としているユーザが自動運転車を利用してもその満足度は高くなるとは考え難いからだ。目的地への移動を目標として捉えると自動運転車は「効果」と「効率」を満たす可能性は高い。しかしながらドライブを趣味とするユーザにとって、自動車でただ目的地へ移動することは目的ではなく、自動車の運転行為そのものを楽しむことがドライブの真の目的と考えられるため、自動運転車はこのようなユーザの「満足」を満たす可能性は低い。したがってユーザと目標の設定は「満足」の評価に直結するため、ISO 9241-11 における定義でも「特定のユーザ」および「特定の利用状況」のように、「特定の」と限定している点に注意する必要がある。

以上を踏まえるとユーザと目標の設定が適切である前提において、図 2-1 の図中で示された実線矢印のように「効果」および「効率」が満たされた場合、ユーザの「満足」についても満たされていると期待できる。したがって、「効果」と「効率」および「満足」の度合いで示されるその道具の利用におけるユーザビリティは高いと見做すことができる。

2.2.2 システム・ソフトウェア品質モデル (ISO/IEC 25010)

前述した ISO 9241 シリーズは、ユーザビリティについて人間工学の観点からまとめた国際規格である。一方、ISO/IEC 25000 シリーズ：^{ソフトウェア}SQuaRE (Systems and software Quality Requirements and Evaluation) は、ISO および国際電気標準会議 (IEC: International Electrotechnical Commission) において情報通信技術 (ICT: Information and Communication Technology) 分野のソフトウェア製品の品質はどうあるべきかについてソフトウェア工学の観点からまとめた国際規格である。この一連の規格群の 1 つ ISO/IEC 25010 (JIS X 25010)

においてユーザビリティ（対応 JIS 規格上の訳語は「使用性」が使われている）は、次のように定義されている^{[9][10]}。

使用性 (usability)

明示された利用状況において、有効性、効率性及び満足性をもって明示された目標を達成するために、明示された利用者が製品又はシステムを利用することができる度合い

この定義は、2.2.1 で紹介した ISO 9241-11 におけるユーザビリティの定義とほぼ同じ内容のように見える。しかしながら、意図的に ISO 9241 シリーズにおける定義から変更している点に注目したい。

ISO 25010 では、システム・ソフトウェア品質モデルを図 2-2 に示す「製品品質モデル」と、図 2-3 に示す「利用時の品質モデル」の 2 つに区別して取り扱っている。これらの品質モデルにおいて「使用性」は、製品品質の 1 つに挙げられている。製品品質は、「使用性」の他に「機能適合性 (functional suitability)」、「性能効率性 (performance efficiency)」、「互換性 (compatibility)」、「信頼性 (reliability)」、「セキュリティ (security)」、「保守性 (maintainability)」、「移植性 (portability)」を含めた 8 つの品質特性で構成されている。これらの品質特性は、ソフトウェア製品として備えておくべき特徴という観点から「製品品質」に区分されている。これに対して、ソフトウェア製品を利用する際のユーザが受ける影響の観点から品質を捉えたのが「利用時の品質」である。利用時の品質は、「有効性 (effectiveness)」、「効率性 (efficiency)」、「満足性 (satisfaction)」、「リスク回避性 (freedom from risk)」、「利用状況網羅性 (context coverage)」の 5 つの品質特性で構成されている。

このように SQuaRE では「使用性 (ユーザビリティ)」を製品品質として扱っているのに対して、2.2.1 で紹介した ISO 9241 シリーズでは「ユーザビリティ」を利用時の品質に近い概念として扱っている点が異なる。このことを踏まえて SQuaRE における「使用性」の定義を読み返してみると「明示された利用状況において、有効性、効率性及び満足性をもって明示された目標を達成する」の部分が ISO 9241 シリーズの「ユーザビリティ」の定義と符号している。つまり SQuaRE における「使用性」とは、ユーザがソフトウェア製品を利用する際のユーザビリティ（有効性・効率性・満足性）を高めるため、ユーザが製品を使いこなせるように設計されているかという特徴の充足度合いで表した品質概念と言える。即ち製品

の設計時にユーザビリティを作り込むという視点で「使用性」を扱っているのだ。

しかしながら、これらの定義の違いは規格を利用する技術者などのユーザが混乱を招きかねないものであり、ユーザビリティに関連した国際規格における「ユーザビリティ」の定義自体のユーザビリティが低いという皮肉を生んでいる。そこで現在行われている ISO 25010 の改訂作業において品質モデルの見直しが議論されている。なお、本論文は現在適用されている 2011 年版の内容に基づいている。

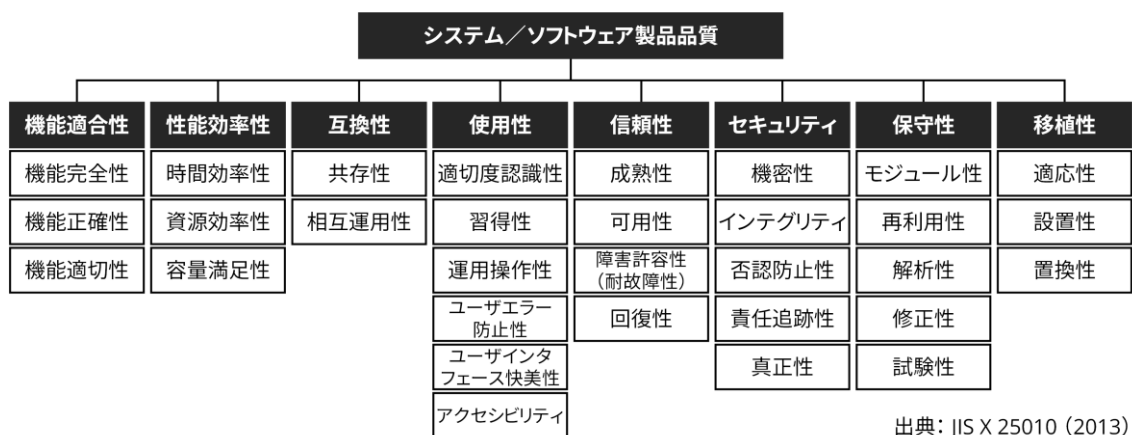


図 2-2 製品品質モデル



図 2-3 利用時の品質モデル

SQuaRE における製品品質モデル (図 2-2) では「使用性」の下位概念として以下に示す 6 つの品質副特性が定義されている。

適切度認識性 (appropriateness recognizability)

製品又はシステムが利用者のニーズに適切であるかどうかを利用者が認識できる度合い

習得性 (learnability)

明示された利用状況において、有効性、効率性、リスク回避性及び満足性をもって製品又はシステムを使用するために明示された学習目標を達成するために、明示された利用者が製品又はシステムを利用できる度合い

運用操作性 (operability)

製品又はシステムが、それらを運用操作しやすく、制御しやすくする属性をもっている度合い

ユーザエラー防止性 (user error protection)

利用者が間違いを起こすことをシステムが防止する度合い

ユーザインタフェース快美性 (user interface aesthetics)

ユーザインタフェースが、利用者にとって楽しく、満足のいく対話を可能にする度合い

アクセシビリティ (accessibility)

製品又はシステムが、明示された利用状況において、明示された目標を達成するために、幅広い範囲の心身特性及び能力の人々によって使用できる度合い

これらの品質副特性は、いずれも UI 設計において考慮すべき内容であり、これらを満足することが製品のユーザビリティ改善に繋がることを図 2-2 の製品品質モデルは示している。本研究はインタラクティブシステムの UI 設計における設計品質としてユーザビリティを作り込むことを目指しているため、SQuaRE の製品品質モデルにおける「使用性」を対象にしていると考えられることができる。

また SQuaRE では、ISO/IEC 2502n シリーズにおいて品質特性および品質副特性を定量化するための品質測定量について基本的な考え方と具体例を規定している^{[11][12]}。このようなソフトウェアの特定の側面を定量的に示した指標はソフトウェアメトリクス (software

metrics) と呼ばれ、ソフトウェアの品質管理では欠かせないものである^[13]。メトリクスを考える上では、評価対象とする品質を特定し、何をどう測定して数値化し、その数値の良否の判定基準とする尺度を明確にしなければならない。メトリクスによる品質管理の身近な例として学生の成績を用いて説明する。学生の成績は、ある教科に関する学生の学力という目には見えない品質を扱っていると考えることができる。そこで筆記テストという測定方法を用いて学生の学力をそれぞれ 0～100 点という定量的な値で可視化する。そして 90 点以上は「優」、70 点以上 90 点未満は「良」、50 点以上 70 点未満は「可」、50 点未満は「不可」のように評定すると規定したものが評価尺度である。これによって振り分けられた学生の成績は、品質のばらつきを一定の範囲内にとどめて管理されていると見做すことができる。

このような定量的な指標に基づく品質管理をソフトウェア開発において実施するためにソフトウェアメトリクスは存在する。本研究ではソフトウェア品質の中でも UI 設計におけるユーザビリティが対象であるため、第 1 章で述べたように UI の「一貫性 (consistency)」という側面に着目した利用品質メトリクスを開発することによって UI 設計品質が一定水準以上に保たれるように管理できるようにすることを目指している。

2.2.3 人間中心設計プロセス (ISO 9241-210)

ユーザビリティに関する人間工学国際規格である ISO 9241 シリーズでは、ユーザビリティ向上のための設計プロセスについても規定している。これが ISO 9241-210 (JIS Z 8530) の人間中心設計 (HCD: human-centered design) プロセスである^{[14][15]}。「人間中心」とは、新開発の技術を何かに役立てようと応用方法を検討する技術起点での発想法ではなく、ユーザ (人間) の本質的なニーズを読み解いてその解決方法を開発する人間起点での発想法のことを指す。そのため HCD は、ユーザ中心設計 (UCD: user-centered design) と呼ばれることもある。HCD プロセスは特定の開発プロセスを想定したものではなく、人間中心の考え方を様々な開発プロセスに適用できるようにするための枠組みを規定している。ISO 9241-210 では、以下の 4 つの人間中心設計活動を図 2-4 のような相互関連図で示している。

- (1) 利用状況の理解及び明示
- (2) ユーザ要求事項の明示
- (3) ユーザ要求事項に対応した設計解の作成
- (4) ユーザ要求事項に対する設計の評価

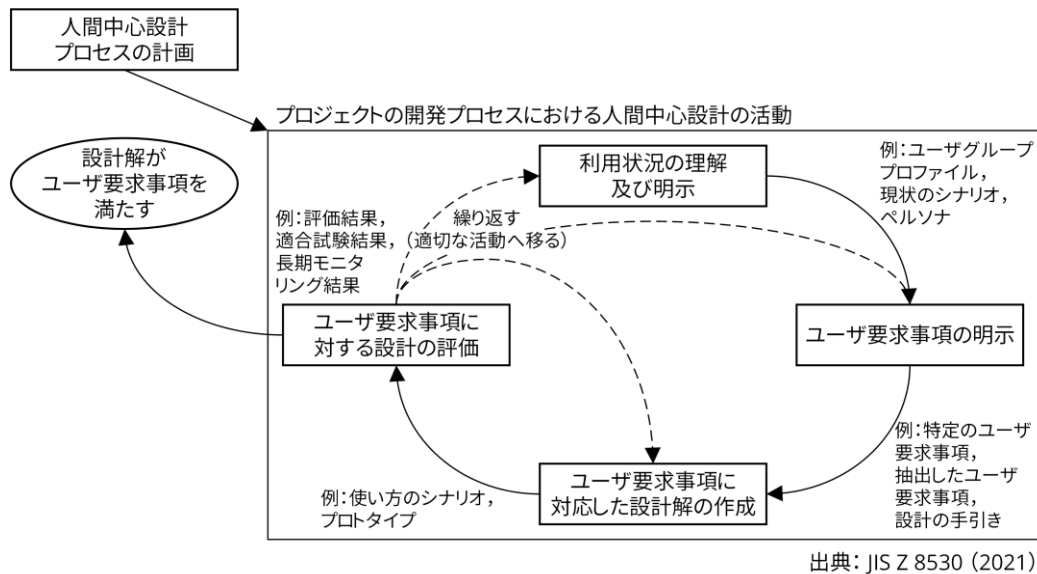


図 2-4 人間中心設計の活動の相互関連性

図 2-4 において注目すべき点は、「ユーザ要求事項に対する設計の評価」から他の 3 つの活動へと向かう破線矢印で示された、評価に基づき適切な活動にフィードバックする部分である。一般的には設計解のユーザビリティ評価に基づいて設計を見直す「ユーザ要求事項に対応した設計解の作成」へのフィードバックが多いと想定される。しかしながら、2.2.1 で述べたようにユーザまたは目標の設定が適切ではなかった場合、「満足」を満たす可能性は低くなる。したがってこの図は、ユーザの設定に問題があるならば「利用状況の理解及び明示」、目標の設定に問題があるならば「ユーザ要求事項の明示」に立ち返って見直す必要があるということを意味する。本研究では UI 設計解に対して 2.2.2 で述べた利用品質メトリクスによる定量的な評価を実現し、その結果に基づいて UI 設計の見直しにフィードバックできるしくみを構築することを目指している。

以上のように HCD プロセスは、反復型開発プロセスを標榜したものと見做せるが、ウォーターフォール型開発に適用できないと結論づけるのは早計である。確かに Web サービスやスマートフォンアプリケーションにおいて実績のあるアジャイル型開発は、仕様変更が発生することを前提に大まかな仕様に基づいて機能毎にイテレーションと呼ばれる短い期間単位で設計・実装・テストを反復しながら徐々に全体仕様を固めてゆく開発プロセスであるため、HCD プロセスとの相性は良い。一方、銀行 ATM のような大規模システムにはじまり家電製品に至るまでハードウェアとその制御ソフトウェアを全体として捉える組込みシステムにおいて実績のあるウォーターフォール型開発は、仕様変更が発生しないことを前

提に要件定義・設計・実装・テストの各工程を計画に従って遂行する手戻りを考慮しない開発プロセスであるため、HCDプロセスとの相性は良いとは言えない^[6]。しかしながら、ウォーターフォール型開発であっても設計フェーズの中において「設計解の作成」,「設計解の評価」,「評価に基づき設計を見直す」という小さな反復のしくみを取り入れることは可能である。本研究ではウォーターフォール型開発が主流である組込みシステムのUI設計にHCDプロセスを適用することを目指し、その題材としてデジタルカメラを用いる。

2.3 本研究の位置づけ

2.1 ではUIの一貫性がもたらす効果について関連研究から明らかにした。また、2.2 ではユーザビリティ関連の国際規格を概観し、本研究との関係について折に触れて説明してきた。それらを以下に示す3点に要約し、本研究の位置づけを明らかにする。

①**目的** 本研究ではインタラクティブシステムのUI設計における設計品質の向上を目指している。対象とする設計品質は、SQuaREの製品品質モデルにおける品質特性「使用性(ユーザビリティ)」に相当する。また、第1章で述べたようにUIの一貫性(内部一貫性)に着目して評価するため、「使用性」に含まれる品質副特性の中でも「運用操作性」に相当する設計品質が対象である。

②**方法** 本研究ではUI設計におけるユーザビリティ向上のため、HCDプロセスに基づいた設計解の作成と評価とを反復するUI設計手法の確立を目指している。また、設計解の評価では、SQuaREで規定されている品質測定量の考え方に基づいた利用品質メトリクスを開発して定量的にUIの一貫性を評価することを目指している。

③**適用対象** 本研究では家電製品のような組込みシステム開発への適用を想定しているため、組込みシステム開発において主流であるウォーターフォール型開発にHCDプロセスを取り入れることを目指している。評価実験では、身近な家電製品の例としてデジタルカメラを題材に用いる。

なお、適用対象としてHCDプロセスをウォーターフォール型開発に取り入れることを想定しているが、本研究において開発を目指す利用品質メトリクスによる設計解の定量的評価は、アジャイル型開発に取り入れることも可能だと考えている。なぜならば、このメトリ

クスは設計成果物である UI の一貫性を評価するものであり、開発プロセスがウォーターフォール型であろうがアジャイル型であろうが評価に影響を及ぼすとは考え難いからである。また、HCD プロセスは評価に基づいて調査・分析・設計の適切な段階にフィードバックすることを意図しており、開発プロセスとして反復することを前提としているアジャイル型開発に取り入れることは容易と考えられる。ただし、本論文ではアジャイル型開発への適用については取り扱わないものとする。

また、第 3 章～第 6 章で題材とするデジタルカメラは、各実験の実施時期の直近において現行品である実在する製品をモデルにした仮想の製品であり、厳密にはそれぞれが異なる。しかしながら、新旧の差はあるにせよ同じメーカーの製品がモデルであり、かつ本研究における評価対象は機能定義および操作方法概略といった概念設計レベルのものであることから、多少の差は見られたとしても実質的には同一のデジタルカメラを用いて実験していると見做せることを予め言い添えておく。

第3章 機器操作一貫性の定量的評価に基づく ユーザインタフェース設計手法

第3章では本研究の中核を担うユーザインタフェース（UI: User Interface）の一貫性を評価するための利用品質メトリクスの開発について述べる。また、そのメトリクスを用いた定量的な評価に基づいて UI 設計解の見直しにフィードバックする反復型の UI 設計手法を提案する。これらを通して UI 設計における設計品質の向上を目指す。

3.1 はじめに

身近にある電気製品の多くは、機器に内蔵されたプログラムである組込みソフトウェアによって制御されている。近年、製品の多機能化と高性能化に伴って製品利用者であるユーザに求める操作方法、即ち UI の多様化と複雑化が進んでいる。このことは製品自体には便利な機能が多数搭載されているのにも拘らず、ユーザがそれらを使いこなすことができないというユーザビリティ（usability）の低下を招いている。またコンシューマを対象とした製品は、製品ライフサイクルに合わせて短納期での開発が要求されるため、従来製品で実績のあるソフトウェアの再利用を前提とした派生開発が主流である。このため製品に採用される UI も複数の従来製品の組合せによって構成されることが多く、操作や表示の一貫性を保ち難いこともユーザビリティの低下を招く一因となっている。このように組込みソフトウェア開発では、派生開発による短納期化と、製品のユーザビリティ改善とを両立することが課題である^[1]。

この課題を解決するには、UI 設計において採用した操作や表示の妥当性を定量的に評価し、上流設計の段階でユーザビリティの問題を仕様に取り込んでしまうことを未然に防ぐように品質を管理することが有効である。なぜならば、日本の製造業における組込みソフトウェア開発では現在もウォーターフォール型開発が主流であり、ユーザビリティの問題は上流工程の仕様設計フェーズで取り込まれる一方で問題が発見されるのは下流工程のテストフェーズであることが多く、問題発見から修正のための手戻りが開発日程に与える影響が大きいからである^[2]。したがって操作や表示の一貫性が保たれていることを設計者がセルフチェックしながら UI を設計できることが重要である。

そこで、第3章では機器操作の一貫性を定量的に評価できる UI 設計手法を提案する。提案手法における製品の外面的な振舞いは「製品が実現する機能」と「UI を介した製品とユーザーとの間の対話的な操作方法」との組合せで定義する。このため機能と操作方法との組合せ表を作成して仕様設計を行う。また機能および操作方法は、開発プラットフォームに依存しない抽象度で記述する。これにより部分的な操作方法の改変や新機能の追加に対して柔軟に対応できるとともに機能単位および操作方法単位での再利用と、それらを組み合わせた外面的な振舞い全体での再利用までもが可能になる。機器操作の一貫性は、選択した機能と操作方法から各々の類似度を自動計算することによって定量的に評価し、機器操作の一貫性が保たれていることが疑わしい箇所を設計者に警告する。設計者は警告をもとに操作方法の検討と評価とを反復することによって、UI の設計品質を一定水準以上に管理することが可能となる。本研究では提案手法をデジタルカメラの UI 設計に適用し、その評価を行った。

3.2 関連研究

第3章は UI 設計における機器操作の一貫性を定量的に評価する品質測定量（ソフトウェアメトリクス）について論じる。対象となる品質特性はソフトウェアの品質要求および評価に関する国際規格 ISO/IEC 25000 シリーズ：SQuaRE^{ソフトウェア} (Systems and software Quality Requirements and Evaluation) の「使用性 (usability)」における副特性「運用操作性 (operability)」に相当する^{[3][4][5]}。ソフトウェアメトリクスは高度情報化社会となった現在、ソフトウェア規模の増大が著しい情報システム分野を中心に、ソフトウェア開発工程毎に満足すべき品質目標を定量的な値で管理することによってソフトウェア品質の低下を防ぐために広く用いられている^{[6][7]}。また組込みソフトウェア開発においても上流工程から下流工程まで一貫した品質管理の枠組みを適用したソフトウェア品質の可視化技術も報告されている^[8]。

開発プロセスに着目すると伝統的なウォーターフォール型開発は、要件定義・設計・実装・テストの各工程を計画に従って遂行し、工程毎に成果物を文書化して進捗を管理するため大規模開発に適している。しかしながら、手戻りが考慮されていないプロセスであるため仕様変更には弱い。これに対してアジャイル型開発は、仕様変更が発生することを前提に大まかな仕様に基づいて機能毎にイテレーションと呼ばれる短い期間単位で設計・実装・テストを反復しながら徐々に全体仕様を固めてゆくプロセスである^[9]。このため仕様変更柔軟に

対応できる一方で全体のスケジュールや進捗が把握し難いためプロジェクトマネジメントが難しい。現状、アプリケーションソフトウェア開発で成果を上げる一方、組込みソフトウェア開発への適用が課題となっている^{[10][11][12]}。

ソフトウェア開発におけるソフトウェアの高品質化と短納期化の両立には、過去のプロジェクトにおいて作成した設計文書やプログラムソースコードなどの実績のある成果物を再利用することも有効である。例えば、プログラムソースコードの再利用を目的として、ソースコードの類似度を構成トークンや複雑度などのメトリクスを用いて測定する手法の提案^[13]や要求変更に伴うソフトウェアの修正箇所を設計文書やソースコードの中に頻出するキーワードを用いて特定する手法の提案が行われている^[14]。

UI 設計において一貫性のある操作手順を設計することの重要性は、一貫性そのものの定義に関する研究より明らかになっている^{[15][16]}。また UI 設計手法およびその評価方法の研究としては、操作手順を可視化することによって一貫性のある操作パターンを抽出する手法^{[17][18][19]}、ユーザビリティ評価における汎用アンケート項目の検討^[20]、UI 設計ガイドラインに基づいて設計評価を自動化する手法^{[21][22]}などがある。

第3章の提案手法は UI 設計において、機器操作の一貫性が保たれていることを評価するソフトウェアメトリクスとして製品に搭載する機能同士の類似度と、個々の機能の操作方法同士の類似度とを定量化して用いる点が従来研究と異なる特徴である。

3.3 UI 設計手法の提案

3.3.1 UI 設計フロー

第3章で提案する UI 設計手法のフローを図 3-1 に示す。設計者は要求事項に基づいて「製品が実現する機能 (function)」を選択し (図 3-1 ステップ①)、その機能に対応させる「UI を介した製品とユーザとの間の対話的な操作方法 (interaction)」を選択する (図 3-1 ステップ②)。これを搭載するすべての機能に対して繰り返すことによって、製品の外面的な振舞いの骨格を設計する。このとき選択した機能と操作方法は、組合せ表 (FIT: Function-Interaction Table) を用いて表現する。このように提案手法では、外面的な振舞いを機能と操作方法とに分けて取り扱うことを特徴としている。この根拠は、同じ機能を搭載する製品であっても対象ユーザが異なれば組み合わせるべき操作方法もまた異なるからである。例えば、初級者は多少手順を踏んだとしても確実に操作できるという確実性を重視した操作方

法を好み、上級者は実行したい機能を直接操作できる即応性を重視した操作方法を好む傾向があることが挙げられる。

採用した操作方法の妥当性は、作成した FIT から製品に搭載する機能同士の類似度と、個々の機能の操作方法同士の類似度を自動的に計算し、機器操作の一貫性が保たれていることを定量的に評価することで満足する。定量的評価には「類似した機能は、類似した操作方法で実現されることが好ましい」と「すべての機能は、より少ない操作方法で実現されることが好ましい」という2つの基準を用いる（図 3-1 ステップ③）。その結果、機能同士の類似度が大きいものにも拘らず操作方法同士の類似度が小さい箇所を機器操作の一貫性が保たれているか疑わしい箇所として警告し、設計者に操作方法の再検討を促す（図 3-1 ステップ④）。設計者は警告された箇所の操作方法を再検討して FIT を修正し、その妥当性を再評価する。ただし警告された箇所の操作方法を敢えて修正しない場合もある。例えば、緊急停止機能は他の通常機能の標準的な操作とは異なり、即時停止を実行するため特殊な操作を採用することが考えられるからである。このように警告をもとに操作方法の見直しが必要な箇所がなくなると設計者が判断するまで操作方法の検討と評価とを反復して、機器操作の一貫性が一定水準以上に保たれた UI 設計が可能となる。

完成した FIT で選択した機能と操作方法は、製品の操作概略であるフレームワークに相当する。設計者は設定値の内容、表示文字列や表示アイコンのようなりソースデータの定義、詳細な画面レイアウト、モレヌケのない状態遷移指定など必要な情報を補って製品の外面的な振舞いを詳細設計し、下流工程に引渡す外部設計書を完成させる（図 3-1 ステップ⑤）。

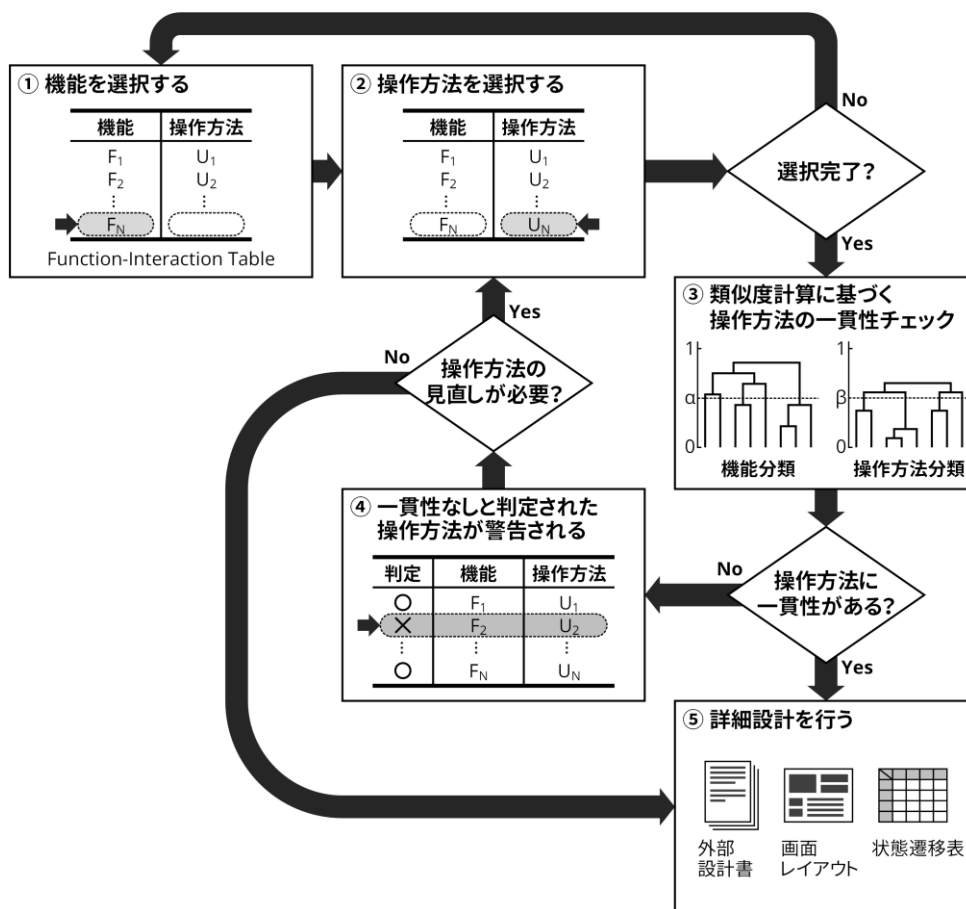


図 3-1 操作方法の一貫性評価に基づく UI 設計フロー

3.3.2 機器操作一貫性の定量的な評価手順

3.3.2 では提案手法の主要部分である機器操作の一貫性を定量的に評価する手順（図 3-1 ステップ①～④）について詳説する。

3.3.2.1 機能の選択

提案手法における「機能」を記述するための書式を表 3-1 に示す。この書式は新聞記事作成の 5W1H の原則に倣ったものであり、予約語として準備したキーワードを定型書式に当て嵌めて「機能」を記述する。定型書式を用いることで記述内容の粒度を揃える効果が期待できる。予約語をキーワードとして用いることで表記揺れを防ぎ、さらに開発プラットフォームに依存しない抽象度でキーワードを表現するためハードウェア仕様変更による機能記述の修正を抑制する効果が期待できる。機能を選択する場合の 3 種類のパターンを図 3-2 に示す。この図は図 3-1 ステップ①における詳細手順を表す。

パターン1：機能を再利用 従来製品で採用実績のある機能は、機能記述が完了した状態で機能リストに登録されている。既存機能を新しいプロジェクトで選択する場合、機能リストから選択するだけで良い。このように機能単位での再利用が可能となる。

パターン2：機能を新規登録 機能リストに所望の機能が登録されていない場合、キーワードリストに登録されているキーワードを用いて機能を記述する。記述が完了した機能は、新たな機能として機能リストに追加登録し、その機能を選択する。このようにキーワード単位での再利用が可能となる。

パターン3：キーワードおよび機能を新規登録 新しい機能を記述するためのキーワードが不足している場合、先ず必要な新しいキーワードをキーワードリストに追加登録する。次に追加したキーワードを用いて所望の機能を記述し、記述が完了した新たな機能を機能リストに追加登録する。最後にその機能を選択する。

表 3-1 機能記述の定型書式

5W1H	記述項目	内容説明
Who	入力値	ユーザが予め与えておくパラメータ (センサの測定値や機能の実行トリガは含まない)
What	制御対象	機能の実行によって制御されるもの
When	適用場面	機能を実行する場面
Where	設定場所	入力値の設定を行う場所
Why	制御目的	制御した結果得られるもの
How	制御方法	(1) パラメータ (入力値, センサの測定値) の制御方法 (2) 機能の実行トリガ

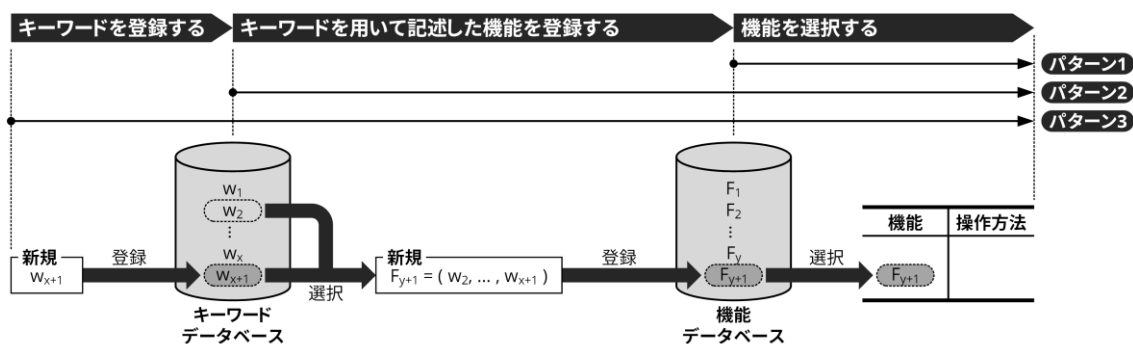


図 3-2 機能選択における 3 パターン

3.3.2.2 操作方法の選択

提案手法における「操作方法」を記述するための書式を表 3-2 に示す。この書式は機能記述と同様に予め準備した基本操作単位の操作部品と、画面表示要素単位の表示部品とを定型書式に当て嵌めて「操作方法」を記述する。また操作方法記述は、前述の表 3-1 で示した機能記述の定型書式の内容を受ける形で構成されており、機能を実行するためにユーザが予め与えておくパラメータの設定場所（where）と機能が動作する適用場面（when）において操作および表示の内容を各々の部品を用いて記述する。定型書式や部品を用いて操作方法を記述することで機能記述と同様に記述内容の粒度を揃えて表記揺れを防ぎ、操作方法同士の類似度計算の精度向上が期待できるとともに、部品単位、操作方法単位での再利用を図ることが期待できる。操作方法を選択する場合の3種類のパターンを図 3-3 に示す。この図は図 3-1 ステップ②における詳細手順を表す。

パターン 1：操作方法を再利用 従来製品で採用実績のある操作方法を選択する場合、操作方法リストから選択するだけで良い。

パターン 2：操作方法を新規登録 操作方法リストに所望の操作方法が登録されていない場合、操作部品リストおよび表示部品リストに登録されている部品を用いて操作方法を記述する。記述が完了した操作方法是、新たな操作方法として操作方法リストに追加登録し、その操作方法を選択する。

パターン 3：部品および操作方法を新規登録 新しい操作方法を記述するための部品が不足している場合、先ず必要な新しい操作部品や表示部品を各々の部品リストに追加登録する。次に追加した部品を用いて所望の操作方法を記述し、新たな操作方法として操作方法リストに追加登録する。最後にその操作方法を選択する。

表 3-2 操作方法記述の定型書式

部品	5W1H	記述項目
操作	Where & When	<ul style="list-style-type: none"> 初期状態 IN操作 (Where / When に移行する) OUT操作 (初期状態に戻る)
	Where	<ul style="list-style-type: none"> パラメータ変更開始 パラメータ選択 パラメータ初期化 パラメータ変更決定 パラメータ変更取消 戻る (1つ前の手順に戻る) サブパラメータ設定に移行する
	When	<ul style="list-style-type: none"> 機能の実行トリガON 機能の実行トリガOFF
表示	Where & When	<ul style="list-style-type: none"> 表示アイテムの基本配置 背景表示 パラメータ表示 サブパラメータ表示

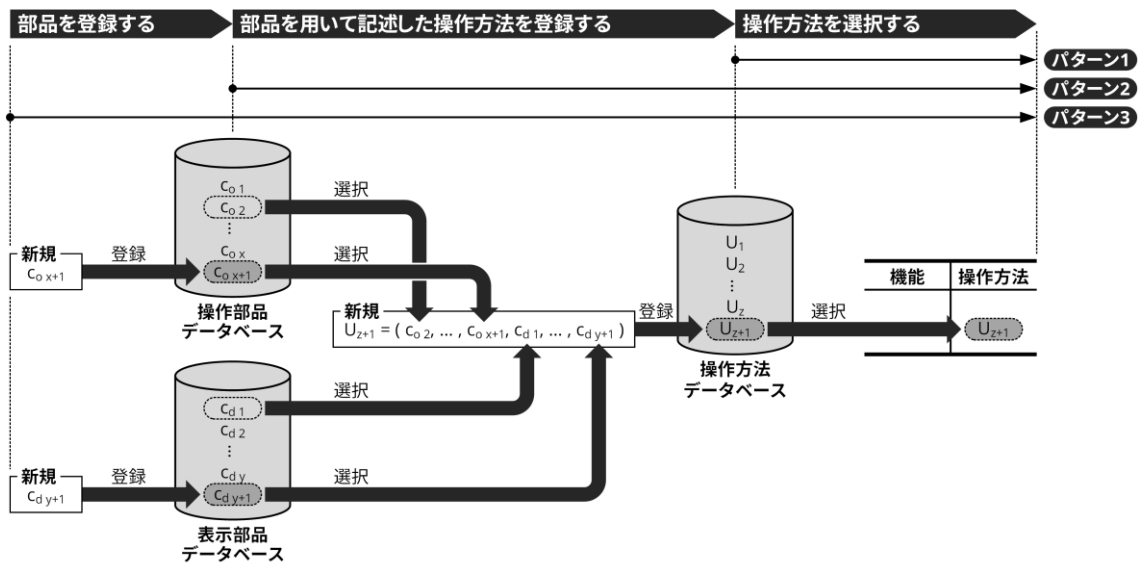


図 3-3 操作方法選択における 3 パターン

3.3.2.3 類似度の計算

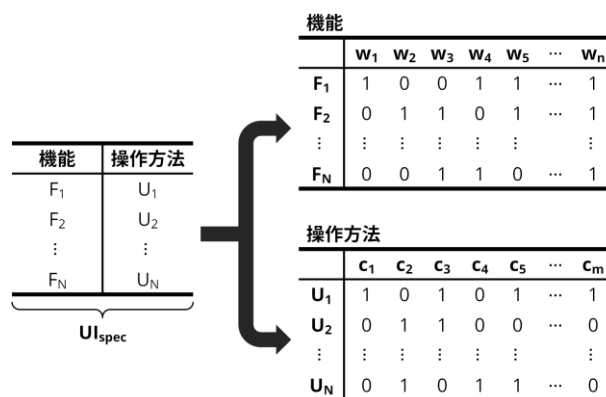


図 3-4 UI 仕様の構成

図 3-4 に示すように 3.3.1 で述べた FIT を用いて製品に搭載する機能 F_i とその操作方法 U_i の選択が完了したとき、製品の UI 仕様 UI_{spec} は、搭載する機能総数を N とすると式 (3.1) のように F_i と U_i とが対を成す組の集合として定義する。

$$UI_{spec} = \{(F_i, U_i) | i = 1, 2, \dots, N\} \tag{3.1}$$

機能 F_i は表 3-1 の定型書式にキーワード w を当て嵌めたものであり、その操作方法 U_i は表 3-2 の定型書式に部品 c を当て嵌めたものである。よって F_i および U_i は、ある種の定型文書と見做すことができる。即ち w および c は文書を形態素解析して得られる単語として扱える。 UI_{spec} を構成するすべての F および U で使用されるキーワード w の全種類を n 、部品 c の全種類を m としたとき、 F_i は n 次元ベクトル、 U_i は m 次元ベクトルとして式 (3.2) のように表す。

$$\begin{cases} F_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}) \\ U_i = (c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{im}) \end{cases} \tag{3.2}$$

F_i の第 j 成分 w_{ij} ($j = 1, 2, \dots, n$)、 U_i の第 k 成分 c_{ik} ($k = 1, 2, \dots, m$) は各々に重み付けされた値であり、提案手法では定型文書の類似度評価に最適な“0” (w_{ij} は F_i で使用していない、 c_{ik} は U_i で使用していない)、“1” (w_{ij} は F_i で使用している、 c_{ik} は U_i で使用している) とした。

UI_{spec} を構成する 2 つの (F_i, U_i) 、 (F_j, U_j) について機能 F_i と F_j の類似度を $S_{function}(F_i, F_j)$ 、操作方法 U_i と U_j の類似度を $S_{interaction}(U_i, U_j)$ とする。式 (3.2) より情報検索分野における文

書比較に有効なベクトル内積計算を用いたコサイン類似度^{[23][24]}を適用し、次の式 (3.3) および式 (3.4) で定義する。

$$S_{\text{function}}(\mathbf{F}_i, \mathbf{F}_j) = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n w_{ik} w_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n w_{ik}^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n w_{jk}^2}} \quad (3.3)$$

$$S_{\text{interaction}}(\mathbf{U}_i, \mathbf{U}_j) = 1 - \frac{\sum_{k=1}^m c_{ik} c_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m c_{ik}^2} \sqrt{\sum_{k=1}^m c_{jk}^2}} \quad (3.4)$$

ベクトル \mathbf{F}_i とベクトル \mathbf{F}_j のなす角の余弦は、 $w_{ik} \geq 0$ 、 $w_{jk} \geq 0$ より機能 \mathbf{F}_i と \mathbf{F}_j とが類似であるほど1に近づき、非類似であるほど0に近づく。式 (3.3) は、1からベクトル \mathbf{F}_i とベクトル \mathbf{F}_j のなす角の余弦を減じることによって、類似であるほど0に近づき、非類似であるほど1に近づく距離(非類似度)に置換している。値域は $0 \leq S_{\text{function}}(\mathbf{F}_i, \mathbf{F}_j) \leq 1$ となる。同様に式 (3.4) は、操作方法 \mathbf{U}_i と \mathbf{U}_j とが類似であるほど0に近づき、非類似であるほど1に近づく距離として $0 \leq S_{\text{interaction}}(\mathbf{U}_i, \mathbf{U}_j) \leq 1$ のように表せる。このように機能同士の類似度、操作方法同士の類似度は、それぞれ距離に置換して数値化することができる。

3.3.2.4 機器操作一貫性の評価

機器操作の一貫性が保たれていることは「基準1：類似した機能は、類似した操作方法で実現されることが望ましい」と「基準2：すべての機能は、より少ない操作方法で実現されることが望ましい」という2つの基準を用いて評価する。これらの基準は、認知心理学の知見に基づいている。基準1は類似した機能は利用シーンも類似していることが多いため過去の操作経験から現在の操作を容易に予測できることを目指したものであり、基準2は操作方法のパターンが必要以上に増加することを抑制して操作方法を習得しやすくすることを目指したものである^{[25][26]}。

製品に搭載する機能総数を N とすると機能同士のすべての組合せ $N(N-1)/2$ 通りについて $S_{\text{function}}(\mathbf{F}_i, \mathbf{F}_j)$ および $S_{\text{interaction}}(\mathbf{U}_i, \mathbf{U}_j)$ をそれぞれ計算し、階層化クラスタリング法を用いて機能および操作方法をそれぞれ分類する^[27]。機能の分類について図3-5、操作方法の分類について図3-6に示す。これらの図は、図3-1ステップ③→④→②→③のループにおける詳細手順を表す。

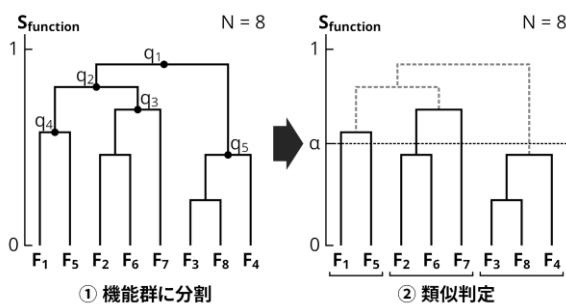


図 3-5 機能の分類

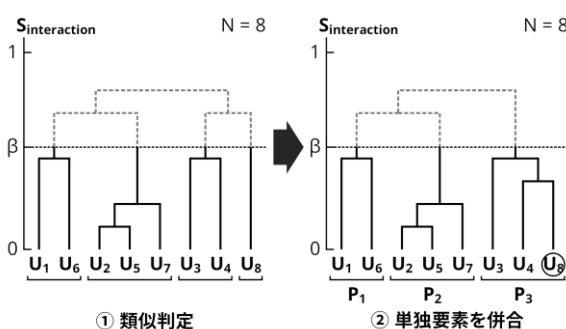


図 3-6 操作方法の分類

機能の分類では基準 1 を評価するために 2 つ以上の機能が組となる、即ち単独要素が生じないようにクラスターを分割する。したがって図 3-5①においては q_1, q_2 まで分割可能であり、図 3-5②のように 3 つの機能群 $\{F_1, F_5\}$, $\{F_2, F_6, F_7\}$, $\{F_3, F_8, F_4\}$ に分割する。ここで機能同士の類似判定基準を α としたとき $0 \leq S_{\text{function}}(F_i, F_j) \leq \alpha$ を満足すると、機能 F_i と F_j は類似であると判定する。3 つに分割した機能群に対して類似判定基準 α を適用した場合、 $\{F_1|F_5\}$, $\{F_2, F_6|F_7\}$, $\{F_3, F_8, F_4\}$ のように分類できる。 $\{F_1|F_5\}$ は同じ機能群に属する F_1 と F_5 は非類似であることを表す。 $\{F_2, F_6|F_7\}$ は同じ機能群に属する F_2 と F_6 は類似であり、かつ $\{F_2, F_6\}$ と $\{F_7\}$ は非類似であることを表す。 $\{F_3, F_8, F_4\}$ は同じ機能群に属する F_3 と F_8 と F_4 は類似であることを表す。

操作方法の分類では操作方法同士の類似判定基準を β としたとき $0 \leq S_{\text{interaction}}(U_i, U_j) \leq \beta$ を満足すると、操作方法 U_i と U_j は類似であると判定する。したがって図 3-6①のように類似判定基準 β を適用した場合、単独要素が生じたクラスター $\{U_8\}$ を基準 2 に従って近接するクラスター $\{U_3, U_4\}$ と併合できるか操作方法を見直すように警告する。図 3-6②は $\{U_8\}$ を $\{U_3, U_4\}$ と併合した結果、類似した 3 種類の操作パターン $P_1 = \{U_1, U_6\}$, $P_2 = \{U_2, U_5, U_7\}$,

$P_3 = \{U_3, U_4, U_8\}$ に分類されたことを表す。

ここまでの分類結果における機器操作一貫性の判定結果を表 3-3 に示す。提案手法では基準 1 を満足しない箇所、即ち類似した機能同士の操作パターンが異なる箇所を「×：操作方法を見直すことを強く推奨」と判定し、基準 2 を満足しない箇所、即ち同じ機能群に属しているが非類似である機能同士の操作パターンが異なる箇所を「△：操作方法を見直すことを推奨」と判定する。それ以外の箇所は「○：操作方法を見直す必要なし」と判定する。

表 3-3 では機能群 $\{F_2, F_6 | F_7\}$ の類似した機能 F_2 と F_6 の操作パターンが異なっているため×判定で警告する。必要最小限の修正で○判定に導くため「 U_2 を P_1 に併合する」または「 U_6 を P_2 に併合する」を修正方針の候補とする。ここで非類似の F_2 と F_7 の操作パターンが一致するので修正方針は「 U_6 を P_2 に併合する」に特定できる。次に機能群 $\{F_1 | F_5\}$ に属する非類似の機能 F_1 と F_5 の操作パターンが異なっているため△判定で警告する。必要最小限の修正で○判定に導くため「 U_1 を P_2 に併合する」または「 U_5 を P_1 に併合する」を修正方針の候補とする。ここで前述の×判定における修正方針「 U_6 を P_2 に併合する」を踏まえると基準 2 を満足するため修正方針は「 U_1 を P_2 に併合する」に特定できる。

機器操作一貫性の判定結果に基づき、操作方法の見直し警告箇所とその修正方針が特定できる。修正方針に従った操作方法の修正過程を図 3-7 に示す。図 3-7①は前述した表 3-3 で示した判定結果の状態である。図 3-7②は×判定箇所の修正方針「 U_6 を P_2 に併合する」に従って操作方法を修正した状態である。図 3-7③は△判定箇所の修正方針「 U_1 を P_2 に併合する」に従って操作方法を修正した状態である。この結果、操作パターン P_1 が P_2 に併合されて操作パターン総数が初期状態の 3 種類から 2 種類に減少した。また図 3-7③の状態における機器操作一貫性の判定結果を表 3-4 に示す。修正方針に従って操作方法を修正した場合、基準 1 と基準 2 が満足されて機器操作の一貫性が修正前に比べて改善したと言える。このように提案手法は、機器操作の一貫性を一定水準以上に保つことができる。

表 3-3 機器操作一貫性の評価（操作方法の見直し前）

機能群	操作方法	操作方法 パターン	一貫性判定
$\{F_1 F_5\}$	$\{U_1 U_5\}$	$\{P_1 P_2\}$	△
$\{F_2, F_6 F_7\}$	$\{U_2, U_6 U_7\}$	$\{P_2, P_1 P_2\}$	×
$\{F_3, F_8, F_4\}$	$\{U_3, U_8, U_4\}$	$\{P_3, P_3, P_3\}$	○

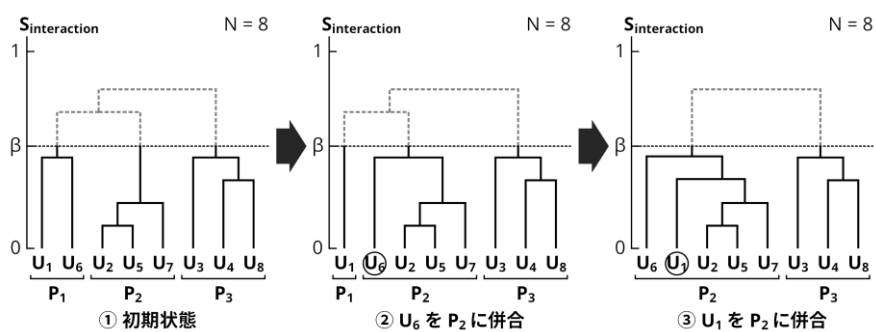


図 3-7 操作方法の見直し手順

表 3-4 機器操作一貫性の評価（操作方法の見直し後）

機能群	操作方法	操作方法パターン	一貫性判定
{ F_1, F_5 }	{ U_1, U_5 }	{ P_2, P_2 }	○
{ F_2, F_6, F_7 }	{ U_2, U_6, U_7 }	{ P_2, P_2, P_2 }	○
{ F_3, F_8, F_4 }	{ U_3, U_8, U_4 }	{ P_3, P_3, P_3 }	○

3.4 提案手法のプロトタイプ作成と評価実験

3.4.1 プロトタイプ作成と実験準備

3.3 で述べた提案手法を実現したプロトタイプを作成し、適用実験を行った。プロトタイプは、以下の3つの特徴を踏まえて表計算ソフトウェアのマクロを用いて実装した。

特徴 1：製品の外面的な振舞いを「機能」と「操作方法」との組合せ表で指定するため、表形式のインターフェースが適している点。

特徴 2：「機能」およびその記述に用いる「キーワード」, 「操作方法」およびその記述に用いる「部品」をデータベース化して再利用する場合、データ管理に表形式が適している点。

特徴 3：「機能」および「操作方法」の類似度計算は行列計算が中心であり、様々な統計処理のアドインが充実している点。

適用実験では実在する製品をモデルとした仮想の製品であるデジタルカメラを題材とした。先ず既存の製品を参考にデジタルカメラの代表的な機能を 40 個選定した。次に 3.3 の表 3-1 および表 3-2 で示した定型書式に従って機能と操作方法とをそれぞれ記述し、実験用データベースを構築した。その結果を表 3-5 および表 3-6 に示す。表 3-5 からは 40 個の

「機能」が 77 個のキーワードを用いて記述され、40×77 行列で表現できたことが分かる。
 表 3-6 からは 40 個の機能の「操作方法」が 103 個の部品を用いて記述され、40×103 行列
 で表現できたことが分かる。

表 3-5 デジタルカメラの 40 機能記述

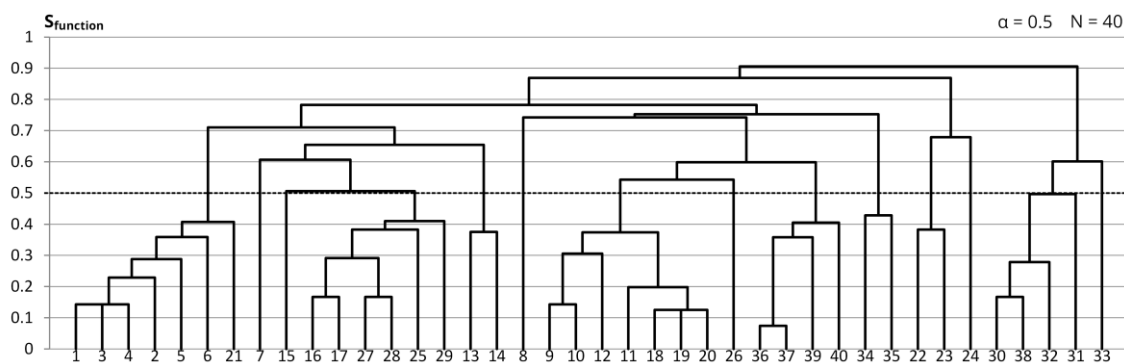
記述項目	キーワード	キーワード例(抜粋)
入力値	28	露出補正, 測光方式, 拡大倍率
制御対象	15	露出, 測光, 測距, 静止画像
適用場面	3	撮影, 再生, システム全般
設定場所	4	撮影待機, メニュー, 再生待機
制御目的	16	自動露出, 自動焦点調整, 表示
制御方法	11	入力値に従う, 測光値に従う
合計	77	

表 3-6 デジタルカメラの 40 操作方法記述

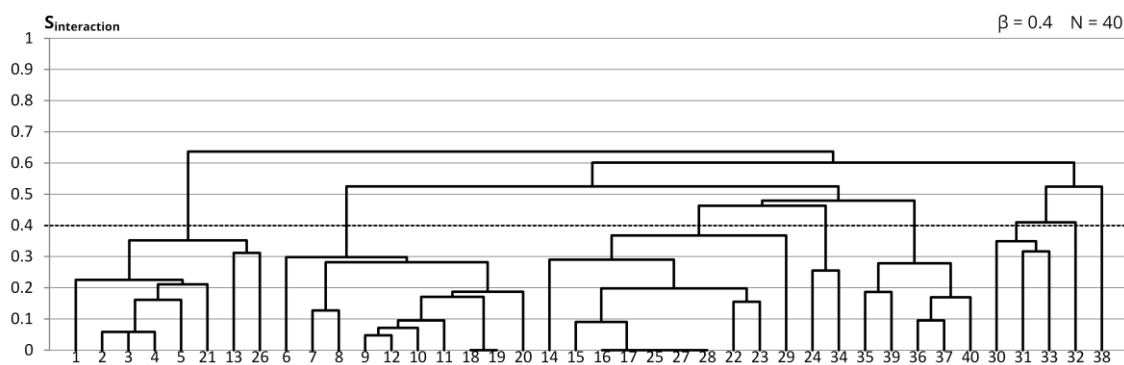
記述項目	部品	部品例(抜粋)
初期状態	2	撮影, 再生
IN操作 (Where / When に移行する)	14	+/-ボタン, MENUボタン
OUT操作 (初期状態に戻る)	7	+/-ボタン, MENUボタン
パラメータ変更開始	6	OKボタン, 十字ボタン(右)
パラメータ選択	11	十字ボタン(上下), 電子ダイヤル
パラメータ初期化	3	グリーンボタン, OKボタン
パラメータ変更決定	4	OKボタン, 十字ボタン(左)
パラメータ変更取消	3	MENUボタン, PLAYボタン
戻る (1つ前の手順に戻る)	4	MENUボタン, INFOボタン
サブパラメータ設定に移行する	3	INFOボタン, OKボタン
機能の実行トリガON	11	測光オン, シャッターボタン
機能の実行トリガOFF	9	測光オフ, シャッターボタン
表示アイテムの基本配置	8	撮影待機, メニュー, 全体表示
背景表示	13	静止画像, ライブビュー
パラメータ表示	3	設定値, 選択肢, 表示しない
サブパラメータ表示	2	設定値, 表示しない
合計	103	

3.4.2 適用実験

構築した実験用データベースをプロトタイプへの入力として操作方法の一貫性評価を行った。40個の機能同士の組合せ780通り ($N(N-1)/2$ 通り, $N=40$)の類似度を3.3の式(3.3), 同様に40個の操作方法同士の組合せ780通りの類似度を3.3の式(3.4)からそれぞれ計算し, 階層化クラスタリング法を適用した。その結果を図3-8に示す。



(a) 機能の分類



(b) 操作方法の分類

(1) 露出補正	(11) 連写	(21) AEロック	(31) 画像拡大表示
(2) Pモード	(12) 単写	(22) 日時設定	(32) 画像情報表示
(3) Tvモード	(13) フォーカスモード	(23) 言語設定	(33) 画像一覧表示
(4) Avモード	(14) 測距点	(24) カードフォーマット	(34) 画像消去
(5) Mモード	(15) 測光モード	(25) 手ぶれ補正	(35) 画像プロテクト
(6) ISO感度	(16) 記録サイズ	(26) 動画モード	(36) トリミング
(7) ホワイトバランス	(17) 画質	(27) フレームレート	(37) リサイズ
(8) フラッシュモード	(18) インターバル撮影	(28) 動画記録サイズ	(38) 動画再生
(9) セルフタイマー	(19) 多重露出	(29) 記録音量設定	(39) 動画編集
(10) リモコン	(20) ブラケット撮影	(30) 画像表示	(40) 画像回転表示

図3-8 デジタルカメラの40機能および40操作方法の分類

図 3-8 (a)より単独要素が生じないようにクラスターを7つの機能群 $G_1 \sim G_7$ に分割し、機能同士の類似判定基準を $\alpha = 0.5$ として分類した結果は、 $G_1 = \{F_1, F_3, F_4, F_2, F_5, F_6, F_{21}\}$, $G_2 = \{F_7 | F_{15} | F_{16}, F_{17}, F_{27}, F_{28}, F_{25}, F_{29}\}$, $G_3 = \{F_{13}, F_{14}\}$, $G_4 = \{F_8 | F_9, F_{10}, F_{12}, F_{11}, F_{18}, F_{19}, F_{20} | F_{26} | F_{36}, F_{37}, F_{39}, F_{40}\}$, $G_5 = \{F_{34}, F_{35}\}$, $G_6 = \{F_{22}, F_{23} | F_{24}\}$, $G_7 = \{F_{30}, F_{38}, F_{32}, F_{31} | F_{33}\}$ となった。図 3-8 (b)より操作方法同士の類似判定基準を $\beta = 0.4$ として分類した結果は、 $\{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_{21}, U_{13}, U_{26}\}$, $\{U_6, U_7, U_8, U_9, U_{12}, U_{10}, U_{11}, U_{18}, U_{19}, U_{20}\}$, $\{U_{14}, U_{15}, U_{16}, U_{17}, U_{25}, U_{27}, U_{28}, U_{22}, U_{23}, U_{29}\}$, $\{U_{24}, U_{34}\}$, $\{U_{35}, U_{39}, U_{36}, U_{37}, U_{40}\}$, $\{U_{30}, U_{31}, U_{33}\}$, $\{U_{32}\}$, $\{U_{38}\}$ となった。

ここで単独要素が生じたクラスター $\{U_{32}\}$ および $\{U_{38}\}$ は近接するクラスター $\{U_{30}, U_{31}, U_{33}\}$ と併合できるか操作方法を見直すように警告された。まず「 U_{32} :画像情報表示」は「 U_{30} :画像表示」, 「 U_{31} :画像拡大表示」, 「 U_{33} :画像一覧表示」と同様の画像表示関連の操作方法として整理した結果、 $\{U_{32}\}$ を $\{U_{30}, U_{31}, U_{33}\}$ に併合することができた。次に「 U_{38} :動画再生」は静止画の画像表示とは異なり、動画の固有操作として「再生」, 「停止」, 「一時停止」, 「早送り」, 「コマ送り」, 「音量調整」が必要となることから $\{U_{38}\}$ を $\{U_{30}, U_{31}, U_{33}\}$ に併合することは困難と判断し、当初の操作方法のまま据え置くことにした。

この結果、操作方法是類似した7種類の操作パターン: $P_1 = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_{21}, U_{13}, U_{26}\}$, $P_2 = \{U_6, U_7, U_8, U_9, U_{12}, U_{10}, U_{11}, U_{18}, U_{19}, U_{20}\}$, $P_3 = \{U_{14}, U_{15}, U_{16}, U_{17}, U_{25}, U_{27}, U_{28}, U_{22}, U_{23}, U_{29}\}$, $P_4 = \{U_{24}, U_{34}\}$, $P_5 = \{U_{35}, U_{39}, U_{36}, U_{37}, U_{40}\}$, $P_6 = \{U_{30}, U_{31}, U_{33}, U_{32}\}$, $P_7 = \{U_{38}\}$ に分類された。ここまでの分類結果におけるデジタルカメラ操作の一貫性判定結果を表 3-7 に示す。

先ず \times 判定の操作方法を見直した。機能群 G_1 では「 U_6 :ISO感度」を他の露出決定因子設定における操作パターン P_1 に併合する方向で見直した。機能群 G_3 では「 U_{13} :フォーカスモード」を「 U_{14} :測距点」の操作パターン P_3 に併合するか、その逆である U_{14} を U_{13} の操作パターン P_1 に併合するかを選択可能であったので、前者の「 U_{13} を P_3 に併合する」方向で見直した。機能群 G_5 では「 U_{34} :画像消去」を「 U_{35} :画像プロテクト」の操作パターン P_5 に併合するか、その逆である U_{35} を U_{34} の操作パターン P_4 に併合するかを選択可能であった。ここで前者を選択した場合、後述する Δ 判定の操作方法の見直しにおいて操作パターン P_4 に「 U_{24} :フォーマット」が単独要素として残る可能性が考えられるため、後者の「 U_{35} を P_4 に併合する」方向で見直した。機能群 G_7 では「 U_{38} :動画再生」が他の画像表示機能の操作パターン P_6 と非類似なので、本来は \times 判定となるべきところが \circ 判定となっている。この理由は、 U_{38} の操作パターン P_7 が単独要素となることを操作パターン分類時に許容したため操作方法の見直し対象から除外されたからである。

次に△判定の操作方法を見直した。機能群G₂では「U₇:ホワイトバランス」を他の撮影設定における操作パターンP₃に併合する方向で見直した。機能群G₄では「U₂₆:動画モード」を静止画撮影設定の操作パターンP₂に併合することは機能の特異性から困難と判断した。さらに「U₃₆:トリミング」, 「U₃₇:リサイズ」, 「U₃₉:動画編集」, 「U₄₀:画像回転表示」は、類似した再生時の機能同士で共通の操作パターンP₅を有している一方、これらを静止画撮影設定の操作パターンP₂に併合することは変更規模が大きくなることが予想されるため困難と判断した。機能群G₆では「U₂₄:フォーマット」を「U₂₂:日時設定」および「U₂₃:言語設定」の操作パターンP₃に併合することは機能の特異性から困難と判断した。

操作方法の見直し後におけるデジタルカメラ操作の一貫性判定結果を表 3-8 に示す。見直し前は×判定だった機能群G₁, G₃, G₅は、操作方法の見直しによって○判定となった。見直し前は△判定だった機能群G₂は、操作方法の見直し後も△判定となった。この原因については 3.5.2.1 で考察する。見直し前は△判定だった機能群G₄, G₆は、当初の操作方法のまま据え置くことを許容した箇所のため操作方法見直し後の判定では○判定となった。このように見直し前（表 3-7）と比較して見直し後（表 3-8）の方が機器操作の一貫性が改善したと考えられる。

表 3-7 デジタルカメラ操作の一貫性評価（操作方法の見直し前）

機能群	操作方法	操作方法パターン	一貫性判定
G ₁	{ U ₁ , U ₃ , U ₄ , U ₂ , U ₅ , U ₆ , U ₂₁ }	{ P ₁ , P ₁ , P ₁ , P ₁ , P ₁ , P ₂ , P ₁ }	×
G ₂	{ U ₇ U ₁₅ U ₁₆ , U ₁₇ , U ₂₇ , U ₂₈ , U ₂₅ , U ₂₉ }	{ P ₂ P ₃ P ₃ , P ₃ , P ₃ , P ₃ , P ₃ }	△
G ₃	{ U ₁₃ , U ₁₄ }	{ P ₁ , P ₃ }	×
G ₄	{ U ₈ U ₉ , U ₁₀ , U ₁₂ , U ₁₁ , U ₁₈ , U ₁₉ , U ₂₀ U ₂₆ U ₃₆ , U ₃₇ , U ₃₉ , U ₄₀ }	{ P ₂ P ₂ , P ₂ , P ₂ , P ₂ , P ₂ , P ₂ , P ₂ P ₁ P ₅ , P ₅ , P ₅ , P ₅ }	△
G ₅	{ U ₃₄ , U ₃₅ }	{ P ₄ , P ₅ }	×
G ₆	{ U ₂₂ , U ₂₃ U ₂₄ }	{ P ₃ , P ₃ P ₄ }	△
G ₇	{ U ₃₀ , U ₃₈ , U ₃₂ , U ₃₁ U ₃₃ }	{ P ₆ , P ₇ , P ₆ , P ₆ P ₆ }	○

表 3-8 デジタルカメラ操作の一貫性評価（操作方法の見直し後）

機能群	操作方法	操作方法パターン	一貫性判定
G ₁	{ U ₁ , U ₃ , U ₄ , U ₂ , U ₅ , U ₆ , U ₂₁ }	{ P ₁ , P ₁ , P ₁ , P ₁ , P ₁ , P ₁ , P ₁ }	○
G ₂	{ U ₇ U ₁₅ U ₁₆ , U ₁₇ , U ₂₇ , U ₂₈ , U ₂₅ , U ₂₉ }	{ P ₂ P ₃ P ₃ , P ₃ , P ₃ , P ₃ , P ₃ }	△
G ₃	{ U ₁₃ , U ₁₄ }	{ P ₃ , P ₃ }	○
G ₄	{ U ₈ U ₉ , U ₁₀ , U ₁₂ , U ₁₁ , U ₁₈ , U ₁₉ , U ₂₀ U ₂₆ U ₃₆ , U ₃₇ , U ₃₉ , U ₄₀ }	{ P ₂ P ₂ , P ₂ , P ₂ , P ₂ , P ₂ , P ₂ , P ₂ P ₁ P ₅ , P ₅ , P ₅ , P ₅ }	○
G ₅	{ U ₃₄ , U ₃₅ }	{ P ₄ , P ₄ }	○
G ₆	{ U ₂₂ , U ₂₃ U ₂₄ }	{ P ₃ , P ₃ P ₄ }	○
G ₇	{ U ₃₀ , U ₃₈ , U ₃₂ , U ₃₁ U ₃₃ }	{ P ₆ , P ₇ , P ₆ , P ₆ P ₆ }	○

3.5 考察

3.5.1 ×判定および△判定の妥当性

3.4 の適用実験において操作方法の見直しを警告した×判定および△判定が適切なものであったのかを議論する。

3.5.1.1 ×判定について

×判定は、類似した機能同士が異なる操作パターンを有する場合に警告される。機能群 G_1 では「 U_6 ：ISO 感度」の操作パターン P_2 がその他の「 U_1 ：露出補正」, 「 U_3 ：シャッター速度優先自動露出 (Tv モード)」, 「 U_4 ：絞り優先自動露出 (Av モード)」, 「 U_2 ：プログラム自動露出 (P モード)」, 「 U_5 ：マニュアル露出 (M モード)」, 「 U_{21} ：AE ロック」の操作パターン P_1 と異なっていたので警告された。警告に従って修正した ISO 感度設定の UI を図 3-9 に示す。図 3-9 (a)より修正前の特徴は ISO 感度設定を開始すると ISO 感度の設定専用画面に遷移することであり、図 3-9 (b)より修正後の特徴は ISO 感度設定を開始しても設定専用画面に遷移することなく他の露出設定パラメータであるシャッター速度“1/125”, 絞り“F5.6”の設定変更と同様の UI を採用している点である。本来、写真の露出設定はシャッター速度 (光を取込む時間), 絞り (単位時間あたりに取込む光の量), ISO 感度 (光に対する敏感さ) の 3 パラメータで決定されるが、フィルムカメラでは一般的にフィルム装填時に ISO 感度が固定化されてしまうので撮影時における露出設定はシャッター速度と絞りの 2 パラメータで設定していた。修正前の図 3-9 (a)のような ISO 感度設定画面は現在も多くのデジタルカメラに採用されているが、前述したフィルムカメラの系統的に制限されていた露出設定方法をそのままデジタルカメラに採用した UI と言える。一方、デジタルカメラでは撮影毎に ISO 感度を動的に変化させることができるので、撮影時の露出設定はシャッター速度、絞り、ISO 感度の 3 パラメータで設定可能である。したがって本来の露出制御の考え方に基づいて ISO 感度設定をシャッター速度、絞りと同様の操作方法に修正するように警告したことは妥当と言える。

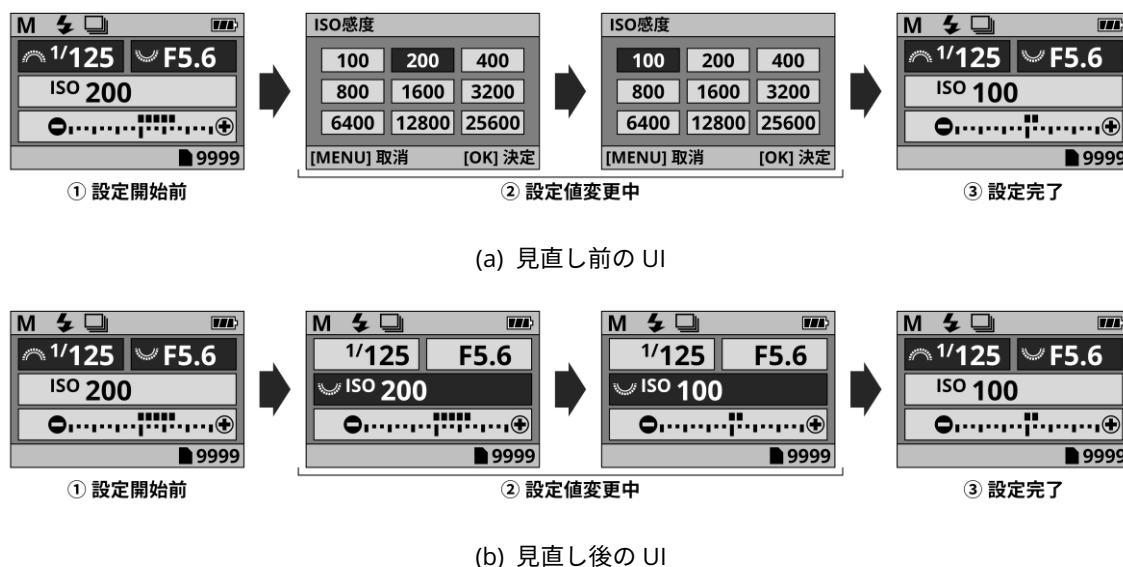


図 3-9 ISO 感度設定の UI 設計における見直し

機能群 G_3 では「 U_{13} ：フォーカスモード」の操作パターン P_1 と「 U_{14} ：測距点」の操作パターン P_3 とが異なっていたので警告された。機能群 G_3 の機能は、どちらも焦点調整に関係しており双方の組合せによって焦点調整の動作が決定される。その操作方法が互いに異なっている点を警告したことは妥当と言える。

機能群 G_5 では「 U_{34} ：画像消去」の操作パターン P_4 と「 U_{35} ：画像プロテクト」の操作パターン P_5 とが異なっていたので警告された。機能群 G_5 の機能は「画像を消去すること」と「画像を消去しないように保護すること」という表裏の関係にある。その操作方法が互いに異なっている点を警告したことは妥当と言える。

以上のように機器操作の一貫性を確保するため操作方法の見直しを強く推奨すべき箇所を適切に×判定として警告できたと考えられる。

3.5.1.2 △判定について

△判定は、同じ機能群に属しているが非類似の機能同士が異なる操作パターンを有する場合に警告される。この場合における操作方法の見直しは×判定のような必然性はなく、操作パターン同士の統廃合を検討する際の切り口として利用する。統廃合できた場合、操作パターン総数を減らせる可能性がある。

例えば、×判定の機能群 G_5 において「 U_{34} ：画像消去」の操作パターン P_4 を「 U_{35} ：画像プロテクト」の操作パターン P_5 に併合し、かつ△判定の機能群 G_6 において「 U_{24} ：フォーマ

ット」の操作パターン P_4 を「 U_{22} ：日時設定」, 「 U_{23} ：言語設定」における操作パターン P_3 に併合できた場合、操作パターン P_4 に属する操作方法は存在しなくなり操作パターン総数を7種類から6種類に減らせる可能性があった。

実際の検討では、後者の Δ 判定の機能群 G_6 において「 U_{24} を P_3 に併合する」ことができないと判断したため操作パターン総数を減らすまでには至っていない。しかしながら操作方法を見直すべき機能を特定し、どの操作パターンに併合すべきか検討の指針を設計者に提示しているので Δ 判定についても有益な警告ができたと考えられる。

3.5.2 操作方法の見直しにおける課題

3.4 の適用実験における操作方法の見直しで機器操作の一貫性が改善しなかった箇所の原因とその対処方法について議論する。

3.5.2.1 操作方法を見直しても Δ 判定の原因

機能群 G_2 の「 U_7 ：ホワイトバランス」の操作方法見直しにおいて見直し後の評価でも Δ 判定となった原因を考察する。

機能群 G_2 の「 U_{15} ：測光モード」, 「 U_{16} ：記録サイズ」, 「 U_{17} ：画質」, 「 U_{27} ：フレームレート」, 「 U_{28} ：動画記録サイズ」, 「 U_{25} ：手ぶれ補正」, 「 U_{29} ：音量設定」における操作パターン P_3 の特徴は、汎用のメニュー画面で設定することである。一方「 U_7 ：ホワイトバランス」の操作パターン P_2 の特徴は、撮影待機状態から専用のメニュー画面で設定することである。専用のメニュー画面で設定する理由は、撮影で得られる画像の色の変化をプレビューするためである。また撮影待機状態からダイレクトに呼出す理由は、被写体の状況変化に応じて設定を頻繁に変更するためである。

これにより「 U_7 ：ホワイトバランス」の操作方法の見直しでは、撮影待機状態から専用のメニュー画面で設定する操作方法を採用したまま汎用のメニュー画面からも専用のメニュー画面を呼出せるように操作方法を変更した。その結果、見直し前に比べると操作パターン P_3 に近づいたが操作パターン P_2 の特徴も有しているため U_7 が操作パターン P_3 に併合されるには至らず、 U_7 は操作パターン P_2 に属したままとなり見直し後も Δ 判定になったと考えられる。

3.5.2.2 複数の操作方法を有する機能の扱い

3.5.2.1 の「 U_7 : ホワイトバランス」の操作方法の見直しのように1つの機能に複数の操作方法を与えると、併合させたい操作パターンが複数の操作方法の一部の特徴しか有していない場合、目標とした操作パターンに併合できないことがある。

このような1つの機能が複数の操作方法を有する典型例として、ユーザの習熟度や使い方に合わせて所望の機能をショートカットさせる場合について考える。この場合、異なる操作パターンを有する類似性のない様々な機能がショートカットの対象となる可能性が高い。ここでショートカット対象の機能を「ショートカット操作を含めた複数の操作方法を有している」として扱う場合、ショートカットする機能とその機能に類似しているがショートカットしない機能との間で操作パターンが異なると判定されるため、操作パターン総数の増加を招く危険性がある。そこでショートカット自体を「ある場面でユーザが所望した機能を呼出す機能」として捉え直し、ショートカットの対象とした機能の操作方法にはショートカット操作を含めないことによって操作パターンの著しい増加を防ぐことができる。

以上のことから類似した機能の操作方法是、等しく複数の操作方法を与える場合を除いて基本的には1種類の操作方法を有するものとし、ショートカットについてはショートカットという独立した機能として扱うことによって機器操作の一貫性を評価することが望ましいと考えられる。

3.5.3 開発効率の改善について

提案手法による開発効率の改善について議論する。3.4の適用実験より提案手法を用いることによって仕様設計フェーズで一貫性のあるUIを設計できるようになるので、一貫性がないことに起因する問題の手戻りが減少することは期待できる。しかしながら、どの程度の開発効率の改善に寄与するかを見積もることは以下の理由から難しい。

- (1) 修正すべき機能によって修正規模が大きく異なる
- (2) 問題発覚時期によって修正コストが変動する

前者(1)は、表面的なUIの修正で済むもの(修正規模:小)、制御値などのデータ管理方法の変更まで波及するもの(修正規模:中)、新たに並列動作する処理が追加されてパフォーマンス上の制約が発生するもの(修正規模:大)のように修正規模によって実装コスト

も検証コストも大きく異なる。後者(2)は、印刷物の校了前のため原稿修正で済むもの(修正コスト:小~中)、印刷物の校了後のため改訂が必要となるもの(修正コスト:大)のように問題発見時期で対応コストが大きく異なる。実際のプロジェクトでは、これらを総合的に判断して修正の可否が決定される^[28]。

例えば図 3-9 で示した ISO 感度の設定方法の修正については、画面修正の他、設定値の管理方法の変更、設定変更中も露出表示(-/+のバー表示)を更新するため測光演算を行う処理が追加されるので修正規模は大である。また ISO 感度の設定方法はカメラの基本操作であり、取扱説明書で大きく扱われると予想されるため修正コストも小さくない。したがって提案手法を用いて仕様設計フェーズで問題を未然に防ぐことができることの効果は大きいと考えられる。

3.6 まとめ

第3章では、コンシューマを対象とした電気製品の UI における表示や操作の一貫性を定量的に評価できる設計手法を提案した。提案手法は、製品に採用した機能同士の類似度と、その操作方法同士の類似度とを定量化することによって操作方法の見直しを検討すべき箇所を特定し、見直しの指針とすべき操作パターンを設計者に提示できることをデジタルカメラの UI 設計への適用実験から明らかにした。

提案手法は、定型書式で記述した設計情報を機械的に計算して評価する手法であるため、製品の仕様規模が大きく手動ですべての UI を評価することが困難な場合でも仕様全体を俯瞰して評価することができる。また手動評価と異なり自動評価であるので評価に要する時間が短い。したがって設計者が操作方法の見直しと再評価というサイクルを短期間に反復できるため、仕様設計フェーズの中で一貫性のない UI を仕様に作り込んでしまうことを未然に防ぐことが可能になる。

今後の課題は、現時点では設計者の判断に委ねている類似判定基準の値(3.4.2の適用実験では $\alpha = 0.5$ と $\beta = 0.4$ を採用)の具体的な決定方法を検討することである。そのためには適用範囲や適用事例を増やすことによって、様々な製品分野における類似判定基準の値に関する知見の蓄積が必要になると考えられる。

第4章 メンタルモデルの定量的評価に基づく ユーザインタフェース設計手法

第3章では設計文書である機能定義の分類に基づいて操作方法を振り分けることによってユーザインタフェース（UI: User Interface）の一貫性を担保する第1の設計手法を提案した。しかしながら、設計者の機能分類とユーザの機能分類との間に乖離がある場合、設計者の機能分類に基づき一貫性を担保したUIはユーザにとって一貫性のないUIになってしまうことも考えられる。そこで第4章では設計者の機能分類とユーザの機能分類との間における一致度合いを定量的に評価する数値尺度を新たに導入し、その一致度合いの低い機能に対する操作方法是ユーザの機能分類に基づいて振り分けるように見直すことによってUIの一貫性を担保する第2の設計手法を提案する。即ち、第2の手法は第1の手法を補完するUI設計手法と見做せる。これらを通してUI設計における設計品質の向上を目指す。

4.1 はじめに

高度情報化社会となった現在、電気製品を使いこなすことは製品ユーザにとって快適かつ豊かな日常生活を送るために必要不可欠なスキルである。しかしながら昨今の電気製品は、多機能かつ高性能であるが故に設定項目が多く、操作手順も複雑なものになりがちである。したがって製品開発では、ユーザにとって「使いやすく、分かりやすい」いわゆるユーザビリティ（usability）に配慮したユーザインタフェース（UI: User Interface）を提供することが重要な課題となっている^[1]。

認知心理学の知見によると、ユーザビリティの問題は設計者とユーザとの間におけるメンタルモデル（mental model）の不一致が要因となって生ずると考えられている^[2]。メンタルモデルとは、人間の認識や意思決定に影響を及ぼす頭の中にあるイメージのことである。第4章ではメンタルモデルを「人間の頭の中で製品機能をどのようなものとして捉えて分類しているか」と定義する。つまりメンタルモデルを一致させるとは、ユーザの製品機能の理解に基づいて設計者がその操作方法を提供することを意味する。その結果、ユーザビリティに優れたUIを開発することが可能になると考えられる。メンタルモデルが一致している

かどうかを評価するためには、メンタルモデルの一致度合いの定量化による安定した評価尺度が必要となる。

そこで、第4章では設計者とユーザとの間におけるメンタルモデルの定量比較に基づいてUIの妥当性を評価して設計する手法を提案する。提案手法では製品機能の分類から得られる設計者の樹形図とユーザの樹形図とを比較して、両者の差異が大きい箇所を特定して警告する。設計者は警告された機能の操作方法がユーザに対して妥当であるかについて、設計解の操作方法を分類して得られる樹形図を用いて検討する。設計者のメンタルモデルは、UIの一貫性を評価するために第3章で用いた機能同士の類似度という距離尺度から得られる樹形図で可視化する^[3]。ユーザのメンタルモデルは、製品機能を分類するカードソーティング実験を実施して得られる樹形図で可視化する。本研究では提案手法をデジタルカメラのUI設計に適用し、その妥当性と有効性の評価を行った。

4.2 関連研究

4.2.1 メンタルモデルの評価手法

UI設計におけるメンタルモデルの重要性は、古くから議論されている^{[4][5]}。ユーザのメンタルモデルは、ユーザ自身の過去の経験や学習によって形成されるため個人差が存在する。したがって、対象ユーザ群のメンタルモデルを正しく把握することがユーザビリティに優れたUIを設計するために必要となる。メンタルモデルの代表的な評価手法としてカードソーティングが挙げられる^[6]。カードソーティングは、1項目ずつ情報を書き出したカードを並べ替えて情報を分類整理する調査手法である。実験協力者は関連すると思う項目毎にカードをグループ化または階層化し、この作業を経て実験協力者の頭の中のイメージが可視化される。

従来研究におけるメンタルモデルの定量的な評価手法としては、ユーザの製品操作時におけるメンタルモデルの構築度合いを想定するアンケートが提案されている^[7]。このアンケートは、41項目の候補の中から実験によって導き出された17項目の質問を用いて5段階のリッカート尺度の合計得点でメンタルモデルの構築度合いを定量化している。この他には、ユーザが製品に対して有している操作イメージと製品に採用されている操作方法との間の一致度合いをカッパ係数で定量化する手法が提案されている^[8]。カッパ係数は同一対象における二者間評価の一致度合いを表すために用いる統計量であり、一方をユーザの操作イメ

ージとして他方を設計者が採用した操作方法とすることによって両者のメンタルモデルの一致度合いを定量化している。

第4章の提案手法では、ユーザのメンタルモデルを前述したカードソーティングを用いて製品機能を分類整理して得られる樹形図で可視化する。これは第3章において設計者のメンタルモデルを後述する距離尺度を用いて設計データから製品機能をクラスタリングして得られる樹形図で可視化したためである。提案手法は、これら設計者とユーザの樹形図が粒度の異なる情報から生成されて基本構造が異なっているのにも拘らず、樹形図同士を比較することによって両者のメンタルモデルの一致度合いを定量化することを可能にした。この点が従来研究と異なる特徴である。

4.2.2 UIの一貫性評価手法

4.2.2ではUIの一貫性を評価するために第3章で用いた製品機能同士の類似度と、操作方法同士の類似度という2つの距離尺度について述べる^[3]。

多機能な製品のUI設計でメタファ^{[9][10][11]}を作り込むためには、UIの一貫性が重要になる。この一貫性を評価するため設計者は、製品機能および操作方法の概要を定型書式にキーワードを当て嵌めて記述する。この手法で記述した製品機能は新聞記事作成の5W1Hの原則に倣った6種類の視点による特徴で構成され、操作方法は操作・表示・状態遷移を分解した16種類の視点による特徴で構成される。定型書式に当て嵌めたキーワードは、文書比較における形態素解析で得られる単語と見做せる。したがって製品機能および操作方法は、使用したキーワードを“1”，使用していないキーワードを“0”とした多次元ベクトルで表現できる。ある製品機能 F_i とその操作方法 U_i は、製品機能の記述で使用したキーワード w_i の総数を n ，操作方法の記述で使用したキーワード c_i の総数を m とすると式(4.1)で表せる。

$$\begin{cases} F_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}) \\ U_i = (c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{im}) \end{cases} \quad (4.1)$$

ここで2つの (F_i, U_i) , (F_j, U_j) について製品機能同士の類似度を $S_{\text{function}}(F_i, F_j)$ ，操作方法同士の類似度を $S_{\text{interaction}}(U_i, U_j)$ とする。これらの類似度は、式(4.1)にベクトル内積計算から導出されるコサイン類似度を適用して式(4.2)および式(4.3)で定義する。

$$S_{\text{function}}(\mathbf{F}_i, \mathbf{F}_j) = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n w_{ik} w_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n w_{ik}^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n w_{jk}^2}} \quad (4.2)$$

$$S_{\text{interaction}}(\mathbf{U}_i, \mathbf{U}_j) = 1 - \frac{\sum_{k=1}^m c_{ik} c_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m c_{ik}^2} \sqrt{\sum_{k=1}^m c_{jk}^2}} \quad (4.3)$$

式 (4.2) は、1 から 2 つのベクトル \mathbf{F}_i と \mathbf{F}_j とがなす角の余弦の値を減じている。また $w_i \geq 0$, $w_j \geq 0$ より余弦の値が負にはならないことから $0 \leq S_{\text{function}}(\mathbf{F}_i, \mathbf{F}_j) \leq 1$ の値域をとる。したがって式 (4.2) は、 \mathbf{F}_i と \mathbf{F}_j とが似ているほど 0 に近づき、似ていないほど 1 に近づく距離尺度として扱える。同様にして式 (4.3) は、 \mathbf{U}_i と \mathbf{U}_j とが似ているほど 0 に近づき、似ていないほど 1 に近づく距離尺度として扱える。

上記の距離尺度を製品機能同士、操作方法同士、すべての組合せ $N(N-1)/2$ 通り (N : 搭載機能総数) に対して算出し、クラスタリングして得られる樹形図から類似した製品機能群と、類似した操作方法群が明らかになる。この結果より「似ている製品機能同士の操作方法同士もまた似ているか否か」という判定基準に従い製品全体の UI の一貫性を定量的に評価することができる。

4.3 UI 設計手法の提案

4.3.1 UI 設計フロー

第 4 章で提案する UI 設計手法のフローを図 4-1 に示す。設計者は要求事項に基づいて「製品が実現する機能 (function)」と、その機能に対応させる「UI を介した製品とユーザとの間の対話的な操作方法 (interaction)」の概要を特徴毎にキーワードを当て嵌める定型書式を用いて記述する。これを製品に搭載するすべての機能に対して繰り返すことによって、製品全体の外面的な振舞いの骨格を設計する (図 4-1 ステップ①)。記述された製品機能および操作方法の概要に対して、4.2.2 で述べた製品機能同士の類似度と、操作方法同士の類似度という距離尺度を用いてクラスタリングすると樹形図が得られる (図 4-1 ステップ②)。これらの樹形図は、設計者が作成した設計情報の分類結果であり、設計者のメンタルモデルを可視化したものとして扱う。

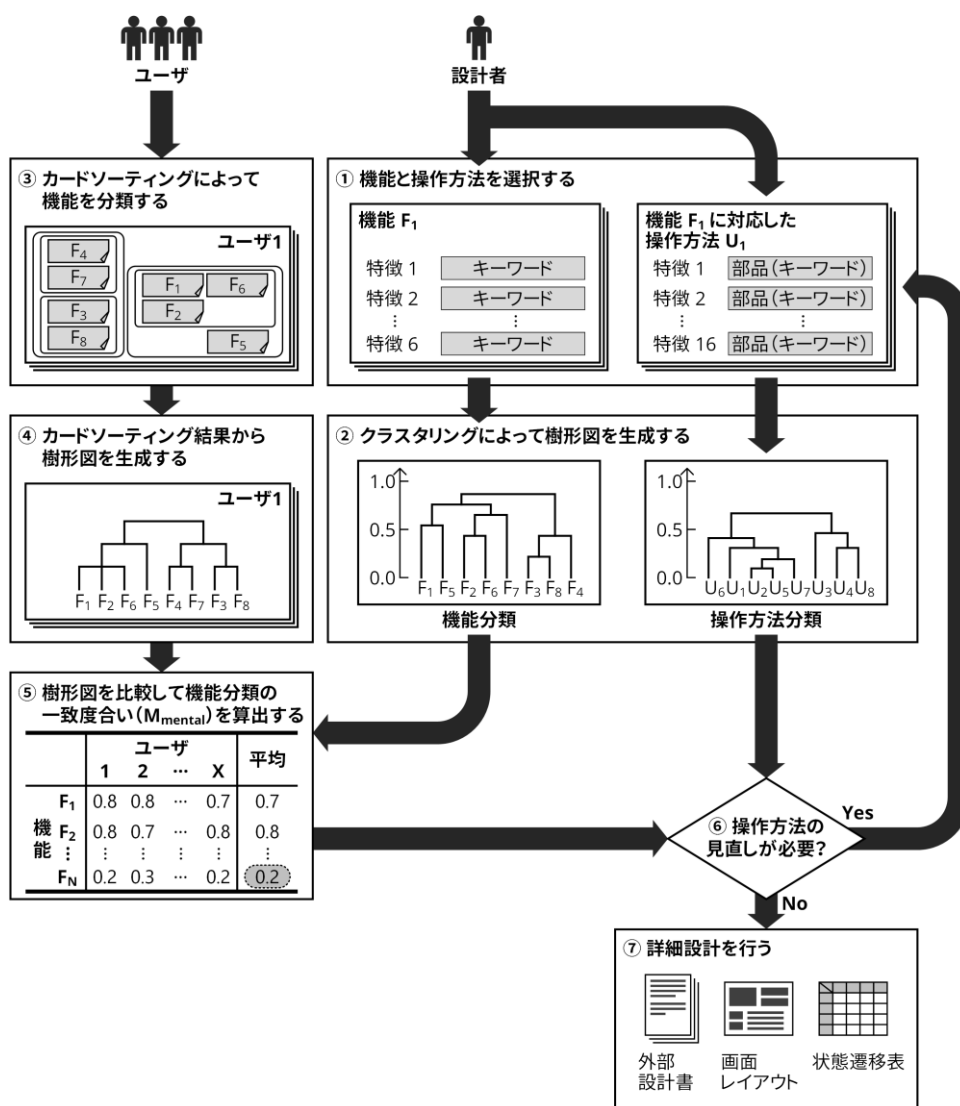


図 4-1 機能分類の一致度合い評価に基づく UI 設計フロー

製品評価に協力するユーザは、カードソーティングを用いて図 4-1 のステップ①で選択された製品機能を分類する。ここではユーザ間の個人差を平均化するため、複数のユーザに対して評価実験を行う（図 4-1 ステップ③）。この結果に基づいてユーザ毎の樹形図が得られる（図 4-1 ステップ④）。これらの樹形図は、ユーザのメンタルモデルを可視化したものとして扱う。

図 4-1 のステップ②およびステップ④で得られた設計者とユーザの樹形図を比較して両者のメンタルモデルの一致度合いを数値化する（図 4-1 ステップ⑤）。これにより両者の間で製品機能の捉え方の乖離が大きい機能と小さい機能が明確になる。ところで製品機能毎の操作方法は、図 4-1 のステップ①において設計者の製品機能の分類に基づいて最適化さ

れている。したがって両者の間で製品機能の捉え方の乖離が大きい機能は、設計者の提供する操作方法がユーザに受け入れられない可能性がある。そこで図 4-1 のステップ⑤の結果より、両者のメンタルモデルの一致度合いが低い機能の操作方法是、その妥当性を再検討して必要に応じて修正する（図 4-1 ステップ⑥：Yes）。

操作方法の再検討がすべて完了すると、製品の操作概略であるフレームワークが完成する（図 4-1 ステップ⑥：No）。設計者は設定値の内容、表示文字列や表示アイコンといったリソースデータの定義、詳細な画面レイアウト、モレスケのない状態遷移指定など、必要な情報を補って製品の外面的な振舞いの詳細を設計し、次工程に引き渡す外部設計書を完成させる（図 4-1 ステップ⑦）。

4.3.2 メンタルモデルの定量的評価

4.3.2 では提案手法の主要部分である図 4-1 のステップ⑤における設計者とユーザのメンタルモデルを定量的に評価する手順について詳説する。

4.3.2.1 比較する樹形図の特徴

提案手法において比較対象となる設計者とユーザの樹形図は、製品機能を分類したもので無順序木であるという共通点がある。その一方で木構造の形成過程が異なるため、以下の異なる特徴を有す。

設計者の樹形図は、4.2.2 で述べた距離尺度に基づいてクラスタリングから得られる。つまり最短距離にある機能同士が一對ずつ併合を繰り返しながら木を形成するため、二分木の基本構造となる。多分木となる部分は、3 つ以上の機能同士が等距離となる場合に限られる。結果的にすべての機能が併合されるまでの回数が多くなり、木の深さが深くなりやすい。

ユーザの樹形図は、4.2.1 で述べたカードソーティングから得られる。つまり厳密な距離尺度は持っておらず、自分自身の感覚で似ていると思う機能は一度に何個でも併合できるため、多分木の基本構造となる。結果的にすべての機能が併合されるまでの回数が少なくなり、木の深さが浅くなりやすい。

4.3.2.2 樹形図の比較方法

提案手法では、設計者とユーザ各々による製品機能の分類結果が樹形図として可視化されている。そこで樹形図を比較することによって、両者のメンタルモデルの一致度合いを測

定する。一般的に樹形図の比較には、木の編集距離（TED: Tree Edit Distance）が用いられる^{[12][13]}。これはノードの追加・削除・置換からなる編集操作を1単位として比較する木同士が一致するまでの編集回数を距離と見立てたものである。しかしながら今回比較する設計者とユーザの樹形図は、前述したように基本構造が異なっているため TED を適用すると編集回数は多くなる。また TED は動的計画法を用いたアルゴリズムで実装されるが比較する木同士が無順序木である場合、NP 困難となってしまう。このため提案手法では樹形図をいくつかの部分木に分割し、機能群の単位で比較する。樹形図比較では以下の2点に着目した。

部分木に含まれる機能 ある部分木に含まれる機能が設計者とユーザの樹形図で一致するならば、この部分木の機能分類は両者で一致していると思わせる。ただし、他の部分木に含まれる機能とは別の区分であると判断できる一方、機能群の相互関係についての理解が一致しているかどうかまでは判断できない。

部分木の包含関係 樹形図を構成する部分木の包含関係が設計者とユーザの樹形図で一致するならば、部分木で分割された機能群の相互関係についての理解が両者の間で一致していると思わせる。したがって両者の樹形図比較において、部分木に含まれる機能が一致し、かつ部分木の包含関係が一致していれば、両者のメンタルモデルは一致していると判断できる。

以上より設計者とユーザとの間のメンタルモデルの一致度合い M_{mental} は、比較した樹形図の部分木に含まれる機能の一致度合い M_{function} と、部分木の包含関係の一致度合い M_{merge} との積で表せる。以下に具体例を用いて説明する。

設計者の樹形図は、図 4-2 に示すように機能が孤立しない部分木に分割すると、 $G_1 = \{F_1, F_5\}$ 、 $G_2 = \{F_2, F_6, F_7\}$ 、 $G_3 = \{F_3, F_4, F_8\}$ の3つの機能群に分けられる。また $G_1 \sim G_3$ の包含関係は、この樹形図から定義される。ここで機能が孤立しない部分木に分割する理由は、後述する部分木に含まれる機能の一致度合いの計算で必要になるとともに、孤立している機能は他のどの機能からも相対的に距離が離れている中で、どの機能群に含まれるかという情報が機能の分類結果を評価するときには重要になるからである。

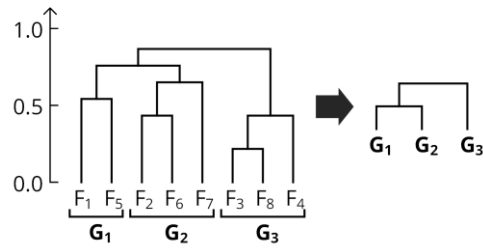


図 4-2 設計者の樹形図

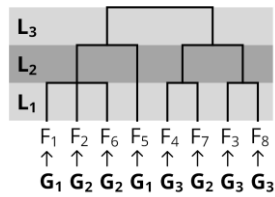


図 4-3 ユーザの樹形図

表 4-1 設計者とユーザの樹形図同士の比較

機能	F ₁	F ₂	F ₆	F ₅	F ₄	F ₇	F ₃	F ₈
設計者による分類	G ₁	G ₂	G ₂	G ₁	G ₃	G ₂	G ₃	G ₃
ユーザによる分類	L ₃ (1+2+3+4)							
	L ₂ (1+2)				L ₂ (3+4)			
	L ₁ (1)	L ₁ (2)	L ₁ (3)	L ₁ (4)				

ユーザの樹形図は図 4-3 に示すように包含関係に基づいて $L_1 \sim L_3$ の三階層に分けられる。ここで設計者とユーザの樹形図を比較するため、ユーザの樹形図上で機能 F_i が設計者の分類に基づいた機能群 $G_1 \sim G_3$ のいずれに対応するのかに注目する。この結果を表 4-1 に示す。

設計者とユーザとの間のメンタルモデルの一致度合い M_{mental} を導出する手順を図 4-4 に示す。両者の分類粒度を揃えるため、比較を開始するユーザの樹形図の階層は、1つ上の階層における部分木 T_l の数が機能群 G_k の総数以下となる階層とする。この例では L_1 となる。

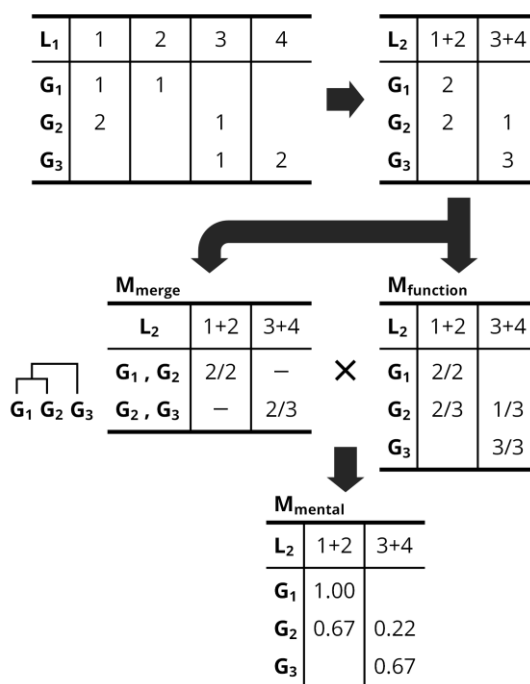


図 4-4 メンタルモデルの一致度合いの導出手順

手順 1: L_1 に存在する 4 つの部分木 $T_1 \sim T_4$ それぞれに含まれる機能 F_i を機能群 $G_1 \sim G_3$ 毎にカウントする。

手順 2: L_1 の 1 つ上の階層 L_2 についても同様にする。ただし比較を開始する階層の 1 つ上の階層がユーザの樹形図全体となる場合は、部分木単位の比較ができないため、手順 2 を省略して手順 1 の結果に対して手順 3～手順 5 を適用する。

手順 3: 部分木に含まれる機能の一致度合い $M_{function}$ を計算する。機能群 G_k に属する機能 F_i で部分木 T_l に含まれる個数を $n_{function(T_l, G_k)}$ 、機能群 G_k に属する機能 F_i の総数を $N_{function(G_k)}$ とすると、 $M_{function(T_l, G_k)}$ は式 (4.4) で定義される。

$$M_{function(T_l, G_k)} = \frac{n_{function(T_l, G_k)}}{N_{function(G_k)}} \tag{4.4}$$

例えば、階層 L_2 の部分木 T_{3+4} に含まれる機能群 G_2 に属する機能は F_7 より $n_{function(T_{3+4}, G_2)} = 1$ 、機能群 G_2 に属する機能は $\{F_2, F_6, F_7\}$ より $N_{function(G_2)} = 3$ 、したがって $M_{function(T_{3+4}, G_2)} = 1/3 \cong 0.33$ となる。式 (4.4) は、設計者とユーザ両者の部分木に含まれる機能が一致しているほど 1 に近づき、一致していないほど 0 に近づく。したがって $0 < M_{function(T_l, G_k)} \leq 1$ の値域をとる。

手順 4: 部分木の包含関係の一致度合い M_{merge} を計算する。部分木 T_l に含まれる機能

群 G_k の個数を $n_{\text{merge}(T_l)}$ とする。この $n_{\text{merge}(T_l)}$ 個の機能群 G_k を併合する場合、 G_k の包含関係を満足するために併合される必要のある G_k の総数を $N_{\text{merge}(T_l)}$ とすると、 $M_{\text{merge}(T_l)}$ は式(4.5)で定義される。

$$M_{\text{merge}(T_l)} = \frac{n_{\text{merge}(T_l)}}{N_{\text{merge}(T_l)}} \quad (4.5)$$

例えば、階層 L_2 の部分木 T_{3+4} に含まれる機能群は $\{G_2, G_3\}$ より $n_{\text{merge}(T_{3+4})} = 2$ 、機能群の包含関係に基づくと G_2 と G_3 が併合されているならば G_1 も併合されている必要があることより $N_{\text{merge}(T_{3+4})} = 3$ 、したがって $M_{\text{merge}(T_{3+4})} = 2/3 \cong 0.67$ となる。式(4.5)は、設計者とユーザ両者の部分木の包含関係が一致しているほど1に近づき、一致していないほど0に近づく。したがって $0 < M_{\text{merge}(T_l)} \leq 1$ の値域をとる。

手順5: 設計者とユーザとの間のメンタルモデルの一致度合い M_{mental} を計算する。部分木 T_l 、機能群 G_k とすると、 $M_{\text{mental}(T_l, G_k)}$ は前述したように M_{function} と M_{merge} との積で表せるため式(4.6)で定義される。

$$M_{\text{mental}(T_l, G_k)} = M_{\text{function}(T_l, G_k)} M_{\text{merge}(T_l)} \quad (4.6)$$

例えば、階層 L_2 の部分木 T_{3+4} に含まれる機能群 G_2 では、 $M_{\text{mental}(T_{3+4}, G_2)} = M_{\text{function}(T_{3+4}, G_2)} M_{\text{merge}(T_{3+4})} = 2/9 \cong 0.22$ となる。式(4.6)は、設計者とユーザ両者の部分木に含まれる機能が一致し、かつ部分木の包含関係が一致しているほど1に近づき、一致していないほど0に近づく。したがって $0 < M_{\text{mental}(T_l, G_k)} \leq 1$ の値域をとる。

以上の手順1～手順5により、設計者とユーザとの間のメンタルモデルの一致度合いは数値化することができる。

4.3.2.3 メンタルモデルの評価基準

図4-4の手順で算出した設計者とユーザとの間のメンタルモデルの一致度合い M_{mental} を機能 F_i 単位にまとめた結果を表4-2に示す。 M_{mental} はA～Dの4段階にランク分けして評価する。Aランク($0.8 \leq M_{\text{mental}} \leq 1$)は、 M_{function} と M_{merge} の両方が平均で約9割($\sqrt{0.8} \cong 0.89$)一致すると $M_{\text{mental}} \geq 0.8$ となることより「よく似ている」と判断する。Bランク($0.4 \leq M_{\text{mental}} < 0.8$)は、同様に平均で約6割($\sqrt{0.4} \cong 0.63$)一致すると $M_{\text{mental}} \geq 0.4$ となることより「似ている」と判断する。Cランク($0.2 \leq M_{\text{mental}} < 0.4$)は、同様に平均で約4割($\sqrt{0.2} \cong 0.45$)一致すると $M_{\text{mental}} \geq 0.2$ となることより「あまり似ていない」と判断する。Dランク

($0 < M_{\text{mental}} < 0.2$) は、同様に平均で約4割未満となることより「似ていない」と判断する。設計者は、C および D ランクの評価となった機能 F_i の操作方法 U_i の妥当性を検討し、必要に応じて操作方法の見直しを行う。このことによってユーザの機能の捉え方に適合させた UI を設計することができる。

表 4-2 より図 4-4 の例では、 $M_{\text{mental}} = 0.22$ で C ランク評価となった機能 F_7 の捉え方の乖離が設計者とユーザとの間で大きいことがわかる。このことは図 4-2 と図 4-3 を見比べてもイメージできるが、提案手法を用いると $M_{\text{mental}} = 0.22$ という明確な数値で判断できる。このことが本方式の利点である。

表 4-2 メンタルモデルの一致度合い

機能	M_{mental}	ランク
F_1	1.00	A
F_2	0.67	B
F_3	0.67	B
F_4	0.67	B
F_5	1.00	A
F_6	0.67	B
F_7	0.22	C
F_8	0.67	B

4.3.3 操作方法の見直し

4.3.3 では図 4-1 のステップ⑥における提案手法であるメンタルモデルの定量的評価で C および D ランクとなった機能 F_i の操作方法 U_i を設計者が見直す手順について詳説する。

4.3.3.1 操作方法の初期状態

操作方法の初期状態は UI の一貫性を満足するため、類似した機能同士の操作方法同士は類似するように最適化されている。4.3.2 の例における見直し前の操作方法 $U_1 \sim U_7$ は設計者の機能分類に基づいて、機能群 G_1 に属する機能 $\{F_1, F_5\}$ の操作方法 $\{U_1, U_5\}$ は類似した操作方法であり、機能群 G_2 に属する機能 $\{F_2, F_6, F_7\}$ の操作方法 $\{U_2, U_6, U_7\}$ は類似した操作方法であり、機能群 G_3 に属する機能 $\{F_3, F_4, F_8\}$ の操作方法 $\{U_3, U_4, U_8\}$ は類似した操作方法である。操作方法の類似性評価には 4.2.2 で述べた距離尺度を用いる。

4.3.3.2 操作方法の見直し手順

4.3.2 の例で設計者は図 4-2 のように機能 F_7 を機能群 G_2 に含めているが、ユーザは図 4-3 の階層 L_2 のように機能 F_7 を機能群 G_3 に属する機能 $\{F_3, F_4, F_8\}$ と類似したものとして分類している。以上を踏まえて設計者は、設計者の機能分類に基づいて最適化されている操作方法をユーザの機能分類に基づいて最適化されるように操作方法を見直す。具体的には、機能 F_7 の操作方法 U_7 を機能群 G_3 に含まれる機能 $\{F_3, F_4, F_8\}$ の操作方法 $\{U_3, U_4, U_8\}$ に類似させるように見直す。この点を見直した場合、ユーザの製品機能の捉え方に適合した一貫性のある操作方法に修正されたと考えられる。

4.4 提案手法の評価実験

4.3 で述べた提案手法の妥当性と有効性を評価するため、仮想のデジタルカメラに提案手法を適用した。このデジタルカメラの UI は、著者ではない第三者が設計した製品をモデルとしている。評価実験では、ユーザと設計者の樹形図を比較して両者のメンタルモデルの一致度合いを評価するシステムを試作し、システムが警告した機能に適用している操作方法を著者が 4.3.3 の操作方法の見直し手順に従って機械的に修正した。

この提案手法による警告の妥当性と、所定の手順で修正した操作方法の有効性を検証するため、修正前の操作方法を複数の設計者によるデザインレビュー^[14]で官能評価した結果と比較した。デザインレビューでは設計解の意図や動作について担当者が説明し、設計解が製品コンセプトや想定される利用状況に適合しているかどうかを参加者が操作性の観点から評価した。これによって問題点の洗い出しと設計解の修正方針を定めた。

4.4.1 カードソーティング実験

ユーザの樹形図を得るためのカードソーティングは、20 代の大学生 20 名の協力を得て実施した。実験協力者の人選では、日常的にデジタルデバイスの取り扱いに慣れている世代である点と、自社製品に慣れている社員とは異なり特定のメーカーに偏っていない一般ユーザに近い存在である点とを考慮して大学生に依頼した。カードソーティングの参加人数は、先行研究^{[15] [16]}の知見に基づいて「15 名以上 30 名以下」を募集枠とした。先行研究によると 168 名のカードソーティングにおいて参加者全員による分類結果と、無作為抽出した参加者数による分類結果との相関係数は、15 名のとき 0.90、20 名のとき 0.93、30 名のとき

0.95 であることより、「15 名以上 30 名以下」の条件は現実的な参加者数であると考えられる。以上のことを踏まえて説明会を開催し、実験の目的や内容について周知を図った上で協力依頼に応じてもらえた 20 名を実験協力者とした。

実験に用いた仮想のデジタルカメラは、40 種類の機能を搭載している設定とした。これらの機能は、実在する製品を参考にデジタルカメラとして代表的なものが選定されている。カードソーティングには、この 40 種類の機能名称をそれぞれ記した付箋用紙と、機能名称とその簡単な説明を記した機能一覧表を用いた。機能一覧表の並び順は、無作為な順序とした。実験協力者は、似ていると感じた機能同士で機能群を形成し、機能群同士も同様の手順で併合して最終的にすべての機能が併合されるまで繰り返した。ある実験協力者 X の分類した例を図 4-5 に示す。実験協力者 X の分類傾向は、後述する全 20 名の分類傾向の中でも平均的な結果だったものである。

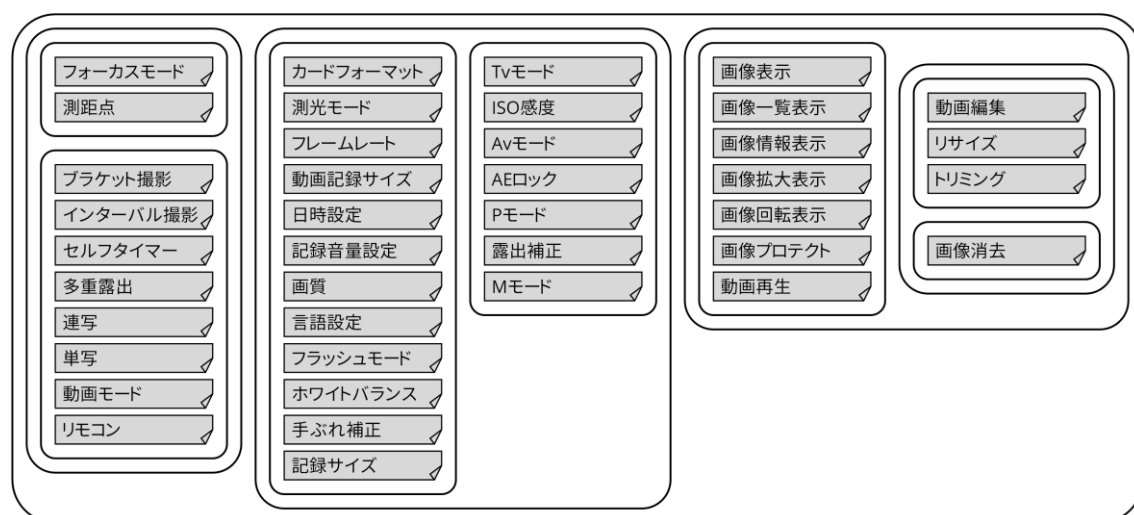
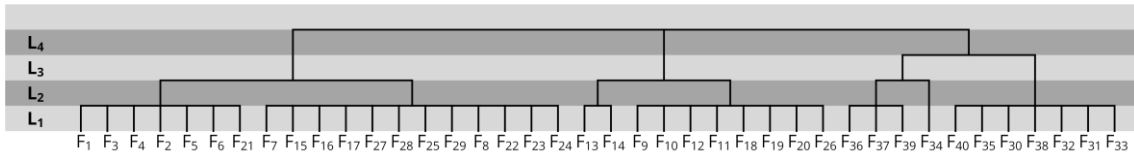
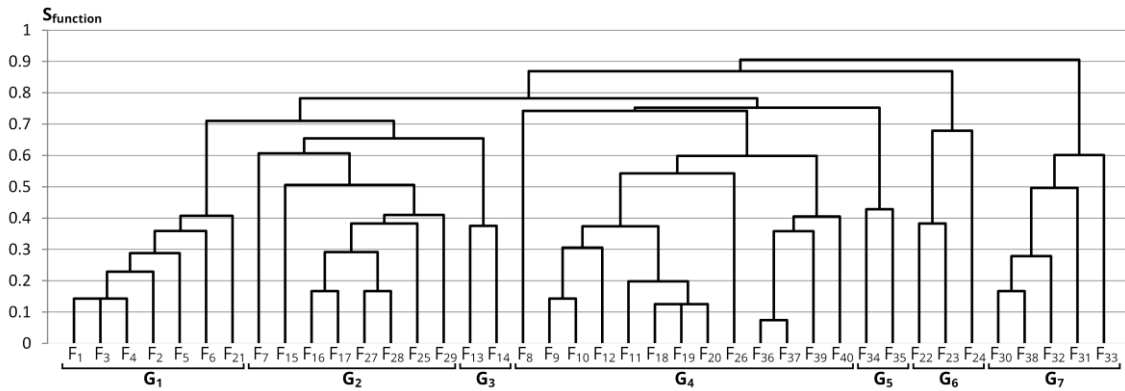


図 4-5 実験協力者 X によるカードソーティング結果

4.4.2 樹形図の比較実験



(a) ユーザ（実験協力者 X）の樹形図



(b) 設計者の樹形図

図 4-6 デジタルカメラの機能分類から得られた樹形図

実験に用いた仮想のデジタルカメラにおける 40 種類の製品機能を分類することによって生成された樹形図を図 4-6 に示す。ユーザの樹形図（図 4-6(a)）は、20 代の大学生 20 名がそれぞれ 40 種類の製品機能をカードソーティングで分類した結果から得られるため、20 名分が存在する。図 4-6 (a)は、図 4-5 で示した実験協力者 X がカードソーティングした結果から得られる樹形図である。設計者の樹形図（図 4-6(b)）は、40 種類の製品機能の概要と、その操作方法の概要をそれぞれ定型書式で記述し、4.2.2 で述べた距離尺度に基づいてクラスタリングすることによって得られる図のうち、製品機能を分類したものである。操作方法を分類したもの（4.5 の図 4-9）は、操作方法の妥当性を検討する際に用いた。設計者の樹形図を機能が孤立しない部分木に分割すると、 $G_1=\{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_{21}\}$ 、 $G_2=\{F_7, F_{15}, F_{16}, F_{17}, F_{25}, F_{27}, F_{28}, F_{29}\}$ 、 $G_3=\{F_{13}, F_{14}\}$ 、 $G_4=\{F_8, F_9, F_{10}, F_{11}, F_{12}, F_{18}, F_{19}, F_{20}, F_{26}, F_{36}, F_{37}, F_{39}, F_{40}\}$ 、 $G_5=\{F_{34}, F_{35}\}$ 、 $G_6=\{F_{22}, F_{23}, F_{24}\}$ 、 $G_7=\{F_{30}, F_{31}, F_{32}, F_{33}, F_{38}\}$ の 7 つの機能群に分けられる。また $G_1 \sim G_7$ の包含関係は、この樹形図から定義される。

これらユーザ 20 名分の樹形図と設計者の樹形図とをそれぞれ比較する。提案手法を適用して設計者とユーザとの間のメンタルモデルの一致度合い M_{mental} をそれぞれ計算した結果を表 4-3 にまとめ、機能毎における M_{mental} の分布を図 4-7 に示す。

表 4-3 設計者とユーザとの間のメンタルモデルの一致度合いの計算結果

機能 No. 名称	ランク(ユーザ20名)				M _{mental}					ランクに基づく得点			判定
	A	B	C	D	最大	最小	中央(ランク)	平均(ランク)	標準偏差	中央	平均	合計	
F ₁ 露出補正	11	6	3	0	0.86	0.23	0.80 _(A)	0.64 _(B)	0.22	2	1	3	Excellent
F ₂ Pモード	11	5	4	0	0.86	0.23	0.80 _(A)	0.64 _(B)	0.22	2	1	3	Excellent
F ₃ Tvモード	11	5	3	1	0.86	0.09	0.80 _(A)	0.62 _(B)	0.23	2	1	3	Excellent
F ₄ Avモード	11	6	3	0	0.86	0.23	0.80 _(A)	0.65 _(B)	0.20	2	1	3	Excellent
F ₅ Mモード	11	5	4	0	0.86	0.23	0.80 _(A)	0.64 _(B)	0.22	2	1	3	Excellent
F ₆ ISO感度	11	6	2	1	0.86	0.17	0.80 _(A)	0.64 _(B)	0.22	2	1	3	Excellent
F ₇ ホワイトバランス	5	5	9	1	1.00	0.17	0.41 _(B)	0.47 _(B)	0.26	1	1	2	Good
F ₈ フラッシュモード	0	7	5	8	0.77	0.05	0.32 _(C)	0.32 _(C)	0.22	0	0	0	Average
F ₉ セルフタイマー	0	11	8	1	0.77	0.11	0.49 _(B)	0.44 _(B)	0.17	1	1	2	Good
F ₁₀ リモコン	0	9	9	2	0.62	0.08	0.38 _(C)	0.39 _(C)	0.18	0	0	0	Average
F ₁₁ 連写	0	11	6	3	0.77	0.09	0.49 _(B)	0.42 _(B)	0.20	1	1	2	Good
F ₁₂ 単写	0	11	6	3	0.77	0.09	0.49 _(B)	0.42 _(B)	0.20	1	1	2	Good
F ₁₃ フォーカスモード	14	4	2	0	1.00	0.40	0.80 _(A)	0.72 _(B)	0.22	2	1	3	Excellent
F ₁₄ 測距点	14	5	1	0	1.00	0.50	0.80 _(A)	0.73 _(B)	0.21	2	1	3	Excellent
F ₁₅ 測光モード	5	4	10	1	1.00	0.17	0.33 _(C)	0.46 _(B)	0.27	0	1	1	Good
F ₁₆ 記録サイズ	5	7	4	4	1.00	0.08	0.48 _(B)	0.48 _(B)	0.27	1	1	2	Good
F ₁₇ 画質	5	7	5	3	1.00	0.05	0.48 _(B)	0.49 _(B)	0.27	1	1	2	Good
F ₁₈ インターバル撮影	0	11	8	1	0.77	0.11	0.49 _(B)	0.44 _(B)	0.17	1	1	2	Good
F ₁₉ 多重露出	0	11	5	4	0.77	0.06	0.49 _(B)	0.40 _(B)	0.21	1	1	2	Good
F ₂₀ ブラケット撮影	0	11	6	3	0.77	0.03	0.49 _(B)	0.42 _(B)	0.20	1	1	2	Good
F ₂₁ AEロック	10	6	1	3	0.83	0.10	0.75 _(B)	0.59 _(B)	0.25	1	1	2	Good
F ₂₂ 日時設定	4	10	6	0	1.00	0.22	0.62 _(B)	0.59 _(B)	0.25	1	1	2	Good
F ₂₃ 言語設定	4	9	6	1	1.00	0.19	0.62 _(B)	0.58 _(B)	0.26	1	1	2	Good
F ₂₄ カードフォーマット	4	3	9	4	0.67	0.19	0.33 _(C)	0.46 _(B)	0.29	0	1	1	Good
F ₂₅ 手ぶれ補正	5	4	8	3	1.00	0.08	0.33 _(C)	0.45 _(B)	0.28	0	1	1	Good
F ₂₆ 動画モード	0	5	7	8	0.62	0.03	0.23 _(C)	0.27 _(C)	0.20	0	0	0	Average
F ₂₇ フレームレート	5	6	5	4	1.00	0.15	0.45 _(B)	0.47 _(B)	0.27	1	1	2	Good
F ₂₈ 動画記録サイズ	4	5	5	6	1.00	0.07	0.32 _(C)	0.42 _(B)	0.28	0	1	1	Good
F ₂₉ 記録音量設定	5	5	5	5	1.00	0.09	0.41 _(B)	0.45 _(B)	0.28	1	1	2	Good
F ₃₀ 画像表示	0	15	5	0	0.57	0.34	0.43 _(B)	0.45 _(B)	0.12	1	1	2	Good
F ₃₁ 画像拡大表示	0	15	5	0	0.57	0.29	0.43 _(B)	0.46 _(B)	0.11	1	1	2	Good
F ₃₂ 画像情報表示	0	15	5	0	0.57	0.29	0.43 _(B)	0.46 _(B)	0.11	1	1	2	Good
F ₃₃ 画像一覧表示	0	15	5	0	0.57	0.34	0.43 _(B)	0.45 _(B)	0.12	1	1	2	Good
F ₃₄ 画像消去	1	18	1	0	0.71	0.36	0.43 _(B)	0.51 _(B)	0.15	1	1	2	Good
F ₃₅ 画像プロテクト	1	18	1	0	0.71	0.29	0.43 _(B)	0.51 _(B)	0.15	1	1	2	Good
F ₃₆ トリミング	0	2	4	14	0.23	0.10	0.13 _(D)	0.20 _(C)	0.17	-1	0	-1	Bad
F ₃₇ リサイズ	0	2	4	14	0.23	0.10	0.13 _(D)	0.20 _(C)	0.17	-1	0	-1	Bad
F ₃₈ 動画再生	0	13	0	7	0.71	0.06	0.43 _(B)	0.36 _(C)	0.22	1	0	1	Good
F ₃₉ 動画編集	0	2	5	13	0.23	0.02	0.13 _(D)	0.20 _(C)	0.18	-1	0	-1	Bad
F ₄₀ 画像回転表示	0	1	3	16	0.22	0.03	0.13 _(D)	0.16 _(D)	0.11	-1	-1	-2	Bad

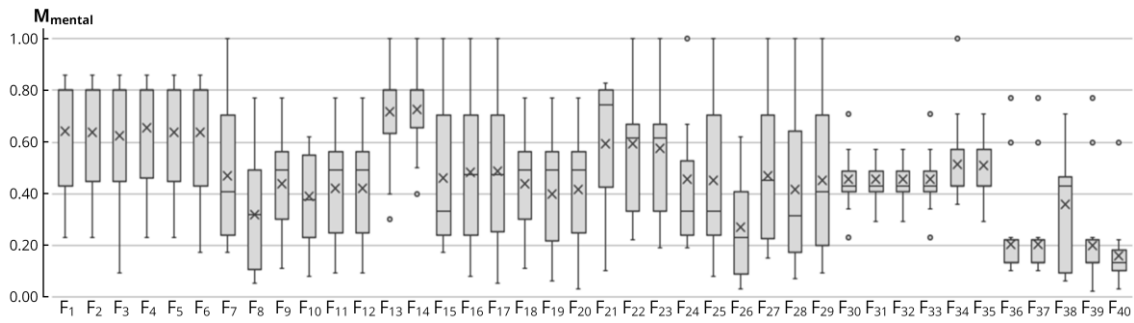


図 4-7 設計者とユーザとの間のメンタルモデルの一致度合いの分布

製品機能の捉え方にはユーザによって個人差があるため、 M_{mental} の代表値を定めて評価する必要がある。ここでは中央値および平均値のそれぞれが A~D の 4 段階でどのランクに属しているかに基づいて、A ランク 2 点、B ランク 1 点、C ランク 0 点、D ランク -1 点の得点をそれぞれ与えた。そして中央値と平均値の合計得点から 3 点以上であれば「Excellent: よく似ている」、1 点以上であれば「Good: 似ている」、0 点であれば「Average: あまり似ていない」、-1 点以下であれば「Bad: 似ていない」と判定した。実験結果は「 F_{36} : トリミング」、 「 F_{37} : リサイズ」、 「 F_{39} : 動画編集」、 「 F_{40} : 画像回転」の 4 つの機能が Bad 判定となり、 「 F_8 : フラッシュモード」、 「 F_{10} : リモコン撮影」、 「 F_{26} : 動画撮影」の 3 つの機能が Average 判定となったため、操作方法の見直しの対象として警告された。その一方で「 F_1 : 露出補正」、 「 F_2 : プログラム自動露出 (P モード)」、 「 F_3 : シャッター速度優先自動露出 (Tv モード)」、 「 F_4 : 絞り優先自動露出 (Av モード)」、 「 F_5 : マニュアル露出 (M モード)」、 「 F_6 : ISO 感度」、 「 F_{13} : フォーカスモード」、 「 F_{14} : 測距点」の 8 つの機能が Excellent 判定となり、残りの 25 の機能が Good 判定となったため、操作方法の見直しの対象として警告されなかった。

評価システムによって Bad 判定および Average 判定となった機能は、著者がその操作方法の見直しを行った。Bad 判定となった 4 つの機能の操作方法是妥当性を検討した結果、機能群 G_7 で採用している操作パターンに修正した。Average 判定となった 3 つの機能の操作方法是妥当性を検討した結果、このまま据え置くことにした。

4.5 考察

4.5.1 提案手法の妥当性

提案手法における設計者とユーザとの間のメンタルモデルの一致度合い評価の妥当性を4.4の適用実験の結果から議論する。

4.5.1.1 Bad 判定の妥当性

実験結果ではBadまたはAverage判定となった機能は、いずれも設計者の樹形図(図4-6(b))における機能群 G_4 に属している。 G_4 は機能が孤立しないように分割した部分木であり、その構造は $\{F_8\}$, $\{F_9, F_{10}, F_{11}, F_{12}, F_{18}, F_{19}, F_{20}\}$, $\{F_{26}\}$, $\{F_{36}, F_{37}, F_{39}, F_{40}\}$ の4つに区分できる。これら G_4 に属する機能の特徴は、機能実行によって静止画または動画のファイルが記録されるという点で一致している。

Bad判定となった4つの機能 $\{F_{36}, F_{37}, F_{39}, F_{40}\}$ は、記録済みのファイルを編集して記録し直す機能である。一方、機能群 G_4 に属する他の機能は、撮影によってファイルを記録する機能である。この違いは設計者の樹形図における G_4 の区分にも現れているが、ユーザはこの違いを分類上の大きな特徴として捉えて記録済みのファイルの消去に関する機能群 G_5 とともにファイル再生に関する機能群 G_7 に近い機能として区分した。このことはユーザの樹形図(図4-6(a))から見て取れる。したがって、提案手法は設計者とユーザとの間で機能の捉え方の乖離が大きい機能を適切に判定したと考えられる。この結果は、複数の設計者によるデザインレビューで操作方法を見直すべき機能として指摘された箇所と一致した。

4.5.1.2 Average 判定の妥当性

Average判定となった3つの機能のうち F_8 は静止画撮影時にフラッシュを発光させる機能であり、 F_{26} は動画を撮影する機能である。一方、機能群 G_4 からこれら2つの機能とBad判定となった4つの機能を除いた機能群 $\{F_9, F_{10}, F_{11}, F_{12}, F_{18}, F_{19}, F_{20}\}$ は静止画の撮影方法に関する機能群である。この違いは設計者の樹形図における G_4 の区分にも現れている。ユーザによる分類では、 F_8 を露出制御に関する機能群 G_1 や被写体の明るさを測る「 F_{15} :測光モード」に関連付けて区分している例が見られた。これはフラッシュ発光の結果が写真の露出に影響を及ぼす点に着目して分類したものと考えられる。同じくユーザによる分類では、

F_{26} を機能群 G_1 に関連付けて区分している例が見られた。これは既存のデジタルカメラのUIによる影響が考えられる。カメラ本体の上面に設置された回転式ダイヤル上で G_1 に属している機能のうち「 F_2 :プログラム自動露出 (Pモード)」, 「 F_3 :シャッター速度優先自動露出 (Tvモード)」, 「 F_4 :絞り優先自動露出 (Avモード)」, 「 F_5 :マニュアル露出 (Mモード)」を配置して露出モードを選択する「モードダイヤル」などの名称で知られているものである。このモードダイヤル上に F_{26} の動画撮影機能も配置して選択させる製品が多数存在しているため、その利用体験によってユーザのメンタルモデルが形成されたものと考えられる。

Average 判定となった残りの1つ F_{10} は静止画または動画の撮影開始をリモコンから指示する機能である。したがって前述した機能群 $\{F_9, F_{10}, F_{11}, F_{12}, F_{18}, F_{19}, F_{20}\}$ に属する機能の中で動画撮影にも適用できる唯一の機能である。またカメラ本体ではない外部装置であるリモコンを必要とする機能である。この違いは設計者の樹形図における G_4 の区分には現れていない。ユーザによる分類では、 F_{10} を外部装置との連携機能として区分している例が見られた。

以上のことから提案手法は、設計者とユーザとの間で機能の捉え方の乖離が相対的に大きい機能を適切に判定したと考えられる。

4.5.1.3 Excellent 判定の妥当性

Excellent 判定となった機能のうち $\{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6\}$ の6つは露出を設定する機能であり設計者の樹形図における機能群 G_1 に属している。残りの2つ $\{F_{13}, F_{14}\}$ は焦点調整に関する機能であり設計者の樹形図における機能群 G_3 に属している。いずれも写真の基本に係る機能が適切に区分されており、これらはユーザの樹形図からも見て取れる。したがって、提案手法は設計者とユーザとの間で機能の捉え方の乖離が小さい機能を適切に判定したと考えられる。

4.5.2 提案手法の有効性

4.5.1 で述べた提案手法による評価に基づいて設計者が操作方法を見直した場合の有効性について4.4の適用実験の結果から議論する。

4.5.2.1 Bad 判定の操作方法見直し

Bad 判定となった4つの機能 $\{F_{36}, F_{37}, F_{39}, F_{40}\}$ の操作方法 $\{U_{36}, U_{37}, U_{39}, U_{40}\}$ は、ユーザの樹形図における分類傾向に合わせて機能群 G_5 に属する機能 $\{F_{34}, F_{35}\}$ の操作方法 $\{U_{34}, U_{35}\}$ とともに機能群 G_7 に属する機能 $\{F_{30}, F_{31}, F_{32}, F_{33}, F_{38}\}$ の操作方法 $\{U_{30}, U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{38}\}$ との一貫性を重視して図4-8のように見直した。この見直し前後の操作方法を分類した樹形図を図4-9に示す。

見直し前の操作方法(図4-8(a))は、ファイル編集機能が再生メニューにまとめられていて、その中から所望の機能を選択して実行するという標準的なUIである。このため再生メニュー表示中は、どのファイルに対して編集するのかが分かりにくいという欠点がある。また、ファイル表示状態から再生メニューを経由して編集機能を実行するため、ファイル選択から編集に至る一連のワークフローがメニュー表示によって中断される印象を与えている。このことは見直し前の操作方法の樹形図(図4-9(a))において操作方法 $\{U_{34}, U_{35}, U_{36}, U_{37}, U_{39}, U_{40}\}$ がメニュー形式で設定する他の機能の操作方法 $\{U_{15}, U_{16}, U_{17}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{25}, U_{27}, U_{28}, U_{29}\}$ と同じ操作方法群 P_6 に属していることから明らかである。

一方、見直し後の操作方法(図4-8(b))は、ファイル表示状態を維持したままファイル編集機能が一覧でき、その中から所望の機能を選択して実行するというUIである。このため、どのファイルに対して編集するのかが分かりやすい。また、ファイル選択から編集に至る一連のワークフロー中はファイル表示状態が継続しているので、途中で中断されたという印象を与えていない。このことは見直し後の操作方法の樹形図(図4-9(b))において操作方法群 P_6 がメニュー形式を採用している操作方法群 $P_{6a}=\{U_{15}, U_{16}, U_{17}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{25}, U_{27}, U_{28}, U_{29}\}$ とファイル表示状態を維持したままファイル編集機能が一覧できる操作方法群 $P_{6b}=\{U_{34}, U_{35}, U_{36}, U_{37}, U_{39}, U_{40}\}$ とに分離されて、かつ操作方法群 P_{6b} がファイル再生に関する機能群 G_7 の操作方法群 $P_3=\{U_{30}, U_{38}\}$ および $P_4=\{U_{31}, U_{32}, U_{33}\}$ に相対的に近づいたことから明らかである。

以上のようにユーザの機能の捉え方に合わせて操作方法を見直した結果は、複数の設計者によるデザインレビューで指摘され修正したUIと一致しており、かつ操作方法の分類上においてもユーザビリティの改善が期待できる一貫性のあるUIを設計することができた。このことは、提案手法の有効性を示している。

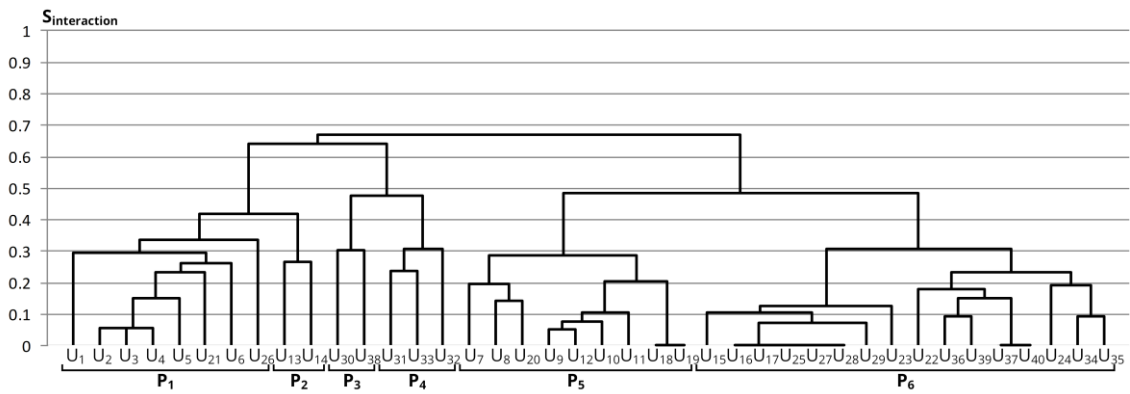


(a) 見直し前

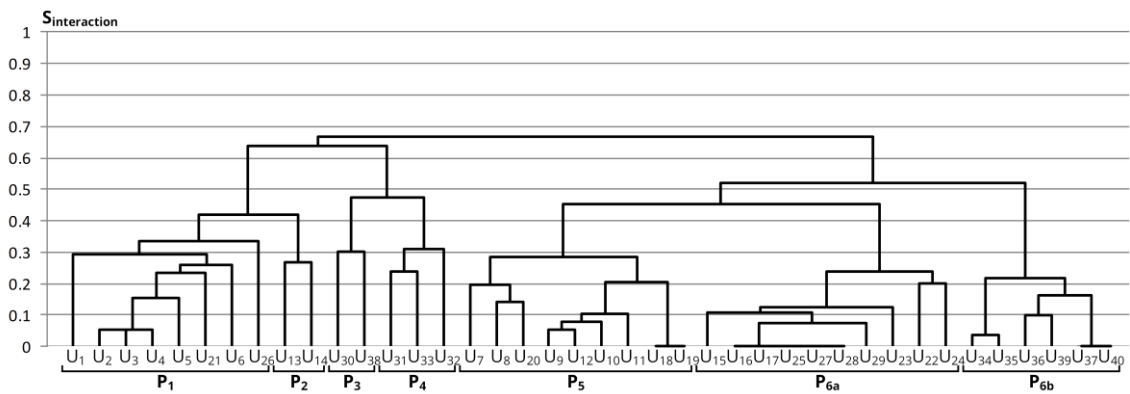


(b) 見直し後

図 4-8 再生メニューにおける UI 設計の見直し



(a) 再生メニューにおける UI 設計の見直し前



(b) 再生メニューにおける UI 設計の見直し後

図 4-9 デジタルカメラの操作方法分類から得られた樹形図

4.5.2.2 Average 判定の操作方法見直し

Average 判定となった3つの機能 $\{F_8, F_{10}, F_{26}\}$ の操作方法 $\{U_8, U_{10}, U_{26}\}$ の見直しを検討した。操作方法 $\{U_8, U_{10}\}$ は、ユーザの樹形図における分類傾向に合わせて見直す前から機能群 $\{F_9, F_{11}, F_{12}, F_{18}, F_{19}, F_{20}\}$ の操作方法 $\{U_9, U_{11}, U_{12}, U_{18}, U_{19}, U_{20}\}$ と共通の操作方法を採用していることが見直し前の操作方法の樹形図（図4-9(a)）で操作方法群 P_5 に属している操作方法から確認できる。操作方法 U_{26} は、4.5.1.2で述べたモードダイアルで選択する標準的な操作方法を採用しているため見直し前の操作方法の樹形図（図4-9(a)）で操作方法群 P_1 に操作方法 $\{U_2, U_3, U_4, U_5, U_{26}\}$ が含まれている。以上の理由からいずれも修正不要と判断した。したがって検討前の操作方法のまま据え置く結果となったが、ユーザの機能の捉え方に基づいてUIを見直す気づきを設計者に与えられることは有益である。

4.5.3 機能の再定義に関する問題

提案手法では設計者とユーザとの間で機能の捉え方の乖離が大きい場合、該当する機能の操作方法を見直すという方法を採用している。一方、ユーザの機能の捉え方に合わせて設計者が機能そのものを再定義する方法も考えられるため、その是非について議論する。

設計者は機能毎に定型書式で定めた複数の特徴を記述して列挙する。機能同士の距離尺度は、これらの特徴の共通点が多いものほど似ていると判断するため、特定の特徴に対して重み付けしていない。一方、ユーザは機能の利用目的や利用状況などから重視する特徴が異なるため、自ずと特定の特徴に対して重み付けしている。この特定の特徴に対する重み付けの有無は、設計者とユーザとの間で分類結果に差を生じさせる要因となることは4.5.1で述べた。このように設計者が定義した機能は、記述の誤りを除くと定型書式で粒度を揃えて過不足なく特徴を記述しているため、機能の再定義は特徴に対する重み付けを調整することを意味する。しかしながら、好ましい分類結果になるように重み付けを調整することは難しい。仮に上手く調整できたとしても特定の対象に作用する重み付けのため汎用性はなく、開発プロジェクトにおける検討費用が見合わない。

したがって機能の再定義を検討するよりも、提案手法のようにユーザに対して機能をどのように提供するのが適切であるかという視点で機能の分類に影響を与えない範囲で操作方法の見直しを検討した方が設計目標であるUI改善を実現する近道になると考えられる。

4.6 まとめ

第4章では、製品機能の捉え方に関するメンタルモデルの定量比較に基づいてUIの妥当性を評価して設計する手法を提案した。提案手法における設計者およびユーザのメンタルモデルは、機能分類から得られる樹形図で可視化した。設計者の樹形図は定型書式で定義した機能同士の類似度から自動的に生成し、ユーザの樹形図はカードソーティングで機能を分類した結果から生成した。これらの樹形図同士を比較してメンタルモデルの一致度合いを定量化し、一致度合いの低い機能の操作方法を見直すことによってUIが改善できることをデジタルカメラのUI設計における適用実験から明らかにした。

第3章で述べた第1のUI設計手法は、設計者の製品機能分類に基づいて一貫性のあるUIに最適化する手法であった。第4章で述べた第2のUI設計手法は、新たにユーザの製品機能分類の視点を追加したことによって設計者とユーザとの間の機能理解の差を踏まえてUIを最適化することが可能となった。

今後の課題は、提案手法の適用事例を増やして様々な製品分野に適用可能であることを実証すること、提案手法の設計評価段階での有効性だけでなく実装後のユーザビリティ評価との相関関係を明らかにすること、属性の異なる実験協力者における提案手法の有効性を検証することなどが挙げられる。

第5章 ユーザ受容性評価による ユーザインタフェースの一貫性設計の最適化

ユーザインタフェース (UI: User Interface) の一貫性評価によって設計解を最適化する第3章で述べた第1の手法と、第4章で述べた第2の手法は、時として同じ機能に対して異なるUIを導き出す。このような場合、ユーザにとって真に好ましい設計解はどのUIであるかを見極める必要がある。そこで第5章では、第1および第2の手法において設計解の一貫性評価に用いた機能分類の合理性を見極めるための設計解に対するユーザ受容性評価を提案する。提案手法は、第1または第2の手法によって最適化された設計解がそれぞれ異なる場合、より妥当性の高いUIの選択を可能にするための評価手法である。これらを通してUI設計における設計品質の向上を目指す。

5.1 はじめに

電子制御されたシステムをユーザが利用するとき、ユーザからシステムに対する指示入力、およびシステムからユーザに対する出力応答は、UIを介して行われる。ユーザがある目標を達成するためにUIを介してシステムと対話的なやり取り（インタラクション）を行うシステムは、インタラクティブシステムと呼ばれる。第5章ではインタラクティブシステムのUI設計における一貫性の観点での最適化について論じる。UIの一貫性は表示や操作に対して、統一感や意味を形成することが知られている。UIの一貫性が保たれている場合、ユーザはシステムの操作方法を推測したり学習したりすることが容易になると考えられるので、一貫性のあるUIを設計することによってユーザがシステムを使いこなせる可能性は高くなると期待できる^{[1][2][3]}。

デザインガイドラインはUIの一貫性を保つ有効な手段であり、IT分野のプラットフォームは独自のガイドラインをアプリケーション開発者向けに公開している^{[4][5][6]}。しかしながら、ガイドラインに準拠した場合でも、完成したUIの一貫性を評価する必要性は無くない。ガイドラインに期待した効果を確認する上でもUIの一貫性評価は必要である。

UIの一貫性評価に関する様々な研究が報告されている。概念設計における分析的な手法

では、操作方法の規則性を見出すため、状態遷移図の拡張である状態チャートを用いて UI の振る舞いを可視化する^[7]、自然言語的記述で表現された操作手順から操作構文を抽出する^[8]、暗黙知を形式知化するための知識記述法であるパターンランゲージを用いてインタラクションを一般化する手法^[9]などが報告されている。これらの手法は、設計初期段階で評価できるという利点があるが、システムが大規模になるにつれて全体を把握し難くなり、規則性を見出すことが困難になる可能性が懸念される。一方、成果物である UI を評価する手法では、適用した UI 構成要素の共通性を確認するため、キーに対応する機能割り当てをグラフで一覧表示する^[10]、画面を構成する GUI 部品を自動検出する^[11]、パターン化した UI を用いてデザインガイドラインへの適合度合いを自動検証する手法^[12]などが報告されている。これらの手法は、計測対象を自動検出して評価するため、システムの全体評価に適しているという利点があるが、詳細設計まで進めないと評価できない項目も多く、分析的な手法と比べて評価が後手に回ってしまうという課題もある。

以上の背景を踏まえて UI 設計の初期段階にシステム全体の一貫性評価を実現するため、第 3 章および第 4 章で詳細設計前の UI の全体構想を対象に一貫性を評価する 2 つの手法^[13]^[14]について述べてきた。これらの手法は、システムに搭載される機能の分類に基づいて操作方法を振り分けることによって UI の一貫性を担保する点で共通しているが、一貫性の判断基準とする機能分類方法が異なるため、その分類結果も異なる場合がある。したがって、同じ機能に対してそれぞれ異なる UI 設計解を導き出す可能性が考えられるが、どの UI 設計解を採用するのか決定するには新たに判断材料が必要となる。そこで第 5 章では異なる機能分類結果に基づいて導き出した異なる UI 設計解を取捨選択するため、情報システムを利用する人間の行動モデルである技術受容モデル (TAM: Technology Acceptance Model) ^[15]に基づくユーザ受容性評価を提案する。比較対象の UI 設計解のユーザ受容性を評価することによって取捨選択の判断を可能にし、UI 設計の最適化を目指す。本研究では提案手法をデジタルカメラの UI 設計に適用し、その妥当性と有効性の評価を行った。

5.2 UI 設計における課題とユーザ受容性評価による最適化

第 3 章および第 4 章で述べた UI の一貫性を評価するために開発した 2 つの手法は、同じ機能に対してそれぞれ異なる UI 設計解を導き出すことがある。これらの UI 設計解を取捨選択可能にするために実施する UI 設計解のユーザ受容性評価について説明する。

5.2.1 一貫性に考慮した UI 設計における課題

第 3 章で詳説した第 1 の手法^[13]の概念図を図 5-1 に示す。評価対象は、システムに搭載される機能毎に設計者が定義した設計文書の操作方法概略 ($U_1 \sim U_7$) における UI の一貫性である。この操作方法概略は、基本的な操作・表示・状態遷移を分解した 16 種類の特徴で定義される UI 設計フレームワークである。この手法では、設計者が新聞記事作成の 5W1H の原則に倣った 6 種類の特徴で定義した設計文書の機能定義 ($F_1 \sim F_7$) をコサイン類似度による文書比較を用いて機械的に分類する。操作方法概略も同様にして機械的に分類する。機能分類結果からは類似した機能群 ($G_1 \sim G_3$)、操作方法分類結果からは類似した操作方法群 (P_1, P_2) がそれぞれ特定される。

したがって、ある機能群に属する機能同士に対応した操作方法同士が同じ操作方法群に属していない場合、同じ操作方法群に属するように適宜修正することが可能になる。図 5-1 の例では、同じ機能群 G_2 に属する機能 F_3 および F_4 のそれぞれに対応した操作方法 U_3 および U_4 が同じ操作方法群 P_1 (U_3) または P_2 (U_4) に属していないため、機能 F_4 に対応した操作方法 U_4 を操作方法群 P_1 に属するように見直して操作方法 U'_4 を導き出した。このように第 1 の手法は、設計者由来の機能分類に基づいて操作方法を振り分けることで一貫性を担保した UI 設計解を導き出す。

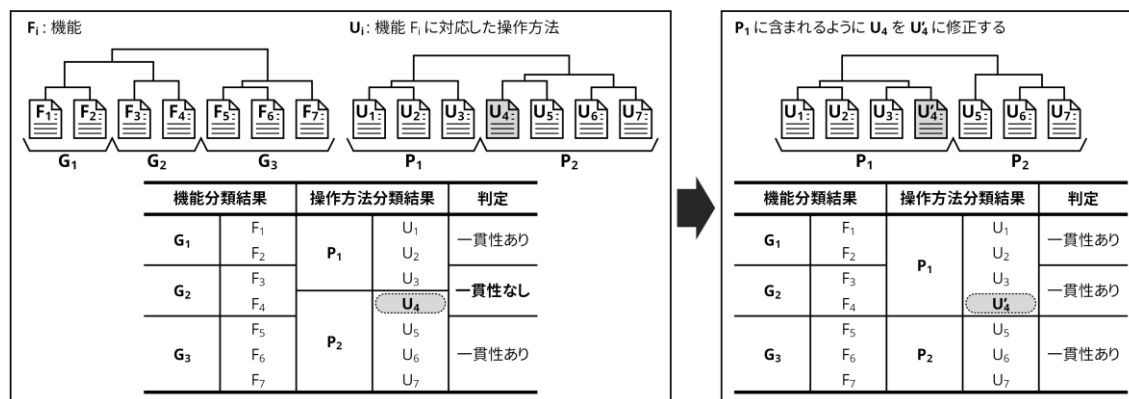


図 5-1 第 1 の手法：設計者由来の機能分類に基づく操作方法の振り分け

第4章で詳説した第2の手法^[14]の概念図を図5-2に示す。この手法では、ユーザがカードソーティングを用いて手作業で機能を分類する。このようにしてユーザ由来の機能分類から得た分類木と、第1の手法による設計者由来の機能分類から得た分類木同士を構造比較し、ユーザと設計者との間の機能分類傾向の一致度合い M_{mental} を数値化する。

分類木同士の構造比較では、まず各分類木を構成する部分木に含まれる機能の一致度合い M_{function} と、部分木同士の包含関係の一致度合い M_{merge} をそれぞれ別個に算出する。 M_{function} は機能($F_1 \sim F_7$)同士のグルーピングの結果がユーザと設計者との間でどの程度一致しているのかを表す数値尺度($0 < M_{\text{function}} \leq 1$)であり、 M_{merge} はグルーピングされた機能群($G_1 \sim G_3$)単位で上位または下位の概念として階層化される関係がユーザと設計者との間でどの程度一致しているのかを表す数値尺度($0 < M_{\text{merge}} \leq 1$)である。そしてユーザと設計者との間で機能分類傾向が一致するのは、 M_{function} と M_{merge} の両方の一致度合いが高い場合と考えられるので、両者の積である M_{mental} の値($0 < M_{\text{mental}} \leq 1$)を用いて評価する。したがって、ユーザと設計者との間で機能分類傾向が一致していない、即ち M_{mental} の値が小さい機能に対応した操作方法是、ユーザの機能分類に基づいて操作方法が振り分けられるように適宜修正することが可能になる。図5-2の例では、 M_{mental} の値が0.33と相対的に小さい機能 F_4 に対応した操作方法 U'_4 をユーザの機能分類に基づいて操作方法群 P_2 に属するように見直して操作方法 U'_4 を導き出した。このように第2の手法は、ユーザ由来の機能分類に基づいて操作方法を振り分けることで一貫性を担保したUI設計解を導き出す。

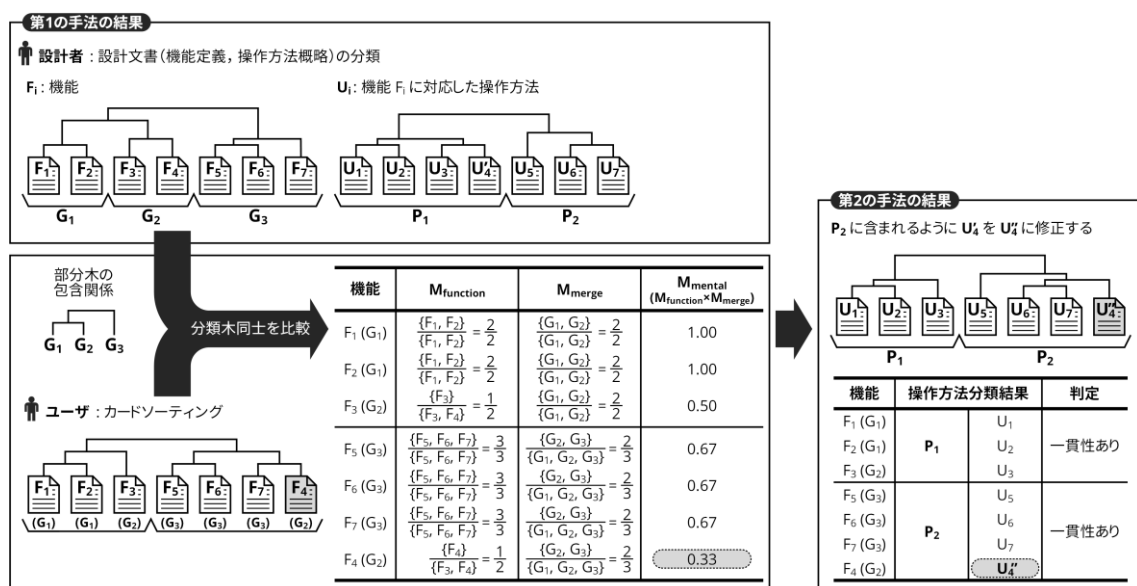


図5-2 第2の手法：ユーザ由来の機能分類に基づく操作方法的振り分け

本来、第1の手法と第2の手法とでそれぞれ導き出したUI設計解は一致していることが望ましい。なぜならばUI設計解が一致するのは、ユーザと設計者との間で機能分類に齟齬がないためと考えられるからである。しかしながら実際は、第1の手法における設計者由来の機能分類は機能毎に列挙した特徴の共通項目数で類似性を判定しており、かつ各特徴には重み付けをしていないため先入観の影響が小さい分類であることに對し、第2の手法におけるユーザ由来の機能分類は評価者の先入観による影響からばらつきが生じ易いため、第1の手法と第2の手法とでそれぞれ導き出したUI設計解は一致しないことがある。また、特定の対象分野における機能分類上、決定的な役割を果たす特徴の存在が多数のユーザ間で合意形成されている場合、ユーザ由来の機能分類には合理的なバイアスがかかり設計者由来の機能分類との間に規則的な差が生じ、第2の手法において評価者のばらつきの範疇を超えて M_{mental} の値が小さくなる機能が発生するため、その機能に対して導き出されるUI設計解が第1の手法と第2の手法とで異なる可能性も考えられる。

以上より、同じ機能に対して第1の手法と第2の手法とで異なるUI設計解を導き出した場合、どのUI設計解がユーザにとって好ましいものであるかはケースバイケースと考えられ、これらの取捨選択は新たにユーザ受容性評価を行って判断する必要がある。この評価結果に基づいて採用するUI設計解を決定することによってUI設計の最適化を目指す。なお、第1の手法と第2の手法とで同じUI設計解を導き出した場合においても、そのUI設計解がユーザにとって好ましいものであるか判断するためにユーザ受容性評価を行うことは有意義と考えられる。

5.2.2 UI設計最適化のためのユーザ受容性評価

ユーザと設計者との間で機能分類結果に差があるとき、ユーザの機能分類結果に基づいたUI設計解を採用することは、一見すると正しいように思える。なぜならば認知心理学の知見によると、ユーザビリティの問題はユーザと設計者との間におけるメンタルモデルの不一致が要因となって生ずると考えられているからである^[16]。しかしながら、ユーザが手作業で機能を分類した結果には評価者の先入観によるバイアスが含まれる可能性を忘れてはならない。例えば、従来製品の利用経験による慣れからくる思い込みや、機能を本来の目的とは異なる用途で利用するハッキングなどは、機能分類結果に狂いが生じる要因となり得る。また、ユーザにとって未知の機能は理解が不十分であるため、正しく分類できない可能性もある。したがってユーザまたは設計者の機能分類結果のうち、どちらの方が合理性の高

いものであるかを見極めた上で、採用する UI 設計解を判断する必要がある。

第 5 章で提案する UI 設計解に対するユーザ受容性評価の概念図を図 5-3 に示す。機能分類結果の合理性の高さを見極めることは容易ではないが、提案手法では機能分類結果に基づいて導き出した UI 設計解に対するユーザの利用意向における「心変わり」を計測することで、間接的に合理性を判断する。「心変わり」とは「初めは A 案が良いと思っていたが、最終的には B 案が良い」というような判断の変化のことを指す。このような「心変わり」が計測された場合、評価者の中で A 案と B 案とを比較した上で B 案の方が良いという判断を下しているため、A 案よりも B 案の方が高い合理性を有していると考えられるからである。

提案手法における「初めの A 案」は、ユーザが頭の中に描いていた操作方法（メンタルモデル）に相当する UI 設計解である（図 5-3 ステップ 1）。「最終的な B 案」は、ユーザが操作方法を比較して最終的に利用意向を示した UI 設計解である（図 5-3 ステップ 3）。ユーザのメンタルモデルが合理的に形成されている場合、心変わりは生じないと予測される。一方、ユーザのメンタルモデルの形成過程において非合理的な先入観が含まれている場合、より合理的な UI 設計解に心変わりすると予測される。また、合理性判断の裏付けとして比較対象となる UI 設計解毎にユーザが抱いた「使いやすさ」を併せて計測する（図 5-3 ステップ 2）。

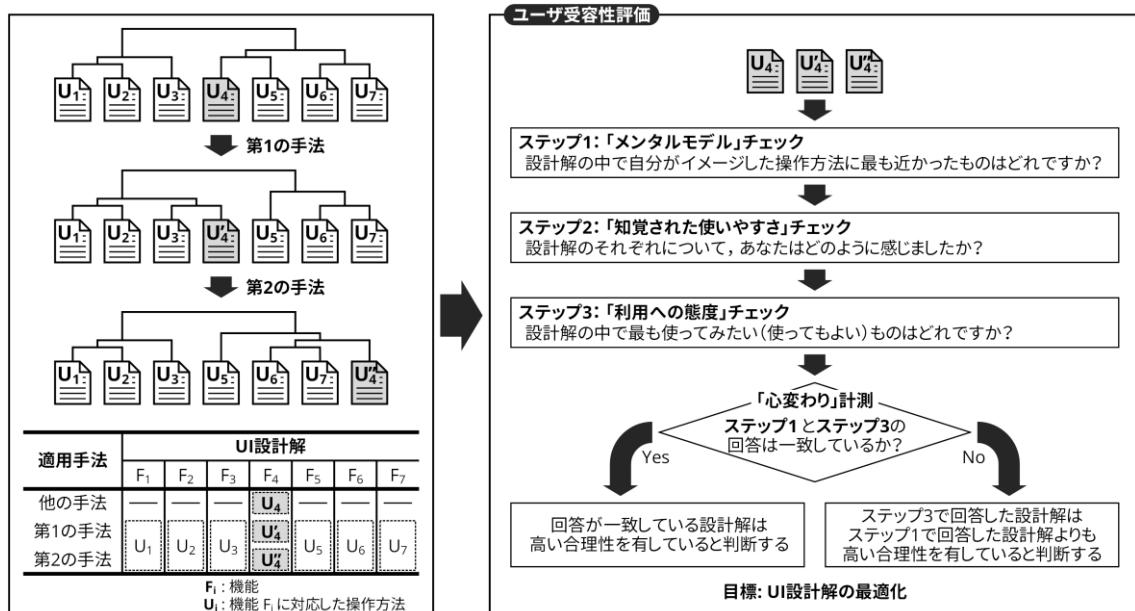


図 5-3 UI 設計解に対するユーザ受容性評価

ユーザと設計者との間で分類傾向に大きな差がある機能ほど、5.2.1 で述べた M_{mental} の値は小さくなる。したがって、 M_{mental} の値が小さい機能 F_4 の分類傾向に規則的な差が見られる場合、ユーザの機能分類には合理的なバイアスがかかっていることが考えられる。このバイアスの合理性は、第2の手法でユーザの機能分類に基づいて導き出したUI設計解 U'_4 が「初めのA案」となり、かつ「最終的なB案」でも心変わりが生じなければ、ユーザの機能分類にはユーザ間で合意形成された決定的な役割を果たす特徴が存在すると予測されることによって判断できる。一方、ユーザの機能分類に基づいて導き出したUI設計解 U'_4 が「初めのA案」となり、かつ「最終的なB案」において設計者の機能分類に基づいて導き出したUI設計解 U_4 に心変わりした場合は、ユーザの機能分類に含まれている先入観の合理性よりも先入観の影響が小さい設計者の機能分類の合理性の方が高いと判断できる。いずれの場合も合理性が高いと考えられる機能分類結果から導き出したUI設計解(U_4 または U'_4)に対してユーザが抱く「使いやすさ」の評価も高くなるだろうと想定されるため、その計測結果を合理性判断の裏付けに用いる。

提案手法におけるUI設計解のユーザ受容性評価は、図5-4に示した情報システムを利用する人間の行動モデルであるTAMに基づいている。TAMでは「知覚された使いやすさ」が「知覚された有用性」に影響を及ぼし、これらの2つの要素が「利用への態度」を規定するとされている^[15]。したがって、比較対象のUI設計解毎に「知覚された使いやすさ」を確認し、最終的にどのUI設計解を利用したいか「利用への態度」を確認する。なお、課題に設定したタスクに対する複数のUI設計解を比較することを通して「知覚された有用性」は、自ずと評価されていると考えられる。以上を踏まえて第5章で提案するユーザ受容性評価は、図5-3に示した①ユーザが頭の中に描いていた操作方法に近いUI設計解(ステップ1)、②UI設計解毎の知覚された使いやすさ(ステップ2)、③最終的に利用してみたいUI設計解(ステップ3)、を確認する3つの質問を基本とする構成とした。

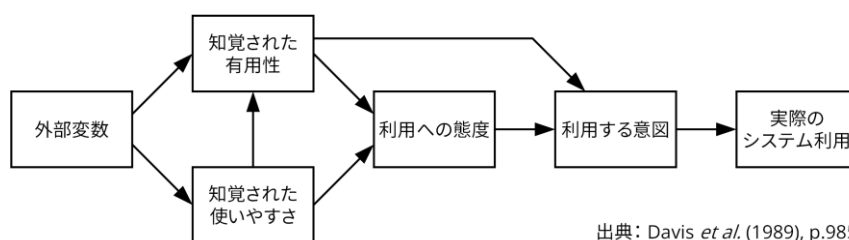


図 5-4 技術受容モデル (TAM: Technology Acceptance Model)

5.3 デジタルカメラの UI 設計解に対する ユーザ受容性評価の適用実験

5.3.1 実験の目的・準備

5.2.2 で提案した UI 設計解に対するユーザの「心変わり」の計測に基づいて妥当な UI 設計解の取捨選択が可能になるかどうかを検証するため、デジタルカメラの UI 設計解に対するユーザ受容性評価を実施した。このデジタルカメラは、実在する製品をモデルとした仮想の製品であり、第 3 章および第 4 章においても評価に用いたカメラである。したがって、評価対象の UI 設計解の導出過程は説明済みであるため、第 5 章では詳説しない。

ユーザ受容性評価に用いたデジタルカメラの外観図を図 5-5 に示し、課題に設定したタスクおよび比較対象とした UI 設計解の操作概略を表 5-1 にまとめる。課題の設定にあたり、第 2 の手法^[14]で用いた M_{mental} の値を考慮した。なぜならば 5.2.2 で述べたように、 M_{mental} の値が小さくなると第 1 の手法^[13]から導き出した UI 設計解と第 2 の手法から導き出した UI 設計解は異なると想定され、 M_{mental} の値が大きくなると両者は同じになると想定されるからである。なお説明の都合上、表 5-1 でまとめたタスクは M_{mental} の値が小さい順、UI 設計解は導き出すのに使用した手法の順（第 1 の手法・第 2 の手法・その他）に並べ替えている。実際は実験協力者に対応関係の規則性を気取られないようにするため、タスク単位に無作為な順序で提示した。

ここで M_{mental} の値 ($0 < M_{\text{mental}} \leq 1$) の大小の捉え方について補足する。この値は 5.2.1 で述べたように 2 つの一致度合い (M_{function} および M_{merge}) の積で得られる。したがって、2 つの一致度合いが平均 8 割一致していないと $M_{\text{mental}} = 0.64$ にはならない。また、同様に平均 5 割一致していないと $M_{\text{mental}} = 0.25$ にはならない。このことから、タスク 1 の $M_{\text{mental}} = 0.20$ は小さな値、タスク 2 の $M_{\text{mental}} = 0.27$ は機能分類傾向が一致しているか否かの境界線上の値、タスク 3 の $M_{\text{mental}} = 0.45$ は前述した境界線上の値と大きな値との中間値、タスク 4 の $M_{\text{mental}} = 0.64$ は大きな値と見なせる。なお、第 5 章で用いる M_{mental} の値は、第 4 章の適用実験で実施した 20 代の大学生 20 名によるカードソーティングの結果から算出した値の平均である。

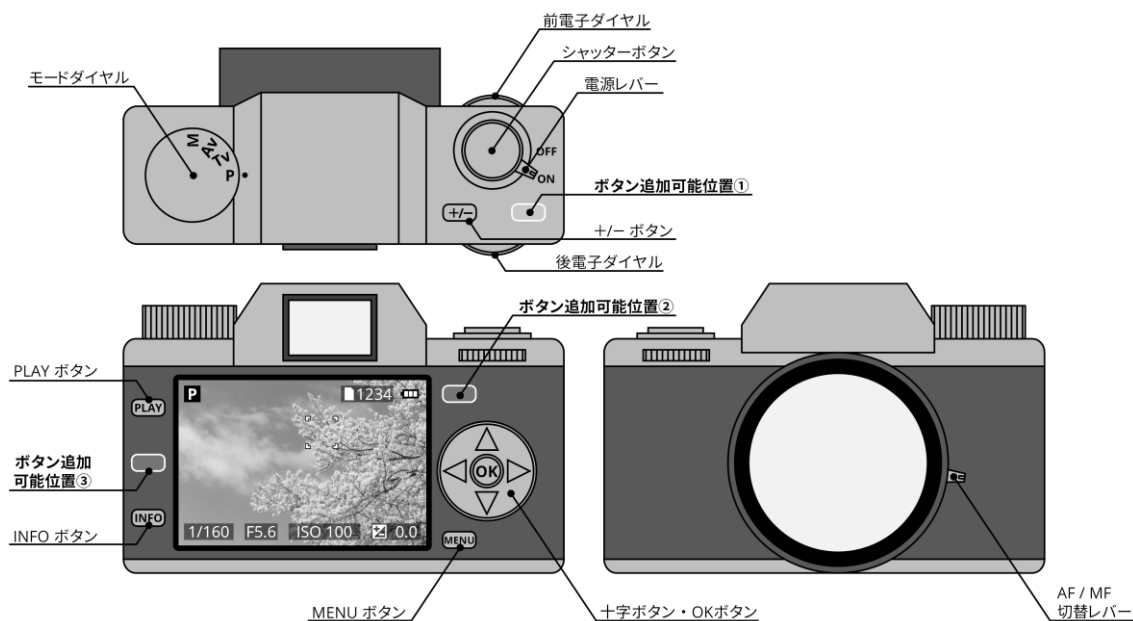


図 5-5 評価に用いたデジタルカメラの外観図

表 5-1 タスク別の UI 設計解

		タスク (M _{mental} = 平均値 (SD:標準偏差))			
UI設計解		タスク1: M _{mental} = 0.20 (SD 0.17) 撮影済みのLサイズ画像をMサイズにリサイズする。	タスク2: M _{mental} = 0.27 (SD 0.22) 動画モードで録画を開始する。その後、停止する。	タスク3: M _{mental} = 0.45 (SD 0.12) 撮影済みの画像を一覧表示する。	タスク4: M _{mental} = 0.64 (SD 0.22) ISO感度をISO 100 からISO 1600に変更する。
A案	第1の手法	 標準的なメニュー画面から撮影済みの画像をリサイズする。	第1の手法 位置②に動画モードボタンを追加。動画モードボタンから動画モードに切り替えて、シャッターボタンで録画開始/停止する。	第1の手法 第2の手法 再生モードの初期状態を1画像表示にする。後電子ダイヤルを回転させると1画像表示から画像一覧表示に切り替わる。	第1の手法 第2の手法 位置①にISOボタンを追加。ISOボタンを押してから後電子ダイヤルを回転させてISO感度の値を変更する。
	第2の手法	 専用メニュー画面から撮影済みの画像をリサイズする。	第2の手法 モードダイヤルに動画モードを追加。モードダイヤルから動画モードに切り替えて、シャッターボタンで録画開始/停止する。	第1の手法 第2の手法 再生モードの初期状態を画像一覧表示にする。後電子ダイヤルを回転させると画像一覧表示から1画像表示に切り替わる。	他の手法 標準的なメニュー画面からISO感度の値を変更する。
B案	第1の手法		他の手法 位置②に録画ボタンを追加。録画ボタンを押すと動画モードに切り替わり録画を開始する。再び録画ボタンを押すと録画を停止して静止画モードに切り替わる。		他の手法 位置①にISOボタンを追加。ISOボタンを押すと専用メニューに切り替わる。専用メニュー画面からISO感度の値を変更する。
	第2の手法				
C案	第1の手法				
	第2の手法				

タスク 1：撮影済みの L サイズ画像を M サイズにリサイズする 設計解 A はリサイズを画像編集機能（トリミング・動画編集など）と類似する機能とした分類結果に基づいて第 1 の手法で導き出した UI である。設計解 B はリサイズを前述した画像編集機能とともに画像再生機能（画像表示・画像拡大表示・画像情報表示・画像一覧表示・動画再生など）と類似する機能とした分類結果に基づいて第 2 の手法で導き出した UI である。

タスク 2：動画モードで録画を開始する。その後、停止する 設計解 A は動画モードを静止画の単写や連写と類似する機能とした分類結果に基づいて第 1 の手法で導き出した UI である。設計解 B は動画モードを露出モード（P モード、Tv モード、Av モード、M モード）と類似する機能とした分類結果に基づいて第 2 の手法で導き出した UI である。設計解 C は一見すると設計解 A と類似しているが撮影開始・停止の操作方法が静止画の単写や連写と類似していないため、第 1 の手法でも第 2 の手法でも導き出せない UI である。しかしながら、設計解 C は従来製品で採用実績のある操作方法であったため、比較対象に加えた。

タスク 3：撮影済みの画像を一覧表示する 設計解 A は主にデジタルカメラ、設計解 B は主にスマートフォンの画像閲覧アプリケーションで採用実績のある UI である。これらの設計解は、画像再生開始時における初期状態を 1 画像表示（設計解 A）にするのか画像一覧表示（設計解 B）にするのかという差異はあるが、その差異が小さいため画像一覧表示を 1 画像表示と類似する機能とした分類結果に基づく第 1 の手法でも第 2 の手法でも導き出せる UI である。しかしながら設計解 A と設計解 B のバリエーションは、第 1 の手法でも第 2 の手法でも UI の一貫性の観点からは検討すべき点として顕在化させることはできない。

タスク 4：ISO 感度を ISO 100 から ISO 1600 に変更する 設計解 A は ISO 感度を前述した露出モードと類似する機能とした分類結果に基づく第 1 の手法でも第 2 の手法でも導き出せる UI である。設計解 B は標準的なメニュー画面で設定するものだが第 1 の手法および第 2 の手法から導き出した UI ではない。設計解 C は撮影時における使用頻度を考慮して専用のメニュー画面で設定するものだが設計解 B と同様に第 1 の手法および第 2 の手法から導き出した UI ではない。設計解 B と設計解 C は従来製品で採用実績のある操作方法であったため、比較対象に加えた。

5.3.2 実験方法

5.3.1 で準備した UI 設計解に対してユーザ受容性評価を実施した。ここでのユーザ受容性とは、設計構想段階における意思決定に用いるものであるため、UI 設計解を実際に使う前の状態でユーザが UI 設計解に対して抱く印象のことを指す。製品利用時におけるユーザ受容性については、UI 設計解の実装後に実施されるユーザビリティテストやモニター評価などからフィードバックされるため、本実験における評価対象からは除外する。実験協力者は、20代の大学生27名（女性5名、男性22名、平均22.77歳、標準偏差1.07）であり、前述したカードソーティングの実験協力者とは別の集団である。実験協力者の人選では、日常的にデジタルデバイスの取り扱いに慣れている世代である点と、自社の社員と比べて一般ユーザにより近い存在である点を考慮して大学生に依頼した。なお、実験協力者に対して事前に実験の目的と方法、収集したデータの取り扱い方法を説明することによって、人に関わる研究における倫理面に配慮して実験を実施した。

ユーザ受容性評価は、はじめに実験協力者に対してデジタルカメラの操作方法の例として5つのタスク、①Mモード（マニュアル露出）でシャッター速度を1/400秒・絞りをF8にして撮影する、②露出補正を±0.0EVから+1.0EVに変更する、③記録サイズをLサイズからMサイズに変更する、④撮影済みの画像を拡大して表示する、⑤撮影済みの画像の情報を表示する、それぞれの手順を示した。その後、課題に設定した4つのタスクのUI設計解（表5-1）をタスク毎に提示して、UI設計解に対するアンケートに回答してもらう形式で実施した。操作方法の例および評価対象のUI設計解は、実験協力者にデジタルカメラの外観図（図5-5）を配布し、操作手順と画面遷移をスライド投影で見せながら説明するプロトタイプを用いた。アンケートは、タスク毎に3つの質問「問1：設計解の中で自分がイメージした操作方法に最も近かったものはどれですか？（『どれでもない』を選んだ人は、どのような操作方法をイメージしましたか？）」、「問2：設計解のそれぞれについて、あなたはどうか感じましたか？」、「問3：設計解の中で最も使ってみたい（使ってもよい）ものはどれですか？また、その理由は何ですか？」を用意した。回答方法は、選択式と自由記述式とを織り交ぜた構成にした。

5.3.3 実験結果

UI 設計解に対するユーザ受容性評価アンケートの集計結果を表 5-2 と表 5-3 にまとめる。

表 5-2 UI 設計解のユーザ受容性評価アンケート結果

アンケート内容		タスク1	タスク2	タスク3	タスク4	
設問	選択肢	人数 (%)	人数 (%)	人数 (%)	人数 (%)	
問1 設計解の中で自分がイメージした操作方法に最も近かったものはどれですか？	A案	12 (44.4%)	6 (22.2%)	11 (40.7%)	12 (44.4%)	
	B案	15 (55.6%)	19 (70.4%)	16 (59.3%)	11 (40.7%)	
	C案	—	2 (7.4%)	—	2 (7.4%)	
	どれもでない	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (7.4%)	
問2 設計解のそれぞれについて、あなたはどのように感じましたか？	A案	使いやすそう	16 (59.3%)	19 (70.4%)	16 (59.3%)	20 (74.1%)
		使いにくそう	7 (25.9%)	7 (25.9%)	10 (37.0%)	7 (25.9%)
		わからない	4 (14.8%)	1 (3.7%)	1 (3.7%)	0 (0.0%)
	B案	使いやすそう	20 (74.1%)	22 (81.5%)	25 (92.6%)	13 (48.1%)
		使いにくそう	4 (14.8%)	3 (11.1%)	2 (7.4%)	13 (48.1%)
		わからない	3 (11.1%)	2 (7.4%)	0 (0.0%)	1 (3.7%)
	C案	使いやすそう	/	10 (37.0%)	/	14 (51.9%)
		使いにくそう	/	16 (59.3%)	/	10 (37.0%)
		わからない	/	1 (3.7%)	/	3 (11.1%)
問3 設計解の中で最も使ってみたい(使ってもよい)ものはどれですか？	A案	12 (44.4%)	10 (37.0%)	11 (40.7%)	16 (59.3%)	
	B案	15 (55.6%)	13 (48.1%)	16 (59.3%)	6 (22.2%)	
	C案	—	4 (14.8%)	—	5 (18.5%)	

表 5-3 使ってみたい UI 設計解を選んだ理由 (アンケート問 3 自由記述回答結果)

UI設計解	タスク1	タスク2	タスク3	タスク4
A案	<ul style="list-style-type: none"> 専用メニューの必要性がない (4) メニューの統一性を重視 (2) 分かりやすい (2) 馴染みがある (2) 使いやすそう (1) 誤操作が少なそう (1) 	<ul style="list-style-type: none"> 誤操作が少なそう (5) 分かりやすい (4) 手順が少ない (3) 機能の拡張性が高い (1) 試してみたい (1) 	<ul style="list-style-type: none"> 撮影画像を最初に確認したい (9) 分かりやすい (2) 	<ul style="list-style-type: none"> 電子ダイヤル操作が使いやすそう (7) ライブビューのまま変更できる (6) 手順が少ない (2) 分かりやすい (1) 馴染みがある (1)
B案	<ul style="list-style-type: none"> 画像を見ながら設定できる (9) 分かりやすい (7) 使いやすそう (4) 誤操作が少なそう (1) 	<ul style="list-style-type: none"> 誤操作が少なそう (5) 分かりやすい (4) 馴染みがある (2) ボタンを増やさずに済む (1) 	<ul style="list-style-type: none"> 最初に一覧表示させたい (11) 画像を見つけやすい (4) 分かりやすい (2) 手順が少ない (1) 撮影画像をすぐに確認しない (1) 	<ul style="list-style-type: none"> ボタンを増やさずに済む (2) 使用頻度が低くメニューで十分 (2) 誤操作が少なそう (1) 馴染みがある (1)
C案	/	<ul style="list-style-type: none"> 手順が少ない (3) 馴染みがある (1) 	/	<ul style="list-style-type: none"> 手順が少ない (3) 分かりやすい (3) 誤操作が少なそう (1)

(単位: 人)

タスク 1: UI 設計解の中でユーザのイメージに最も近い操作方法は設計解 A の 12 名 (44.4%) と設計解 B の 15 名 (55.6%) で拮抗した。ユーザが「使いやすそうだ」と感じた操作方法は設計解 A の 16 名 (59.3%) と設計解 B の 20 名 (74.1%) であった。ユーザが最も使ってみたい UI 設計解は設計解 A の 12 名 (44.4%) と設計解 B の 15 名 (55.6%) で拮抗した。

タスク 2: UI 設計解の中でユーザのイメージに最も近い操作方法は設計解 B の 19 名 (70.4%) であった。ユーザが「使いやすそうだ」と感じた操作方法は設計解 A の 19 名 (70.4%) と設計解 B の 22 名 (81.5%) であり、「使いにくそうだ」と感じた操作方法は設計解 C の 16 名 (59.3%) であった。ユーザが最も使ってみたい UI 設計解は過半数の支持を集めるものは無く、設計解 A の 10 名 (37.0%) と設計解 B の 13 名 (48.1%) への二極化が見られた。

タスク 3: UI 設計解の中でユーザのイメージに最も近い操作方法は設計解 B の 16 名 (59.3%) で設計解 A の 11 名 (40.7%) よりもやや支持を集めた。ユーザが「使いやすそうだ」と感じた操作方法は設計解 A の 16 名 (59.3%) と設計解 B の 25 名 (92.6%) であった。ユーザが最も使ってみたい UI 設計解は設計解 B の 16 名 (59.3%) で設計解 A の 11 名 (40.7%) よりもやや支持を集めた。

タスク 4: UI 設計解の中でユーザのイメージに最も近い操作方法は過半数の支持を集めるものは無く、設計解 A の 12 名 (44.4%) と設計解 B の 11 名 (40.7%) で拮抗した。「どれでもない」と回答した 2 名のうち 1 名は「撮影待機中に (前後いずれかの) ダイアル操作で ISO 感度をダイレクトに変更できるようにする」と回答し、もう 1 名は「ISO 感度という機能を理解していないのでイメージできない」と回答した。ユーザが「使いやすそうだ」と感じた操作方法は設計解 A の 20 名 (74.1%) であった。設計解 B は「使いやすそうだ」と「使いにくそうだ」が共に 13 名 (48.1%), 設計解 C は「使いやすそうだ」が 14 名 (51.9%) で「使いにくそうだ」が 10 名 (37.0%) となり、いずれも設計解 A と比べて評価が割れた。ユーザが最も使ってみたい UI 設計解は設計解 A の 16 名 (59.3%) であった。

5.4 UI 設計最適化におけるユーザ受容性評価の妥当性と有効性についての考察

5.3 で述べた適用実験の結果から一貫性のある UI 設計解を取捨選択できることを示すことによって、第 5 章で提案するユーザ受容性評価の妥当性と有効性について考察する。UI 設計解に対するユーザの「心変わり」の計測結果を表 5-4、UI 設計解毎にユーザが抱いた「使いやすさ」の計測結果を表 5-5 にそれぞれまとめた。

表 5-4 UI 設計解に対するユーザの「心変わり」計測結果

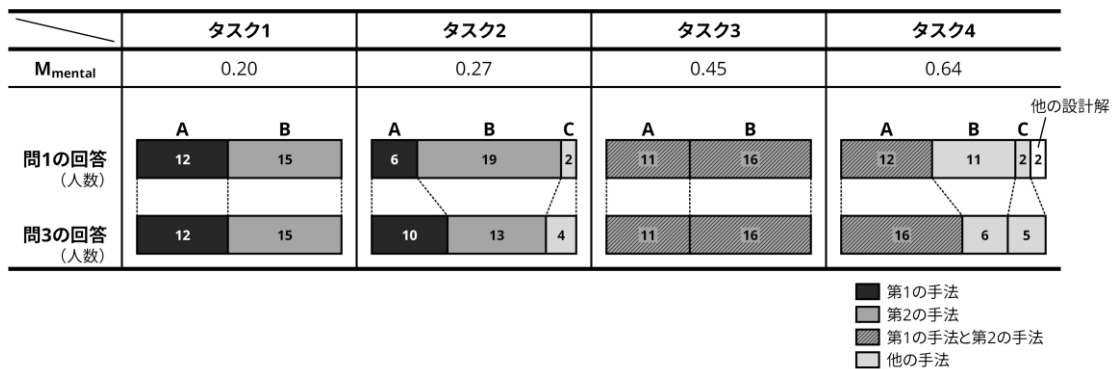
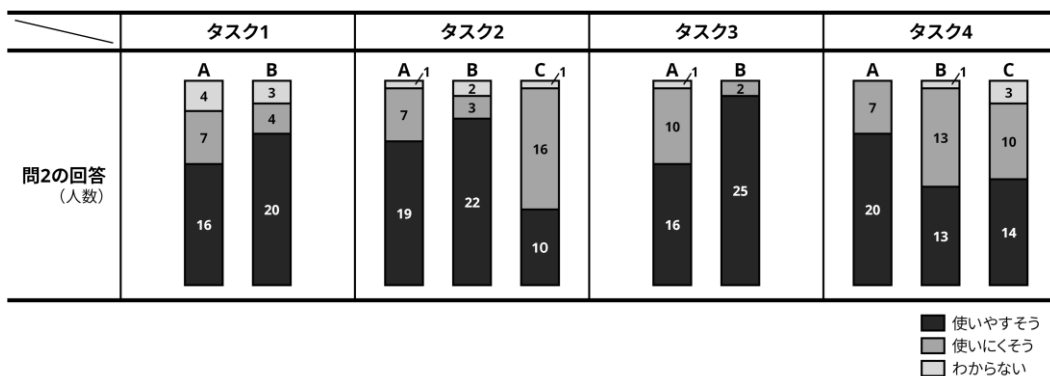


表 5-5 UI 設計解毎にユーザが抱いた「使いやすさ」計測結果



5.4.1 タスク毎の UI 設計最適化

5.4.1.1 タスク 1 における UI 設計最適化

5.3.1 で述べたようにタスク 1 における M_{mental} の値 (0.20) は小さな値であるため、このタスクにおける機能 (リサイズ) の分類結果はユーザと設計者との間で一致していないと考えられる。したがって、第 1 の手法^[13]で導き出した設計解 A と第 2 の手法^[14]で導き出した設計解 B は異なると考えられる。

第 4 章の実験結果によると、設計者の機能分類は機能を実行すると画像が新規保存される特徴から画像撮影機能と画像編集機能の類似性を評価し、機能を実行しても画像を新規保存しない画像再生機能と区別している。その結果、画像撮影機能に対応する操作方法来に標準的なメニュー画面を採用したため、画像編集機能に対応する操作方法来にも標準的なメニュー画面を採用している (設計解 A)。これに対してユーザの機能分類は機能を「撮影」と「再生」とに分けて整理する傾向が顕著であり、画像編集機能に対応する操作方法是画像再生機能に対応する操作方法来と一貫性のある UI を採用している (設計解 B)。デジタルカメラ以前のフィルムカメラでは「撮影」機能のみ存在し、デジタルカメラになって「再生」機能が登場したカメラの進化を踏まえると、デジタルカメラにおける機能分類を決定づける特徴は「撮影」と「再生」であるとユーザ間において合意形成されている可能性は高く、このことは M_{mental} の値が小さくなった主な要因と考えられる。

ユーザがイメージしていた操作方法来 (表 5-2 および表 5-4 の問 1) では、設計解 A が 12 名 (44.4%)、設計解 B が 15 名 (55.6%) となり同程度の支持を集めた。また、ユーザの利用意向 (表 5-2 および表 5-4 の問 3) では、「心変わり」が計測されなかった。これはユーザが UI 設計解を比較して、自身がイメージしていた操作方法来の合理性の方が高いと判断したと考えられるため、ユーザが利用意向を示した UI 設計解の選択理由 (表 5-3) から UI 設計解の取舍選択を検討する必要がある。設計解 A は「専用メニューの必要性が無い (4 名)」という消極的な理由が上位であり、設計解 B は「画像を見ながら設定できる (9 名)」や「分かりやすい (7 名)」という積極的な理由が上位であった。機能利用時の UI 設計解に対する評価の観点からは、設計解 B の選択理由を重視する方が妥当と考えられる。このことは UI 設計解毎の知覚された使いやすさ (表 5-2 および表 5-5 の問 2) において、設計解 A では 16 名 (59.3%)、設計解 B では 20 名 (74.1%) が「使いやすそうだ」感じており、設計解 B の方がやや評価が高くなったことから裏付けられる。

以上を踏まえると過半数のユーザがイメージしていた操作方法である設計解 B には、機能分類を決定づける特徴の存在がユーザ間で合意形成されている可能性が高いため、設計解 A への「心変わり」は計測されなかった。また、知覚された使いやすさにおいても設計解 A よりも設計解 B の方がやや評価が高くなった。したがって、設計解 B を採用する判断が可能になる。

5.4.1.2 タスク 2 における UI 設計最適化

5.3.1 で述べたようにタスク 2 における M_{mental} の値 (0.27) は機能分類傾向が一致しているか否かの境界線上の値であるが、第 1 の手法で導き出した設計解 A と第 2 の手法で導き出した設計解 B が異なっている。したがって、このタスクにおける機能 (動画モード) の分類結果はユーザと設計者との間で一致していなかったと考えられる。

ユーザがイメージしていた操作方法 (問 1) では、ユーザの機能分類に基づいて導き出した設計解 B が 19 名 (70.4%) となり支持を集めた。しかしながら、ユーザの利用意向 (問 3) では、設計解 B は支持を 13 名 (48.1%) に減らし、設計解 A および設計解 C への「心変わり」が計測された。とくに設計者の機能分類に基づいて導き出した設計解 A は支持を 10 名 (37.0%) に伸ばし、設計解 B と同程度の支持を得た。このことは UI 設計解毎の知覚された使いやすさ (問 2) において、設計解 A では 19 名 (70.4%)、設計解 B では 22 名 (81.5%) が「使いやすそうだ」感じており、ほぼ同数となったことから裏付けられる。

以上を踏まえてユーザの機能分類には設計解 B が採用実績の多い見慣れた操作方法であることに由来したバイアスが含まれているものの、その合理性は設計者の機能分類と比較して高いとまでは言えず「心変わり」が計測されたと考えられる。したがって、従来方式を踏襲して設計解 B を採用するという判断も可能だが、新しい方式として設計解 A を提案する価値は十分にあるという判断も可能になる。なお、設計解 C は第 1 の手法でも第 2 の手法でも導き出せない UI のため、一貫性が保たれていない。このことは問 2 において「使いにくそうだ」と感じた者が 16 名 (59.3%) と多く、問 3 において利用意向を示した者が 4 名 (14.8%) と少ない結果となった要因と考えられる。また、問 1 においてイメージしていた操作方法に近いとした者も 2 名 (7.4%) と少ない。したがって、設計解 A および設計解 B と比較して設計解 C は総じて評価が低いため、不採用とする判断も可能になる。

5.4.1.3 タスク3におけるUI設計最適化

5.3.1で述べたようにタスク3における M_{mental} の値(0.45)は機能分類傾向が一致しているか否かの境界線上の値と大きな値との中間値であるため、このタスクにおける機能(画像一覧表示)の分類結果はユーザと設計者との間で概ね一致していると考えられる。したがって、第1の手法でも第2の手法でも機能分類の結果に基づき導き出されるUI設計解は設計解Aでも設計解Bでも一致したと考えられる。また、第1の手法および第2の手法における操作方法分類では、画像再生開始時における初期状態を1画像表示にする設計解Aと画像一覧表示にする設計解Bとの差異を分類上の大きな差異としては認識できないため、これらの設計解を同じ操作方法群に属する操作方法と判定している。したがって、第1の手法または第2の手法のいずれを用いても設計解Aまたは設計解Bのいずれかを導き出すことはできるとしても、これらの手法を用いることによって設計解Aと設計解Bをそれぞれバリエーションの異なる候補として導き出すことはできない。

これらのUI設計解のバリエーションは、実験協力者のユーザ属性を確認するために実施した実験前アンケートにおいて協力者全員がスマートフォンを所有しており、かつそれを用いて写真を撮影しているのに対し、デジタルカメラを現在所有している者と所有していない者が混在していたため、スマートフォンとデジタルカメラに共通する機能のインタラクションで作法が異なるタスク「撮影済み画像を一覧表示する」から導き出した。そこでユーザにおけるデジタルカメラの所有とユーザがイメージしていた操作方法との関係を表5-6、ユーザにおけるデジタルカメラの所有とユーザが利用意向を示したUI設計解との関係を表5-7にそれぞれまとめた。

設計解Aは主にデジタルカメラ、設計解Bは主にスマートフォンの画像閲覧アプリケーションで採用実績のあるUIである。デジタルカメラを所有しているユーザ12名(44.4%)の場合、ユーザがイメージしていた操作方法(問1)では設計解Aと設計解Bとがそれぞれ6名(22.2%)で支持を分け合い、ユーザの利用意向(問3)では「心変わり」は計測されなかった。デジタルカメラを所有していないユーザ15名(55.6%)の場合、問1では設計解Bが10名(37.0%)となり設計解Aの5名(18.5%)より支持を集めたが、問3では「心変わり」は計測されなかった。したがって、ユーザがデジタルカメラを所有しているか否かによって設計解Aまたは設計解Bの支持が決まっているとは言えない。

表 5-6 タスク 3 におけるユーザのデジタルカメラの所有とイメージした UI 設計解との関係

問1の回答	デジタルカメラ		合計
	所有	非所有	
A案	6 (22.2%)	5 (18.5%)	11 (40.7%)
B案	6 (22.2%)	10 (37.0%)	16 (59.3%)
どれでもない	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
合計	12 (44.4%)	15 (55.6%)	27 (100.0%)

(単位: 人)

表 5-7 タスク 3 におけるユーザのデジタルカメラの所有と使ってみたい UI 設計解との関係

問3の回答	デジタルカメラ		合計
	所有	非所有	
A案	6 (22.2%)	5 (18.5%)	11 (40.7%)
B案	6 (22.2%)	10 (37.0%)	16 (59.3%)
合計	12 (44.4%)	15 (55.6%)	27 (100.0%)

(単位: 人)

ユーザが利用意向を示した UI 設計解の選択理由 (表 5-3) とユーザにおけるデジタルカメラの所有との関係からも同様のことが言える。デジタルカメラを所有しているユーザで設計解 A を支持している 6 名全員が「最新の撮影画像を最初に見たい」を選択理由に挙げており、デジタルカメラを所有しているユーザで設計解 B を支持している 6 名中 5 名が「最初に一覧表示させたい」を選択理由に挙げており、同様にデジタルカメラを所有していないユーザで設計解 A を支持している 5 名中 3 名が「最新の撮影画像を最初に見たい」を選択理由に挙げており、デジタルカメラを所有していないユーザで設計解 B を支持している 10 名中 6 名が「最初に一覧表示させたい」を選択理由に挙げており、したがって、ユーザがデジタルカメラを所有しているか否かよりもユーザが各々重視している点が「最新の撮影画像を最初に見たい」または「最初に一覧表示させたい」のどちらであるのかによって支持する UI 設計解は決まっており、その判断の合理性が要因となってデジタルカメラを所有しているか否かに関係なく「心変わり」も計測されなかったと考えられる。

以上を踏まえると設計解 A および設計解 B のような操作方法分類における差異の小さな UI 設計解の取捨選択は、第 1 の手法および第 2 の手法だけでは解決できない。しかしながら、ユーザ受容性評価を踏まえると設計解 A と設計解 B の支持がユーザの好みによって二分されており、かつ「心変わり」が計測されていないので、どちらか一方を採用するのではなく両方を選択可能にするようにパーソナライズ項目に加えるという判断が可能になる。

5.4.1.4 タスク4におけるUI設計最適化

5.3.1で述べたようにタスク4における M_{mental} の値(0.64)は大きな値であるため、このタスクにおける機能(ISO感度)の分類結果はユーザと設計者との間で一致していると考えられる。したがって、第1の手法でも第2の手法でも機能分類に基づき導き出されるUI設計解は設計解Aで一致したと考えられる。

ユーザがイメージしていた操作方法(問1)では、ユーザおよび設計者の機能分類に基づいて導き出した設計解Aが12名(44.4%)、第1の手法および第2の手法から導き出したUIではないが標準的なメニュー画面で設定する設計解Bが11名(40.7%)で支持を分け合った。しかしながら、ユーザの利用意向(問3)では、設計解Bは支持を6名(22.2%)に減らし、設計解Aおよび設計解Cへの「心変わり」が計測された。とくに設計解Aは支持を16名(59.3%)に伸ばした。このことはUI設計解毎の知覚された使いやすさ(問2)において、設計解Bでは13名(48.1%)、設計解Cでは14名(51.9%)が「使いやすそうだ」と感じたのに対して、設計解Aでは多数の20名(74.1%)が「使いやすそうだ」と感じたことから裏付けられる。

以上を踏まえて設計解Bは採用実績の多い見慣れた操作方法であるのに対し、このタスクにおいて設計解Bを採用する合理性は設計解Aと比較して高くないと判断された結果、「心変わり」が計測されたと考えられる。したがって、設計解Aを採用する判断が可能になる。なお、設計解Cは問1においてイメージしていた操作方法に近いとした者が2名(7.4%)と少ない上、問2および問3では設計解Bと同等の評価結果になった。したがって、設計解Bが不採用と判断されたことを踏まえれば、設計解Cもまた不採用とする判断も可能になる。

5.4.2 ユーザ受容性評価の妥当性と有効性

5.4.2.1 UIの一貫性評価の妥当性と有効性

タスク2とタスク4におけるユーザ受容性評価結果より、第1の手法または第2の手法を用いて導き出したUI設計解(タスク2の設計解Aおよび設計解B、タスク4の設計解A)は、その他の手法を用いて導き出したUI設計解(タスク2の設計解C、タスク4の設計解Bおよび設計解C)と比較してユーザ受容性が高いことが示されている(問3)。このことは、ユーザがUI設計解毎に抱いた使いやすさの計測結果において同様の傾向が見られ

ることからも裏付けられる（問2）。したがって、第1の手法または第2の手法による一貫性評価に基づいてUI設計解を最適化することは有効であると考えられる。

5.4.2.2 心変わり計測の妥当性と有効性

タスク1およびタスク2は M_{mental} の値が小さく、第1の手法と第2の手法とで同じ機能に対して異なるUI設計解が導き出されている。 M_{mental} の値が小さいことはユーザと設計者との間で機能分類における認識の隔たりが大きいことを意味するので、UI設計解に対する「心変わり」は評価者が自身の機能分類が合理的だと考えているほど発生する可能性は低くなると考えられる。したがって M_{mental} の値がタスク2より小さいタスク1で「心変わり」が計測されず、 M_{mental} の値がタスク1より大きいタスク2で「心変わり」が計測された結果（問1および問3）は、5.4.1.1および5.4.1.2でユーザの機能分類に含まれるバイアスの合理性についての考察結果とも合致していることから妥当であると考えられる。

以上よりユーザと設計者との間で機能分類結果の差異が大きい場合、ユーザの「心変わり」が計測されなかったタスク1ではユーザの機能分類結果に基づく設計解B、ユーザの「心変わり」が計測されたタスク2では設計者の機能分類結果に基づく設計解Aをそれぞれ採用するという方針が立ち、その妥当性判断の裏付けにはユーザがUI設計解に対して抱いた使いやすさの計測結果（問2）が利用できる。ここで「心変わり」に着目しない場合、タスク2ではユーザのメンタルモデルに合わせる（問1）またはUI設計解に対するユーザの利用意向に従う（問3）という方針で判断すると、いずれの場合も設計解Bを採用する結果になる。したがって「設計解Bよりも設計解Aの方が良い」と考えを改めるユーザの存在に気づかないまま設計解Bを採用してしまうことを防ぎ、より合理的と考えられるUI設計解である設計解Aを選択できるようにするために「心変わり」を計測することは有効であると考えられる。

5.4.2.3 パーソナライズ判定の妥当性と有効性

タスク1とタスク3では、いずれもユーザの「心変わり」が計測されていない。しかしながら、タスク1は M_{mental} の値が小さく、タスク3は M_{mental} の値が大きいという違いがある。タスク1は5.4.1.1で述べたようにユーザの機能分類の合理性をユーザ自身が高く評価しているため、ユーザの機能分類に基づくUI設計解である設計解Bを選択することに合理性があると考えられる。これに対してタスク3はユーザと設計者との間で機能分類の傾向が一

致しているため、機能分類に基づいて操作方法を振り分けて導き出す UI 設計解は、1つの方向性に収束して第1の手法を用いても第2の手法を用いても同じになると考えられる。

したがって 5.4.1.3 で述べたように UI 設計解の小さな差異に基づくバリエーションは、比較対象のどちらを選択してもユーザの機能分類に基づいた UI 設計解を選択したことになり、かつユーザの「心変わり」が計測されていないため、比較対象のどちらにも合理性があると考えられる。以上よりユーザの好みに応じたパーソナライズの対象にするという方針に至り、その妥当性判断の裏付けにはユーザが UI 設計解に対して抱いた使いやすさの計測結果（問2）が利用できる。しかしながら、このようなパーソナライズの対象にすることが望ましい UI 設計解のバリエーションが存在することは、第1の手法および第2の手法を用いたことによって導き出せるものではない。

5.5 まとめ

第5章では、第3章および第4章で述べた UI の一貫性を評価するために開発した2つの手法^{[13][14]}を用いて導き出した UI 設計解が同じ機能に対して異なる場合、これらの UI 設計解に対するユーザの利用意向における「心変わり」を計測するユーザ受容性評価に基づいて UI 設計解を取捨選択する UI 設計最適化を提案した。第3章および第4章と同様にデジタルカメラを題材としてユーザ受容性評価実験を実施し、ユーザが UI 設計解に抱いている合理性の高さをユーザの「心変わり」から見極めることによって UI 設計解を取捨選択できることを明らかにした。

その一方で著者らが開発してきた機能分類に基づいて操作方法を振り分けることによって UI の一貫性を担保する手法では、操作方法分類における差異が小さいため検討すべき点として発見することができない UI 設計解の取捨選択問題の存在が明らかになった。この問題に対する具体的な解決方法を検討することは、今後の課題の1つである。

第6章 結論

本研究では、第3章および第4章で述べたユーザインタフェース（UI: User Interface）の一貫性に基づいてUI設計解を導き出す2つの設計手法と、これらの手法から導き出したUI設計解の採否を判断する第5章で述べたユーザ受容性評価手法を提案してきた。第6章では本研究のこれらの成果についてまとめる。また、今後の課題の1つ「UI設計解を自動的に導き出す試み」について紹介し、本研究の将来的な展望を述べて本論文を結ぶ。

6.1 研究の成果

6.1.1 UIの一貫性に基づいてUI設計解を導き出す2つの設計手法を開発

本研究は、UI設計品質としてのユーザビリティの向上がその大きな目的である。そのため、人間中心設計プロセスに基づくUI設計解の作成とその評価を繰り返すことを前提としたUI設計手法の確立を目指し、その評価対象にUIの一貫性を採用した。UIの一貫性評価では、第3章で述べたように定量的な品質管理を実現するための品質測定量（メトリクス）として設計文書における「機能同士の類似度（ $S_{function}$ ）」および「操作方法同士の類似度（ $S_{interaction}$ ）」をそれぞれ定義した。これらの類似度を用いて機能を分類した結果に基づき、操作方法が振り分けられているか否かという観点でUIの一貫性を判断することを可能にした。また、このUIの一貫性評価に基づいてUI設計解を導き出す第1の手法は、組織導入をやすくするために第1章で掲げた「現場で使える道具」の条件を満足している。その対応関係を表6-1にまとめる。

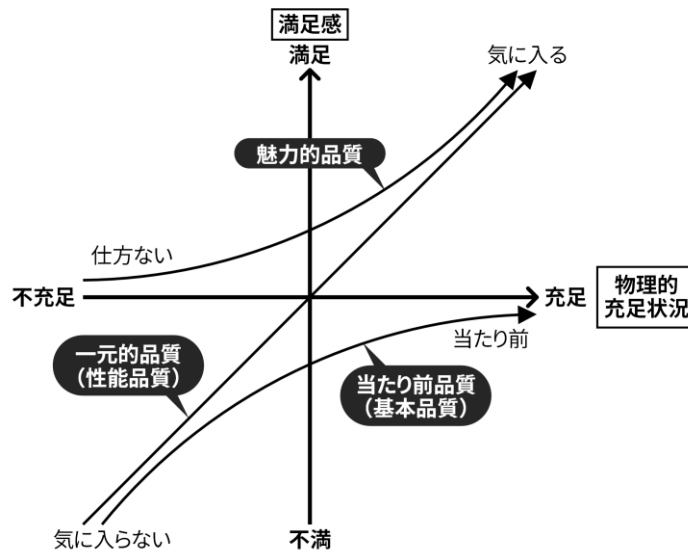
表 6-1 提案手法（第1の手法）の「現場で使える道具」の条件への適合性

条件	判定	判定理由
①評価を自動化する	適合	コサイン類似度に基づいて設計文書を機械的に比較分類して評価する
②成果物を測定する	適合	設計者の成果物である設計文書（機能定義、操作方法概略）を測定する
③概念設計で評価する	適合	設計文書の操作方法概略はUIの詳細設計前の概念設計に相当する

このように第3章で述べた第1の手法は、表6-1に示した特徴を有しているため、設計者がUI設計作業の中でUI設計解を一貫性の観点でセルフチェックしながら最適化することが可能である。一方、第4章で述べた第2の手法は、第1の手法で最適化したUI設計解を導き出すために用いた設計文書同士の比較から得た機能分類が、ユーザ自身による機能分類と一致するかどうかを確認するために実施する。したがって第2の手法は、第1の手法を補足するためのUI設計手法と見做せる。第2の手法では、設計者由来の機能分類とユーザ由来の機能分類との間における一致度合い (M_{mental}) を定義した。 M_{mental} の値が小さい機能は、ユーザの機能分類に基づき操作方法を振り分けてUI設計解を最適化することが可能であるため、 M_{mental} もまたUI設計品質に関するメトリクスと見做せる。

M_{mental} の算出にはユーザに相当する実験協力者を20名程度リクルートする必要があるものの、計算自体は機械的に可能である。また、20名程度という実験協力者は実施困難な人数ではなく、UI設計解の最適化をより確かなものにする効果を踏まえると「現場で使える道具」となり得る。以上のようにUIの一貫性に基づいてUI設計解を導き出す2つの設計手法を開発したことが本研究における成果の1つである。

なお、本研究において提案したUI評価はUIの一貫性を対象としているが、一貫性の他にもUI評価において重視すべきポイントは存在する。例えば、UIの審美性などが挙げられる。提案手法はUIの一貫性が損なわれないようにすることによってユーザの満足度の減少を防ぐ「失点を減らす」アプローチであるのに対して、UIの審美性はそれ自身を高めることによってユーザの満足度を増大させる「得点を増やす」アプローチである。これらの性質の違いは、図6-1に示す顧客の求める品質をモデル化した「狩野モデル」を用いて考えると分かりやすい^[1]。UIの一貫性は、充足されていないとユーザは不満を持つが、充足されたとしてもユーザは積極的に評価することはしない「当たり前品質」に該当する。一方、UIの審美性は、充足されていないとしてもユーザは仕方ないと感じるだけで、充足されるとユーザは積極的に評価する「魅力的品質」に該当する。したがって、本研究の提案手法が評価できるのはUI評価の一側面に限られるということに留意する必要がある。



出典：狩野他 (1984), p.149

図 6-1 顧客の求める品質 (狩野モデル)

6.1.2 UI 設計解の採否を判断するためのユーザ受容性評価手法を開発

6.1.1 で述べた 2 つの設計手法から導き出した UI 設計解は、一致することが望ましいが一致しないこともある。そのような場合、設計者らによるデザインレビューにおける協議で UI 設計解の採否を判断することがある。その際、設計者の知識や経験に頼るだけではなく、実際にユーザに相当する実験協力者によって実施された UI 設計解の比較評価結果に基づく方がより確度の高い採否判断が可能になる。そのため第 5 章で述べた UI 設計解に対するユーザ受容性評価手法を提案した。この評価は、UI 設計解の説明を受けた実験協力者が 3 つの簡単な質問に答えるアンケート形式で実施する。したがって、実験協力者には負担が少なく、実験実施者には多数の評価を一度で収集できるため「現場で使える道具」となり得る。

アンケートのサンプル数は多いに越したことはないが、その目的は UI 設計解の採否判断の材料とすることであり詳細な分析をすることではない。また、設問自体も少ないことから 30 名程度もあれば、目的を果たすことは可能である^[2]。したがって、実施困難な人数ではないことから「現場で使える道具」となり得る。以上のように UI 設計解の採否を判断するためのユーザ受容性評価手法を開発したことが本研究における成果の 1 つである。

6.2 今後の課題

6.2.1 UI 設計解を自動的に導き出す試み

6.1.1 で述べた 2 つの設計手法における UI の一貫性評価は、機能分類に基づいて UI の一貫性を損なう可能性のある操作方法を特定するため、UI 設計における自動チェックツールとしての働きを持つ。この一貫性評価は、警告された機能に対応する操作方法を他のどの機能の操作方法に類似させるべきかについても指し示すことが可能である。設計者は、その評価結果を踏まえて操作方法を見直すことによって、UI の一貫性を担保した UI 設計解を導き出している。このように一貫性を評価した時点でどの操作方法をどのように修正すべきかまで分かっているのであれば、UI 設計解を自動的に修正することも夢ではない。UI 設計の自動化は、製品開発効率を大きく改善し得る技術になると期待される。そこで今後の課題の 1 つ「UI 設計解を自動的に導き出す試み」として試作した UI 設計解を推薦する UI 設計支援システムについて紹介する。その成果は、国際会議論文において報告した^[3]。

試作した UI 設計支援システムの概念図を図 6-2 に示す。このシステムは第 3 章で述べた第 1 の手法を応用し、情報フィルタリング技術の 1 つ協調フィルタリング (collaborative filtering)^[4]と組み合わせることで推薦すべき UI 設計解を導き出す。

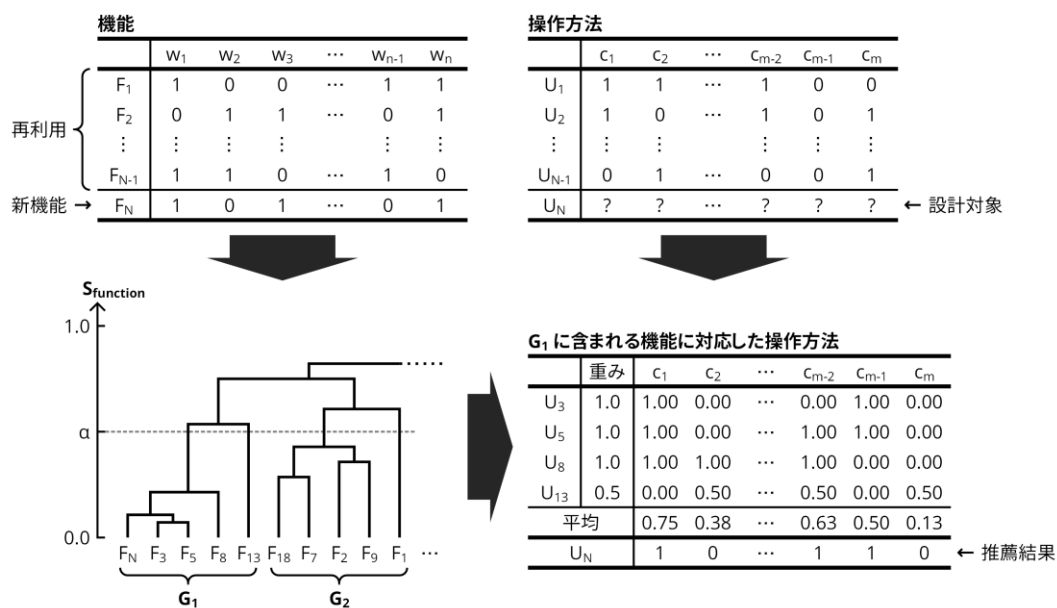


図 6-2 UI 設計支援システム

例えば、ある製品の搭載機能総数を N としたとき、定義済みの機能 $F_1 \sim F_{N-1}$ に対応した操作方法 $U_1 \sim U_{N-1}$ についても設計完了しているものとする。ここで新機能 F_N を定義して、それに対応する操作方法 U_N を自動的に導き出す手順は次の通りである。

手順 1: 第 1 の手法を用いて新機能 F_N が属する機能群 (G_1) を特定する。

手順 2: G_1 に含まれる F_N 以外の機能 (F_3, F_5, F_8, F_{13}) に対応した操作方法 (U_3, U_5, U_8, U_{13}) をピックアップする。

手順 3: 第 1 の手法で機能同士の類似判定基準 α によって F_N と類似していると判定される機能 (F_3, F_5, F_8) に対応した操作方法 (U_3, U_5, U_8) には重み 1.0 をかけて、 F_N と非類似していると判定される機能 F_{13} に対応した操作方法 U_{13} には重み 0.5 をかける。

手順 4: それぞれ重みをかけた操作方法 (U_3, U_5, U_8, U_{13}) の各部品 $c_1 \sim c_m$ 毎の平均値を算出する。

手順 5: 手順 4 で算出した平均値が 0.5 以上の部品は“1”，平均値が 0.5 未満の部品は“0”とする。ただし、第 1 の手法で規定した 16 種類の特徴毎に部品が 1 つも“1”とならない場合は、平均値が 0.5 未満であってもその特徴内で最大の値を有する部品を“1”とする。

手順 6: 手順 5 で得られた部品の値 (“1”または“0”) で表現される多次元ベクトルを設計対象である操作方法 U_N として推薦する。

この UI 設計支援システムは、UI 設計解を推薦するためにある程度、機能とそれに対応した操作方法を予め定義しておく必要がある。そのため、コンシューマ向けの家電製品のよう従来製品をベースに一部を改良して新製品を開発する派生開発への適用が期待できる^[5]。そこで試作した UI 設計支援システムでは、本研究の評価実験に用いた仮想のデジタルカメラに対して 41 種類目の新機能「 F_{41} : クロップ撮影」を追加すると仮定して、その操作方法を残りの 40 種類の機能とそれに対応した操作方法から推薦させるという実験を行った。

評価実験では推薦性能を評価するため、設計者によって「 F_{41} : クロップ撮影」機能に対応した操作方法 U'_{41} を予め設計しておき、推薦結果 U_{41} との差を第 1 の手法で定義した操作方法同士の類似度 $S_{interaction}(U_{41}, U'_{41})$ を用いて評価した。また、「 F_{41} : クロップ撮影」機能だけではなく他の機能 ($F_1 \sim F_{40}$) についても同様の方法で、選択した機能を除いた 40 種類の機能とそれに対応した操作方法から選択した機能の操作方法を推薦させ、選択した機能に対応した操作方法と推薦結果とを比較した。その結果を表 6-2 および図 6-3 に示す。

表 6-2 デジタルカメラの 41 機能に対する操作方法の推薦結果

機能		距離	機能		距離	機能		距離			
G ₁	F ₁	露出補正	0.17	G ₃	F ₁₃	フォーカスモード	0.12	G ₅	F ₃₄	画像消去	0.15
	F ₂	Pモード	0.06		F ₁₄	測距点	0.12		F ₃₅	画像プロテクト	0.15
	F ₃	Tvモード	0.06	F ₈	フラッシュモード	0.31	G ₆	F ₂₂	日時設定	0.16	
	F ₄	Avモード	0.00	F ₉	セルフタイマー	0.05		F ₂₃	言語設定	0.16	
	F ₅	Mモード	0.14	F ₁₀	リモコン	0.05	F ₂₄	カードフォーマット	0.27		
	F ₆	ISO感度	0.21	F ₁₁	連写	0.10	G ₇	F ₃₀	画像表示	0.28	
	F ₂₁	AELock	0.18	F ₁₂	単写	0.00		F ₃₁	画像拡大表示	0.27	
G ₂	F ₇	ホワイトバランス	0.45	G ₄	F ₁₈	インターバル撮影		0.13	F ₃₂	画像情報表示	0.24
	F ₁₅	測光モード	0.09		F ₁₉	多重露出		0.13	F ₃₃	画像一覧表示	0.32
	F ₁₆	記録サイズ	0.00		F ₂₀	ブラケット撮影		0.16	F ₃₈	動画再生	0.45
	F ₁₇	画質	0.00		F ₂₆	動画モード		0.45		最大	0.56
	F ₂₅	手ぶれ補正	0.00		F ₃₆	トリミング	0.40		最小	0.00	
	F ₂₇	フレームレート	0.00		F ₃₇	リサイズ	0.47		平均 (AVG)	0.19	
	F ₂₈	動画記録サイズ	0.00		F ₃₉	動画編集	0.56		標準偏差 (SD)	0.16	
	F ₂₉	記録音量設定	0.36		F ₄₀	画像回転表示	0.42				
F ₄₁	クロップ撮影	0.00									

U_i: 機能 F_i に対応した操作方法 (推薦結果)
 U_j: 機能 F_i に対応した操作方法 (設計者による定義)
 距離 = S_{interaction} (U_i, U_j) ※ 0.00 ≤ 距離 ≤ 1.00

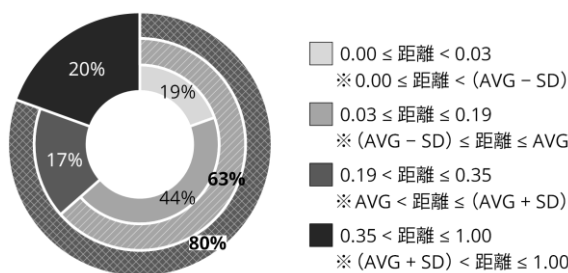


図 6-3 距離別の機能数分布

実験の結果, UI 設計支援システムがデジタルカメラの 41 機能に対応する操作方法として推薦した結果と, 設計者が予め設計した操作方法との間の平均距離は 0.19 (標準偏差 0.16) であった。距離の値域は $0 \leq S_{\text{interaction}} \leq 1$ であるため, この平均距離 0.19 および平均距離に標準偏差を加算した距離 0.35 は, いずれも小さい値と見做せる。また, 推薦結果の約 63% が距離 0.19 以下であり, 約 80% が距離 0.35 以下であった。したがって, UI 設計支援システムの推薦性能として良好な結果が得られたと考えられる。

ところで, 距離が 0.00 となった推薦結果は 8 機能 (F₄, F₁₂, F₁₆, F₁₇, F₂₅, F₂₇, F₂₈, F₄₁) であった。これらの機能に対応する推薦結果は, 設計者が設計した操作方法と一致しているため, 推薦結果を手直しせずにそのまま採用することができる。したがって UI 設計解を自動生成したと見做せる。これに対して, 残りの機能に対応する推薦結果は, 何らかの手直しをしないと採用することができないため, 操作方法の推薦による UI 設計支援の役割

は果たせても UI 設計の自動化の役割までは果たせていない。したがって、推薦性能のさらなる向上が課題である。

6.2.2 本研究の将来的な展望

6.2.1 では今後の課題の一例として「UI 設計解を自動的に導き出す試み」を紹介した。現時点では操作方法の推薦による UI 設計支援の見通しがついた一方で、UI 設計の自動化には推薦性能のさらなる向上が必要不可欠である。この解決には、近年様々な応用分野での成果が報告されている深層学習 (deep learning) に代表される AI 技術を提案システムに取り入れることが有望と考える^[6]。なぜならば、本研究の中核を担う第 3 章で述べた第 1 の手法は、評価すべき機能および操作方法をそれぞれ多次元ベクトルで表現して計算するため、ベクトルモデルとして実装される深層学習との相性が良いと考えられるからだ。したがって、深層学習を採用するためには多数の学習データが必要となるので、効率的な学習データの収集方法を検討することが当面の課題である。

また、本研究における評価実験では、仮想のデジタルカメラを題材として提案手法の有効性および妥当性を議論してきた。今後、デジタルカメラ以外の応用分野への適用事例を増やし、第 3 章～第 5 章において残された諸課題の解決を目指していきたい。以上のように、これからも UI 設計品質の向上を目指して研究に邁進していく所存である。

謝辞

本研究を学位論文として提出するにあたり、多くの方々のご指導ご鞭撻を賜った。

東京電機大学大学院先端科学技術研究科情報学専攻教授 神戸英利先生には、指導教員として本研究の遂行にあたり終始ご指導を頂いた。ここに深謝の意を表す。同専攻教授 山口正二先生、同専攻教授 松浦昭洋先生、ならびに同専攻准教授 勝本雄一朗先生には、副査としてご助言を頂くとともに本論文の細部にわたりご指導を頂いた。ここに深謝の意を表す。

東京電機大学名誉教授 小泉寿男先生には、本研究の実施の機会を与えて頂き、学術論文投稿・国際会議発表など研究活動全般においてご指導を頂いた。ここに深謝の意を表す。東京電機大学大学院先端科学技術研究科情報学専攻教授 柏崎尚也先生には、本研究の第5章の実験に関して感性工学の視点から有益なご助言を頂くとともにご指導を頂いた。ここに深謝の意を表す。岩手県立大学名誉教授 澤本潤先生には、本研究の国際会議発表に関して有益なご助言を頂くとともにご指導を頂いた。ここに深謝の意を表す。

所属元のリコーイメージング株式会社開発統括部統括部長 稲塚雅弘氏には、学位取得に関してご理解を頂いた。ここに感謝の意を表す。株式会社リコー 永島浩二氏には、本研究の成果の特許出願およびその権利化に関してご協力を頂いた。ここに感謝の意を表す。元リコーイメージング株式会社開発統括部統括部長 北沢利之氏には、本研究の実施に関してご理解を頂いた。ここに感謝の意を表す。

友人の和田武尚氏ならびに松本邦愛氏には、本研究の遂行にあたり有益なご討論ご助言を頂くとともに折に触れて学位取得への激励を頂いた。ここに感謝の意を表す。

最後に、著者の良き理解者かつ支援者として、一連の研究活動に対して関心を寄せながらもその成果を見届けることなく逝去した祖父 中原徹に本論文を捧げ、これまでのご恩情に深謝の意を表す。

参考文献

第 1 章

- [1] 戸沢充則：「道具と人類史」，新泉社（2012）
- [2] 総務省：「デジタル・デバイドの解消」，平成 23 年版情報通信白書，pp. 89–126（2011）
- [3] ISO 9241-110: “Ergonomics of human-system interaction—Part 110: Interaction principles” (2020)
- [4] ISO 9241-112: “Ergonomics of human-system interaction—Part 112: Principles for the presentation of information” (2017)
- [5] ISO/IEC 25010: “Systems and software engineering—Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)—System and software quality models” (2011)
- [6] 独立行政法人情報処理推進機構：「つながる世界のソフトウェア品質ガイド」(2015)
- [7] ISO 9241-210: “Ergonomics of human-system interaction—Part 210: Human-centred design for interactive systems” (2019)
- [8] 中島毅・山田淳・福住伸一：「品質に対応したプロセスデザイン」，情報処理，Vol. 55, No. 1, pp. 51–57 (2014)
- [9] J. Grudin: “The Case Against User Interface Consistency”, *Communications of the ACM*, Vol. 32, No. 10, pp. 1164–1173 (1989)
- [10] 守屋慎次・中谷吉久：「コマンド操作の一貫性と区分情報」，情報処理学会論文誌，Vol. 32, No. 11, pp. 1432–1444 (1991)
- [11] 徳永健伸：「情報検索と言語処理」，東京大学出版会（1999）
- [12] 岡本鉄兵：「機器操作一貫性の定量的評価に基づくユーザインタフェース設計手法」，電気学会論文誌 C（電子・情報・システム部門誌），Vol. 137, No. 6, pp. 779–789 (2017)
- [13] ジェームズズカールバック（著）・長谷川敦士・浅野紀子（監訳）・児島修（訳）：「デザイン・ウェブナビゲーション：最適なユーザーエクスペリエンスの設計」，pp. 178–180，オライリー・ジャパン（2009）
- [14] 岡本鉄兵・神戸英利・小泉寿男：「メンタルモデルの定量的評価に基づくユーザインタフェース設計手法」，電気学会論文誌 C（電子・情報・システム部門誌），Vol. 140, No. 6, pp. 609–619 (2020)
- [15] F. D. Davis, R. P. Bagozzi, and P. R. Warshaw: “User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models”, *Management Science*, Vol. 35, No. 8, pp. 982–1003 (1989)
- [16] 岡本鉄兵・柏崎尚也・神戸英利・小泉寿男：「ユーザ受容性評価によるユーザインタフェースの一貫性設計の最適化」，電気学会論文誌 C（電子・情報・システム部門誌），Vol. 141, No. 11, pp. 1185–1196 (2021)
- [17] T. Okamoto, N. Kashiwazaki, H. Kambe, J. Sawamoto, and H. Koizumi: “Prototype System for User-Interface-Design Recommendation Using Collaborative Filtering”, *Proceedings of 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2020)*, pp. 921–924 (2020)

第2章

- [1] J. Grudin: “The Case Against User Interface Consistency”, *Communications of the ACM*, Vol. 32, No. 10, pp. 1164–1173 (1989)
- [2] R. Krause: “Maintain Consistency and Adhere to Standards (Usability Heuristic #4)”, <https://www.nngroup.com/articles/consistency-and-standards/> (2021)
- [3] CIPA DCG-003 : 「デジタルカメラの図記号に関するガイドライン」(2009)
- [4] 今宮淳美: 「人間とコンピュータの認知的共生のためのユーザインタフェース設計」, 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 6, pp. 709–712 (1993)
- [5] 広川美津雄・井上勝雄・岩城達也・加島智子: 「直感的インタフェースデザインの設計論の基礎的考察—体制化と親近性の視点からのアプローチ—」, 日本感性工学会論文誌, Vol. 13, No. 5, pp. 543–554 (2014)
- [6] ISO 9241-11: “Ergonomics of human-system interaction—Part 11: Usability: Definitions and concepts” (2018)
- [7] JIS Z 8521: 「人間工学—人とシステムとのインタラクション—ユーザビリティの定義及び概念」(2020)
- [8] M. Kurosu and A. Hashizume: “Describing Experiences in Different Modes of Behavior—GOB, POB and SOB—”, *International Journal of Affective Engineering*, Vol. 12, No. 2, pp. 291–298 (2013)
- [9] ISO/IEC 25010: “Systems and software engineering—Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)—System and software quality models” (2011)
- [10] JIS X 25010 : 「システム及びソフトウェア製品の品質要求及び評価 (SQuaRE) —システム及びソフトウェア品質モデル」(2013)
- [11] ISO/IEC 25020: “Systems and software engineering—Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)—Quality measurement framework” (2019)
- [12] ISO/IEC 25021: “Systems and software engineering—Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)—Quality measure elements” (2012)
- [13] 阿萬裕久・野中誠・水野修: 「ソフトウェアメトリクスとデータ分析の基礎」, コンピュータソフトウェア, Vol. 28, No. 3, pp. 12–28 (2011)
- [14] ISO 9241-210: “Ergonomics of human-system interaction—Part 210: Human-centred design for interactive systems” (2019)
- [15] JIS Z 8530 : 「人間工学—人とシステムとのインタラクション—インタラクティブシステムの人間中心設計」(2021)
- [16] 黒須正明: 「人間中心設計のプロセス」, 人間中心設計の基礎, pp. 67–83, 近代科学社 (2013)

第3章

- [1] 独立行政法人情報処理推進機構: 「組込みソフトウェア開発データ白書 2015」(2015)
- [2] 独立行政法人情報処理推進機構: 「改訂版 組込みソフトウェア開発向け品質作り込みガイド」(2012)
- [3] ISO/IEC 25010: “Systems and software engineering—Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)—System and software quality models” (2011)

- [4] ISO/IEC 25021: “Systems and software engineering—Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)—Quality measure elements” (2012)
- [5] 独立行政法人情報処理推進機構：「つながる世界のソフトウェア品質ガイド」(2015)
- [6] 経済産業省ソフトウェアメトリクス高度化プロジェクトプロセスメトリクス WG：「定量的マネジメントのための公開データ利用ガイド」(2010)
- [7] 経済産業省ソフトウェアメトリクス高度化プロジェクトプロダクト品質メトリクス WG：「システム及びソフトウェア品質の見える化，確保及び向上のためのガイド」(2010)
- [8] 森俊樹・櫻庭紀子・中野隆司：「ソフトウェア品質技術の開発と適用」，東芝レビュー，Vol. 61, No. 1, pp. 26–31 (2006)
- [9] S. Chuang, T. Luor, and H. Lu: “Assessment of institutions, scholars, and contributions on agile software development (2001–2012)”, *The Journal of Systems and Software*, Vol. 93, pp. 84–101 (2014)
- [10] O. Salo and P. Abrahamsson: “Agile methods in European embedded software development organisations: a survey on the actual use and usefulness of Extreme Programming and Scrum”, *IET Software*, Vol. 2, No. 1, pp. 58–64 (2008)
- [11] M. Kaisti, V. Rantala, T. Mujunen, S. Hyrynsalmi, K. Könnölä, T. Mäkilä, and T. Lehtonen: “Agile methods for embedded systems development—a literature review and a mapping study”, *EURASIP Journal on Embedded Systems* (2013)
- [12] J. Ard, K. Davidsen, and T. Hurst: “Simulation-Based Embedded Agile Development”, *IEEE Software*, Vol. 31, No. 2, pp. 97–101 (2014)
- [13] 小堀一雄・山本哲男・松下誠・井上克郎：「類似度メトリクスを用いた Java ソースコード間類似度測定ツールの試作」，電子情報通信学会技術研究報告，SS2003-2, Vol. 103, No. 102, pp. 7–12 (2003)
- [14] 海谷治彦・長田晃・原賢一郎・海尻賢二：「要求変更によるソースコードへのインパクトを分析するシステムの開発と評価」，電子情報通信学会論文誌 D (情報・システム)，Vol. J93-D, No. 10, pp. 1822–1835 (2010)
- [15] J. Grudin: “The Case Against User Interface Consistency”, *Communications of the ACM*, Vol. 32, No. 10, pp. 1164–1173 (1989)
- [16] 守屋慎次・中谷吉久：「コマンド操作の一貫性と区分情報」，情報処理学会論文誌，Vol. 32, No. 11, pp. 1432–1444 (1991)
- [17] 米村俊一・浜田洋・徳永幸生・岡崎哲夫：「操作手順の言語的な記述に基づくユーザインタフェース設計法」，情報処理学会論文誌，Vol. 41, No. 1, pp. 148–157 (2000)
- [18] J. O. Borchers: “A Pattern Approach to Interaction Design”, *AI & SOCIETY*, Vol. 15, No. 4, pp. 359–376 (2001)
- [19] 草野孔希・中谷桃子・大野健彦：「UI-Filler：シナリオに基づく対話型 UI 設計支援ツール」，情報処理学会論文誌，Vol. 55, No. 2, pp. 1016–1025 (2014)
- [20] 土井俊央・石原啓介・山岡俊樹：「ユーザインタフェースにおけるユーザのメンタルモデル構築度合想定のためのアンケートの提案」，デザイン学研究，Vol. 60, No. 4, pp. 69–76 (2013)

- [21] S. Viswanathan and J. C. Peters: “Automating UI Guidelines Verification by Leveraging Pattern Based UI and Model Based Development”, CHI ’10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI 2010), pp. 4733–4742 (2010)
- [22] N. Harrati, I. Bouchrika, A. Tari, and A. Ladjailia: “Automating the Evaluation of Usability Remotely for Web Applications via a Model-Based Approach”, Proceedings of 2015 First International Conference on New Technologies of Information and Communication (NTIC 2015), (2015)
- [23] 徳永健伸:「情報検索と言語処理」, 東京大学出版会 (1999)
- [24] 相澤彰子:「共起に基づく類似性尺度」, オペレーションズ・リサーチ:経営の科学, Vol. 52, No. 11, pp. 706–712 (2007)
- [25] 楠見孝:「インタフェースデザインにおけるメタファ:デスクトップから仮想空間,そして言語への回帰」, デザイン学研究, Vol. 10, No. 1, pp. 64–73 (2002)
- [26] 広川美津雄・井上勝雄・岩城達也・加島智子:「直感的インタフェースデザインの設計論の基礎的考察—体制化と親近性の視点からのアプローチ—」, 日本感性工学会論文誌, Vol. 13, No. 5, pp. 543–554 (2014)
- [27] 齋藤堯幸・宿久洋:「関連性データの解析法」, 共立出版 (2006)
- [28] 中島毅・山田淳・福住伸一:「品質に対応したプロセスデザイン」, 情報処理, Vol. 55, No. 1, pp. 51–57 (2014)

第4章

- [1] 独立行政法人情報処理推進機構:「組込みソフトウェア開発データ白書 2017」, p. 42 (2017)
- [2] D. A. Norman: “Some Observations on Mental Models”, in D. Gentner and A. L. Stevens (eds.), *Mental Models*, pp. 7–14, Lawrence Erlbaum Associates (1983)
- [3] 岡本鉄兵:「機器操作一貫性の定量的評価に基づくユーザインタフェース設計手法」, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 137, No. 6, pp. 779–789 (2017)
- [4] J. M. Carroll and J. R. Olson: “Mental Models in Human-Computer Interaction”, in M. Helander (ed.), *Handbook of Human-Computer Interaction*, pp. 45–65, Elsevier (1988)
- [5] C. M. Calongne: “Designing for web site usability”, *Journal of Computing Sciences in Colleges*, Vol. 16, No. 3, pp. 39–45 (2001)
- [6] ジェームズカールバック (著)・長谷川敦士・浅野紀子 (監訳)・児島修 (訳):「デザイン・ウェブナビゲーション:最適なユーザーエクスペリエンスの設計」, pp. 178–180, オライリー・ジャパン (2009)
- [7] 土井俊央・石原啓介・山岡俊樹:「ユーザインタフェースにおけるユーザのメンタルモデル構築度合想定のためのアンケートの提案」, デザイン学研究, Vol. 60, No. 4, pp. 69–76 (2013)
- [8] 森亮太:「カップ係数を用いたメンタルモデル計測手法の提案」, 日本感性工学会論文誌, Vol. 15, No. 4, pp. 537–543 (2016)
- [9] J. M. Carroll, R. L. Mack, and W. A. Kellogg: “Interface Metaphors and User Interface Design”, in M. Helander (ed.), *Handbook of Human-Computer Interaction*, pp. 67–85, Elsevier (1988)

- [10] 楠見孝:「インタフェースデザインにおけるメタファ:デスクトップから仮想空間,そして言語への回帰」, デザイン学研究, Vol. 10, No. 1, pp. 64-73 (2002)
- [11] 広川美津雄・井上勝雄・岩城達也・加島智子:「直感的インタフェースデザインの設計論の基礎的考察—体制化と親近性の視点からのアプローチ—」, 日本感性工学会論文誌, Vol. 13, No. 5, pp. 543-554 (2014)
- [12] K. Zhang and D. Shasha: “Simple fast algorithms for the editing distance between trees and related problems”, *SIAM Journal on Computing*, Vol. 18, No. 6, pp. 1245-1262 (1989)
- [13] P. Bille: “A survey on tree edit distance and related problems”, *Theoretical Computer Science*, Vol. 337, No. 1-3, pp. 217-239 (2005)
- [14] 西干機:「デザインレビューの標準化について」, 日本信頼性学会誌, Vol. 32, No. 4, pp. 200-207 (2010)
- [15] T. Tullis and L. Wood: “How Many Users Are Enough for a Card-Sorting Study?”, *Proceedings of Usability Professionals Association Conference (UPA 2004)*, (2004)
- [16] J. Nielsen: “Card Sorting: How Many Users to Test”, <https://www.nngroup.com/articles/card-sorting-how-many-users-to-test/> (2004)

第5章

- [1] J. Grudin: “The Case Against User Interface Consistency”, *Communications of the ACM*, Vol. 32, No. 10, pp. 1164-1173 (1989)
- [2] 今宮淳美:「人間とコンピュータの認知的共生のためのユーザインタフェース設計」, 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 6, pp. 709-712 (1993)
- [3] 広川美津雄・井上勝雄・岩城達也・加島智子:「直感的インタフェースデザインの設計論の基礎的考察—体制化と親近性の視点からのアプローチ—」, 日本感性工学会論文誌, Vol. 13, No. 5, pp. 543-554 (2014)
- [4] Microsoft Corporation: 「Windows アプリの設計とコーディング」, <https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/uwp/design/> (参照 2021-01-04)
- [5] Apple Inc.: “Human Interface Guidelines”, <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/> (Retrieved on Jan 4, 2021)
- [6] Google LLC: “Design guidance and code”, <https://material.io/> (Retrieved on Jan 4, 2021)
- [7] 八木佐知子・宮崎一哉・坂下善彦:「UI 評価技法の検討」, 情報処理学会研究報告, HI-035, pp. 123-130 (1991)
- [8] 米村俊一・浜田洋・徳永幸生・岡崎哲夫:「操作手順の言語的な記述に基づくユーザインタフェース設計法」, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 1, pp. 148-157 (2000)
- [9] J. O. Borchers: “A Pattern Approach to Interaction Design”, *AI & SOCIETY*, Vol. 15, No. 4, pp. 359-376 (2001)
- [10] 神場知成・橋本治:「マルチビューモデルに基づくユーザインタフェース設計ツール U-face」, 情報処理学会論文誌, Vol. 34, No. 1, pp. 167-176 (1993)
- [11] 岡田英彦・旭敏之:「GUI 設計の一貫性を評価するツール『GUI テスタ II』の提案」, 情報処理学会研究報告, HI-073, pp. 7-12 (1997)

- [12] S. Viswanathan and J. C. Peters: “Automating UI Guidelines Verification by Leveraging Pattern Based UI and Model Based Development”, CHI ’10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI 2010), pp. 4733–4742 (2010)
- [13] 岡本鉄兵:「機器操作一貫性の定量的評価に基づくユーザインタフェース設計手法」, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 137, No. 6, pp. 779–789 (2017)
- [14] 岡本鉄兵・神戸英利・小泉寿男:「メンタルモデルの定量的評価に基づくユーザインタフェース設計手法」, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 140, No. 6, pp. 609–619 (2020)
- [15] F. D. Davis, R. P. Bagozzi, and P. R. Warshaw: “User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models”, *Management Science*, Vol. 35, No. 8, pp. 982–1003 (1989)
- [16] D. A. Norman: “Some Observations on Mental Models”, in D. Gentner and A. L. Stevens (eds.), *Mental Models*, pp. 7–14, Lawrence Erlbaum Associates (1983)

第 6 章

- [1] 狩野紀昭・瀬楽信彦・高橋文夫・辻新一:「魅力的品質と当り前品質」, 品質, Vol. 14, No. 2, pp. 147–156 (1984)
- [2] 今里健一郎:「Excel で手軽にできるアンケート解析:研修効果測定から ISO 関連のお客様満足度測定まで」, pp. 120–121, 日本規格協会 (2008)
- [3] T. Okamoto, N. Kashiwazaki, H. Kambe, J. Sawamoto, and H. Koizumi: “Prototype System for User-Interface-Design Recommendation Using Collaborative Filtering”, Proceedings of 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2020), pp. 921–924 (2020)
- [4] J.B. Schafer, D. Frankowski, J. Herlocker, and S. Sen: “Collaborative filtering recommender systems”, in P. Brusilovsky, A. Kobsa, and W. Nejdl (eds.), *The Adaptive Web*, pp. 291–324, Springer (2007)
- [5] 派生開発推進協議会:「派生開発とは」, <https://affordd.jp/derivative-development/> (参照 2021-09-28)
- [6] X. He, L. Liao, H. Zhang, L. Nie, X. Hu, and T. Chua: “Neural Collaborative Filtering”, Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web (WWW 2017), pp. 173–182 (2017)

研究業績

原著論文

- [1] 岡本鉄兵：「機器操作一貫性の定量的評価に基づくユーザインタフェース設計手法」, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 137, No. 6, pp. 779–789 (2017)
- [2] 岡本鉄兵・神戸英利・小泉寿男：「メンタルモデルの定量的評価に基づくユーザインタフェース設計手法」, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 140, No. 6, pp. 609–619 (2020)
- [3] 岡本鉄兵, 柏崎尚也, 神戸英利, 小泉寿男：「ユーザ受容性評価によるユーザインタフェースの一貫性設計の最適化」, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol.141, No.11, pp.1185–1196 (2021)

国際会議論文

- [1] T. Okamoto, N. Kashiwazaki, H. Kambe, J. Sawamoto, and H. Koizumi: “Prototype System for User-Interface-Design Recommendation Using Collaborative Filtering”, Proceedings of 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2020), pp. 921–924 (2020)

特許

- [1] 岡本鉄兵：「要素評価方法, 要素評価システム及び要素評価プログラム」, 特許第 6647679 号 (2016)