

# 多機能機器における事前知識の影響分析と 探索的な操作発見支援への応用

(Operational Knowledge Transfer Influenced by Experienced Appliances,  
and its Application to Assist the Exploratory Operation )

たかた かずとよ

高田 和豊

2013 年 9 月

広島大学大学院工学研究科

# 内容梗概

本研究は、機器乗換え時において、ユーザの一つ前の使用機器の影響を分析し、最終的にはユーザの事前知識に応じた操作支援方法を実施可能にしたものである。

近年、デジタル技術やネットワーク技術の進展に伴い、家電機器の多機能化が進んでいる。このような多機能機器の操作方法はユーザにとって学習可能な知識であり、設計者はユーザの学習量を減らすようにインタフェース設計を工夫する。そのため、同じメーカー間で機種変更を行う場合は、変更前の操作知識を再利用することができ、ユーザは少ない学習で変更後の機器操作を習得することができる。しかし、他メーカーの機器へ機種変更した時（機器乗換え時）には、同じ機能に対して利用する操作知識が大きく変化するため、ユーザはそれまで持っていた操作知識を適用することができず、操作性が大きく低下するという問題が生じてしまう。

機器乗換え時には、人側、または機器側だけを最適化する設計思想では、機器乗換え時の誤操作は防止できない。なぜなら、機器利用経験とその操作知識がユーザ毎に異なるため、ユーザは必ずしも新しく使う機器の正しい操作を想起できないからである。特に新しく機器を使い始める場面ではその傾向が顕著になり、最初に使えない機能はその後使われなくなるといった弊害をもたらしてしまう。この課題を解決するためには、機器がユーザの持つ事前知識に応じて操作支援を行う必要がある。

本研究は、このような問題意識の元に、機器の乗換え時の操作性向上を目的とし、ユーザの乗換え前に使用していた機器の操作知識が乗換え後の操作に与える影響を分析し、適応的な操作支援方法及び探索的な操作発見方法を構築した研究である。

以下に、本論文の各章の内容を示す。

第1章では、この研究の目的と意義と概要、そして研究背景として関連研究を説明する。

第2章では、まず初めに、ユーザの事前知識を各ユーザが機器乗換え前に使用していた機器のルールを持つもの（操作モデル）と定義し、新しく利用する機器の動作モデルとユーザの操作モデルが異なる箇所には、ユーザの事前知識ごとに異なる誤操作が発生するはずであるという仮説を立て、この仮説の妥当性を検証した。このモデルが有効であれば、新しく利用する機器の動作モデルとユーザの操作モデルが異なる箇所には誤操作が発生するはずである。また、誤操作が発生する場合であっても、異なる操作モデルを持つユーザは、必ずしも同じ内容の誤操作にはならないと推測できる。もし、誤操作の内容が操作モデルによって異なれば、誤操作からユーザの操作モデルを推定することができ、推定したモデルに合わせた操作支援が可能になると考えられる。そこで、第2章では機器乗換え時における操作モデルの妥当性を検証する。具体的には、複数のDVDレコーダを題材に、機

器間の相互の乗換え時の誤操作パターンを分析し、正解操作は一つでも、事前知識によって誤操作が複数通りに発生することを示す。また、事前知識によって引き起こされる誤操作は、すべての機能に対して均等に発生するわけではなく、新しく追加された機能で、かつ、機種ごとに異なる操作手順を持つボタン操作において発生しやすいことを明らかにし、これらの誤操作パターンによればユーザの事前知識が推定でき、この推定結果から適応的な操作支援が実現できる可能性を示す。

第 3 章では、機器乗換え時の誤操作に対する効率的な支援策として、探索的な操作発見が可能な教示方法を提案する。第 2 章では、ユーザの操作モデルを推定することで、事前知識が異なるユーザに対して適応的な操作支援を行う可能性を示した。一方、より効率的な支援としては、教示によって探索的に操作発見を促す方法が考えられる。操作方法を発見するためには、ユーザは操作対象に対する事前知識や期待に基づいて探索的に機器とのインタラクションを行うと考えられる。この時、正しい操作方法が発見できるかどうかは良質な探索的操作を持続できるかに依存する。そこで、本章では第 2 章で題材とした DVD レコーダの操作知識を分類し、教示内容を現在の機器状態を示す画面やインジケータ表示の意味に関する「状態理解」の知識と、どのリモコン操作によって機器状態がどう変化するかに関する「状態遷移」の知識に分け、それぞれの教示が探索の持続性に及ぼす影響を操作性評価実験により検証した。実験結果より、機器状態を示す画面やインジケータ表示の意味に関する「状態理解」の教示が持続的な探索に最も有効であることを示す。

第 4 章では、操作対象の機器を DVD レコーダからタブレット PC に置き換え、第 2 章で提案した操作モデルの適用範囲を検証する。タブレット PC のタッチ操作は、DVD レコーダのリモコン操作とは異なり、ボタン形状やラベルを使って操作を予測することが少ないという特徴を持つ。そのため、リモコン操作と比較して、より事前知識の影響を強く受けた誤操作が発生すると予想される。もし、タブレット PC においても一つ前の使用機器によって誤操作の傾向が異なれば、第 2 章および第 3 章で提案した操作支援方法が適用できると考えられる。そこで第 4 章では、複数のタブレット PC を題材に、機器間の相互の乗換え時の誤操作パターンを分析し、DVD レコーダと同様に、誤操作は他機能へ切替える場面において発生しやすく、その誤操作の内容は事前知識によって複数通りに発生することを示す。また、探索過程を分析することで、未知のジェスチャ操作を探索的に発見することは難しく、タブレット PC の操作性低下の要因の一つになっていることを示す。

そして最後に、第 5 章で本研究のまとめを行い、その成果について考察する。

# 目次

内容梗概 .....	i
目次.....	iii
図目次 .....	v
表目次 .....	vi
1. 序論 .....	1
1.1. 本研究の目的と意義.....	1
1.2. 研究背景.....	2
1.3. 研究概要.....	3
2. 事前知識の影響分析と操作支援への応用 .....	6
2.1. 操作モデルの定義 .....	6
2.2. 実験 1:事前知識が操作パターンに与える影響の観察 .....	7
2.2.1. 実験目的.....	7
2.2.2. 実験方法.....	7
2.2.3. 実験結果と事前使用機器の影響の確認 .....	10
2.2.4. 誤操作の要因と誤操作パターンの違い .....	11
2.3. 実験 2:事前知識による誤操作パターンの違いの統計的検証 .....	12
2.3.1. 実験目的.....	12
2.3.2. 実験方法.....	13
2.3.3. 実験結果.....	15
2.4. 事前知識を用いた操作支援に関するシミュレーション評価実験 .....	16
2.4.1. 実験目的.....	16
2.4.2. 実験方法.....	17
2.4.3. 実験結果.....	18
2.5. 操作支援への応用 .....	19
2.6. むすび .....	20
3. 教示による操作発見支援.....	22
3.1. 操作概念と探索過程.....	22
3.1.1. DVD レコーダにおける操作概念の定義 .....	22
3.1.2. 探索的インタラクション .....	24
3.2. 操作概念教示実験 .....	25
3.2.1. 実験目的.....	25
3.2.2. 実験方法.....	25

3.2.3.	実験結果 1 : 操作正解率の比較.....	30
3.2.4.	実験結果 2 : 探索過程の比較.....	32
3.3.	考察.....	33
3.3.1.	教示概念が操作発見率に与える影響.....	33
3.3.2.	操作概念が探索過程に与える影響.....	34
3.3.3.	教示による操作支援への応用.....	36
3.4.	むすび.....	36
4.	ジェスチャ操作への応用.....	38
4.1.	タブレット PC における操作モデル.....	38
4.2.	実験.....	40
4.2.1.	実験目的.....	40
4.2.2.	実験方法.....	41
4.2.3.	実験結果.....	44
4.2.4.	誤操作要因の分析.....	48
4.2.5.	考察.....	50
4.2.6.	むすび.....	51
第 5 章	結論.....	53
参考文献	.....	55
謝辞	.....	58

## 図目次

図 1 機器乗換え時の操作モデルの影響.....	6
図 2 リモコンインタフェースの違い .....	8
図 3 教示グループ別の正解率遷移図.....	10
図 4 リモコンインタフェースの違い .....	13
図 5 アンケートの一例 .....	14
図 6 DVD レコーダにおける操作概念.....	23
図 7 操作概念と探索過程.....	25
図 8 実験に用いたリモコン .....	27
図 9 概念説明.....	28
図 10 教示前後の正解率の比較 .....	32
図 11 操作ボタンの時系列変化(Q1) .....	34
図 12 アプリケーション選択の概念図 .....	39
図 13 タブレット PC の画面遷移 .....	40
図 14 インタラクシオンデザインの概念図 .....	41
図 15 実験装置の配置.....	42
図 16 教示用紙の一例 .....	43
図 17 教示グループ別の正解率遷移図 .....	45
図 18 “アプリケーション画面からホーム画面に移動” に対する操作比率と操作頻度 (Q2) .....	47
図 19 全問題に対する操作比率と操作頻度 (Q1-Q15) .....	48
図 20 メニュー探索とジェスチャ探索タスクの正解率.....	50

## 表目次

表 1 問題用紙の一例（教示機器：機器 A） .....	9
表 2 教示グループ別の評価機器 A の正解率 .....	11
表 3 評価機器 A に対する誤操作例 .....	12
表 4 質問項目の例 .....	15
表 5 操作正解率 .....	16
表 6 操作意図推定の正解率比較 .....	18
表 7 ボタン種類別の正解率比較 .....	19
表 8 操作概念の種類 .....	23
表 9 ステップ 1 の確認テスト問題 .....	26
表 10 ステップ 3 の操作テスト問題 .....	29
表 11 ステップ 1 の確認テストの操作正解率 .....	30
表 12 ステップ 3 の操作テストの正解操作発見率 .....	31
表 13 Q1 のボタン別の平均押下回数 .....	33
表 14 グループ A と B1 の押下ボタン種類 .....	35
表 15 カーソル操作の占有率と有効探索回数の比較 .....	36
表 16 教示グループ .....	42
表 17 教示用問題 .....	43
表 18 テスト用問題 .....	44
表 19 問題別の正解率 .....	46
表 20 誤操作問題の正解操作 .....	49
表 21 メニュー探索とジェスチャ探索の問題群 .....	49

# 1. 序論

## 1.1. 本研究の目的と意義

近年、デジタル技術やネットワーク技術の進展に伴い、家電機器の多機能化が進んでいる。多機能機器は1台で多くの機能を実行でき利便性は高い一方、1つの操作ボタンに割り当てられる機能数の増加を招き、操作方法が複雑になってしまう。このような機器を新しく操作する場合、ユーザはそれまでに使っていた機器の操作知識を利用しながら、試行錯誤を繰り返すことで、操作方法を獲得していくことが一般的である。

多機能機器の操作方法是ユーザにとって学習可能な知識であり、設計者はユーザの学習量を減らすようにインタフェース設計を工夫する。そのため、同じメーカー間で機種変更を行う場合は、変更前の操作知識を再利用することができるため、ユーザは少ない学習で変更後の機器操作を習得することができる。しかし、他メーカーの機器へ機種変更した時（以下、機器乗換え時）には、同じ機能に対して利用する操作知識が大きく変化するため、ユーザはそれまで持っていた操作知識を適用することができず、操作性が大きく低下するという問題が生じてしまう。

これまでに多機能機器の操作性向上に関する研究は様々なアプローチがなされてきた。例えば、機器を利用する人間側を分析することによって、人にとって最適な設計を行うアプローチが挙げられる。操作方法を直感的に想起できるデザインを指向したアフォーダンス [1] を考慮した設計や、全てのユーザに利用可能な設計を目指したユニバーサルデザイン [2] がその代表例であり、これらの研究は、操作方法の予測が容易な機能数が少ない機器（例えば白物家電）の開発や標準化活動に数多く応用されている [3] [4] [5]。一方、操作デバイス側に焦点を当てた研究も数多く行われている。例えば、ペンや手を使ったタッチ操作をはじめとするダイレクトマニピュレーション [6] の研究は、タブレット PC やスマートフォンなどに数多く応用されており [7] [8] [9] [10]、従来のリモコンやキーボードよりも直感的な操作を実現することで、機器の操作性向上に大きく寄与している。

しかし、このように人側、または機器側だけを最適化する設計思想では、機器乗換え時の誤操作は防止できない。なぜなら、機器利用経験とその操作知識がユーザ毎に異なるため、ユーザは必ずしも新しく使う機器の正しい操作を想起できないからである。特に新しく機器を使い始める場面ではその傾向が顕著になり、最初に使えない機能はその後使われなくなるという弊害をもたらしてしまう。この課題を解決するためには、機器がユーザの持つ事前知識に応じて操作支援を行う必要がある。

本研究は、このような問題意識の元に、機器の乗換え時の操作性向上を目的とし、ユーザの乗換え前に使用していた機器の操作知識が乗換え後の操作に与える影響を分析し、適



応的な操作支援方法及び探索的な操作発見方法を構築した研究である。

ユーザの事前知識は、それまでの利用機器をはじめ、その日の体調や利用時の状況までを含んだ広かつ曖昧な概念で構成されていると考えられる [11]。しかし、これらの情報を全て機器側に理解させることは、家電を利用する実環境を考えた場合に現実的ではない。そこで最も影響が大きいと考えられる「一つ前に使っていた同種機器」だけを機器側に入力することで、ユーザごとに発生する誤操作を予測することができれば、事前知識の異なる人に応じた操作支援への応用が期待できる。

## 1.2. 研究背景

本節では、これまでに報告されたユーザの事前知識に応じた操作支援方法について説明する。ユーザの経験やそのときの状況に合わせて効率よく操作できるシステムは適応的インタフェースと呼ばれ、これまで数多く提案されてきた。本節ではこれらの研究を、支援対象の誤操作と、その具体的な支援方法の観点から説明する。そして、それらの提案手法が、以前の機器とほぼ同等の機能を持ちながら、機能の追加や削除がされ、操作パネルや用語も異なる中で操作を推定しなければならない「機器乗換え時」には適用が不十分であり、具体的な操作支援を行うことができないことを示す。

Norman は、計算機の操作を題材に、ユーザの持つ操作知識は曖昧で一貫性が無く、不完全な知識の集合であることを示した [11]。また、ユーザの操作知識をメンタルモデルと呼び、このメンタルモデルと機器の動作モデルの不整合によって誤操作が生じることを主張している [1]。これらの研究は、操作性向上のためには、機器単体の設計を工夫するだけでは不十分であり、機器がユーザの事前知識を理解した上で、適応的な支援を行う必要があることを示唆している。しかし、具体的な事前知識の定義や、誤操作時の支援方法については示されておらず、機器のインタフェース設計へ応用するための知見は得られていない。

Kieras らは、トグルスイッチの操作を題材に、機器動作に関する概念的な知識の教示が、操作方法の類推に有効であることを示している [12] [13]。また、Robert らは、より操作が複雑なパソコンを題材に同様の実験を行い、適切な教示がユーザの持つメンタルモデルの変化を促し、システムへの適応を助けることを報告している [14]。これらの研究は、機器動作に関する概念的な知識を外的に提供できれば、その知識を用いて様々な操作方法を類推できる可能性を示唆している。このような教示内容をマニュアルに記載することや、初期利用時のインストラクションに加えることは、機器を使用する前にマニュアルを熟読するユーザに対しては有効な操作支援になると考えられる。しかし、同種の機種を乗換える時は、マニュアルやインストラクションよりも、それまでの操作知識を使って探索的に操作方法を類推することが一般的である。そのため、これらの研究では、機器乗換え時に発生する誤操作を十分防ぐことはできない。

羽山らは、ソフトウェアの初期利用時においては差分機能の明示が新機能への適応に有効であることを示している [15]。差分明示とは、旧バージョンの機能と、新バージョンの機能の変化した部分（差分）をユーザインタフェースに積極的に表示することにより、新機能に対するユーザの適応を促す方法である。この方法は、ユーザの操作知識が再利用可能な、同じメーカー間の機種変更時には有効に働くと考えられる。しかし、機器乗換え時のように、同じ機能に対して異なる操作知識が必要になる場合には、差分明示だけでは新しく使う機器の操作方法を類推することができない。類似機能を多く含む機器の乗換え時には、ユーザが事前に持つ操作知識の適用過程を考慮する必要がある。

伊藤 [16]は、PC モニターの設定操作メニューを題材とし、ユーザは機器を初めて操作する際、操作を繰り返しながら単純なルールを構築することを報告している。また山中 [17] [18]は、2 機種のカナビ間の乗換えに関する操作実験を行い、乗換え前後の機器の操作モデルが異なる場合に誤操作が生じることを実験的に示し、乗換え前に使用した機種の操作経験を修正しながら新しい機種の操作を行うことを報告している。これらの研究は、ユーザが機器操作を行う場合に操作に関する予測モデル（事前知識）を持ち、モデルに基づき操作を行っていることを実験的に示している。しかし、これらの研究では、誤操作の発生に対する操作性向上の工夫までは述べられていない。

このように従来法は、機器がユーザの事前知識を理解した上で、適応的な支援を行う必要があることを示しているが、機器乗換え時のように、乗換前の操作知識がそのまま利用できない問題を対象とした研究は少なく、具体的な操作支援方法は確立されていない。

機器乗換え時の操作支援を構築するにあたり、問題となる点は次の三つである。一つ目は、ユーザの事前知識の定義である。機器がユーザを理解して動作するためには、機器側で処理可能な定義を行う必要がある。二つ目は、事前知識の推定方法である。ユーザの事前知識を推定するにあたり、操作負担を極端に増大させることや、大掛かりなセンシング装置を設定することは、家電を利用する実環境を考えると現実的ではない。適応的な情報提供に基づく操作性向上のためには、ユーザの操作や誤操作のパターンからユーザの事前知識を推定する方法が必要になる。三つ目は操作支援方法である。機器乗換え時にマニュアルを熟読するユーザは少数であり、殆どのユーザは試行錯誤を繰り返しながら探索的に操作方法を獲得していく。そのため、操作支援はこのような利用シーンに即した方法が必要になる。

### 1.3. 研究概要

本研究は、機器乗換え時において、ユーザの一つ前の使用機器の影響を分析し、最終的にはユーザの事前知識に応じた操作支援方法を実施可能にしたものである。従来法との違いは二つある。一つは同じ機能を持ちながらユーザごとに事前知識が異なる機器乗り換え

時における支援であること、もう一つはユーザの事前知識を一つ前の使用機器の操作知識と定義して操作支援方法の構築を指向したことである。

第 2 章では、まず初めに、ユーザの事前知識を各ユーザが機器乗換え前に使用していた機器のルールを持つもの（操作モデル）と定義し、新しく利用する機器の動作モデルとユーザの操作モデルが異なる箇所には、ユーザの事前知識ごとに異なる誤操作が発生するはずであるという仮説を立て、この仮説の妥当性を検証した。このモデルが有効であれば、新しく利用する機器の動作モデルとユーザの操作モデルが異なる箇所には誤操作が発生するはずである。また、誤操作が発生する場合であっても、異なる操作モデルを持つユーザは、必ずしも同じ内容の誤操作にはならないと推測できる。もし、誤操作の内容が操作モデルによって異なれば、誤操作からユーザの操作モデルを推定することができ、推定したモデルに合わせた操作支援が可能になると考えられる。そこで、第 2 章では機器乗換え時における操作モデルの妥当性を検証する。具体的には、複数の DVD レコーダを題材に、機器間の相互の乗換え時の誤操作パターンを分析し、正解操作は一つでも、事前知識によって誤操作が複数通りに発生することを示す。また、事前知識によって引き起こされる誤操作は、すべての機能に対して均等に発生するわけではなく、新しく追加された機能で、かつ、機種ごとに異なる操作手順を持つボタン操作において発生しやすいことを明らかにし、これらの誤操作パターンによればユーザの事前知識が推定でき、この推定結果から適応的な操作支援が実現できる可能性を示す。

第 3 章では、機器乗換え時の誤操作に対するもう一つの支援策として、探索的な操作発見が可能な教示方法を提案する。第 2 章では、ユーザの操作モデルを推定することで、事前知識が異なるユーザに対して適応的な操作支援を行う可能性を示した。一方、より効率的な支援としては、教示によって探索的に操作発見を促す方法が考えられる。操作方法を発見するためには、ユーザは操作対象に対する事前知識や期待に基づいて探索的に機器とのインタラクションを行うと考えられる。この時、正しい操作方法が発見できるかどうかは良質な探索的操作を持続できるかに依存する。そこで、本章では第 2 章で題材とした DVD レコーダの操作知識を分類し、教示内容を現在の機器状態を示す画面やインジケータ表示の意味に関する「状態理解」の知識と、どのリモコン操作によって機器状態がどう変化するかに関する「状態遷移」の知識に分け、それぞれの教示が探索の持続性に及ぼす影響を操作性評価実験により検証した。実験結果より、機器状態を示す画面やインジケータ表示の意味に関する「状態理解」の教示が持続的な探索に最も有効であることを示す。

第 4 章では、操作対象の機器を DVD レコーダからタブレット PC に置き換え、第 2 章で提案した操作モデルの適用範囲を検証する。タブレット PC のタッチ操作は、DVD レコーダのリモコン操作とは異なり、ボタン形状やラベルを使って操作を予測することが少ないという特徴を持つ。そのため、リモコン操作と比較して、より事前知識の影響を強く受けた誤操作が発生すると予想される。もし、タブレット PC においても一つ前の使用機器によって誤操作の傾向が異なれば、第 2 章および第 3 章で提案した操作支援方法が適用でき

ると考えられる。そこで第4章では、複数のタブレットPCを題材に、機器間の相互の乗換え時の誤操作パターンを分析し、DVDレコーダと同様に、誤操作は他機能へ切替える場面において発生しやすく、その誤操作の内容は事前知識によって複数通りに発生することを示す。また、探索過程を分析することで、未知のジェスチャ操作を探索的に発見することは難しく、タブレットPCの操作性低下の要因の一つになっていることを示す。

そして最後に、第5章で本研究のまとめを行い、その成果について考察した。以上、全5章にて、機器の乗換え時にユーザの事前知識に応じた操作支援方法を構築していく。

## 2. 事前知識の影響分析と操作支援への応用

適応的な情報提供に基づく操作性向上のためには、ユーザの操作や誤操作のパターンからユーザの事前知識を推定する必要がある。そこで本章では、DVDレコーダの乗換え時の操作を題材に、異なる事前知識を持つ複数のユーザが、同一の新しい機器を操作する場合に、事前知識に応じてどのような誤操作が発生するかの関係性を明確にし、その誤操作パターンから事前知識の推定ができることを示す。

### 2.1. 操作モデルの定義

本章では、機器乗換え時にユーザが操作手順を想起するプロセスに関して、操作モデルの概念を用いて説明する。ここでは操作モデルを、ユーザの実行したい機能（操作意図）を具体的な操作手順に変換するときのルールと定義し、各ユーザがそれぞれ持つものとする。

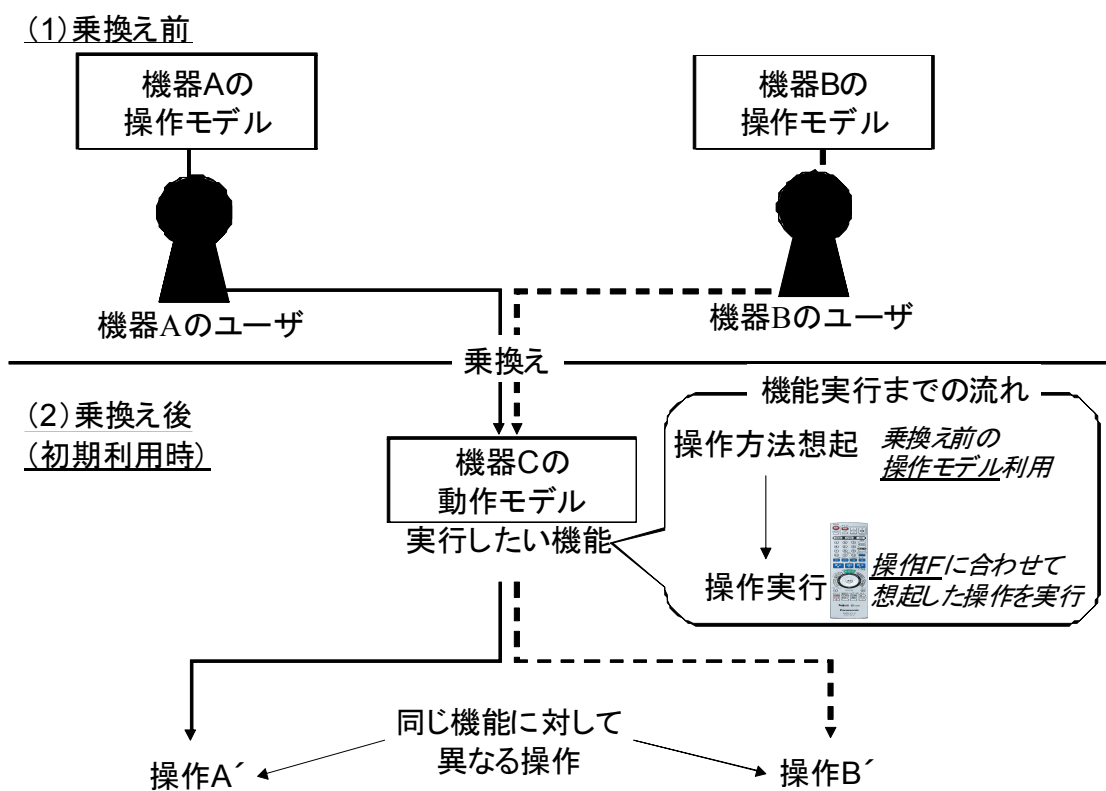


図 1 機器乗換え時の操作モデルの影響

一方、機器がある操作手順で操作された場合に、機器側で実際の動作に変換するときのルールを動作モデルと定義する。

図 1 に操作モデルが機器乗換え時の操作に与える影響を概念図で示す。乗換え前 (1) に機器 A, 機器 B の異なる操作経験を有し、異なる操作モデルを持つユーザ A とユーザ B は、乗換え後 (2) に機器 C を操作する際にそれぞれの持つ操作モデルに基づいて操作手順を考え、操作 (操作 A', 操作 B') が実行される。機器乗換え時には、各ユーザの操作モデルは、乗換え後の機器 C の動作モデルとは一致しないため、誤操作が生じ得る。また、乗換え前の操作経験が異なることから操作 A' と操作 B' は必ずしも一致するとは限らない。また機能を実行するまでには、操作手順想起と操作ボタンの探索/決定/押下の 2 段階の思考を行うと想定した。最初は乗換え前の操作モデルを用いて乗換え前の機器での操作手順を想起する段階で、次にリモコンのボタン配置やラベル、GUI の表示などの新しい機器の操作 IF を見ながら新しい機器での具体的な操作ボタンを探す段階である。

この考え方に基づくると、誤操作は、機器の動作モデルとユーザの操作モデルが一致しない場合や、乗換え後の操作 IF から具体的な操作ボタンが見つけれない場合に発生すると考えられる。本章では最初にこれらの現象をユーザテストによって確認し、誤操作の発生パターンを分析した。

## 2.2. 実験 1: 事前知識が操作パターンに与える影響の観察

### 2.2.1. 実験目的

本実験の目的は、事前に類似機器の操作教示後に初めて使用する機器の操作テストを行った場合の、教示機器とテスト結果の関連を明らかにすることである。実験では、ほぼ同等の機能を持ちながら操作手順が異なる機器として HDD 搭載型 DVD レコーダを選定した。HDD 搭載型 DVD レコーダは従来のテープ型 VTR とは映像の記録媒体等が異なり、映像操作等の新しい機能を実行する操作手順が、機種ごとに異なっていた。

### 2.2.2. 実験方法

#### 2.2.2.1. 被験者

被験者は DVD レコーダの操作経験のない大学生 15 人とし、実験は 2005 年 7 月 25 日～7 月 29 日に行った。

#### 2.2.2.2. 実験構成

本実験で用いた実験対象機種は、A, B, C, D の 4 種類とした。機種 A と機種 B は製造メーカーが同一であり、それ以外はそれぞれ異なるメーカーの製品であった。選定に当たって

は、実験実施当時に広く入手可能であり、かつ、機種間の動作モデルが異なることを基準とした。被験者とテレビ画面（36inch）との距離（180cm）は通常家庭でテレビを見る自然な距離として決定した。また、被験者への問題提示、及び機器操作を行うため、実験者は被験者の後方にて待機した。図2に実験に用いたリモコンの一部を示す。特に操作手順の差が大きい、機能選択のためのカーソル移動と決定ボタンとその周辺部分を抽出した。機能選択のためのカーソル移動と決定ボタンは使用頻度が高く、これらのボタンのデザインと、その周辺のボタン配置は各機器の設計思想や動作モデルと関連している。また、図2に操作の一例としてHDDの録画コンテンツを一覧表示するボタンを丸で囲んで示す。機器Aでは「再生ナビ」、機器Bでは「プログラムナビ」、機器Cでは「ホーム」、機器Dでは、「見るナビ」と、機器ごとにボタン名や位置、デザインが異なっている。他にもTV電源やDVD電源のON/OFF、再生するメディア（HDDかDVDか）の切替方法などに大きな違いが見られた。

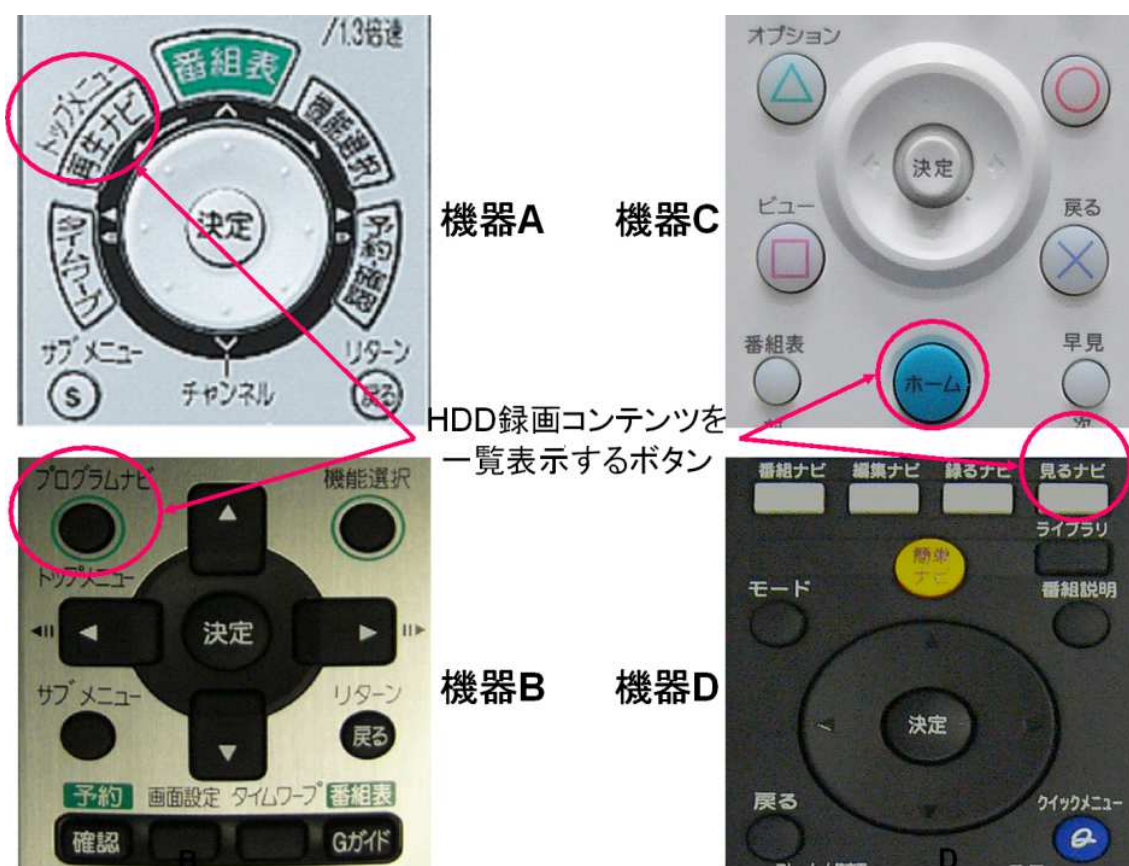


図2 リモコンインターフェースの違い

### 2.2.2.3. 実験手順

実験は3つのステップで行った。まず15人の被験者を3人ずつの5つの教示グループに分け、うち4グループは事前の操作経験を得るため上記の4機器のうちのひとつの機器の操作手順を教示した。また、1グループは機器の操作経験を有しない初心者と想定するため教示を行わなかった。教示なしのグループはステップ3のみを行っている。実験は1人ずつ順番に行い、被験者1人に対する実験時間は約60分であった。

#### ステップ1:教示 (20分)

教示グループごとに指定されたDVDレコーダの正解操作付き問題用紙を配布した。機器Aの教示用の操作問題(全20問)の一部を表1に示す。操作問題は全機器に共通した機能のみを使った連続操作を想定して作成した。教示は正解操作付き問題用紙をユーザに渡し、実際にリモコン操作と機器動作の確認をしてもらった。正解操作欄にはリモコンのボタンの操作手順を記載している。なお、Q5のように複数の操作手順を要する場合には『⇒』と表記している(例:「DVD」ボタンを押した後に「再生」ボタンを押す)。このステップ1により、実験的に図1(1)に示す乗換え前の操作モデルの獲得を想定した。

#### ステップ2:確認テスト (10分)

ステップ1で教示した操作手順の確認テストを行った。間違えた操作は再度教示を行い、全問正解を確認後、ステップ3に進んだ。ステップ2により、実験的に図1(1)に示す乗換え前の操作モデルの獲得を確認した。

#### ステップ3:操作テスト (30分)

操作テストは教示の際に用いた機器以外の3つの評価用機器(教示なしグループに対しては4つの機器)に対して、ステップ2と同一の問題に対する操作ボタンをリモコン操作面が印刷された紙面に記入させた。紙面への回答により、実際の機器動作によるフィードバックをなくし、未使用の他の機器に対する教示効果が現れないようにした。ステップ3により、実験的に図1(2)に示す乗換え後の操作結果を取得した。

表1 問題用紙の一例(教示機器:機器A)

	問題	正解操作
Q5	DVD-ROM再生	DVD⇒再生
Q6	再生を停止	停止
Q7	6chを表示	HDD⇒6
Q8	6chをHDDに録画	録画
Q9	録画を停止	停止
Q10	HDDの録画番組一覧表示	再生ナビ



なお、結果の集計時には 3 人ずつ割り当てた各グループの被験者のうち、機器 D の被験者 1 人は、日本語がわからずリモコンボタンの文字が十分理解されなかったため、信頼性の欠けるデータとして、解析対象から除外した。

## 2.2.3. 実験結果と事前使用機器の影響の確認

### 2.2.3.1. 教示グループ間の相互正解率遷移図

まず、各教示グループの各評価機器に対する相互の操作正解率の遷移図を図 3 に示す。図 3 は、各教示グループから評価機器へ矢印を結び、全問題の平均正解率を付記した。例えば「機器 A→0.77→機器 C」は、機器 A の操作を教示したグループが機器 C を操作した時の 3 人の被験者の 20 問の平均正解率が 0.77 であった、という意味である。

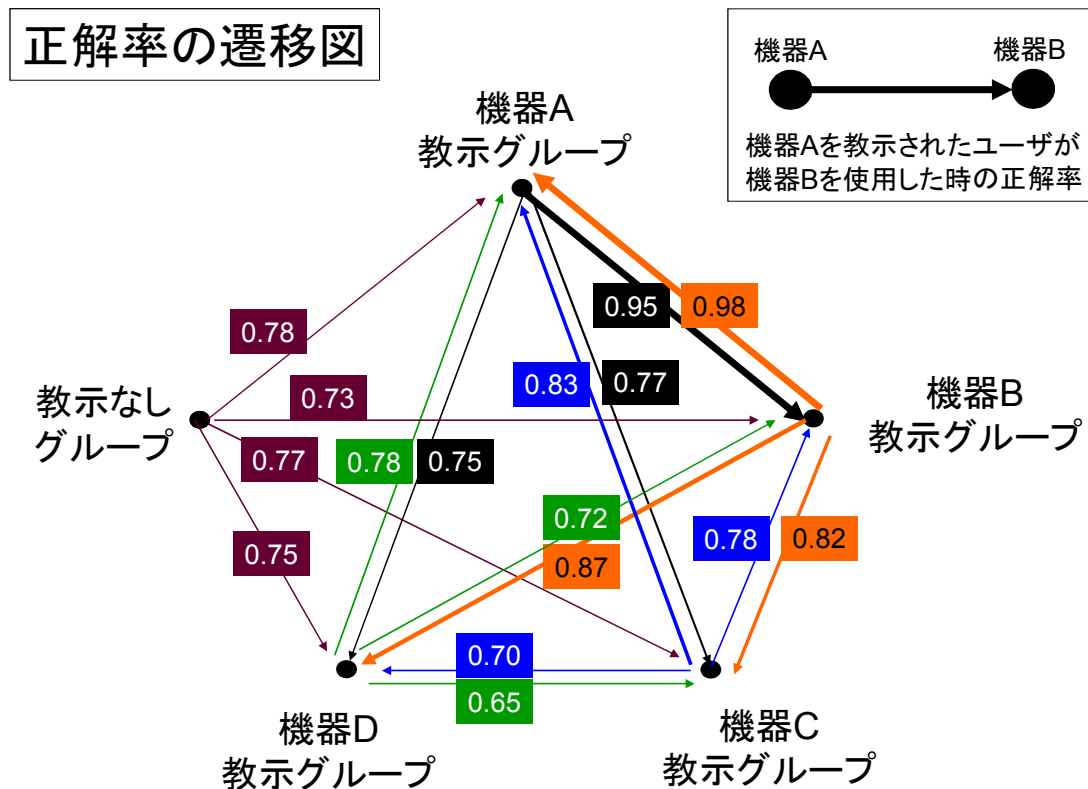


図 3 教示グループ別の正解率遷移図

教示なしグループの各機器に対する正解率は 0.73~0.78 で大きな差は見られず、各機種 of インタフェースが初心者にとってわかりやすく設計されていると言える。一方、特定機器の学習経験を持つグループでは正解率にばらつきが見られた。特に、機器 D→機器 C の正解率 0.65 が教示なし→機器 C の正解率 0.77 を下回っている。この結果は事前の教示が乗

換え後の機器操作に悪影響を与えている例である。逆に、機器 A→機器 B の正解率 0.98 は、教示なし→機器 B の正解率 0.73 より高い。機器 A と機器 B は同一メーカー製で類似したインタフェースを持ち、動作モデルも類似しているため乗換え後の機器操作に好影響を与えていると言える。

### 2.2.3.2. 教示グループ別の正解率（評価機器 A）

次に、特定の評価対象機器に対する各グループの操作正解率を比較した。評価対象機器は機器 A とした。正解率は多くの問題で類似していたが、4 つの教示グループの操作テスト結果の内、グループ間の操作正解率の差が 0.5 以上見られた問題に対する正解率と全問題の平均を表 2 に示す。

表 2 教示グループ別の評価機器 A の正解率

	教示なし	機器B教示	機器C教示	機器D教示
Q7	0.0	1.0	0.0	0.0
Q10	0.7	1.0	0.0	0.0
Q20	0.0	1.0	0.0	0.7
全問平均	0.78	0.98	0.83	0.80

平均の正解率を見ると機器 B 教示グループが他よりも高くなり、他教示グループ間の正解率の差は小さい。しかし、Q7, Q10, Q20 に関しては、教示グループによって正解率に偏りが見られた。この正解率の偏りの傾向は、評価対象が機器 B, 機器 C, 機器 D の操作結果についても見られた。

### 2.2.4. 誤操作の要因と誤操作パターンの違い

表 2 に示した教示内容によって個別の問題に対する正解率が大きく異なった要因としては、図 1 から推測できるように、操作モデルが異なる場合と、操作インタフェースが異なる場合とが考えられる。以下に、特徴的な誤操作事例をいくつか抽出し、間違え方を含めた誤操作の要因とその間違え方の違い（誤操作パターン）について述べる。

表 3 に評価機器 A の操作テストにおける誤操作例を示す。Q7「テレビの 6ch を表示」の正解操作は「HDD」ボタンを押してテレビを表示させるモードに切替えた後に、「6」ボタンを押す手順であるのに対し、誤操作した機器 C, 機器 D 教示グループでは「6」ボタンを最初に選択している。これは、機器乗換え前の操作モデルをそのまま適用したために生じた誤操作と言える（機器 C, D では「6」ボタンを最初に押す操作手順が正解）。同様に Q20「画面上で選択されている番組を録画予約」も同一機能に対して異なる操作モデルを持っていたために発生した誤操作である。

一方、Q10「HDDに録画している番組の一覧を表示」は図2に示すように、同一の機能に対するリモコンボタンの名前、位置が異なるため、操作インターフェースが異なることで生じた誤操作である。また、機器Bを教示したグループは、操作手順、リモコンボタンの名前、位置が評価機器Aと同じため正解操作であった。以上のような誤操作の傾向は他の評価機器に対しても同様であった。

表3 評価機器Aに対する誤操作例

	正解	教示なし	機器B教示	機器C教示	機器D教示
Q7	HDD⇒6	6	-	6	6
Q10	再生ナビ	番組表	-	HDD	番組表
Q20	決定	録画モード 予約確認	-	録画 予約確認	録画モード

ただし、誤操作時に間違えて選択したボタンは各教示グループで異なっていた。例えば、Q10の問題に対して、教示なし、機器Dの教示グループは「番組表」を押して間違えているが、機器Cの教示グループは「HDD」を押して間違えている。

Q10の正解操作「再生ナビ」は録画コンテンツに関する機能が集約されたボタンであり、図2に示すように機器A以外では「プログラムナビ」「ホーム」「見るナビ」と、それぞれ異なる名称が付与されている。即ち、Q10は、それぞれ異なる事前知識から想起された操作であるため、間違えて選択したボタンが教示グループで異なる傾向を示したと考えられる。

以上のように、機器乗換え前後で異なった事前知識を持っている場合には誤操作が生じやすく、同一の操作に対して事前知識にばらつきがある場合には、異なった誤操作パターンを示す傾向が観察された。

## 2.3. 実験 2: 事前知識による誤操作パターンの違いの統計的 検証

### 2.3.1. 実験目的

3章の実験1では図3及び表3に示すようにユーザの事前知識によって機能の正解率や誤操作パターンが異なるという結果が観察された。しかし、被験者数が各教示グループで3人ずつと少なかった。そこで、本章では実験1で得られた結果を、被験者数を各教示グループ20人に増やすことで統計的に検証した。

## 2.3.2. 実験方法

### 2.3.2.1. 被験者

DVD レコーダの操作経験のない 100 人（27 才～80 才，平均 50.8 歳）に対する紙面によるアンケート形式とし，実験は 2006 年 3 月 13 日～3 月 23 日に行った。

### 2.3.2.2. 評価対象機器

同等の機能を持ちながら操作手順が異なる機器として A, B, C, D, E の 5 種類の HDD 搭載型 DVD レコーダを選定した。機種 A と機種 B は製造メーカーが同一であり，それ以外はそれぞれ異なるメーカーの製品であった。選定基準は実験実施当時に広く入手可能であり，機器の操作体系が異なることとした。

図 4 に各機器のカーソル移動と決定に関する部分を示す。また，操作の一例として HDD の録画コンテンツの一覧表示ボタンを赤丸で示す。機器 A, B では「再生ナビ」，機器 C では「タイトルリスト」，機器 D では「ホーム」，機器 E では「見るナビ」と，機器ごとにボタン名や位置，デザインが異なっている。他にも TV 電源や DVD 電源の ON/OFF，再生メディア（HDD か DVD か）の切替方法などに大きな違いが見られた。

### 2.3.2.3. 実験手順

実験は紙面によるアンケート形式で行った。初めに 100 人の被験者を 20 人ずつの 5 グループに分け，4 グループは事前の操作知識を与えるために機器 B～E から 1 つの機器の操作手順を教示し，残りの 1 グループは初心者と想定するため教示を行わなかった。

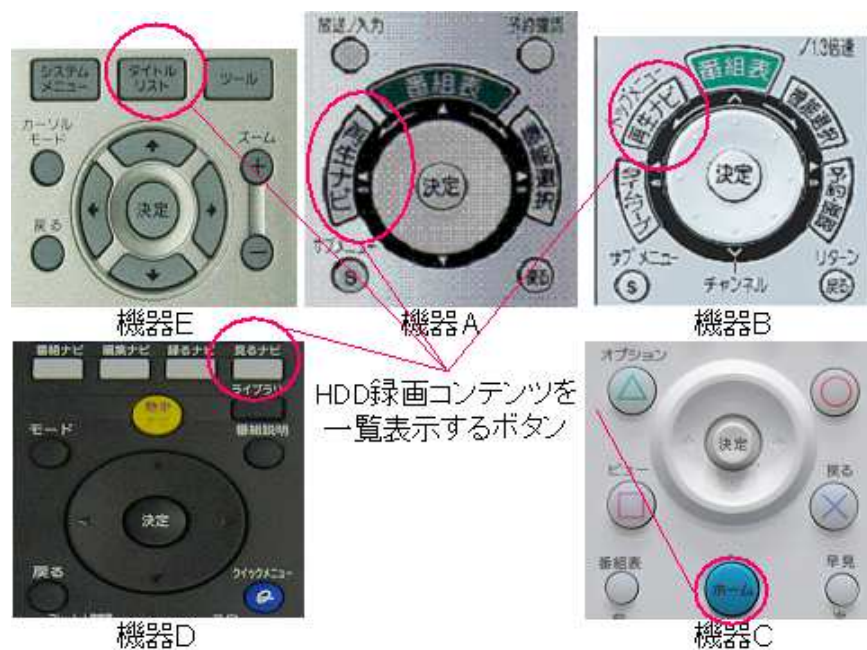




図 4 リモコンインターフェースの違い

図5にアンケートの例を示す。これは機器Aの操作性評価を行う場合のシートの例である。まず、紙面最上部には操作問題を提示し、その下には状態遷移の前後を示すために、操作前の画面と操作後の画面を提示した。画面には内部状態の変化のヒントとなる現在の記録媒体やチャンネル番号等も明示した。また、紙面左下には教示機種における正解操作の提示部分を赤丸で提示した。被験者は、これらの情報から、紙面右下の回答部分にある評価対象機器のリモコン画像から最初に押すべきと思う操作ボタンに丸印を付ける、という形式で回答した。なお、左半分に正解ボタンを示すことで、実験的に図1(1)に示す乗換え前の操作モデルの獲得を想定した。質問項目(全24問)の一部を表4に示す。

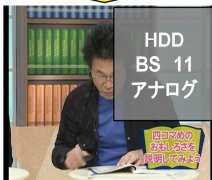
Q7: 6chが表示されています。  
BS放送に切替えて下さい。



操作前の画面



操作後の画面



参考(左側の正解を参考にして下さい)

確信度: 自信なし      自信あり

1    2    3    4



回答(右側に回答して下さい)

確信度の記入漏れはありませんか?⇒次ページへ

図5 アンケートの一例

表 4 質問項目の例

Q8	マトリックスのDVDが本体に入っています。このDVDを再生して下さい。
Q9	DVDの再生中です。停止して下さい。
Q10	DVDの再生中です。次のチャプタ(章)を再生して下さい。
Q11	8chの番組が表示されています。この番組をハードディスクに録画して下さい。
Q12	8chの番組を録画中です。録画を停止して下さい。

### 2.3.3. 実験結果

#### 2.3.3.1. 有効回答数

各グループ 20 人のうち、記入漏れや回答形式間違いを除いた有効回答数は、教示なし、機器 B、機器 E の各教示グループが 18 人、機器 C の教示グループが 17 人、機器 D の教示グループ 19 人であった。

#### 2.3.3.2. 教示グループ別の操作正解率

評価対象機器 A に対する正解率は各教示グループによって異なり、全 24 問に対する平均の正解率は、機器 B 教示グループが 0.77 と最も高く、次に機器 C、D、E 教示グループがそれぞれ 0.60、0.60、0.62 で並び、教示なしは 0.53 と最も低い値になった。これは今回の評価対象機器 A は、機器 B と同じメーカー製であり、共通の操作体系を持っていたため、機器 B の教示が効果的であったと考えられる。

次に、教示グループ間の正解率を見ると、差が 0.4 以上見られた問題は全 24 問中 9 問あった。これら 9 問の個別正解率と全問題の平均正解率を表 5 に示し、最も正解率の高かったグループの値をグレー部で示している。問題別に正解率の偏りを見ると、Q24「画面で選択されている『ダビングの方向』を変更」では機器 B 教示グループが 0.61 で最も高く、機器 E は 0.11 で最も低い値を示した。一方、Q16「選択されている番組を消去」では機器 E 教示グループが 0.78 で最も高く、機器 B 教示グループは 0.33 で最も低い値を示した。このように、本実験でも実験 1 の表 2 と同様、同一の問題に対する間違え方が教示グループ間で異なる結果が観測された。教示グループ間の正解率に対して分散分析を行った結果、 $P<.01$  で教示グループ間の正解率に有意差があることを確認した。以上の結果より、実験 1 で得られた「事前知識によってそれぞれ異なる操作傾向を示す」ことが検証できた。

表 5 操作正解率

問題	教示なし	機器B 教示	機器C 教示	機器D 教示	機器E 教示	全 被験者
Q5	0.11	0.94	0.24	0.11	0.17	0.31
Q8	0.17	0.61	0.35	0.32	0.33	0.36
Q13	0.39	1.00	0.24	0.47	0.67	0.56
Q15	0.17	1.00	0.00	0.26	0.44	0.38
Q16	0.72	0.33	0.71	0.68	0.78	0.64
Q18	0.28	0.89	1.00	0.53	0.61	0.66
Q20	0.33	0.94	0.88	0.58	0.89	0.72
Q23	0.72	0.94	0.53	0.32	0.56	0.61
Q24	0.28	0.61	0.18	0.26	0.11	0.29
全問題	0.53	0.77	0.60	0.60	0.62	0.62

## 2.4. 事前知識を用いた操作支援に関するシミュレーション

### 評価実験

#### 2.4.1. 実験目的

実験 1, 2 では、ユーザの事前知識が異なる場合には同一の操作意図（各問題番号に対応した、ユーザの実行したい機能）に対する間違え方が異なることを明らかにした。筆者らは、この知見から、逆にユーザの事前知識がわかれば、機器側は一部の誤操作について間違え方から操作意図を推定でき操作支援を行える可能性があるという仮説を立てた。

この仮説を検証するために、実験 2 で得られたデータに基づき、事前使用機器がわかる場合とわからない場合の、誤操作時の操作意図推定性能をシミュレーションにより比較した。

具体的には、教示グループ毎の誤操作例を個別に用いて作成した操作意図推定方法と、全被験者の誤操作例を統合して作成した操作意図推定方法について、操作意図が正しく推定できた割合を比較した。また、2種類の推定方法で正解率に差が生じた操作を分析し、事前知識を用いた操作意図推定が有効に働く操作の特性を分析した。

## 2.4.2. 実験方法

### 2.4.2.1. 操作意図推定方法の概要

誤操作発生時の操作意図推定方法には、UNIX シェルのヒストリ機構などに広く使用されている過去の事例を単純に集計した手法 [19]を用いた。具体的には、実験 2 で得られた「問題番号→誤操作ボタン」の結果から「誤操作ボタン→問題番号」の逆推定テーブルを作成し、出現頻度の最も高い問題番号を操作意図として出力する。以下、この逆推定テーブルを操作意図推定リストと呼ぶ。ボタン操作はリモコン上に配置されたボタン種類に対応した 35 種類、問題数は 24 問である。

### 2.4.2.2. 実験手順

本実験は以下の 3 つのステップで実施した。

#### ステップ 1 : リスト作成用・評価用データ準備

実験 2 で得られた有効回答数 90 人の操作データの内、操作意図推定リスト作成用には奇数番号被験者 (45 人) のデータを使用し、評価用には偶数番号被験者 (45 人) のデータを使用した。

#### ステップ 2 : 操作意図推定リスト作成

操作意図推定リストは、教示グループごとの操作データを用いて作成したリスト (以下、教示別リスト) と、全教示グループのデータを統合して作成したリスト (以下、統合リスト) の 2 種類を用意する。

作成方法は、各リストの対象データに対して、実験 2 で得られた「問題番号→誤操作ボタン」の事例を集計し、「誤操作ボタン→問題番号」の逆推定テーブルを作成する。例えば、機器 B 教示グループの誤操作事例のうち、「再生」を押して間違えた被験者数がのべ 12 人で、内訳が Q5 で 7 人、Q8 で 5 人の時、「再生」ボタンに対する操作意図推定リストには「再生」→((Q5, 7 人), (Q8, 5 人))と記憶される。即ち、ユーザが「再生」ボタンを押して間違えた場合には、機器は最も出現頻度の高い Q5 を意図した操作として出力する。

#### ステップ 3 : 精度比較

評価用データ中の誤操作したボタン操作に対し、作成した各操作意図推定リストの最も出現頻度の高い問題番号を出力する。そして、出力した問題番号と、ユーザが実際に間違えた問題番号が合致した場合に正解と判定する。以上の方法により、教示別リストと統合リストを用いた操作意図の正解率を比較する。



### 2.4.3. 実験結果

教示別リストと統合リストを用いたそれぞれの操作意図の正解率を、各教示グループ、及びリモコンボタンの機能特性ごとに比較して分析した。以下、順に説明する。

#### 2.4.3.1. 教示グループに対する正解率

表 6 に教示別リストと統合リストを用いた意図推定の平均正解率と、教示別リストの正解率から統合リストの正解率を引いた改善率を示す。括弧内は分母が誤操作数であり、分子は正解数を示す。全教示グループの正解率は教示別リストで 0.63、統合リストで 0.54 となり、教示別リストを用いた方が 8% 向上した。また、教示グループごとに見ると、機器 B、機器 E 操作グループでは教示別リストの正解率が 15% 以上向上した。一方、教示無し、機器 C、機器 D 操作グループでは差が小さく、特に機器 C グループは両リストで全く同じ結果となった。

この改善率の違いは、推定に用いたリストの性質の違いに起因する。統合リストでは、様々な機種 of 誤操作パターンが混在したままで操作意図の推定が行われるので、一般的な誤操作についてのみ対応でき、機種独自の操作手順等がある場合には対応できない。機器 B と機器 E のグループで改善率が高かった理由は、機器間の操作手順がそれぞれ異なっており、明確な誤操作パターン（＝誤操作からの操作意図の推定が容易）が形成されていたため、教示別リストが有効だったと考えられる。

表 6 操作意図推定の正解率比較

	教示なし	機器B 教示	機器C 教示	機器D 教示	機器E 教示	全被験者
教示別 リスト	0.62 (40/65)	0.76 (25/33)	0.49 (24/49)	0.52 (28/54)	0.78 (46/59)	0.63 (163/260)
統合 リスト	0.59 (38/65)	0.55 (18/33)	0.49 (24/49)	0.46 (25/54)	0.61 (36/59)	0.54 (141/260)
改善率 (教示-統合)	+0.03 (+2)	+0.21 (+7)	0 (0)	+0.06 (+3)	+0.17 (+10)	+0.08 (+21)

#### 2.4.3.2. ボタン種類別の正解率比較

次に、表 7 に表 6 の結果をボタン種類別に分類した正解率と、該当するリモコンボタンの数を示す。括弧内は分母が各ボタン種類の誤操作数であり、分子は正解数を示している。また、改善率は教示別リストと正統合リストの正解率の差分であり、括弧内は誤操作数の差分を示している。ボタン種類は各ボタンに割り振られた機能の特徴の観点から以下の 4 つに分類した。

基本操作グループは、従来の DVD レコーダや VHS ビデオでも使用されてきた再生や停

止等のボタン群であり，全機種間で共通のラベルや操作手順を持つ．切替グループは入力切替や HDD/DVD 切替等のコンテンツ対象の切替に関するボタン群である．次に，多重機能グループは，サブメニューや番組表等の複数の機能が集約されたボタンである．さらに，GUI グループはカーソルや決定等の GUI 操作に特化したボタン群である．基本操作グループと切替グループ以外では DVD レコーダで新しく追加された機能が多く，ラベル名や操作手順が機種間で異なっている．

ボタン種類間の正解率の差は，GUI グループで 31%→52%と 21%向上し，最も大きくなった．また，多重機能の操作でも 10%以上の差が生じた．この 2つの新しい機能に対する操作グループに限定すると，事前知識を与えた方は 16%の精度が向上した．一方，基本操作，切替という一般的な機能では差が小さかった．

表 7 ボタン種類別の正解率比較

	基本操作	切替	多重機能	GUI
ボタン数	18	3	4	10
教示別 リスト	0.86 (62/72)	0.58 (35/60)	0.51 (34/67)	0.52 (32/61)
統合 リスト	0.86 (62/72)	0.55 (33/60)	0.40 (27/67)	0.31 (19/61)
改善率 (教示-統合)	0 (0)	+0.03 (+2)	+0.11 (+7)	+0.21 (+13)

GUI グループと多重機能グループの間でリスト間の正解率に差が生じた誤操作を見ると，事前知識が新しい機器の操作にそのまま適用されていた．例えば，録画日時を切替える操作では，評価機器 A の正解操作は「左右カーソル」であったのに対し，教示グループ B は機器 B の正解操作である「上下カーソル」をそのまま適用して誤操作になり，教示グループ E は機器 E の正解操作である「決定」を適用して誤操作になっている．

基本操作や切替に関する操作は，すでに操作モデルの適用方法は確立して機種間の差も少なく安定しており，誤操作の傾向も機種間では差がなく，正解率の差が生じなかったと考えられる．一方，多重機能や GUI はまだ新しく操作方法が機種間で異なるため，機種毎のリストが有効であったと考えられる．

## 2.5. 操作支援への応用

ここでは実験結果の操作支援への応用，適用範囲，従来技術との関連について順に述べる．

本実験では，2.4 の評価結果の分析から，機能が集約したボタン操作や，操作が類推されやすい GUI 操作等，機器に新しく追加された操作に対しては事前知識の影響が強く反映さ

れ、間違え方が事前知識によって異なることがわかった。このような操作については、UDなどのデザインによる統一的な操作性の向上に加え、ユーザ個別の操作支援が必要であることを示唆している。この個別支援はDVDレコーダに限らず、一般的な操作方法が確立していない新しい機能を持つ機器に対しては、特に有効である。これらの機器に対して適応的な操作ヘルプを設計する際、事前知識が強く反映される操作群については、事前に各々の誤操作データベースを用意することで、ユーザに合わせたヘルプが提示でき、マニュアルやヘルプの検索時間の削減が可能になると考えられる。

また、個別支援の実現には、ユーザの操作モデルの推定が必要になる。表3に示す操作モデル別の誤操作事例のデータベースを予め実験等から用意しておけば、ユーザの誤操作した機能とその操作内容から操作モデルを推定できる可能性がある。例えば、表3のQ10「録画一覧を表示する」という機能に対して、HDDボタンを押下して間違えた場合には、ユーザは機器Bの操作モデルを持つと推定できる。このように機器がユーザの操作モデルを適切に推定できれば、それぞれの操作モデルに応じた支援が可能になる。例えば、ユーザの乗換え前の操作モデルが表3の機器Cであることが事前に分かれば、Q20「番組表から録画予約」を初めて行う際に、「録画や予約録画ではなく決定ボタンで録画予約が行えます」とヘルプ提示することで、誤操作を未然に防止できる。

次に、本実験で得られた知見の適用範囲について述べる。今回の実験では操作に対する最初のボタンのみで評価を行った。そのため、本実験で得られた知見は、1回の操作で実行できる操作や、複数手順が必要な操作の最初のステップについては、適用可能であると考えられる。

次に従来研究との関連について述べる。本研究の操作モデルは広義にはメンタルモデルと呼ばれている[11]。一方で、ヘルプ提示に関して本村ら[20][21]はユーザの行動を推定するためのモデルをユーザモデルと定義し、複数ユーザの行動事例を元にベイズ推定を用いて行動予測を行っている。この方法では、多くのユーザが誤操作しそうな操作に対して支援が行える。しかし、機器乗換え時の操作は表3に示すように、事前の操作経験によってばらつくため、個人ごとに事前に持つ操作モデルを考慮することで、不要なヘルプの防止や、間違え方の違いに応じた操作ヘルプの提示など、細やかな支援を行える可能性がある。

## 2.6. むすび

第2章では、機器乗り換え時における操作モデルの妥当性を検証した。複数のDVDレコーダを題材に、機器間の相互の乗換え時の誤操作パターンを分析し、正解操作は一つでも、事前知識によって誤操作が複数通りに発生することを示した。また、事前知識によって引き起こされる誤操作は、すべての機能に対して均等に発生するわけではなく、新しく追加された機能で、かつ、機種ごとに異なる操作手順を持つボタン操作において発生しやすい

ことを明らかにし、これらの誤操作パターンによればユーザの事前知識が推定でき、この推定結果から適応的な操作支援が実現できる可能性を示した。

この結果より、機器乗換え時には、操作モデルに基づいた探索が行われることが確認できた。そして、探索時に生じた初期の誤操作から、事前知識が異なるユーザに対して適応的な操作支援を行える可能性を示すことができたと考えている。

しかしながら、今回の実験では操作に対する最初のボタンのみで評価を行っているため、本実験で得られた知見は、1回の操作で実行できる操作や、複数手順が必要な操作の最初のステップに限られる。そのため、今後は複数ステップの操作手順と機器側とのインタラクションを考慮できる操作モデルの拡張や、異なる事前知識を持つユーザに対する誤操作防止のための教示方法が必要になると考えられる。

## 3. 教示による操作発見支援

第 3 章では、機器乗換え時の誤操作に対する効率的な支援策として、探索的な操作発見が可能な教示方法を提案する。第 2 章では、ユーザの操作モデルを推定することで、事前知識が異なるユーザに対して適応的な操作支援を行う可能性を示した。一方、より効率的な支援としては、教示によって探索的に操作発見を促す方法が考えられる。操作方法を発見するためには、ユーザは操作対象に対する事前知識や期待に基づいて探索的に機器とのインタラクションを行うと考えられる。この時、正しい操作方法が発見できるかどうかは良質な探索的操作を持続できるかに依存する。

そこで本章では、まず初めに、第 2 章で題材とした DVD レコーダの操作知識の分類について説明し、次に、それぞれの操作知識の教示が探索の持続性に及ぼす影響について、順に説明する。

### 3.1. 操作概念と探索過程

#### 3.1.1. DVD レコーダにおける操作概念の定義

まず、類似機能を持つ機器を買い替え、新しく使い始める時にユーザが操作を行う過程の概念を、DVD レコーダを例に定義する。

図 6 に、DVD レコーダの各内部状態（○で囲んでいる）とその状態間を遷移するためのリモコンのボタン操作（□で囲んでいる）の例を示す。DVD レコーダなどの多機能機器は多くの機器内部状態を持ち、状態間を遷移するための操作は現在状態に依存する特徴を持つ。

例えば、図 6 左上部の状態である DVD の視聴中に、テレビ番組に切替えようとする際、状態間の遷移の組合せは複数通り存在し、その全ての遷移の操作を覚えることは困難になる。また、機器は複数の内部状態を持つため、現在の状態によって適切な操作は異なってくる。例えば、図 6 に示すように内部状態が DVD モードの時にリモコンの「6」ボタンを押しても 6ch を視聴することはできない。しかし、内部状態が HDD モードの場合には「6」を押せば 6ch を視聴できる。このように各時点の操作は何らかの内部状態を考慮した上位の知識で導き出される必要がある。

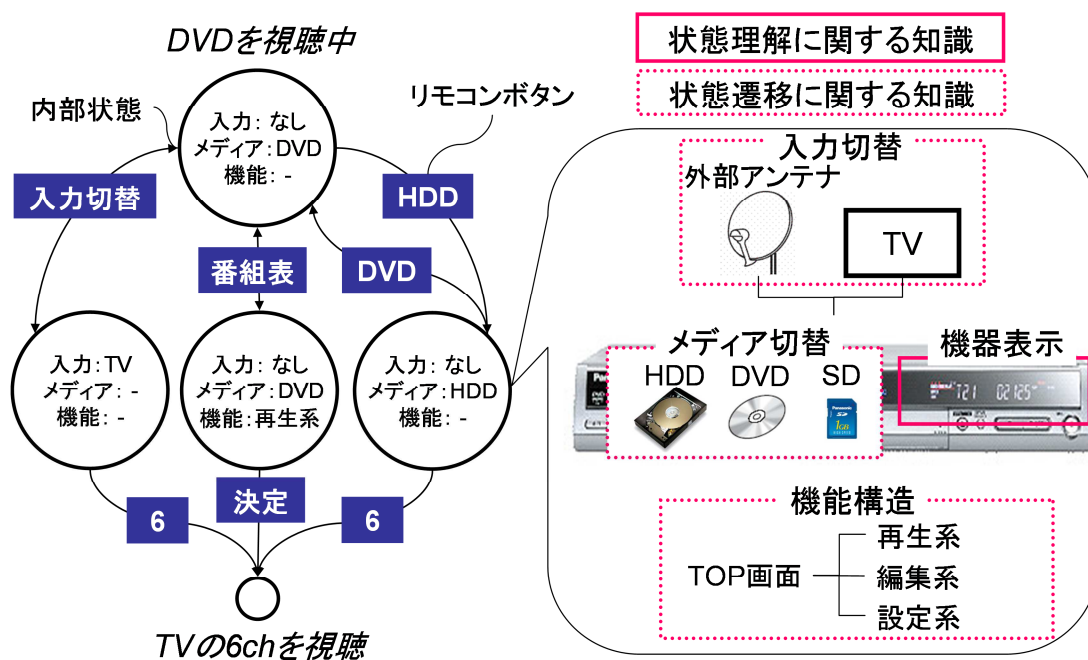


図 6 DVD レコーダにおける操作概念

そこで、本研究では操作概念を「機器の内部状態と状態遷移を理解するための知識」と定義する。2章で述べた先行実験 [22] [23]によれば、DVD レコーダの操作概念は、表 8 に示すように機器の状態理解と状態遷移に関する 4 つの知識に分類された。図 6 の右側に示すように、状態理解に関する知識（機器表示概念）は、図 6 左側の各状態を観測するための知識であり、状態遷移に関する知識（入力切替、メディア切替、機能構造概念）は、内部状態を変化させるための知識である。各概念の概要は以下の通りである。

表 8 操作概念の種類

概念種類	概念名
(A) 状態理解	(A) 機器表示概念
(B) 状態遷移	(B1) 入力切替概念
	(B2) メディア切替概念
	(B3) 機能構造概念

(A) 機器表示概念：

機器本体が備える状態表示ディスプレイから機器内部状態を理解する知識。例えば再生モードが HDD モードか DVD モードかを、点灯アイコンから識別するなど、機器表示の理解のための知識に該当する。

**(B1) 入力切替概念：**

DVD レコーダと外部から入力される映像ソース（BS 放送，地上波デジタル，など）との関係を理解する知識。入力切替ボタンの操作知識に該当する。

**(B2) メディア切替概念：**

機器の複数の記録メディア（HDD，DVD，など）の関係を理解する知識。メディア切替ボタンの操作知識に該当する。

**(B3) 機能構造概念：**

機器の機能ツリー構造を理解する知識。DVD レコーダにはコンテンツの再生や編集，機器設定に関する複数の機能が集約したボタンがあり，各ボタンの役割とその下のメニュー項目に関する知識に該当する。

### 3.1.2.探索的インタラクション

探索的インタラクションとは，正しい操作方法を知らない場合に試行錯誤的な操作によって目的の操作方法を探索する操作過程である。

図 7 に操作概念と探索過程の関係を示す。機器をある現在状態 S0 から目的の状態 S3 に遷移させようとする際，操作の過程や正解操作の発見率はユーザの事前知識によって異なる。ここで，事前知識を表 8 の 4 つの操作概念に当てはめて考える。

表 8(B) の状態遷移に関する概念は，その概念に関連する操作の場合には，正解操作はすぐに想起され最短経路の発見に有効に作用する（図 7 の B1）。一方，関連のない操作方法を知っていても，目的の状態に到達できない（図 7 の B2）。

一方，表 8(A) に示す状態理解に関する概念は，正しい操作はわからないものの，操作に対する機器の状態の変化は理解できるため，広範囲の探索を行いながらも，正解操作を発見できる（図 7 の A）。

以上の操作概念の機器操作への影響を検証するため，次節では異なる操作概念を教示したユーザグループ間で DVD レコーダの操作結果を比較し，操作発見率及び操作ログ分析による探索的インタラクションの違いを調査した。

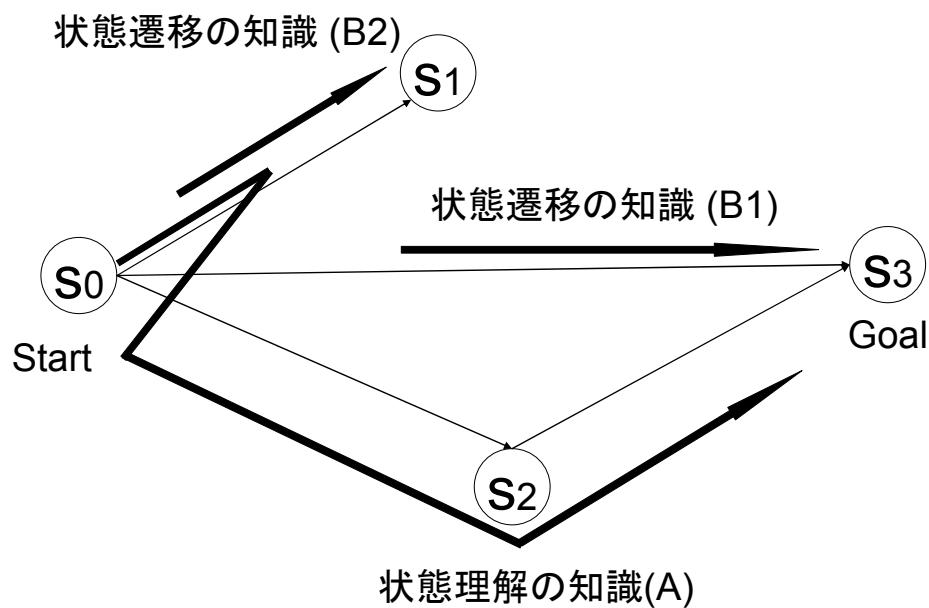


図 7 操作概念と探索過程

## 3.2. 操作概念教示実験

### 3.2.1. 実験目的

事前に異なる操作概念を教示した時の機器の操作結果と操作過程の違いを調査することが本実験の目的である。操作概念は表 8 の 4 つの概念とした。操作マニュアルには、表 8 のそれぞれの操作概念の説明に対応する記述があり、ユーザへの教示には機器付属の操作マニュアルの該当部分を使用した。

### 3.2.2. 実験方法

#### 3.2.2.1. 被験者

被験者は DVD レコーダの操作経験のない大学生 25 人とし、実験は 2006 年 2 月 27 日～3 月 3 日に行った。

#### 3.2.2.2. 実験構成

HDD 搭載型 DVD レコーダを評価対象とし (2006 年 2 月時点の最新機種)、被験者とテレビ画面の距離は、機器表示が確認可能な 80cm とした。

#### 3.2.2.3. 実験手順

実験は 3 つのステップで行った。25 人の被験者を 5 人ずつ 5 つのグループに分け、4 グループには状態理解に関する「(A)機器表示」、及び状態遷移に関する「(B1)入力切替」「(B2)メディア切替」「(B3)機能構造」のいずれかの操作概念を教示した。残る 1 グループは DVD レコーダの初心者を想定するためステップ 2 の操作概念の教示を省略し、事前知識を与え



なかった。

### ステップ1: 事前に持つ操作知識の確認テスト

被験者が事前に持つ操作知識を確認テストによって評価した。テスト問題を表9に示す。各問題に関連する操作概念を○で示した。この対応関係は、正解操作を回答するために必須となる教示内容を示している。例えばQ1の正解操作には、初期状態の「地上アナログ放送」を確認するための機器表示に関する知識と、アナログ放送からデジタル放送に切替える入力切替の知識が必要になる。一方、Q4の正解操作は、DVDレコーダの仕様上、機能構造に関する知識だけで正解操作を回答できる。なお、正解操作とは各問題に対して最初に押すリモコンボタン名を指す。回答方法は、問題ごとに設定された回答開始時の機器の内部状態を確認した後、正解だと思うボタン操作をリモコン画像がプリントされた紙面上に丸印で記入する形式で行った。確認テストでは、Q4とQ6が同じ問題であるが、回答開始時の内部状態が異なるため正解操作が異なっている。このため、正解するためには内部状態を考慮する必要がある。実験に用いたリモコンを図8実験に用いたリモコンに示す。この段階で操作方法の学習が生じないように、正解を教示せず、また紙への回答で機器動作のフィードバックを与えないようにした。

表9 ステップ1の確認テスト問題

	機器表示	入力切替	メディア切替	機能構造	確認テスト	回答開始時の内部状態	正解操作
Q1	○	○			BSデジタルの161chを表示	地上アナログ6ch HDDモード	放送/入力
Q2	○		○		DVDコンテンツを表示	地上アナログ6ch HDDモード	HDD/DVD /SD切替
Q3	○		○		表示番組をDVDに録画	地上アナログ6ch HDDモード	HDD/DVD /SD切替
Q4				○	HDDに録画している番組一覧を表示	地上アナログ6ch HDDモード	再生ナビ
Q5	○	○			BSデジタル161chの番組表を表示	地上アナログ6ch HDDモード 番組表	放送/入力
Q6	○		○		HDDに録画している番組一覧を表示	地上アナログ6ch DVDモード	HDD/DVD /SD切替
Q7	○			○	SDカードの中の写真を表示	地上アナログ6ch SDモード	再生ナビor 機能選択
Q8	○			○	地上アナログ2chの21時からの番組をHDDに録画予約	地上アナログ6ch HDDモード	番組表or 機能選択
Q9	○	○			地上アナログの6chを表示	地上デジタル141ch HDDモード	放送/入力
Q10				○	HDDに録画した番組をDVDにダビング	地上アナログ6ch HDDモード	機能選択
Q11				○	選択番組のタイトル名を変更	再生ナビ HDDモード	サブメニュー
問題数	8	3	3	5			

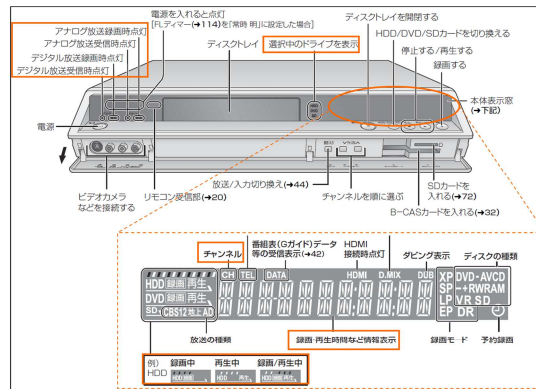
## ステップ 2: 操作概念の教示

マニュアルから各操作概念の説明に該当する部分を抽出して実験者が教示を行った。操作マニュアルには個別の操作方法の教示のページの前に、今回使用したすべての操作概念をそれぞれ説明するページが存在していた。実験者は操作方法を実演し、被験者は説明を受けた後に、5分間紙面を熟読する。この時、教示した操作以外の操作方法の学習を防ぐためリモコン操作をさせないようにした。

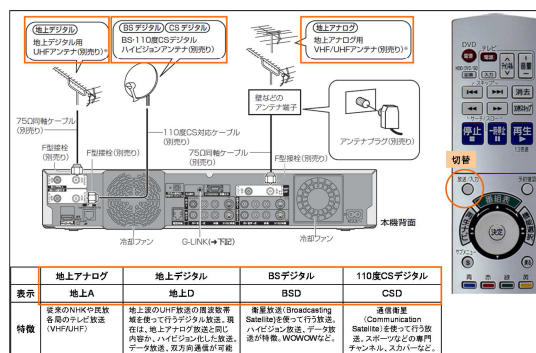


図 8 実験に用いたリモコン

実際に教示した各概念の説明を図 9 に示す。図 9 (a) の機器表示概念の教示では、操作方法の説明はないものの、機器が備える各種インジケータの読み取り方が説明してある。テレビ画面にもインジケータの情報の一部が表示されるが、テレビ画面表示に対する明示的な教示は行わなかった。また、図 9 (b) の入力切替概念の教示では、DVD レコーダに入力される放送の種類とリモコン上での操作ボタンが説明してある。また、図 9 (c) のメディア



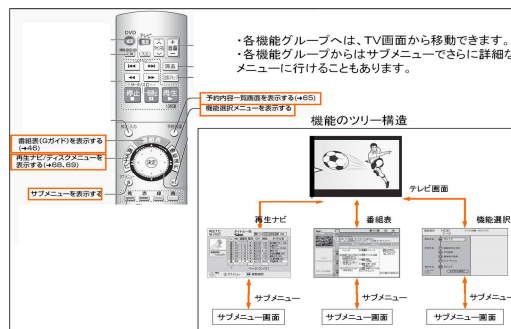
(a) 機器表示



(b) 入力切替



(c) メディア切替



(d) 機能構造

図 9 概念説明

ア切替概念の教示では各メディアの用途や特徴とリモコン上での操作ボタンが説明してある。最後に、図 9 (d)の機能構造概念では、機能の大まかなツリー構造と、サブツリーとして表現された各集約機能に対応するリモコン上での操作ボタンが説明してある。

各概念の教示内容は「①取り得る状態を一覧で示す」「②各状態を理解するための知識を示す」「③状態遷移の方法を示す」の 3 点を含むように作成している（機器表示概念は表示理解が目的であるため③は含まず）。③だけではなく①と②が加わる点が、一般的なマニュアル教示と異なる点である。このステップにより操作概念の獲得とした。

### ステップ 3: 操作テスト

操作テストは、表 10 の 11 問に対して行った。被験者は、与えられた機能を実現するために探索的インタラクションを自由に行い、正解状態に到達したと考えた時点で実験者に報告した。また、被験者が教示内容を忘れてしまうことを防ぐため、操作テスト中はステップ 2 の説明用紙をいつでも参照できるようにした。また、被験者からあきらめた旨の申告があるか、1 問につき自由操作が 3 分を超えた場合は誤操作と判定した。

表 10 ステップ 3 の操作テスト問題

	機器表示	入力切替	メディア切替	機能構造	操作テスト	回答開始時の内部状態
Q1	○	○			BSデジタルの161chを表示	地上アナログ6ch HDDモード
Q2	○		○		DVDコンテンツを表示	地上アナログ6ch HDDモード
Q3	○		○	○	HDDに録画している番組一覧を表示	地上アナログ6ch DVDモード
Q4				○	DVD本体の初期設定画面を表示	地上アナログ6ch HDDモード
Q5	○	○			地上アナログ6chの番組表を表示	地上デジタル141ch HDDモード 番組表
Q6	○		○		SDカードの中の写真を表示	地上アナログ6ch HDDモード
Q7	○		○	○	HDDの中のリモコン写真を表示	地上アナログ6ch SDモード
Q8				○	番組表を表示	地上デジタル6ch HDDモード 再生ナビ
Q9	○	○	○	○	地上アナログ2chの21時からの番組をHDDに録画予約	地上デジタル141ch HDDモード
Q10				○	HDDに録画した番組をDVDにダビング	地上アナログ6ch HDDモード
Q11	○	○			地上デジタルの41chを表示	地上アナログ6ch HDDモード
問題数	8	4	5	6		

実験中は、被験者の操作ログ（リモコン信号）を操作開始からの時間とともに自動的に逐次記録した。各問題は、正しい状態に到達するには複数ステップの操作が必要なものを選択した。機器操作概念は複数ステップの各状態間の遷移に使用され、最初の操作ボタンの記録のみでは操作概念教示の効果が現れないと考えたためである。なお、本実験では自由操作の過程で試行錯誤を許容することになり、操作過程で操作方法の学習も発生するが、被験者間では同条件であると仮定した。このステップ 3 で記録された操作ログの分析により、まず正解操作の発見率を、次に探索的インタラクションの過程の違いを分析した。

### 3.2.3. 実験結果 1：操作正解率の比較

#### 3.2.3.1. 操作概念教示前の操作正解率

表 11 に操作概念教示前の確認テストの正解率を示す。各数値は表 9 に示した関連概念の対応表に基づき、概念ごとに各問題の正解率を平均して算出した。この正解率が概念教示後の正解率と比較するための基準値となる。グループ分けはランダムに行ったが、平均正解率は、0.29～0.48 の範囲でばらついていた。

操作概念ごとの難易度を見るために全被験者に対する操作概念ごとの正解率を比較すると、入力切替概念に関する問題の正解率は 0.17 となり、他の概念に関連する問題の正解率 0.35～0.54 と比べて低い値となる傾向が見られた。これは、BS や CS などの記号のわかりにくさにより機器状態が把握しにくかったためと考えられる。

表 11 ステップ 1 の確認テストの操作正解率

		全問	問題に関連する操作概念			
			機器表示	入力切替	メディア切替	機能構造
教示グループ	A:機器表示	0.48	0.45	0.40	0.40	0.68
	B1:入力切替	0.34	0.33	0.07	0.33	0.64
	B2:メディア切替	0.29	0.30	0.13	0.33	0.40
	B3:機能構造	0.38	0.38	0.07	0.47	0.60
	C:教示なし	0.31	0.30	0.20	0.33	0.40
全被験者		0.36	0.35	0.17	0.37	0.54
問題数		11	8	3	3	5

#### 3.2.3.2. 操作テストの正解操作発見率

表 12 に操作概念教示後の操作テストの正解操作発見率を示す。発見率は表 10 に示した関連概念の対応表について概念ごとに対応する問題の正解率を平均して算出した。全問題

の平均発見率は、操作概念教示なしのグループ C の 0.57 と比較して、概念教示ありのグループ A, B1, B2, B3 が 0.61~0.97 と高い値となった。

次に、教示しなかった操作概念に関連する問題の発見率と比較すると、教示概念の種類によりばらつきが見られた。例えば、機器表示概念を教示したグループ A は、全問平均で最も高い発見率 0.97 となり、教示していない概念の問題に対しても高い発見率となった。一方で、メディア切替を教示したグループ B2 は、メディア切替えに関する問題に対する発見率は 0.84 で高かったが、他の教示していない概念の問題には、低い正解率 (0.25~0.77) となった。

表 12 ステップ 3 の操作テストの正解操作発見率

		全問	問題に関連する概念			
			機器表示	入力切替	メディア切替	機能構造
教示グループ	A:機器表示	0.97	0.98	1.00	0.96	0.93
	B1:入力切替	0.83	0.83	0.90	0.80	0.80
	B2:メディア切替	0.61	0.60	0.25	0.84	0.77
	B3:機能構造	0.70	0.70	0.45	0.84	0.80
	C:教示なし	0.57	0.58	0.40	0.72	0.60
全被験者		0.74	0.74	0.60	0.83	0.78
問題数		11	8	4	5	6

### 3.2.3.3. 教示前後の正解率の比較

図 10 に操作概念の教示前後の正解率を示す。テストの問題が完全には同一ではないが類似の概念を扱う問題を設定しており、教示前後の正解率の差を改善度として示している。試行錯誤のみで操作方法を獲得したグループ C (教示なし) の改善度が 0.26 であったのに対して、操作概念教示グループ A, B1, B2, B3 は 0.32~0.49 となり、いずれのグループにも教示効果が見られた。また、グループ別では、機器表示、入力切替の教示が 0.49 の改善度向上を示し、特に高い教示効果が見られた。一方、メディア切替と機能構造では教示の効果は小さかった。

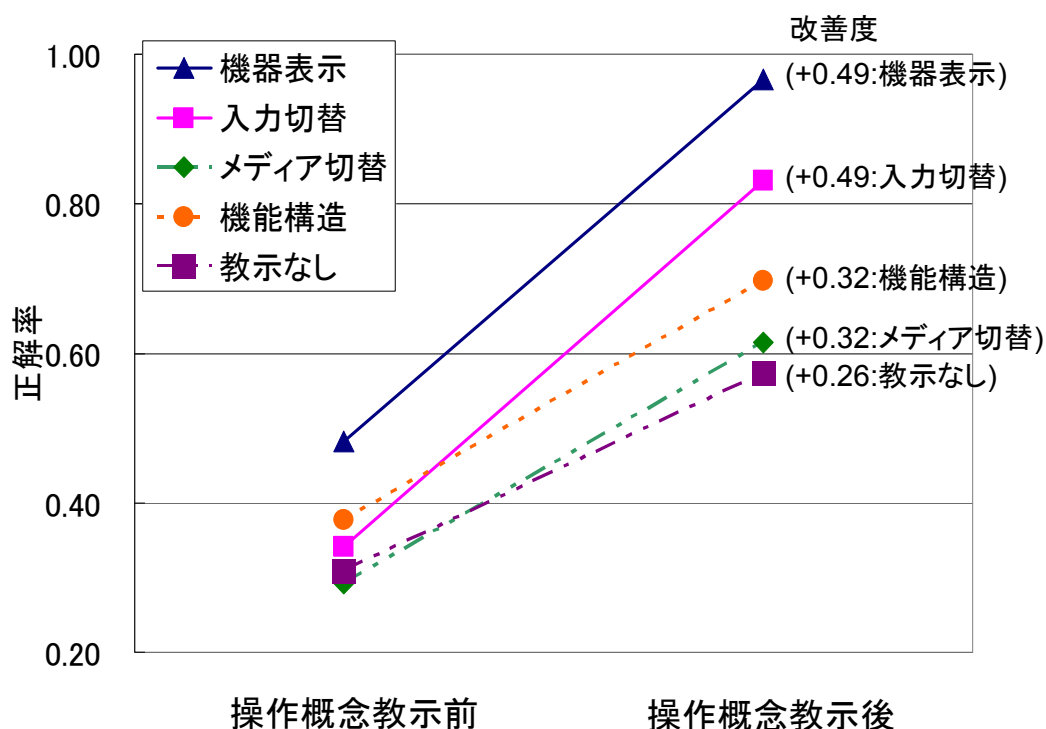


図 10 教示前後の正解率の比較

### 3.2.4. 実験結果 2 : 探索過程の比較

本節では、概念教示が探索的インタラクションに与える影響を分析する。本実験の設定では探索的インタラクションの過程でも操作方法を学習する特性があるため、概念教示の影響のみが現れると考えられる教示終了直後の操作テスト Q1 を分析対象とした。なお、グループ B1 とグループ B2 の各 1 名分の操作ログが正しく取得できていなかったため、分析の対象外としている。

表 13 に各グループの発見率と図 8 に示したりモコン上の主要なボタンの平均押下回数を示す。分析対象の Q1 は「BS デジタル放送の 161 チャンネルを表示する」問題で、正解操作は BS デジタル放送に切替える「放送/入力」ボタンを選択する方法と、まず「番組表」ボタンで番組の一覧表を表示してから「放送/入力」ボタンを選択する方法の 2 通りがあり、それ以外の操作は不要であり、誤操作とも呼べる。

正解操作が発見できたのはグループ A の全員とグループ B1 の 5 人中 4 人、不正解は他グループ全員で、Q1 に対して機器表示や入力切替の概念教示が有効であったと考えられる。

また、表 13 の網掛け部分は、単純なボタンの押し間違えとは考えにくい平均押下回数が 1 回以上の部分を示す。この網掛け部のパターンは、各グループで異なる。例えば、正解にたどり着いたグループ A (5 名) とグループ B1 (4 名) を比較すると、グループ A は番組表、放送/入力の両方のボタン操作から正解に到達し、グループ B1 は放送/入力のボタンの

みで正解に到達している。また不要な操作（誤操作）ボタンについても、グループ A は HDD/DVD/SD 切替ボタンを平均 5.2 回押し、グループ B1 は誤ったボタン操作が 1.3 回以下と少ない。Q1 は、入力の切替えに関する操作であり、グループ B1 は入力切替の概念と操作を直接教示されているため、Q1 に関係のない記録メディアの切り替えは押さなかったと考えられる。このように教示概念によって、異なる探索が行われる傾向を確認した。

表 13 Q1 のボタン別の平均押下回数

		正解率	押下ボタン数(回)					
			正解操作		誤操作			
			放送 /入力	番組表	HDD/DVD /SD切替	サブ メニュー	機能 選択	入力
教示グループ	A:機器表示	1.0 (5/5)	6.6	1.2	5.2	0.4	0.2	1.2
	B1:入力切替	0.8 (4/5)	8.0	0.0	1.3	0.0	1.0	0.8
	B2:メディア切替	0.0 (0/5)	6.0	4.0	0.0	0.0	2.3	7.0
	B3:機能構造	0.0 (0/5)	7.8	2.2	0.6	3.2	1.0	0.4
	C:教示なし	0.0 (0/5)	3.2	3.8	4.4	0.4	1.4	2.2

### 3.3. 考察

#### 3.3.1. 教示概念が操作発見率に与える影響

3.2 の結果より、全ての操作概念教示グループが教示なしグループより高い発見率、改善度を示し、操作概念の教示が操作発見に有効なことを確認した。

次に「状態理解」の操作概念と「状態遷移」の操作概念を比較する。状態理解（機器表示）に関する教示は、他の概念教示より高い発見率と改善度を示した。これは一回毎のリモコン操作に対する機器状態の変化が理解できたため有効なフィードバックとして働き、探索的インタラクションが効率的に行えたと考えられる。

一方、各状態遷移に関する教示は、教示した概念に関連する問題に対して特異に発見率が向上する傾向が見られた。個別には、入力切替概念の教示は機器表示概念と同程度の発見率の改善を示した。入力切替概念に関する問題は確認テストで最も正解率が低かったため、特に操作概念の教示が発見率の向上に大きく寄与したと考えられる。また、入力切替に関する問題では、教示を受けていない場合、正解の状態にたどり着いていることを正しく認識できず、操作を続行してしまうユーザが多く見られた。この原因としては、放送の種類（例えばデジタル放送とアナログ放送）の違いを理解できていないことや、現在の放送入力状態が確認できないことが考えられる。機器表示概念と入力切替概念グループでは、



これらの内の一つを教示されていたため、他のグループよりも高い改善度が見られたと考えられる。

また、メディア切替、機能構造の両概念は、他の概念に関わる問題には大きな影響を与えず、比較的独立した概念であると言える。

### 3.3.2. 操作概念が探索過程に与える影響

図 11 に操作テスト Q1 で各個人が押下したボタンの時系列変化を示す。横軸は被験者を示し、縦軸は操作終了までの時間で、ボタンを押してから他の種類のボタンが押されるまでの時間を模様分けして示す。正解操作に到達した被験者のデータには○印、操作をあきらめたと申告した被験者のデータには×印を付している。

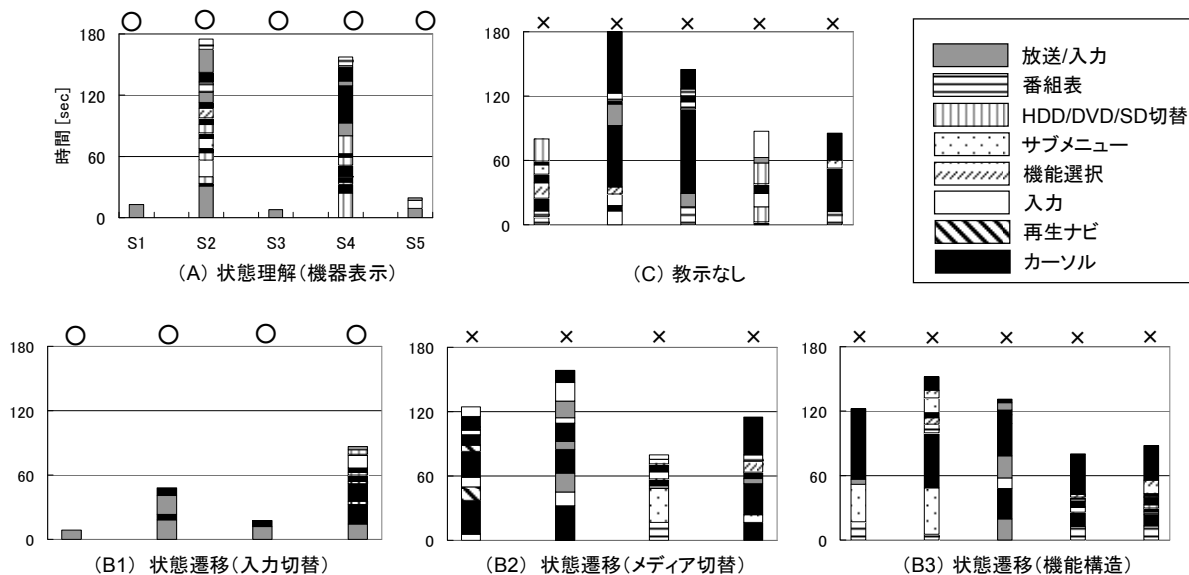


図 11 操作ボタンの時系列変化(Q1)

図 11 で正解操作に到達した状態理解 (機器表示) 教示グループ A と状態遷移 (入力切替) 教示グループ B1 の操作過程を比較する。表 14 はグループ A と B1 のユーザが実際に押したボタンの種類を示している。○印は実際に押されたボタンで×印は押されなかったボタンである。グループ B1 のユーザでは最大で 4 種類のボタン操作が見られたのに対し、グループ A では 7 種類のボタン操作が見られた。また、正解操作に到達した時点の押下ボタンは、グループ B1 では全ユーザが教示された「放送/入力」で正解したのに対し、グループ A では「放送入力」「番組表」の 2 つのボタンから正解に到達している。これより、状態理解教示は、操作方法が分からなくても、広範囲な探索を行い発見的に正解操作に到達

できたと言える。

表 14 グループ A と B1 の押下ボタン種類

	A :機器表示	B1:入力切替
放送/入力	○	○
番組表	○	×
HDD/DVD/SD切替	○	○
サブメニュー	○	×
機能選択	○	×
入力	○	○
再生ナビ	×	×
カーソル	○	○
押下種類数	7	4

また、Q1 では正解操作方法に関する教示が行われなかったグループを見ると (B1 以外)、グループ A では、全員が正解したが、3 名はすぐに正解し、2 名は多くのインタラクションの後に正解に到達している。一方で、他のグループ (B2, B3, C) では被験者が早期に探索を諦めており、機器表示の理解が探索を持続できた要因と考えられる。

次に、毎分あたりの有効探索回数を、同じくグループ A と他のグループで比較した。有効探索回数とは、カーソル以外のボタン操作が行われた回数であり、これらの操作は何かしらの意図を持って行われる操作であるため、単位時間あたりの有効探索回数が多いほど、より効率的な探索を行ったと解釈することができる。この結果を表 15 (2) に示す。対象ユーザは表 15 (1) と同じく、各グループで 2 分間以上探索を行ったユーザである。グループ A における有効探索回数は 3.6[回/分]であったのに対し、その他のグループでは 1.8[回/分]であった。状態理解概念を教示したグループ A はカーソル操作を除いた時間において約 2 倍の回数の探索を行っており、より効率的な探索を行っていたと考えられる。

状態遷移に関する他の教示では、メディア切替グループ B2、機能構造グループ B3 は、表 15 に示すように探索範囲は状態理解教示グループよりも狭く、正解操作に到達できていない。さらに全てのユーザが 3 分以内に探索を諦めていた。実験後のインタビューでは、「ボタンを押しても何が変わったか分からなかった」「元の状態に戻せなくなったので諦めた」などの意見が聞かれ、探索を諦めた原因は探索中に現在の機器の状態を把握できなくなったためと分かった。

このように状態理解概念は、探索を行う時の機器からのフィードバック理解の有効な情報となり、結果として探索が持続することで、複数の正解操作を発見できる可能性が高まった。一方、状態遷移概念は、関連操作にのみ効果が高いと言える。

表 15 カーソル操作の占有率と有効探索回数の比較

	状態理解A (正解)	状態遷移B2,B3 教示無しC (不正解)
(1)カーソル操作占有率 [%]	41	56
(2)有効探索回数 [回/分]	3.7	1.8

### 3.3.3. 教示による操作支援への応用

DVD レコーダの操作から抽出した操作概念の分類は、多くのデジタル機器に共通する概念であり、多くの機能を操作する機器であれば同様に応用できる。例えば、テレビや携帯電話、デジタルカメラ、パソコンなどは概念教示を行う、もしくは概念獲得しやすい画面設計により操作性を向上できる可能性がある。また、機器表示の教示に関する知見は、ロボットやエージェントをはじめ、人とのインタフェースを持つ全ての多機能機器に共通する知見になり得ると考えられる。

次に、教示による操作支援方法について考察する。現在、多機能機器で誤操作が生じた場合は、ヘルプ画面やエージェントが表示され、機器が正しい操作方法を教示したり、ユーザーがエージェントに対して使い方を質問したりする支援方法が主である。しかし、本章で行った実験結果からは、探索的インタラクションにおいては、操作方法の説明より、操作結果が機器表示に与える変化（機器表示の見方）の教示が有効な場合も多いと考えられる。

また、本実験で明らかになった、機器表示が理解されれば探索的インタラクションが長続きする知見は、多機能機器以外であっても、例えば知能ロボット等の人とインタラクションが必要な機器の設計には有用である。知能ロボットはインタラクティブに受け答えるだけでなく、内部状態の変化を伝える手段を持つことで、探索的インタラクションが長期間持続され、ロボットがより多くの機能をユーザーに提供できると考えられる。

## 3.4. むすび

第 3 章では、教示による機器乗換え時の探索支援を目的とし、教示内容を現在の機器状態を示す画面やインジケータ表示の意味に関する「状態理解概念」と、どのリモコン操作によって機器状態がどう変化するかに関する「状態遷移概念」に分け、それぞれの教示が探索の持続性に及ぼす影響を操作性評価実験により検証した。

実験の結果、状態理解概念の教示では 13 問の問題の発見率は 97% となり、状態遷移概念を教示したグループよりも 15~35% 以上の改善が見られた。また、教示後に行った最初の

問題について操作ログを分析した結果、状態遷移概念を教示したユーザでは探索を持続できなかったのに対し、状態理解概念を教示したユーザは正解操作を発見するまで探索を持続できた。さらに探索操作の質においても、有効な操作回数と探索範囲の分析から、状態理解の教示グループのほうが広範かつ効率的な探索を行っていた。

この結果は、機器乗り換え時に生じた誤操作に対しては、操作方法を個別に教えるよりも、機器状態を確認できる表示情報の見方を教える方が、その後の探索に有効であることを示唆しており、ユーザの操作モデルを効率的に修正できる教示内容と言うこともでき、初期利用時のインストラクションとして有用な成果だと考えている。

しかしながら、今後の課題として、新しい機器を使用する前に保持している操作知識に応じた教示を行うため、機器の操作過程からユーザが保持していない操作概念を自動的に推定するアプローチなども検討が必要である。これにより、より適応的な操作支援を行うことが可能になると考えられる。

## 4. ジェスチャ操作への応用

第 4 章では、操作モデルに基づく操作支援方法の適用範囲を検証することを目的とし、実験対象を DVD レコーダのリモコン操作から、現在広く使われているタブレット PC のタッチ操作に変更し、機器乗換え時の操作性試験を行った。タブレット PC のタッチ操作は、DVD レコーダのリモコン操作とは異なり、ボタン形状やラベルを使って操作を予測することが少ないという特徴を持つ。そのため、リモコン操作と比較して、より事前知識の影響を強く受けた誤操作が発生すると予想される。もし、タブレット PC においても一つ前の使用機器によって誤操作の傾向が異なれば、第 2 章および第 3 章で提案した操作支援方法が適用できると考えられる。そこで第 4 章では、複数のタブレット PC を題材に行った機器間の相互の乗換え実験の結果について説明する。

### 4.1. タブレット PC における操作モデル

ここでは、先行研究 [23] [24] で有効であった操作モデルに基づく誤操作の発生メカニズムと、タブレット PC の乗換え時に適用される操作モデルについて順に説明する。

タブレット PC は一覧性の高いフラットなメニュー構成とタッチ操作によって特徴付けられる。図 12 にタブレット PC におけるアプリケーション選択の概念図を示す。ホーム画面には利用可能なアプリケーションの一覧が表示され、ホーム画面で選択されたアプリケーションは全画面を占有する構成になっている。この単純な構成により、メニュー構成が多階層であった従来の携帯電話や DVD レコーダなどと比べて、アプリケーションを選択する際の操作性が飛躍的に向上した。一方、1つのアプリケーションが全画面を占有するため、アプリケーション画面から別のアプリケーション画面に移動する方法が分からなくなるという問題は依然として残っている。

このようなタブレット PC における画面遷移の概念図を図 13 に示す。(i) から (iv) に示すように、タブレット PC の画面モードは、ホーム、個々のアプリケーション、及び OS からの情報の 3 つの要素で構成されている。(i) ホーム-アプリ間 と (ii) アプリケーション間の移動は、タブレット本体に付属した物理的なボタンを使って行われることが一般的だが、ホーム画面を迂回するため操作ステップ数が増加してしまうため、より効率的に実行できるタッチ操作が OS によって独自に用意されている。(iii) アプリ内操作や (iv) OS-ホーム、アプリ間の情報取得 (例えば起動中のアプリケーション一覧情報の取得) 方法も OS によってそれぞれ異なっている。

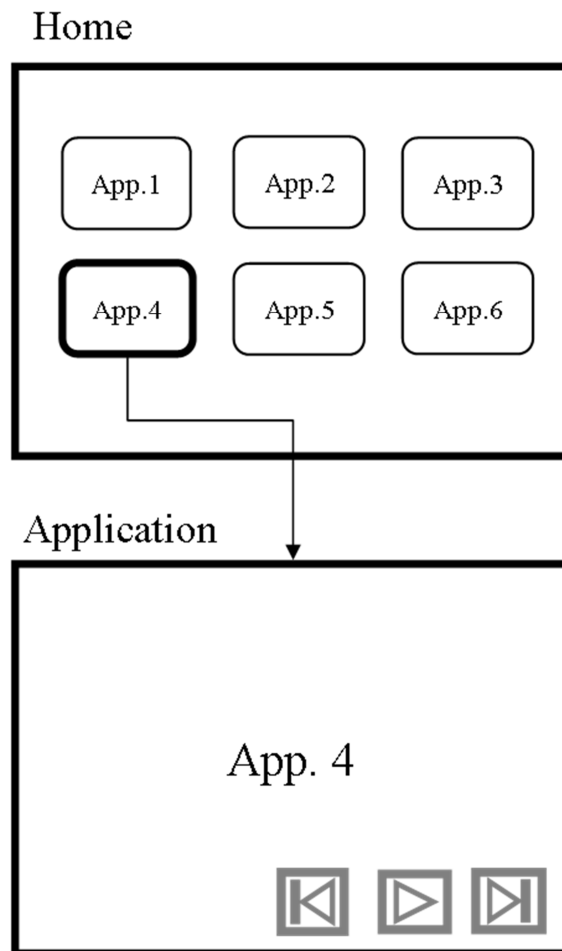


図 12 アプリケーション選択の概念図

図 13 の (i) から (iv) に該当する操作をタブレット PC のアプリケーション切替えにおける操作モデルと考えると、図 1 で示すように、異なるタブレット間では間違え方が異なるはずである。本研究ではこれらの現象をユーザテストによって確認し、誤操作の発生パターンを分析した。

なお、個々のアプリケーションにおけるボタン配置やラベル設定などの GUI デザインに対する操作性についてはタブレット PC に限った課題ではないため、本研究ではタブレット PC 特有の課題であるアプリケーションの切替操作を対象として実験を行った。

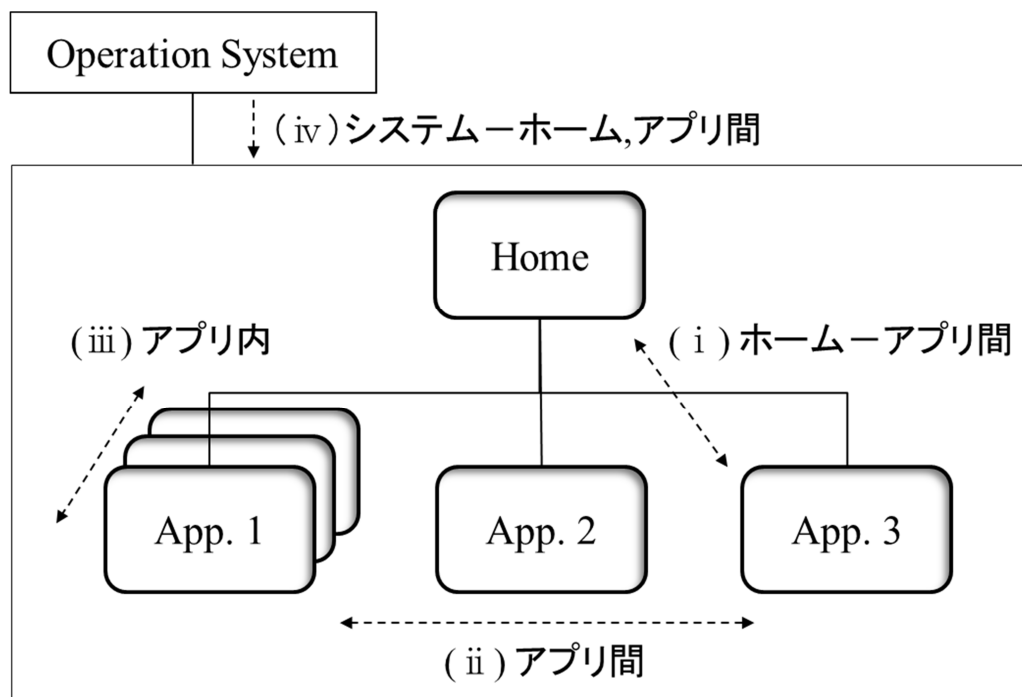


図 13 タブレット PC の画面遷移

## 4.2. 実験

### 4.2.1. 実験目的

本実験の目的は、ユーザが事前に有するタブレット PC の操作知識が別のタブレット PC の初期操作に与える影響を検証することである。

実験に用いる機種は、実験実施当時に広く入手可能であり、かつ、アプリケーションの切替操作などの動作モデルの異なることを基準として iOS5 と Windows8 が搭載されたタブレット PC を選定した。図 14 に両 OS におけるアプリケーション切替方法の概念図を示す。iOS の特徴は、操作可能なメニューボタンが画面内に明示的に表示されている点と、アプリケーション間の移動が実世界の動作を模倣したジェスチャ操作で設計されている点である。一方 windows8 の特徴は画面外に上下左右に隠されたメニューバーから所望のメニューを選択するインタラクションである。例えばホーム画面への移動方法を比較すると、iOS は実世界の紙を捲る操作を模した 4 本指ピンチで行うが、Windows8 は従来のパソコンと同じく画面右側のチャームバー（検索やホーム画面への移動を行うメニュー）からホーム画面に移動するメニューを選択する方式で設計されている。

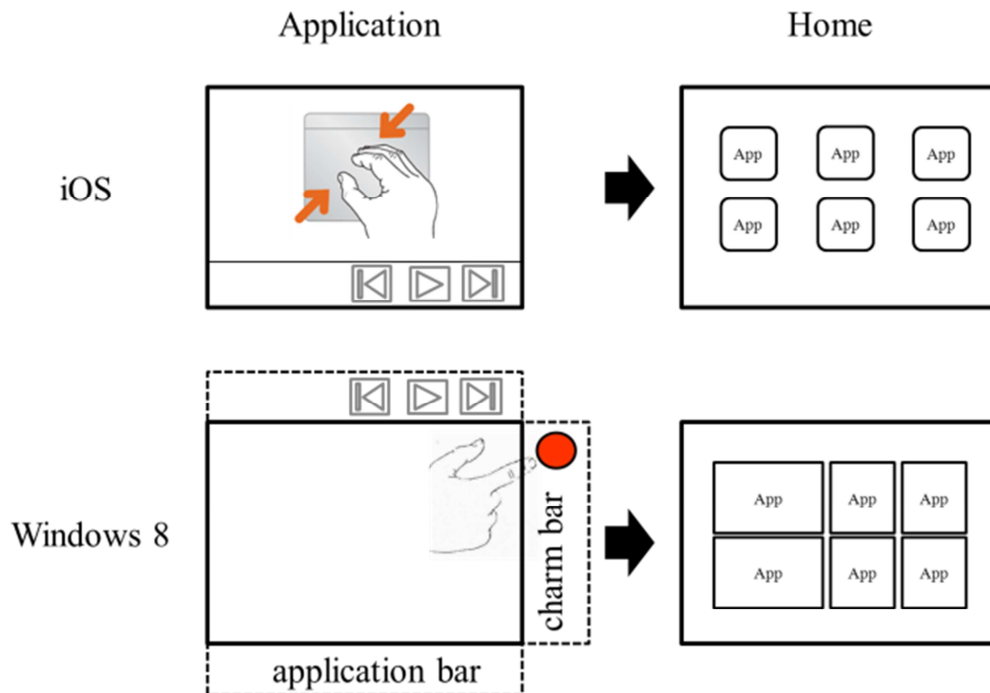


図 14 インタラクションデザイン概念図

このようにアプリケーション間の切替え方法やメニュー表示などの一部の機能については OS ごとに異なっていたため、実験タスクは図 13 に示すアプリケーションの切替操作を対象とした。

なお、本実験では各 OS で独自に設計された切替操作を探索してもらうため、タブレット本体に搭載されたホームボタンの使用は禁止した。また、各端末に共通した 13 個のアプリケーションをホーム画面に同一順序で配置し、位置によるアプリケーション選択の影響を無くしている。

## 4.2.2. 実験方法

### 4.2.2.1. 被験者

被験者は大学生 40 名とし、実験は 2012 年 8 月 16 日～11 月 5 日に行った。

### 4.2.2.2. 実験構成

本実験で用いた実験対象機種はタブレット 1 (iPad, iOS5.1, 以下 iOS と記載)、タブレット 2 (ICONIA TAB, Windows8 Release Preview, 以下 win8 と記載)、タブレット 3 (ICONIA TAB, Windows7, 以下 win7 と記載) の 3 種類とした。実験装置の配置を図 15 に示す。問題提示はもう一台のタブレット端末で行い、被験者への問題提示、及び機器操作を行うため、実験者は被験者の後方にて待機した。



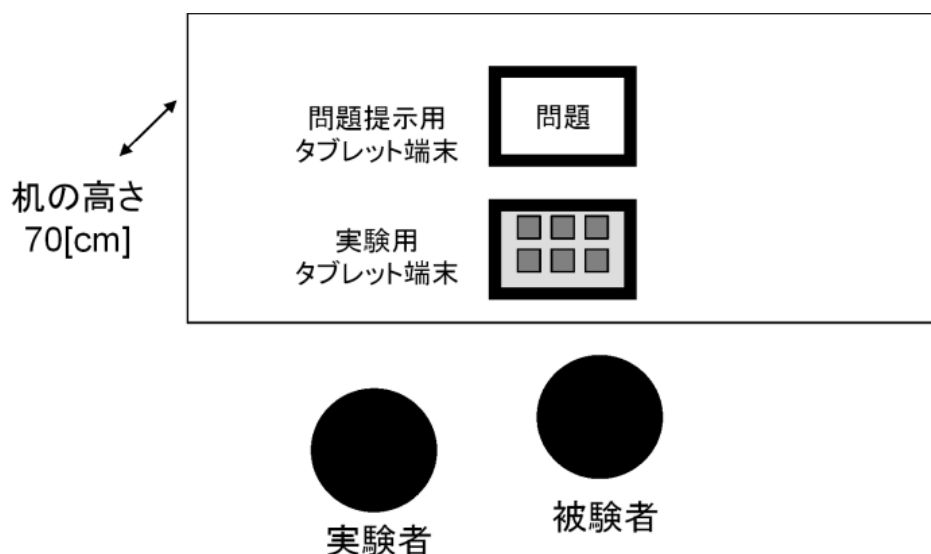


図 15 実験装置の配置

#### 4.2.2.3. 実験手順

実験は3つのステップで行った。40人の被験者を表16に示す4つの教示グループに分けた。win7を操作したグループ(G3,G4)はiOSとwin8の共通操作だけを学習するコントロール群である。各グループには事前の操作経験を得るため上記の3種類のうちのひとつのタブレット端末の操作方法を教示した。実験は1人ずつ順番に行い、被験者1人に対する実験時間は最大で45分であった。

表 16 教示グループ

グループ名	被験者数	教示	テスト
G1	10人	iOS	win8
G2	10人	win8	iOS
G3	10人	win7	win8
G4	10人	win7	iOS

#### ステップ1:教示 (10分)

教示グループごとに指定されたOSが搭載されたタブレット端末の解答付き問題用紙を配布した。教示用の問題を表17に示す。問題は図13に示したアプリケーションを切替える操作を網羅した7問を用意した(分類記号は図13の記号に該当)。また、win8の教示に用いた用紙の一部を図16に示す。教示は正解操作付き問題用紙をユーザに配布し、被験者自らが実際に操作する形式で行った。正解操作欄には操作手順を記載している。操作手順に使用した図面はマニュアルから引用した。このステップ1により、教示時の操作モデル

の獲得を想定した。

### ステップ2:確認テスト (5分)

ステップ1で教示した操作方法の確認テストを行った。間違えた操作は再度教示を行った。全問正解になったことを確認した後、ステップ3に進んだ。ステップ2により、教示時の操作モデルの獲得とした。

表 17 教示用問題

	問題文	分類
Q1	Internet Explorer(Safari)を起動して下さい	(i)
Q2	ホームに戻って下さい	(i)
Q3	ミュージックを起動して下さい	(i)
Q4	ミュージックからIEに切り替えて下さい	(ii)
Q5	IEタブをもう1つ開いて下さい	(iii)
Q6	ホームに戻って下さい	(i)
Q7	アプリケーション一覧を表示して下さい	(iv)

Q.4 ミュージックからInternet Explorerに切り替えて下さい  
A.4 画面の左端からスワイプ



Q.7 現在Internet Explorerとミュージックの2つのアプリケーションが起動しています。  
アプリケーションの一覧画面を表示して下さい。  
A.7 画面左端から左右にスワイプ

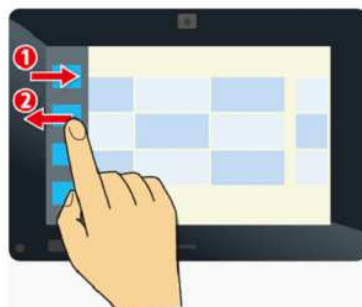


図 16 教示用紙の一例

### ステップ3:操作テスト (30分)

操作テストは表1の右欄に示す未教示のタブレット端末に対して表17と表18に示す合計15問に対して自由操作を行った。問題の内訳はステップ2と同一の7問に加え、探索による操作方法の発見を検証するためステップ1と同じ内容の8問を加えたものである。なお、1問に対する操作時間の上限は2分に設定し、2分以内であっても被験者が探索を諦めると申告した場合は次の問題に移行した。

表 18 テスト用問題

	問題文	分類
Q8	一覧画面からミュージックを選択して下さい	(i)
Q9	音楽を再生して下さい	(iii)
Q10	音楽を停止して下さい	(iii)
Q11	ホームに戻って下さい	(i)
Q12	地図(マップ)を起動して下さい	(i)
Q13	表示を航空写真に切り替えて下さい	(iii)
Q14	地図からミュージックに切り替えて下さい	(ii)
Q15	アプリケーション一覧を表示して下さい	(iv)

## 4.2.3.実験結果

### 4.2.3.1. 教示グループ間の相互正解率遷移図

各教示グループの各評価機器に対する相互の操作正解率の遷移図を図17に示す。図17は、各教示グループから評価機器へ矢印を結び、全問題の平均正解率を付記した。例えば「Win8→60%→iOS」は、Win8の操作を教示したグループ(G2)がiOSを操作した時の10人の被験者の15問の平均正解率が60%であった、という意味である。

各機器に対する正解率は56%以上となり、各タブレットのインターフェースが初心者にとってわかりやすく設計されていると言える。一方、win8を操作したG1,G3の平均正解率はそれぞれ85, 86%となり、iOSを操作したG2, G4よりも20%以上高くなった。この結果より、今回の実験設定ではwin8の方が操作方法を探索的に発見しやすかったと言える。

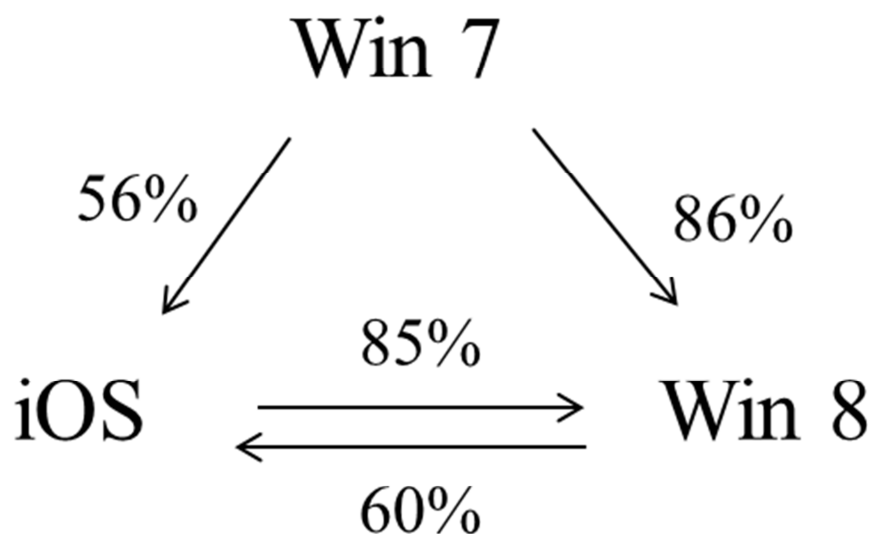


図 17 教示グループ別の正解率遷移図

#### 4.2.3.2. 教示グループ間の問題別の正解率

次に、各グループにおける問題別の操作正解率を比較した。各問題の平均正解率と全問題（Q1～Q15）の平均正解率を表 19 に示す。特に正解率が低かった問題を見やすくするため、正解率が 30%以下の部分をグレーアウトしている。

正解率 30%以下のグループは Q2,Q4,Q6,Q7,Q11,Q14,Q15 の 7 問で見られ、全て複数のアプリケーションを切替える問題に集中した。残りの 8 問の正解率は全グループで 80%以上となり、個々のアプリケーションを選択、操作する問題であった。この結果より、タブレット PC ではアプリケーションの切替操作に誤操作が生じやすいと言える。

また、問題別の操作正解率の傾向は操作テストで使用したタブレット間で異なった。例えば Q4 の「ミュージックから IE (Safari) へ切替えて下さい」の正解率は、win8 を操作した G1 と G3 はいずれも 80%と高い値を示したが、iOS を操作した G1 は 20%、G3 は 0%と低い値を示した。このようにタブレット間で正解率の傾向（表中のグレーと白のパターン）が異なった問題は Q2,Q4,Q6,Q11,Q14,Q15 の 6 問で、これらは全てアプリケーションを切替える問題であることを考えると、各 OS の設計思想が初期利用時の探索成功率に影響したと言える。

表 19 問題別の正解率

	G1:iOS→win8	G2:win8→iOS	G3:win7→win8	G4:win7→iOS
Q1	100	100	100	100
Q2	60	0	50	10
Q3	100	100	100	100
Q4	80	20	80	0
Q5	100	100	90	100
Q6	70	20	90	10
Q7	10	20	30	0
Q8	100	100	100	100
Q9	100	100	100	100
Q10	100	100	90	100
Q11	100	20	90	10
Q12	100	100	100	100
Q13	100	80	100	90
Q14	100	20	100	20
Q15	50	20	70	0
Q1-15	85	60	86	56

#### 4.2.3.3. 教示グループ間の操作ログの比較

次に、各グループにおける操作ログを比較した。全問題の中で全てのユーザが Q2 で最初の誤操作を行っているため、この問題の操作ログには学習時の操作知識が最も強く反映されているとみなすことが出来る。図 18 に Q2 (「アプリケーション画面からホーム画面に戻る」) における各グループの操作ログの頻度と比率を示す。各グループの教示効果を比較を容易にするため、操作ログは win8 特有の外枠が始点となる bezel 操作 (bezel)、iOS 特有の 4 本指操作 (four-finger)、その他(other)、の 3 つに分類した。

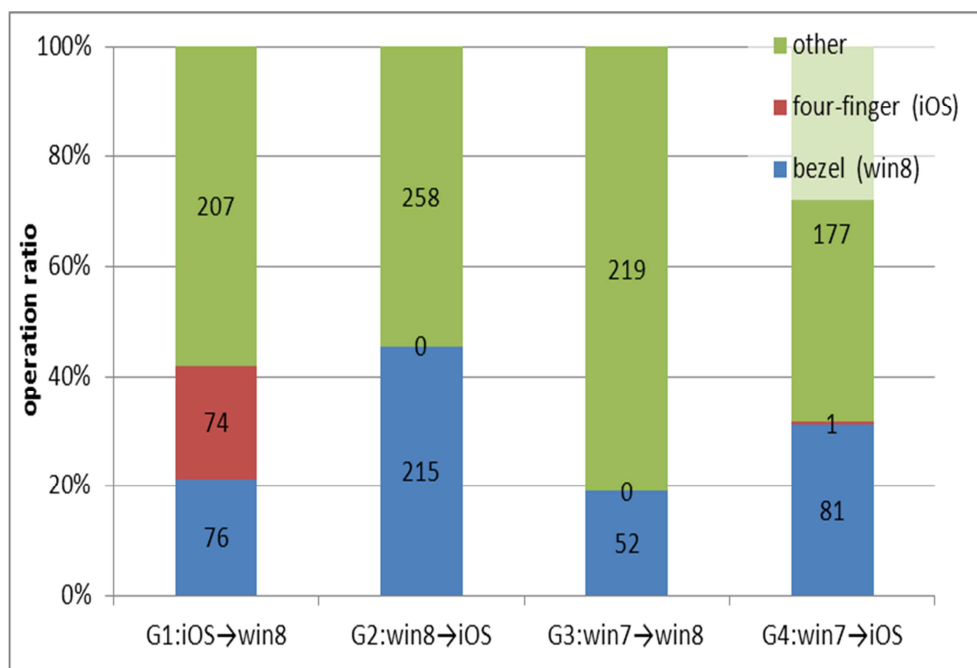


図 18 “アプリケーション画面からホーム画面に移動”に対する操作比率と操作頻度 (Q2)

win8 の bezel 操作を教示した G2 の bezel 操作比率は 45%となり、他のグループの 1.5 倍以上となった (19%~31%)。また、iOS の four-finger 操作を教示した G1 では four-finger 操作比率が 20%見られたが、他のグループでは 0%であった。この結果より、新しくタブレットを使う時にユーザが想起する操作方法は事前知識によって干渉されることが明らかになった。

次に、Q1 から Q15 の操作ログを比較した。図 19 に全問題に対する操作比率と操作頻度の結果を示す。図 18 に示した Q2 操作時と比較すると、win8 を操作した G1, G3 の bezel 操作割合は 20%から共に 40%程度に変化している。一方で iOS を操作した G2, G4 では four-finger の操作が 3%以下であった。タッチ操作のジェスチャは指の本数、動作、始点で定義されるが、iOS では 4 本指操作が探索されていないことから、始点やアクションに比べて指の本数への探索が困難であったと言える。

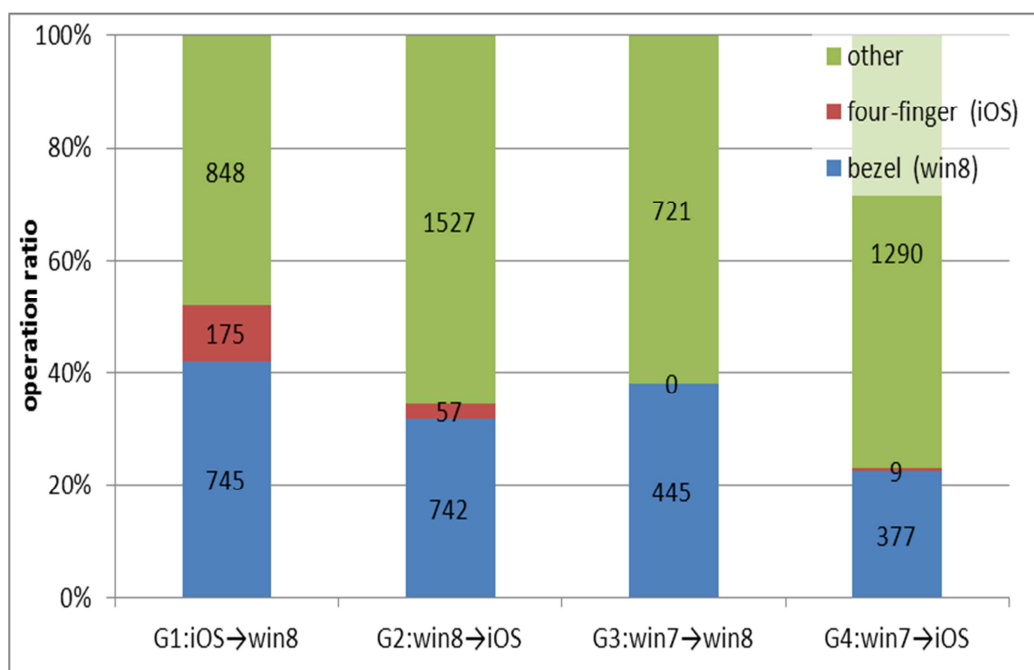


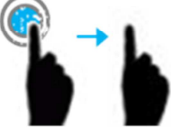





図 19 全問題に対する操作比率と操作頻度 (Q1-Q15)

#### 4.2.4. 誤操作要因の分析

表 19 の中で正解率が 30%以下の問題に共通するのは使用中のアプリケーションを切替える操作であった。誤操作が見られた Q2,Q4,Q6,Q7,Q11,Q14,Q15 の 7 問の内、重複した内容の問題を除いた Q2, Q4, Q7 の正解操作を表 5 に示す。表 5 の太枠は正解率が 30%以下だった問題の正解操作である。同じ問題でも（例えば Q2：ホームに戻って下さい）、正解率が高いのは一度メニューを表示してからメニュー選択によって切替えを行う操作系（以下メニュー探索）であった。一方、正解率が低い操作はジェスチャ操作だけで切替えを行う操作系だった（以下ジェスチャ探索）。

表 20 誤操作問題の正解操作

	win8	iOS
Q2	 menu tap	 pinch
Q4	 menu tap or swipe right	 swipe left
Q7	 swipe right and swipe left	 swipe up

そこで、「アプリケーションの切替操作ではジェスチャ操作の探索が誤操作の要因になる」との仮説を立て、表 19 の 15 個の問題を表 21 に示すようにメニュー探索とジェスチャ探索の問題群に分類し、両問題群の操作正解率を比較した。

表 21 メニュー探索とジェスチャ探索の問題群

	iOS	win8
メニュー操作	Q1,3,5,8,9,10,12,13	Q1-6,8-14
ジェスチャ操作	Q2,4,6,7,11,14,15	Q7,Q15

結果は図 20 に示すように、メニュー探索群の正解率が 90%であったのに対し、ジェスチャ探索群の正解率は 19%となり、ジェスチャ探索がアプリケーションを切替えるタスクで操作発見を妨げる要因であることが確認された。



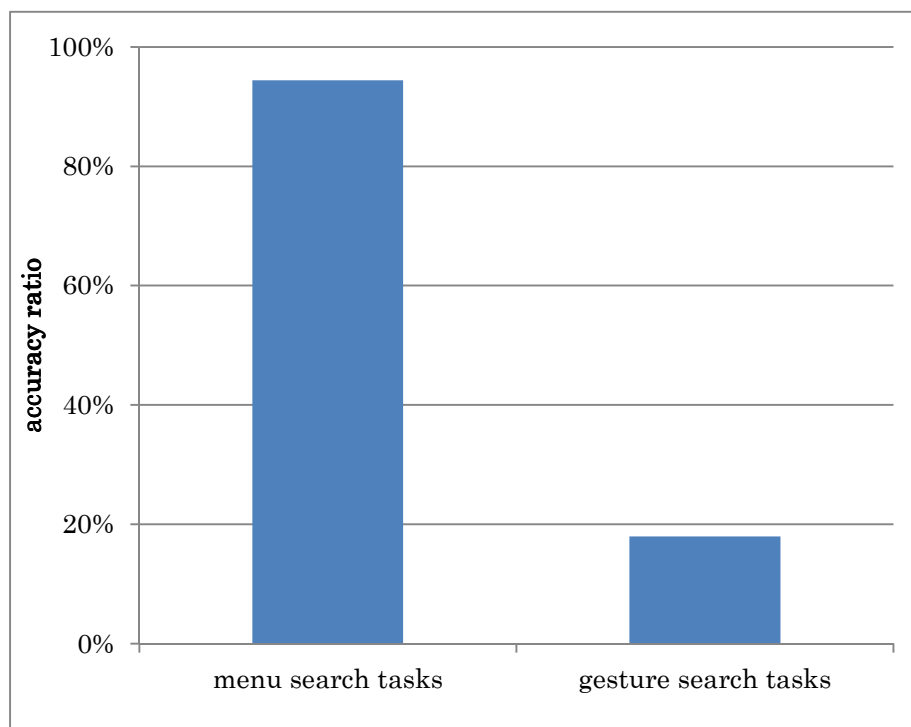


図 20 メニュー探索とジェスチャ探索タスクの正解率

#### 4.2.5. 考察

ここでは実験結果の操作支援への応用、適用範囲、実験実施上の制約、及び今後の課題について順に述べる。

本実験では、アプリケーションを切替える際に生じる初期の誤操作には事前知識の影響が強く反映されることが明らかになった。このような誤操作を未然に防ぐためには、インタフェースデザインを統一化することで操作性を向上させることに加え、ユーザの個別支援が必要であることを示唆している。例えば図 18 で **four-finger** 操作で誤操作するのは iOS の操作知識を持ったユーザとみなすことができるように、事前知識ごとに誤操作時の操作パターンをデータベース化しておけば、誤操作時の操作ログから事前に使用していた操作モデルを推定でき、個々のユーザに合わせた適応的なヘルプ提示が可能になると考えられる。

また、今回の実験ではジェスチャ探索のタスクよりもメニュー探索のタスクの操作発見率が高かった。この結果は、実世界を模倣したジェスチャ操作よりも、探索されやすいように設計されたメニュー操作の方が、初期利用時のユーザにとって探索が容易であることを示唆している。例えば初期利用者の利用シーンが多い端末では、一貫してメニュー操作によるインタラクション設計に統一することや、ジェスチャ操作を探索させる場合には、誤操作時に探索範囲（例えば iOS の場合は指本数）を表示する等のフィードバックが操作性向上に対して有効な手段になると考えられる。

次に、本実験で得られた知見の適用範囲について述べる。今回の実験では新しくタブレット PC を使い始める条件下で評価を行った。そのため、本実験で得られた知見は、タブレット PC の初期利用時の切替操作を行う時については、適用可能であると考えられる。

次に、実験実施上の制約について述べる。本実験の対象ユーザはパソコン等の電子機器を普段から利用する大学生であったため、対象ユーザをより電子機器の利用経験が少ない子供やお年寄りなどに広げて実験を行い、今回得られた知見の妥当性を検証する必要がある。

また、本実験で対象にしたタスクの多くはタブレット PC に搭載されたホームボタン操作で代替可能であり、実際にはこのボタンを使って操作されることが一般的である。ホームボタンは図 13(i)のホーム画面と各アプリケーションとのインタラクションに対して有効である。しかし、図 13(ii)の起動アプリケーションの切替え場面では、ホーム画面を迂回することによる操作ステップ数の増加を招くため、画面上でのインタラクションによって操作されることが望ましいと考える。

最後に今後の課題について述べる。

#### 4.2.6. むすび

第 4 章では、操作モデルに基づく操作支援方法の適用範囲を検証することを目的とし、実験対象を DVD レコーダのリモコン操作からタブレット PC のタッチ操作に変更し、機器乗換え時の操作性試験を行った。複数のタブレット PC 間の相互の乗換え時の誤操作パターンを分析した結果、DVD レコーダと同様に、誤操作は他機能へ切替える場面において発生しやすく、その誤操作の内容は事前知識によって複数通りに発生することを明らかにした。また、探索過程を分析することで、未知のジェスチャ操作を探索的に発見することは難しく、タブレット PC の操作性低下の要因の一つになっていることを示した。

この結果は、タブレット PC においても、DVD レコーダのリモコン操作と同じく、一つ前の使用機器によって誤操作の傾向が異なり、それらの誤操作パターンを用いることにより、第 2 章および第 3 章で提案した適応的な操作支援方法が適用できる可能性を示している。

しかしながら、タッチ操作における操作支援にはいくつかの課題が残されている。タッチ操作におけるジェスチャは指本数、動作、始点で定義できるが、本実験の操作ログを分析した結果、指本数への探索に至っていなかった。今後は本実験の操作ログを解析し、探索過程における事前知識の転移プロセスを明らかにすることで、探索的に発見可能なジェスチャ設計の指針が得られると考える。また、タッチ操作に関する研究は現在も盛んに行われており、新しいデバイスやジェスチャが次々と開発されている [25] [26] [27] [28] [29] [30]。そのため、新しいタッチ操作が搭載されたタブレットデバイスを用いた実験を行い、

本実験で得られた知見の適用範囲を検証することも、今後の課題の一つである。

## 第5章 結論

本研究は、機器の乗換え時の操作性向上を目的とし、ユーザの乗換え前に使用していた機器の操作知識が操作に与える影響を分析し、適応的な操作支援方法及び探索的な操作発見方法を構築した研究である。

第2章では、まず初めに、ユーザの事前知識を各ユーザが機器乗換え前に使用していた機器のルールを持つもの（操作モデル）と定義し、新しく利用する機器の動作モデルとユーザの操作モデルが異なる箇所には、ユーザの事前知識ごとに異なる誤操作が発生するはずであるという仮説を立て、この仮説の妥当性を検証した。具体的には、複数のDVDレコーダを題材に、機器間の相互の乗換え時の誤操作パターンを分析し、正解操作は一つでも、事前知識によって誤操作が複数通りに発生することを示した。また、事前知識によって引き起こされる誤操作は、すべての機能に対して均等に発生するわけではなく、新しく追加された機能で、かつ、機種ごとに異なる操作手順を持つボタン操作において発生しやすいことを明らかにし、これらの誤操作パターンによればユーザの事前知識が推定でき、この推定結果から適応的な操作支援が実現できる可能性を示した。

第3章では、教示による機器乗換え時の探索支援を目的とし、教示内容を現在の機器状態を示す画面やインジケータ表示の意味に関する「状態理解概念」と、どのリモコン操作によって機器状態がどう変化するかに関する「状態遷移概念」に分け、それぞれの教示が探索の持続性に及ぼす影響を操作性評価実験により検証した。第2章と同じく、DVDレコーダの乗換え時を想定した実験を行い、状態理解概念の教示は、状態遷移概念の教示に比べ、探索成功率及び探索の持続時間に対して有効な教示内容であることを明らかにした。この結果は、機器乗り換え時に生じた誤操作に対しては、操作方法を個別に教えるよりも、機器状態を確認できる表示情報の見方を教える方が、その後の探索に有効であることを示唆しており、ユーザの操作モデルを効率的に修正できる教示内容と言うこともでき、初期利用時のインストラクションとして有用な成果だと考えている。

第4章では、操作モデルに基づく操作支援方法の適用範囲を検証することを目的とし、実験対象をDVDレコーダのリモコン操作からタブレットPCのタッチ操作に変更し、機器乗換え時の操作性試験を行った。複数のタブレットPC間の相互の乗換え時の誤操作パターンを分析した結果、DVDレコーダと同様に、誤操作は他機能へ切替える場面において発生しやすく、その誤操作の内容は事前知識によって複数通りに発生することを明らかにした。また、探索過程を分析することで、未知のジェスチャ操作を探索的に発見することは難しく、タブレットPCの操作性低下の要因の一つになっていることを示した。

この結果は、タブレットPCのタッチにおいても、DVDレコーダのリモコン操作と同じ

く、一つ前の使用機器によって誤操作の傾向が異なり、それらの誤操作パターンを用いることにより、第2章および第3章で提案した適応的な操作支援方法が適用できる可能性を示している。

本研究で達成したこれらの成果は、操作が複雑な多機能機器の乗換え時の操作支援方法を構築するにあたり有用な知見であり、これらの知見を組み合わせることで、事前知識の異なる個々のユーザに対して適応的な支援方法の枠組みを構築できたものと考えている。

しかし、本研究は現段階で一定の成果があるものの、以下の未解決課題があり、更なる研究が必要である。

- ・ 複数ステップの操作手順と機器側とのインタラクションを考慮できる操作モデルの拡張が必要である。本研究では機器乗換え後の最初の操作に限定して実験を行っているため、本実験で得られた知見は、1回の操作で実行できる操作や、複数手順が必要な操作の最初のステップに限られる。そのためには、ユーザの探索過程において、操作モデルがどのように変化していくかを分析する必要があると考えている。
- ・ 機器の操作過程からユーザが保持していない操作概念を自動的に推定するアプローチなども検討が必要である。そのためには、ユーザの操作モデルの知識を推定した後、乗換え後の操作に転用できる知識と転用できない知識の構造を明らかにする必要があると考えている。これにより、より適応的な操作支援を行うことが可能になると考えられる。
- ・ タッチ操作に関しては、リモコン操作とは別に、その探索プロセスを明らかにする必要がある。タッチ操作は、リモコン操作のように、デバイス上に操作の選択肢が示されているとは限らない。本実験においても、指本数を変化させる探索には至っていなかった。今後は本実験の操作ログを解析し、探索過程における事前知識の転移プロセスを明らかにすることで、探索的に発見可能なジェスチャ設計の指針が得られると考える。
- ・ タッチ操作のデバイスはさらなる乗換え実験が必要である。タッチ操作に関しては、現在も新しいデバイスやジェスチャが次々と開発されており、乗換え前後の操作知識も流動的に変化している。そのため、新しいデバイスで実験を行うことで、本実験で得られた知見の適用範囲をより詳細に検証する必要がある。

これらの課題を解決することで、さらに有用な機器乗換え時の操作支援方法を構築できると思われる。操作モデルに基づく適応的な支援は、今後研究を続け発展させていくに足るものである。

## 参考文献

- [1] D. A. Norman, *The psychology of everyday things*, New York: NY: Basic Books, 1998.
- [2] R. Mace, *Universal Design: Housing for the Lifespan of US Department of Housing and Urban Affairs*, Washington, DC, 1988.
- [3] S. Constantine and S. Anthony, "Universal Access in the Information Society: Methods, Tools, and Interaction Technologies," *Universal Access in the Information Society*, vol. 1, no. 1, pp. 40-55, 2001.
- [4] S. Constantine, "Adaptive Techniques for Universal Access," *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 11, pp. 159-179, 2001.
- [5] ユニバーサルデザイン研究会, 人間工学とユニバーサルデザイン—ユーザビリティ・アクセシビリティ中心・ものづくりマニュアル, 日本工業出版, 2008.
- [6] B. Shneiderman, "Direct Manipulation. A Step Beyond Programming Languages," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 16, no. 8, pp. 57-69, 1983.
- [7] M. Wu and R. Balakrishnan, "Multi-finger and whole hand gestural interaction techniques for multi-user tabletop displays," *UIST '03 Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 193-202, 2003.
- [8] J. Rekimoto, "Multiple-computer user interfaces: "beyond the desktop" direct manipulation environments," *CHI '00 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 6-7, 2000.
- [9] D. Wigdor and G. Morrison, "Designing user interfaces for multi-touch and surface-gesture devices," *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3193-3196, 2010.
- [10] A. Bragdon, R. Zeleznik, B. Williamson and T. Miller, "GestureBar: improving the approachability of gesture-based interfaces," *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems*, pp. 2269-2278, 2009.
- [11] D. A. Norman, *Some Observations on Mental Models*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- [12] D. E. Kieras and S. Bovair, "The role of a mental model in learning to operate a

- device," *Cognitive Science*, vol. 8, pp. 255-273, 1984.
- [13] D. E. Kieras, "What Mental Model Should Be Taught: Choosing Instructional Content for Complex Engineered Systems," in *Intelligent Tutoring Systems: Lessons Learned*, Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1998, pp. 85-111.
- [14] R. M. Fein, G. M. Olson and J. S. Olson, "A mental model can help with learning to operate a complex device," *INTERACT '93 and CHI '93 conference companion on Human factors in computing systems*, pp. 157-158, 1993.
- [15] 羽山博, 植田一博, “差分明示機能を組み込んだ適応的インタフェースの開発と評価,” *認知科学*, 第 11 巻, 第 2 号, pp. 124-142, 2004.
- [16] 伊藤育世, “操作モデルの簡潔なインターフェイスの提案,” *日本認知科学会第 24 回大会論文集*, pp. 332-333, 2007.
- [17] 山中裕也, “複数機種のカーナビゲーション操作に適応するメンタルモデル構築過程,” *電子情報通信学会技術研究報告 HCS(ヒューマンコミュニケーション基礎)*, 第 103 巻, 第 586 号, pp. 43-47, 2003.
- [18] 山中裕也, “カーナビゲーションの機種変更データからみたインターフェイス,” *電子情報通信学会技術研究報告書 HCS(ヒューマンコミュニケーション基礎)*, 第 104 巻, 第 581 号, pp. 53-57, 2004.
- [19] 増井俊之, “ペンを用いた高速文章入力手法,” 著: *インタラクティブシステムとソフトウェア IV*, 近代科学社, 1996, pp. 51-60.
- [20] 本村陽一, 金出武雄, “ヒトの認知・評価構造の定量化モデリングと確率推論,” *電子情報通信学会技術研究報告書 NC(ニューロコンピューティング)*, 第 104 巻, 第 585 号, pp. 25-30, 2005.
- [21] 本村陽一, 西田佳史, “ベイジアンネットワークによるヒューマンモデリング,” *人工知能学会誌*, 第 22 巻, 第 3 号, pp. 320-327, 2007.
- [22] 高田和豊, 森川幸治, “機器乗換え時の操作における事前使用機器の影響とその誤操作要因の分析,” *第 22 回人工知能学会全国大会論文集*, 第 8 巻, pp. 189-193, 2008.
- [23] 高田和豊 and 森川幸治, "機器乗換え時の操作における事前使用機器の影響," *情報処理学会論文誌*, vol. 52, no. 4, pp. 1475-1484, 2011.
- [24] 高田和豊, 森川幸治, 平嶋宗, “機能発見のための探索的インタラクションにおける状態遷移と状態理解に関する教示の影響,” *電子情報通信学会論文誌*, 第 95 巻, 第 A 号, pp. 97-106, 2012.
- [25] P. Mistry, P. Maes and L. Chang, "WUW - Wear Ur World - A Wearable Gestural Interface," in *CHI EA '09: Proceedings of the 27th international conference*

- extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 4111-4116, 2009.
- [26] A. Ng, J. Lepinski, D. Wigdor, S. Sanders and P. Dietz, "Designing for low-latency direct-touch input," *UIST '12 Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 453-464, 2012.
- [27] D. Wigdor, H. Benko, J. Pella, J. Lombardo and S. Williams, "Rock & rails: extending multi-touch interactions with shape gestures to enable precise spatial manipulations," *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems*, 2011.
- [28] K. Hofmeester and J. Wolfe, "Self Revealing Gestures: Teaching New Touch Interactions in Windows8," *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 815-828, 2012.
- [29] E. Kurdyukova, M. Redlin and E. André, "Studying User-defined iPad Gestures for Interaction in Multi-display Environment," *In Proc. of IUI '12*, pp. 93-96, 2012.
- [30] B. Bianchi, K. N. and D. Patel, "D. Does Body Movement Engage You More in Digital Game Play? and Why?," *In Proc. ACII 2007, Springer-Verlag*, pp. 102-113, 2007.
- [31] D. A. Norman, "Cognitive engineering," *Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum*, pp. 31-61, 1986.



## 謝辞

博士論文執筆に際し、研究の方向付けから詳細に至るまで終始ご指導ご鞭撻を頂きました。本学平嶋宗教授に心より感謝致します。また、本論文をご精読頂き有用なコメントを頂きました本学藤田聡教授、林雄介准教授に深謝致します。先生方から頂いたコメントは今後の研究に反映させて参ります。

共同研究者のパナソニック株式会社先端技術研究所の森川幸治主幹研究員には、基本的な研究の進め方から企業における研究者のあるべき姿に至るまで、細やかで的確な助言を頂きました。研究者としての道を作って頂いたと思っております。本当にありがとうございました。

社会人博士課程への進学を許可して頂いたパナソニック株式会社先端技術研究所の上田大助所長、丸野進技監、清野正樹グループマネージャに深く感謝致します。近藤堅司主幹研究員を始め、先端技術研究所の所員の皆様の暖かいサポートにも、心から感謝致します。また、パナソニック株式会社ユーザビリティラボの西田和子主幹技師、水谷美香主幹技師には、ユーザ実験を実施する上で様々な助言を頂きました。ありがとうございました。

山元翔さんを始め、平嶋研究室のメンバーの皆様には、実験へのご協力や学生生活の支援等、多大なご協力を頂きました。私の仕事場が京都や福井であったため、研究室のお手伝いは何もできませんでしたが、皆様の暖かいサポートに心から感謝致します。英文を添削して頂いた YURI さん、実験データの解析にご協力を頂いた高田尚子さんにも感謝致します。ありがとうございました。

最後に、普段の生活を送るにあたり、博士課程進学に理解を示し応援して頂いた家族や親戚、友人の方々にも、この場を借りて感謝申し上げます。