

探索的インタラクションにおける 誤操作パターンからの事前知識推定

Estimation of an Operational Model from Error operations

高田 和豊¹ 森川 幸治¹

Kazutoyo Takata¹, Koji Morikawa¹

¹ パナソニック株式会社 先端技術研究所

¹Advanced Technology Research Laboratories, Panasonic Corporation

Abstract: This paper describes the exploratory interaction design of new appliances, considering the transfer of existing operational knowledge to the use of the new device and its error analysis. We considered the usability of a DVD recorder and observed that, for the same test problem, different kinds of errors were generated, due to the different operational experiences of the users. In particular, when the test problem procedure was different to the user's knowledge of other appliances, more errors were observed. When a model of the user's previous knowledge was included in usability simulation, prediction accuracy for intended operation was improved by 8%, while estimation of new function usability was improved by 12%. These results suggest that estimation of an operational model for each user will contribute to exploratory interaction design.

1 はじめに

本稿では、探索的インタラクションが円滑に成立するための条件を調べるために、機器操作を例題として誤操作パターンの分析と誤操作時の操作意図推定の可能性について検討を行った。

新しく購入した機器の操作性を考える際、ユーザがその機器の操作をまったく予想できない場合はまれであり、それまでの機器使用経験などから探索的に操作を行うことが一般的である。しかし、以前に使っていた機器と操作手順が完全に一致しない場合、誤操作が生じ易くなり、購入した機器の操作性が低下してしまう[1]。

操作性の向上のアプローチとして、エージェントや機器がユーザの操作に応じてヘルプや提示情報を切替える適応的インタフェースがある。これはユーザがもつ操作知識は個別に異なることを前提とし、類推や知識転移などの認知的側面から、個々のユーザに応じた操作性向上を目指した取組で[2]、機器操作系列の違いから機器側の動作を変化させるものである。

機器操作の想起に関するユーザ適応過程の従来研究として、伊藤[3]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[4][5]は、2機種のカナ

ジ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示唆している。しかし、これらの研究では、誤操作の発生に対しての操作性向上の工夫までは述べられていない。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内容からユーザの操作意図や事前知識の推定が必要になると考えられる。

これに対し筆者らは、機器乗換え時の探索初期の操作については、事前に使用した機器によって、同じ機能に対する間違え方が異なる傾向を実験により明らかにした[6]。この結果より、事前知識がわかれば、誤操作時の操作からユーザの操作意図を推定できるという仮説を立てた。

そこで本研究では、AV機器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を明確にし、その誤操作パターンのデータベースを用いることで、ユーザの操作意図が推定できることを示す。

具体的には、複数のAV機器間の相互の乗換え時

の誤操作の内容を分析し、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見出した。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や機種間で操作体系が異なる GUI において発生しやすいことを明らかにした。

さらに、ユーザの意図操作に対して実際に行った 1 つ 1 つの誤操作を「誤操作パターン」と定義すると、ユーザの事前知識がわかれば、これらの誤操作パターンのデータベースを用いることにより、誤操作からユーザの操作意図が推定でき、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。シミュレーションにより誤操作が発生した時にユーザの操作意図を正しく推定できる割合は、ユーザの事前知識がわからない場合に比べて 8% の改善を示し、特に新しく追加された機能に対しては 12% 以上改善することを確認した。

以上の実験及び HAI への応用の可能性について順に述べる。

2 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。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られない場合に発生すると考えられる。

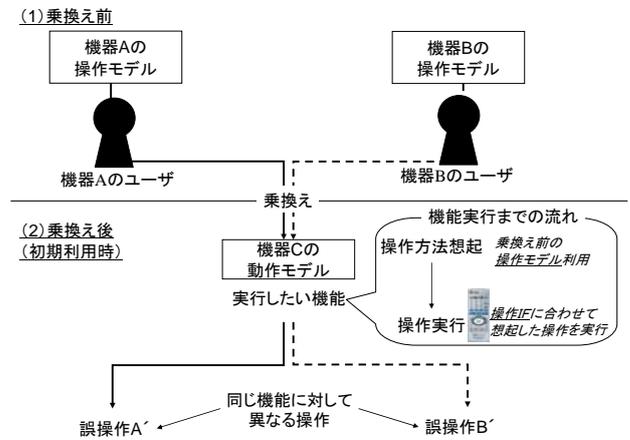


図 1 機器乗換え時の操作モデルの影響

一方、HAI にこの考え方を適用すると、図 2 に示すように、ユーザの対話モデルはロボットやエージェントを新しく利用する時のインタラクションに影響を与えると考えられる。

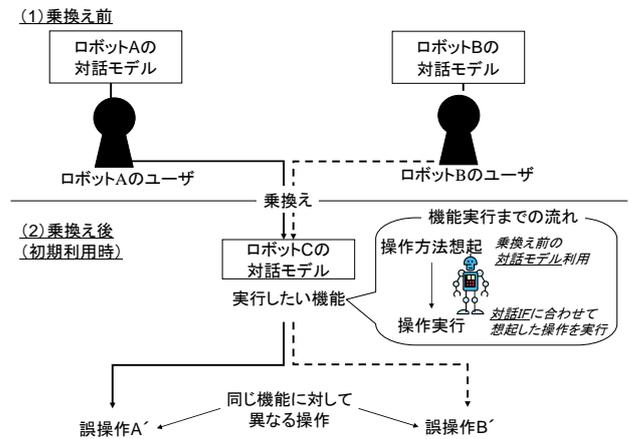


図 2 HAI における対話モデルの影響

以上のように、乗換え時のインタラクションが円滑に進められる条件を探索するために、機器操作を例題に、以下の 2 つの実験を行った。

3 実験 1: 誤操作パターンの分析

3.1 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に、同一の問題に対して異なる誤操作が生じる機能特性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。

3.2 実験方法

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。

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 3 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。



図 3 リモコンインターフェースの違い

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 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 1 に示す。



図 4 アンケートの一例

表 1 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。

3.3 実験結果

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。

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 A と同じメーカー製である機器 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。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、教示グループ間の全問題に対する正解率に有意差があることを確認した ($p < 0.01$)。

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 2 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、本実験では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。以上の結果より、「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 2 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

4 実験 2: 意図推定シミュレーション

4.1 実験目的

実験 1 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、これらの誤操作パターンのデータベースを用いることにより、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。ここで、誤操作の発生については、「ヘルプ」ボタンや「戻る」ボタンの押下時から判定できることを想定している。

この仮説を検証するために、実験 1 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。

4.2 方法

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[7]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。

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。

4.3 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。

4.3.1 教示グループに対する正解率

表3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17%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。

表3 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)

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、様々な機種種の誤操作パターンが混在したままで一様に操作意図の推定が行われるので、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。

5 機能属性と誤操作の関係

機能属性とは、各ボタンに割り振られた機能の特徴に基づき、次の3分類で定義する。「従来機能」は、DVDレコーダ以前のVHSビデオで使用されてきた再生や停止等の機能であり、「新機能」はDVDレコーダで初めて追加されたボタン機能、「GUI機能」は操作ボタンは共通だが画面上でのインタラクションが異なる機能に該当する。

実験1で得られた24問の誤操作結果を機能属性ごとに比較した結果を図5に示す。従来機能に関する問題には、教示グループ間で異なる誤操作が見られなかったが、新機能とGUIに関する問題には教示グループ間で異なる誤操作が見られた。また、教示グループ間で同じ誤操作をした問題は全ての機能属性で見られ、誤操作が無かった問題は従来機能と新機能で見られた。

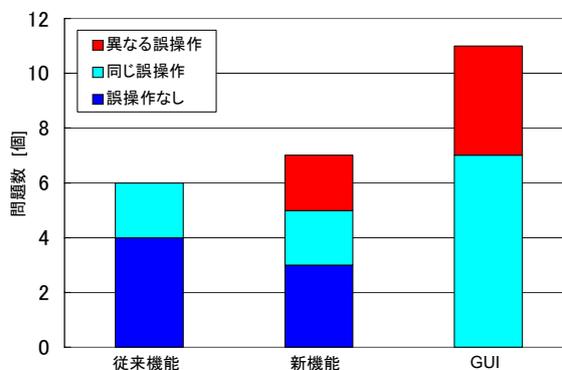


図5 機能属性と誤操作パターン

また、実験2の正解率を機能属性ごとに比較した結果を表4に示す。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、新機能の操作でも7%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12%の精度が向上した。一方、従来機能では差がなかった。新機能とGUIのグループ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。

表 4 ボタン種類別の正解率比較

	従来機能	新機能	GUI
教示別リスト	0.86 (62/72)	0.54 (69/137)	0.52 (32/61)
統合リスト	0.86 (62/72)	0.47 (60/137)	0.31 (19/61)
改善率 (教示 - 統合)	0 (0)	+0.07 (+9)	+0.21 (+13)

以上のことから、従来機能に関する操作は、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、新機能や GUI に関する操作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。

6 H A I への応用に関する考察

一般的な擬人化エージェントは、DVD レコーダにおける GUI と同じく、マウスなどの統一された操作系を持ちながら、対話モデルの違いからユーザに対する振る舞いが個別に異なるという特性を持つ。そのため、事前知識が探索的なインタラクションに強く反映されると考えられ、誤操作からユーザの操作意図を推定できる可能性がある。従来は、ユーザが正解操作を知らない場合には、エージェントに使い方を質問したりしたが、追加される新機能とその誤操作パターンに着目することで、ユーザの意図に応じた振舞うことができるエージェントが設計できると考えられる。

また、5 章で考察した従来機能と新機能で生じる誤操作特性の違いは、物理的制約を持つ知能ロボットなどの設計に有用だと考える。ロボットの従来機能に該当する操作（例えば電源 ON など）は、事前知識による誤操作が同じ傾向を示すため、ユニバーサルデザインの観点からの改善を行い、一方、ロボットに新しく追加する機能については事前知識のばらつきのため統一した誤操作防止が困難なため、意図推定による操作支援が有効だと考える。このような機能属性に合わせた設計により、ユーザは探索的なインタラクションによりロボットを操作できる可能性がある。

7 おわりに

本稿では、探索的なインタラクションが円滑に成立するための条件を調べるために、機器操作を例題として誤操作パターンの分析と誤操作時の操作意図推定の可能性について検討を行った。

DVDレコーダを用いた実験の結果、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見出し、その誤操作は、機種ごとに異なる操作手順を持つ新機能やGUIにおいて発生しやすいことを明らかにした。また、ユーザテストのデータを用いた評価実験により、誤操作時にユーザの操作意図を正しく推定できる割合は、ユーザの事前知識がわからない場合に比べて、全ての操作に対しては8%の改善を示し、特に新しく追加された機能に対しては12%以上の改善ができる可能性を示した。

今後はロボットのインタラクションにおける、従来機能、新機能、GUI機能との対応付けを行い、それぞれの機能属性に対応したインタラクション設計が必要と考えられる。

参考文献

- [1] Norman, D.A.: Cognitive engineering. In D.A. Norman and S.W. Draper (Eds.), User-Centered System Design., Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, pp.31-61(1986)
- [2] DOUGLAS, S.A. and MORAN, T.P.: Learning Text Editor Semantics by Analogy. In Proceedings of the CHI '83 conference: Human factors in computing systems, pp.207-211 (1983)
- [3] 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)
- [4] 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), Vol. 103, No. 586, pp.43-47 (2003)
- [5] 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), Vol. 104, No. 581, pp.53-57 (2004)
- [6] 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, 人工知能学会全国大会論文集, Vol.22, pp.2H2-02 (2008)
- [7] 増井俊之: ペンを用いた高速文書入力手法, In Proceedings of Workshop on Interactive Systems and software 1997 (WISS 1997), pp. 51-60. 日本ソフトウェア科学会, 近代科学社, December 1997.