

2019年度

筑波大学情報学群情報科学類

卒業研究論文

題目

表計算ソフトにおける  
ハンドジェスチャを用いたテーブル操作

主専攻 知能情報メディア主専攻

著者 高山 雄太

指導教員 高橋 伸 志築 文太郎

## 要 旨

表計算ソフトは専門的なデータの管理や編集，分析だけでなく，簡単な表の作成などのタスクにおいても広く利用されている．表計算ソフトにおけるセルの挿入や削除といったテーブルに対する操作は主にマウスを用いてメニューあるいは画面上部のタブを選択することにより実行する．しかし表計算ソフトは非常に多機能であるため，初学者には目的とする機能の項目を発見することが困難となる場合がある．また，これらに変わる操作方法として多くの表計算ソフトではショートカットキーによる操作が実装されているが，初学者にとって操作を完全に習得するには長期に渡る使用を必要としうる．本研究では，テーブル操作を実行するより直感的な入力手法としてハンドジェスチャに着目する．頻繁に使用される 13 のテーブル操作に対して，自然なジェスチャセットを作成するためにユーザが定義するジェスチャの収集を行い，ユーザベースのテーブル操作ジェスチャセットを生成する．最後に，このジェスチャセットをトリガとしてテーブル操作を実行する表計算アプリケーションのプロトタイプを作成を行う．

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	背景	1
1.2	本研究の目的	1
1.3	本論文の構成	2
<b>第2章</b>	<b>関連研究</b>	<b>3</b>
2.1	ユーザベースハンドジェスチャ	3
2.2	表計算ソフトのインターフェース	3
2.3	本研究の位置付け	4
<b>第3章</b>	<b>予備実験</b>	<b>5</b>
3.1	予備実験1：各操作に対するジェスチャ収集	5
3.1.1	実験設定	5
3.1.2	実験内容	5
3.1.3	結果	9
3.1.4	考察	10
3.2	予備実験2：ジェスチャ評価	10
3.2.1	実験設定	10
3.2.2	実験内容	11
3.2.3	結果	12
3.3	実装ハンドジェスチャセットの決定	13
<b>第4章</b>	<b>実装</b>	<b>17</b>
4.1	ジェスチャ識別	17
4.2	表計算アプリケーション	18
<b>第5章</b>	<b>今後の展望と結論</b>	<b>24</b>
5.1	結論	24
5.2	今後の展望	24
	謝辞	25
	参考文献	26

# 目次

3.1	予備実験1の機器	6
3.2	予備実験1の外観	6
3.3	ジェスチャの思いつきやすさと操作との対応度の自信の回答フォーム	7
3.4	行の挿入提示画面	7
3.5	列の挿入提示画面	7
3.6	セルの挿入後右寄せ提示画面	7
3.7	セルの挿入後下寄せ提示画面	7
3.8	行の削除提示画面	8
3.9	列の削除提示画面	8
3.10	セルの削除後左詰め提示画面	8
3.11	セルの削除後上詰め提示画面	8
3.12	コピー & ペースト提示画面	8
3.13	カット & ペースト提示画面	8
3.14	昇順ソート提示画面	9
3.15	降順ソート提示画面	9
3.16	ペースト操作に定義された「グリップアウト」ジェスチャ	9
3.17	各操作終了後のジェスチャ定義の難易度と対応度の自信の回答の平均値結果. (*: $P < 0.05$ )	10
3.18	予備実験2の機器	11
3.19	予備実験2の外観	11
3.20	例:「行の挿入」の収集ジェスチャ表示画面	12
3.21	評価結果	14
3.22	縦方向「ピンチアウト」ジェスチャ	15
3.23	横方向の「ピンチアウト」ジェスチャ	15
3.24	縦方向「ピンチイン」ジェスチャ	15
3.25	横方向の「ピンチイン」ジェスチャ	15
3.26	「パルムグリップイン」ジェスチャ	16
3.27	「グリップイン」ジェスチャ	16
3.28	前方向「フリップ」ジェスチャ	16
3.29	後ろ方向の「フリップ」ジェスチャ	16
4.1	Microsoft LeapMotionの外観	17

4.2	Microsoft LeapMotion の外観 . . . . .	18
4.3	LeapMotion の設置位置 . . . . .	19
4.4	機械学習による識別を行う手形状 . . . . .	20
4.5	「ピンチアウト」,「ピンチイン」における指の移動方向の識別 . . . . .	20
4.6	学習データを分割した検証データを識別結果の混同行列 . . . . .	20
4.7	汎化性能検証のため収集した検証データを識別結果の混同行列 . . . . .	21
4.8	表計算アプリケーションのプロトタイプ . . . . .	21
4.9	操作前の手形状と、操作後の手形状の対応「-」は状態が変化しないことを示す。「状態」は視覚フィードバックの表示,「実行」は操作のトリガを示す. . . . .	22
4.10	操作実行と手形状送信の状態遷移図. 赤色の矢印の遷移時に操作を実行し, 青の矢印の遷移時に手形状を送信する. . . . .	22
4.11	「セル挿入 (右)」の操作実行前の視覚フィードバック . . . . .	23
4.12	「セル挿入 (右)」の操作実行後の画面 . . . . .	23
5.1	「行の挿入」操作の収集ジェスチャ . . . . .	29
5.2	「列の挿入」操作の収集ジェスチャ . . . . .	30
5.3	「セル挿入 (右)」の操作の収集ジェスチャ . . . . .	31
5.4	「セル挿入 (下)」の操作の収集ジェスチャ . . . . .	32
5.5	「行の削除」の操作の収集ジェスチャ . . . . .	33
5.6	「列の削除」の操作の収集ジェスチャ . . . . .	34
5.7	「セル削除 (左)」の操作の収集ジェスチャ . . . . .	35
5.8	「セル削除 (上)」の操作の収集ジェスチャ . . . . .	36
5.9	「コピー」の操作の収集ジェスチャ . . . . .	37
5.10	「カット」の操作の収集ジェスチャ . . . . .	38
5.11	「昇順ソート」の操作の収集ジェスチャ . . . . .	39
5.12	「降順ソート」の操作の収集ジェスチャ . . . . .	40

# 第1章 序論

本論文では、Microsoft Office Excel や Google SpreadSheet に代表される表計算ソフトの利用において、机上空中におけるハンドジェスチャ（以下ハンドジェスチャ）を用いてテーブルに対する操作を行う手法について述べる。本章ではまず、背景として現在市販されている基本的な表計算ソフトの操作方法の概要を示し、その問題点について述べる。次に本研究の目的として、その問題を解決するためのアプローチを示し、最後に本論文の構成を述べる。

## 1.1 背景

表計算ソフトは今日最も広く普及しているアプリケーションの1つである。Microsoft 社の Microsoft Office Excel や、Google 社の Google spreadsheet に代表される表計算ソフトはデータの編集、管理および分析などに関する多くの強力な機能を有しており、かつ GUI によって簡単に2次元テーブルを作成することができる。そのため、データマネジメントの専門家だけでなく、学生など一般のユーザまで幅広く利用されている。

一般的な表計算ソフト利用は主に次の3段階に区分される。1) キーボードを用いた入力や、予め入力されているほかのデータを参照することによるデータの入力。2) テーブルに対する操作や、フォントなどのレイアウトを変更するデータの編集。3) 完成したデータを用いた統計処理やグラフ作成を行うデータの分析。特に2)についてはデータ管理のツールとして非常に多くの機能が存在する。表計算ソフトにおけるテーブルの操作は、マウスクリックによるポップアップメニューや、ウィンドウ上部のタブメニューによる操作がその大部分を占める。しかしながら、セルの挿入や削除などの頻繁に使用される操作であっても、使用頻度の低いその他多くの機能の中に紛れてしまうため、ユーザは目的のメニュー項目をその都度探す必要があり、同時に誤操作の可能性が高くなるという問題も存在する。また、ポップアップメニューにおいては操作対象がメニューによって隠れてしまうといった問題もある [1]。この解決策として多くの表計算ソフトではショートカットキーによる操作が実装されているが、Ctrl キーと Alt(Option) キーの組み合わせや、Fn キーなど、対象操作との対応性が低いものもあるため、初学者は初めて使用する際にはその都度調べる必要があり、またこれらを完全に覚えるためには長期の使用を必要としうる [2]。

## 1.2 本研究の目的

上記の問題を解決するために、表計算ソフトの使用頻度の高いテーブル操作に対して追加の操作チャンネルとしてハンドジェスチャを導入することにより、インタラクションを拡張する手法

を提案する。ハンドジェスチャは Natural User Interface (NUI) の分野において、ユーザーがデバイスと簡単かつ直感的なインタラクションを実現する手法として近年注目を集めている [3]。ジェスチャセットの生成は開発者ベースの方法とユーザベースの方法の2つの方針が存在する。開発者ベースは、基本的に開発者の直感と実装のしやすさを重視したジェスチャセットを生成する [4]。この方法は、システムで簡単に識別できるジェスチャを生成できる一方で、ユーザの意図と反するジェスチャが割り当てられうるため、ユーザにとって直感的でなくなる可能性がある。一方、ユーザベースの方法では指定した特定の操作に対してユーザがジェスチャを定義し、その収集ジェスチャを分析することでジェスチャセットを生成する方法である [5, 6]。ユーザに依存するジェスチャセットを作成することが可能であるため、より直感的かつ、操作の記憶性と推測性が高いジェスチャを生成できる。本研究では、表計算ソフトのテーブル操作に対するユーザベースのジェスチャセットを作成し、ハンドジェスチャによるテーブル操作を行う表計算プロトタイプを実装する。

### 1.3 本論文の構成

本論文の構成を述べる。本章では、本論文の背景、目的について述べた。第2章では関連研究と本研究の位置付けを述べる。第3章ではユーザ定義のハンドジェスチャを調査するために行った実験について述べる。第4章ではハンドジェスチャを用いたテーブル操作を可能とする表計算アプリケーションのプロトタイプについて述べる。最後に第5章にて結論を述べる。

## 第2章 関連研究

本章では、本研究に関連する研究とその位置付けについて述べる。2.1 節にてユーザベースのハンドジェスチャセットに関する研究について述べる。2.2 節にて表計算ソフトの入力手法に関する研究の特徴と問題点について述べる。

### 2.1 ユーザベースハンドジェスチャ

ジェスチャベースのインタフェースは既に一般的になりつつある。例として、デジタルゲーム、スマートフォン、娯楽施設のパブリックディスプレイなどが挙げられる。そのため、Human-Computer Interaction(HCI) 分野においてジェスチャインタフェースの研究も盛んに行われてきた [7]。

一方、どのようなジェスチャセットを定義するのかという面にも関心が高まっている。ユーザベースのジェスチャセットは開発者ベースのジェスチャセットよりも高い学習性、記憶性、推測性を持つことが示されている [8, 9, 10, 11, 12]。ジェスチャセットの作成に関する研究として Wobbrock らタブレットトップのタッチディスプレイにおいて、ユーザベースのジェスチャセット作成手法のアプローチを示した [13]。彼らは複数の図形オブジェクトが変化する動画を参加者に見せ、その結果を生じるためのタッチジェスチャをユーザに定義させることによってユーザベースのジェスチャ収集を行った。また、Chan らは 34 の一般的なアプリケーションに用いられる操作に対して、片手のみユーザ定義の空中ハンドジェスチャを割り当てた。34 の操作全てに異なるジェスチャを割り当てることが困難であり、一部の自然な手形状がマウスやキーボードの押下などと組み合わせた [14]。Epps らはタブレットトップのタッチインタフェースにおいて、コンピュータビジョンベースのアプリケーションにて行われる操作に対してタッチインタラクションとタッチ時の手形状のユーザベースのジェスチャセットを調査した [15]。最も単純な人差し指でポインティングジェスチャがあらゆる操作において人気が高かった。また、既存のシステムにユーザベースのハンドジェスチャを用いた研究として、テレビ画面の操作に対してユーザベースのハンドジェスチャ行う研究 [16, 17] がある。

### 2.2 表計算ソフトのインタフェース

表計算ソフトのインタラクションに関する研究について、Gary らはタブレット端末における表計算ソフトとスマートフォンを組み合わせる手法を提案した [18]。これはタブレット端末の画面にスマートフォンの側面を接地させることにより、セルおよび範囲の選択を行い、スマートフォン画面にてセルの入力、編集を可能とする。この手法は表計算ソフトの表示画面と操作画面を分け

ることにより，メニューによって画面が見えなくなることが解決されているが，スマートフォン上での操作は依然としてメニューベースのままであり，操作画面がスマートフォンの大きさに縮小されたことによって誤操作の確率が高くなる．また，Zraggenらは表計算のセルへの入力を手書きのジェスチャを用いることで直感性の高い操作を研究した [19]．細かいセルへの入力に対する問題を解決する手法の1つであったが，データの入力のみしか行うことができず，メニューやショートカットキーによるテーブル操作の問題点を改善するものではない．

## 2.3 本研究の位置付け

本研究はテーブルトップのタッチディスプレイにてユーザベースのタッチジェスチャセットを定義した Wobbrock らの研究 [13] のアプローチを踏襲し，表計算アプリケーションのテーブル操作に対するユーザベースの机上空中のジェスチャセットを作成する．このジェスチャセットは，1つのジェスチャに複数のジェスチャが割り振られることがないことを前提とする．また，既存研究で行われていないデスクトップPCにおける直感的なテーブル操作を可能とするために，ハンドジェスチャを用いた表計算アプリケーションの開発を行う．

## 第3章 予備実験

プロトタイプシステムを実装する前に、表計算ソフトのテーブル操作に対してどのようなハンドジェスチャを用いることが好ましいかを調査する予備実験を行う。それぞれのユーザが各操作に対して連想するジェスチャはユーザ間で偏りにくいと想定されるため、実験を予備実験1と予備実験2に分けて実施する。予備実験1では操作の実行前と、実行後の表計算画面をユーザに示し、テーブルの遷移をハンドジェスチャで表現することによって、各テーブル操作に対するジェスチャの収集を行う。予備実験2では、予備実験1で抽出したジェスチャをユーザに示し、抽出したジェスチャの評価を行う。

対象とするテーブル操作として「行の挿入」、「列の挿入」、「セルの挿入(右)」、「セルの挿入(下)」、「行の削除」、「列の削除」、「セルの削除(左)」、「セルの削除(上)」、「コピー」、「カット」、「ペースト」、「昇順ソート」、「降順ソート」の最も多く使用される13種に着目した(ただし()内は操作後のセルの移動方向を示す)。

### 3.1 予備実験1：各操作に対するジェスチャ収集

本節では、対象とするテーブル操作に対してユーザが定義するジェスチャの収集を行う。

#### 3.1.1 実験設定

本実験の目的は、表計算ソフトにおけるテーブル操作に対してユーザがどのようなジェスチャを連想するのかを調査し、ジェスチャサンプルを収集することである。一般にハンドジェスチャを用いてテーブルの操作を行う機会がないためがないため、ユーザが定義するジェスチャは各テーブル操作内で収束せず、ユーザに毎に多様なジェスチャが定義されるものと推測される。

Wobbrockら[13]の実験を参考に実験設計を行った。実験参加者として、12名の大学生および大学院生(女性2名、平均年齢21.8歳、SD=0.94)を募集した。全員が右利きであり、普段マウスを使用する手も右手と回答した。実験前に表計算ソフトの熟練度と使用頻度について5段階のリッカート尺度(1:低い-5:高い)にてアンケートしたところどちらも全参加者が2-4の間であった。

#### 3.1.2 実験内容

図3.2と図3.1に実験の使用機器と外観を示す。2つ表計算ソフトのウィンドウを左右に並べ画面に表示し参加者に提示する。これらは左のウィンドウに対して、テーブル操作を行うことで右



図 3.1 予備実験 1 の機器



図 3.2 予備実験 1 の外観

のウィンドウに変換することができる。参加者はこの際に行われるテーブル操作に対しハンドジェスチャを用いて表現する。表示されるウィンドウには操作の理解しやすさのため、セルや行、列の背景に色分けがなされているが、色を変換するジェスチャは考慮しないよう指示する。参加者にはジェスチャを決定するまでの思考、および決定したジェスチャの細かなイメージについては可能な限り声に出し、実験者にその意図を説明するように求める。また、ジェスチャの内容について片手、両手の制限は設けず、表計算内のアイテムを選択したい場合はマウスによって行うこととする。各操作に対してジェスチャの表現終了時に、実験アプリケーションにて表示されるフォーム(図 3.3)にてジェスチャ定義の難易度、および定義したジェスチャとその操作の対応度の自信に対して 5 段階のリッカート尺度 (1:難しい-5:簡単, 1:自信がない-5:自信がある) にて評価する。実験は行われたジェスチャの分析のため 2 つのカメラで動画を撮影する。コピー操作とカット操作にペースト操作をそれぞれコピー & ペーストとカット & ペーストに統合した 12 操作とする。1 つの操作のジェスチャ定義と評価を 1 タスクとし、各参加者は 12 タスク全てを実施する。表示される操作の順番はランダムに表示され、参加者間でカウンタバランスが取られた。実験データ数は、12 (参加者) × 12 (タスク) × 3 (ジェスチャ内容, および難易度と自信の回答)=432 データとなる。全タスクで参加者に表示した 2 つの表計算ソフトのウィンドウ画面を図 3.4-図 3.15 に示す。

ExperimentDefinition

### ジェスチャ定義の難易度

難しい~  1  2  3  4  5 ~簡単

### ジェスチャと操作の対応度の自信

自信がない~  1  2  3  4  5 ~自信がある

図 3.3 ジェスチャの思いつきやすさと操作との対応度の自信の回答フォーム



図 3.4 行の挿入提示画面



図 3.5 列の挿入提示画面



図 3.6 セルの挿入後右寄せ提示画面



図 3.7 セルの挿入後下寄せ提示画面



図 3.8 行の削除提示画面



図 3.9 列の削除提示画面



図 3.10 セルの削除後左詰め提示画面



図 3.11 セルの削除後上詰め提示画面

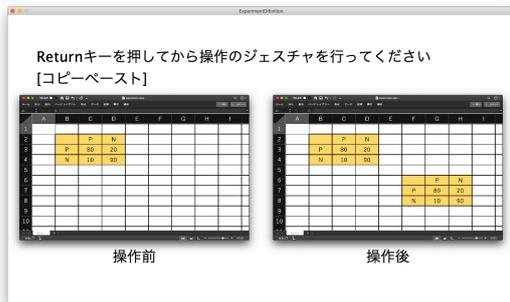


図 3.12 コピー & ペースト提示画面



図 3.13 カット & ペースト提示画面



図 3.14 昇順ソート提示画面



図 3.15 降順ソート提示画面

### 3.1.3 結果

本実験にて収集されたジェスチャ内容を本論文巻末の図 5.1-図 5.12 にて示す。まず、収集されたジェスチャには大まかな類似は見られるが、全操作において参加者間での重複がほとんど起こらなかった。一部の参加者は机上空中のジェスチャを行わなかったため、それらのジェスチャを除外すると収集ジェスチャの数は最小 7、最大 12（収集ジェスチャ数-操作名：7-カット、8-列の削除、コピー、12-昇順ソート、降順ソート、9-その他）のジェスチャを収集した。しかし、「カット & ペースト」および「コピー & ペースト」のタスクにおいて収集した、ペースト操作に対しては全参加者がほぼ同一の「グリップアウト」ジェスチャ（図 3.16）を定義した。

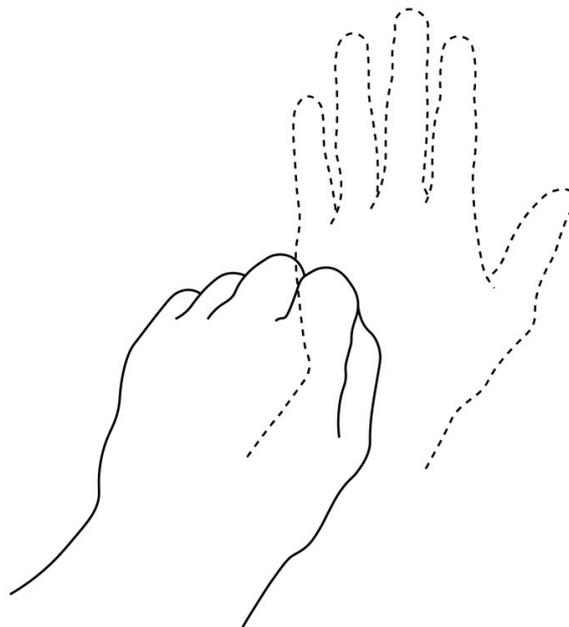


図 3.16 ペースト操作に定義された「グリップアウト」ジェスチャ

また、各参加者がジェスチャ定義終了後に行った評価結果を図3.17に示す。「コピー & ペースト」を除く全ての操作において難易度が対応度の自信の平均を上回った。両側t検定を行った結果、「列の削除」、「セル削除後左詰め」、「カット & ペースト」、「昇順ソート」の4つの操作において有意差が認められた ( $P = 0.046, 0.046, 0.012, 0.025 < 0.05$ )。

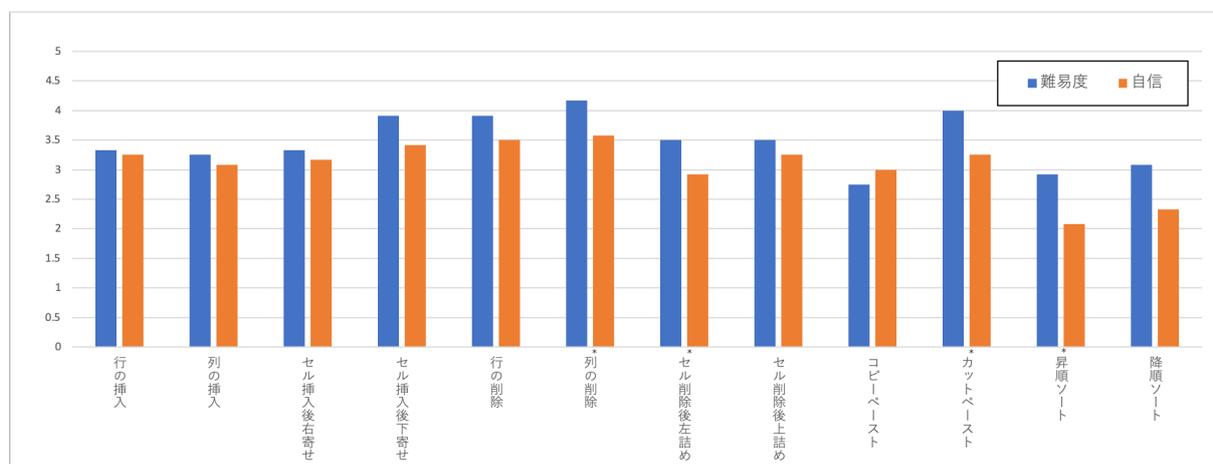


図 3.17 各操作終了後のジェスチャ定義の難易度と対応度の自信の回答の平均値結果. (\*: $P < 0.05$ )

### 3.1.4 考察

収集されたジェスチャには偏りがなく参加者間で収束しなかった。また、難易度と人の評価が低いものほど、両手を用いるジェスチャを使用する傾向があった。また、方向を指定する必要がある操作（セルの挿入と削除）のジェスチャでは方向ごとに単一のジェスチャをそれぞれに定義する参加者と、操作と方向の2つのジェスチャを組み合わせたジェスチャを定義する参加者がほとんど同数みられた。次節の予備実験2にて、本実験にて収集されたジェスチャの評価を行う。

## 3.2 予備実験2：ジェスチャ評価

本節では、3.1節の予備実験1において収集したジェスチャの評価を行い、実装ジェスチャセットの決定を行う。

### 3.2.1 実験設定

本実験の目的は実装ジェスチャセットを決定することである。予備実験1において多様なジェスチャが収集されたため、テーブル操作に適したジェスチャセットを推測することが困難であった。そのため本実験において、予備実験1で収集したジェスチャから最も対象テーブル操作との対応

度が高く、直感的に推測可能なジェスチャを異なる参加者によって選択してもらうことで、収集ジェスチャの評価を行う。その結果を分析することで第4章の実装においてテーブル操作をトリガするジェスチャセットを決定する。予備実験1にて「ペースト」のジェスチャは全ての参加者で統一されていたため、本実験ではその他の12種のテーブル操作に対し調査する。」

実験参加者として予備実験1の参加者と異なる8名の大学生および大学院生（女性1名、平均年齢22.9歳、SD=1.55）を雇用した。こちらの参加者も全員が右利きであった。実験前に表計算ソフトの熟練度と使用頻度について5段階のリッカート尺度によるアンケートの回答は両項目において全参加者が2-4の間（熟練度-平均：3.17、SD=0.72、使用頻度-平均：3.42、SD=0.90）であった。

### 3.2.2 実験内容

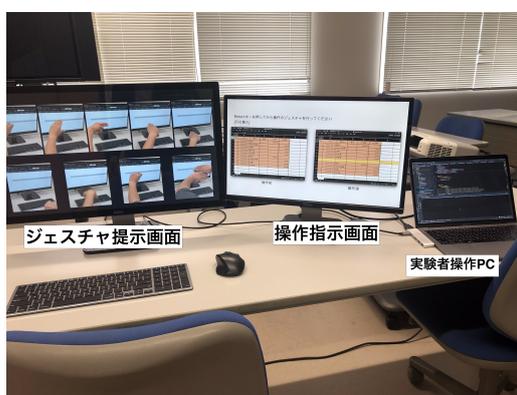


図 3.18 予備実験2の機器



図 3.19 予備実験2の外観

図3.19と図3.18に実験の使用機器と外観を示す。2つのディスプレイに1) テーブル操作の指示画面と、2) ジェスチャサンプルの動画をそれぞれ表示する。1)のテーブル操作の指示画面は予備実験1と同様の図3.4-図3.15の2つの表計算ソフトのウィンドウを表示したものを使用する。2) ジェスチャサンプルの動画は予備実験1の結果としれ得られた各テーブル操作に対する収集ジェスチャ（図5.1-図5.12）の動画を撮影したものを格子状に並べて再生する。図3.20に「行の挿入」の収集ジェスチャ表示画面を示す。参加者は表示されたジェスチャサンプルの中から最も好ましいものを選択する。「ペースト」を除く、12種のテーブル操作全てにジェスチャの選択を行う。評価データは8（参加者）×12（操作）=96データとなる。

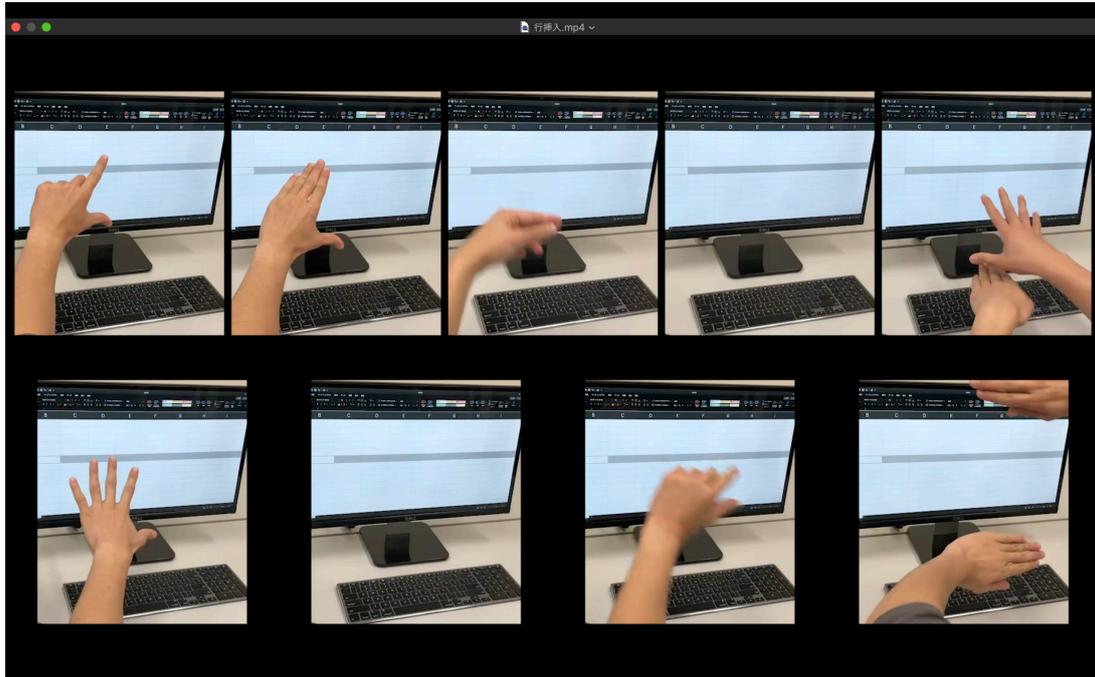


図 3.20 例：「行の挿入」の収集ジェスチャ表示画面

### 3.2.3 結果

ジェスチャ評価の結果を図 3.21 に示す。まず、テーブルオブジェクトを挿入する「行の挿入」、「列の挿入」、「セルの挿入(右)」、「セルの挿入(下)」のテーブル操作において参加者の半分以上が挿入箇所の下、あるいは右を選択した状態で人差し指と親指を画面に向け広げるジェスチャ（ピンチアウト）を含むジェスチャを選択した。同様に、テーブルオブジェクトを削除する「行の削除」、「列の削除」、「セルの削除(左)」、「セルの削除(上)」のテーブル操作において参加者の6割以上が削除対象を選択した状態で人差し指と親指で画面に向けて摘むジェスチャ（ピンチイン）を含むジェスチャを選択した。参加者は操作後のセルの移動方向の違いからピンチの方向を横方向と縦方向を区別した。次に、「コピー」には両手の掌をともに画面に向けた状態で片手を握るジェスチャ（パルムグリップ）、対して「カット」には片手のみの掌を画面に向け、その手を握るジェスチャ（グリップ）が最も評価の高いジェスチャとなった。最後に「昇順ソート」、「降順ソート」においてはピンチアウトの手形状から手を前、あるいは後ろに回転させるジェスチャ（フリップ）が最も高い評価となった。

### 3.3 実装ハンドジェスチャセットの決定

以上2つの予備実験から実装ハンドジェスチャセットを決定する。予備実験2の結果にあるように「行の挿入」、「セルの挿入（下）」は縦方向の「ピンチアウト」ジェスチャ（図3.22）、「列の挿入」、「セルの挿入（右）」は横方向の「ピンチアウト」ジェスチャ（図3.23）を定義する。同様に、「行の削除」、「セルの削除（上）」は縦方向の「ピンチイン」ジェスチャ（図3.24）、「列の削除」、「セルの削除（左）」は横方向の「ピンチイン」ジェスチャ（図3.23）を定義する。また、行、列、セルの操作対象の区別は選択状態の表計算オブジェクトから識別する。また、「コピー」は両手の掌をともに画面に向けた状態で片手を握る「パームグリップイン」ジェスチャ（図3.26）、「カット」は片手のみ掌を画面にむけた状態で握る「グリップイン」ジェスチャ、「ペースト」予備実験1より「グリップアウト」ジェスチャ（図3.16）と定義する。最後に、「昇順ソート」と「降順ソート」はピンチアウト状態からの前方向の「フリップ」ジェスチャ（図3.28）と後ろ方向への「リバースフリップ」ジェスチャ（図3.29）を定義する。

以上に定義したジェスチャセットを用いて、次章第4章の実装にて表計算アプリケーションの実装を行う。

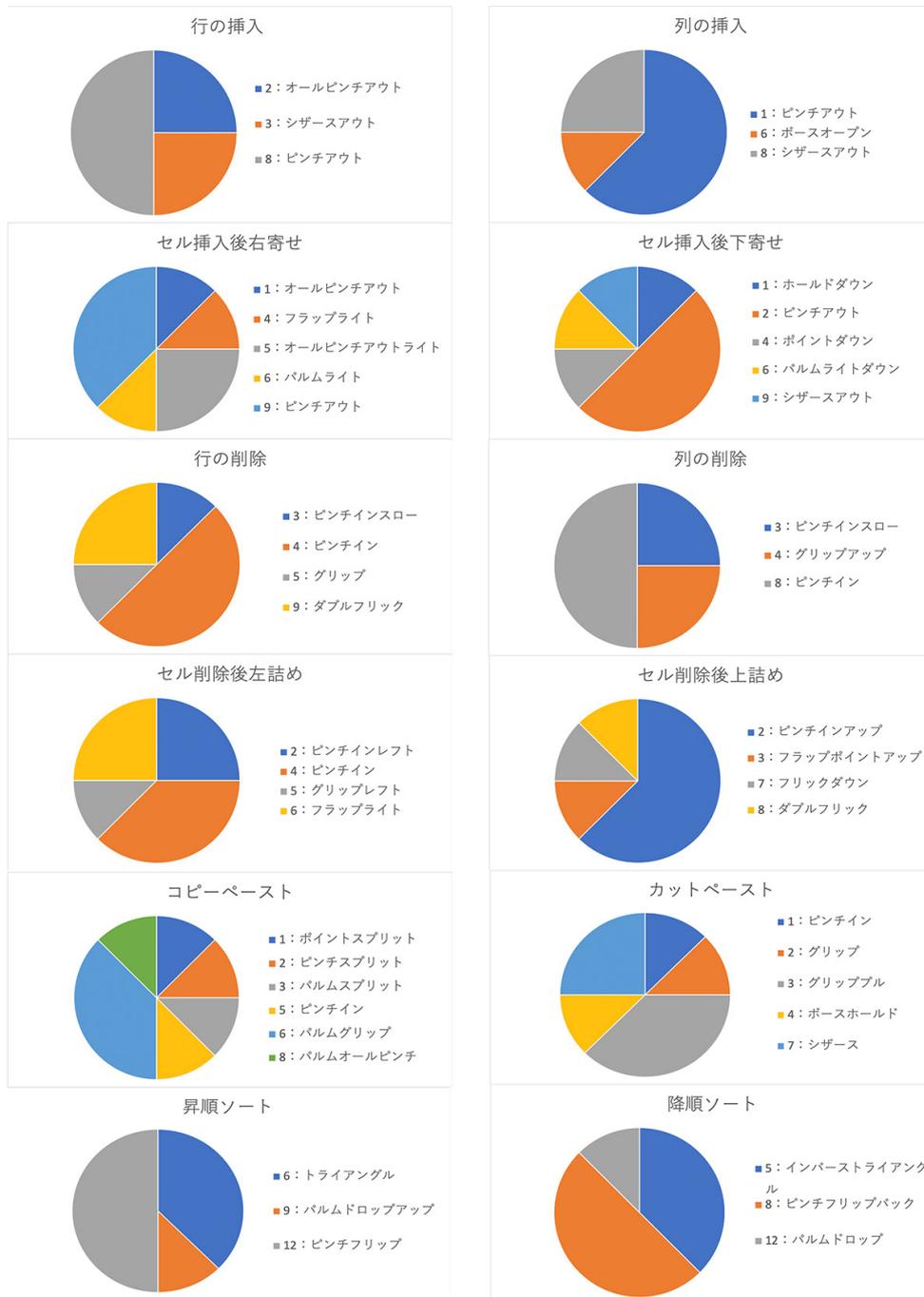


図 3.21 評価結果

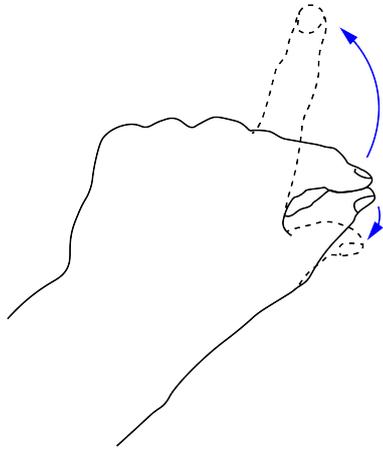


図 3.22 縦方向「ピンチアウト」ジェスチャ

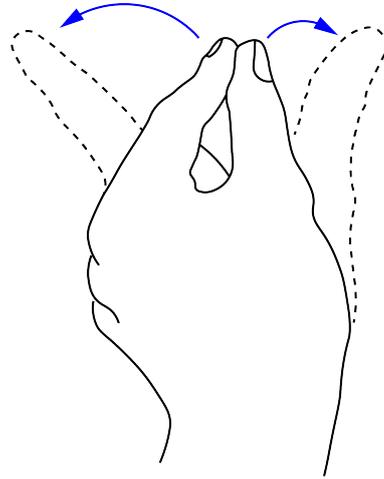


図 3.23 横方向の「ピンチアウト」ジェスチャ

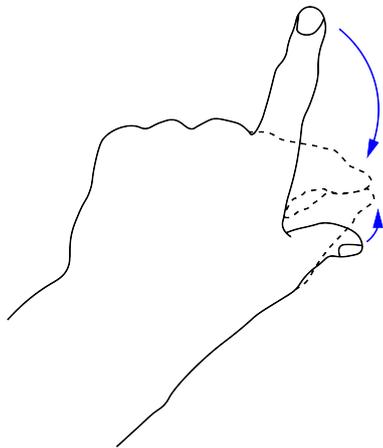


図 3.24 縦方向「ピンチイン」ジェスチャ

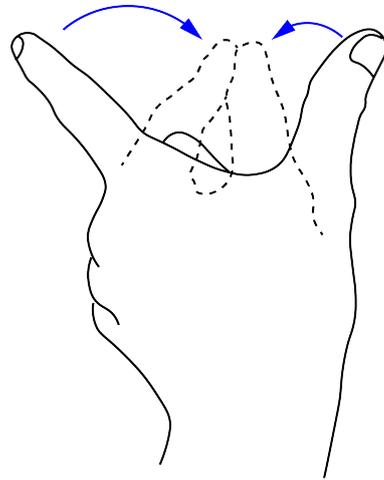


図 3.25 横方向の「ピンチイン」ジェスチャ

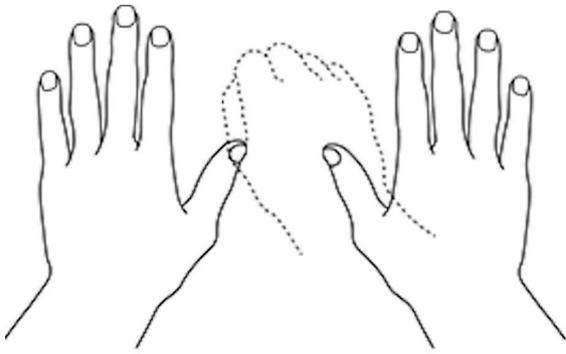


図 3.26 「パームグリップイン」ジェスチャ

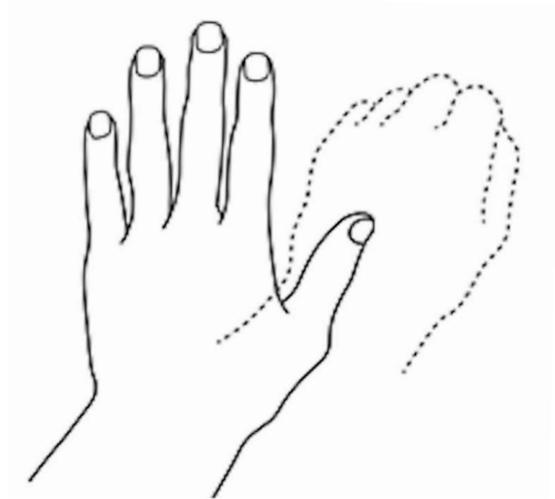


図 3.27 「グリップイン」ジェスチャ

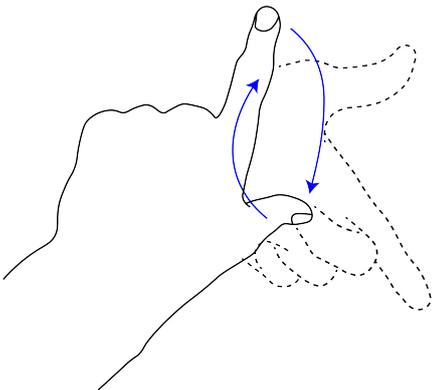


図 3.28 前方向「フリップ」ジェスチャ

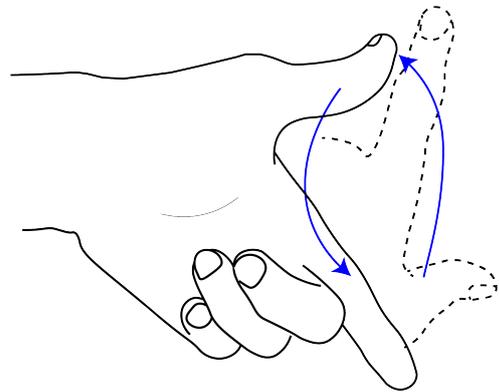


図 3.29 後ろ方向の「フリップ」ジェスチャ

## 第4章 実装

本章にて前述の予備実験より決定されたジェスチャセットを用いてテーブル操作を行うことができる表計算アプリケーションの実装を行う。プロトタイプソフトウェアは手形状識別部と GUI 表計算アプリケーション部からなり、2つのソフトウェアは非同期に動作するマルチスレッドで動作している。手形状のセンシングには Microsoft 社の LeapMotion を用いる。LeapMotion によって取得された手形状データをプロトタイプソフトウェアの識別部に送信し、その結果を GUI 部に送信する。システムフローを図 4.1 に示す。まず初めにハンドジェスチャを識別するソフトウェアについて述べ、次に表計算 GUI アプリケーションについて述べる。

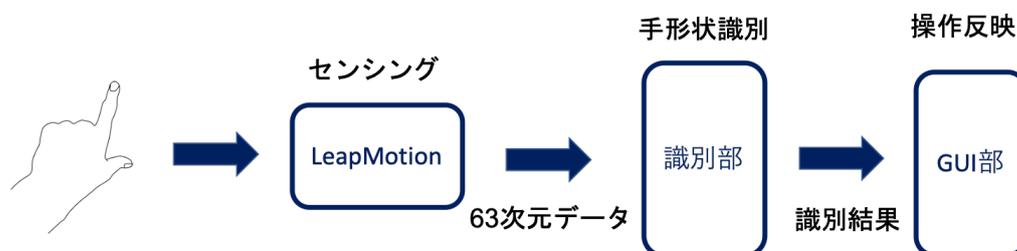


図 4.1 Microsoft LeapMotion の外観

### 4.1 ジェスチャ識別

机上空中のハンドジェスチャを識別する方法として Microsoft 社の LeapMotion を用いる (図 4.2)。LeapMotion は複数の手、腕の関節点、骨の向き of センシング能力を有する。寸法が非常に小型であり、かつ USB 接続により簡単に PC にて利用できるため、使用環境に対する制約が少ない。LeapMotion をデスクトップ PC のキーボードとディスプレイの間に設置し、手のセンシングを行う図 4.3。

定義されたジェスチャセットの識別を行うアプローチとして、操作の実行前と実行後の手の形状を機械学習により識別し、手形状の変化をテーブル操作のトリガとする。機械学習に用いるデータは、五指の骨の向き (中手骨・基節骨・中節骨・末節骨)、掌の垂直方向の向き (1)、腕の方向 (1) の 22 の特徴量である。これらは全て 3 次元量として計測されるため、特徴量の総数は  $3 \times (5 \times 4) + 3 \times 1 + 3 \times 1 = 66$  となり、これを 1 フレームとする。また、ジェスチャセットにおける操作の対象 (行, 列, セル) の区別はマウスによる選択状態から、また挿入と削除における移動



図 4.2 Microsoft LeapMotion の外観

方向は親指と人差し指の先端位置の  $y$ - $z$  平面上の傾きから識別する。したがって、機械学習によって識別が必要な手形状は図 4.4 に示す 5 形状 (+フリー形状) である。フリー形状は手を脱力させた形とする。また、「ピンチアウト」と「ピンチイン」のジェスチャにおける指を動かす向き(縦と横方向)の認識には LeapMotion で取得される人差し指の第一関節から親指の第二関節の位置座標ベクトルを用いる。この 2 つのベクトルの差をとり、 $x$ - $y$  平面上の傾きを  $45^\circ$  を閾値として識別する図??。

学習データとして 1 つの手形状において右手と左手を共に 5000 フレームずつ合計 60000 フレームを収集した。この学習データを訓練データと検証データに各操作 8:2 の割合で分割し、訓練データを用いて scikit-learn の  $k$  近傍法によって学習モデルを構築する。モデルの汎化性能を高めるために交差検証とグリッドサーチを用いてパラメータを最適化した結果、パラメータは  $k=7$ ,  $weight=distance$ ,  $metric=euclidean$  であった。分割した検証データを構築したモデルにて識別したところ、識別精度は 98.8% であった。この時の混同行列を図 4.6 に示す。また、汎化性能を検証するため、新たにテストデータとして各手形状の右手と左手を 1000 フレーム収集し学習モデルにて識別したところ識別精度は 94.4% であった。この時の混同行列を図 4.7 に示す。

## 4.2 表計算アプリケーション

前節にて述べたハンドジェスチャによってテーブル操作をトリガする表計算アプリケーションのプロトタイプを Python フレームワークの PyQt を使用し実装した。アプリケーションの外観を図 4.8 に示す。操作前の手形状と、操作後の手形状の対応を図 4.9 に示す。LeapMotion によって手

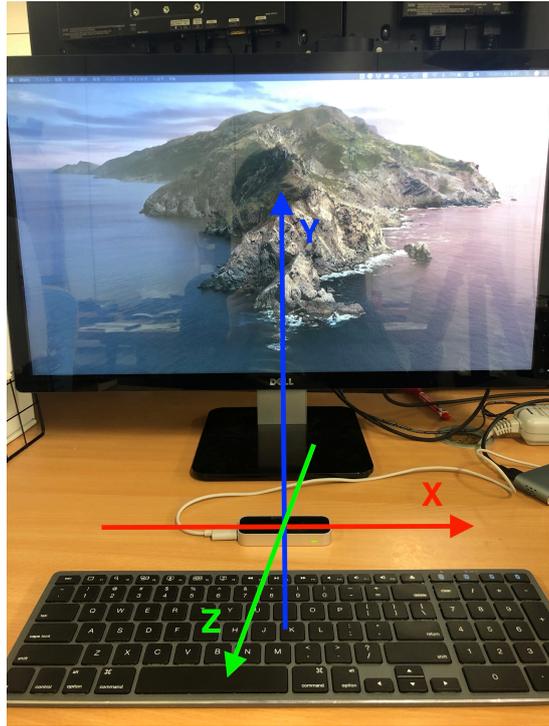


図 4.3 LeapMotion の設置位置

形状が識別されると選択状態にあるオブジェクトの周囲に操作実行前の視覚フィードバックが表示される (図 4.11) .

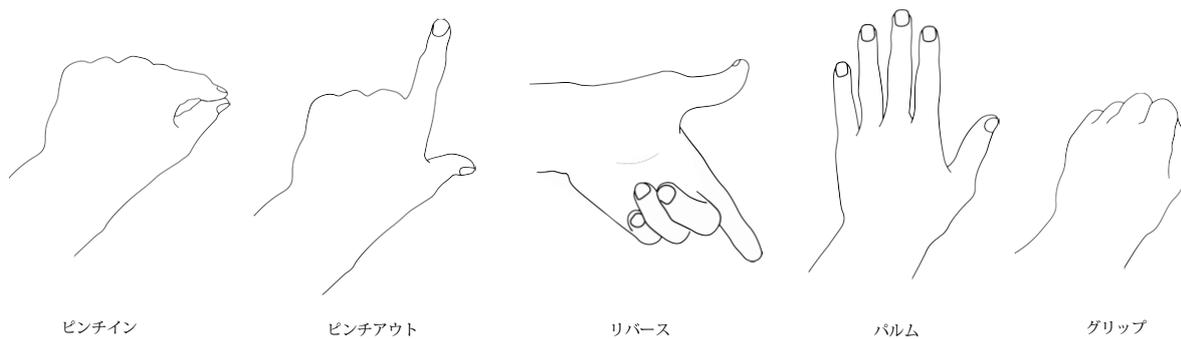


図 4.4 機械学習による識別を行う手形状

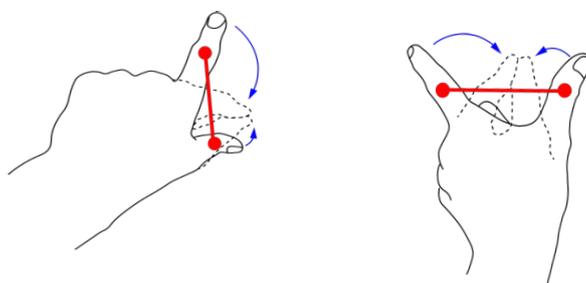


図 4.5 「ピンチアウト」,「ピンチイン」における指の移動方向の識別

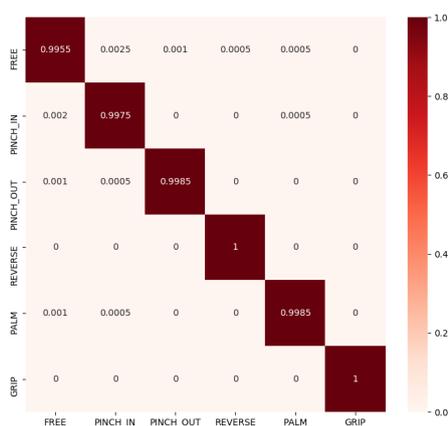


図 4.6 学習データを分割した検証データを識別結果の混同行列

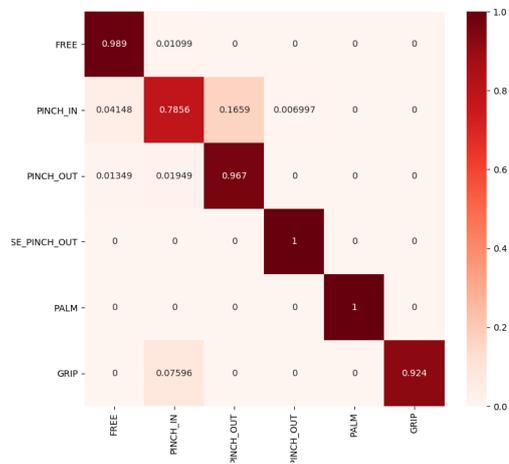


図 4.7 汎化性能検証のため収集した検証データを識別結果の混同行列

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	項目	日付	金額	形状済	備考			
2	家賃	2020/2/14	-45000	○				
3	食費	2020/2/14	-20000	○				
4	水道	2020/2/1	-4000	○				
5	電気	2020/2/1	-3000	○				
6	ガス	2020/2/1	-5500	○				
7	交通費	2020/2/1	-4000	○				
8	振込	2020/2/20	-20000					
9	給料	2020/2/20	100000	○	先月より多い			
10	<b>Total:</b>		<b>5000</b>					
11								

図 4.8 表計算アプリケーションのプロトタイプ

前\後	フリー	ピンチイン	ピンチアウト	リバース	パルム	グリップ
フリー	—	状態：挿入	状態：削除，降順ソート	状態：昇順ソート	片手->状態：カット 両手->状態：コピー	状態：ベスト
ピンチイン	状態：None	—	実行：挿入	状態：昇順ソート	片手->状態：カット 両手->状態：コピー	状態：ベスト
ピンチアウト	状態：None	実行：削除	—	実行：降順ソート	片手->状態：カット 両手->状態：コピー	状態：ベスト
リバース	状態：None	状態：挿入	実行：昇順ソート	—	片手->状態：カット 両手->状態：コピー	状態：ベスト
パルム	状態：None	状態：挿入	状態：削除，降順ソート	状態：昇順ソート	—	片手パルム->実行：コピー その他->実行：カット
グリップ	状態：None	状態：挿入	状態：削除，降順ソート	状態：昇順ソート	実行：ベスト	—

図 4.9 操作前の手形状と，操作後の手形状の対応

「-」は状態が変化しないことを示す。「状態」は視覚フィードバックの表示，「実行」は操作のトリガを示す。

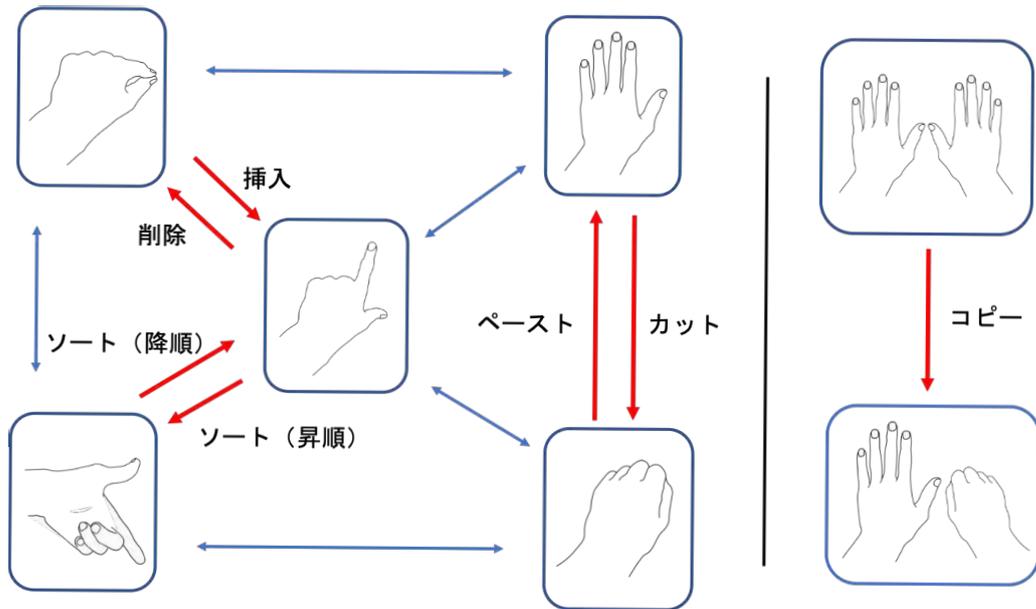


図 4.10 操作実行と手形状送信の状態遷移図。赤色の矢印の遷移時に操作を実行し，青色の矢印の遷移時に手形状を送信する。

HandSpreadSheet

Cell: (C8) -20000

項目	日付	金額	形状決	備考
家賃	2020/2/14	-45000	○	
食費	2020/2/14	-20000	○	
水道	2020/2/1	-4000	○	
電気	2020/2/1	-3000	○	
ガス	2020/2/1	-5500	○	
交通費	2020/2/1	-4000	○	
雑費	2020/2/20	-20000	○	
給料	2020/2/20	100000	○	先月より多い
<b>Total:</b>		<b>5000</b>		

LeapMotion: connecting      Pointing mode: negative

図 4.11 「セル挿入 (右)」の操作実行前の視覚フィードバック

HandSpreadSheet

Cell: (C8)

項目	日付	金額	形状決	備考
家賃	2020/2/14	-45000	○	
食費	2020/2/14	-20000	○	
水道	2020/2/1	-4000	○	
電気	2020/2/1	-3000	○	
ガス	2020/2/1	-5500	○	
交通費	2020/2/1	-4000	○	
雑費	2020/2/20	-20000	○	
給料	2020/2/20	100000	○	先月より多い
<b>Total:</b>		<b>5000</b>		

LeapMotion: connecting      Pointing mode: negative

図 4.12 「セル挿入 (右)」の操作実行後の画面

## 第5章 今後の展望と結論

### 5.1 結論

本稿では、表計算ソフトにおいてハンドジェスチャを用いたテーブル操作を行う手法について提案した。そのアプローチとして、最も使用頻度の高い13種のテーブル操作に対してユーザベースのジェスチャセットを決定するために予備実験1と予備実験2を行った。予備実験1では複数の参加者から各テーブル操作に対するジェスチャサンプルを収集し、その結果「ペースト」を除く12種の各操作に対して7-12種のジェスチャサンプルを収集した。「ペースト」操作には収集ジェスチャがどの参加者でも一様であった。予備実験2においてそれらを評価することでユーザ定義のジェスチャセットを決定した。プロトタイプの実装において、LeapMotionを用いた手のセンシング、および機械学習による手形状の識別ソフトウェアと、ジェスチャをテーブル操作のトリガとする表計算アプリケーションのプロトタイプを作成した。

### 5.2 今後の展望

今後の展望として、実装した表計算アプリケーションのプロトタイプの評価実験を行う。複数の参加者がランダムに指示される操作指示に対し提案手法を用いたテーブル操作を行い、そのタスク完了までの時間、エラー率、疲労度を調査し、ユーザビリティを従来のマウスによるメニューを用いた操作と比較する。また提案手法のユーザ学習のパフォーマンスを評価するため、複数回タスクを実施した後の結果の向上を比較する。

また、今回実装したユーザ定義のジェスチャセットでは「コピー」のジェスチャのみが両手を使用したジェスチャとなったが、手法全体として完全に片手のみで操作できるジェスチャセット（例として掌を裏返すようなジェスチャ）の方がユーザに好まれる可能性があるため、追加調査を行う。また、今回着目した操作以外のテーブル操作に対して同様のアプローチが適用できるのかを調査する。例えば、「オブジェクトの大きさの変更」や「オブジェクトの入れ替え」、「コピーしたセルの挿入」、「罫線の描画」などが考えられる。さらには、多くのハンドジェスチャインタフェースにて実装されているポイントジェスチャ[20]を追加することによって、マウスやトラックパッドなどのポインティングデバイスを排除した場合のユーザビリティについて検証する。

最後に、本手法を集約関数のトリガに拡張することを検討する。多くの表計算ソフトには複数のオブジェクトから統計的な処理を施し、値を取得できる集約関数が実装されている。これらは非常に利用頻度が高く、かつ意味情報をユーザが把握しやすいため、ハンドジェスチャによる表現ができ、ユーザビリティとして効果的なアプローチであると推測する。

## 謝辞

謝辞本論文の執筆にあたり，指導教員である高橋先生，志築先生には多大なご指導を頂きました。深く感謝致します。特に高橋伸准教授には研究活動の基礎から論文執筆に渡る，丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。心よりお礼申し上げます。また，インタラクティブプログラミング研究室の皆様には，研究生活に関する様々な助言を頂きました。特に UBIQUITOUS チームの皆様にはチームゼミをはじめ，普段の研究活動において細かなご助言を頂きました。さらに，論文執筆時には添削など多くの支援を頂き，充実した研究生活を送ることができました。深く感謝致します。最後に，私の生活を支えてくださった家族や友人，研究においてお世話になった方々に深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Simon Peyton Jones, Alan Blackwell, and Margaret Burnett. A User-Centred Approach to Functions in Excel. In *Proceedings of the ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming, ICFP*, Vol. 8, pp. 165–176, 2003.
- [2] S. J. Westerman. Individual Differences in the Use of Command Line and Menu Computer Interfaces. *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, Vol. 9, No. 2, pp. 183–198, 1997.
- [3] Juan Pablo Wachs, Mathias Kölsch, Helman Stern, and Yael Edan. Vision-based hand-gesture applications. *Commun. ACM*, Vol. 54, No. 2, pp. 60–71, February 2011.
- [4] Cheng Guo and Ehud Sharlin. Exploring the use of tangible user interfaces for human-robot interaction: A comparative study. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '08*, pp. 121–130, New York, NY, USA, 2008. Association for Computing Machinery.
- [5] Simeon Keates and Peter Robinson. The use of gestures in multimodal input. In *Proceedings of the Third International ACM Conference on Assistive Technologies, Assets '98*, pp. 35–42, New York, NY, USA, 1998. Association for Computing Machinery.
- [6] Donggun Park, Yu Shin Lee, Sejin Song, Ilsun Rhiu, Sanghyun Kwon, Yongdae An, and Myung Hwan Yun. User centered gesture development for smart lighting. In *Proceedings of HCI Korea, HCIK '16*, pp. 146–150, Seoul, KOR, 2016. Hanbit Media, Inc.
- [7] Margaret M. Burnett and Herkimer J. Gottfried. Graphical definitions: expanding spreadsheet languages through direct manipulation and gestures. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 5, No. 1, pp. 1–33, mar 1998.
- [8] Daniela Grijincu, Miguel A. Nacenta, and Per Ola Kristensson. User-defined interface gestures: Dataset and analysis. In *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '14*, pp. 25–34, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery.
- [9] Miguel A. Nacenta, Yemliha Kamber, Yizhou Qiang, and Per Ola Kristensson. Memorability of pre-designed and user-defined gesture sets. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human*

- Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 1099–1108, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [10] Michael Nielsen, Moritz Störring, Thomas B. Moeslund, and Erik Granum. A procedure for developing intuitive and ergonomic gesture interfaces for HCI. In *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)*, Vol. 2915, pp. 409–420. Springer Verlag, 2004.
- [11] Elias Fares, Victor Cheung, and Audrey Girouard. Effects of bend gesture training on learnability and memorability in a mobile game. In *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, ISS 2017*, pp. 240–245. Association for Computing Machinery, Inc, oct 2017.
- [12] Jacob O. Wobbrock, Htet Htet Aung, Brandon Rothrock, and Brad A. Myers. Maximizing the guessability of symbolic input. In *CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '05*, pp. 1869–1872, New York, New York, USA, 2005. ACM Press.
- [13] Jacob O. Wobbrock, Meredith Ringel Morris, and Andrew D. Wilson. User-defined gestures for surface computing. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1083–1092, New York, NY, USA, 2009. Association for Computing Machinery.
- [14] Edwin Chan, Teddy Seyed, Wolfgang Stuerzlinger, Xing-Dong Yang, and Frank Maurer. User Elicitation on Single-hand Microgestures. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '16*, pp. 3403–3414, 2016.
- [15] Julien Epps, Serge Lichman, and Mike Wu. A study of hand shape use in tabletop gesture interaction. In *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '06, pp. 748–753, New York, NY, USA, 2006. Association for Computing Machinery.
- [16] Radu-Daniel Vatavu. User-Defined Gestures for Free-Hand TV Control. In *Proceedings of the 10th European conference on Interactive tv and video - EuroITV '12*, pp. 45–48, New York, New York, USA, 2012. ACM Press.
- [17] Atsushi Shimada, Takayoshi Yamashita, and Rin Ichiro Taniguchi. Hand gesture based TV control system - Towards both user - & Machine-friendly gesture applications. In *FCV 2013 - Proceedings of the 19th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision*, pp. 121–126, 2013.
- [18] Gary Perelman, Marcos Serrano, Célia Picard, Mustapha Derras, and Emmanuel Dubois. Multi-device interaction for spreadsheet on tablets. *Proceedings of the 29th Conference on Interaction Homme-Machine, IHM '17*, pp. 105–115, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.

- [19] Emanuel Zraggen, Robert Zeleznik, and Philipp Eichmann. Tableur: Handwritten Spreadsheets. *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI EA '16*, pp. 2362–2368, 2016.
- [20] Marcio C. Cabral, Carlos H. Morimoto, and Marcelo K. Zuffo. On the usability of gesture interfaces in virtual reality environments. In *Proceedings of the 2005 Latin American Conference on Human-Computer Interaction, CLIHC '05*, pp. 100–108, New York, NY, USA, 2005. Association for Computing Machinery.

## 付録：予備実験1の収集ジェスチャ



図 5.1 「行の挿入」操作の収集ジェスチャ

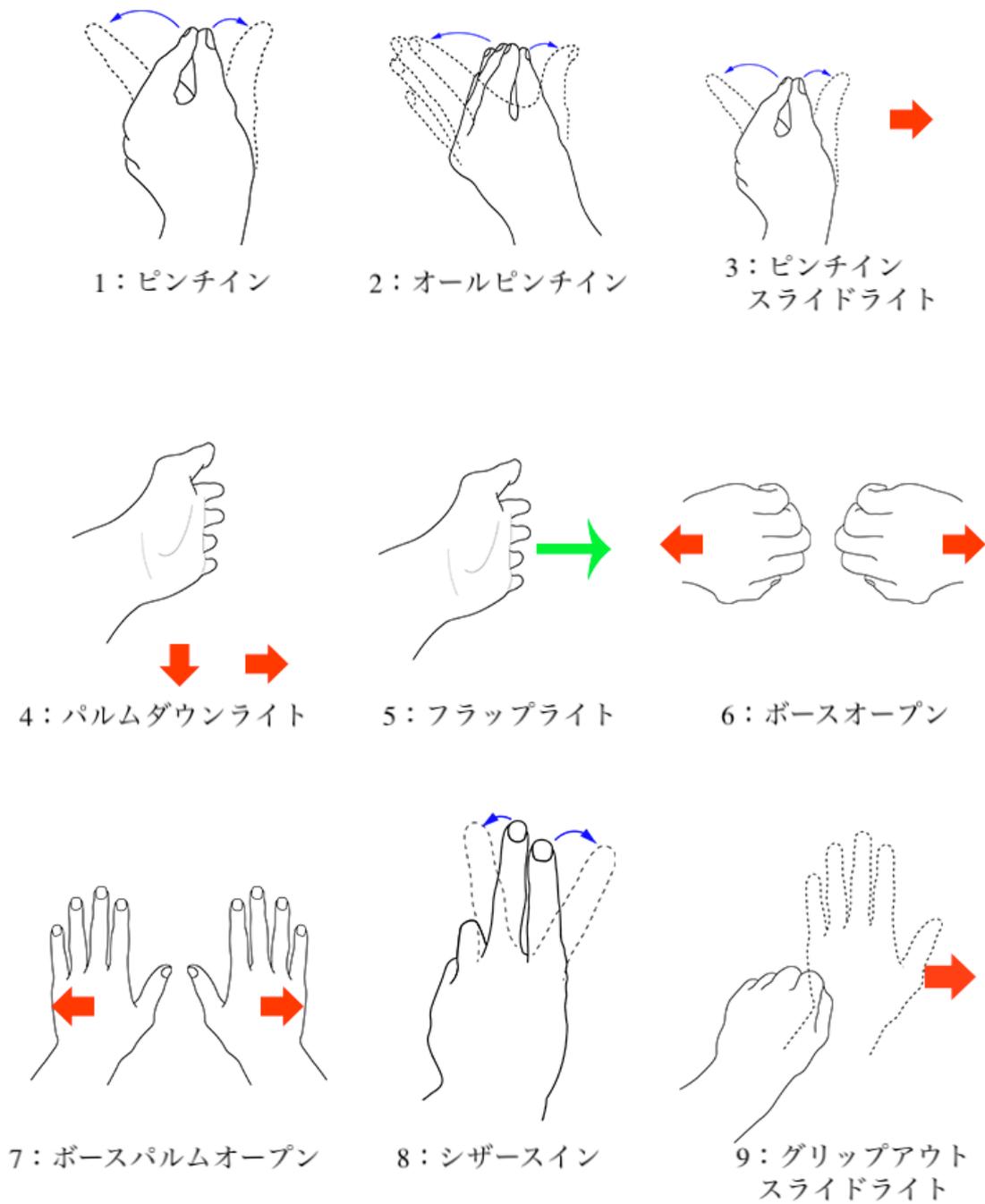


図 5.2 「列の挿入」操作の収集ジェスチャ

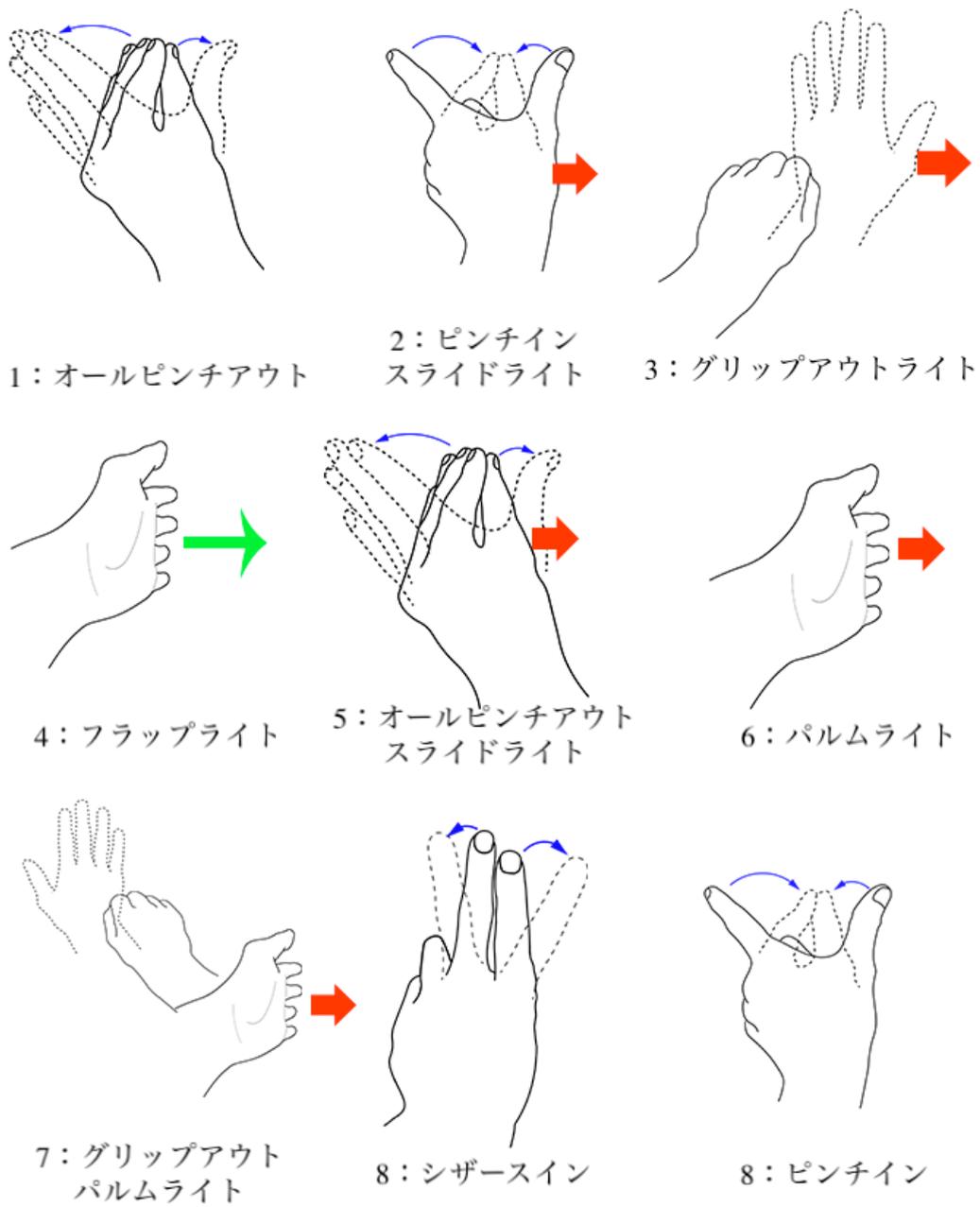


図 5.3 「セル挿入 (右)」の操作の収集ジェスチャ

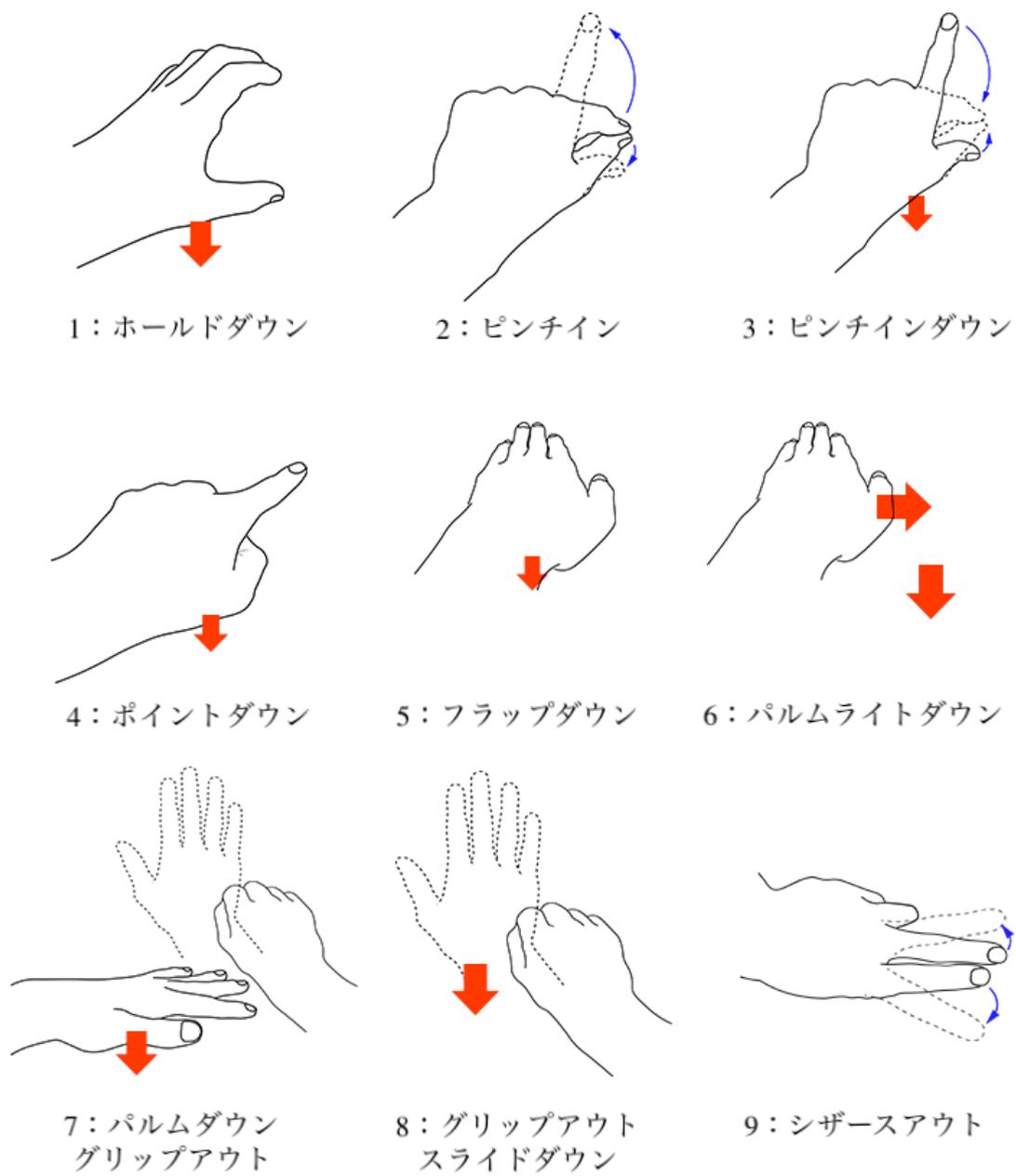


図 5.4 「セル挿入（下）」の操作の収集ジェスチャ

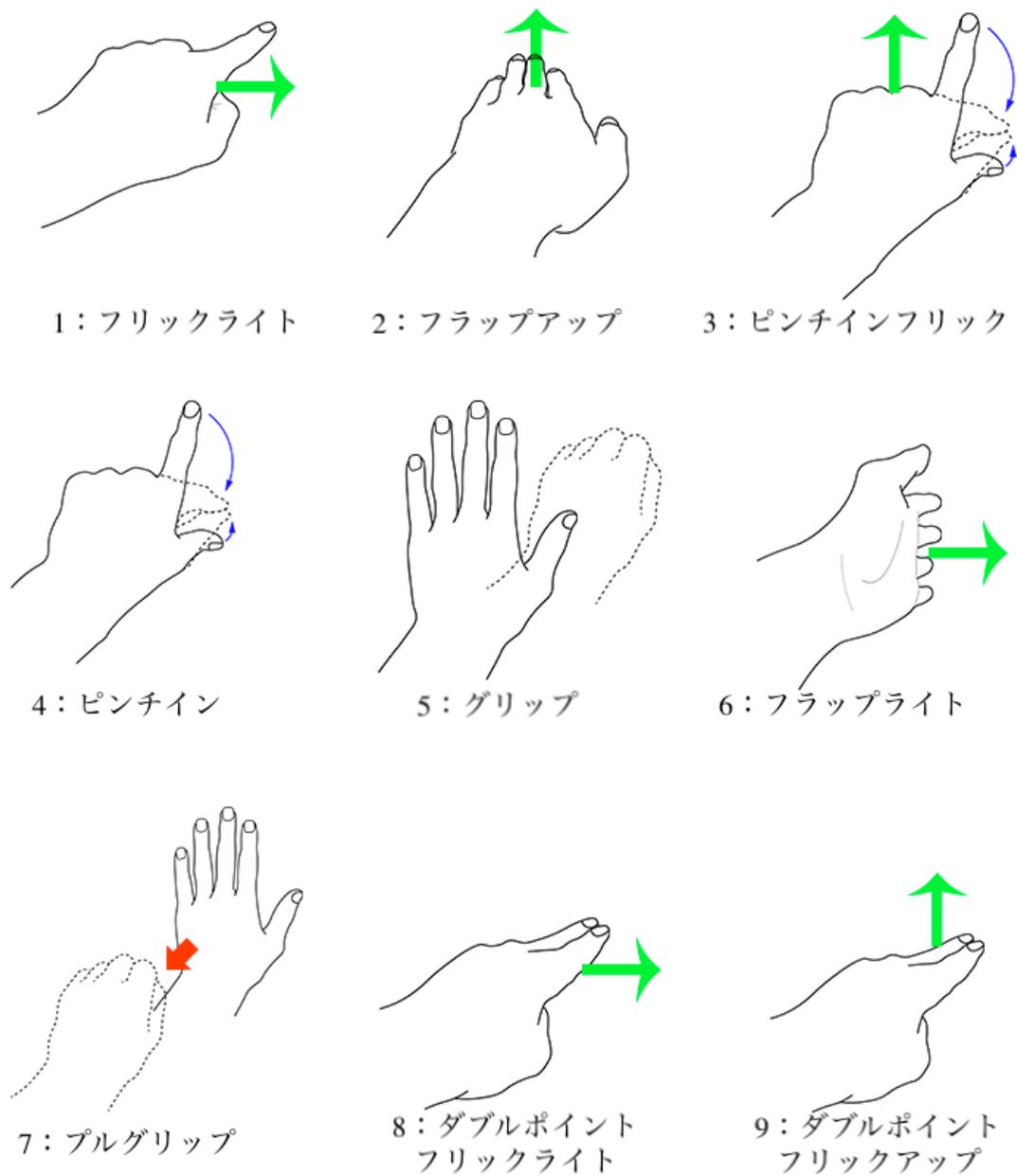


図 5.5 「行の削除」の操作の収集ジェスチャ

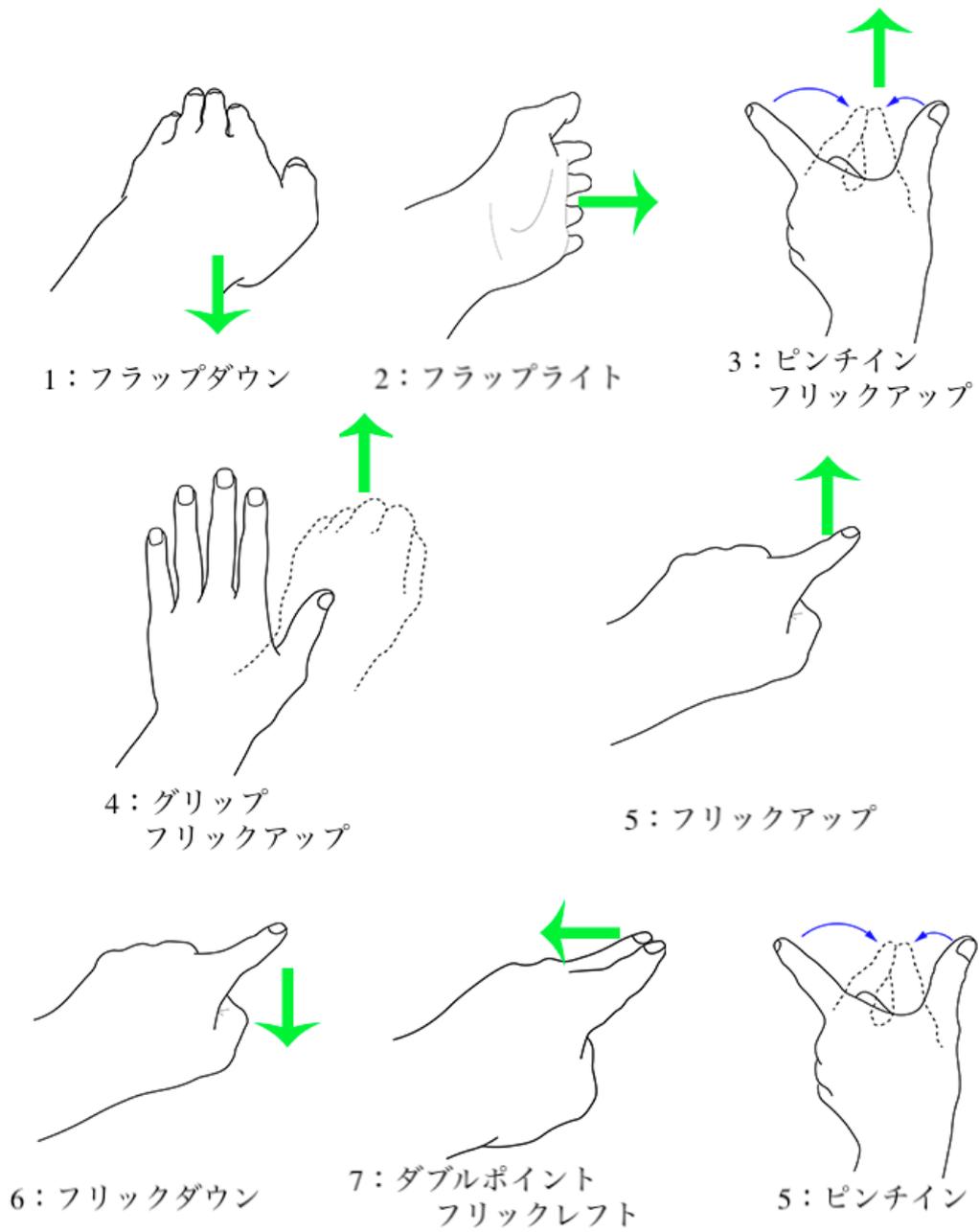


図 5.6 「列の削除」の操作の収集ジェスチャ

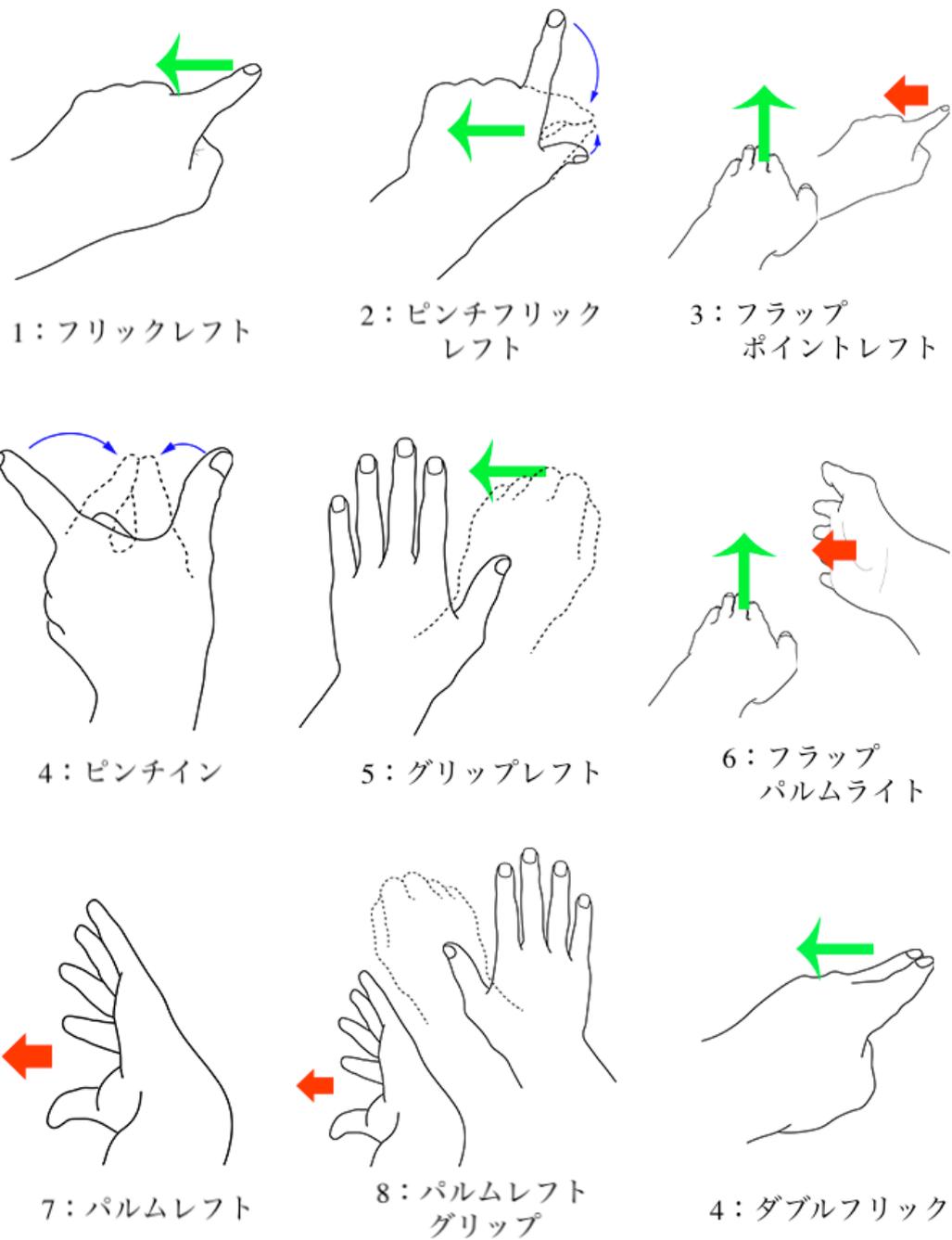


図 5.7 「セル削除 (左)」の操作の収集ジェスチャ

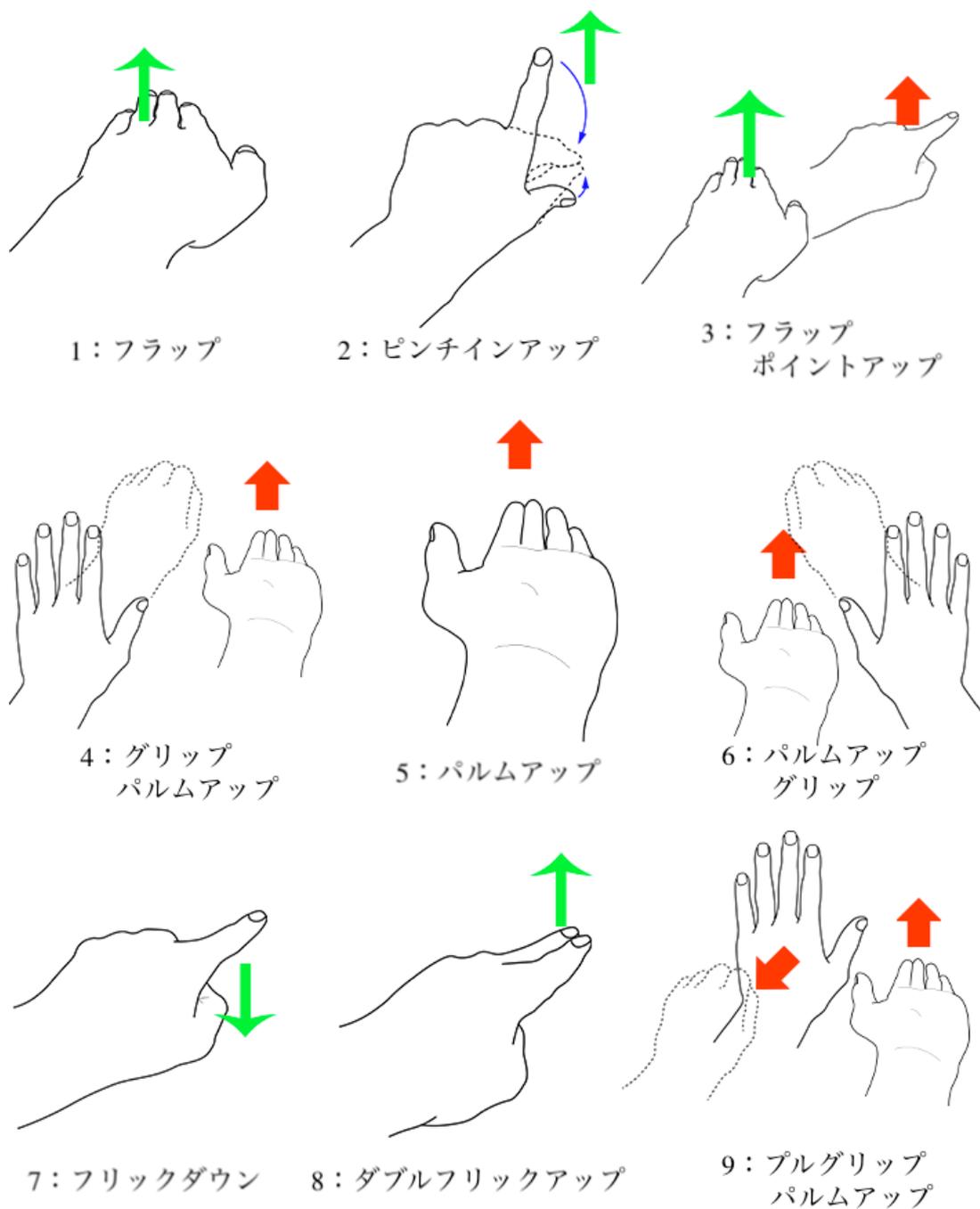


図 5.8 「セル削除（上）」の操作の収集ジェスチャ

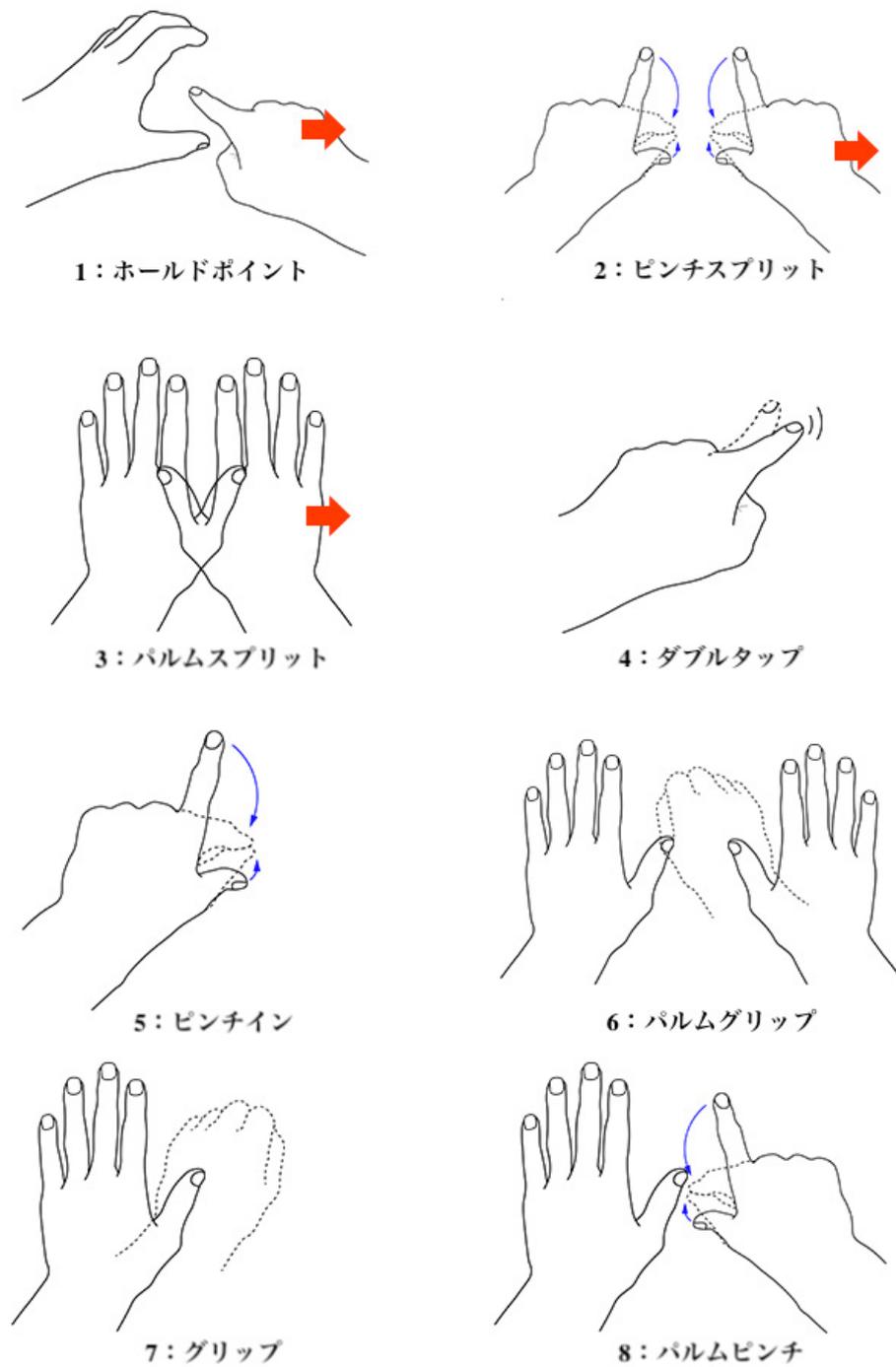


図 5.9 「コピー」の操作の収集ジェスチャ

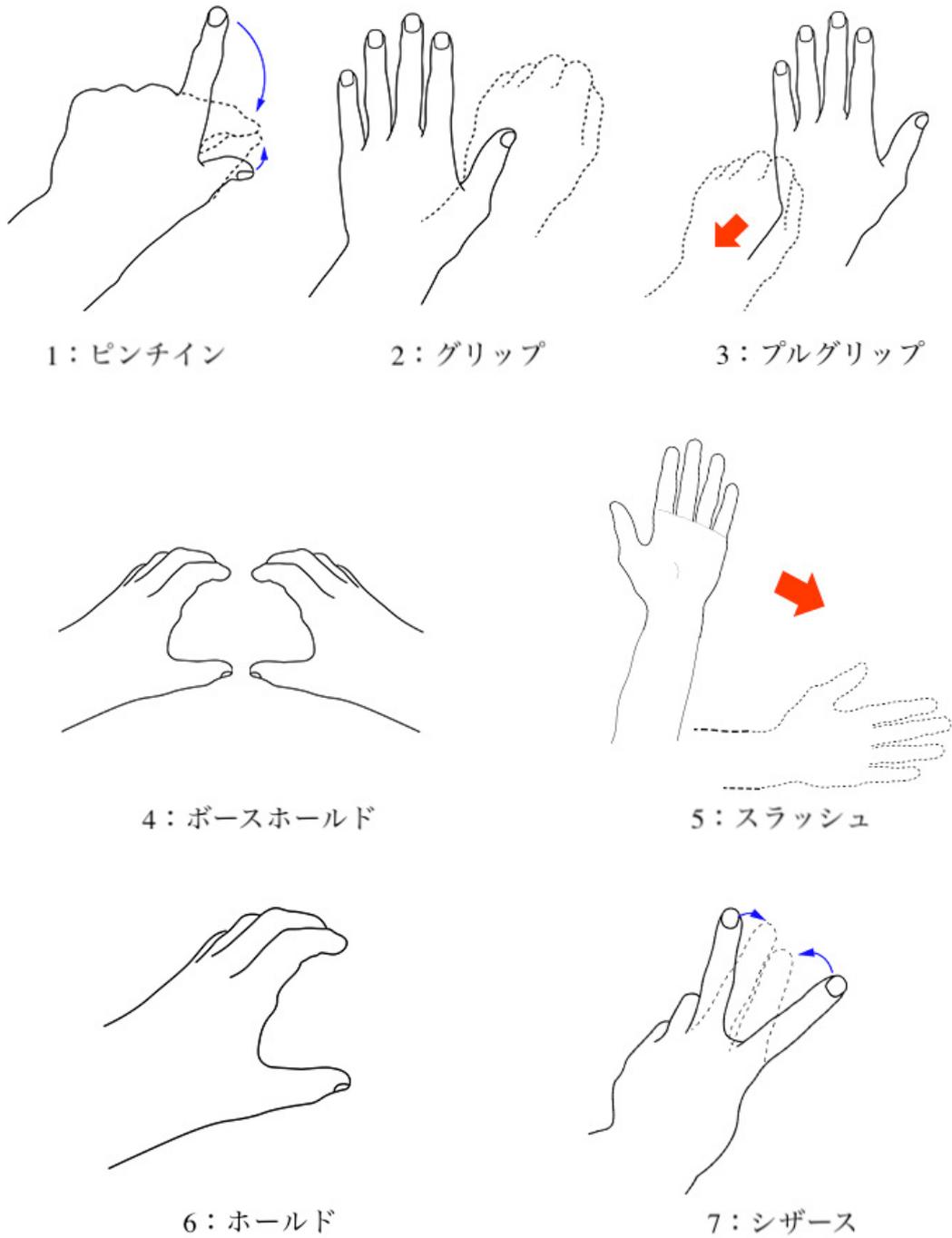


図 5.10 「カット」の操作の収集ジェスチャ

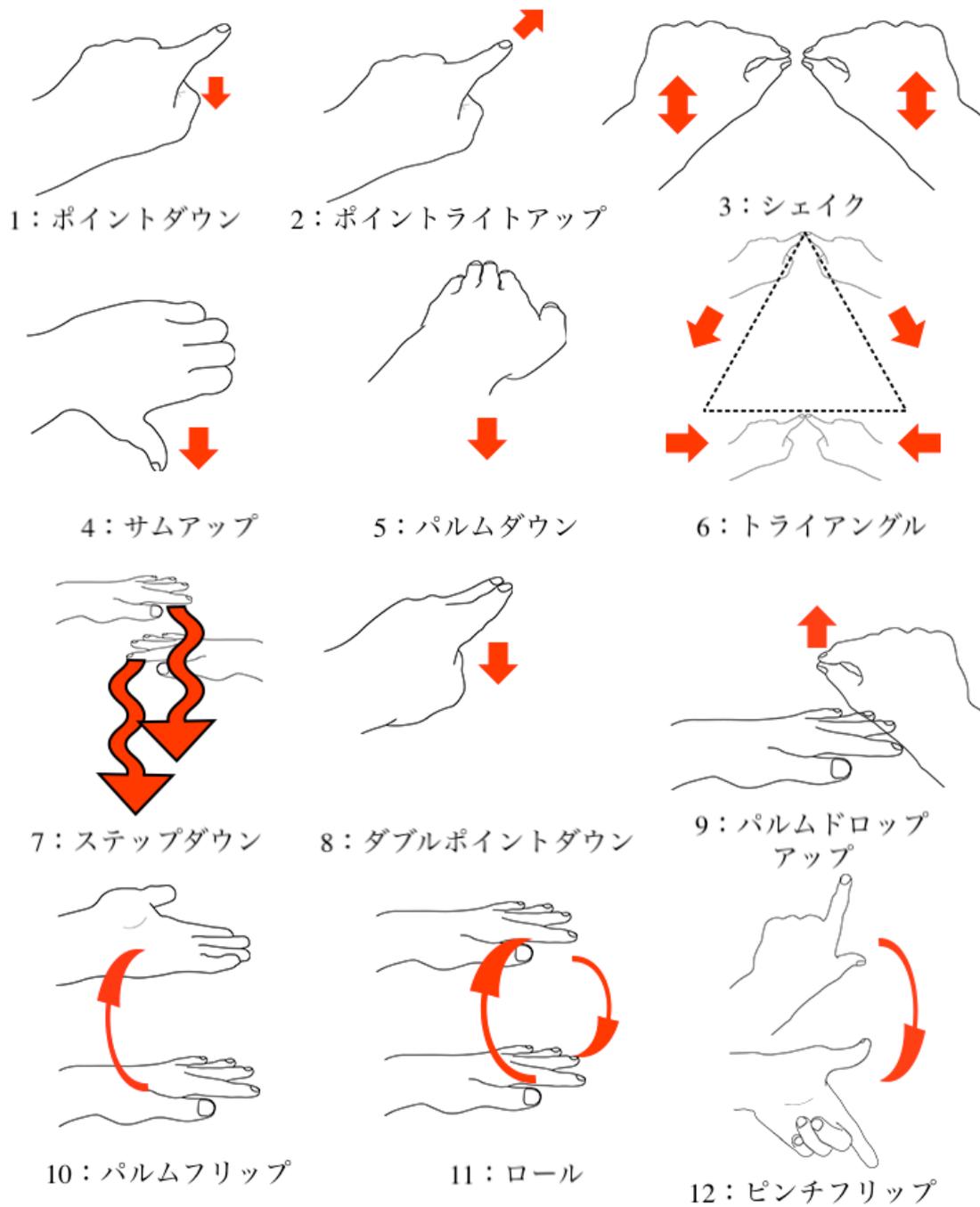


図 5.11 「昇順ソート」の操作の収集ジェスチャ

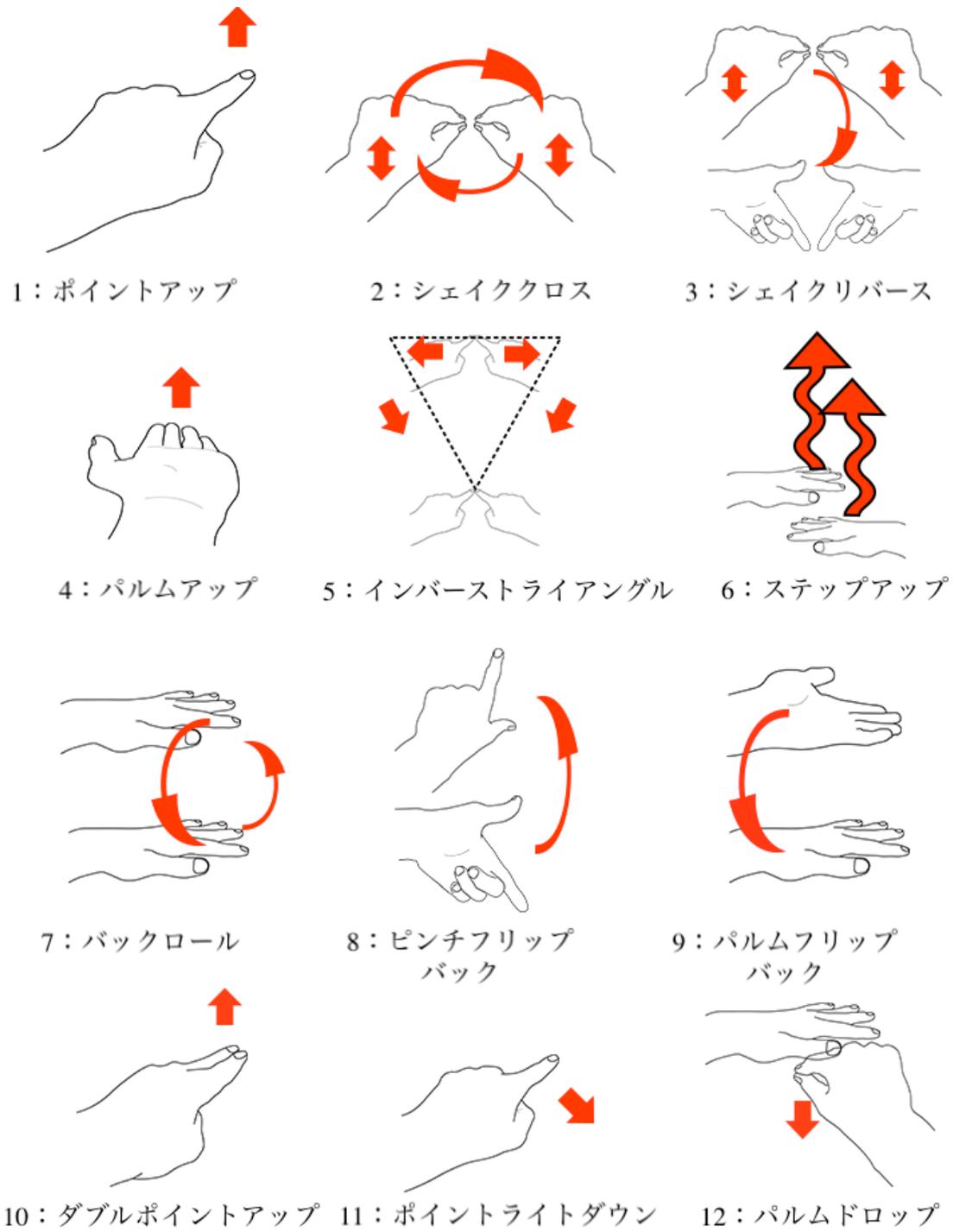


図 5.12 「降順ソート」の操作の収集ジェスチャ