

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 15日現在

機関番号：12611

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500119

研究課題名（和文）

エルゴノミックデザイン GUI の研究

研究課題名（英文）

Ergonomic designed graphic user interface

研究代表者

椎尾 一郎 (SHIO ITIRO)

お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科・教授

研究者番号：90297101

研究成果の概要（和文）：近年、人の手の形状に合うようにデザインされた製品が実用化されている。これらと同様に、グラフィカルユーザインタフェース(GUI)も、人の手および腕の動きの特性を考慮したデザインにすることで、ユーザに負担を与えないコンピュータ操作が可能になるであろう。そこで本研究では、エルゴノミクスの考え方に基づいた GUI、エルゴノミクス GUI を提案し、形状がななめのメニューなどからなる GUI 部品を試作し、その評価を行った。

研究成果の概要（英文）：We propose a new GUI design method based on ergonomics and describe our new menu widget named Slant Menu. Natural human hand movements on a table are reflected in this menu, which appears in an inclined direction with a curved form, rather than a conventional vertical, linear GUI menu. We have developed the prototype and conducted usability testing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：グラフィカルユーザインタフェース、ななめメニュー、Slant Menu

1. 研究開始当初の背景

現在、コンピュータで使用されるマウスやキーボードには、サイズ、コスト、見た目の美しさなどを重視したデザインが施されている。その多くは、直線的なデザインで、このことで、空間利用効率を良くし、製造コストの削減にもつながっている。その一方で、人の手の形状や動きを考慮し、その結果曲線を多用したキーボードやマウスが、一部販売されている。図 1. に実際に市販されているキーボード製品を示す。ここでは、キー配列をカタカナのハの字状にし、中央部を隆起させ、

人の自然な手の形と動きに合わせた曲線的なデザインを施している。これにより、手に負担のかからない使いやすいキーボードが実現できる。



図 1. エルゴノミクスデザインキーボード例

このような製品は、人間工学（エルゴノミクス）に基づいた製品という意味で、一般にエルゴノミックキーボードなどと呼ばれている。実際の人間工学は、人と機械の相互作用にかかわる幅広い研究分野であるが、本提案書では、エルゴノミックデザインを「人の形状に合わせたデザイン」という、一般社会で使われている意味で使用する。

一方、コンピュータのグラフィカルユーザインタフェース（以下 GUI）に基づいて動作するコンピュータの画面設計においては、いまだに直線状の形状を持つ GUI 部品や、直線上にポインタを動かすことを前提とした直接操作手法が一般的である。GUI 部品においても、マウスやキーボードなどに見られるような、人の手の形状、動きを考慮した、曲線的なデザインが有効なはずである。しかしながら、人の手の形や動きに対応して、曲線状の形状を施し、弧を描くようなポインタ移動を前提とする直接操作手法の提案は無く、そのような設計の有効性を評価する学術的試みもほとんどされていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、GUI の設計を、人間の手の形状や動きに基づいてデザインしようとする新しい設計手法を提唱しその有用性を示すことである。

この設計手法によって作られた GUI を、ここではエルゴノミックデザイン GUI と呼ぶ。エルゴノミックデザイン GUI の提案とその設計手法の確立のため、本研究では、人の手の形状と動きに基づいて、メニュー、ウィンドウ、ボタンなどの、さまざまな GUI 部品を設計し直し、それらを提案し、有用性を実験によって検証する。これにより、GUI の新しいパラダイムの確立をめざす。

本研究で検討しているエルゴノミックデザイン GUI の実装イメージの一つを、図 2. で説明する。図 2. の左図は、従来の GUI で採用されているプルダウンメニューを示している。従来の GUI では、空間利用の効率良くメニューを配置することを優先し、垂直方向に直線上にメニューを並べている。これに対して、本研究で提案しているプルダウンメ

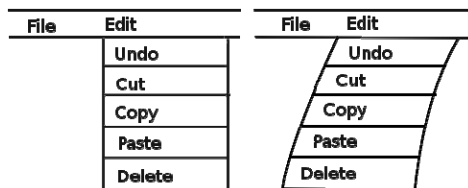


図 2. 左：従来のメニュー。右：本研究で提案するななめメニュー。

ニューの一つを、図 2. 右に示す。このメニューを、以下、ななめメニューと呼ぶ。人の手は直線的な動きをするのではなく、関節を中心として弧を描くように運動している。これは、マウスやペンを持ち、これを動かす場合にも同様である。すなわち、人にとって負担の少ないポインティングデバイスの動きは、水平／垂直方向の直線的な動きではなく、斜め方向への弧を描く動きであると考えられる。そこで、プルダウンメニューも、図 2. の右図のように斜め方向に弧を描くように配置することで、マウスの移動によりポインタがメニュー領域から外れることがなくなり、人に対してより負担の少ないインタフェースの実現が可能になるであろう。そこで、本研究では、このようなエルゴノミックデザインに基づくさまざまな GUI 部品を提案し、その有用性を検証することとした。

3. 研究の方法

本研究のアイデアは、人が GUI を操作するために指を動かし、マウスやペンなどの入力デバイスを操作する際に、腕や手を曲線的に動かすほうが、直線的に動かすより楽であるとの仮定に基づいている。人の腕や手が骨と関節から構成されて、関節を中心に円弧を描くように動くことから、この仮定は自明と思われた。また、人の動きを研究する人間工学分野で、このような知見はすでに得られていると考えられた。そこで、まず (1) 先行研究の調査を行い、次に (2) 実際の GUI ユーザの動作を観察し曲線的な動きをする傾向があることを確認し、その上で (3) 曲線的な動きを前提とした GUI 部品を試作し、(4) この評価を行うこととした。

(1) 先行研究調査

机などの水平面、壁などの垂直面において、腕、手、指、指先を直線方向に動かす動作は、複雑で容易ではない。机上で手をまっすぐに動かす動作には、体の様々な部分、特に腕の諸関節が関係する。腕、手、指は、骨と関節で構成され、関節を中心に円弧を描くように動く。たとえば、肩の関節を中心に肘は弧を描き、肘を中心に手首が弧を描き、手首を中心に手が弧を描き、手のひらに対して指が弧を描く。人間の動きの基本は回転である。手を直線に動かす動作は、これらの回転動作の組み合わせで実現される。回転を組み合わせで直線動作を行うために、人間の脳は複雑な制御を行なっている。[T. Flash: “The Control of Hand Equilibrium Trajectories in Multi-Joint Arm Movements”, Biol. Cybern. Vol. 57, pp. 257-274(1987).].

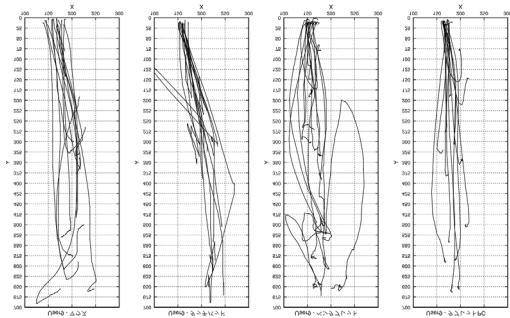


図 3. あるユーザの、プルダウンメニュー選択時におけるポインタの軌跡の例。左から、マウス、タッチパッド、ペンタブレット、タブレット PC。

直線的に手を動かすことが、人にとって困難である事を示す研究は数多く行われている。たとえば、人に直線を引きさせる実験では、5度から10度の範囲で、直線から外れる動きをするため、点から点への動きは通常緩いカーブを描く。[2) de Graaf et al.:

“Misdirections in slow goal-directed arm movements and pointer-setting tasks”,
Exp Brain Res, vol. 84, pp.
434-438(1991)]

(2) GUI 操作動作の解析

人の手の動きがカーブを描く現象が、GUI を操作する場面でも生じていることを確認するために、以下の実験を行った。

10人の被験者(21歳から24歳までの女性計算機科学専攻学生)に、プルダウンメニューで項目選択をしてもらった。この時のポインタの軌跡を記録した。ポインティングデバイスとして、マウス、指で操作するノートブックタッチパッド、ペンで操作するペンタブレット、ペンで操作する画面一体型のペンタブレット PC を用いた。その結果、図3に示すように、すべての軌跡が垂直方向ではなく傾いていて、その多くが弧を描いていた。この結果から、図4に示すような、ななめメニューが、メニュー選択動作におけるユーザのストレス軽減に有用であろうということが示唆される。

その一方で、実験で記録された軌跡の傾き、曲率は、被験者や、被験者が使うデバイスの種類によって異なっていた。そこで、ななめメニューを実現するためには、ユーザの過去の操作軌跡を反映して、変形具合を決める必要があると考えた。

(3) 試作

図4に、試作した、ななめメニューを示す。この形状は、過去のメニュー選択を行った際の、ポインタの軌跡を反映して決定されている。この様子を図5で説明する。
ななめメニューの曲線部分には、2次元ベジ



図 4. 試作したななめメニュー

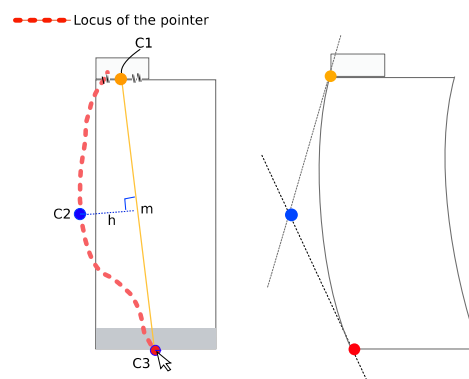


図 5. ななめメニューの形状決定手法

ェ曲線を用いた。ベジエ曲線の3制御点、C1, C2, C3は、次のように決定される。C1は、メニューバーのメニュー項目下辺の中心である。C2とC3は、ユーザが行った過去のメニュー選択動作から決定される。制御点C2は軌跡の始点と終点から、もっとも離れた点、すなわち最もカーブが膨らんだ点である。制御点C3は、C1と軌跡の終点を延長した直線と、目標のメニュー項目の下辺が交わる点であり、最下位メニュー項目を選んだ場合の軌跡の終点をほぼ示している。C2とC3は、ユーザの過去の履歴のうち、最近の状況に重みをつけた加重平均により求められる。ただ、実際には、ユーザは必ずしも最下位のメニュー項目を選択するわけではないので、以下のパラメータの加重平均を求めている。

- 直線 C1-C3 の傾き
- 線分 (C1-m) と線分 (m-C3) の長さの比、ただし m は図中の位置。
- (最も膨らんだ高さ h) * (N/n)、ただし h は図中の位置、n は選択メニュー項目を上から数えた順番、N は全メニュー項目数。

これらのパラメータにより、図5に示すC2, C3点の位置を決めることができる。

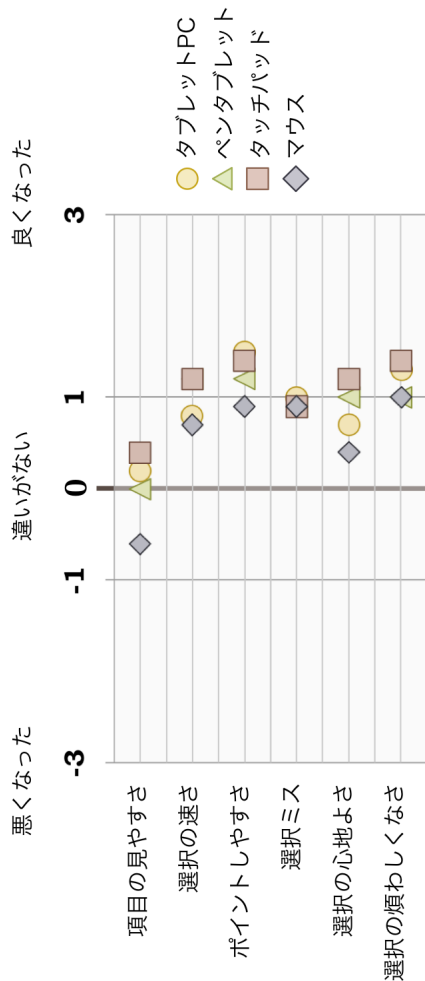


図 6. 評価結果

(4) 評価

10人の被験者(21歳から24歳までの女性計算機科学専攻学生)に、試作したななめメニューを使用してもらい、主観評価をした。使用したポインティングデバイスは、マウス、指で操作するノートブックタッチパッド、ペンで操作するペンタブレット、ペンで操作する画面一体型のペンタブレットPCである。試用後、被験者に、「項目の見やすさ」「選択の速さ」「ポイントしやすさ」「選択ミス」「選択の心地よさ」「選択の煩わしくなさ」の6項目についてアンケートを行い、(-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)の7段階で評価を行ってもらった。図6に、10人の被験者の平均を示す。ななめメニューは、従来のプルダウンメニューと比較して高く評価された。一方で、「項目の読みやすさ」の評価が他の要素と比べて相対的に低かった。これは、メニューが斜めに弧を描いた形状になったため、メニュー項目の文字列配列も斜めになり、これを見づらいと感じたと考えられる。デバイス別に分析すると、ななめメニューは、

全体的に、タッチパッドを使った場合に良く評価をされ、マウスを使った場合には、相対的に評価が低かった。一方で、タブレットPCとペンタブレットにはあまり差が無かった。マウスで評価が低かった理由は、マウスが相対座標系で操作する仕組みのため、操作しやすい場所に動かすことで、他のポインティングデバイスと比べて、直線的な操作がしやすかったとも考えられる。タッチパッドが多く要素で高く評価された理由のひとつとして、被験者がこのデバイスに慣れて、違いに敏感であったことが考えられる。被験者の10人中9人が週6日以上ノートPCのタッチパッドを使っていた一方で、マウスを週6日以上使っていたのは4人であった。

4. 研究成果

本研究では、まず、コンピュータ操作における人のマウス・ペン操作を観測するとともに、人間工学分野の論文を調査した。これに基づき、机上作業における人の手の動きモデルを構築した。人がGUI操作などで指示装置を動かす場合、人の骨格や筋肉の構造に制約を受けるため、直線状の動きを行うことが困難であり、ストレスを受ける可能性があることが、先行研究の調査から明らかになった。すなわち、人の手の動きは、もともと曲線であるため、直線的な動きは、複雑な筋肉の動きを組み合わせることで実行している。このため、人が動かしやすい曲線上のGUI部品のデザインを採用することで、その負担を軽減させる可能性がある。このことは、従来、GUI設計において指摘されてこなかった新しい視点である。

次に、人がメニュー操作を行う際の、手の動きを詳細に取得するプログラムを作成し、複数の被験者からデータを取得した。この結果、人の手の動きに関する先行研究が示すように、GUI操作においても、人の手の自然な動きは、曲線的であることを示すことが出来た。また、人の手の動きには個人差があるものの、それに合わせることで、快適な操作を行うGUI部品の設計が可能であることがわかった。これにより、斜めに表示されるメニューなどの妥当性が示され、また、その傾きを、人の操作履歴に合わせることで、快適なGUI操作が可能になると考えられる。

次に、エルゴノミックデザインGUIの部品として、ななめメニューを試作し、評価実験を行った。これは、人の履歴に合わせて、形状を変化させるメニューである。メニューの並びが、ベジェ曲線を描いて表示される。曲線の曲率は、ユーザの過去の軌跡を加重平均することで決定する。これにより、ユーザがメニュー選択をする指示装置の軌跡に合わせ

て、つぎに表示するメニュー形状を変化させる GUI 部品が実現した。この GUI 部品を用いて、複数のユーザを被験者とし、マウス、ペンタブレット、タッチパッド、表示一体型パソコンコンピュータを用いて評価実験を行った。その結果、多くの被験者からは好意的な回答を得られ、本方式が新しい GUI デザインの可能性を示していることを確認できた。

以上の研究結果を、ACM CHI 2012 (The ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems) の Work-in progress セッションに投稿したところ、採択され 2012 年 5 月に米国でポスター発表を行った。CHI 2012 は、ユーザインタフェース関係で最も評価が高い大規模な国際会議であり、ポスター発表においても採択率は 50% 程度である。本報告書では割愛したが、ななめメニューの他に、操作部分が曲線を描くスライドの試作も行なっている。今後は、メニュー、スライド以外の様々な GUI 部品について、曲率を生かしたデザインの可能性を追求していきたい。また、今回の研究では、ノートブック PC、デスクトップ PC、タブレットなどを対象とした。人が直線を描く動作は、大きな平面を対象とするほど困難になるので、本方式は、さらに大きな画面において、有用であると考えられる。そこで、今後は、電子黒板などの壁面大型画面や、会議室や住宅内のテーブルトップなどの水平面大型画面などを用いるコンピュータアプリケーションにおいても、曲線を生かした GUI 部品が有用であることを示していきたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

(ただし、学会発表の項の CHI 2012 Proceedings 論文は、査読付 6 ページ英文論文として、ACM Digital Library で公開されている。)

[学会発表] (計 2 件)

- ① Ayumi Tomita, Keisuke Kambara, and Itiro Sio. Slant Menu: Novel GUI Widget with Ergonomic Design. In Proceedings of the 30th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA '12). ACM, New York, NY, USA, 2051-2056. (Austin USA 2012.5)
(<http://siiio.jp/projects/papers/CHI2012>

_P2051.PDF)

- ② 富田 あゆみ、神原 啓介、椎尾 一郎、ななめメニュー:エルゴノミックデザインによる GUI 部品、情報処理学会第 73 回全国大会講演論文集, pp. 4-205-206, 2011. 3. 2-4.
(http://siiio.jp/projects/papers/5ZA_4.pdf)

[その他]

ホームページ等

<http://lab.siiio.jp/index.php?AyumiTomita#project>

http://siiio.jp/projects/papers/CHI2012_P2051.PDF

http://siiio.jp/projects/papers/5ZA_4.pdf

6. 研究組織

(1) 研究代表者

椎尾 一郎 (SIIO ITIRO)

お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科・教授

研究者番号: 90297101

(2) 研究分担者

神原 啓介 (KAMBARA KEISUKE)

お茶の水女子大学・お茶大アカデミック・プロダクション・特任リサーチフェロー

研究者番号: 90532705

(3) 研究協力者

富田 あゆみ (AYUMI TOMITA)

株式会社情報科学システムズ

(お茶の水女子大学理学部情報科学科 4 年から同大学院人間文化創成科学研究科博士前期課程在学中に本研究を卒論・修論テーマとして実施した)