

2013 年度（平成 25 年度）
博士論文

肢体不自由者のポインティングデバイス
操作特性の解明とその個別性に対応した
ソフトウェア開発に関する研究

立命館大学大学院
理工学研究科 総合理工学専攻
渡辺 崇史

目次

1	序論	1
1.1	障害のある人の生活と ICT	1
1.2	本研究の目的	3
1.3	論文の構成	4
	参考文献	5
2	入力デバイス検討モデルの作成とその課題分析	7
2.1	身体機能とパソコン操作との関係	7
2.1.1	肢体不自由による運動機能障害	7
2.1.2	パソコン操作に対する問題とニーズ	9
2.2	肢体不自由者のパソコン操作方法	11
2.2.1	パソコン利用環境	11
2.2.2	入力デバイスとソフトウェア	11
2.2.3	身体機能レベルと問題(ニーズ)との関係	14
2.2.4	オブジェクト選択方法	15
2.3	入力デバイス検討モデルの作成	17
2.4	個別支援事例に基づくパソコン操作方法の整理分析	19
2.4.1	調査対象	19
2.4.2	製作改造対応の結果	20
2.4.3	身体機能レベルとの関係	21
2.5	考察	23
2.5.1	個別性に応じた操作手段の必要性	23
2.5.2	ICFモデルでの検討	24
2.6	まとめ	26
	参考文献	27
3	身体構造によらないポインティングデバイス操作の特徴	33
3.1	目的とアプローチ	33
3.2	カーソル移動実験の方法	35
3.2.1	実験計画	35
3.2.2	実施と評価方法	38
3.3	カーソル移動実験の結果	40
3.3.1	実施状況	40
3.3.2	操作のしづらさ評価	40

3.3.3	操作時のカーソル速度比較	41
3.3.4	カーソル移動経路の評価	43
3.4	考察	45
3.4.1	トラックボール操作に必要な関節の動きと筋との関係	45
3.4.2	操作手指に関する意見	47
3.4.3	カーソル移動方向に関する意見	47
3.4.4	トラックボールに関する意見	48
3.5	まとめ	49
	参考文献	50
4	ポインティングデバイス操作に対する操作環境の影響	51
4.1	目的とアプローチ	51
4.2	カーソル移動実験の方法	52
4.2.1	実験計画	52
4.2.2	実験 1 の実験条件	54
4.2.3	実験 2 の実験条件	55
4.3	実験の実施	57
4.3.1	協力者への条件	57
4.3.2	カーソル移動実験の周知	57
4.4	取得するデータと評価方法	59
4.4.1	操作しづらかったカーソル移動方向	59
4.4.2	カーソル移動に要した時間	59
4.4.3	ターゲット近傍での操作傾向	59
4.5	カーソル移動実験の結果	61
4.5.1	実施状況	61
4.5.2	操作しづらかったカーソル移動方向	62
4.5.3	カーソル移動に要した時間	64
4.5.4	初動方向の比較	65
4.5.5	ターゲット接近操作方法の比較	66
4.6	考察	67
4.6.1	ディスプレイ設置位置に関する検討	67
4.6.2	背上げ角度に関する検討	67
4.7	まとめ	69
	参考文献	70
5	カーソル移動制御ソフトウェア (CMC) の開発	71
5.1	開発の背景	71

5.2	CMC の動作仕様	73
5.2.1	独立制御モード	74
5.2.2	2方向モード	75
5.2.3	方向変換モード	76
5.3	ソフトウェアの制作	77
5.4	想定した運動機能障害	79
	参考文献	80
6	カーソル移動制御ソフトウェアのユーザビリティ実証評価	83
6.1	研究の目的	83
6.2	実験の方法	84
6.2.1	実験計画	84
6.2.2	実施した実験課題	87
6.3	CMC パラメータの設定方法	88
6.4	実施の手順	89
6.5	カーソル移動実験の結果	91
6.5.1	ユーザ評価	92
6.5.2	CMC 設定値の決定	94
6.5.3	CMC の効果測定	96
6.6	考察	100
6.6.1	ユーザビリティ評価指標	100
6.6.2	CMC の効果	101
6.6.3	他の障害への展開可能性	102
6.7	まとめ	103
	参考文献	104
7	多様な個別性に対応するための提案	105
7.1	操作しづらかったカーソル方向の比較検討	105
7.2	できることを活かすための CMC の適用	107
7.2.1	利用者不在の支援	107
7.2.2	支援技術利用による心理的变化	107
7.2.3	CMC 適用の意義	107
7.3	カーソル総移動時間の比較検討	109
7.4	CMC 活用による継続的支援	110
7.5	CMC 適用時における評価の視点	111
7.6	まとめ	112
7.6.1	CMC の改良点と今後の課題	112

7.6.2	今後の展開と発展	114
	参考文献	116
8	結論	119
8.1	研究のまとめ	119
8.2	今後の課題	120

1 序論

1.1 障害のある人の生活と ICT

ICT(Information Communication & Technology) の発展と普及は我々の生活にさまざまな変化をもたらしている。また、あらゆる領域に活用される GPT(General Purpose Technology) として、各国の成長戦略のエンジンとしても期待されている [1]。このように ICT は社会資源として多種多様な個人々の生活を維持し、経済活動や社会活動へのあらたな可能性を広げ実現するために、不可欠な存在となっている。

障害のある人においても ICT の活用は、働く、学ぶ、遊ぶ等の活動場面はもちろん、その発展とともに個人々が生活するうえで不可欠な存在となっている [2]。コミュニケーション活動に障害がある場合には、拡大代替コミュニケーション手段 (Augmentative and Alternative Communication, AAC) としての役割を持ち [3]、音声会話によるコミュニケーション活動だけでなく文字による会話等、多様な活動を補助している。

就労場面におけるリハビリテーション工学を始めとする工学的手段による支援は、従来職場の環境整備や作業用補助具の開発改善での成果を上げてきたが、1980 年代になると、工作機械の操作から NC 機械のオペレータへ、タイプライタや写植からワードプロセッサや DTP へと等、どのような職種・職務であっても、労働環境がコンピュータを扱うというものに変化していった [4]。そして、コンピュータを使った仕事をする障害者や場所も増え [5,6]、通勤や労働時間にとらわれずに、さまざまな仕事をこなす在宅障害者ワーカーへと、就労機会を広げている [7,8]。

障害者の就労にあたっては就業する職種にかかわらず、「いかにコンピュータを扱えるようにするか」が重要なポイントとなり、「コンピュータアクセシビリティ」に対する支援が重要な技術課題となった。さらにパーソナルコンピュータ(以下、パソコン)の普及とインターネット環境の充実とともに、アクセシビリティへの関心の高まりは、米国では「リハビリテーション法 508 条(1998 年改正)」[9]での電子情報技術のアクセシビリティの確立、日本でも「障害者・高齢者等情報処理機器アクセシビリティ指針(2000 年)」[10]「JISX8341 高齢者・障害者等配慮設計指針(2004 年)」[11]等のガイドラインが充実し、それを具現化したさまざまな機器やサービスが提供されている。

教育場面においては、1980 年代後半より肢体不自由教育に新しい展開と可能性が期待されパソコンが導入され始めた [12]。現在では障害の程度や種別にかかわらず合理的配慮(reasonable accommodation) [13]を実現する手段の一つとして期待されており、「障がいのある学生の修学支援に関する検討報告(第一次まとめ)」[14]では、ICT の利活用も含む支援技術(assistive technology)の必要性を報告している。実際、教育学習場面での支援技術の活用事例 [15]が紹介され、最近ではタブレット型パソコン等のさまざまな情報端末を利用した実践的研究にも取り組まれている [16]。

ところで、支援技術とは「Assistive Technology Act of 2004 [17](米国)」によると、Assistive Technology は Assistive Technology Device と Assistive Technology Service の両方を意味し、次のように定義している (訳は参考文献 [18] より引用)。

Assistive technology device means any item, piece of equipment, or product system, whether acquired commercially, modified, or customized, that is used to increase, maintain, or improve functional capabilities of individuals with disabilities.

支援技術機器は、買ってきたかそこにあったものか、手直しされたか、個人に合わせて作られたかにかかわらず、障害のある人の機能を増大、維持、または改善するために使われるあらゆる装置、装置の部分、システムを指す。

Assistive technology service means any service that directly assists an individual with a disability in the selection, acquisition, or use of an assistive technology device.

支援技術サービスとは、障害のある人が支援技術装置を選ぶ、手に入れる、使用することを直接助けるあらゆるサービスを指す。

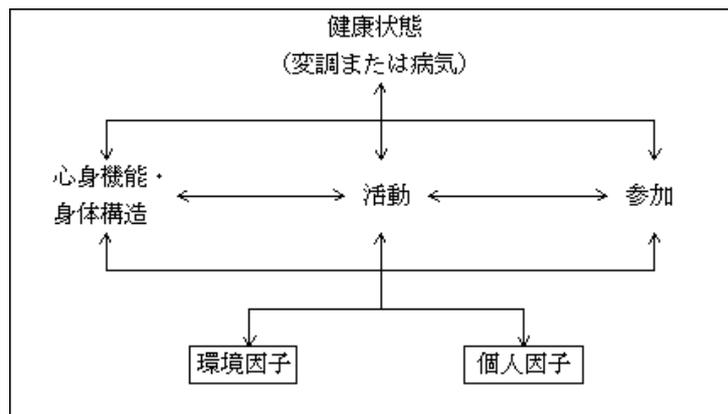


図1 ICFの構成要素間の相互作用 [19]より引用

一方、障害を考えるうえで重要な視点は、WHO(世界保健機構)で策定された国際生活機能分類 [19](International Classification of Functioning, Disability and Health, 以下、ICF)である。ICFは図1のように、障害(生活機能)は健康状態と背景因子(環境因子と個人因子)との間の相互作用あるいは複合的な関係とみなされる。これらの各要素間にはダイナミックな相互作用が存在するので、1つの要素に介入するとその他の1つまたは複数の要素を変化させる可能性がある。これらの相互作用は双方向性である。ICFでは、障害(disability)と生活機能(functioning)は、「心身機能・構造」、「活動」、「参加」の3つの次元を包括する用語として使われる。環境因子には生產品と用具(products and technology)や支援と関係(support and relationships)という要素が含まれる。すなわち支援技術は環境因子として位置付けられ、障害のある人の生活を支える生活支援の方法の1つとしての重要な役割を持つ。

1.2 本研究の目的

前節では、ICF モデルを参照して障害者に対する支援技術の役割と述べた。支援技術は、ひとりひとりが健康的でかつ豊かな生活を享受するために活用されるべきである。そのためには、機器や道具を用意するだけでなく、その対象機器の操作手段やインタフェースが個々人に適合して利用可能であることが必要である。例えば肢体不自由の障害がある人(以下、肢体不自由者)が電動車椅子を利用する際にはジョイスティックやハンドル等が操作可能であることが必要である [20,21].

ICT 活用においては、キーボード、ポインティングデバイス、スイッチ等の入力デバイスが利用できることである。本人に適合した入力デバイスであれば機器操作を可能とし、健康状態や社会参加、就労、学習、余暇などの諸活動に対して促進因子として作用するが、合っていなければ機器操作ができないだけでなく、諸活動への阻害因子となってしまう [22].

障害者に対しては非常に個別性が高いことから、さまざまな要因を考慮した支援技術が必要であり、あらゆる個別支援が展開されている [23–28]. しかし ICF は障害のある人だけに関するものであると誤解されているが、ICF は全ての人に関する分類で、あらゆる健康状態に関連した状況は ICF によって述べるのが可能である。つまり、ICF の対象範囲は普遍的である [29]. よって、支援技術においても、個別支援から得られた多くの経験に基づいた知見を、次の別の個別性対応に応用できる支援技術として具現化することがこの分野における重要な技術課題であると考え [30].

本論では肢体不自由者のポインティングデバイス操作に着目し、関連する事柄の解明と解決策の開発を通して、「多様な個別性に対応する支援技術」という課題に取り組むこととした。そこで、

- ・ポインティングデバイス操作と諸要因との関係を解明すること
- ・個別性に応じたポインティングデバイス操作支援ソフトウェアを開発すること
- ・当該ソフトウェアの有用性を検証し、実用化に向けた提案を行うこと

を目的とした。また「多様な個別性」という一見相互に両立しないように思えることに関して、本研究結果より考察し、今後の支援技術発展における重要な考え方についての提案も本研究の目的とする。

1.3 論文の構成

第1章では、序論として研究の背景を述べる。国際生活機能分類 ICF を参照して障害の概念を概観し、支援技術との関係について述べる。ここで、本研究の目的と位置づけについて述べる。

第2章では、肢体不自由における障害と入力デバイスとの関係について述べる。肢体不自由はさまざまな原因により、運動機能障害を呈するが、障害や生活機能の程度は千差万別である。そこで、さまざまな運動機能障害の概要を述べたうえで、著者が提案した身体機能レベルと適用される入力デバイスとの関係に、現在広く知られている機器操作におけるオブジェクト選択方式の分類を組み合わせた入力デバイス検討モデルを作成して、それを基に議論を行う。次に、肢体不自由者からの相談事例を整理分析して、パソコン操作に関する入力デバイスの問題やニーズについて検討を行う。その結果、本章以降で解明する課題や開発すべき支援技術について明らかにする。

第3章では、第2章で指摘した「肢体不自由者の運動機能障害によらない」ポインティングデバイス操作の特徴について論じる。心身機能・構造の個人差によらない困難さにはどのような傾向があるかを実験を通して明らかにする。そして、ポインティングデバイス適用時に考慮すべき点や必要な支援技術についての提案を行う。

第4章では、第2章で指摘した「操作環境の違いによる」ポインティングデバイス操作の特徴について論じる。パソコン操作姿勢やパソコンディスプレイ設置位置等の操作環境の違いがカーソル移動操作にどのような影響を与えるかを明らかにする。特に電動ベッド上で臥位姿勢でパソコン操作をする際について、実験を通して解明する。そして第3章同様、支援技術に対する提案に合わせて、介助方法や生活環境への提案も行う。

第5章では、「多様な個別性に対応する」ポインティングデバイス操作を補助するカーソル移動制御ソフトウェア(以下、CMC)を提案する。第2章、第3章、第4章の結果を踏まえ、CMCに求められる機能を整理したうえでCMCを試作する。そして、想定される運動機能障害や操作環境に対してCMCはどのように適用できるかについて考察する。

第6章では、ポインティングデバイス操作に対して潜在的な問題(ニーズ)を持っている肢体不自由者に、試作したCMCを適用してその効果について検証する。そのためにまず、肢体不自由者の現在のポインティングデバイス操作に対する問題点を明らかにしたうえで、適用する制御モードと制御設定値を検討する。その後CMCを適用し、肢体不自由者のポインティングデバイス操作のユーザビリティに対する検証を行う。

第7章では、本研究の総合的な考察とCMCの改良点を述べ、「多様な個別性に対応する支援技術」に対する今後の研究課題について述べる。

第8章では、本研究の結論と今後の展望について述べる。

参考文献

- [1] 総務省: 情報通信白書, 平成 24 年度版, pp.23-29 (2012).
- [2] 竹内晃一, 奥山俊博, 小林貴子: ICT をベースとした支援技術の開発と利用の時代変遷; 日本生活支援工学会誌, **Vol.12**, No.1, pp.27-35 (2012).
- [3] American Speech-Language-Hearing Association(ASHA): Report: Augmentative and alternative communication on American Speech-Language-Hearing Association; *ASHA Suppl.*, No.5, pp.9-12 (1991).
- [4] 八藤後猛: リハビリテーション工学の貢献; 職業リハビリテーション学-キャリア発達と社会参加に向けて-(松為信雄, 菊池恵美子編), 協同医書出版社, 改訂第 2 版, pp.213-219 (2006).
- [5] 社会福祉法人 AJU 自立の家: 障害者就労支援施設 わだちコンピュータハウス, http://www.aju-cil.com/wadachi/manual/wadachi_ja.pdf (2013.06.23 確認).
- [6] 社会福祉法人東京コロニー: トーコロ情報処理センター, http://www.tocolo.or.jp/about/pdf/youran_25.pdf (2013.06.23 確認).
- [7] 上村数洋: IT 社会における重度障害者の在宅就業支援を考える; 第 21 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.85-86 (2006).
- [8] バーチャルメディア工房ぎふ編: ブレイブ・ワーカー, 岩波ブックセンター (2009).
- [9] United States Government: Section 508 Of The Rehabilitation Act (1998).
- [10] 通商産業省; 障害者・高齢者等情報処理機器アクセシビリティ指針, 平成 12 年 6 月 5 日通商産業省告示 362 号 (2000).
- [11] 高齢者・障害者等配慮設計指針 -情報通信における機器, ソフトウェアおよびサービス- 第 1 部: 共通指針; JISX8341-1(2010 改正), 日本規格協会 (2004).
- [12] 松本廣: 肢体不自由教育におけるコンピュータ利用; 特殊教育学研究, **Vol.32**, No.1, pp.45-53 (1994).
- [13] United Nations: CONVENTION on the RIGHTS of PERSONS with DISABILITIES, Article 2 - Definitions (2006).
- [14] 文部科学省: 障がいのある学生の修学支援に関する検討会報告 (第一次まとめ) (2012).
- [15] 中邑賢龍: 発達障害の子どもの「ユニークさ」を伸ばすテクノロジー, 中央法規出版, pp.68-111 (2007).
- [16] 魔法のじゅうたんプロジェクト編: 障がいのある子どもたちのための携帯情報端末を利用した学習支援マニュアル, 魔法のじゅうたんプロジェクト (2013).
- [17] Assistive Technology Act of 2004, as amended, USC, PL108-364, §3, 118 STAT 1710 (2004).
- [18] e-AT 利用促進協会編: 詳解 福祉情報技術, 特定非営利法人 e-AT 利用促進協会, pp.28 (2011).

- [19] 障害者福祉研究会編: ICF 国際生活機能分類 国際障害分類改訂版 世界保健機構 (WHO), 中央法規出版, pp.169-178 (2003).
- [20] 北野義明, 寺田佳世, 岸谷都, 前川満良: 電動車いす操作インターフェース適合の体系化と課題検討; 第 22 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.71-72 (2007).
- [21] 中園正吾, 古谷彰則, 馬淵広行: 多様な入力機器および操作方式に対応した電動車椅子の開発; 第 24 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.67-68 (2009).
- [22] 渡辺崇史: 就労現場, 学習場面における福祉用具の適合や工学支援事例とその考察; 第 18 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.311-312 (2003).
- [23] 畠山卓朗, 田中理, 飯島浩, 松野史幸, 上野忠浩, 中川利光, 萩原考一: 重度肢体障害者用パソコン入力装置 (KB マウス) の適用; 第 5 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.269-270 (1990).
- [24] 畠山卓朗, 田中理, 轟木敏秀, 政木憲司: 重度筋ジストロフィー患者のパソコン操作にたいする取り組み; 第 8 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.299-304 (1993).
- [25] 畠中規, 上野忠浩, 藤記拓也: 重度障害者へのパソコン操作支援事例; 第 18 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.137-138 (2003).
- [26] 谷本義雄, 難波邦治, 六名泰彦, 山本秀樹: 頸髄損傷者のためのポインティングデバイスの選択と調整; 第 20 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.78-79 (2005).
- [27] 西村泰直: ALS 患者のスイッチセットの問題点; 第 15 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.555-558 (2000).
- [28] 日向野和夫: 操作スイッチの適合技術について; 第 27 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.105-106 (2012).
- [29] Bilenbach J.E., Chatterji S., Badley E.M. & Ustum T.B.: Model of disablement, universalism and the ICIDH; *Social Science and Medicine*, No.48, pp.1173-1187(1999).
- [30] 畠山卓朗, 渡辺崇史: 技術支援における経験情報の知識化; 第 21 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.75-76 (2006).

2 入力デバイス検討モデルの作成とその課題分析

第1章では、入力デバイスは本人との適合の可否が諸活動に影響を及ぼすことを述べた。本章ではパソコン操作のための入力デバイスが肢体不自由者にとって何が問題で何がニーズとして存在しているのかを明らかにする。

まず、肢体不自由者における運動機能障害について述べたうえで、著者が提案した身体機能レベルと適用される入力デバイスとの関係に、現在広く知られている機器操作におけるオブジェクト選択方式の分類を組み合わせた入力デバイス検討モデルを作成して、それを基に議論を行う。次に、肢体不自由者からの相談事例を整理分析して、パソコン操作に関する入力デバイスの問題やニーズについて検討を行う。その結果、本章以降で解明する課題や開発すべき支援技術について明らかにする。

2.1 身体機能とパソコン操作との関係

2.1.1 肢体不自由による運動機能障害

肢体不自由とは、上肢、下肢、体幹の運動機能の障害を指す。肢体不自由者(18歳未満も含む)は、障害者白書(平成24年度版)によると、身体障害児・者366.3万人のうち肢体不自由者は181万人(在宅のみ)であり、ほぼ半数を占める[1]。日本において、身体障害者福祉法(最終改正：平成24年6月27日)、児童福祉法(最終改正：平成24年8月22日)、障害者の日常生活及び社会生活を総合的に支援するための法律(障害者総合福祉法)(最終改正：平成24年6月27日)では、表1のように定めている[2]。一方、学校教育法施行令(最終改正：平成23年5月2日)では、肢体不自由者の障害の程度を表2のように定めている[3]。

これらの定義をICFの概念に参照すると(図1)、問題のある否定的な側面から述べていることがわかる。つまり、表1では肢体不自由を身体構造(body structures)を機能障害(impairment)のある状態とし、表2においては、活動制限(activity limitations)や参加制約(participation restrictions)を受けている状態を肢体不自由としてとらえている。

肢体不自由の原因はさまざまで中枢神経系疾患、神経筋疾患、骨関節疾患、骨系統疾患、代謝性疾患、切断等がある。また、同じ疾患であっても機能障害の状態は異なり、進行性疾患等であれば時間的変化によっても状態が異なる。例えば中枢性疾患である脳血管障害や脊髄損傷では、中枢(脳・脊髄)の損傷部位によって運動機能障害を示す程度も身体部位も異なりADLの程度も異なる[4]。肢体不自由となる発生原因、疾患やその程度は異なるものの、運動機能障害は筋力低下、運動失調、筋緊張の異常、不随意運動、関節可動域制限等に分類できるが[5,6]、本論では対象とする運動機能障害を表3のように大別してパソコン操作での入力デバイスとの関係について扱うこととした。

運動麻痺とは上位または下位運動ニューロン障害による筋力低下の状態であるが、肢体

2 入力デバイス検討モデルの作成とその課題分析

不自由の状態を表す時に片麻痺，対麻痺，四肢麻痺ということが多いため，筋力低下と分けて扱う。また筋緊張の異常とは，筋緊張が亢進して固縮や痙縮を生じる場合と，逆に緊張が弛緩する場合とがあるが，結果として表3のいずれか，あるいは複合した状態を示すと考えられるので列挙しなかった。例えばパーキンソン病による固縮，痙縮，無動の症状は程度はさまざまで一時的ではあっても運動麻痺，失調，不随意運動等の状態を呈するためである。

表1 身体障害者福祉法による肢体不自由の定義

1	一上肢、一下肢又は体幹の機能の著しい障害で、永続するもの
2	一上肢のおや指を指骨間関節以上で欠くもの又はひとさし指を含めて一上肢の二指以上をそれぞれ第一指骨間関節以上で欠くもの
3	一下肢をリスフラン関節以上で欠くもの
4	両下肢のすべての指を欠くもの
5	一上肢のおや指の機能の著しい障害又はひとさし指を含めて一上肢の三指以上の機能の著しい障害で、永続するもの
6	1から5までに掲げるもののほか、その程度が1から5までに掲げる障害の程度以上であると認められる障害

表2 学校教育施行令による肢体不自由の定義

1	肢体不自由の状態が補装具の使用によっても歩行，筆記等日常生活における基本的な動作が不可能又は困難な程度のもの
2	肢体不自由の状態が前号に掲げる程度に達しないもののうち、常時の医学的観察指導を必要とする程度のもの

表3 本論で扱う肢体不自由者の運動機能障害の状態

筋力低下	筋収縮によって発生する筋力が低下した状態
運動麻痺	随意的な運動が消失した状態
運動失調	目的とする運動が円滑にできなくなる状態
不随意運動	本人の意思とは関係なく現れる異常な運動
関節可動域制限	関節可動域が狭く(小さく)なった状態

2.1.2 パソコン操作に対する問題とニーズ

表3のような運動機能障害が見られる時、作業するための身体部位が限定される、必要な力が発揮できない、あるいは必要される力の制御が困難になる、巧緻性が求められる作業が困難になる、疲れやすく体力が継続しない、両手を使った作業が難しくなる、同時の操作が難しくなる、やろうと思ったことと実際の結果が一致しない等の困難さが想定できる。肢体不自由のコンピュータアクセシビリティに関する問題点については、文献[7]では、問題点を障害者のニーズとしてとらえ、標準的なキーボードとマウス利用での適合に関する対応策と、個別に対応が必要な場合のキーボードやポインティングデバイス等の改良や補助具の付加による対応方法について述べている。文献[8]では、肢体不自由者が入力デバイス操作時の問題点を列記し、それは運動機能障害により困難になっていることと、複合した問題がさらに操作の困難さを生んでいると述べている。

そこで、これらに挙げられた問題(ニーズ)を運動機能障害との対応づけを表4に示した。もちろん運動機能障害の程度によって変わることもあるし、1つの要因で問題(ニーズ)が発生しているわけではないが、このように整理することでパソコン操作との関係を概観することができる。なお、※のある問題(ニーズ)は特に複合した問題であり、主たる機能障害を想定できないものである。

表4 パソコン操作に関する問題点(ニーズ)と運動機能障害の関係

問題(ニーズ)	想定される運動機能障害
N1 キーやスイッチが押せない	筋力低下, 関節可動域制限
N2 キーやボタンから離せない	筋力低下
N3 指が届かない	関節可動域制限
N4 同時に2つの操作ができない	麻痺, 運動失調
N5 複数押してしまう	不随意運動, 運動失調
N6 タイミングよく操作できない	不随意運動, 運動失調
N7 偶発的に間違ったキーを押してしまう	不随意運動
N8 自助具で操作する必要がある	※
N9 操作に時間がかかる	※
N10 キーボード自体が使えない	※
N11 マウス操作ができない	※

パソコン操作に関する問題点と身体機能との関係については、神経筋疾患の1つである筋萎縮性側索硬化症(Amyotrophic Lateral Sclerosis, 以下, ALS)の場合に着目し、「在宅支援機器とテクノロジー」[9]にて支援技術との関係について論じた。ALSは進行性疾患であることから、現在できることを活かすこと、見通しを立てた支援をすること、という2つの側面を考慮して望むことを具体的な支援技術機器を紹介して述べた。そして、障害

2 入力デバイス検討モデルの作成とその課題分析

の進行による運動機能低下に対して、その状態を3つのレベルに分け、対応するパソコン操作手段との関係を支援技術サービスにおける指標として表5をまとめた。個人差があるものの進行性疾患であるため、表3に示した運動機能障害を呈することから、他の肢体不自由を伴う疾患においても適用可能であると考えられる。

表5 身体機能とパソコン操作の対応方法

身体機能のレベル	パソコン操作の対応方法
I期 ：身体の可動域減少はあるが、直接選択操作(キーボード)やオブジェクト選択(ポインティングデバイス)が可能	利用者に適合した入力デバイスの選択および製作改造(小型キーボード、操作移動量の小さいポインティングデバイス等) 身体負荷軽減のための配慮(文字予測変換ソフトの適用、ソフトウェアによるカーソル移動量や感度の調整等)
II期 ：限られた身体部位での4方向以上の随意的な身体の動きが可能	上記の対応方法に加え、ソフトキーボードの適用(画面上にキーボードを表示させてポインティングデバイスで選択して文字入力をする)
III期 ：2方向以下の随意的な身体の動きが可能な場合。または、随意的な生体反応が検出できる場合	操作スイッチあるいは生体反応を検知するセンサーと、スキャン入力式ソフトウェアの利用(重度障害者用意思伝達装置も含む)

2.2 肢体不自由者のパソコン操作方法

2.2.1 パソコン利用環境

現在 ICT 関連機器の多くは、グラフィカルユーザインタフェース (以下、GUI) での環境で使用されている。パソコンでの GUI 環境は、デスクトップメタファーを採用しコンピュータの概念を理解しやすくし、ポインティングデバイス等を利用することで画面上のオブジェクトの直接操作が可能になり、直感的でわかりやすいインタフェースを実現している [10]。また、パソコン OS が提供している各種 API(Application programming interface, 以下、API) を組み込むことで、異なるソフトウェアでも同様の GUI 部品にて操作の一貫性を提供できる。

一般的にパソコン操作するときには入力デバイスとして文字入力をするときはキーボード、オブジェクト選択をする場合はポインティングデバイスと使い分けている。作業の内容やパソコンの熟練度等によってその利用割合は異なるが、それぞれのデバイスの利点を活かしてパソコン操作を行っている。タブレット型パソコンにおいても画面上のキーボードや指先によるマルチタッチによるポインティング操作が必要となる。現在さまざまな入力デバイスがあるが、特にポインティングデバイスは機種が豊富である。GUI 環境はキーボード等からコマンドを入力してパソコンを操作する方法である CUI(Character user interface) 環境と比べると、操作の手続きが増える、手を多く動かすことが必要等の欠点があるものの、スマートフォンやタブレット型パソコンの普及により、タッチパネル上での操作方法にマルチタッチやフリック入力、ピンチといった、新たな使い方も開発されている [11]。このようにポインティングデバイスは、今後も ICT 関連機器を利用するうえで重要な入力デバイスである。

2.2.2 入力デバイスとソフトウェア

(1) ポインティングデバイス

GUI 環境で利用されるポインティングデバイスは isotonic(等張性) と isometric(等尺性) と呼ばれるタイプに分類される [12]。isotonic はポインティングデバイス自体や操作する身体部位を動かして、カーソル移動方向へ断続的に、かつ、繰り返し操作するタイプである。最も代表的なものはマウスである。isometric はカーソル移動方向に対応する力や圧力等をかけ続けて操作するタイプである。例えば、ノートパソコンのキーボード中央部に配置されるポインティングスティックがこれに該当する。中でもマウスが一般的に使いやすいとされているが [13, 14]、上肢の広範囲な可動域を必要とする [15]。本研究で対象とする肢体不自由者では表 3 に述べたような運動機能障害があるので、デバイスに直接触れて操作するのか、デバイス自体には触れないで操作するのかという接触状態の分類、ポインティングデバイスを固定して手元操作ができるのか、あるいはポインティングデバイス自体を固定せず、移動させて操作するかという設置方法による分類も考慮する必要がある。

ある。

そこで、一般的に市販されていて入手可能なポインティングデバイスの種類に [16]、肢体不自由者が利用対象となる種類も入れて表 6 のように分類した。マウスキーとはソフトウェアにてテンキーでカーソルポインタの操作をできるようにしたものである [17,18]。タッチスクリーンにはタブレット型パソコンに付設されている種類も含む。また、移動させて操作するポインティングデバイスは基本的に手に持って使うか身に付けて使うが、固定して操作するポインティングデバイスでも、形状やデザインによって手に持って使用する機種がある。例えばプレゼンテーション用に作られたタイプである。視線入力とは眼球の動きを検知してカーソル移動をするもので、近赤外光を利用した機種等がある [19]。ヘッドマウスとは、頭部の動きをとらえてカーソル移動させるもので、顔に貼付けた赤外線反射マーカを動きをとらえてカーソル移動させる機種やその導入事例報告がある。 [20,21]。

表 6 操作方法と設置方法によるポインティングデバイスの分類

		isotonic (等張性)	isometric (等尺性)
固定して操作	接触	トラックボール タッチパッド タッチスクリーン	ジョイスティック ポインティングスティック ゲームパッド
			マウスキー [17,18]
	非接触	視線入力 ヘッドマウス	
移動させて操作	接触	マウス ペンタブレット	
	非接触		

(2) ソフトキーボード (オンスクリーンキーボード)

ソフトキーボードとはオンスクリーンキーボードとも呼ばれる。図 2 のように画面上に QWERTY 配列、50 音文字配列、その他各種文字や記号等のキーボード (パレット) を表示させたものである。多くの場合肢体不自由者は、ポインティングデバイスを利用して選択入力を行う。タブレット型パソコンや画面がタッチパネルになっている場合は、スライラスペンや直接指で選択する。ソフトキーボードはパソコン OS にも付属しており、表示させるキーボードサイズも変更できるようになっている [17]。また、入力時の負担を軽減するために、予測文字変換機能が実装されたタイプ、音声読み上げ機能、カーソル吸着機能等が付加機能が実装されたタイプもある [22,23]。



図2 ソフトキーボードの例 ([17] より引用)

(3) スイッチ

肢体不自由者の運動機能障害の程度や利用目的等に応じて使用するスイッチを選択する [8,24]. メカニカル式のスイッチにはさまざまな大きさや作動圧で動作するタイプがあり, その他, 空気圧センサーや圧電素子を使った微小な筋力や可動域を検知するスイッチ, あるいは脳血流や脳波等の物理的な動きを伴わないものもある [25–27]. 使用する数は操作方法に応じて, 最低1つから数個まで使われる.

(4) スキャン入力式ソフトウェア

スキャン入力式ソフトとはキーボードやポインティングデバイスによる操作を代替するソフトウェアである [28–31]. スキャン入力式ソフトウェアとしては, Cook らが提案した選択方式である走査選択式 (scanning) と方向走査選択式 (directed scanning) に大別できる [32]. 走査選択式のソフトウェアとは, スクリーン上に表示されたキーボードまたは操作に必要な機能を配置したパレット (マウскарソルの移動方向やクリック, 動画を見る時に必要な操作ボタン群等) の上を, 一定時間 (以下, スキャン時間) ごとに枠型のカーソルが特定の場所を囲んだり, その場所の色が変わったりする動作が走査し, 目的の場所まで達した時に, スイッチ操作 (ON 信号がパソコンに入力される) を行うことで, その特定の文字あるいは機能が選択できる方法である. 例えば, 図 3(a) のような 50 音文字盤の場合, スイッチ操作を 1 回行うと, あらかじめ設定したスキャン時間に応じて順に行の色が反転し選択可能となる. 目的とする行の色が反転した時, スイッチ操作を行うと次はその行の文字だけが選択できるように色が反転する. そして目的の文字に達したら, スイッチ操作を行うことで文字入力ができる. この操作を繰り返せば文章作成ができる. パレットがカーソル操作の画面であれば同様なスイッチ操作で可能となる. これらの 1 連の操作は 1 スイッチで可能であるが, 走査開始用のスイッチと選択決定用のスイッチに分け 2 スイッチでの操作も可能である.

方向走査選択式のソフトウェアとは図 3(b) のように, 走査選択式同様にスクリーン上に表示されたキーボードまたは操作に必要な機能を配置したパレットにおいて, 最初に走査

2 入力デバイス検討モデルの作成とその課題分析

する方向をジョイスティックや複数のスイッチ群 (2 個～8 個) で決めてから順次走査する方式である。目的の場所まで達したら、そこでジョイスティックを離す (スイッチを OFF にする操作) と、次は別の方向への走査に変化する。例えば上下いずれかに走査していたのが、左右方向に走査するということである。走査方向を変えたり、選択するオブジェクトを決定したりするためのスイッチを OFF にするという操作は、任意に決めた一時停止時間 (acceptance time) だけ経過すると受け付けられる。走査方向を決定できることから、1 スイッチでの走査選択式よりは少ないステップ数でオブジェクト選択が可能になる。

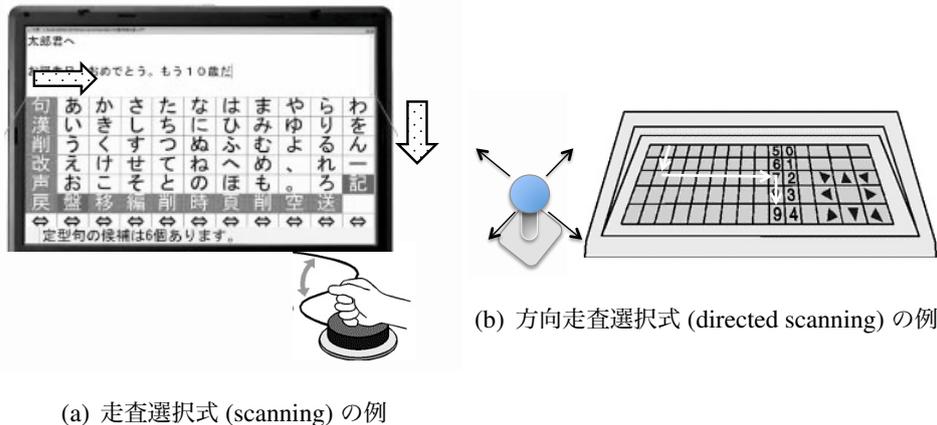


図3 スキャン入力ソフトの例 ([33,34] より引用, 一部編集)

2.2.3 身体機能レベルと問題 (ニーズ) との関係

文献 [35,36] では、入力デバイスに関する選定および適合方法について具体的な方法を示した。これらの知見と実践的な先行研究を基にしてパソコン操作上の問題点 (ニーズ) がいずれの身体機能 I～III 期レベルに該当しているかを述べる。

I 期レベルには表 4 の N1～N9 の問題 (ニーズ) をもつ肢体不自由者が該当し、さまざまな入力デバイスによる検討が可能である。図 4(a) は使用するアプリケーションごとに、あるいは利用者ごとに使いやすいキーレイアウトに変更でき、さらにキー入力のタイピング等が変更できるキーボードである [37]。特に運動失調や不随意運動がある場合はこの機能は有効である。I 期レベルにおいては、あらゆる運動機能障害を伴う場合の入力デバイスやタイピング用の自助具等に関する研究が報告されている [38-44]。

II 期レベルには表 4 の N1～N9 に加えて N10, N11 の問題 (ニーズ) をもつ肢体不自由者が該当する。図 4(b) は足でトラックボールを操作する例であるが、この身体レベルでは手指だけでなく、上肢、下肢、頭部、視線等の随意的な動きが検出できる身体部位を使って操作する。そのため身体状況等に応じたポインティングデバイスの開発 [45-53] や、可動域制限等に対応する自助具類の開発 [54,55] がされている。また、4つのスイッチをそれぞれ上下左右への動きとしてマウスカーソルを動かすことで、ポインティングデバイスとして利用する場合は、マウスエミュレータを利用することで可能となる [56,57]。

III 期レベルでは表 4 の N8～N11 の問題 (ニーズ) をもつ肢体不自由者が該当する。関節可動域や筋力の大小にかかわらず、物理的な運動の検出が可能であれば、スイッチ操作を入力デバイスとして、スキャン入力に対応したソフトウェアと併せてパソコンを操作する。図 4(c) は微小な口角の動きを検知して、スキャン入力ソフトウェアを操作している。補装具費の支給対象である重度障害者用会話補助装置の利用も想定される身体機能レベルである [58]。生体反応を用いた機種も補装具費の支給対象になることから、脳波や交感神経反応を利用した意思伝達装置としての実践も報告されている [59,60]。文字パレットを走査選択式または方向走査選択式にて文字コミュニケーションによる会話が可能となるが、その選択方式の特徴からポインティングデバイスで行うような、カーソル移動による複数のオブジェクトから選択する一連の操作 (ブラウザ操作やドロー系ソフトの利用) は、かなり困難になる。



(a) I 期: 上肢機能に応じたキーボード (b) II 期: 足でのトラックボール操作 (c) III 期: 光ファイバーによる検知

図 4 各身体機能レベルでの入力デバイス適用例 [35] より引用 (図 4(a) は [37] より引用)

2.2.4 オブジェクト選択方法

機器操作におけるオブジェクト選択方法は、Cook らが提案した分類方法が現在最も一般的である。Cook らは表 7 のように選択方法を直接選択式 (direct selection) と間接選択式 (indirect selection) に分け、間接選択式には走査選択式 (scanning)、方向走査選択式 (directed scanning)、符号化選択式 (coded access) があるとしている [32]。走査選択式と方向走査選択式は既に「2.2.2 入力デバイスとソフトウェア」で述べた。直接選択式とは、図 5 のように多数のオブジェクト群から 1 回の操作で直接選択する操作である。パソコン操作であれば、キーボード操作による文字入力、ポインティングデバイス操作によるオブジェクト選択、指や自助具を使ってタッチパネルを触っての選択等である。多数のオブジェクトから選択するための身体機能が必要であるが、操作はわかりやすく 1 回の操作で選択可能であるため、入力速度は速い。

符号化入力とは、1 つまたは少数のスイッチ入力を符号化して行う方式である。例えばモールス符号を利用することで、スイッチからの出力信号の長短で文字入力を行うことができる [61,62]。別の例としてスイッチ操作回数により入力する方法である。テンキーより文字を入力する携帯電話の場合 (“あ” のボタンを 2 回押すと “い” が入力される) や、

2 入力デバイス検討モデルの作成とその課題分析

スイッチを2個用意し、ひらがな50音表の行選択と列選択をスイッチ操作回数で特定の文字を選択する方法等である。よって入力デバイスはスイッチとなるが、タッチパッドのようなポインティングデバイスであればタップという動作がスイッチ入力と同様な方法となる。

表7 Cookらが提案する選択方法の分類

直接選択式 (direct selection)	方向走査選択式 (directed scanning)
間接選択式 (indirect selection)	符号化選択式 (coded access)
	走査選択式 (scanning)

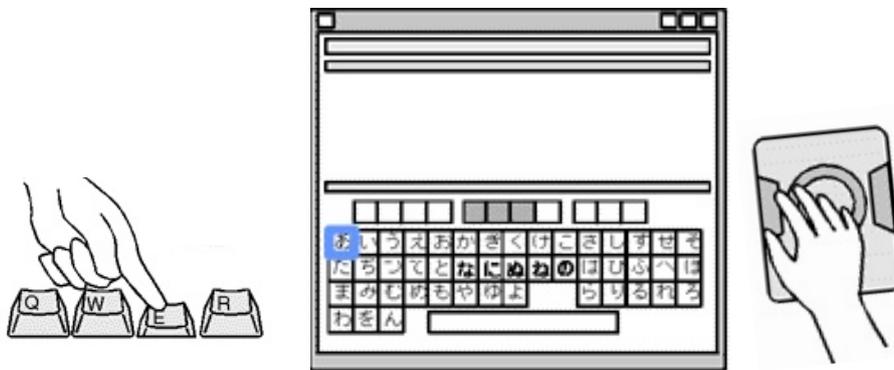


図5 直接選択式の例 ([34] より引用)

2.3 入力デバイス検討モデルの作成

前節ではパソコン操作における肢体不自由者の問題(ニーズ)を整理し、身体機能を3つのレベルに分けて適用される入力デバイスとの関係を実際に入手できる支援技術やソフトウェアや実践研究および導入事例を参照して述べた。これらの結果から、肢体不自由者のパソコン操作に用いられる入力デバイスをキーボード、ポインティングデバイス、スイッチと分けた時、3つの身体機能レベルと選択方式との関係は、図6のように表すことができる。なお、脳波、脳血流等の生体信号を利用した方式はスイッチに含めた。

キーボードは身体機能レベルⅠ期、Ⅱ期レベルを対象とする入力デバイスであるが、Ⅱ期レベルでキーボード利用する場合、より狭い範囲での操作を行う必要がある。そのため、直接選択式では図7のように自助具を利用して操作を行うとともに、キーボードとポインティングデバイスの設置の工夫が必要である[63]。間接選択式(符号化選択式)による入力も可能であるが、GUI環境でのパソコン利用であれば、実際はポインティングデバイス利用による直接選択式を適用し、文字入力もオブジェクト選択も兼用するケースが多いと考えられる。

ポインティングデバイスは、身体機能レベルⅠ期、Ⅱ期レベルの場合、直接選択式でも間接選択式でも利用される入力デバイスである。身体機能レベルⅢ期で2方向以下の随意的な身体の動きが可能な場合は、間接選択式である方向走査選択式や符号化選択式による操作が可能となる。例えば、isometric系のポインティングデバイス(ジョイスティック等)を使って方向走査選択式による操作である。このように、身体機能レベルの幅が広いこと、そして複数の選択方法が検討できることから、ポインティングデバイスには多様な特徴が求められる。

スイッチについては、Ⅲ期レベルで間接選択式での利用となる。前節で述べた4つ以上の複数のスイッチを、マウスエミュレータを介して接続し、マウスカーソルを操作する方法は直接選択式となり、その場合の身体機能はⅡ期レベルとなるためである。2スイッチが使えば方向走査選択式も対象となるが、1スイッチでの操作の場合、符号化選択式と走査選択式が対象となる。しかし、符号化選択の場合その特徴から巧緻性が求められる選択方法なので、不随意運動や運動失調が伴う場合は対象とならないことがある。補装具費支給対象品目の関係も相まって、多くの場合、実際の主たる選択方法は走査選択式に限られてくる。このようにスイッチは利用される数によって制約を受ける入力デバイスであると言える。

身体機能レベルからみると、身体機能レベルⅠ期とⅡ期は選択方法が直接と間接選択から検討することが可能であるが、Ⅲ期においては間接選択の方法に限定される。音階の変化やスイッチ操作時間の長短により1スイッチでカーソル移動を可能とするマウスエミュレータがあるが、いずれも走査選択式である[64,65]。前述したように利用できるスイッチの数、すなわち、身体より随意的に出力できる数によって操作方法の選択肢が異なる

2 入力デバイス検討モデルの作成とその課題分析

り、特に複数の出力(2出力以上)が可能であるかどうかを選択方法の分かれ目になる。

以上のように、入力デバイス検討モデルの作成と検討より、パソコン操作方法の選択肢はⅠ期とⅡ期レベル間の差に比べてⅡ期とⅢ期レベル間のほうが、より限定されること、またポインティングデバイスは全ての身体機能レベルに関与し多様な特徴が求められることがわかった。

入力 デバイス	身体機能 レベル			選択方法		
				直接	間接	
キーボード	Ⅰ期	Ⅱ期	Ⅲ期	直接	符号化	
ポインティング デバイス					方向 走査	
スイッチ					走査	

図6 入力デバイス検討モデル



図7 タイピングエイドを使って関節可動域制限を補助するⅡ期レベルでの例。文献 [35] より引用

2.4 個別支援事例に基づくパソコン操作方法の整理分析

個別の相談事例は、必要とされる支援機器あるいは支援技術サービスの改善・開発にとって非常に有用な情報である。そこで本節では前節に述べた入力デバイス検討モデルの妥当性を検討するために、筆者が実際に応じた相談事例を整理分析する。さらに、肢体不自由者のパソコン操作に関する入力デバイス等の問題やニーズについて検討を行う。

2.4.1 調査対象

名古屋市総合リハビリテーション事業団なごや福祉用具プラザで応じた相談事例を調査した。当施設は名古屋市が設置し(1997年開設)、(社会福祉法人)名古屋市総合リハビリテーション事業団が運営する介護・実習普及センターであり、福祉用具の普及啓発を目的として福祉用具の適合に関する個別の相談に応じている。

調査対象は、1997年7月から2012年2月までの15年7ヶ月において、リハエンジニアである筆者と当施設の相談員(作業療法士)のうち、いずれかが関わった相談ののべ11,097件のうち、相談対象者(以下、利用者)に肢体不自由の障害があり、相談主訴がコミュニケーション活動に関する事例を対象とした[66]。具体的には、表8に示す対象機器を利用してコミュニケーション活動を行う際に利用した操作手段に関する相談事例である。操作手段とは入力デバイス、対象機器と入力デバイスとを接続するインタフェース、操作性を向上させるために適用した設置型または装着型自助具および対象機器や入力デバイスの固定具類である。

なお、対象機器のうちVOCA(Voice Output Communication Aids)とは、音声出力会話補助装置のことで、予め録音しておいた登録音声や本体に付属したキーボードを使ってその場で作った文章をボタン操作で発声させることができる装置の総称である。日本では日常生活用具給付等事業の情報・意思疎通支援用具に該当する[67]。意思伝達装置に示す関連ソフトウェアとは、重度障害者用意思伝達装置に相当する走査選択式のソフトウェアを示す。

相談事例調査は、利用者の相談記録を用いて実施した。相談記録とは初回相談時に基本情報(性別、職業、年齢、生活環境等)、身体状況(疾患名、障害名、障害の等級やレベル、要介護度、ADL等)、利用福祉サービス等の情報と相談主訴を伺い、その相談に対する対応が記録されたものである。継続して相談に応じた場合、または、進行性疾患等により障害状況や生活状況が変化した場合には、その都度、相談内容と対応結果が更新記録されている。また、必要に応じて多職種が関わり(ケースワーカー、理学療法士、看護師、福祉用具プランナー等)、対応記録が蓄積されている。相談対応に関しては、対象機器や操作手段の選定、適合のための調整等だけでなく、開設時より利用者に適合した福祉用具を提供するために製作改造事業を展開しているため[68]、対象機器および操作手段の機器等の製作改造の情報も蓄積されている。

2 入力デバイス検討モデルの作成とその課題分析

そこで、本節では肢体不自由者のパソコン操作手段において、より個別対応がなされた製作改造対応事例を抽出して整理分析した。

表8 調査対象機器

対象機器	備考
パソコン	ワープロ専用機も含む
VOCA	携帯用会話補助装置を含む
呼び鈴, ナースコール	施設向けも含む
情報端末	固定電話, 携帯電話, スマートフォン, PDA
意思伝達装置	重度障害者用意思伝達装置および関連ソフトウェア
その他の通信機器	情報を入手するあるいは他者と繋がるための環境制御装置類

2.4.2 製作改造対応の結果

集計したパソコン操作に対する製作改造事例は、のべ153件であった。この結果を表9に示す。製作改造事例として、キーボードやテンキーに関するものはキーガードの製作であり、56件中48件であった。キーガードとは不随意運動や運動失調により隣り合うキーを間違えて押してしまわないように、キーボードのキーピッチに合わせて穴を空けた透明のキーボードカバーである。通常アクリル等の硬質樹脂を使い、キーボードにかぶせて利用する。キーボードに合わせて製作するので、個別に製作が必要となる。筋力低下がある肢体不自由者にとっても、手をキーボード上に置いて上肢の重さを免荷できるので楽にキー入力ができるようになる。

表9 パソコン操作の製作改造対応集計

操作手段	対応件数(件)
キーボード(含むテンキー)	56
ポインティングデバイス	63
操作スイッチ	22
装着型補助具	6
設置型補助具	6

ポインティングデバイスに関しては、利用者が使いやすい位置へのクリックスイッチ取付け場所変更や、クリックスイッチの種類変更または増設であった。次に多かったのがクリック、ドラッグ操作等が不随意運動により困難な場合に、遅延回路やラッチ回路を付設して対応する出力信号制御の改造であった。

スイッチに関しては、利用者の身体機能に合わせた専用スイッチの製作が最も多く、次にスイッチをクリックとして利用できるようにするマウスの改造であった。マウスの改造

と内部のクリックスイッチ端子部に線を接続して引き出し、スイッチを接続できるようにした改造である。通常マウス筐体にスイッチ接続用端子を設けて脱着可能にする。

装着型補助具とは、キータイピングを補助するための棒状のタイピングエイドと呼ばれる自助具や、操作中に利用者の手からスイッチが脱落しないように固定するための補助具等である。設置型補助具とは利用者の使いやすい位置に入力デバイスを固定するためのスタンド等である。

2.4.3 身体機能レベルとの関係

製作改造対応を行った利用者の身体状況を身体機能レベルで分け、対応内容との関係を割合で表したものを図8に示す。図8では、キーボードをKB、ポインティングデバイスはPD、スイッチはSWで示した。また、製作改造対応を行った入力デバイスと身体状況との関係をより明確にするために、キーガードの製作(図8ではKBガード)は、キーボードに装着して利用する自助具なので別に表した。改造マウス(図8では改造M)はポインティングデバイスとしての機能を改造したものではなく、スイッチをパソコンに接続するためのインタフェースとして利用するためのものなので、同様に別に表した。

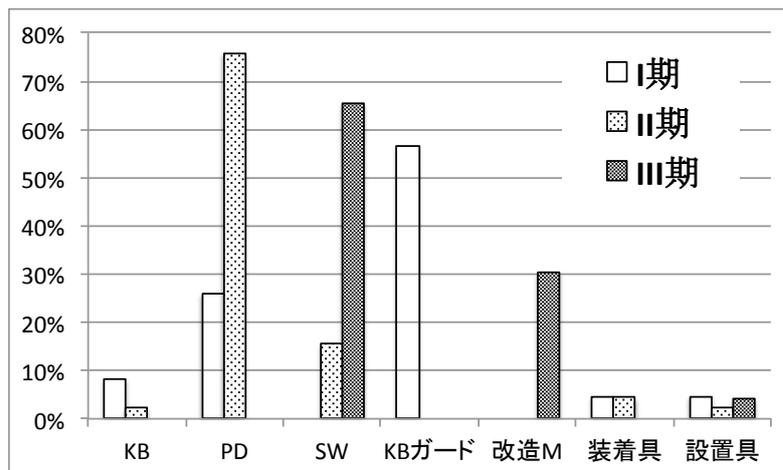


図8 身体機能レベルと製作改造による対応結果との関係

キーボードはキーガードも含めるとほとんどがI期レベルである。ポインティングデバイスはI期とII期への対応であり、III期レベルへの対応はなかった。スイッチはII期とIII期への対応であった。一方、身体機能レベルからみると、キーガードを除けば、I期とII期レベルにおいては、ポインティングデバイスへの対応割合が最も多くなる。次にI期はキーボード、II期はスイッチとなっている。II期レベルでのスイッチの相談は、片手でポインティングデバイス进行操作してカーソル移動をし、もう一方の手でスイッチを利用してクリックをするといった外付けスイッチ取付け改造対応等である。一方、III期レベルでは入力デバイスの製作改造はスイッチのみで他の入力デバイスへの製作改造対応はなかった。

2 入力デバイス検討モデルの作成とその課題分析

以上の結果より、Ⅰ期とⅡ期レベルでは直接選択式に必要な入力デバイスへの製作改造対応がされており、Ⅲ期レベルでは間接選択式に必要な製作改造対応がされていたことがわかった。また、身体機能レベルと入力デバイスとの関係はⅠ期はキーボード、Ⅱ期はポインティングデバイス、Ⅲ期はスイッチ、という対応が主たる支援サービスであることもわかった。

2.5 考察

2.5.1 個別性に依じた操作手段の必要性

入力デバイス検討モデル(図6)と実際の個別相談事例である製作改造対応の分析結果よりわかったことは、1つはパソコン操作方式の選択肢は、I期とII期レベル間との差に比べてII期とIII期レベル間のほうが限定されること、もう1つは、ポインティングデバイスは全ての身体機能レベルのパソコン操作に関与し、多様な特徴が求められることである。

III期レベルでは選択方法が間接選択式に限定されるものの、ポインティングデバイス利用可能性があることを述べたが、実際には図8のようにIII期レベルにはポインティングデバイスへの対応が提供されていなかった。ここで、実際の相談事例を紹介する。

ALSにより上下肢障害のあるA氏の入力デバイスに関する相談である。座位姿勢で膝の上に置いたトラックボールを右手母指で操作するが、屈曲動作が困難である。そのため、カーソルを画面下方向に移動する際は、右手母指を内外転させつつ体幹を左右に揺するという代償動作をとっているため、ジグザグを描くようにしかカーソルを移動できず、時間がかかり疲労感も伴う。本人はトラックボールでのパソコン操作を続けたいと思っているが、右手母指の可動域も小さいため、トラックボールへの手の置き方の自由度は少なく、設置する支援者にも負担をかける。

この事例はII期レベルの利用者であるが、進行性疾患に限らず、残存する随意的な手指等の動きがあれば、本人自身の経験や、できることを活かした継続的な支援が重要である[69]。しかしながら、利用者に適合したポインティングデバイスあるいは、それを操作可能とする手段が用意できなければ、利用者が望む望まないにかかわらず選択方式は限定され、やむなくスイッチを使った走査選択式を適用せざるを得ないという問題を内在していることを示唆している。

以上のことから、実際の入力デバイス検討モデルは図9のようになっていると考えられる。点線で表した空白部分は、III期レベルでは間接選択式のうち、走査選択式に限定されること、また、I期やII期レベルと重複する入力デバイス(ポインティングデバイス)がないということを表している。

よって、空白部分を埋め、さまざまな身体機能レベルや操作方法に対応する入力デバイスが必要である。本来の入力デバイス検討モデルではポインティングデバイスがその役割となることから、ポインティングデバイスの操作に着目する必要がある。

入力 デバイス	身体機能 レベル			選択方法			
	I 期	II 期	III 期	直接	間接		
キーボード	I 期	II 期	III 期	直接	間接		符号化
ポインティング デバイス					方向 走査		
スイッチ	走査						

図9 実際の入力デバイス検討モデル

2.5.2 ICF モデルでの検討

ここでもう一つ、実際の相談事例を紹介する。

ALS の B 氏の支援者からの相談である。「将来、指先やまばたき等の限られた動きしかできなくなる。ALS の方が使う重度障害者用意思伝達装置が欲しい」との相談であった。実際 B 氏宅に訪問してみると、上肢機能の低下はあるものの、室内での歩行や立ち座りは福祉用具を用いれば可能な身体レベルであった。また、日頃のコミュニケーションは座位姿勢にて画板大の 50 音文字盤を足で動かし、文字を選ぶという方法をとっていた。そこで、同様な環境でパソコン利用が無理なくできるように、トラックボールを足で操作し、画面上のソフトキーボードから文字を選択する方法を適用した。

この相談事例の身体機能は II 期レベルである。ALS という疾患名のみにとらわれてしまい、十分な検討がされないまま、III 期レベルの対応がなされてしまうことである。場合によっては、利用者自身の喪失感の出現やさらなる身体機能低下により廃用症候群を引き起こし、ADL や QOL の低下を招く危険性も内在する。このような問題を“モノから入ると失敗する”という言葉で指摘し、個々の肢体不自由者の機器選定は多様な視点から行う重要性を述べた [70]。

この指摘に対して多様な視点から検討するために ICF モデルを参照して考察する。肢体不自由者の場合、個人差はあるものの常に座位姿勢で操作するとは想定しづらい。場合によっては、車椅子上での操作や臥位姿勢での操作も想定される。また操作姿勢に関連して、周辺機器の設置位置も関与すると考えられる。一方、肢体不自由者の運動機能障害を呈する状況や程度は個別に異なるが、基本的な筋骨格系の身体構造は共通している。よって、環境因子をパソコン操作環境、心身機能・身体構造を共通する身体構造として、これ

らの要因が入力デバイス操作にどのように影響を与えているかを解明する必要がある。この2点を解明することで、この相談事例のように、疾患名にとらわれることなく、身体や操作環境等に応じた適切な支援技術サービスの提供に寄与できると考えられる。

2.6 まとめ

本章では、肢体不自由による運動機能障害と入力デバイスおよび操作方法との関係について、入力デバイス検討モデルを作成して論じた。そして、パソコン操作に関する製作改造相談事例の分析より、実際に提供されている入力デバイスや支援方法では、肢体不自由者の問題(ニーズ)には十分に対応できていないことを明らかにした。特にポインティングデバイスの適否による影響が大きいこともわかった。そこで、入力デバイスのうちポインティングデバイスに着目し、次の3点について取り組む必要がある。

- ・ 肢体不自由者の運動障害機能の差異に依存しない、身体構造によるポインティングデバイスの操作の特徴について解明すること
- ・ 操作環境の違いによるポインティングデバイス操作の特徴や影響について解明すること。
- ・ 肢体不自由者の多様な個別性に対応するポインティングデバイスあるいはその操作手段を開発すること。

以下の章ではこれらについて論じる。

参考文献

- [1] 内閣府: 障害者白書 平成 24 年度版, 障害者の状況 (基本統計より), 第 2 章第 2 節, pp.19-21 (2004)
- [2] 身体障害者福祉法 (最終改訂: 平成 24 年 6 月 27 日) 別表, 総務省電子政府の総合窓口, <http://law.e-gov.go.jp/> (2013.06.23 確認).
- [3] 学校教育法施行令 (最終改訂: 平成 23 年 5 月 2 日) 第二十二條の三, 総務省電子政府の総合窓口, <http://law.e-gov.go.jp/> (2013.06.23 確認).
- [4] 新田収: 肢体不自由; 福祉住環境コーディネータ検定試験 2 級公式テキスト (東京商工会議所編), 改訂版, pp.132-139 (2011).
- [5] 水間正澄, 筒井廣明, 橋本通, 川手信行編: リハビリテーションのための疾患ガイド; 医師薬出版, pp.51-55 (2012).
- [6] 石橋裕, 大嶋伸雄, 神代利江, 老川良輔, 齋藤慶一郎, 佐藤亨, 笹尾久美子, 本間武蔵, 高島千敬: 対象疾患・障害と作業療法の展開; 身体障害領域の作業療法 (大嶋伸雄編), 中央法規出版, 第 II 部, pp.168-173 (2010).
- [7] Cook, A. M. & Polgar, J. M.: *Cook & Hussey's Assistive Technologies: Principle and Practice Third Edition*, Mosby, pp.221, pp.252 (2007).
- [8] e-AT 利用促進協会編: 詳解 福祉情報技術, e-AT 利用促進協会, pp.155, pp.162-167 (2011).
- [9] 渡辺崇史: 在宅支援機器とテクノロジー (特集 筋萎縮性側索硬化症 (ALS) のリハビリテーション); *Monthly book medical rehabilitation*, No.113, pp.77-83 (2009).
- [10] 椎尾一郎: ヒューマンコンピュータインタラクション入門; サイエンス社, pp.102-116 (2010).
- [11] Mackenzie, I. S.: *Human-Computer Interaction*, Morgan Kaufmann Publishers, pp.101-110 (2013).
- [12] Douglas, S. A. & Mithal, A. K., : *Studies by Device; The Ergonomics of Computer Pointing Devices (Applied Computing)*, Springer, pp.63-77 (1997).
- [13] Card, S.K., English, W.K. & Burr, B. J: Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, stepkeys and textkeys for text selection on a CRT; *Ergonomics*, **Vol.21**, No.8, pp.601-613 (1978).
- [14] 村田厚生: 対話型システムにおけるポインティング装置の操作性に関する実験的検討; 人間工学, **Vol.28**, No.3, pp.107-117 (1992).
- [15] 井手将文, 松尾清美, 藤家馨, 山根聖史, 赤津隆: 上肢障害者におけるポインティングデバイスの操作特性; 第 1 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.371-376 (1985).

- [16] Greenstein, J.S.: Pointing Devices; *Handbook of Human-Computer Interaction*, Elsevier Science B.V., pp.1317-1348 (1997).
- [17] 日本マイクロソフト: アクセシビリティガイドブック (2012).
- [18] Apple Japan: アクセシビリティ OS X 身体障がいのある方に。 ,
<http://www.apple.com/jp/accessibility/macosex/physical.html> (2013.06.23 確認).
- [19] Tobii Technology: Control your PC with your eyes - Tobii PCEye,
<http://www.tobii.com/en/assistive-technology/global/products/hardware/pceye/>
(2013.06.23 確認).
- [20] Natural Point Inc. : TRACKIR, <http://www.naturalpoint.com/trackir/>
(2013.06.23 確認).
- [21] 畠中規: 市販ヘッドコントロール式マウスの導入事例; 第 20 回ハ工学カンファレンス論文集, pp.70-71 (2005).
- [22] 内田斉, 野間英樹: 予測入力方式によるパソコン操作支援ソフト『Pete』の開発;
第 16 回ハ工学カンファレンス論文集, pp.125-128 (2001).
- [23] 日立ケーイーシステム: 心なび (こころなび),
<http://www.hke.jp/products/kokoronavi/index.htm> (2013.06.23 確認).
- [24] 渡辺崇史: 生活を支援するテクノロジー 第 5 回スイッチを使った機器の活用例; 臨床看護, **Vol.33**, No.6, pp.927-929 (2007).
- [25] Sellers, E. W., & Donchin, E.: A P300-based brain-computer interface: Initial tests by ALS patients; *Clinical neurophysiology*, **Vol.117**, No.3, pp.538-548 (2006).
- [26] 坂爪新一, 高橋晴美, 原野晃一, 大西秀憲: 脳波を利用した意思伝達装置 MCTOS の適用事例; 第 14 回ハ工学カンファレンス論文集, pp.631-632 (1999).
- [27] 小澤邦昭, 金澤恒雄, 内藤正美, 伊藤嘉敏, 柳田憲佑: 膿血液量変化を利用した Yes/No 判定装置「心語り」-モデルデータ選別ノウハウ-; 第 21 回ハ工学カンファレンス論文集, pp.321-322 (2006).
- [28] 小澤邦昭, 安藤研吾, 松田泰昌, 長谷川司, 岡高志, 安藤肇夫, 植野一政, 古和久幸, 長谷川一子, 齋藤豊和: ALS 患者向意思伝達装置「伝の心」の開発; 第 12 回ハ工学カンファレンス論文集, pp.91-95 (1997).
- [29] 岡田世志彦, 兼吉昭雄, 肥爪愛子, 遠藤馨: 上肢障害者用支援ソフト「オペレートナビ」; 第 14 回ハ工学カンファレンス論文集, pp.643-646 (1999).
- [30] Harty Ladder Labo. : Hearty Ladder, <http://takaki.la.coocan.jp/hearty/>
(2013.06.23 確認).
- [31] Assistive Ware: Switch XS:[http, //www.assistiveware.com/product/switchxs](http://www.assistiveware.com/product/switchxs)
(2013.06.23 確認).
- [32] Cook, A. M.& Polgar, J. M.: *Cook & Hussey's Assistive Technologies: Principle and Practice Third Edition*, Mosby, pp.215-218 (2007).

- [33] 日立ケーイーシステム: 伝の心,
<http://www.hke.jp/products/dennosin/denindex.htm> (2013.06.23 確認).
- [34] 東京大学・学際バリアフリー研究プロジェクト: AT2ED エイティースクウェアード,
<http://at2ed.jp/> (2013.06.23 確認).
- [35] 渡辺崇史: 肢体不自由の人のための支援技術 -パソコンアクセシビリティを高める機器-; ATAC2008 Proceedings, pp.85-87 (2008).
- [36] 渡辺崇史: 肢体不自由の人のための入力デバイスの選び方; 上級サポータ虎の巻 (畠山卓朗, 中邑賢龍, 中野泰志編), こころリソース出版会, pp.65-69 (2005).
- [37] 渡辺崇史: 生活を支援するテクノロジー; NFU 日本福祉大学評論誌, No.60, pp.91-96 (2010).
- [38] 坂爪三津, 坂爪新一: 手・指の不自由な人達のためのキー入力処理ソフトウェア; 第7回リハ工学カンファレンス論文集, pp.267-272 (1992).
- [39] 飯田英樹, 奥英久, 坊岡正之, 中村春基: キーボードの操作特性に関する研究 (その2: キーガードと特殊キーボードに関する研究); 第11回リハ工学カンファレンス論文集, pp.449-452 (1996).
- [40] 坊岡正之, 奥英久, 相川孝訓, 小畑順一, 畠山卓朗, 八藤後猛, 岡田伸一, 渡辺哲也: 肢体不自由者用特殊キーボードの開発; 第12回リハ工学カンファレンス論文集, pp.173-178 (1997).
- [41] 増沢高志, 米崎二郎, 池田真紀: キーボード作業の安定と作業負担の軽減を図る補助具の開発; 第16回リハ工学カンファレンス論文集, pp.117-118 (2001).
- [42] 麩澤孝: 自作マウススティックとスマートフォンの活用; 第27回リハ工学カンファレンス論文集, pp.139-140 (2012).
- [43] 片山和彦, 印藤和哉: 脊髄損傷者に対するスマートフォン利用のためのスタイラスペンの製作; 第27回リハ工学カンファレンス論文集, pp.141-142 (2012).
- [44] 村田知之, 沖川悦三, 辻村和見, 松田健太, 佐々木貴: 頸髄損傷者へのレーザー投影式キーボード導入の試み; 第27回リハ工学カンファレンス論文集, pp.95-96 (2012).
- [45] 伊藤英一, 藤井直人, 沖川悦三, 蘭藤全孝: 押しボタン式マウスの実用化; 第5回リハ工学カンファレンス論文集, pp.227-230 (1990).
- [46] 小泉義樹, 畠山卓朗, 春日正男: 高位頸髄損傷者用パソコン入力装置の開発; 第12回リハ工学カンファレンス論文集, pp.97-102 (1997).
- [47] 畠中規, 上野忠浩, 畠山卓朗: 小型ジョイスティック型マウスの試作; 第15回リハ工学カンファレンス論文集, pp.339-340 (2000).
- [48] 伊藤和幸: 注視中の拡大機能付き視線マウスインタフェース; ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.5, No.3, pp.55-60 (2003).
- [49] 伊藤和幸: 光キーボードユーザ向けマウスポインティングデバイスについて; 第20回リハ工学カンファレンス論文集, pp.72-73 (2005).

- [50] 六名泰彦, 谷本義雄, 難波邦治, 濱岡憲二, 古澤一成, 徳弘昭博, 山本秀樹: ボールクリック機能を有したトラックボールの開発; 第 20 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.82-83 (2005).
- [51] 畠山卓朗, 佐々木武, 今岡克己: 小型タブレットを用いたキーボード・マウス・エミュレータの開発; 第 21 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.317-318 (2006).
- [52] 谷岡稔真, 山田成仙, 岡崎泰久, 渡辺健次, 近藤弘樹: 電動車椅子のチンコントローラを用いたマウスシステムの実現と評価; 第 27 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.97-98 (2012).
- [53] 六名泰彦, 難波邦治, 谷本義雄, 山本秀樹, 濱岡憲二, 古澤一成, 徳弘昭博: 頸髄損傷者のためのあご操作マウスの改良; 第 27 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.99-100(2012).
- [54] 寺師良輝, 松尾清美, 藤家馨, 小林博光, 江原喜人, 平川博志, 櫛野榮次: 機能を持つ上顎固定マウススティックの試作 (第 2 報); 第 13 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.327-328 (1998).
- [55] 本田典子, 早川泰詞: 頸髄損傷者 (C5) のマウス操作用自助具; 第 17 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.439-442 (2002).
- [56] できマウス。プロジェクト: できマウス。 , <http://dekimouse.org> (2013.06.23 確認).
- [57] 松本廣: WING-52 の使用事例と GIDEI; 第 10 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.265-268 (2005).
- [58] 厚生労働省: 補装具の種目, 購入又は修理に要する費用の額の算定等に関する基準, 平成 18 年 9 月 29 日厚生労働省告示第 528 号, 第 6 次改正, pp.79-81 (2006)
- [59] 千島亮, 奈良篤史, 橋本昌巳, 伊東一典: 筋萎縮性側索硬化症 (ALS) 者における意思伝達手段支援の現状と脳波応用の可能性; 生体医工学, **Vol.47**, No.2, pp.190-198 (2009).
- [60] 青木久, 塚原玲子: 重度身体障害者の意思表示方法としての交感神経系反応の検討; 人間工学, No.37, PP.352-353 (2001).
- [61] 数藤康雄, 伊藤和幸, 関育子, 風間忠道, 佐藤知恵子, 内山幹男, 亀田昇司: モールス・コードを基本にした符号化入力式コミュニケーション機器の実用化; 第 8 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.147-150 (1993).
- [62] 畠山卓朗, 政木憲司: 自律操作感を重視した 1 入力操作方式簡易コミュニケーションソフトの開発; 第 20 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.254-255 (2005).
- [63] 上村数洋: Windows95 環境におけるマウス操作の試みについて; 第 12 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.151-156 (1997).
- [64] TY 企画: ワンキーマウス, http://ty-plan.com/03_fukushi/02_onekey/1keyusb00.htm (2013.06.23 確認).
- [65] 青木久: 音声スイッチコントローラ「ハミングコントローラ」; 第 20 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.256-257 (2005).

- [66] 渡辺崇史, 冨板充, 手嶋教之: 多様な個別支援事例に基づくコミュニケーション機器操作方法の整理分析; 第 27 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.131-132 (2012).
- [67] 厚生労働省: 障害者の日常生活及び社会生活を総合的に支援するための法律第七十七条第一項第六号の規定に基づき厚生労働大臣が定める日常生活上の便宜を図るための用具, 平成 18 年 9 月 29 日厚生労働省告示第 529 号, 最終改正平成 25 年 4 月 (2006).
- [68] 渡辺崇史, 尋木佐一, 佐藤晃: なごや福祉用具プラザにおける用具の製作改造サービスの実績と地域技術ネットワークの構築について; 第 14 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.135-140 (1999).
- [69] 渡辺崇史: できることを活かす継続的支援; ALS マニュアル決定版! (中島孝監修), 日本プランニングセンター, pp.38-45 (2009).
- [70] 渡辺崇史: 障害者と福祉用具 リハ工学が果たす役割について; リハビリテーション・エンジニアリング, **Vol.23**, No.1, pp.30-35 (2008).

3 身体構造によらないポインティングデバイス操作の特徴

3.1 目的とアプローチ

本章では、第2章で指摘した肢体不自由者の運動機能障害の差異に依存しない、すなわち、共通する身体構造に起因するポインティングデバイス操作の特徴を実験を通して明らかにする。

ポインティングデバイスは、パソコン操作に対して重要な役割を持つ入力デバイスであり、身体機能Ⅰ～Ⅲ期まで全てが対象となる。そのため本実験は、筋骨格系の身体構造が肢体不自由者と変わらない、キーボードおよびポインティングデバイスを用いてパソコン操作することに対して、特段の配慮が必要のない者を実験協力者(以下、協力者)として実験を実施した。なぜならば、それぞれの身体機能レベルにおいて、同程度の心身機能が残存している者を集めることは現実的に困難であり、肢体不自由の個人差に合わせた操作環境や操作姿勢に対する個別対応が必要となることから、これらが実験目的に影響を与えると考えられるためである。

ただし、第2章「2.5 考察」および図9で明らかにしたように、本論の目的は身体機能Ⅱ期とⅢ期レベルの間に位置する課題の解明と、それを解決する手段の開発であるため、本実験ではⅡ期レベルにある肢体不自由者の操作を想定した。Ⅱ期レベルの肢体不自由者は神経筋疾患による場合を例にすると、近位筋が侵されるが特定の指先の巧みな動きが残存する場合、逆に手内筋等の遠位筋から筋力低下が起こる場合等、疾患の種類によってさまざまな特徴を持つが、同じ疾患名であっても障害状況や筋活動の程度の個人差は大きい[1-3]。そこで、よりⅢ期レベルに近い重度の運動機能障害がある状態を想定し、重力に抗する筋力低下により限られた単指での操作で実験を行うこととした。

本実験で使用するポインティングデバイスについて検討する。Ⅱ期レベルでの単指での操作を想定すると、筋力低下と関節可動域の制限のある状態であると考えられる。パソコン操作において、isometric系のポインティングデバイスではカーソル移動方向に継続して力を発揮する必要があるが、isotonic系であれば必要な時だけ力を発揮して操作すればよいので、筋力低下がある状態でも利用しやすい。ただし、指先以外の身体部位を伸ばして操作したり、ポインティングデバイス自体を持ち上げて操作することは想定しづらい。以上のことから、固定して利用するisotonic系のポインティングデバイスが適切であると考えられる。そこで本実験ではトラックボールを用いて実施することとした。なぜならば、トラックボールは大きさや種類も豊富で、選択肢が多く入手しやすいことから、実際にⅡ期レベルの肢体不自由者によく利用されているからである。

以上の検討より、本実験ではまず、Ⅱ期レベルの肢体不自由者に対して比較的多く適用されるisotonic系ポインティングデバイスであるトラックボールを用いて、単指によりパソコンディスプレイ上のカーソルを移動させる操作(以下、カーソル移動実験)を行った。

3 身体構造によらないポインティングデバイス操作の特徴

そして、ボール部直径の異なるトラックボール(以下、トラックボール条件)とトラックボールを操作する手指(以下、操作指条件)を変化させて、提示されたカーソル移動課題を行った時のカーソルの移動軌跡、速度、および操作者の官能評価がどのように変化するかを測定し、カーソル移動に対して及ぼす影響について検討した。

次に、単指でのポインティングデバイス操作に求められる動きを整理し、カーソル移動実験の結果と対比させて想定したⅡ期レベルの肢体不自由者の困難さを考察した。さらにこれらの結果から、実際の臨床現場での相談や支援に応じる時、ポインティングデバイスの選定方法や設置方法、ソフトウェアによる対応方法、支援者に求められる考慮すべき点、および対応方法への提案を行った。

3.2 カーソル移動実験の方法

3.2.1 実験計画

(1) 実験環境

高さ 700mm のテーブル (岡村製作所製, 型式 8189SF) と肘掛け付き事務用イス (岡村製作所製, 型式 CG14GZ, 前座高 360~450mm で無段階調整可能, 肘掛け高さは座面より 180~280mm で 20mm おきに調整可能) を用意し, 図 10 のように 19 インチ液晶ディスプレイ (以下, 実験用ディスプレイ, 解像度 1280pixel(横) × 1024pixel(縦), DELL 製, 型式 1950FP) をテーブル前端より 550mm の位置に設置した. そして, イス座面と肘掛けの高さ, および向かい合う実験用ディスプレイとのイスの前後距離を調整することで, 協力者の目との距離を 400mm 以上確保できるようにした [4].



図 10 カーソル移動実験の実験環境

実験に使用するトラックボールとして, Expert Mouse (図 11(a): 以下, TBL, ボール部直径 55mm, Kensington 製 No.64374), USB ハンディトラックボール (図 11(b): 以下, TBM, ボール部直径 16mm, イーサプライズ製), そしてハンドトラックボール (図 11(c): 以下, TBS, ボール部直径 8mm, サンワサプライ製) のボール部の大きさが異なるトラックボールを用意した. TBM はトラックボール本体を握って操作するタイプで, TBS は指に装着して操作するタイプであるが, 本実験では手指部分での操作条件を揃えるために, それぞれ図 11(b), 図 11(c) のように操作を妨げない固定台を取り付け, テーブル上に設置できるようにした. この時のテーブル設置面からボール上面までの高さは, 据置型である TBL と同一寸法とした.

実験用ディスプレイと実験に使用するトラックボールは, 記録用パソコン (以下, 記録用 PC, DELL 製 LATITUDE D620, CPU IntelCore2 1.83GHz, RAM 1GB, Windows XP

3 身体構造によらないポインティングデバイス操作の特徴

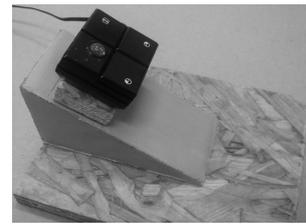
Pro. SP3) に接続し、カーソル移動時の状況をマウスレコーダー Ver.5.22(エムティ・ソフト, シェアウェア)にて記録した。本ソフトウェアは、カーソル移動とクリック(押し下げ, 押し上げ時)によるイベント発生時の時間と実験用ディスプレイ上のカーソルポインタ座標値を記録することができる。なお、クリックイベントの記録用 PC への入力用として、押しボタンスイッチ(以下, クリック SW)を別途用意した。クリック SW はワンショットパルス発生回路と改造マウス(左クリックを外部スイッチで操作できるように端子部を設けたもの)を介して記録用 PC への USB 端子に接続した。よって、トラックボールはカーソル移動操作のみに用いた。



(a) TBL



(b) TBM



(c) TBS

図 11 トラックボール条件

実験用ディスプレイに表示するカーソル移動課題(図 12)は、Microsoft PowerPoint2007を用いて作成した。カーソル移動課題には中央部および4角にターゲットを配置した。ターゲットとは実験時にカーソルを移動させる時に狙う領域である。実験用ディスプレイ上のカーソル移動領域およびターゲットの大きさは、それぞれ横 1280 × 縦 924pixel(実測値で横 374 × 縦 270mm), 横 22 × 縦 22pixel(実測値で横 6.5 × 縦 6.5mm)とした。ターゲットの大きさは本実験で用いる実験用ディスプレイ標準状態でウインドウを表示させた時の、ウインドウ上部の閉じる/最小化/最大化ボタンの大きさに合わせた。また、カーソル移動領域の背景色を白、カーソルポインタ色を黒(Windows 標準サイズ)、ターゲット色を赤とし、カーソル移動が視認しやすいようにした。

カーソル移動課題の提示方法は、実験開始時は中央部のターゲットのみ表示する。協力者のトラックボール操作によりカーソルが中央部ターゲット領域内に移動し、さらにクリック SW が押されると、4角のターゲットのいずれか1つが表示される。その表示されたターゲット領域内にカーソルが移動しクリック SW が押されると、そのターゲットは消え、別の角のターゲットが表示される。これを繰り返し、最後に再び中央部のターゲットが表示されクリック SW が押されると実験終了とした。

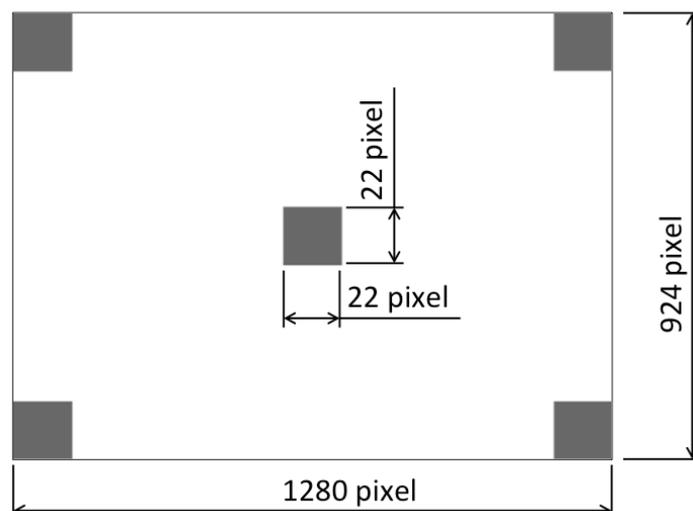


図 12 カーソル移動課題の表示サイズ

(2) 実験条件

トラックボール条件を 3 水準 (TBL, TBM, TBS), 操作指条件を 3 水準 (規定なし, 示指, 母指) として計 9 実験条件を設定した。なお, 本カーソル移動実験でのカーソルポインタ速度設定は実験条件や協力者ごとに変化させず, Windows XP 標準のマウスドライバを用いて同一設定とした (Windows XP のマウスプロパティ設定画面にて, ポインタ速度のスライダを中央位置にし, 加速度変化がしないように“ポインタの精度を高める”のチェックボックスを OFF にした)。

協力者への条件は, 通常のパソコン操作と同様に実験用ディスプレイに向かい合って椅子に座り, 実験に使用するトラックボールを実験用ディスプレイと協力者の間のテーブル上に置かせた (図 10)。そして, 各実験条件での試行前に椅子の座面高さや肘掛け高さ, およびトラックボールの設置位置を操作しやすいように協力者自身が調整してよいことを指示した。ただし, その実験条件下での試行開始から終了までは操作結果に影響を与えないよう, 椅子を動かして操作姿勢を変えたり, トラックボール設置位置を移動させたりしないことを指示した。

トラックボール操作に関する協力者への条件は, いずれの操作指条件においても, 必ず手首部内側をテーブルに設置させて操作することを指示した。なぜならば本実験は, 重力に抗する上肢の筋力が低下した状態にある II 期レベルの肢体不自由者を想定しているため, 手首部をテーブルから浮かせて, 前腕の回内外および肩や肘関節等による代償動作で操作しないようにするためである。加えて, 操作指条件が示指および母指の場合は, 操作指以外の指や手掌部をトラックボール筐体あるいは机に設置させ, 手関節の屈曲伸展や橈屈尺屈の動きによる操作をしないことを指示した。これも前述と同様に, 限られた身体部位での操作を行う II 期レベルの肢体不自由者を想定しているためである。手首部内側および操作指以外の指や手掌部の設置位置は, 各協力者が実験条件ごとに試行前に決めてよ

3 身体構造によらないポインティングデバイス操作の特徴

いが、その実験条件下での試行開始から終了までは変えないようにすることを指示した。これは実際の II 期レベルの肢体不自由者の利用場面において、体位交換等により姿勢変化を変えた時や日々の身体状況の変化によって設置位置を変えることはあるが、パソコン操作を始める際に設定したら、一定時間はそのままの位置で操作し続けるためである。

カーソル移動課題は各実験条件で 1 回ずつ実施した。実施順序は同一としたが、各実験条件での試行前に練習時間を確保した。カーソル移動課題の試行において、始めに中央部のターゲットをクリックされた後、表 10 に示した試行順でカーソル移動方向に対応するターゲットを表示した。なお本論文中で各カーソル移動方向を示す場合は、表 10 に示した記号を用いて表す。

表 10 実験時の試行順とカーソル移動方向

試行順	カーソル移動方向	ベクトル表記 (記号)
1	左上→右上 水平 右へ	<i>Rh</i> (A)
2	右上→左下 斜め 左下へ	<i>Ld</i> (F)
3	左下→右上 斜め 右上へ	<i>Ru</i> (E)
4	右上→右下 垂直 下へ	<i>Dv</i> (B)
5	右下→左上 斜め 左上へ	<i>Lu</i> (H)
6	左上→右下 斜め 右下へ	<i>Rd</i> (G)
7	右下→左下 水平 左へ	<i>Lh</i> (C)
8	左下→左上 垂直 上へ	<i>Uv</i> (D)

3.2.2 実施と評価方法

協力者には、実験趣旨と概要説明を十分に行い、署名による実験参加への同意を得た後、性別、年齢、利き手、パソコン利用歴、トラックボール利用経験の有無を聞き取った。下記にカーソル移動実験の手順を示す。なお本実験は、「日本福祉大学 人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を得て実施した。

(1) カーソル移動実験の周知

「3.2.1 (2) 実験条件」で述べた協力者への条件を指示した後、各実験条件での実施前に練習時間を確保して操作を周知させるとともに、操作しやすいイスの設定、トラックボールの設置位置および手の置き方を協力者自身が確認し設定した。イスとトラックボールの設定後、1) 中央部のターゲットにカーソルを移動させクリック SW を押す、2) 次に表示されるターゲットにカーソルを移動しクリック SW を押すことを繰り返す、3) 再度、中央部にターゲットが現れたらカーソルを移動しクリック SW を押す、という一連の操作を行うことを指示した。

トラックボールの操作は一気にボールを転がしてターゲットを狙うことや、ディスプレイ端等までカーソルをオーバーシュートさせてからターゲットを狙う等はせず、カーソル

を見失わないように目で追える速さで操作することを周知させた。クリック SW は操作側と反対側の手指で押すこと、ターゲット領域内にカーソルが入っていれば押してもよいことを周知させた。また、もし協力者自身がターゲット領域外でクリック SW を押してしまったことに気がついた場合には、その試行を中断せず、再度ターゲット領域内で押せばよいことを指示した。

(2) 各条件下での実験評価

各条件下での実験終了直後には図 13 に示した画面を実験用ディスプレイに表示させ、操作しづらかった方向を A～H の記号での回答を協力者に求めた (複数回答可)。そして全実験終了後には、トラックボール操作に対する総括的な評価を協力者に求めた (自由記述)。また実験実施中は、実験用ディスプレイ上のカーソルポインタ座標値とクリック SW が押された時間を各実験条件ごとに自動記録した。合わせてトラックボール操作の方略 (手指の使い方等) と指示した操作方法で行っているかを目視で観察するとともにビデオカメラで記録した。

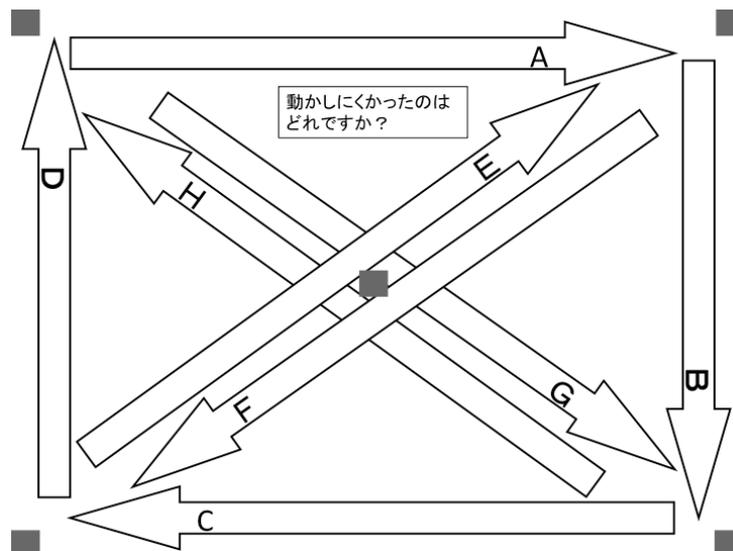


図 13 各実験終了直後に表示される回答画面

3.3 カーソル移動実験の結果

3.3.1 実施状況

31名(男性22名,女性9名,平均年齢21.2歳)を協力者として実施した。トラックボール利用経験は11名があるものの日常的に利用している者はいなかったが,パソコン利用歴は平均6.8年であり,カーソル移動操作やクリック操作に特段問題はなかった。操作手指は全員右手であった。2名は利き手が左手であったが,日常マウスは右手で操作しているため問題はなかった。また各試行時の操作環境は,座位でのオフィス作業最適視距離600mm付近[5]であったこと,トラックボールに対する手指の置き方は正常関節可動域内[6]であり,無理な肢位をとることはなかったことを,目視での観察およびビデオカメラの記録より確認した,

トラックボール操作に関しては,試行中にトラックボール自体を移動させること,トラックボールに対する手指の置き方を途中で変更し操作すること,手首内側をテーブルより浮かせて手指以外の代償動作による操作をすることがなかったことを,同様に目視での観察およびビデオカメラでの記録より確認した。さらに操作指条件が示指および母指での操作においては,手関節の屈曲伸展や橈屈尺屈によって操作をすることがなく,指示された手指のみの操作であったことも同様に確認した。クリックSWの操作については,カーソルポインタ座標値記録データよりターゲット内でクリックSWが押されず終了した試行がなかったことを確認した。

実験条件として,トラックボール条件を3水準,操作指条件3水準の計9条件を設定したが,元々TBMとTBSは指での操作を想定した筐体形状およびボールサイズであるため,操作条件規定なしによる試行はトラックボール条件TBLの時のみとし,その結果7条件での実験を実施した。トラックボール条件TBL,操作条件規定なしでの操作(以下,TBL規定なし)は,特定の単独の指だけで操作する者,中指や薬指等も含めた複数の指をボール上に添えて動かす者,あるいは手関節の橈屈尺屈や屈曲伸展動作も行いながら操作する者等さまざまな操作方法が観察され,本研究で設定した身体機能II期レベルでは想定しづらい操作方法であったため,本条件での結果は参考データとして扱い,実験結果の分析には含めなかった。なお,7条件実施に要した時間は,各条件下での設定,練習,本試行を含めて一人あたり30分以内であり,協力者の疲労や慣れによる影響を考慮しなければならない時間ではなかった。

3.3.2 操作のしづらさ評価

各実験条件下での操作しづらかった方向について,協力者より表11に示す回答を得た。操作しづらかったと回答した各カーソル移動方向の回答数合計(TBL規定なしの試行は除く)に対して検定を行ったところ, $\chi^2(7) = 40.24, p < .05$ となった。さらにトラックボール条件を変化させた時の操作のしづらさの方向との関連性については,示指操作

時では $\chi^2(14) = 20.85, n.s.$, 母指操作時では $\chi^2(14) = 12.09, n.s.$ となり, 有意差は認められなかった. 操作指条件を変化させた時の操作のしづらさの方向との関連性については, TBL 操作時では $\chi^2(7) = 7.13, n.s.$, TBM 操作時では $\chi^2(7) = 13.83, n.s.$, TBS 操作時では $\chi^2(7) = 11.25, n.s.$ となり, 有意差は認められなかった.

以上より, 右手操作にてディスプレイ上をカーソルを移動させる時, トラックボール条件や操作指条件にかかわらず, 操作のしづらさはカーソル移動操作方向間に差があることが認められた. 本実験結果では, 垂直上下方向 (Uv, Dv) に移動させる時と, 斜め方向では下から斜め上に向かって移動させる時 (Lu, Ru) と左上から右下に向かって移動させる時 (Rd) に操作のしづらさへの回答が多かった. 一方, 水平方向への移動 (Lh, Rh) には操作しづらさへの回答が少なかった.

表 11 操作しづらかったカーソル移動方向 (数値は回答数)

TB 条件	操作指 条件	カーソル移動方向							
		Uv	Ru	Rh	Rd	Dv	Ld	Lh	Lu
TBL	規定なし	8	8	3	5	15	4	8	12
TBL	示指	11	11	5	5	13	8	5	5
	母指	17	6	3	10	21	5	8	6
TBM	示指	8	11	6	15	4	12	5	12
	母指	16	10	4	9	14	5	3	15
TBS	示指	6	9	7	5	12	8	5	2
	母指	9	3	3	7	15	3	7	7
回答数合計		67	50	28	51	79	41	33	47

3.3.3 操作時のカーソル速度比較

前述したソフトウェアを用いて記録されたイベントは, クリック SW 押し下げ時と押し上げ時, カーソル移動時のカーソルポインタ座標値, および前回のイベント発生から現在のイベント発生までの経過時間である. カーソルポインタの座標値は 100msec のタイミングで記録した. 今回は各実験条件に対し, カーソルの 8 方向移動時のターゲット間移動速度 $V_a(\text{pixel/sec})$ を算出し, その大小を比較した.

ターゲット間移動速度 V_a の算出方法は, ターゲット内でクリック SW が押し上げられた時のカーソルポインタ座標値と次のターゲット内でクリック SW が押し下げられた時の座標値の差をターゲット間距離 (pixel) とし, この間の総経過移動時間で除して算出した. そして, 協力者ごとに上下移動間 (Uv と Dv), 水平移動間 (Lh と Rh), 斜め移動間 (Lu, Ru, Ld, Rd) に分けて同一実験条件での各方向のターゲット間移動速度 V_a の大小を比較し, 遅かった方のカーソル移動方向に度数 1 を加えた. 斜め移動は 4 方向あるため,

3 身体構造によらないポインティングデバイス操作の特徴

任意の2方向を取り出しそれぞれ比較した。ただし、比較した速度差が10pixel/sec以下の場合には“差なし”とした。なぜなら、実際のパソコン作業に実験用ディスプレイを用いてクリック操作をした場合、一番小さなオブジェクトが3mm程度(実測値)で約10pixelとなり、速度差が実用上問題にならないと考えられるためである。

TBL規定なしの実験条件による31試行と、実験実施時の操作ミスにより記録されなかった3試行を除いた183試行における度数をカーソル移動方向ごとに合計し比較をしたところ、表12に示す結果となった($p < .05$)。操作指条件とトラックボール条件(TBL, TBS)の違いによる度数比較でも同様の有意な結果が得られた($p < .05$)。TBMにおいては垂直移動方向と斜め方向の移動の一部(**Ld**と**Ru**, **Lu**と**Ru**, **Ld**と**Rd**との比較)に有意な同様な差は認められなかった。

垂直移動比較では、**Dv**方向(上から下への移動)が遅かった。水平移動比較では、どちらの方向もほぼ同じ度数を示した。斜め移動比較においては、**Ru**方向と**Rd**方向がほぼ同じ度数であったが、それ以外の方向比較はいずれかの方向が遅かった。その結果斜め移動間での比較では、**Ru**方向と**Rd**方向が同程度に最も遅く、その次に**Ld**方向で、**Lu**方向が最も速かった。本実験結果より、上下方向と斜め方向移動において、操作者の個人差によらず、カーソル移動に速度差が生じることがわかった。

表12 ターゲット間移動速度(V_a)の比較

カーソル移動方向					
	U_v	D_v	差なし	V_a の比較	
垂直	48	93	42	$U_v > D_v$	

カーソル移動方向				
	L_h	R_h	差なし	V_a の比較
水平	73	78	32	$R_h \approx L_h$

カーソル移動方向						
	L_u	L_d	R_u	R_d	差なし	V_a の比較
斜め		69	88		26	$L_d > R_u$
			81	70	32	$R_u \approx R_d$
		55		103	25	$L_u > R_u$
			66	79	38	$L_d > R_d$
		72	94		17	$L_u > L_d$
		49		106	28	$L_u > R_d$

3.3.4 カーソル移動経路の評価

各試行時に記録されたクリック SW 押し下げ時と押し上げ時およびカーソル移動時のカーソルポイント座標値より振れ度 k を算出し、カーソル移動経路の状況を比較した。振れ度 k とは、ある方向へカーソルを移動させる時の最短距離（ターゲット間を結ぶ直線のこと。以下、直線 l ）から、実際のカーソルポイント座標値がどれだけ離れているかを示す数値であり、直線 l への垂線の足の長さとし向きを表す。 k 値を記録されたデータから算出することにより、カーソル移動経路の傾向を知ることができる。

本実験では、斜め移動区間 (Lu, Ld, Ru, Rd) の試行に対して、協力者ごとに記録された座標値より振れ度 k を算出した。 $k > 0$ であれば、 Ru, Rd の試行は直線 l より上の領域を通り、 Lu, Ld の試行は下の領域を通る。また $k < 0$ であれば、 Ru, Rd の試行は直線 l より下の領域を通り、 Lu, Ld の試行は上の領域を通る。算出した振れ度 k の正負の度数を示指操作と母指操作を分けてトラックボール条件ごとに合計し、その割合を百分率で表した結果を図 14、図 15 に示す。なお $k = 0$ となったカーソルポイント座標値は、いずれの実験条件下においてもターゲット付近であり、その度数は全体の 3% 以下であったことから、カーソル移動経路の傾向に影響を与えることはなかった。

示指操作 (図 14) においては、 Lu 方向と Ld 方向への操作は、トラックボール条件に依存しない傾向を示した。 Ld 方向への操作ではカーソルは直線 l の両側を同程度にばらつく経路を通り ($\chi^2(2) = 2.02, n.s.$)、 Lu 方向への操作では直線 l のやや下側を通った ($\chi^2(2) = 2.79, n.s.$)。 Ru 方向と Rd 方向はトラックボール条件によって異なる傾向を示した (Ru 方向: $\chi^2(2) = 14.4, p < .01$ Rd 方向: $\chi^2(2) = 29.8, p < .01$)。 TBL, TBM において、 Ru 方向への操作ではカーソルは直線 l の上側、 Rd 方向への操作では下側を通った。 TBS では Ru 方向、 Rd 方向とも直線 l の両側を同程度にばらつく経路を通った。

母指操作 (図 15) においても、 Lu 方向と Ld 方向への操作はトラックボール条件に依存しない傾向を示した。 Ld 方向への操作は、カーソルは直線 l の上側を通り ($\chi^2(2) = 0.47, n.s.$)、 Lu 方向への操作では直線 l のやや下側を通る傾向を示した ($\chi^2(2) = 4.82, p < .1$)。 Ru 方向と Rd 方向は示指操作同様、トラックボール条件によって異なる傾向を示した (Ru 方向: $\chi^2(2) = 7.32, p < .025$, Rd 方向: $\chi^2(2) = 25.3, p < .01$)。 Ru 方向、 Rd 方向への操作とも、TBL ではカーソルは直線 l の両側を同程度にばらつく経路を通り、TBM および TBS ではそれぞれの下側を通った。

以上の結果より、 Lu, Ld 方向への操作、すなわち右から左に向かって斜めにカーソルを移動させる操作は、トラックボール条件にかかわらず、操作指ごとに同様な移動経路を辿ることがわかった。また示指操作においては TBL と TBM、母指操作においては TBM と TBS がいずれの斜め方向への操作も同様な移動経路を辿ることがわかった。

3 身体構造によらないポインティングデバイス操作の特徴

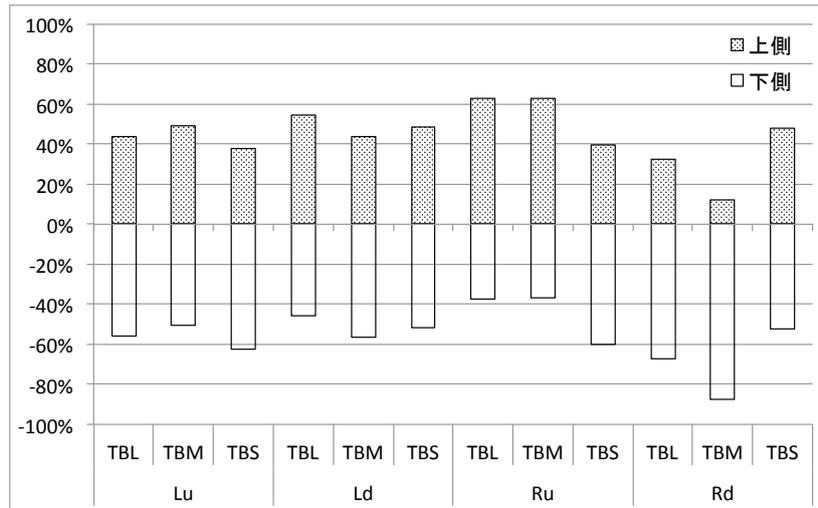


図 14 カーソル移動経路の傾向 (示指操作)

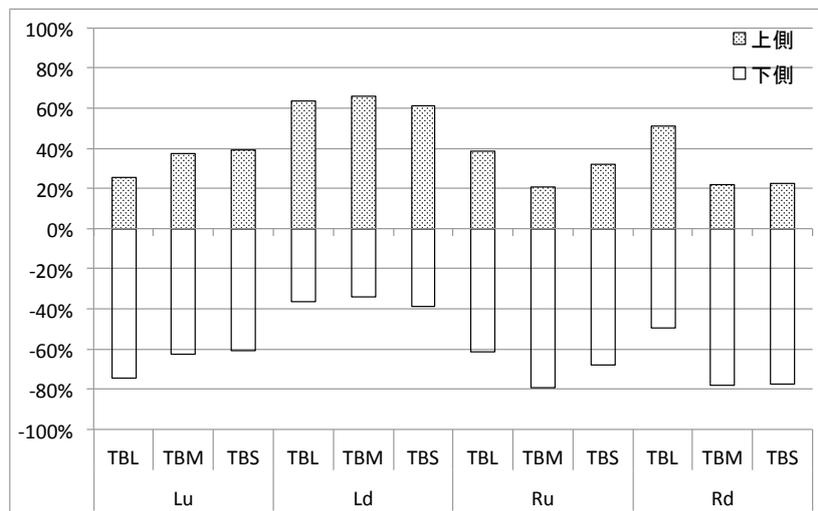


図 15 カーソル移動経路の傾向 (母指操作)

3.4 考察

本実験では、身体機能 II 期レベルを想定して手首部内側をテーブルに接触させ、手関節、前腕の動きおよび上肢の代償動作をとらないようにして実施した。このように、単指のみでポインティングデバイス进行操作する場合を想定した時、示指においては、遠位指節間関節 (distal interphalangeal joint 以下, DIP 関節), 近位指節間関節 (proximal interphalangeal joint 以下, PIP 関節), 中手指節間関節 (metacarpophalangeal joint 以下, MP 関節) が操作に関与し、母指操作においては、指節間関節 (interphalangeal joint 以下, IP 関節), MP 関節, 母指手根中手関節 (trapeziometacarpal joint 以下, 母指 CM 関節) の各関節の動きが関与する。示指操作では, DIP 関節と PIP 関節の屈曲/伸展の動き (1 自由度) と, MP 関節の屈曲/伸展および内転/外転の動き (2 自由度) でカーソル移動がなされる。母指操作では, IP 関節と MP 関節の屈曲/伸展の動き (1 自由度) と, 母指 CM 関節の尺側内転/橈側外転と掌側内転/外転の動き (2 自由度) でカーソル移動が行われる。つまり, これらの多関節の動きで上下左右あるいはその複合操作である斜め方法へのカーソル移動を実現している。

カーソル移動の方向とその移動量は指の各関節の動き, すなわちベクトル合成によって決定された結果である。例えば示指による Dv 方向 (垂直に上から下へ移動) への操作は, DIP 関節, PIP 関節の屈曲と, MP 関節の伸展によりその方向と移動量は決定される。

そこで, 示指および母指の関節と筋の関係を整理したうえで, 協力者から複数寄せられた自由記述意見を分類し, 実験結果と比較しながら考察する。

3.4.1 トラックボール操作に必要な関節の動きと筋との関係

トラックボール操作に必要な関節の動きと筋との関係を, 示指は表 13, 母指は表 14 のように整理した。まず, 示指および母指の運動に関与する筋を前腕筋群 (前腕骨に起始があって, 手の骨に停止がある筋) と, 手内在筋群 (手の骨の中に起始と停止がある筋) に分けた。そして, それらの筋が作用する関節の動きに印を付けた [7]。塗りつぶしの●, ▲は前腕筋群で, 白抜きの○, △は手内在筋群である。また, 丸印 (●○) は主動筋で, 三角印 (▲△) は補助動筋である。主動筋は主としてその関節の動きを起こす筋である。主動筋の働きが弱くなっても補助動筋が機能していれば, 筋力低下あるいは関節可動域制限の状態や周囲の筋肉への負担が増すと考えられるが, その動作は可能である。

このように整理すると, 示指においては, MP 関節の外転内転に関与する筋は手内在筋群のみであることと, MP 関節の伸展, PIP 関節と DIP 関節の屈曲に関与する筋は前腕筋群のみである。母指においては, MP 関節の伸展, IP 関節の屈曲伸展および, 母指 CM 関節の橈側外転に関与する筋は前腕筋群のみであり, 母指 CM 関節の尺側内転は手内在筋群のみが関与していることがわかる。

肢体不自由の状態になる原因の 1 つである神経筋疾患の場合, 前腕筋群である近位より肢体不自由の状態を示す場合, 手内筋群である遠位から肢体不自由の状態を示す場合等,

3 身体構造によらないポインティングデバイス操作の特徴

疾患の種類によってさまざまな特徴を持つが、障害状況や筋活動の程度の個人差は大きい。しかしながら、その関節の運動に関与する筋群が多いほど、また、前腕筋群(外来筋群)と手内筋群がかかわっていたほうが、その運動をし続けることができる可能性が高いと考えられる。

表 13 トラックボール操作に必要な関節の動きと筋肉の関係(示指)

		MP 関節				PIP 関節		DIP 関節	
		屈曲	伸展	外転	内転	屈曲	伸展	屈曲	伸展
前腕筋群 (外来筋群)	浅指屈筋	▲				●			
	深指屈筋	▲				▲		●	
	示指伸筋		●				●		●
手内在筋群	虫様筋	○					○		○
	掌側骨間筋	△			○		△		△
	背側骨間筋	△		○			△		△

○●：主動筋 (prime mover) △▲：補助動筋 (assistant mover)

表 14 トラックボール操作に必要な関節の動きと筋肉の関係(母指)

		MP 関節		IP 関節		母指 CM 関節				
		屈曲	伸展	屈曲	伸展	橈側外転	尺側内転	掌側外転	掌側内転	対立
前腕筋群 (外来筋群)	長母指屈筋	●		●						▲
	長母指伸筋		●		●	▲				▲
	短母指伸筋		●		▲	▲		▲		
	長母指外転筋					●		●		
手内在筋群	短母指外転筋	△						○		
	短母指屈筋	○					○		○	
	母指内転筋	△					○		○	△
	母指対立筋									○

○●：主動筋 (prime mover) △▲：補助動筋 (assistant mover)

3.4.2 操作手指に関する意見

(1) 「隣の指に当たって操作しづらい」等の操作指以外に関するもの

隣の指とは示指操作であれば中指，母指操作であれば示指である。つまり，示指 MP 関節および母指 CM 関節の内転の動きに制限を与えていたことになる。内転の動きが必要な斜め方向移動 Ru と Rd ともにターゲット間移動速度が遅くなっている実験結果と一致している。この結果より，示指あるいは母指でトラックボールを操作するときは，隣り合う指が操作指の動きに制限を与えないように操作指との距離をとった指の置き方やトラックボール設置方法を考慮する必要がある。

(2) 「母指のほうが操作しやすい」等の操作指に関するもの

本実験では明らかな差が確認できなかったが，表 13 と表 14 を比較すると，母指 CM 関節には自由度 2 の可動性があり，これらの動きを総合した分回し運動が可能である。このように母指のほうが関節の動きに自由度が高いことから，さまざまな移動方向に対応しやすかったと推察できる。この意見は本研究で想定した II 期レベルの肢体不自由者においてポインティングデバイスを検討する際に，まずは母指による試用評価を行ってみるという適用順序を示す重要な示唆であった。

3.4.3 カーソル移動方向に関する意見

「上下方向が動かしづらい」「 Rd 方向が操作しづらい」等の特定の方向に対するもの

特に Dv 方向 (上から下への垂直移動) に関する意見が多かった。これは操作のしづらさと平均速度の比較結果とも一致していた。トラックボールでより効率的に上下方向にカーソル移動させる (ボールを転がす) 時は，予備動作としてカーソル移動方向とは反対方向への多関節の動きが多く求められる。例えば，示指により Dv 方向にカーソル移動をする場合は，DIP 関節，PIP 関節の屈曲と MP 関節を伸展させる動きである。これは 3.4.1 項で述べた，前腕筋群のみでの動きであり，操作がしづらくなると想定されるものである。まさに，第 2 章の 2.5.1 項で述べた A 氏の操作状況の困難さと一致する。

また示指により Dv 方向への操作は，DIP 関節，PIP 関節の屈曲と MP 関節を伸展させた後，DIP 関節，PIP 関節の伸展と MP 関節を屈曲させるという動き，つまり現在指を置いているボール面位置から一度指を離し，上方かつ遠位方向のボール面に指を置くという予備動作が必要となる。この動作は重力に抗う運動であるため，筋力低下を伴う肢体不自由者にとって最も困難な動作の一つである。

「 Rd 方向が操作しづらい」という意見に関しては，ターゲット間移動速度比較で Rd 方向が他の斜め方向よりも遅かったことから，前項 (1) と同様，隣り合う手指との位置関係が原因であったと考えられる。加えてカーソル移動経路比較の結果より，示指 MP 関節，母指 CM 関節の外転が関与する右から左に向かう斜め方向 (Lu 方向と Ld 方向) が同様な移動経路を示したにもかかわらず，同関節の内転が関与する左から右に向かう斜め方向 (Ru 方

向と **Rd** 方向) はトラックボール条件によって移動経路が異なったことから、協力者は操作のしづらさに対応するために、それぞれ独自の方略によって対応し操作した結果と推察できる。

また、「**Ld** 方向への操作がしづらい」「右から左に動かすのがやりづらい」という意見もあった。最初に示指 MP 関節あるいは母指 CM 関節の外転可動域の上限付近でトラックボールに指を置いたためであろう。そのため、内転を伴うカーソル移動方向に対して隣り合う指に接触することなく十分な可動域が確保できるものの、外転を伴う方向や場合によっては各関節の伸展を伴う方向に制限を与えていたと考えられる。

この結果より、肢体不自由者による操作に対して考慮すべき点は、肢体不自由者の身体状況に合わせて操作指を十分に動かせるトラックボール面に指を置くことができる環境にすることが大切である。この点は、表 13、表 14 に示したように、指の内外転の動きに関与する筋が少ない関節もあることから重要な点である。トラックボール面積が大きいほど操作指を置く自由度が高く、トラックボールサイズが小さいほど予備動作が軽減されると考えられる。

3.4.4 トラックボールに関する意見

「小さなトラックボールは大きく移動させやすいが、位置決めがやりづらい」等のボールの大きさに関するもの

トラックボールの大きさと解像度の関係であると考えられる。解像度の調整を行えば位置決め操作性は改善するであろうが、本研究で想定した神経筋疾患等による II 期レベルの肢体不自由者においては第 2 章の 2.5.1 項で示した事例のように、各関節可動域の減少にはばらつきが見られる場合があるので、加えて各カーソル移動方向に対して個別に移動量(倍率)を設定できるソフトウェアによる対応が必要となる。

一方、表 11 の結果および 3.3.3 項で述べたように、TBM は他のトラックボールとは若干異なる傾向を示していた。これはトラックボール構造上の影響によるものと推察される。TBL と TBS のボール部は最大直径近傍まで(半球状に)露出していたが、TBM のボール部は最大直径の 1/3 程度の露出であったため、手指でボールを転がすことができる球面(円周)方向の量が相対的に少なくなることから、カーソル移動に影響を与えていたと考えられる。また、カーソル移動経路比較の結果より、示指操作では TBL と TBM が同様の経路を辿り、母指操作では TBM と TBS が同様の経路を辿った。以上の検討から、手指の可動域とボールサイズとは相関があると推測される。

3.5 まとめ

本章では、II期レベルの肢体不自由者のポインティングデバイス操作を想定し、トラックボールを用いた単指でのカーソル移動操作実験を実施した。その結果、カーソル移動操作は特定の方向に操作のしづらさや速度差が生じることが明らかになった。

右手操作にて行った場合、操作のしづらさについては、垂直上下方向 (Uv , Dv) に移動させる時と、斜め方向では下から斜め上に向かって移動させる時 (Lu , Ru) と左上から右下に向かって移動させる時 (Rd) であった。移動速度においては、垂直移動比較では、 Dv 方向が遅かった。斜め移動間での比較では、 Ru 方向と Rd 方向が同程度に遅かった。以上の結果より、下方向 Dv と右上方向 Ru への操作が、操作しづらく移動速度も遅くなることがわかった。

また支援技術サービスにおいては、以下のような知見を得ることができた。

- ・可能であればまずは、母指による試用評価を行ってみること
- ・操作指と隣り合う指との関係は、操作指の動きに制限を与えないような指の置き方にすること (特に内転方向)
- ・トラックボール面 (操作部) と操作指との関係は、十分に動かせるような位置に指を置くこと。
- ・以上のような配慮ができるトラックボールサイズを選定すること。あるいは、トラックボール設置位置にすること

本実験の協力者と肢体不自由者とは骨格構造は変わらないことから、肢体不自由の有無によらないカーソル移動時の困難さを同様に内在していると考えられるため、運動機能障害がある場合には、本実験で得られたカーソル移動特性の傾向がより顕著に現れてポインティングデバイス操作に影響を与えていると推測することができた。この影響はII期レベルの肢体不自由者のポインティングデバイス操作を困難にし、やむなくIII期レベルのパソコン操作方法を適用しなければならない原因の一つになっていると考えられる。

参考文献

- [1] Katirji, B., Kaminski, J. H., Preston, C. D., Ruff, L. R., Shapiro, E. B.: *Neuromuscular Disorders in Clinical Practice*, Butterworth-Heinmann, pp.3-19 (2002).
- [2] 神野進: 筋ジストロフィーのリハビリテーション・マニュアル; 厚生労働省精神・神経疾患研究開発費 筋ジストロフィーの集学的治療と均てん化に関する研究, (2011).
- [3] Fenderson, B. C., Ling, K. W., 嶋田智明 (監訳): 神経筋疾患の検査と評価; 医師薬出版, pp.121-128, pp.206-214 (2011).
- [4] 人間工学-視覚表示装置を用いるオフィス作業- 視覚表示装置の要求事項; JISZ8513, 日本規格協会 (1994).
- [5] 人間工学-視覚表示装置を用いるオフィス作業- ワークステーションのレイアウト及び姿勢の要求事項; JISZ8515, 日本規格協会 (2002).
- [6] 米本恭三, 石神重信, 近藤徹: 関節可動域表示ならびに測定法; リハビリテーション医学, **Vol.32**, No.4, pp.207-217 (1995).
- [7] 中村 隆一, 齊藤 宏, 長崎 浩: 基礎運動学; 医師薬出版, 第 6 版, pp.226-231 (2011).
- [8] 渡辺崇史, 畠山卓朗, 奥山俊博, 手嶋教之: 肢体不自由者のポインティングデバイス操作におけるカーソル移動特性の推測; ヒューマンインタフェース学会論文誌, **Vol.14**, No.4, pp.383-392 (2012).

4 ポインティングデバイス操作に対する操作環境の影響

4.1 目的とアプローチ

本章では、第2章で指摘した操作環境の違いによるポインティングデバイス操作の特徴や影響について明らかにする。操作環境による影響は身体機能の程度にかかわらず、誰でもなんらかの影響を受けるが、本論の主たる目的よりⅡ期レベルの運動機能障害における操作環境を想定する。

操作者の姿勢、入力デバイス、ディスプレイとの相対的位置関係は操作性に影響を与える [1,2]。第3章ではディスプレイ正面に対峙して椅子座位姿勢での環境で行ったが、Ⅱ期レベルの肢体不自由者は重力に抗する上肢筋力の低下だけでなく、体幹の筋力低下や麻痺している場合があるため、車椅子上あるいはベッド上での操作になる。車椅子であればリクライニング機構を使って股関節を伸展位で体幹を後に傾けた座位姿勢であったり、電動ベッドを利用している場合には、背上げ機能を使っての仰臥位姿勢となる。これらの操作姿勢では、椅子座位姿勢のようにディスプレイ正面設置だけでなく、設置スペースや介助方法の関係から側面に設置されることが実際の利用場面では多く見受けられる。よってⅡ期レベルの肢体不自由者においては、仰臥位姿勢とディスプレイ設置位置に対する検討をし、知見を得ることが必要である。

そこで本章では、Ⅱ期レベルにある肢体不自由者が電動ベッド上でポインティングデバイス操作を行う時を想定し、操作姿勢とディスプレイ設置位置を変化させてポインティングデバイス操作を行った時、操作環境の違いによってカーソル移動操作にどのような影響をあたえるかを明らかにすることを目的として実験を行った。なお使用したポインティングデバイスは第2章同様、トラックボールとした。

第一に、椅子座位姿勢にてパソコンディスプレイの設置位置(以下、ディスプレイ条件)を変化させて、トラックボール操作によるカーソル移動実験を実施した(以下、実験1)。その時のカーソル移動時間や移動軌跡、および操作者の官能評価がどのように変化するかを測定し、トラックボール操作に対して及ぼす影響について検討した。

第二に、ディスプレイ条件とベッド上での姿勢(以下、ベッド背上げ角度条件)を変化させてカーソル移動実験(以下、実験2)を実施し、同様の検討を行った。

第三に、実験の結果から想定したⅡ期レベルの肢体不自由者の困難さを考察し、利用される生活環境に適合させるための、ポインティングデバイスやディスプレイの設置方法、人的支援時に求められる考慮すべき点等の、実際の臨床現場での支援に有用な情報、および対応方法の提案を行った。

4.2 カーソル移動実験の方法

4.2.1 実験計画

(1) 実験協力者

実験1では第3章同様、キーボードおよびポインティングデバイスを用いてパソコン操作することに対して、特段の配慮が必要のない者を実験協力者(以下、協力者)として実施した。実験2ではその条件に加えて、電動ベッドへの移乗および体位変換が自立しており、ベッドマットレス等の影響により褥瘡のリスクがないものとした。なぜならば、本研究で想定したII期レベルの肢体不自由者の場合、同程度の身体機能が残存している者を集めることは現実的に困難であり、肢体不自由の個人差に合わせた操作環境や操作姿勢に対する個別対応が必要となることから、これらが実験結果に影響を与えられられるためである。本研究は個人差によらない操作環境の変化によるポインティング操作の傾向を明らかにするための実験であるので、筋骨格系の身体構造が本研究で想定したII期レベルの肢体不自由者と変わらない、前述の条件を満たす者を協力者として実施しても本章の目的に沿うからである。

(2) 共通実験環境

実験1・実験2に共通するカーソル移動実験時に利用した機材およびソフトウェアは次のとおりである。

1. トラックボール:Expert Mouse (Kensington 製, 型式 No.64374, ボール部直径 55mm)
2. 実験用ディスプレイ:カーソル移動課題表示用のディスプレイ。以下、3つの機器で構成される。
 - ・ 19 インチ液晶モニター (DELL 製, 型式 1950FP, 解像度 横 1280pixel × 縦 1024pixel)
 - ・ モニタースタンド (アシスタンド, ダブル技研製, 型式 BS23-HDP)。本機に取り付けられた 19 インチ液晶モニターの上下方向の角度と高さを可変する。脚部キャスター構造により、任意の場所に移動可能。
 - ・ 液晶モニター用ブラケット (サンワサプライ製モニターアーム, 型式 CR-LA302)。19 インチ液晶モニターをアシスタンドに取り付け、上下方向の角度を微調整するために使用。
3. 記録用パソコン:カーソル移動課題の起動およびカーソルポインタのイベント記録用 (DELL 製 LATITUDE D620, CPU IntelCore2 1.83GHz, RAM1GB, OS Windows XP Pro. SP3)。
4. 押しボタンスイッチ:フロッピーディスクケーススイッチ (エスコアール製, 縦 95mm × 横 93mm × 厚さ 5mm, モーメンタリー動作)。協力者の操作によるクリッ

クイイベント入力用。

5. USB Switch Interface:Swifty(Origin Instruments 製). 外部スイッチが取付け可能な構造で, 外部スイッチが押されると接続されたパソコンに左クリック信号を出力する.
6. カーソル移動記録用ソフトウェア:マウスレコーダー Ver.5.22(エムティ・ソフト製, シェアウェア). カーソル移動とクリック(押し下げ, 押し上げ時)によるイベント発生時の時間と実験用ディスプレイ上のカーソルポインタ座標値を記録する.

なお, トラックボールと押しボタンスイッチは協力者の操作による入力装置として, 実験用ディスプレイはカーソル移動課題を表示する出力装置として記録用パソコンに接続した. 押しボタンスイッチは USB Switch Interface を介して記録用パソコンに接続し, トラックボールはカーソル移動操作のみに用いた.

本章で実施するカーソル移動課題は, 図 16 のように, Microsoft PowerPoint2007 で作成した. カーソル移動課題には 45 度おきに 8 ヶ所のターゲットを配置した. ターゲットとは実験時にカーソルを移動させる時の開始位置と終了位置を示す領域である. 8 ヶ所のターゲットは, 実験用ディスプレイ表示領域である横 1280 × 縦 1024pixel(実測値で横 374 × 縦 282mm) の中央位置に直径 908pixel の同心円上に配置した. ターゲットの大きさは直径 22pixel(実測値で 6.5mm) とした. ターゲットの大きさは本実験で用いる実験用ディスプレイでウィンドウを表示させた時のウィンドウ上部の閉じる/最小化/最大化ボタンの大きさに合わせた. またカーソル移動課題の色は, カーソル移動領域の背景色を白, カーソルポインタ色を黒 (Windows 標準サイズ), 開始位置ターゲットを赤色, 終了位置ターゲットを青色とし, カーソル移動が視認しやすいようにした.

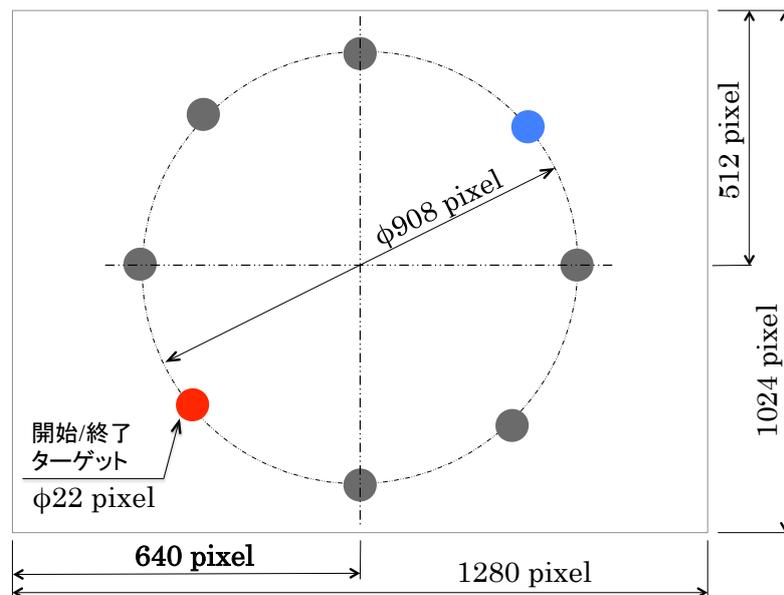


図 16 カーソル移動課題と表示サイズ

カーソル移動課題の提示方法は実験開始された時、相対する一対の開始位置ターゲットと終了位置ターゲットのみを表示する。この時マウスカーソルは開始ターゲットの中心位置に表示する。協力者のトラックボール操作によりカーソルが終了位置ターゲットに移動し、その領域内で押しボタンスイッチが押されると、表示されていた一対の開始/終了ターゲットは消え、別の位置に一対の開始/終了ターゲットが表示される。一対の開始/終了ターゲットは上下2方向、左右2方向、斜め4方向の計8方向であるが、ランダムな順で必ず1回ずつ全ての方向が提示されるように Visual Basic for Application にて作成した。

ところで、このようにターゲットを同一円周上に配置した多方向のタッピング試験がある [3]。これは、さまざまな方向にポインタを動かす場合の入力デバイス自体の評価に使用することを意図したものであり、推奨されているターゲットの提示方法、マウスカーソルの移動方法等についても本章の目的とは異なるため、今回あらたに作成した。

なお、本移動実験でのカーソルポインタ速度設定は実験条件や協力者ごとに変化させず、Windows XP 標準のマウスドライバを用いて同一設定とした (Windows XP のマウスプロパティ設定画面にて、ポインタ速度のスライダを中央位置にし、加速度変化がしないように“ポインタの精度を高める”のチェックボックスを OFF にした)。

4.2.2 実験1の実験条件

操作指条件を2水準(示指, 母指)、ディスプレイ条件を3水準(正面, 左側, 右側)の計6実験条件を設定した。高さ700mmのテーブル(岡村製作所製, 型式8189SF)と肘掛け付き事務用椅子(岡村製作所製, 型式CG14GZ, 前座高360~450mmで無段階調整可能, 肘掛け高さは座面より180~280mmで20mmおきに調整可能)を用意した。そして、椅子座面と肘掛けの高さ、椅子の前後距離を調整することで、いずれのディスプレイ条件であっても協力者の目との距離を400mm以上確保できるようにし、目の高さは実験用ディスプレイ表示部の上端以下になるようにした [4]。

ディスプレイ条件を変化させる時、正面の場合は図17(a)のように実験用ディスプレイをテーブル前端より550mmの位置に設置した。左側または右側の場合には図17(b)のように、椅子座位時において協力者の両側の肩峰を結ぶ線への垂線と鼻梁と後頭結節を結ぶ線とのなす角度(頸部の回旋角度)が、参考可動域を越えることがないように設置した [5]。本実験では、体幹を回旋させて実験用ディスプレイ側に向いてしまうことがないように実験用ディスプレイの端と設置側の目とがなす角度が60度となるようにした。



(a) 正面設置時

(b) 側面設置時

図 17 実験 1 での実験用ディスプレイ設置位置

4.2.3 実験 2 の実験条件

ベッド背上げ角度条件を 2 水準 (無し, 30 度), ディスプレイ条件を 2 水準 (正面, 右側) として計 4 実験条件を設定し, 操作手指を示指とした. なお, ディスプレイのベッド側面設置の位置は左右あり, 単指での操作は第 3 章同様, 母指での操作も想定される. しかしながら, 後述する「4.5.2 操作しづらかったカーソル移動方向」の実験 1 の結果より, 操作のしづらさ方向に対して, ディスプレイ設置位置の左右差や, 操作指の違いに有意な差が認められなかったため右側のみ設置とし, 操作指を示指とした.

ベッド背上げ角度条件において, 無しとはベッドが平らな状態での仰臥位姿勢を示し, 30 度とは電動ベッド頭部側のボトム角度が 30 度となり, 協力者の腰付近から頭部が起き上がった姿勢である. 30 度とした理由は, II 期レベルの肢体不自由者を想定したことから, 呼吸を楽にし (呼吸器装着も含む), 頸部や体幹の筋力低下や麻痺により前方や側方へ倒れないようにするため, セミファーラー位である 30 度とした [6]. なお, 背上げ時には下肢側のボトムが連動して動き, 股関節および膝関節付近の角度が可変し身体の足部方向へのずれを防止するとともに, 体幹筋群の緊張を緩和させる機能を備えているが, II 期レベルの肢体不自由者の場合でも通常この機能を使っているため, 本実験でも利用した.

電動ベッド (フランスベッド製, 低床型 3 モータータイプ, 型式 FBN-PJJ-SUR30) に, マットレス (フランスベッド製, 低反発マットレス幅 850mm, 型式 FM-T) を置き, サイドレール (フランスベッド製, 型式 SE-300JJ) を取り付けたものを用意した. いずれの実験条件においても枕は用いず, 実験ディスプレイの高さや角度を調整して実験 1 同様, 協力者の目との距離を 400mm 以上確保できるようにした.

ディスプレイ条件が正面の場合 (図 18) は, 協力者と向かいあうように設置し, 上下方向は協力者の目の高さが実験用ディスプレイ表示部の上端以下になるようにした. これは実際の II 期レベルの肢体不自由者が, ディスプレイを見上げるような状態が長く続きドライアイ等の目に関する疾患を防止するための設置位置を想定したからである.

4 ポインティングデバイス操作に対する操作環境の影響

ディスプレイ条件が右側の場合 (図 19) での臥位姿勢時の上下位置は、正面設置時と同様の理由より実験用ディスプレイ表示部右端が協力者の目の位置を越えないように設置した。高さ方向は、実験用ディスプレイに目を向けた時、サイドレールが視界を妨げない位置で、かつ、体幹を回旋させることなく頸部の回旋角度が参考可動域を越えることがない高さに設置した [5]。



(a) 背上げ無し時

(b) 背上げ 30 度時

図 18 実験 2 での実験用ディスプレイ正面設置



(a) 背上げ無し時

(b) 背上げ 30 度時

図 19 実験 2 での実験用ディスプレイ右側設置

4.3 実験の実施

4.3.1 協力者への条件

実験実施前には協力者に対して実験趣旨と概要説明を十分に行い、協力者ごとに作成する所定の記録用紙へ性別、年齢、利き手、パソコン利用歴、トラックボール利用経験の有無等の記入をもって参加協力の同意を得た。なお本実験は、「日本福祉大学 人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を得て実施した。実験1実施時のトラックボール操作方法、操作時の手指および上肢の位置、トラックボールの置き方、操作姿勢等に対する協力者への条件は、「第3章 3.2.1 実験計画」と同様とした。

ベッド上で実施する実験2でのトラックボール操作に関する協力者への条件は、重力に抗する上肢の筋力が低下した状態にあり、限られた身体部位での操作を行うII期レベルの肢体不自由者を想定しているため、手首部をベッドマットレスから浮かせて、前腕の回内外および肩や肘関節等による代償動作で操作しないよう、必ず手首部内側をベッドマットレス上に接触させて操作することを指示した。加えて、操作指以外の指や手掌部をトラックボール筐体あるいはベッドマットレスに接触させ、手関節の屈曲伸展や橈屈尺屈の動きによる操作をしないことを指示した。

手首部内側および操作指以外の指や手掌部の接触位置、トラックボールの配置は、ベッド上での実験時において実験1(「第3章 3.2.1 実験計画」)に準じ、各協力者が実験条件ごとに試行前に決めてよいが、その実験条件下での試行開始から終了までは変えないようにすることを指示した。これは実際のII期レベルの肢体不自由者の利用場面において、体位交換時や日々の身体状況の変化等によって配置を変えることはあるが、パソコン操作を始める際に設定したら、一定時間はそのままの位置で操作し続けるためである。

実験2では、図18、図19のようにベッド中央部で仰臥位またはセミファーラー位の姿勢とし、実験に使用するトラックボールをトラックボール操作手指側のベッドマットレス上に置かせた。ベッド背上げ角度条件を変化させた時には電動ベッドの構造上、ベッドマットレスと協力者の背部にはズレや圧迫を生じるので、各実験条件での試行前に圧迫やズレの解消、およびトラックボールの配置を操作しやすいように協力者自身が調整してよいことを指示した。

4.3.2 カーソル移動実験の周知

前項で述べた協力者への条件を指示した後、各実験条件での試行前に練習時間を確保して操作を周知させるとともに、操作しやすい椅子の設定あるいはベッド上での圧迫の除去、トラックボールの配置および手の置き方を協力者自身が確認し設定した。操作姿勢等の設定後、各条件下での試行を開始した。

キーボード以外の入力デバイス自体の操作特性の比較において[7]、実験参加者にできるだけ速く操作することを求める場合があるが[8]、本章ではII期レベルの肢体不自由者

の日常的なパソコン操作を想定しているため、各協力者が可能な速さで操作すればよいことを指示した。

ただし、一気にボールを転がしてターゲットを狙うことや、ディスプレイ端までカーソルをオーバーシュートさせてからターゲットを狙う等はせず、カーソルを見失わないように目で追える速さで操作することを周知させた。押しボタンスイッチは操作側と反対側の手指で押すこと、ターゲット領域内にカーソルが入っていれば押してもよいことを周知させた。もしターゲット領域外で押したことに気がついた場合には、その試行を中断せず次に表示される試行を最後まで続けることを指示した。

そして、各条件下で 4.2.1 項に示したカーソル移動課題の終了直後には操作しづらかった方向の回答を求める画面を表示させ (図 13)、記号での回答を協力者に求めた (複数回答可)。そして全実験終了後には、ディスプレイ設置位置の違いがトラックボール操作に対して差があったかどうかの選択的な意見を求めた。実験 2 ではそれに加えてベッド背上げ角度の違いについても同様に意見を求めた。さらに実験 1、実験 2 ともトラックボール操作に対する総括的な評価を協力者に求めた (自由記述)。なお実験実施中は、実験用ディスプレイ上のカーソルポインタ座標値と押しボタンスイッチが押された時間を各実験条件ごとに自動記録した。合わせてトラックボール操作の方略 (手指の使い方等) と指示した操作方法で行っているかを目視で観察した。

4.4 取得するデータと評価方法

4.4.1 操作しづらかったカーソル移動方向

各実験条件ごとに協力者からの操作しづらかった方向の回答度数を集計し、操作しづらかったカーソル移動方向を比較した。具体的には、椅子座位姿勢で身体の正面にディスプレイを設置した場合を基準に、水平方向では左移動を *Lh*、右移動を *Rh*、上下方向移動では上移動を *Uv*、下移動を *Dv* とし、これらが複合された斜め 45 度方向への移動をそれぞれ *Lu*(左上)、*Ru*(右上)、*Ld*(左下)、*Rd*(右下) とした。そして、各実験条件ごとに協力者が操作しづらかったと回答した度数合計値と各カーソル移動方向への回答度数分布を算出した。実験 1 よりディスプレイ条件を変化させた時の比較、実験 2 よりディスプレイ条件とベッド背上げ角度条件を変化させた時の比較をし、カーソル移動方向のしづらさはどのような傾向を示すかを明らかにした。

4.4.2 カーソル移動に要した時間

実験 2 において、カーソル移動に要する時間が実験条件を変化させた時に差異があるかどうか比較した。具体的には、開始から終了までの標準総移動距離 7,264pixel(ターゲット中心間距離 908pixel × 8 方向)にかかった時間(以下、カーソル移動総時間)を、マウスレコーダーに記録されたイベントより算出し比較した。カーソル移動総時間の算出方法は、最初に提示される開始ターゲット上で押しボタンスイッチが押され、その押し上げイベント発生時から目標とする終了ターゲット上での押しボタンスイッチの押し下げイベント発生までの時間の 8 方向分を加算して求めた。カーソル移動総時間には、カーソルの移動方向を決めトラックボールを操作し始めるまでの反応時間、終了ターゲットまでの近づく接近時間、終了ターゲット近傍でターゲット内にカーソルを入れる調整時間、終了ターゲット内にカーソルが入ったことを確認して押しボタンスイッチ操作を行うスイッチング時間が含まれる [9]。カーソル移動総時間は協力者ごとに算出し、各実験条件を変化させた時の分布を比較検討した。

4.4.3 ターゲット近傍での操作傾向

(1) 初動方向の比較

通常のパソコン利用環境ではないことから、初動時に本来移動させるべきカーソル移動方向とは異なる方向への操作が見られると予想された。そこで本論では、開始ターゲット位置より 11pixel を越えるカーソル移動量があった時カーソル移動されたと見なし、その時のベクトルと開始ターゲットより終了ターゲットに向かうベクトルがなす角 θ を協力者ごとに 8 方向に対して算出した。 θ が $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ にある時を順方向(以下、Fw)、 $-135^\circ < \theta < -45^\circ$ または、 $45^\circ < \theta < 135^\circ$ にある時を左右方向(以下、Ss)、そして、 $-180^\circ < \theta \leq -135^\circ$ または、 $135^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ にある時を逆方向(以下、Op)の初動方向で

あったとして各実験条件に分けて比較検討した。

(2) ターゲット接近操作方向の比較

終了ターゲット付近ではインチング操作が行われる [9]。しかし、トラックボールは断続操作系ポインティングデバイスであるため、保持操作系のジョイスティックで見られる on/off 操作によるインチング期間 (終了ターゲット近傍でターゲット内にカーソルを入れる調整期間) が見分けづらい。またトラックボール操作の特性上、終了ターゲットまでの接近方法がその後のインチング期間の調整方法に影響を与えられ、それは個々人の操作方法の違いによるものが大きい。そこで、協力者の操作によるカーソル移動方向の振る舞いが終了ターゲット近傍においてどのような分布を示すかを比較した。本論では終了ターゲット中心より 33pixel(ターゲット直径の 1.5 倍に相当) の距離に近づいた以降、押しボタンスイッチが押されるまでの 100msec ごとに記録されるカーソル移動方向のベクトルと終了ターゲットに向かうベクトルとがなす角 φ を協力者ごとに 8 方向に対して算出した。そして θ と同様の範囲設定でターゲット接近操作方向 Fw, Ss, Op に分けて実験条件間の分布を比較した。

4.5 カーソル移動実験の結果

4.5.1 実施状況

実験1は、12名(男性9名、女性3名、平均年齢20.3歳)を協力者として実施した。トラックボールを日常的に利用している者はいなかったが、パソコン利用歴は平均6.8年であり、カーソル移動操作等に特段問題はなかった。操作手指、利き手とも全員右手であった。また実施の操作環境は、座位でのオフィス作業最適視距離600mm付近[1]であったこと、トラックボールに対する手指の置き方は正常関節可動域内[5]であったこと、ディスプレイ条件が左右側面設置の場合に椅子をその方向に向けていたり、体幹を回旋させていたりしたことはなかったことを目視での観察より確認した。

実験2は、16名(男性12名、女性4名、平均年齢21.0歳)を協力者として実施した。トラックボール利用経験は1名があるものの日常的に利用している者はいなかった。パソコン利用歴は平均7.8年であり、カーソル移動操作等に特段問題はなかった。操作手指は全員右手であった。1名は利き手が左手であったが、日常マウスは右手で操作しているため特段の問題はなかった。また各試行時の協力者とディスプレイとの距離は400~640mmを確保し、トラックボールに対する手指の置き方は正常関節可動域内[5]であり、無理な肢位をとることはなかったことを目視での観察より確認した。さらに、電動ベッド上での姿勢を変化させた時、必ず協力者自身が身体のズレや圧迫を解消するように指示し、負担のかかる姿勢をとることがなかったこと、ディスプレイ条件が右側面設置の場合にその方向に体幹を回旋させていなかったことを実験実施者(筆者)が目視および触手にて確認した。

トラックボール操作に関しては、試行中にトラックボール自体を移動させること、トラックボールに対する手指の置き方を途中で変更し操作すること、手首内側をテーブルやベッドマットレスより浮かせて手指以外の代償動作による操作がなかったこと、そして手関節の屈曲伸展や橈屈尺屈によって操作をすることなく、指示された手指のみの操作であったことを目視での観察で確認した。また、過度に遅い操作や操作の中断、ターゲット内で押しボタンスイッチが押されずに終了した試行がなかったことも、試行中の目視での観察とカーソルポインタ座標値記録データより確認した。

また実験1、実験2とも4グループに分け、各実験条件による試行を1回ずつ実施した。各実験条件での実施順序は、グループ内では同一としたが、グループ間でカウンターバランスを取り、実施順序の効果が結果に影響を及ぼさないように配慮した。実験に要した時間は、各条件下での設定、練習、本試行を含めて一人あたり30分以内であり、協力者の疲労や慣れによる影響を考慮しなければならない時間ではなかった。

4.5.2 操作しづらかったカーソル移動方向

同じトラックボールを用いた第3章での実験でも今回も差異が認められなかったため、操作指条件2水準を合算した分布を示す。

実験1の回答より、ディスプレイ条件を変化させた時の各カーソル移動方向への回答度数の分布は図20(a)のような結果を得た。同じトラックボールを用いた第3章での実験でも操作指条件を変化させても操作しづらかったカーソル移動方向には差異が認められなかったため、操作指条件2水準を合算した分布を示す。この回答度数の分布に対して、R [10] を用いて Fisher の正確確率検定を行ったところ有意差が見られなかった ($p = 0.24$)。加えて操作指条件を分けて検定したところ、示指操作時は $p = 0.39$ 、母指操作時では $p = 0.57$ となり有意差が認められなかった。しかしながら、カーソル移動操作がしづらかった方向の相対的な傾向は得ることができた。図20(a)より座位姿勢において身体に対して側面にディスプレイを設置した時には、正面設置をした時の傾向とは異なる分布を示す傾向をもつことがわかった。側面設置時においては、正面設置では見られなかった水平方向 (Lh , Rh) への訴えが多くなる傾向を持つことがわかった。また右側手指操作において、左側ディスプレイ設置だと Lu , Lh , Ld が、右側ディスプレイ設置だと Rh , Rd , Dv への回答比率が相対的に上がる傾向にあることがわかった。

実験2より得た回答より、電動ベッド上でディスプレイ条件とベッド背上げ角度条件を変化させた時の各カーソル移動方向への回答度数の分布は、図20(b)のような結果を得た。4実験条件間の各カーソル移動方向の回答度数の分布に対して、同様に Fisher の正確確率検定を行ったところ $p = 0.99$ となり、同様のカーソル移動方向に困難さを感じるということがわかった。4実験条件下では斜め方向への訴えが多かった。特に、ディスプレイ右側設置で背上げ角度30度(右側/30度)の時、水平左方向 (Lh)、上下方向 (Uv , Dv) への割合が下がり、相対的に Lu , Ld への訴えが多かった。

各実験条件ごとに操作しづらかったと訴えた度数合計値の比較に関して、椅子座位での操作(実験1)では図21(a)に、ベッド上での操作(実験2)は図21(b)に示した。座位姿勢では示指操作、母指操作ともディスプレイ条件を変化させても大きく違いはなかったが、ベッド上での臥位姿勢においてディスプレイ条件を変化させた時、背上げ30度のファーラー位の訴え度数の変化に対して、背上げ無し、つまり仰臥位姿勢ではディスプレイ右側設置時には訴えが増え変化が大きくなることがわかった。この結果よりベッド上でのカーソル移動操作はディスプレイ設置位置だけでなく、背上げ姿勢との相対的位置関係により、操作のしづらさが変化する傾向にあることがわかった。

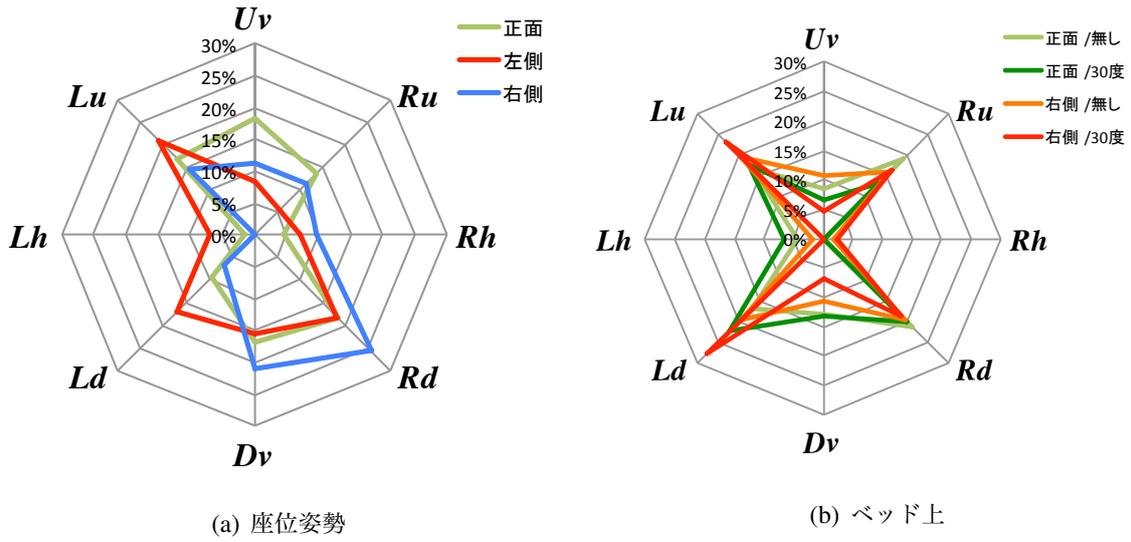


図 20 操作しづらかった方向

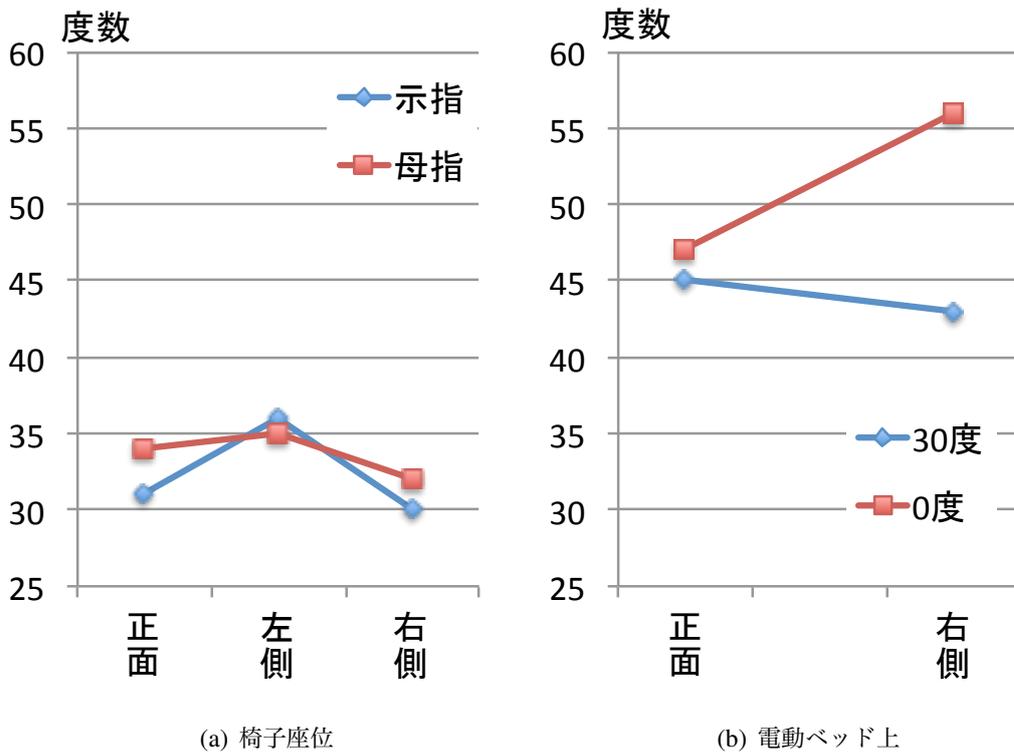


図 21 操作しづらかった回答度数の比較

4.5.3 カーソル移動に要した時間

協力者ごとに算出したカーソル移動総時間の分布を箱ヒゲ図 22 に示す。箱の上下はカーソル移動時間の上下 25% を示す四分位数，ヒゲ線の上下はそれぞれ最大値と最小値を表し，箱内の横棒は中央値を示す。

4 実験条件に対して Friedman 検定を行ったところ有意差が認められた ($p = 0.0044$)。さらに Scheffe 法にて多重比較を行ったところ，ディスプレイ右側設置時のベッド背上げ無しと背上げ 30 度との間に有意差が認められた ($p = 0.0054$)。そこで中央値を比較すると (図 23)，ディスプレイ条件が正面の時は，ベッド背上げ角度条件が変化しても変わらないが (0.5sec の差)，右側設置時では 4.8sec の差が生まれ，背上げ無し，つまり仰臥位姿勢のほうが，カーソル移動総時間が長くなることがわかった。

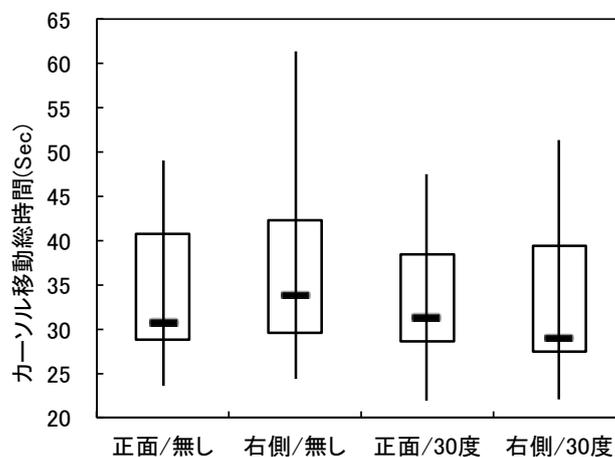


図 22 ベッド上操作でのカーソル移動総時間の分布

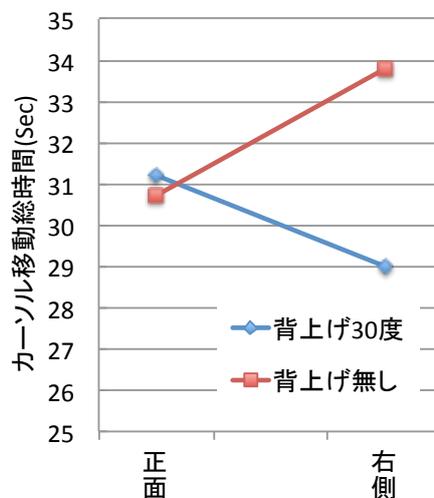


図 23 カーソル移動総時間の中央値比較 (ベッド上)

4.5.4 初動方向の比較

実験2における初動方向別の度数とその割合を表15に示した。表中のカッコ内の数値は度数である。4実験条件間の分布割合に対してFisherの正確確率検定を行ったところ $p = 0.36$ となり、初動方向の割合の有意差は認められなかった。

さらに初動方向がSsまたはOpであった28試行について、協力者間の度数の差異を表16に示した。約半数の協力者(9人)が0回または1回しか初動方向を間違えなかったのに対し、半数の度数(14)が3人の協力者によるものであり、個人間の差異が見られることがわかった。

表15 初動方向の割合比較

	Fw	Ss	Op
正面/無し	97%(124)	2%(3)	1%(1)
正面/30度	93%(119)	2%(3)	5%(6)
右側/無し	92%(118)	5%(7)	2%(3)
右側/30度	95%(122)	3%(4)	2%(2)

表16 初動方向Ss, Opであった協力者間の差異

	人数	度数
1回以下	9人	6
2回	4人	8
3回以上	3人	14
全体	16人	28

4.5.5 ターゲット接近操作方法的比較

ディスプレイ正面設置時においては、*Rh*、*Dv*方向以外は、同様の分布割合であった。*Rh*、*Dv*については、それぞれ $p = 0.03$ 、 $p = 0.01$ の有意差が認められた。図 24 のように、*Rh*ではベッド背上げ 30 度時が異なる傾向を示し、*Dv*ではベッド背上げ無し時が異なる傾向を示した。

ディスプレイ右側設置時においては、*Uv*、*Ld*方向以外は、同様の分布割合であった。*Uv*、*Ld*については、それぞれ $p = 0.02$ 、 $p = 0.01$ の有意差が認められた。図 25 のように、*Uv*では座位姿勢操作時が異なる傾向を示し、*Ld*ではベッド背上げ無し時が異なる傾向を示した。

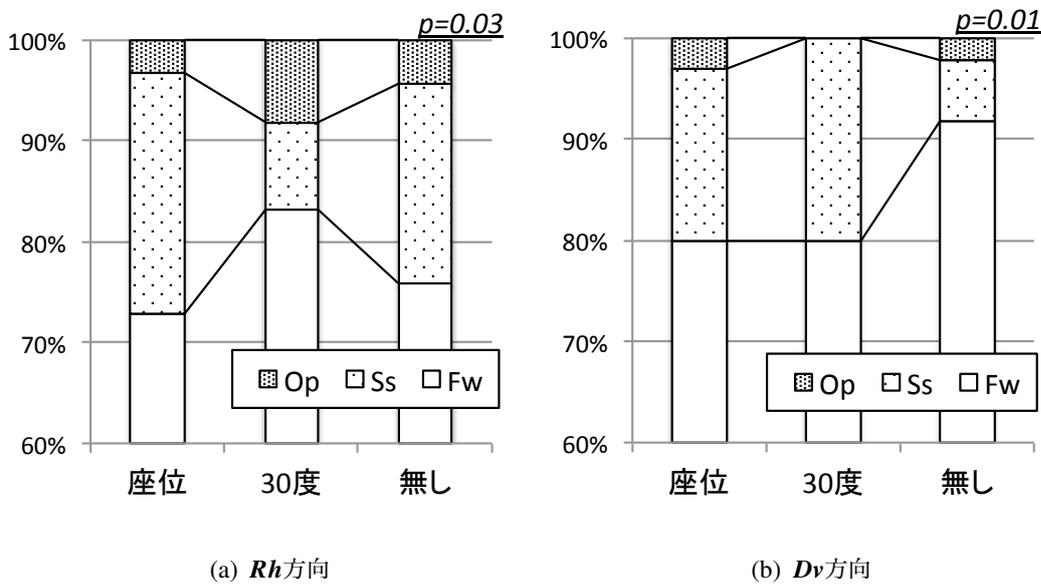


図 24 ターゲット接近操作方向の分布 (ディスプレイ正面)

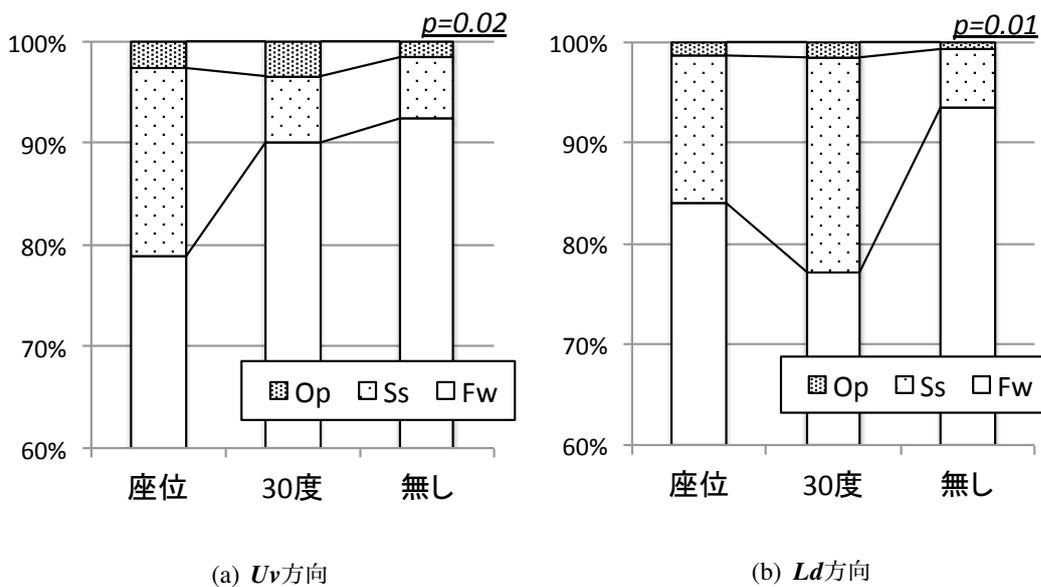


図 25 ターゲット接近操作方向の分布 (ディスプレイ右側)

4.6 考察

4.6.1 ディスプレイ設置位置に関する検討

図 21(b), 図 23 に示した結果より, ディスプレイ右側設置時には背上げ角度の影響が大きい。また, 頭部を起こしたセミファーラー位での操作へのディスプレイ設置位置の影響は小さいが, 仰臥位姿勢になるとその影響は大きくカーソル移動操作に負担をかける原因となる。よって, 関節拘縮や体幹筋群の低下により姿勢保持機能が低下している場合, 呼吸器装着等によってベッド背上げ角度調整に制限を受ける場合には, ディスプレイを正面設置するほうがよい。

ディスプレイ設置位置の左右差は, 有意な差が認められなかったものの, カーソル移動操作の困難さの方向には異なる傾向を示した。この結果より, ディスプレイ設置位置が肢体不自由者の身体機能と合わないことによって操作のしづらさを招くことがあると考えられるため, 実際の支援時には両側の設置位置を試して評価することが必要である。

一方, 実験 1 終了後の協力者 12 人からの回答では, 左側が難しい 2 人, 右側が難しい 7 人, 左右差なしが 3 人であった。脳性麻痺等の中枢神経疾患による肢体不自由者を想定した時, 操作手指側とディスプレイを向く首の回旋方向が一致していると, 非対称性緊張性頸反射等により筋緊張を高め末梢にわたる巧緻性低下を招く可能性がある [11, 12]。よって操作手指と反対側に設置して試用したうえで左右差を評価するとよい。ただし, ポインティングデバイスの接続ケーブルがベッドを横断し, ベッドへの移乗や介助行為の妨げになる恐れがあるため, ワイヤレスタイプを選定する等の配慮が必要である。

4.6.2 背上げ角度に関する検討

椅子座位姿勢では, 身体とディスプレイの上下方向は重力の方向と一致し, 左右方向は面対称である。またトラックボールの配置は, 概ね身体の左右方向の動きと一致し, ディスプレイに向かう方向への操作がディスプレイ上の上方向と一致する。ベッド上ではこれらの相対的位置関係の変化が結果として, 操作の困難さを招いたと言える。

相対的位置関係の変化による操作の戸惑いは, 初動操作方向の割合として表れたと思われるが, 表 16 に示したように個人差が大きいことから, 相対的位置関係の変化への対応も個人差が大きいと思われる。この点を支援者が理解せず利用者の操作の戸惑いを見過ごしてしまうと, 入力デバイスと身体状況が適合しているかどうかは関係なく, パソコン操作不可と周囲から思われたり, 本人自身ができないと思いこんでしまい, 本人が望まない不適切な支援が行われるおそれがある。このことから, 臥位姿勢で操作する場合やパソコン設置環境を変えた時には, 入力デバイス操作に加えて, 相対的位置関係の変化による操作の戸惑いに対しても慣れる時間を確保する必要がある, という相談支援時の重要な知見を得た。

本実験では II 期レベルの肢体不自由者を想定したため, ベッド上での操作は手首付近だ

けでなく、上肢全体をベッドに接触させていることから、背上げ角度によって手関節背屈角度が変化する。特にセミファーラー位の場合、座位姿勢と仰臥位姿勢と比較して手関節の背屈角度が大きくなるため、前腕筋群が関与する示指の伸展の動きに制限を与え [13]、カーソル移動操作に対して影響を及ぼしていると考えられる。その結果の一つとして、図 24、図 25 のように特定の方向のターゲット接近操作方向の分布が変わったと思われる。

今回は、手関節の背屈角度がどの程度影響を及ぼしたか十分に確認できなかったが、実際の利用場面ではさらに手関節の側屈位、前腕の回内外位、肘関節の屈曲位等が関連するため、背上げ角度に応じて個々の肢体不自由者が操作しやすい姿位にする手関節まわりの保持具による対応が不可欠と考えられる。この点は今後の検討が必要である。

4.7 まとめ

本章では、操作環境の違いがポインティングデバイス操作に与える影響について検討した。特に、II期レベルの肢体不自由者のポインティングデバイス操作を想定し、ディスプレイ設置位置と操作姿勢を変化させた時の影響について、単指でのトラックボール操作によるカーソル移動実験を実施し確認した。その結果、ディスプレイ設置位置や仰臥位姿勢での操作時の背上げ角度が、肢体不自由者のポインティングデバイス操作に影響を与えていることがわかり、以下のような知見を得ることができた。

- ・ ディスプレイをベッド側面に設置する場合は両側を試してみること。
- ・ 背上げ角度にかかわらず、ディスプレイが利用者の正面に対峙するように設置するほうがよいこと。
- ・ 背角度が変えられる電動ベッドでは、背上げして操作するほうがよいこと。
- ・ 背上げ角度の影響によって操作に制限を与えないように、操作姿勢への対策を施すこと。
- ・ 臥位姿勢、ディスプレイ設置位置、そして本人との相対的位置関係を変えた時には、慣れる時間を確保すること。

これらは、肢体不自由者のポインティングデバイス操作において、肢体不自由者の運動機能の差異や程度には関係なく必要な支援技術である。つまり、このような検討がなされないことで、II期レベルの肢体不自由者のポインティングデバイス操作を困難にし、III期レベルのパソコン操作方法を適用しなければならない一因となっていると考えられる。

参考文献

- [1] 人間工学-視覚表示装置を用いるオフィス作業-ワークステーションのレイアウト及び姿勢の要求事項; JISZ8515, 日本規格協会 (2002).
- [2] 横溝克己, 小松原明哲: マン-マシンインタフェースと人間との空間的位置関係; エンジニアのための人間工学, 日本出版サービス, 第4版, pp.69-75 (2006).
- [3] JISZ8519 附属書 B(参考) 効率及び有効性の試験; 人間工学 -視覚表示装置を用いるオフィス作業- 非キーボードの入力装置の要求事項, 日本規格協会, pp.22-29 (2007).
- [4] 人間工学-視覚表示装置を用いるオフィス作業- 視覚表示装置の要求事項; JISZ8513, 日本規格協会 (1994).
- [5] 米本恭三, 石神重信, 近藤徹: 関節可動域表示ならびに測定法; リハビリテーション医学, **Vol.32**, No.4, pp.207-217 (1995).
- [6] 一場友美, 山田拓実, 解良武士, 藍原章子, 八並光信, 宮川哲夫: リラクゼーション姿勢の違いが呼吸運動出力及び自立神経機能に与える影響; 理学療法科学, **Vol.25**, No.5, pp.657-662 (2010).
- [7] ISO 9241-9; Ergonomic requirements for office work with visual display terminals(VDTs) - Part 9: Requirements for non-keyboard input devices (2000).
- [8] MacKenzie, I. S., Kauppinen, T. & Silfverberg, M.: Accuracy measures for evaluating computer pointing devices; *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, pp.9- 16 (2001).
- [9] 井手将文, 藤家馨, 御手洗謙二, 黒須頭二: 頸髄損傷者における単速度動作特性をもつジョイスティックの操作特性; 人間工学, **Vol.31**, No.2, pp.141-149 (1995).
- [10] R Core Team: R: A Language and Environment for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing, <http://www.R-project.org/>, (2013.06.23 確認).
- [11] 佐藤剛 (編): 作業治療学 3 発達障害 改訂第2版 (日本作業療法士協会監修); 協同医書出版, pp.99 (1999).
- [12] 高橋純, 藤田和弘編著: 障害児の発達とポジショニング指導; ぶどう社, pp.33-35 (1986).
- [13] J.Castaing & J.J.Santini 著 (井原秀俊, 中山彰一, 井原和彦訳): 図解 関節・運動器の機能解剖 (上巻 - 上肢・脊柱編); 協同医書出版, pp.79-97 (1986).
- [14] 渡辺崇史, 畠山卓朗, 富板充, 奥山俊博, 手嶋教之: 電動ベッド仰臥位姿勢環境における単指でのポインティングデバイス操作の特徴; ヒューマンインタフェース学会論文誌, **Vol.15**, No.3, pp.73-82 (2013).

5 カーソル移動制御ソフトウェア (CMC) の開発

5.1 開発の背景

第3章では肢体不自由者の運動障害機能の差異に依存しない、共通する身体構造に起因するポインティングデバイス操作の特徴を明らかにし、第4章では操作環境の違いによる影響について明らかにした。これらから得た知見を要約すると、

- ・ポインティングデバイス操作に制限を与えないような位置に手指を置くこと
- ・操作手指の動きに制限を与えないように身体の適切な姿勢保持をすること
- ・操作手指の動きを最も活用できる位置にポインティングデバイスを設置すること
- ・ディスプレイの側面設置は操作の混乱や巧緻性低下等をまねく場合があるので、正面に設置するほうがよい
- ・ディスプレイと操作者との相対的位置関係を変えた時は、操作に慣れるための時間を確保すること

である。適切なポインティングデバイスを選定すること、ポジショニングピローや適切なクッション、あるいは装具等を利用して操作しやすい手指位置の確保や姿勢保持をする、ディスプレイについては、望ましい位置に設置できるように、ベッド用オーバートーブルやパソコン専用スタンドを利用する等の機器選定と支援技術サービスが展開されることが必要である。ポインティングデバイスや周辺の福祉用具に関する情報は、関連データベースや展示会等にて容易に入手でき、地域の介護・実習普及センターでは機器試用等も可能である [1-5]。まずは、このような支援技術が展開されることが、入力デバイス検討モデルの空白を埋め (図9)、肢体不自由者の問題 (ニーズ) に対応できると考える。

ポインティングデバイス操作に関しては、オブジェクトを選択しやすくする方法として、Fitts の法則 [6] に基づいて、ディスプレイ上にてそのターゲットまでの距離を短縮する方法やターゲットを拡大する方法 [7]、カーソルが選択する有効範囲を広げる工夫等が提案されている [8,9]。ただしこれらは、目的とする方向と量だけカーソルを移動させることができる身体の運動機能を有することが必要である。また、肢体不自由者のカーソル移動に関する問題に対応するために、カーソル移動方向を 90 度刻みに回転させる設定ができ、マウス等の入力デバイスの置き方を変更できるようにした頸髄損傷者向けのマウスドライバ [10] の他に、同様の機能を備え 90 度ごとに設置の向きが変更できるトラックパッドや、縦または横移動のみにカーソル移動を限定できるジョイスティック [11] 等がある。しかしながら、肢体不自由者は同じ疾患名であっても運動機能の個人差は大きく、日々の体調や生活環境による影響もあること、進行性疾患であれば肢体不自由者自身の経時的な筋活動の変化もあることから、さらに多様な傾向を示す [12-14]。

5 カーソル移動制御ソフトウェア (CMC) の開発

そこで、肢体不自由者の多様な個別性に対応するポインティングデバイスの操作手段として、ポインティングデバイスの種類に依存することなく、肢体不自由者の運動機能に応じて適切なカーソル移動を実現するソフトウェア、カーソル移動制御ソフトウェア (Cursor Movement Control software 以下、CMC) を開発した。本章では、CMC の機能と対応する運動機能障害について述べる。

5.2 CMC の動作仕様

CMC はポインティングデバイス操作の方向と移動量 (以下, 倍率) を制御することで, 利用者の多様な身体状況と操作環境に対応できるようにしたソフトウェアである. 本開発では, 方向制御として独立制御モード (Separate control mode), 2方向モード (Bidirectional mode), 方向変換モード (Alternative mode) を実装した.

CMC の基本的なアルゴリズムを述べる. CMC はカーソル移動時に発生する Windows API メッセージを受け取りカーソル座標値を取得して制御を行う [15, 16]. パソコンディスプレイ上において (図 26), 現在のカーソル位置 $P(x_p, y_p)$ より, 利用者のポインティングデバイス操作によってベクトル M の操作がされ $M(x_m, y_m)$ に移動した時, カーソル移動量 L と方向 θ_m は (1), (2) 式となる. θ_m は現在位置 P を始点とするベクトル M と P を通る水平軸とがなす角である. そして予め設定した設定値 (制御方向 θ_c , 制御範囲 θ_w , 倍率 a) によってベクトル C に変換し, カーソルを $C(x_c, y_c)$ に移動させディスプレイ上に表示する.

$$L = \sqrt{(x_m - x_p)^2 + (y_m - y_p)^2} \quad (1)$$

$$\theta_m = \tan^{-1} \frac{y_m - y_p}{x_m - x_p} \quad (2)$$

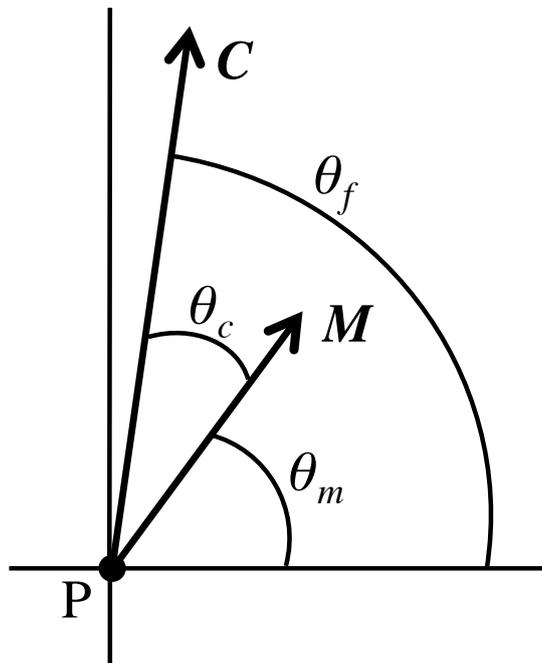


図 26 CMC のカーソル移動方向の制御

5.2.1 独立制御モード

独立制御モードは、操作者によるカーソル移動方向であるベクトル M の方向、つまり θ_m の値の変化に応じて適用する制御方向 θ_c と倍率 a を変化させ、(3) 式で求められる位置にカーソルを移動させるモードである。 θ_m の値の変化とは操作者のポインティングデバイス操作によるカーソル移動方向である。適用される設定値 (制御方向 θ_c , 倍率 a) と θ_m との関係を表 17 に示す。このように制御方向 θ_c , 倍率 a はそれぞれ 4 つの値 $\{\theta_u, \theta_d, \theta_l, \theta_r\}$ と $\{a_u, a_d, a_l, a_r\}$ を持つことができる。よって、座標軸は直交を保つ必要はなく任意の方向を設定することができる。

例えば図 26 のように θ_m が $45^\circ \leq \theta_m \leq 135^\circ$ の範囲でポインティングデバイス操作がされている時は、設定値 θ_u と a_u が適用され、ベクトル C への操作と見なされたカーソル移動とすることができる。ポインティングデバイス操作中に θ_m の方向が変化すれば、すなわち、Windows API からの座標値メッセージが出力される度に、その都度適用される設定値 (θ_c, a) も変化し、カーソル移動方向が決定される。

なお、 $\theta_u, \theta_d, \theta_l, \theta_r$ を全て同じ値とする場合、すなわち、図 27 のように座標軸の直交を保ったまま回転させたい場合は、制御方向として回転角 θ_{rot} を設定することができる。

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} \cos \theta_c & -\sin \theta_c \\ \sin \theta_c & \cos \theta_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_m \\ y_m \end{pmatrix} \tag{3}$$

表 17 独立制御モードで適用する設定値

θ_m の範囲	倍率 a	制御方向 θ_c
$45^\circ \leq \theta_m \leq 135^\circ$	a_u	θ_u
$-135^\circ \leq \theta_m \leq -45^\circ$	a_d	θ_d
$135^\circ < \theta_m < 225^\circ$	a_l	θ_l
$-45^\circ < \theta_m < 45^\circ$	a_r	θ_r

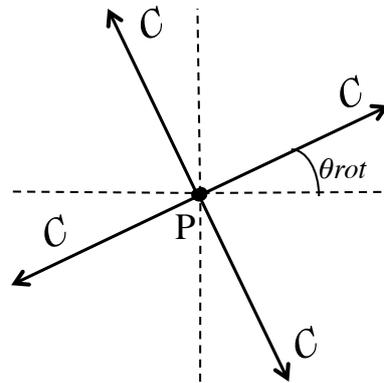


図 27 独立制御モードの時の座標軸回転設定

5.2.2 2方向モード

2方向モードは、操作者によるカーソル移動方向であるベクトル \mathbf{M} の方向(θ_m の値)に応じて適用する制御方向 θ_f と倍率 a を決定され、移動量 aL の垂直方向または水平方向の十字方向へのカーソル移動に変換するモードである。適用される設定値(制御方向 θ_f 、倍率 a)との関係を表18に示す。このように倍率 a は独立制御モード同様、4つの値 $\{a_u, a_d, a_l, a_r\}$ が設定できるが、制御方向 θ_f は上下左右のいずれかの動きとなるので定数である。ただし、どの範囲を上下左右への移動にするかの θ_m の範囲 $\{\pm\theta_{wu}, \pm\theta_{wd}, \pm\theta_{wl}, \pm\theta_{wr}\}$ と倍率 $\{a_u, a_d, a_l, a_r\}$ が個別に設定できる。例えば利用者による操作ベクトル \mathbf{M} が $-\theta_{wu} \leq \theta_m \leq \theta_{wu}$ の範囲内でされると、ベクトル \mathbf{C} と見なされて垂直上方向へカーソルが移動する(図28)。

2方向モードでは、WindowsのAPI関数からの座標値メッセージを受け取る度に、方向制御すると滑らかな移動ができず、意図しない方向に進んだり、階段状にマウスカーソルが移動して安定しないため、座標値メッセージ5回分の平均値を常に算出し、その値を $M(x_m, y_m)$ として扱った。

表18 2方向モードで適用する設定値

θ_m の範囲	倍率 a	制御方向 θ_f
$-\theta_{wu} \leq \theta_m \leq \theta_{wu}$	a_u	90°
$-\theta_{wd} \leq \theta_m \leq \theta_{wd}$	a_d	270°
$-\theta_{wl} \leq \theta_m \leq \theta_{wl}$	a_l	180°
$-\theta_{wr} \leq \theta_m \leq \theta_{wr}$	a_r	0°

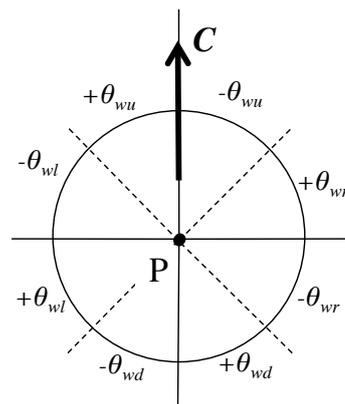


図28 2方向モード

5.2.3 方向変換モード

方向変換モードは、操作者によるカーソル移動方向であるベクトル M の方向 (θ_m の値) に応じて制御方向 θ_f と倍率 a を決定されるが、移動量 aL の垂直上下または水平いずれかにしか移動しないモードである。適用される設定値 (制御方向 θ_f , 倍率 a) との関係を表 19 に示す。倍率 a は 4 つの値 $\{a_u, a_d, a_l, a_r\}$ が設定できるが、制御方向 θ_f は上下左右のいずれかの動きとなるので定数である。どの範囲が上下移動または左右移動になるかの θ_m の範囲は図 19 のとおりである。回転角 $\theta_{rot} = 0$ とした時、 y 軸の両側それぞれ 60° の範囲が θ_m の範囲となる。両側 60° の範囲設定は固定値としたが、回転角 θ_{rot} を設定することによって、相対する 2 方向の向きを変化させることができるようにした。

図 29 のように θ_m の範囲内でカーソル移動がされている時、現在の変換方向が D_{ud} であれば垂直上下移動し、変換方向が D_{lr} であれば、水平左右移動する。変換方向の切り換えは、ポインティングデバイス操作実行後、設定された待機時間 T_d だけ現在位置にカーソルが停止すると、変換方向が現在までの方向からもう一方の変換方向に切り替わる。次回以降は同様に停止させることにより変換方向が切り替わる。また、変換方向が切り換わった時には音と、常駐している当該ソフトウェアのタスクバーが点滅し、操作者に知らせるようにした。このモードにおいても、2 方向モード同様、マウスカーソル移動を安定させるため、Windows API からの座標値メッセージ 5 回分の平均値を常に算出しその値を $M(x_m, y_m)$ として扱った。

表 19 方向変換モードで適用する設定値

変換方向	θ_m の範囲	倍率 a	制御方向 θ_f
D_{ud}	$\theta_{rot} + 30^\circ \leq \theta_m \leq \theta_{rot} + 150^\circ$	a_u	90°
	$\theta_{rot} - 150^\circ \leq \theta_m \leq \theta_{rot} - 30^\circ$	a_d	270°
D_{lr}	$\theta_{rot} - 150^\circ \leq \theta_m \leq \theta_{rot} - 30^\circ$	a_l	180°
	$\theta_{rot} + 30^\circ \leq \theta_m \leq \theta_{rot} + 150^\circ$	a_r	0°

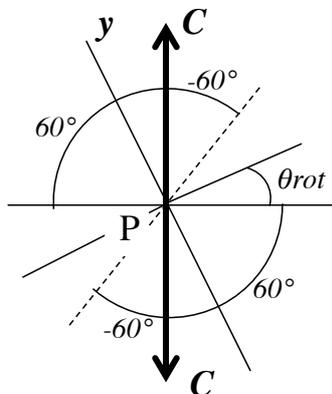


図 29 方向変換モード

5.3 ソフトウェアの制作

Microsoft Studio 2008 [17] を用い、C 言語にて制作した、.NET Framework Ver.2.0 [18] がインストールされた Windows2000 以降の Windows OS で動作し、常駐ソフトとして利用することができる。

CMC 設定の設定方法について述べる。図 30 は CMC 設定画面である。制御方法は Control mode のラジオボタンより、独立制御モード (Separate control mode)、2 方向モード (Bidirectional mode)、方向変換モード (Alternative mode) を選択することができる。3 つのコントロールモードのいずれかを選択した時、設定可能な設定値の入力場所をハイライトさせ、その他の部分はグレイアウト表示されるようにした (図 30 は独立制御モードの場合である)。

制御方向 θ_c 、制御範囲 θ_w の値設定は Angle/Range の所定の場所に数値にて入力する (単位は度)。なお、CMC による制御がされていない時 (OS のマウス設定に従っている設定。以下、CMC デフォルト値) の Angle/Range のは 0 度である。設定値の正負は左回りをプラス、右回りをマイナスと定義した。

独立制御モード時に適用する制御方向 θ_c は上 (Up, θ_u)、下 (Down, θ_d)、左 (Left, θ_l)、右 (Right, θ_r) にそれぞれ入力する。また、直交を保ったまま座標軸を回転させたい場合は、Rotation に回転角 θ_{rot} を設定する。2 方向モードに適用する制御範囲 θ_w は、上方 (\pm Up, $\pm\theta_{wu}$)、下方 (\pm Down, $\pm\theta_{wd}$)、左方 (\pm Left, $\pm\theta_{wl}$)、右方 (\pm Right, $\pm\theta_{wr}$) に個別設定する。

方向変換モード時には待機時間 T_d を Delay Time に入力する (1 秒から 10 秒の範囲で 1 秒単位で設定可能とした)。なお、変換方向が切り換わったことを知らせる音の ON/OFF は Sound ON のチェックボックスにて切り替える。

また、各モードで適用する倍率 a は Movement rate に上 (Up, a_u)、下 (Down, a_d)、左 (Left, a_l)、右 (Right, a_r) に設定する。なお、CMC による制御がされていない時の倍率の CMC デフォルト値は、Movement rate が 10 (× 1 倍) である。よって、Movement rate を 20 にした場合は倍率は 2 倍となる。倍率は 10 倍まで設定可能とした。

CMC の使用方法について述べる。CMC はパソコンにインストール後、スタートアップにショートカットを登録することで、起動時から利用可能となる。設定変更をするときはタスクバーをクリックして図 30 の CMC 設定画面を開き、必要な設定をした後、Apply ボタンをクリックするか、キーボードより “Alt+A” と入力すると、設定されたモードに従ってカーソル制御が開始される。実行しているカーソル制御を解除したい場合は、設定画面上の Cancel をクリックするか、キーボードより “Alt+C” を入力すると解除されるようにした。なお、CMC が起動しカーソルが制御されている間は、画面上のタスクバーに最小化されて常駐させるようにした。また、付加機能として現在の CMC では設定画面上の Test ボタンをクリックすると、カーソル移動の軌跡を記録する機能を装備した (詳細は第 6 章で述べる)。

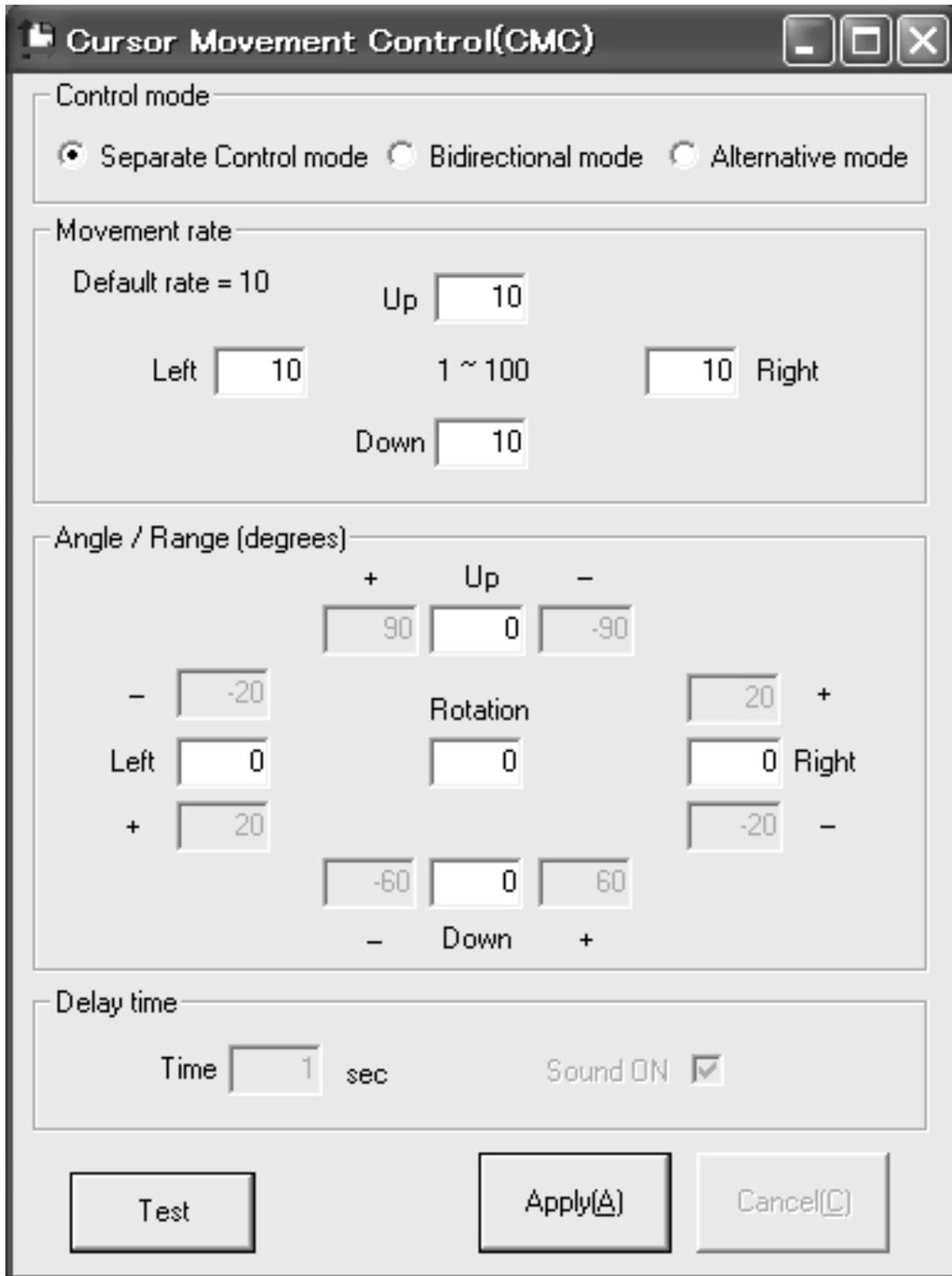


図 30 CMC 設定画面

5.4 想定した運動機能障害

独立制御モードは、関節拘縮や筋力低下等により可動域制限がある利用者に対して、操作しづらい方向がある場合や各方向への移動量が同程度に保たれていない場合に、方向ごとに個別調整することで操作可能とすることを想定したモードである。わずかな動きでも詳細に制御できるが、隣り合う θ_m の範囲付近では、がたつくようなカーソル移動の動きになる場合がある。解像度 $1,366 \times 768$ pixel のディスプレイにて確認したが、気になるような動きではなかった。ただし、高解像度のディスプレイや、グラフィック系のアプリケーションを利用する際は作業に支障をきたすことがあり得るので、 θ_m の範囲設定値の決め方の検討や、スムーズなカーソル移動をさせるための制御方法は、今後の課題である。

2方向モードは可動域制限だけでなく、不随意運動や運動失調等により巧緻性が低下している利用者に対して、確実かつ実用的なカーソル移動操作の実現を想定したモードである。ただし隣り合う θ_m の設定範囲を同じ数値に設定すると、場合によってはその設定角度付近にベクトル \mathbf{M} があると、階段状にカーソルが移動して操作しづらい場合がある。よって、隣り合う θ_m の範囲設定を重ねて設定するか、または、離して設定することで操作の安定性が向上する。

重ねて範囲設定した場合、ベクトル \mathbf{M} が重なり合っている設定範囲内であれば、現在の移動方向を保持するようにした。例えば $-\theta_{wu}$ と $+\theta_{wr}$ との設定範囲を重ねて設定した場合、 $-\theta_{wu}$ の範囲内でポインティングデバイス操作が行われているのであれば、重なっている設定範囲に入っても、垂直上方向にカーソルは移動する。そして $-\theta_{wu}$ とは重なり合わない $+\theta_{wr}$ の設定範囲にベクトル \mathbf{M} が入った時、右水平方向にカーソルが移動する。また、重なっている設定範囲内で一旦操作を止めてカーソルを停止させ、再びこの範囲内で操作をした時は、直前まで動いていた方向への移動を保持するようにした。このようにすることで安定したカーソル移動操作やインチング操作を可能とした。

隣り合う θ_m の範囲設定を離した場合、その範囲にベクトル \mathbf{M} があれば、どちらにもカーソルは移動しない。すなわち不感帯を設けることができる。不感帯を設けることで、不随意運動や運動失調等により意図しない時に触ってしまう誤操作を防止し、操作の安定性を向上させることを想定した。また、webカメラ等を利用し頭部や顔のある部分の動きを認識するポインティングデバイス [19,20] を利用する場合にも、有用であると考えられる。

方向変換モードは進行性疾患等のある人が現状よりさらに麻痺や筋力低下等により、可動域制限がみられるようになった場合であっても、限られた手指等の2方向の動きによってポインティングデバイス操作を利用し続けられるようにしたモードである。よってIII期レベルの肢体不自由者も対象とすることを想定している。

以上のような運動機能障害を想定した。第6章では肢体不自由のある利用者によるCMCの実証評価について述べる。

参考文献

- [1] 東京大学・学際バリアフリー研究プロジェクト: AT2ED エイティースクウェアード,
<http://at2ed.jp/> (2013.06.23 確認).
- [2] EmpTech Team: EmpTech,
<http://www.emptech.info/> (2013.06.23 確認).
- [3] REHACARE International: Messe Dusseldorf GmbH,
<http://www.rehacare.com> (2013.06.23 確認).
- [4] Assistive Technology Industry Association (ATIA): ATIA Conferences,
<http://www.atia.org/> (2013.06.23 確認).
- [5] 公益財団法人テクノエイド協会: 介護・実習普及センター情報, <http://www.techno-aids.or.jp/center/index.shtml> (2013.06.23 確認).
- [6] Fitts, P. M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement; *Journal of Experimental Psychology*, **Vol.47**, No.6, pp.381-391 (1954).
- [7] R. Balakrishnan: “Beating” Fitts’ law: virtual enhancements for pointing facilitation; *International Journal of Human-Computer Studies*, **Vol.61**, No.6, pp.857-874(2004).
- [8] Grossman T. & Balakrishnan R.: The Bubble Cursor: Enhancing Target Acquisition by Dynamic Resizing of the Cursor’s Activation Area; *Proceedings of CHI 2005 Conference on Human Factors in Computing System*, ACM, pp.281-290 (2005).
- [9] Worden A., Walker N., Bharat K. & Hudson S.: Making Computers Easier for Older Adults to Use: Area Cursor and Sticky Icons *Proceedings of CHI 1997 Conference on Human Factors in Computing System*, ACM, pp.266-271 (1997).
- [10] Ching-Hsiang Shih and Ching-Tien Shih: Development of an integrated pointing device driver for he disabled; *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, **Vol.5**, No.5, pp.351-358(2010).
- [11] AbleNet Inc.: Computer access products for people with disabilities,
<http://www.ablenetinc.com/Assistive-Technology/Computer-Access> (2013.06.23 確認).
- [12] Cook, A. M.& Polgar, J. M.: *Cook & Hussey’s Assistive Technologies: Principle and Practice Third Edition*, Mosby, pp.82-83, pp.252 (2007).
- [13] 西口宏美, 齋藤むら子: GUI 画面上での脳性麻痺者のマウスポインタの移動と位置決め作業についての一考察; 人間工学, **Vol.43**, No.3, pp.124-131 (2007).
- [14] 田中栄一: 筋ジストロフィー患者のパソコン操作と手指機能の特徴; 第 21 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.263-264 (2006).
- [15] Microsoft: Windows ストアアプリ API リファレンス, <http://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/apps/br211369.aspx> (2013.06.23 確認).

-
- [16] 桑井康孝: 猫でもわかる Windows プログラミング; ソフトバンククリエイティブ, 第3版, pp.129-137 (2008).
- [17] Microsoft: Visual Studio,
<http://msdn.microsoft.com/ja-jp/vstudio/aa718325> (2013.06.23 確認).
- [18] Microsoft: .NET Framework Ver.2.0 Service Pack2,
<http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=1639> (2013.06.23 確認).
- [19] Claro Software LTD. : Claro Facemouse, <http://www.clarosoftware.com/index.php?cPath=402>
(2013.06.23 確認).
- [20] Trustees of Boston College: Camera Mouse, <http://www.cameramouse.org/index.html>
(2013.06.23 確認).
- [21] 渡辺崇史, 畠山卓朗, 冨板充, 奥山俊博, 手嶋教之: 肢体不自由者向けカーソル移動制御ソフトウェアの開発と実証評価; 日本生活支援工学会誌, **Vol.13**, No.2, pp.29-36 (2013).

6 カーソル移動制御ソフトウェアのユーザビリティ実証評価

6.1 研究の目的

本章では、試作したカーソル移動制御ソフトウェア (以下、CMC) の有用性について検証する。ただし、本論の目的は多様な個別性に対応し、実際の相談支援に役立つ支援技術を開発することであることから、個人の変化に着目した検証を行うことが重要である。これは単一事例研究法による考え方であるが [1]、野呂は障害のある人の個々に特徴の異なる人たちへの指導法を考える場合に、平均的な一般的な傾向を知るよりも「個々の人たちが指導法によってどのように反応しているか」「効果が上がっていない人についてはどのような付加的な条件が必要なのか」などを具体的に考えることにより、より一般性のある指導法に行き着く可能性が高いと述べている [2]。

そこで本章では、日頃からポインティングデバイスを使ってパソコン操作をしている II 期レベルの肢体不自由者 (以下、ユーザ) に実験協力者として参加していただき CMC の実証評価を実施した。

最初に、ユーザへのインタビューを行った後、現在のトラックボール操作 (以下、CMC 適用前) の様子を把握するために、カーソルの移動軌跡を記録する実験 (以下、カーソル軌跡記録) とカーソル移動実験を実施した。その結果より、現在のポインティングデバイス操作の特徴と課題を明らかにした。

第二に、現在の課題を解決するために適用する CMC 制御モードとその設定値について検討した。選択した制御モードの各設定値は個別対応となるが、実際の支援時には利用者負担を軽減するために、大まかな設定値の指標を求めておくことが必要である。そこで比較対象者によるカーソル軌跡記録も実施し、CMC 設定値の決定方法について検討した。

その後再びカーソル軌跡記録とカーソル移動実験を実施し、CMC 適用によってどのような変化があったかを比較検討し、ポインティングデバイス操作に対する CMC のユーザビリティ (usability) について考察した。

6.2 実験の方法

6.2.1 実験計画

A 氏, B 氏 2 名のユーザの協力を得て実施した。2 名とも 10 年以上のパソコン利用歴があり, 脊髄性筋萎縮症 (Spinal Musclar Atrophy, SMA) [3,4] による運動機能障害を持つ。表 20 にユーザのプロフィールを示す。また, ユーザごとに決定する CMC 設定値を見積るために, パソコン操作に対して特段の配慮が必要のない健常者 (以下, 比較対象者) 4 名に対してカーソル軌跡記録を実施した。実験実施前には実験趣旨と概要説明を十分に行い, 個別に作成する所定の記録用紙への記入をもって参加協力の同意を得た。なお本実験は「日本福祉大学 人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を得て実施した。

表 20 ユーザプロフィールとパソコン操作

	A 氏	B 氏
年齢・性別・職業	20 代男性	
障害状況・利き手	SMA TypeII, 上肢 1 級, 体幹 1 級, 利き手は右	
パソコン操作 (マウスドライバ) (カーソル移動)	トラックボールを利用	改造対応された トラックボールを利用
(クリック操作)	右母指によってトラックボール部を操作	左母指による (外付けクリックスイッチ)
(文字入力)	OS 付属ソフトキーボードを利用, かな漢字変換に Google 日本語入力を併用	

A 氏は図 31(a) のように, 頭部を枕で支持し仰臥位にて床に置いたディスプレイに顔を向けて操作する。手首下部にクッションを置いて手首及び前腕部の免荷と支持をし, トラックボール操作の負荷にならないようにしている。トラックボールはハンドグリップ式 (品名: 使えてマウス HG2, 型式: 4DHG2/OFF-TABLE, 創朋製) を使用し, 右手でトラックボール本体を把持しながら操作する (図 31(b))。手指関節の可動域制限により, 母指の内転と第二指～第五指の伸展屈曲の動きによりカーソル移動の動きを行っており, 母指の内転方向への動きは自分自身の手に接触するため制限を受ける状況下であるため, 五指全てを同時に細かく動かし調整しながら操作を行っている。限られた部位での操作を強いられることから, 長時間の操作が手関節の炎症や痛みを引き起こす原因となっている。

B 氏は図 32(a) のように腰臀部付近にクッションを置いて体幹支持の補助をしつつ, 床に置いたディスプレイ側に顔を向けて仰臥位にて操作する。使用ポインティングデバイスは, トラックボール (品名: Click Ball, 型式: 0CID0001, CHERRY 製) に外付けマイクロスイッチにてクリック操作ができるように改造したもので, 右手側にトラックボール操作部を (図 32(b)), 左手側にクリック操作部を床に設置している (図 32(c))。右手母指で

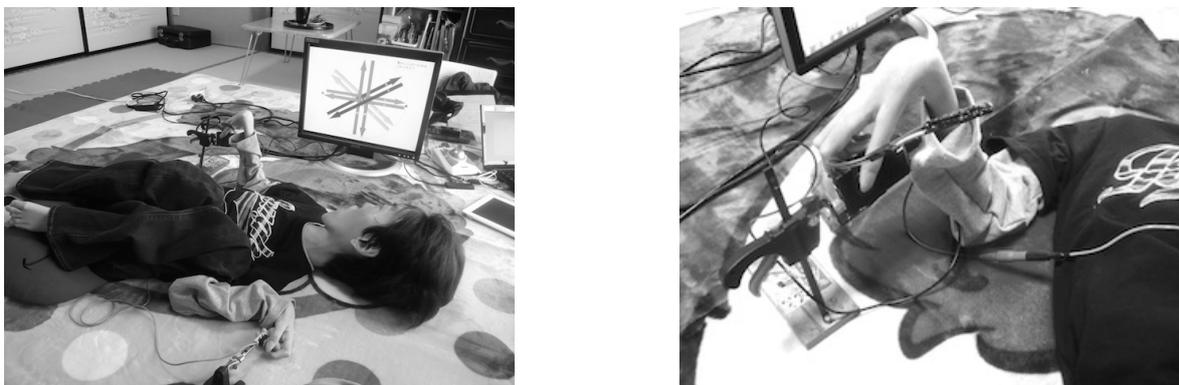
ボール部を操作してカーソル移動をし、クリックは左手母指で行う。手関節および手指の筋萎縮があり、右手母指はいずれの方向に対してもトラックボールを操作するだけの可動域がないため、それを補うため肘の屈曲伸展と肩関節の回旋の動きを組み合わせ、上肢の代償運動によりトラックボール部を操作する。このような操作環境では手指、肘とトラックボールの設置位置が重要となる。一定時間経過後の操作の疲れや手指位置のずれによって、相対的な位置関係がわずかに変化するたびに、介助者を呼んで修正する必要がある。



(a) 操作姿勢・環境

(b) トラックボール操作

図 31 A 氏のパソコン操作の様子



(a) 操作姿勢・環境

(b) トラックボール操作



(c) クリック操作

図 32 B 氏のパソコン操作の様子

カーソル軌跡記録とカーソル移動実験で利用した機材およびソフトウェアは次のとおりである。なお、ポインティングデバイスは入力装置として、実験用ディスプレイはカーソル移動課題等を表示する出力装置として記録用パソコンに接続した。

- ・ 実験用ディスプレイ (19 インチ液晶モニター, DELL 製, 型式 1950FP, 解像度 横 1280pixel × 縦 1024pixel)
- ・ 記録用パソコン:カーソル移動課題の起動およびカーソル移動軌跡記録用 (Hewlett-Packard 製 HP ProBook4420s, CPU Intel Core i5 2.67GHz, RAM4GB, OS Windows7 Pro. SP1).
- ・ カーソル移動記録用ソフトウェア:マウスレコーダー Ver.5.22(エムティ・ソフト製, シェアウェア). カーソル移動とクリック (押し下げ, 押し上げ時) によるイベント発生時の時間と実験用ディスプレイ上のカーソルポインタ座標値を記録する.
- ・ CMC Ver. 1.0.2 : 当ソフトウェアにはカーソル軌跡記録を含む ((図 30 の Test ボタンを押すと実行できる).
- ・ ポインティングデバイス : ユーザは日常使用の各自のトラックボールを使用. 比較対象者は II 期レベルの肢体不自由者に比較的好く用いられる据置型のトラックボール (Expert Mouse, 図 11(a)) を使用.

6.2.2 実施した実験課題

カーソル軌跡記録の課題 (図 33) は Microsoft Studio2008 を用い、C 言語にて作成した。課題の提示方法は CMC 設定画面 (図 30) にある “TEST” ボタンをクリックすると実験用ディスプレイ中央位置に表示され、図 33 のようにカーソル移動方向を指示するメッセージと目標線が表示される (領域サイズ横 640 × 縦 480pixel, 実測値では横 234 × 縦 168mm)。この時カーソルは課題の開始位置領域内の中央に表示される。操作者のポインティングデバイス操作によりカーソルが目標線を越えると、別方向への移動を指示するメッセージと目標線が表示されるので、操作者は一旦カーソルを開始位置領域内まで戻してから、指示された方向にポインティングデバイス操作を行う。カーソル軌跡記録は上下左右 4 方向が必ず 1 回ずつ指示されるようにした。

この操作が上下左右 4 方向に対して全て行われると、画像データとして保存できるように、4 方向のカーソル移動軌跡の線図を表示させ、同時に以下の数値をログデータとしてテキスト形式で自動記録した。なお、この時の始点とは、カーソル移動を指示するメッセージが表示された後、開始位置領域内でカーソルが動いた直前の座標値である。終点とはその指示された方向への目標線を越えた時の座標値である。なお、カーソル移動実験で行うカーソル移動課題は、第 4 章「4.2.1 実験計画」で述べた課題 (図 16) と同一とした。

- ・ 最終角度：各方向の始点と終点を結ぶ直線がその方向の座標軸となす角度 (度)
- ・ 直線距離：各方向の始点から終点までの直線距離 (pixel)
- ・ 移動時間：各方向の始点から終点まで移動させたときにかかった時間 (sec)

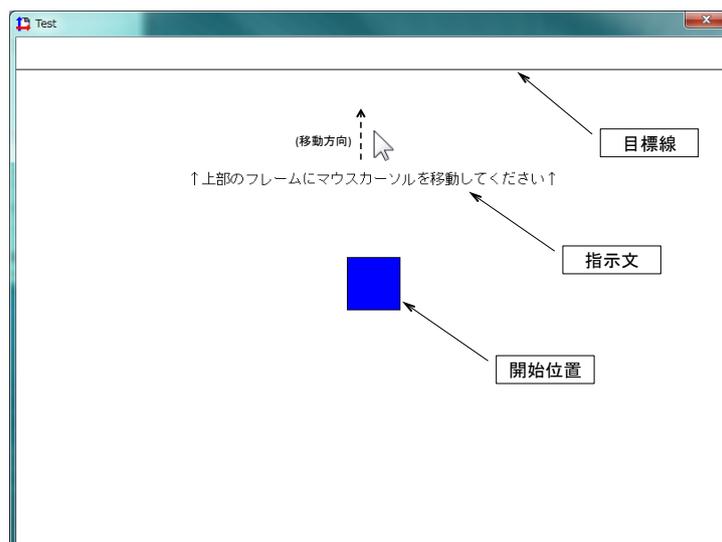


図 33 カーソル軌跡記録

6.3 CMC パラメータの設定方法

独立制御モードの制御方向と倍率の決定方法は、まずカーソル軌跡記録の結果から数種類の仮設定値を求め、その仮設定値にて CMC を適用してカーソル軌跡記録を実施した。そして、ユーザ自身が良好であると思った仮設定値を基にして、数回のトラックボール操作を繰り返して調整した後、最終的な設定値を決定した。

CMC 適用前のカーソル軌跡記録より、初動角度 (カーソル軌跡記録の線図データにおいて、始めてカーソル移動方向が変わった点と始点を結ぶ直線がその方向への座標軸となす角度の実測値)、移動速度 (直線距離/移動時間)、移動速度比 (ある方向の移動速度/4 方向分の移動速度平均値) を算出した。

制御方向 $S\{\theta_u, \theta_d, \theta_l, \theta_r\}$ の仮設定値 $S_1 \sim S_5$ を表 21 に示す。仮設定値は基準値と調整対象値との角度差とした。仮設定値はユーザ内調整 ($S_1 \sim S_3$) と比較対象者間調整 (S_4, S_5) の 2 群に分けた。ユーザ内調整とは各方向への座標軸を沿った移動ができるようにすることを意図した設定であり、比較対象者間調整とは、健常者である比較対象者グループと同様なカーソル移動傾向にさせることを意図した設定である。調整対象値は各ユーザ 5 試行分の最終角度または初動角度からの算出値とした。よって、 S_1 ではその方向の座標軸から最も大きな変位を制御すること、 S_2, S_3 は座標軸周囲に分布する軌跡となるように制御する設定である。

倍率 $a\{a_u, a_d, a_l, a_r\}$ の仮設定値は、移動速度比を求めて検討した。移動速度比の小数点以下を四捨五入した時、2 未満であれば差がないと見なして倍率を変化させないこととし、2 以上の場合はどの方向の倍率を変化させるか検討した。

表 21 制御方向の仮設定値

仮設定値	ユーザ内調整			比較対象者間調整	
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
	初動角度		最終角度	最終角度	
調整対象値	最大値	中央値		中央値	
基準値	座標軸 (0, 90, 180, 270 度)			比較対象者の 中央値	10-90% タイル値
算出方法	(基準値) - (各ユーザの調整対象値)				

6.4 実施の手順

ユーザによる実験は自宅に訪問して日常の操作環境にて実施した。実施前に体調を確認し、機材のセッティング、ユーザへの説明、姿勢の確保、実験の実施、実施後のインタビュー、そして後片づけを合わせて1日あたりおよそ90分を越えないようにした。また、実験途中であってもユーザの訴えがあれば休憩時間を確保した。CMC適用前後とCMC設定値の調整時の試行回数は、ユーザへの負担を大きくしないため一条件あたり最大5試行とした。ただし、試行回数を重ねても結果に影響を及ぼさない場合、実施しなくても結果が分かっている場合、ユーザを疲れさせて次の試行への影響が考えられる場合は、その条件での試行を中断した。なお基本的に本人の訴えにより各種対応を行うが、日頃のパソコン操作時間や時間帯、事前インタビューの内容(家族から聞き取った意見等も含む)、実験実施者の所見や試行中の観察等から、休憩時間の確保、試行回数や実施日の変更等を行った。

実験用ディスプレイ設置位置と操作姿勢については、ユーザに確認をとりながら、操作に負担のない姿勢でかつ、外光等による見づらさがなく十分に視認できる位置に設置した(図31(a)、図32(a))。今回のディスプレイと目との距離は、A氏は距離700mm、B氏は420mmとした。操作姿勢については、基本的にユーザの指示により操作の妨げとなる身体への圧迫の除去、トラックボールの配置や手を置く位置の調整等を実験実施者(筆者)が行い、その適否についてユーザ自身が判断した。

比較対象者はユーザ同様母指での操作とし、テーブルに設置した実験用ディスプレイに向かい合うように椅子に座らせて実施した。その時の設置環境、操作姿勢、トラックボール操作の諸注意等については、単指でのトラックボール操作による肢体不自由者を想定して実施した第3章「3.2.1 実験計画」と同条件で実施した。

トラックボールの操作に関しては、ポインティングデバイス自体の操作特性を比較する場合できるだけ速く操作することを求めることがあるが[5]、本研究では肢体不自由者の日常的なパソコン操作を対象としているため、ユーザへは特段の指示や制約は設けず、各ユーザが日常行っている方法で可能な速さで操作すればよいことを指示した。

カーソルポインタ移動速度等の設定はWindows7のマウスプロパティ設定画面より行った。本実験では加速度変化が結果に影響しないように、“ポインタの精度を高める”のチェックボックスをOFFにした。ユーザのカーソル移動速度はCMC適用前は日常使用している速度設定とし、A氏と比較対象者はポインタ速度スライダを中央位置に、B氏は速度の速い方側の8目盛目とした。

カーソル軌跡記録時のトラックボール操作については、開始位置よりできるだけ垂直または水平に目標線に到達することを意識してカーソル移動することを求めた。カーソル移動実験時のクリック操作は、ターゲット領域内にカーソルが入っていれば押しでもよいことを周知させた。もしターゲット領域外で押したことに気がついた場合には、その試行を

中断せず次に表示される試行を最後まで続けることをユーザに指示した。

カーソル移動実験においては、カーソル移動課題の各試行終了直後には操作しづらかった方向の回答を求める画面を表示し、ユーザに回答を求め(複数回答可)、その回答度数を集計し、CMC適用前後での比較をした。合わせて、ユーザにはCMC適用前では現在のトラックボール操作に関する意見を、CMC適用後ではCMC適用がトラックボール操作に関してどのような影響があったか総括的な意見を求めた。

また試行中に記録されたカーソルイベントより、カーソル移動に要した時間、開始ターゲットからの初動方向、終了ターゲット近傍でのターゲット接近操作方法を算出し、CMC適用前後の結果を比較するが、これらの集計方法は第4章「4.4 取得するデータと評価方法」に述べた方法と同一とした。

6.5 カーソル移動実験の結果

ユーザによる実験は日常生活のスケジュールを大きく変更しないこと等に配慮し、自宅訪問にてのべ4日間で実施した。操作姿勢は身体やクッションの位置等を微調整することで操作に支障をきたす姿勢をとることがなかったことを、ユーザからの訴えと実験実施者の目視および触手にて確認した。

トラックボール操作に関しては指示された方法で実施され、過度に遅い操作や操作の中断がなかったこと、カーソル軌跡記録では開始位置内から始まり目標線を越えて終わっているかどうか、カーソル移動実験ではターゲット内でクリックされたかどうかについてを、試行中の目視での観察とカーソルポイント座標値記録より確認した。なお、B氏のCMC適用前のカーソル移動実験にターゲット内でクリックされていない試行が1回あったため、後述するカーソル移動時間から排除し、ユーザからの操作しづらかった方向に対する訴えのみ結果に組み入れた。

また比較対象者によるカーソル軌跡記録は、4名(男性2名、女性2名、平均年齢32.2歳)で実施した。トラックボール利用経験は1名があるものの日常的に利用している者はいなかった。パソコン利用歴は5~25年の幅があったが、カーソル移動操作に特段問題はなかった。操作手指は全員右手であった。1名は利き手が左手であったが、日常マウスは右手で操作しているため特段の問題はなかった。実験に要した時間は、各条件下での設定、練習、本試行を含めて一人あたり15分以内であり、疲労による影響を考慮しなければならない時間ではなかった。また、実験用ディスプレイとの距離は400~640mmを確保し、トラックボールに対する手指の置き方は正常関節可動域内[6]であり、無理な肢位をとることなく指示された方法での操作であったことを目視での観察にて確認した。

6.5.1 ユーザ評価

カーソル移動実験は各ユーザ 5 試行実施した。操作しづらかったカーソル移動方向はユーザの回答より図 34(a) のような回答度数分布結果が得られた。ユーザに共通するカーソル移動操作しづらかった方向は、**Rd**方向への操作であった。A 氏の場合は「**Rh**方向への操作が特にやりにくく、下方向へずれていってしまう」、B 氏は「特に**Dv**方向の真下へ動かすことが難しく、いつも時間がかかる」という回答を得た。

各ユーザごとの方向別カーソル移動時間の平均値を 1 とした時、方向別カーソル移動時間との比を図 34(b) に示す。A 氏は若干ではあるが右方向への操作に、B 氏は極端に真下方向への操作に時間がかかっていた。この結果より A 氏は移動方向に依存する移動時間のばらつきが小さく、B 氏はばらつきが大きくなる操作法であることがわかった。

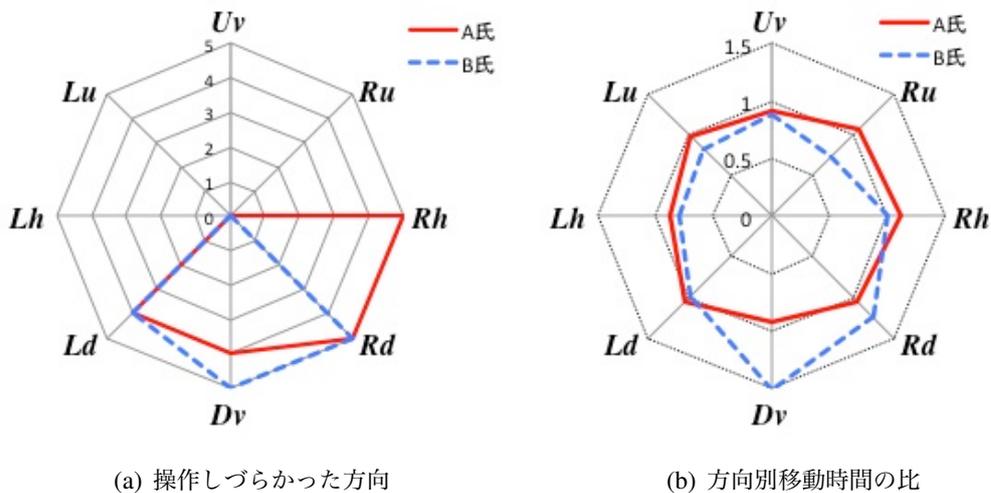
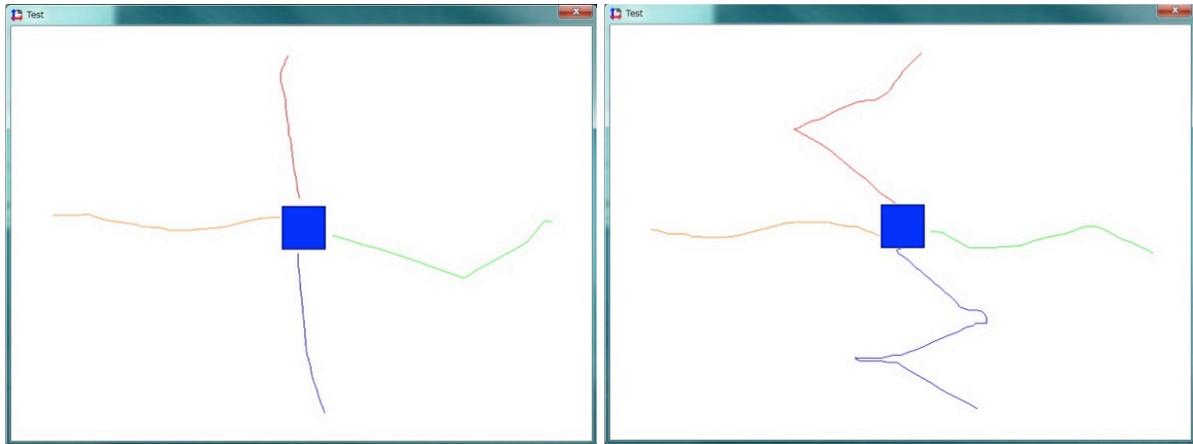


図 34 ユーザのカーソル移動操作の特徴

カーソル軌跡記録は各ユーザ、比較対象者とも5試行実施した。図35(a)、図35(b)は各ユーザの典型例である。A氏は右方向に、B氏は上下方向に特徴のある軌跡を示した。比較対象者はいずれも同様な軌跡であったので、その1例を図36に示す。



(a) A氏

(b) B氏

図35 CMC適用前のカーソル移動軌跡

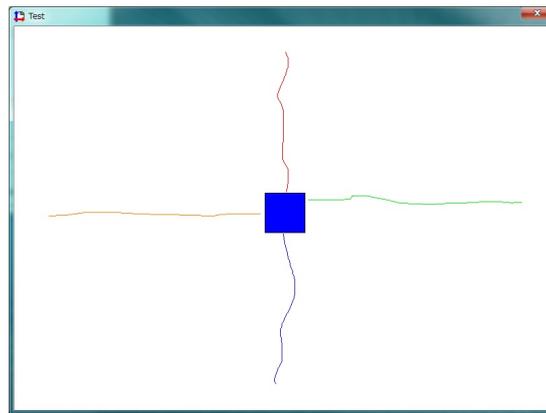


図36 比較対象者:カーソル移動軌跡

以上のように、移動時間の比や移動軌跡とユーザの主観的評価とは同様な傾向を示した。その結果、A氏は特定の方向に対して操作の困難さがあるので独立制御モードを、B氏には特定の方向に対して操作の困難さがあるだけでなく移動経路が長くなる移動方向があることから、独立制御モードと2方向モードを適用することとした。

6.5.2 CMC 設定値の決定

独立制御モードの制御方向と倍率を決定するために、カーソル軌跡記録の結果から仮設定値を求め、ユーザの試用評価を実施した。A 氏、B 氏両者に適用する独立制御モードにおいて、表 22 のように制御方向 S_1 から S_5 と倍率 S_A , S_B の仮設定値を求めた。比較対象者の終始点角度の中央値が 0 であったため、結果として S_3 と S_4 は同じ設定となった。倍率については、A 氏の移動速度比が 2 を越えなかったため、倍率設定は行わなかった。B 氏は現在の設定値に対して上方向を 3 倍、下方向を 5 倍と設定した。

表 22 試した仮設定値 (θ の単位は度)

候補	A 氏				B 氏			
	θ_u	θ_d	θ_l	θ_r	θ_u	θ_d	θ_l	θ_r
S_1	+10	-15	+15	-20	+60	+50	-20	-30
S_2	0	0	+8	-2	-10	+40	-10	-30
S_3, S_4	+5	+1	+3	-1	-12	+30	0	0
S_5	0	0	0	0	-6	+23	0	0
a_A, a_B	a_u	a_d	a_l	a_r	a_u	a_d	a_l	a_r
	$\times 1$	$\times 1$	$\times 1$	$\times 1$	$\times 3$	$\times 5$	$\times 1$	$\times 1$

B 氏に適用する 2 方向モードについては、図 35(b) の上下方向の軌跡のようなジグザグした動きから意図するカーソル移動方向への操作だけを抽出するが、今回はデフォルト設定 (垂直上下軸と水平方向軸を $\pm 45^\circ$ で分割) による方向制御を行った。A 氏には、独立制御モードにて 4 条件 (方向設定 S_1, S_2, S_3, S_5) での試行を設定し、B 氏には独立制御モードでの 9 条件 (方向設定 S_1, S_2, S_3, S_5 の 4 候補との倍率設定の有無による組み合わせと、倍率設定のみの場合) と、2 方向モード 1 条件 (デフォルト設定) の計 10 条件を設定した。ユーザはこれらのうち操作しやすいと感じた条件を選択し、その条件を基にしてさらに個別に調整を行い最終的に適用するモードと設定値を決定した。

試用評価の結果、ユーザ自身が良好であると感じた仮設定値に対して、A 氏からは設定 S_2 がよいという回答を得た。他の設定については、「右方向に動かすとカーソルが上に動いていってしまう」(S_1 時)、「いつものように左右が動かしにくい」(S_5 時) という意見であった。その後さらに個別調整を行い、設定値 $S_A\{\theta_u, \theta_d, \theta_l, \theta_r\} = \{0, 0, +8, -10\}$ (度) とした (表 23)。

B 氏については、方向設定のみを変化させた 4 条件では S_3 がよいという回答を得たので、数回の調整後、設定値 $S_B\{\theta_u, \theta_d, \theta_l, \theta_r\} = \{-12, +10, 0, 0\}$ (度) とした。しかし「自分の動かしたい方向にカーソルが行かず、どちらに動かしたほうがよいのかとまどってしまう」という評価で、各方向が個別に設定されないほうがよいという意見を得た。そのた

め、倍率を組み合わせた条件は余計に混乱して使いづらくなると考えたため実施せず、制御方向と倍率とは分けて検討した。

そこで、倍率のみの変更を適用し、調整を試みたところ、 $a_{B2}\{a_u, a_d, a_l, a_r\}=\{\times 3, \times 4, \times 2, \times 2\}$ (倍)が S_B よりも操作しやすいという意見を得た。この設定でもB氏はやはり「自分で操作したい方向に進まなかったり、余計に進んでしまったりして操作感があまり良くない」ということだったので、同一倍率とする $a_{B1}\{a_U, a_D, a_L, a_R\}=\{\times 2, \times 2, \times 2, \times 2\}$ (倍)を設定した。一方、2方向モードについてはB氏の意図する方向にカーソルを動かすのが難しく、ターゲットにカーソルを合わせるのが困難だったこと、「手の動きを受け付けてくれないので、余計に時間がかかり操作しづらい」という回答と得たので以降の試行を中断し採用しなかった。その結果、設定値は同一倍率の a_{B1} と、 a_{B2} を適用することとした(表24)。

表23 適用する設定値: A氏
(数値の単位は度)

	θ_u	θ_d	θ_l	θ_r
S_A	0	0	+8	-10

倍率 a は設定しない

表24 適用する設定値: B氏

	a_u	a_d	a_l	a_r
a_{B1}	$\times 2$	$\times 2$	$\times 2$	$\times 2$
a_{B2}	$\times 3$	$\times 4$	$\times 2$	$\times 2$

制御方向 θ_c は設定しない

6.5.3 CMC の効果測定

A 氏には独立制御モードで設定値 S_A を適用して 5 試行, B 氏には独立制御モードで設定値 a_{B1} と a_{B2} を適用して合わせて 5 試行のカーソル軌跡記録とカーソル移動実験を再度実施した。

CMC 適用後のカーソル軌跡記録を A 氏は図 37(a) に, B 氏は図 37(b), 図 37(c) に示す。両ユーザとも図 36 に近い軌跡となった。A 氏は CMC 適用前 (図 35(a)) と比べると, カーソル移動操作がしづらいと訴えあった Rh 方向への操作の傾きが制御され補正されているのがわかる。B 氏は倍率が大きくなったので, 特に CMC 適用前 (図 35(b)) の上下方向のジグザグした動きがなく目標線まで達するようになった。

操作しづらかったカーソル移動方向と総括的な意見を聞いたところ, A 氏からは「 Rh 方向が特に動かしやすい, まっすぐカーソルが動くようになった」「全ての方向がスムーズに動くようになった」「指を動かす回数が減ったように感じる」「がんばって指を動かさなくてもよい」「慣れてくると良さは感じなくなりそうだが, 元の設定 (CMC 適用前) に戻すと今までのやりづらさがはっきりわかる」という回答を得た。また, CMC 適用前の特定の方向への操作のしづらさの訴えはなくなった。

B 氏からは独立制御モード設定値 a_{B2} では, 「思った方向にカーソルが動いてくれない時や, 違った方向に動いてしまう感じがする」という回答で, 設定値 a_{B1} では「手指の疲れにかかわらず全体的にカーソルが速く動いてくれることが一番楽に感じる」という回答を得た。CMC 適用前の特定の方向への操作のしづらさについては「なくなることはないが, かなり楽になる」という回答を得た。

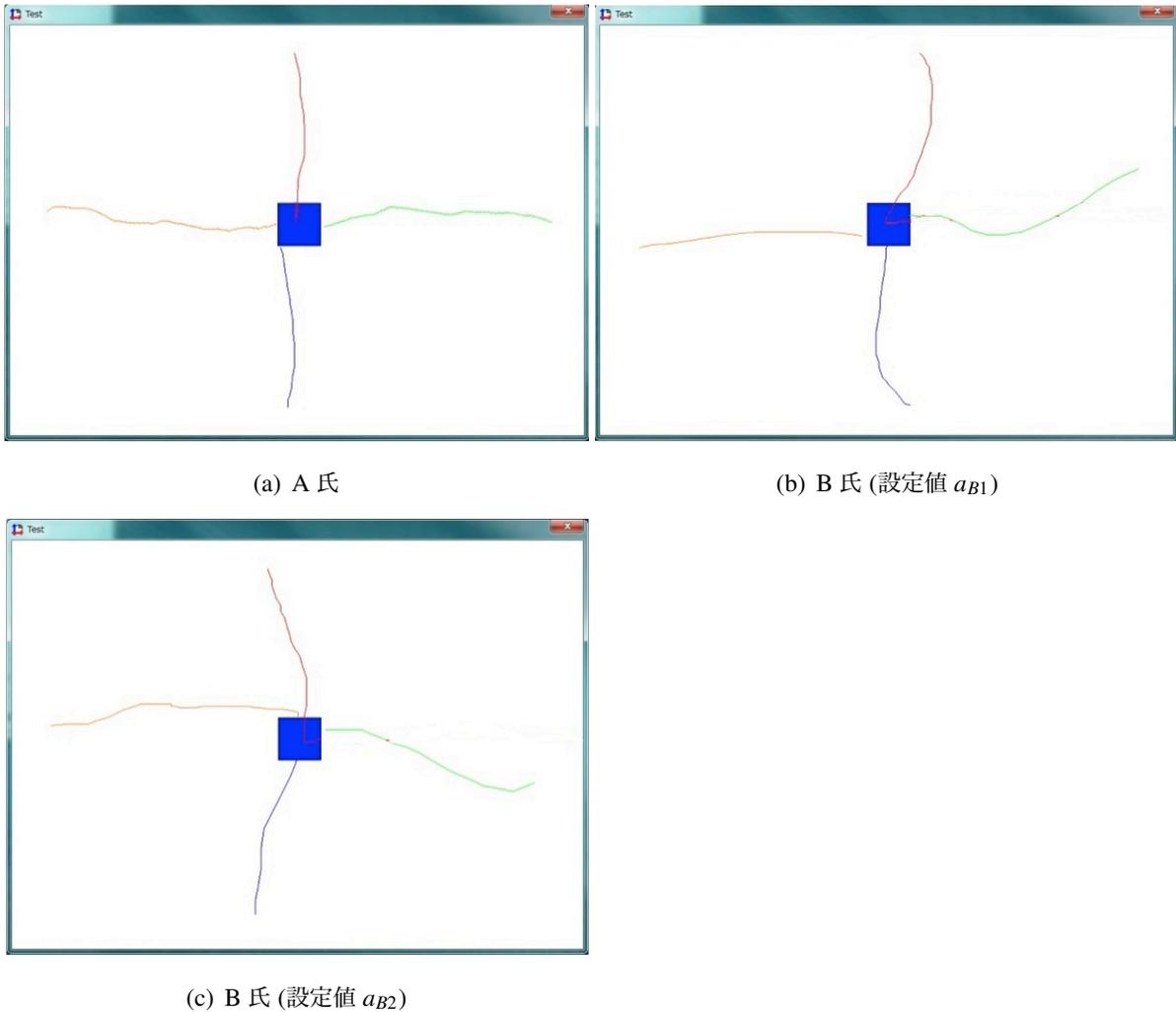


図 37 CMC 適用後のカーソル移動軌跡

CMC 適用前後のカーソル総移動時間比較を図 38 に示す。A 氏, B 氏とも CMC 適用後のカーソル総移動時間は短くなった。A 氏の場合は有意差が認められ ($p < 0.01$), CMC 適用前のカーソル移動総時間の平均値とレンジは, それぞれ 32.6sec , 5.6sec であったが, CMC 適用後は 20.4sec , 6.9sec となり, 平均時間が 10sec 以上短くなった。レンジは 1.3sec 大きくなったものの, CMC 適用後の最大値は CMC 設定前の最小値よりも下回っていた。B 氏の場合, CMC 適用前後の試行回数が異なるため, 有意差検定 (対応のある t 検定) ができなかった。CMC 適用前の平均値とレンジは 48.2sec , 13.2sec であった。CMC 適用後の設定値 a_{B1} と a_{B2} 適用時の平均値とレンジは, 44.2sec , 11.1sec となり, CMC 適用前よりも平均時間は 4sec , レンジは 2sec 小さくなった。設定値 a_{B2} を適用時の最大値は, CMC 設定前の最小値よりも下回った。しかしながら, 図 38 に示した個々の総移動時間結果のばらつき具合からは有意差はないと読み取れた。

次に CMC 適用前後の方向別移動時間の比を図 39 に示す。A 氏は移動時間がかかっていた右方向への操作を方向制御したことにより短くなり, 全方向が同程度の速さで移動できるようになった。B 氏の場合は CMC 適用前とは異なる分布となった。

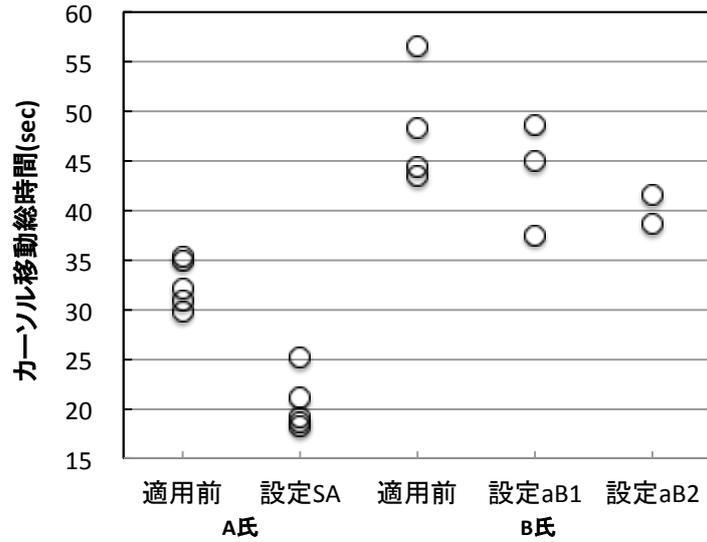


図 38 カーソル総移動時間の比較

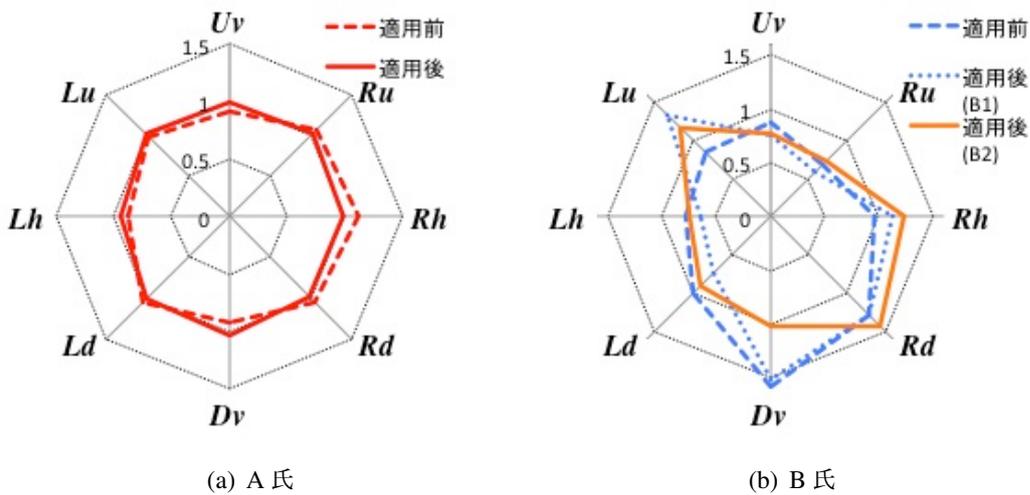


図 39 方向別移動時間比の比較

CMC 適用前後の初動方向の割合を表 25 に示す。ユーザごとに比較すると、A 氏は CMC 適用前後とも変化はなかった。B 氏には CMC 適用前と適用後の 2 設定値に対して、Fisher の性格かつ率検定を行ったところ $p = 0.06$ となり、差が認められる傾向にあった。

CMC 適用前後のターゲット接近方法の分布 {Fw, Ss, Op} の違いについて、Fisher の正確確率検定を行ったところ、A 氏の場合は CMC 適用前に操作がしづらいと回答のあった移動方向である、*Dv*、*Rd*、*Ld* に有意差が見られた ($p < 0.01$)。B 氏の場合は MC 適用前に操作がしづらいと回答のあった移動方向である、*Dv*、*Rd* 以外に、*Lh*、*Rh*、*Lu*、*Ru* に有意差が見られた ($p < 0.05$)。この有意差のあった方向のみを A 氏は図 40 に、B 氏の場合を図 41 に示す。

表 25 初動方向の割合比較

		CMC 適用	Fw	Ss	Op
A 氏	前		100%	0%	0%
	後		100%	0%	0%
B 氏	前		72%	16%	13%
	後, 設定値 a_{B1}		75%	21%	4%
	後, 設定値 a_{B2}		63%	25%	13%

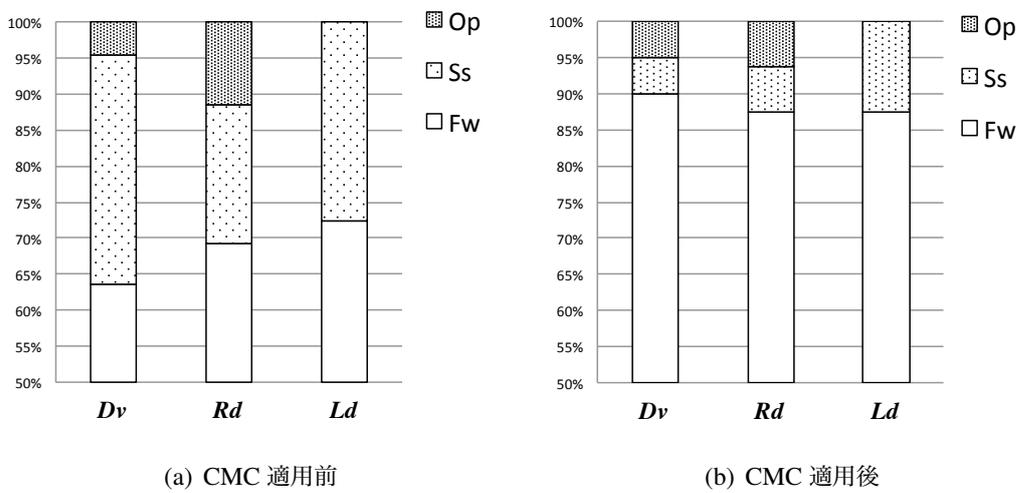


図 40 CMC 適用前後のターゲット接近操作の比較 (A 氏)

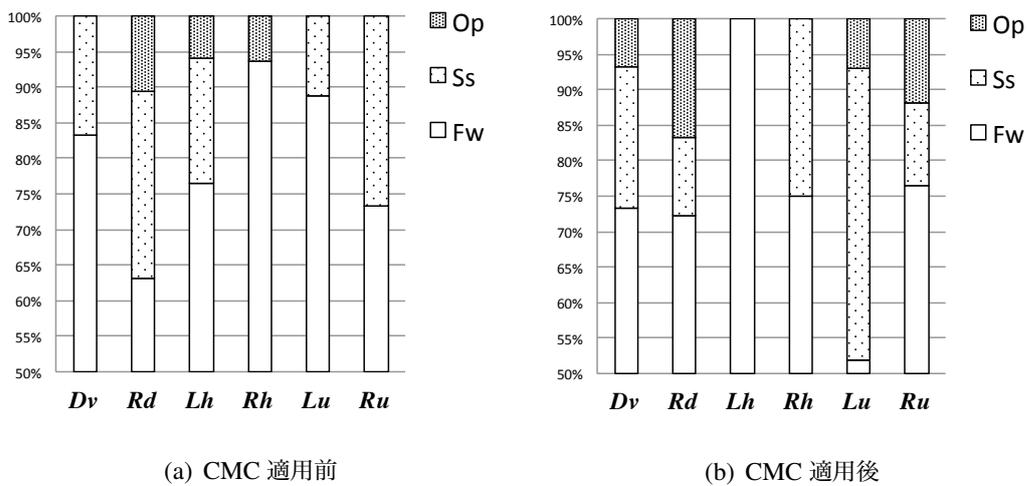


図 41 CMC 適用前後のターゲット接近操作の比較 (B 氏, 設定値 a_{B1}) 時

6.6 考察

CMC 独立制御モードの適用は、A 氏には各移動方向への操作時間のばらつきも小さくなるとともにカーソル総移動時間が短縮され、ユーザ自身の評価においても効果的に作用したことがわかった。B 氏へは、全体のカーソル移動倍率を上げることが有効に作用することがわかった。

ポインティングデバイスの実証評価において、Tanimoto らはマウスカーソル操作軌跡データからクリック操作、移動操作、位置決め操作の時間を算出し、その変化に着目して評価を行った [7]。ここでは、ポインティングデバイス操作時の移動時間、マウスカーソルの動き、ユーザの主観的評価より CMC のユーザビリティについて考察し、さらにユーザの操作方法の特徴から他の肢体不自由者への CMC 適用可能性について検討する。

6.6.1 ユーザビリティ評価指標

ここではユーザビリティの概念を参照して、CMC を検証する際の指標について述べる。Nielsen はユーザビリティを、学習のしやすさ (learnability)、効率 (efficiency)、記憶のしやすさ (memorability)、エラー発生率 (errors)、主観的満足度 (satisfaction) といった 5 つの特性からなる構成要素に分けて定義している [8]。この定義によるユーザビリティ評価においては、それぞれの構成要素が問題のないようにすることと考えられており、例えば、インタフェースがわかりやすく設計されていて間違いなく課題が達成できるか等、non-negative な特性の集合となっている [9]。

一方、JISZ8521 人間工学-視覚表示装置を用いるオフィス作業-使用性についての手引 (ISO9241-11:1998 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals(VDTs) - Part11:Guidance on usability) では、ユーザビリティを使用性 (usability) という言葉を用いて「ある製品が、指定された利用者によって、指定された利用の状況下で、指定された目的を達成するために用いられる際の、有効さ、効率及び利用者の満足度の度合い」と定義している [10]。評価尺度となる有効さ (effectiveness) については「利用者が、指定された目標を達成するうえでの正確さ及び完全さ」とし、効率 (efficiency) は「利用者が、目標を達成する際に正確さと完全さに関連して費やした資源」とし、満足度 (satisfaction) は「不快さのないこと、及び製品使用に対しての肯定的な態度」と定義している。

本論の目的は「多様な個別性に対応する支援技術」という課題に取り組むことであるから、利用者を主体に定義している JISZ8521(ISO9241-11) を参照して検証することとした。そこで、表 26 のように指標を定め、CMC 適用によって有効性、効率、満足度がどのように変化したかをユーザごとに考察した。

表 26 CMC 適用によるユーザビリティ評価の指標

有効性 (effectiveness)	<ul style="list-style-type: none"> ・操作に混乱を招かなかったか ・指示する方向に正確に移動できたか
効率 (efficiency)	<ul style="list-style-type: none"> ・カーソル移動操作が短時間でできるようになったか ・操作しづらかった方向が楽になったか
満足度 (satisfaction)	ユーザの主観的評価はどうだったか

6.6.2 CMC の効果

(1) 有効性

CMC 適用後のカーソル軌跡記録より両ユーザとも正確さが向上したように見える。A 氏は総括的な意見からもわかるように、CMC によるベクトル制御は本人の手指動作を補助するように有効に作用した。しかし B 氏は、方向や倍率を個別設定した時には「どちらに動かしたらよいかわからなくなる」という操作への混乱があった。これは慣れにより解消されとも考えられるが、B 氏のような粗大動作による操作方法は、操作姿勢の不安定さ等による変動要因が大きいいため、個別設定にすると有効性が低下してしまうと推測する。

(2) 効率

カーソル移動時間の変化では、A 氏には時間短縮の効果が大きく特定の方向への操作のしづらさが解消され、効率が向上した。一方、B 氏からは倍率が大きいほうが楽に操作できるという意見を得たので、さらに倍率を大きくすることでカーソル総移動時間の短縮が期待できるが、方向別移動時間比が CMC 適用前とは異なる分布を示したことから (図 39(b))、ある倍率以上では操作に対する正確さに影響を与え効率低下の原因になると考えられる。

カーソル移動時間の変化では、A 氏には時間短縮の効果が大きく特定の方向への操作のしづらさが解消され、効率が向上した。また、初動方向の割合は変化なかったが、ターゲット接近操作において CMC 適用前に操作がしづらいと回答のあった移動方向 Dv , Rd , Ld の Fw の割合が有意差に増えたことから、効率良く操作がされたことが考えられる。

B 氏からは倍率が大きいほうが楽に操作できるという意見を得たので、さらに倍率を大きくすることでカーソル総移動時間の短縮が期待できるが、方向別移動時間比を見ると (図 39(b)) 操作時間が短くなった方向もあるが、長くなった方向もあったので、ある倍率以上では操作に対する正確さに影響を与え効率低下の原因になると考えられる。この点は、初動方向の割合に変化があったこと、特にターゲット接近操作で有意差のあった方向では Dv , Lh を除き、 Fw 方向の割合が減り、 Op や Ss の割合が増えていることから推測できる。

(3) 満足度について

また満足度については前節に述べたように A 氏にとって CMC 適用が大変良好であり、今後も使ってみたいとの意見を得て満足度の向上に繋がった。B 氏においては楽に操作できるようになったとの意見を得たが、最も良好だったのは全方向同倍率での設定であり、現状のマウスドライバでも対応可能であるため、直接的に満足度向上には関与しなかった。以上の検討より、CMC は A 氏には効果的に作用し、B 氏には制御方向や倍率を個別に制御すると有効性、効率性の低下を招き、その結果として満足度を低下させる恐れのあることがわかった。

6.6.3 他の障害への展開可能性

次に可動域制限がある場合の操作方法の特徴から考察する。A 氏のような操作方法をばらつきのある直接操作型とした時、リウマチ等の関節疾患や筋ジストロフィー、筋萎縮性側索硬化症等の神経筋疾患により、可動域制限や変形がある状態では、同様に個別に移動方向と倍率を制御することで CMC の独立制御モードは効果的に作用すると考えられる。

一方、B 氏の操作方法を粗大動作による交番操作型とした時(交番とは方向と量が変化するという意味)、B 氏のような随意的な操作では、カーソル移動経路は本人の代償動作方法に依存するため、操作の正確さ(有効性)とのトレードオフ [11,12] ではあるが、本人の操作(移動量)の倍率を上げて補助することが有効である。なぜならば図 37(b)、図 37(c) が示すように、倍率を上げることで可動域を大きくすることと同等の効果を上げることができるため、交番操作で代償する必要性が低下するためである。

同様に頸髄損傷等によるマウススティックやタイピングエイド等の自助具を用いたポインティングデバイス操作時にも適用可能であると考えられる。また、アテトーゼや失調等の不随意運動による交番操作の場合も図 35(b) のようなカーソル軌跡を描くと思われるが対応方法は異なり、CMC の 2 方向モードを適用し不随意運動に依存しないように制御することで利用者本人が意図する操作を実現できる可能性がある。例えば、脳性麻痺や脊髄小脳変性症等による不随意運動がある場合にアナログ型ジョイスティックやゲームコントローラ利用時に有効であると思われる。

6.7 まとめ

本章では試作した CMC をユーザによる実証評価を得て、次に繋がる多くの知見を得た。A 氏の結果より可動域制限のある肢体不自由者には CMC の独立制御モードが効果的に作用し、ポインティングデバイス操作性の向上が期待できることが示唆された。B 氏の結果からは随意性のある代償動作によるポインティングデバイス操作にはユーザの操作感覚を妨げず、かつ効率的に操作ができるよう移動倍率の調整が有効であることがわかった。

仮設定値の決定時においては、2 人ともユーザ内調整の仮設定値を選んだ。つまり、運動機能障害のない人を基準にすることではなく、個々人ごとに設定最適値を持つということである。これは CMC の制御設定値の決定方法にかかわる重要な知見であった。

今後の課題として、適正な CMC の制御角度の範囲や倍率については、さらに詳細に検討する必要がある。今回 A 氏の場合は、制御設定値が 10 度以下であったが、もし制御設定値を大きくしすぎたとしたら、操作が困難な移動方向の分布ができるとも考えられる。

B 氏の場合は本実験での移動倍率最小値は 2 倍であったが、本人の操作性を妨げない程度の倍率に下げること、有用に作用することも考えられる。なお、倍率上げた時には特に OS のマウスカーソルの加速度設定を有効にすることが必要であろう [12]。

また、本章では独立制御モードでの検証となったが、今回の実証検証の実施を通してポインティングデバイス操作によるマウスカーソルの動きを可視化することができた。これは相談場面において支援方針を検討するときや、多職種とのケースカンファレンスでの情報共有ツールとして利用できると考えられる。そこで、今回実施した方法を用いて多様な事例にあたることにより、方向変換モードや 2 方向モードについても肢体不自由者にとって有用な方法であるか実証評価を行う必要がある。

参考文献

- [1] 長谷川芳典: 心理学研究における実験的方法の意義と限界 (4) 単一事例実験法をいかに活用するか; 岡山大学文学部紀要, No.48, pp.31-47 (2007).
- [2] 野呂文行: 単一事例研究法; 障害科学の研究法 (前川久男, 園山繁樹編著), 明石書店, 第6巻, pp.89-115 (2009).
- [3] SMA(脊髄性筋萎縮症) ってなに?: SMA(脊髄性筋萎縮症) 家族の会, pp.8-27 (2008).
- [4] 公益財団法人難病医学研究財団/ 難病情報センター: 脊髄性筋萎縮症, <http://www.nanbyou.or.jp/entry/135> (2013.06.23 確認).
- [5] MacKenzie, I. S., Kauppinen, T., Silfverberg, M.: Accuracy measures for evaluating computer pointing devices; *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, pp.9- 16 (2001).
- [6] 米本恭三, 石神重信, 近藤徹: 関節可動域表示ならびに測定法; リハビリテーション医学, **Vol.32**, No.4, pp.207-217 (1995).
- [7] Y. Tanimoto, Y. Rokumyo, K. Furusawa, A. Tokuhiko, Y. Suzuki, K. Takami & H. Yamamoto: Development of a computer input device for patients with tetraplegia; *Computer Standards & Interfaces*, Vol.28, No.2, pp.166-175 (2005).
- [8] ヤコブ・ニールセン: ユーザビリティエンジニアリング原論 (篠原稔和監訳, 三好かおる訳); 第2版, pp.21-30 (2002).
- [9] 黒須正明: ユーザビリティという概念; ワークショップ人間生活工学-人にやさしいものづくりのための方法論 (人間生活工学研究センター編)-, 丸善, 第1巻, pp.60-66 (2005).
- [10] 人間工学- 視覚表示装置を用いるオフィス作業 - 使用性についての手引; JISZ8521: 1999, 日本工業規格 (1999).
- [11] Arnault, L. Y. & Greenstein, J. S.: Is display/control gain a useful metric for optimizing an interface?; *Human Factors*, No.32, pp.651-663 (1990).
- [12] Mackenzie, I. S.: *Human-Computer Interaction*, Morgan Kaufmann Publishers, pp.80-81 (2013).
- [13] 渡辺崇史, 畠山卓朗, 富板充, 奥山俊博, 手嶋教之: 肢体不自由者向けカーソル移動制御ソフトウェアの開発と実証評価; 日本生活支援工学会誌, **Vol.13**, No.2, pp.29-36 (2013).

7 多様な個別性に対応するための提案

各章の実験より得られた、操作しづらかったカーソル移動方向とカーソル移動総時間を比較し考察することで、実際の入力デバイス検討モデル (図 9) の空白を埋めるための支援技術について述べる。また、多様な個別性に対応するために開発した CMC はどのように役立つのか、今後の課題として何を解決するかについても述べる。

7.1 操作しづらかったカーソル方向の比較検討

図 42 は、第 3, 4, 6 章の実験で得られた、操作しづらかったカーソル移動方向の度数分布である。座位データは第 3 章で実験結果である表 11 の回答数合計より割合を算出した。仰臥位 (正面) と仰臥位 (右側) は第 4 章で実施した結果である図 20(b) より、ベッド上での仰臥位姿勢でディスプレイ位置を正面設置 (図 18(a)), 右側設置 (図 19(a)) とした時のデータである。A 氏, B 氏のデータは第 6 章で実施した図 34(a) の結果を割合として算出したものである。

座位と仰臥位姿勢の結果を比較すると、操作姿勢によって操作のしづらさを示す方向の分布が変化していることは明らかである (Fisher の正確確率検定より $p = 0.01$)。操作姿勢の変化に慣れれば、このような傾向は軽減されると思われる。しかしながら、ベッド上での仰臥位姿勢でパソコン利用に関する相談初期段階や利用者自身による試用評価段階において、運動機能の程度にかかわらず、ポインティングデバイスによるパソコン操作が不可能であると周囲の支援者等から思われたり、場合によっては、利用者自身もできないと思い込んでしまう恐れがあることを裏付ける結果であった。

また、座位および仰臥位姿勢の分布の違いは、相対的位置関係の変化によるものであるが、褥瘡予防等により介助方法が変わった、車椅子のリクライニング角度を変えた、ベッドマットレスを交換した、あるいは日中の過ごし方が変わった等の場合でも、このような変化が起こっていると考えられる。ポインティングデバイスが支援技術機器として有効に利用されるためには、生活環境における利用者、介護者、住環境に対するアセスメントを行い、社会環境をも考慮して検討されるべきである [1]。そのため、操作しづらくなったという主訴があった場合には、このような変化があったかどうかの情報を得ておくことが大切である。

そして、座位および仰臥位姿勢の分布は対称性のある分布を示している一方、A 氏と B 氏の分布はそれぞれ偏りのある特徴的な分布になっている。今回実験に協力していただいたユーザは、2 名とも日常的にディスプレイを右側に設置し仰臥位姿勢で操作しているので、操作に慣れないことによるものではなく、個々の運動機能障害によるものであり、他の肢体不自由者であれば別の偏った分布を示すことが考えられる。つまりこれは、個々の運動機能の特徴を示す分布であるから、何らかの支援技術サービス提供することを検討す

7 多様な個別性に対応するための提案

ればよいが、この特徴から直接ポインティングデバイス操作が困難であると決めつけてしまうと、「第2章2.5 考察」で述べた相談事例のように本人の望む望まないにかかわらず、III期レベルのパソコン操作の適用になりかねないことを示唆する結果であった。

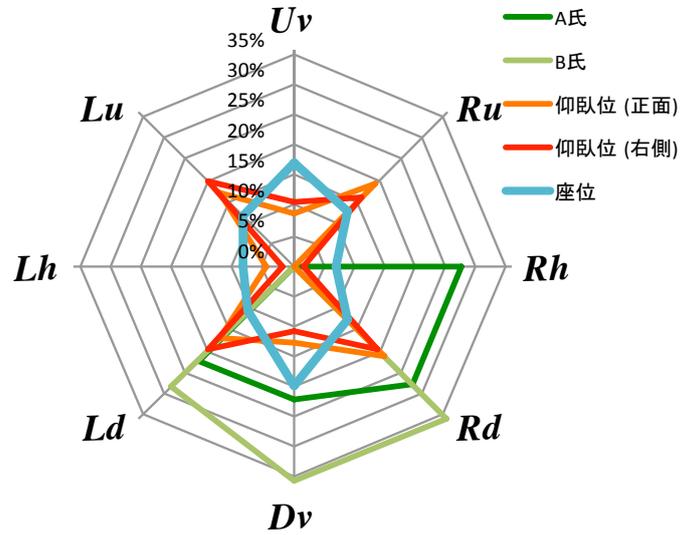


図 42 操作しづらかったカーソル移動方向の比較

7.2 できることを活かすための CMC の適用

7.2.1 利用者不在の支援

前節では、利用者本人の意向ではないことで起こり得る問題について述べた。この状態を“利用者不在の支援”とし、同様な相談事例を紹介する [2]。

「目の動きしかできなくなることも考えて、目の動きで操作するスイッチやパソコンを使えるようにしましょう」と、ある医療スタッフから進行性疾患のある C さんに伝えられた。その後、「目で操作するパソコンを選んで欲しい」という機器選定に関する相談が C さんから持ち込まれました。ご本人と面談した時は、上肢の抗重力筋の低下は見られたが、自立歩行が可能であり、決して目の動きで操作しなければならぬ身体レベルではなかった。そこで、「目の動きや瞬きを検知するスイッチを使ってパソコンを操作することはできますが、C さんにはもっと合った方法がありますよ」とお話し、支援を行った。

病状の進行を想定して話をされたと思うが、皆が病状の進行した時の生活イメージを持つことは困難である。また単にパソコン操作の問題だけでなく、将来どんな生活になるのか、それ以外は何もできないのではないかという不安を持ち、利用者自身を障害という枠の中に閉じ込めてしまい、現在の生活を制限してしまうことにもつながりかねない。このような事例は南雲のいう、障害が個人に与える影響の範囲と強度を低く見積もって、“心理的変化の多様性を無視”していることである [3]。

7.2.2 支援技術利用による心理的变化

Iwabuchi, Hirabayashi らは、支援技術機器の心理的効果を長期的に測定するための R-MATE という尺度を用いて、進行性筋疾患である肢体不自由者の、パソコンや電動車椅子利用等の機器活用による self-efficacy(自己効力感)の変化を報告している [4,5]。R-MATE は過去を生活歴を振り返り、心理的变化を引き起こすと考えられる障害の状態変化や支援機器導入といった節目を時間軸上にプロットし、そのライフイベントごとに主観的な自己評価を行うものである。その結果、パソコンや電動車椅子を使った生活のほうが、自己効力感を維持したり、以前よりスコアが上昇している利用者があることを報告している。これは、タイミングのよい支援技術利用が利用者心理的变化を与えることを示している。

7.2.3 CMC 適用の意義

重要なことは、“利用者不在の支援”ではなく、現在本人のできることを活かすことである。このような支援技術の提供により、利用者が当面の見通しを持つことができ、希望が生まれ、それが次への動機付けにつながると考える [6,7]。

CMC は、運動機能障害(表 3)に対応する 3つの制御モードと備えたこと、利用者の状

況に合わせて設定値を可変することで、利用者の意向や身体状況に合わせることができることから、結果として、Ⅱ期レベルのパソコン操作方法の選択肢を拡大し、直接選択式を利用し続けることを可能とする。

7.3 カーソル総移動時間の比較検討

図 43 は、第 4 章、第 6 章で同じカーソル移動課題を実施して得られたカーソル移動総時間の分布を示す箱ヒゲ図である。B 氏の CMC 適用後の結果は、設定 a_{B1} と設定 a_{B2} の両方の結果を含めた。箱ヒゲ図の箱の上下はカーソル移動総時間の上下 25% を示す四分位数、ヒゲ線の上下はそれぞれ最大値と最小値を表し、箱内の横棒は中央値を示す。

第 4 章では、協力者らによって II 期レベルの運動機能を想定した条件下で、示指のみでのトラックボール操作により実施した。第 6 章の目的は、CMC 適用による個々のユーザのポインティングデバイス操作への影響や、効果の差を知ることであったので、ユーザは各自のトラックボールを使い、日頃の姿勢と操作方法で実施した。また、協力者らによって実施された仰臥位とファーラー位の結果(以下、仰臥位操作データ)は、協力者間のばらつきを示しており、ユーザの結果は各個人内のばらつきを示すデータである。よって、これらの結果を定量的に時間差比較することはできないので、ここでは参考比較として扱う。なお、仰臥位操作データは正規分布データではないので、四分位範囲(第 3 四分位数-第 1 四分位数)、最大値、最小値にて比較する。

CMC 適用前では、A 氏の場合は 5 試行全て、仰臥位操作対象データの四分位範囲に入っているため、特段遅い操作ではなかったことがわかる。B 氏の 4 試行分は、最小値が仰臥位操作データの四分位範囲を超えていることから、運動機能障害のない者から見た時、比較的長時間のかかる操作であったことがわかる。

CMC 適用後においては、A 氏の 5 試行分の最大値は仰臥位操作データの四分位範囲を下回り、中央値においては最小値を超えていることから、比較してかなり短い時間で操作できるようになったことがわかる。B 氏の CMC 適用後の 5 試行分においては、仰臥位操作データと自分自身の CMC 適用前の四分位範囲と重なっていることから、A 氏と比べると短縮された差は少ないが、操作時間は短くなった。

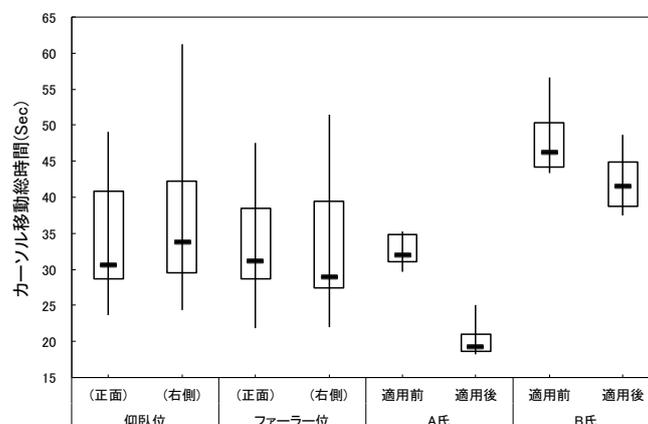


図 43 カーソル総移動時間の比較 (参考)

7.4 CMC 活用による継続的支援

前節では、カーソル操作総時間にて参考比較をした。操作時間での比較はポインティングデバイス操作の評価指標の1つであるが、Ratcliff [8] は小学生に対して VOCA に登録された特定のオブジェクトを選択するという課題を直接選択式と走査選択式にて実施し、選択の正確さを計測した。その結果、どの学年においても走査選択式は直接選択式よりも難しく、走査選択式は視覚、記憶力、十分な注意力 (選びたい場所が示されるまで見逃さないこと) 等の能力が要求されると報告している。

つまり、現在の入力デバイス検討モデルで指摘した、身体機能 II 期レベルと III 期レベル間では操作方法が限定され、今までとは異なる操作方法に替わるだけでなく、別の能力も要求されるということを指摘している。もちろん、慣れる時間を確保することによって解消されると考えられるが、進行性疾患による運動機能障害がある場合は、徐々に筋力低下や可動域制限が起こることから、継続的かつ、タイミングのよい支援が求められる [9]。そのため、B 氏のように操作時間の短縮が小さかったとしても、今まで慣れている直接選択式のポインティングデバイス操作を利用し続けられるようにすることも必要である。

CMC は、適切な制御モードの適用と設定値を可変することで、利用者の運動機能障害の状況に合わせ、直接選択式を利用し続けることを可能とする。特に方向変換モードは、III 期レベルの肢体不自由者でも操作可能とすることを想定しているので、走査選択式以外の操作方法の選択肢を提案することができ、継続的支援を行うための支援技術として貢献できると考える。

7.5 CMC 適用時における評価の視点

Federici らは、利用者と支援者との基本的な相談援助過程を The assistive technology assessment process flow chart として表している [10]. 支援機器相談時の初期段階において必要なアセスメント項目として、身体機能の評価と心理的社会的評価を挙げている。その後、利用者の試用体験等による評価検討を経て機器の導入あるいは利用環境整備を行うとしている。支援技術利用の効果については支援者だけでなく、利用者のユーザビリティ、効率、有効性、そして、さまざまな利益の享受ができたか等について、利用者自身の評価の重要性について示し、両者の視点から支援技術導入の効果を評価することの大切さを述べている。一方 Kurosu は、ユーザビリティ評価においての満足度は、客観的特性である有効さや効率と違い、ユーザが感じる主観的特性であり、むしろ総合的な指標として見なすべきであると述べている [11].

支援技術はユーザごとに異なる個別性への対応が重要な技術課題であることから、本章においては、カーソル移動総時間とカーソル移動軌跡を客観的特性 (支援者の評価) とし、CMC 適用後のユーザの意見を主観的評価として、利用者自身の評価を重視し再考察する。

カーソル移動総時間は図 43 のように、A 氏、B 氏ともは短くなっていることから、程度の差はあってもどちらも効率は向上した。また有効性については、CMC 適用後のカーソル移動軌跡 (第 6 章 図 37(a), 図 37(b), 図 37(c)) をみると、比較対象者の軌跡 (図 36) に近くなり、いずれも特定の方法へ軌跡の偏りが改善されたことから、正確さが向上したように思われる。以上がデータからみた客観的特性の評価である。

主観的評価は、第 6 章で述べたように A 氏にとって CMC 適用が大変良好であり、今後使ってみたいとの意見を得て満足度が高かった。B 氏においては、現状のパソコン操作環境でも対応可能な範囲での調整であったこと、また設定が合わないと、操作の混乱をまねくという意見があり、主観的評価は低かった。この結果から、A 氏に対しては CMC の導入効果があり、B 氏には現時点では導入効果が認められなかったということである。

以上のことから、CMC を有用な支援技術として活用されるためには、多様な利用者から得た客観的な技術情報や導入事例を提供すること、導入段階においてはできるだけ容易に試用できるような設定方法への配慮が必要である。ただし、技術や機能だけが先行する“利用者不在の支援”とならないように、主観的評価を得て利用の可否を決定するという、利用者との双方向の決定プロセスが重要であると考えられる。

7.6 まとめ

7.6.1 CMC の改良点と今後の課題

(1) CMC 活用に向けて

今回開発した CMC は、さまざまな問題(ニーズ)を持つ、より多くの人々に利用していただきたいと思う。そのため、インターネット経由でソフトをダウンロード配布できるようにする予定をしている。また、CMC は現在 Windows OS 上で動作するアプリケーションであるが、デバイスドライバレベルのアプリケーションとして改良することで、ハードウェアが変わってもより広く活用できると考える。合わせて、Mac OS に対応することも検討する。

(2) 制御設定値の決定方法

CMC の最も必要な改良点としては、制御設定値の決定方法である。実際の利用場面でも本論の実験時と同様に利用者の主観的評価を重視し、このようなプロセスを経ることが必要であるが、設定値の決定や変更等は、できるだけ効率良く短時間で行えるようにしたいと考えている。

まずは仮設定値の自動設定機能である。CMC には第 6 章で実施したカーソル軌跡記録の課題を実装している。これは実施時の座標値、移動時間を取得し、座標間距離や方向を算出するものである。CMC 導入時の最初にユーザーにカーソル軌跡記録を実施してもらうことで、初期値として自動で入力できるようにすることを考えている。第 6 章の結果では、仮設定値にはユーザ内調整(各方向の座標軸を基準とする設定)が良かったことから、利用者にはカーソル軌跡記録を数回実施してもらった後、初動角度や最終角度、各方向への移動時間差を算出して初期値を決定する。この機能はできるだけ速い段階での実装を予定している。

またこの時、適用する制御モードが適切であるかどうかの判断も行えるようにする。カーソル軌跡記録の結果より判断し、推奨する制御モードを選択するというものである。これは CMC 導入を検討している相談初期や、進行性疾患の方への適切な入力デバイス選定相談に応じる時に有用であると考えている。

次に、自己補正機能である。ポインティングデバイス利用中の操作姿勢の変化により、手指の置き方がずれたりすることで操作の具合が変化することも考えられる。また日々の体調の具合や操作環境によっては、異なる設定がよい場合も考えられる。頭部の動きを検知して操作する肢体不自由者向けのポインティングデバイスでは、赤外光線を利用して傾きや位置検出をし、位置補正をする機能を実装している [12]。

CMC ではカーソル軌跡記録にて自己補正機能も兼ね備えることが可能であると考えている。例えば、パソコン立ち上げ時には必ずカーソル軌跡記録の画面が立ち上がり、実施することで前回とのずれを補正する機能を持たせる。また、パソコン操作中でも簡単な操作

でカーソル軌跡記録を呼び出すことも必要である。例として、ディスプレイ4辺のいずれかの端までカーソルを移動させて一定時間以上停止させたら、カーソル軌跡記録が起動して自己補正が行えるようにする等である。

どのようなカーソル軌跡記録を示した時にどの制御モードが適切であるか、初期値として算出する設定数値には、さらなる研究が必要である。

(3) 実証評価

CMCが多様な個別性に対応できるようにすること、そして、ポインティングデバイスの適合支援に関する多くの知見を得るためには、さらなる実証評価が必要である。

1点目は、適正なCMCの制御角度の範囲や倍率について、実証評価により検討する必要がある。設定値の数値自体は個別に決定する必要があるが、「第6章 6.7 まとめ」にも述べたように、他方向への制御設定値と比較した時、方向制御の設定値を大きくしすぎると、操作が困難な移動方向の領域ができると考えられる。これは、絵を描いたり、画像編集等を行うようなカーソル移動経路がかかわる作業には支障をきたす可能性がある。また、倍率を他の方向と比較して大きくしすぎると、本人の操作感覚を低下させる可能性がある。

2点目は、CMCがICFにおける促進因子として、利用者の活動拡大に貢献するためには、就労や教育等の実際の活動場面での長期的な実証評価が必要である。このような活動場面では、操作時間が短くなったという評価だけでなく、疲労が軽減された、効率的に作業できるようになり、他の活動をする時間が増えた等、生活全体への影響等をみる必要がある。

3点目は、今後の実証評価を通して、入力デバイスの適合支援に関するさらなる知見を得ることである。支援技術を活用して利用者の生活支援にかかわる場合には、コミュニケーションスキル、ケースワークスキル、アダプテーションスキルが求められる[13]。今回得られた入力デバイスの設置方法、手指の置き方、操作時の上肢あるいは身体の姿勢保持の方法等は、有用なアダプテーションスキルの1つである。個別の実証評価で得た情報は、相談臨床現場で活用できるノウハウとして整理して発信していくことを考えている。

4点目は、ポインティングデバイス操作時の動作分析である。今回はⅡ期レベルの肢体不自由者を想定した実験と、2名のユーザによるポインティングデバイス操作を、カーソル移動課題とカーソル移動軌跡にて分析したが、運動機能障害のある状態での操作方法や代償操作の方法について、不明点の多いことがわかった。かなりの個人差があるので比較検討するのが難しいと思われるが、これらが明確になっていないことにより、潜在的に活動制限を受けていることがあると思われる。実証検証を通して合わせて研究を進めたいと考える。

7.6.2 今後の展開と発展

筆者は、スイッチ等の入力デバイスを利用する場合において、さまざまな運動機能障害に対応する、入出力信号を制御するインタフェースを開発した [14]。また、一般の携帯情報端末に実装できるソフトウェアを開発し、個別の生活場面に合わせてメッセージが登録できるコミュニケーションエイドを開発している [15–17]。これらは、個別事例を重ねていく過程を経て開発された機器である。

CMC も実際の相談場面で活用しながら、個々の問題 (ニーズ) に対応可能な機能を備えていくことが必要である。さらに、本研究の目的はポインティングデバイスに着目して多様な個性に対応する支援技術の開発である。よって他の技術利用へと発展させていく必要がある。今後の展開として、以下のようなことに取り組む予定である。

(1) タッチパッド、タッチスクリーンへの適用

今後、タブレット型情報端末やスマートフォン等が、あらゆる生活場面において活用されるのは明らかである。これらに使われているのは、同じ isotonic 系のポインティングデバイスであるタッチパッドやタッチスクリーンである。スマートフォンには Wi-Fi や Bluetooth 等の通信機能を備えていることから、形状も薄く、置き方や向き等に制約されにくい、有用なワイヤレスポインティングデバイスとして活用できる可能性がある。しかしながら、本研究第 3 章の結果より、単指では上下方向への操作が困難であること、示指による下方向への操作には MP 関節の伸展、PIP 関節、DIP 関節の屈曲の動きが必要であることがわかった。これらの関節の動きは前腕筋群によるものであることから、近位筋より肢体不自由を呈する場合、平面形状であるタッチパッドやタッチスクリーンの操作には、さまざまな制約を受けることが想定される。また、対象機器の特性上、巧緻性も求められる。この場合において、本研究で得た知見や CMC の技術がどのように活用できるかを検討する。

(2) isometric 系のポインティングデバイスへの適用

今回は isotonic 系ポインティングデバイスであるトラックボールにて実施したが、ジョイスティック等の isometric 系のポインティングデバイスへの適用を行う。isometric 系はカーソル移動方向に継続して力を発揮し維持し続けるという特徴があるため、isotonic 系よりも移動中の経路が技術課題となると考えられる。isometric 系のポインティングデバイスはパソコン操作だけでなく、ゲームコントローラ等に多く利用されているので、障害のある子どもたちの活動拡大に活かせると考えている。当面、ゲーム用アナログジョイスティックのマウスエミュレータには CMC を組み込む計画をしている。

isometric 系ポインティングデバイスの発展先の例として、電動車椅子のジョイスティック操作制御を考えている。現在、CMC の独立制御モードのように制御できる手段がないため、利用者の上肢の運動機能に合ったものが提供できておらず、操作が困難なまま利用

して活動制限を受けていたり、場合によっては電動車椅子の操作を諦めている可能性もある。

電動車椅子操作には、上肢での操作以外に高位頸髄損傷者等が行うチンコントロールと呼ばれる顎でのジョイスティック操作がある。チンコントロールでの操作は、頸の回旋と前後あるいは側方への屈曲伸展の動きの組み合わせである。本来、頸髄損傷者の頸部の動きに合わせてコントロールできればよいが [18]、ジョイスティックの反応に合うように動かす必要がある。例えば左に進む場合、頸を左に回旋して、前方に屈曲しつつ、頸を側屈する、あるいは顎を突き出すという動きになり、頸部に負担がかかる操作である。

このような動作は、頸髄損傷者等がマウススティックを口にくわえ、キーボード操作する場合にも問題になっている。対応例として、操作性の向上と疲労の軽減を目的に、頸部を動かした時に、マウススティック先端が描く円弧に合わせて、樹脂製のキーボードを曲げるように取り付けることができるスタンドを考案している [19]。

ジョイスティックは電動車椅子操作のための重要なインタフェースである。ポインティングデバイス同様、その利用の可否が生活全般に影響するため、CMC 開発で得た知見や成果を活かす予定である。

参考文献

- [1] 市川洸: ケアマネジメントのための福祉用具アセスメント・マニュアル, 中央法規出版, pp.26-27(1998).
- [2] 渡辺崇史: 生活を支援するテクノロジー 第6回進行性疾患のある方のコミュニケーションの考え方; 臨床看護, **Vol.33**, No.7, pp.1071-1073 (2007).
- [3] 南雲直二: 障害受容-意味論からの問い-(大田仁史監修), 荘道社, pp.77-85 (1998).
- [4] M. Iwabuchi, R. Hirabayashi, K. Nakamura, R. Fukumoto & E. A. Draffan: A life AT outcome measurement scale: the impact of a computer for people with muscular dystrophy; *Assistive Technology Research Series, Challenges for Assistive Technology*, IOS Press, **Vol.20**, pp.676- 680 (2007).
- [5] R. Hirabayashi, M. Iwabuchi, K. Nakamura, R. Fukumoto & E. A. Draffan: Two drops of self-efficacy of wheelchair users: Is the manual wheelchair necessary for muscular dystrophy patients?; *Assistive Technology Research Series, Challenges for Assistive Technology*, IOS Press, **Vol.20**, pp.671- 675 (2007).
- [6] 小野金夫監修: 人まかせの人生やめた 障害者もう一つの履歴書 (AJU 自立の家後援会編); 風媒社, pp.98-99, pp.176-177 (2006).
- [7] 生きる力-神経難病 ALS 患者たちからのメッセージ (「生きる力」編集委員会編); 岩波書店 (2006).
- [8] Ratcliff, A.: Comparison of Relative Demands Implicated in Direct Selection and Scanning: Considerations from Normal Children; *Augmentative and Alternative Communication*, **Vol.10**, pp.67-74 (1994).
- [9] 渡辺崇史: できることを活かす継続的支援 (特集 疾患別・段階的コミュニケーションの支援); 難病と在宅ケア, **Vol.11**, No.11, pp.7-12 (2006).
- [10] S. Federici, M. J. Scherer, F. Meloni, F. Corradi, M. Adya, D. Samant, M. Morris & A. Stella: Assessing Individual Functioning and Disability; *Assistive Technology Assessment Handbook*, CRC Press, pp.11-24 (2012).
- [11] M. Kurosu: Concept of Usability Revisited; 12th International Conference, HCI International 2007, pp.579-586 (2007).
- [12] 畠山卓朗, 小泉義樹, 梅田裕一, 内尾正俊, 春日正男: 自己位置補正機能を利用した重度肢体不自由者用ポインティングデバイス; ヒューマンインタフェース学会誌, **Vol.1**, No.3, pp.13-20 (1999).
- [13] 渡辺崇史: 社会福祉専門職とテクノロジー; 社会福祉専門職論 (宮田和明, 加藤幸雄, 牧野忠康, 柿本誠, 小椋喜一郎編), 中央法規出版, 第4部第1章, pp.220-234 (2007).
- [14] 渡辺崇史: 相談事例に基づいた肢体不自由者向け操作スイッチ用汎用制御回路の設計; 日本福祉大学情報社会科学論集, **Vol.11**, ppp.15-22 (2008).

-
- [15] 渡辺崇史, 武田行夫, 荻原栄一郎: 携帯情報端末 (PDA) を利用した会話補助装置の開発; 第 16 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.101-104 (2001).
- [16] 荻原栄一郎, 渡辺崇史, 武田行夫: 実用化に向けた PDA 型携帯用会話補助装置の取り組み; 第 16 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.517-520 (2001).
- [17] 渡辺崇史, 武田行夫, 熊崎忠幸, 山田和正, 荻原栄一郎, 小島洋士: 携帯電話を利用した会話補助ソフトウェアのモニタリング評価; 第 24 回リハ工学カンファレンス論文集, pp.247-248 (2009).
- [18] Stanger, C., Phalangas, A., & Cawley, M: Range of Head Motion and Force of High Cervical Spinal Cord Injured Individuals for the Design of a Test-bed Robotic System; Proceedings of the 4th International Conference on Rehabilitation Robotics, pp.37-42 (1994).
- [19] 中川翔次, 松田健太: 福祉機器コンテスト 2012 機器開発部門優秀賞 曲がるキーボードスタンド; リハビリテーション・エンジニアリング (福祉機器コンテスト 2012 結果報告書), **Vol.28**, No.1, pp.7 (2013).

8 結論

8.1 研究のまとめ

本研究は肢体不自由者のポインティングデバイス操作に着目し、「多様な個別性に対応する支援技術」というテーマに取り組んだ。その結果、実際の相談場面でのポインティングデバイスの選定や適合に関する有用な知見を得て、肢体不自由者に向けたカーソル移動制御ソフトウェアを開発することができた。本研究成果は、当該ソフトウェアも含め、臨床場面で役立つように広く公開する予定である。以下に各章ごとの要点を述べる。

第1章では、国際生活機能分類 ICF を参照して障害の概念を概観し、支援技術の役割と及ぼす影響についてまとめた。そのうえで、本研究の目的と位置付けについて述べた。

第2章では、肢体不自由の運動機能障害と機器操作におけるオブジェクト選択方式の分類を組み合わせた、入力デバイス検討モデルを提案した。さらに、入力デバイスに関する個別の製作改造事例を分析し、ポインティングデバイスの適否が利用者のパソコン操作に大きな影響を与えていることを述べた。

第3章では、「肢体不自由者の運動機能障害によらない」ポインティングデバイス操作の特徴を実験によって明らかにした。その結果、肢体不自由の有無によらない特定の方向にカーソル移動時の困難さがあることや、ポインティングデバイス適用時に有用な知見を得た。

第4章では、「操作環境の違いによる」ポインティングデバイス操作の特徴について論じた。実験の結果、ディスプレイ設置位置や仰臥位姿勢での操作時の背上げ角度が、肢体不自由者のポインティングデバイス操作に影響を与えていることが明らかになった。

第5章では、肢体不自由者のポインティングデバイス操作の、「多様な個別性に対応する」ために開発した、カーソル移動制御ソフトウェアについて述べた。さまざまな運動機能障害や操作環境に対応するために3つの制御モードを実装し、それらがどのような問題(ニーズ)に対応するかについて考察した。

第6章では、開発したカーソル移動制御ソフトウェアを肢体不自由のあるパソコン利用者による実証評価を行い、その効果について検証した。当該ソフトウェアの適用によって、ポインティングデバイス操作性が向上することが確認できた。

第7章では、カーソル移動制御ソフトウェアの今後の課題と、本研究で得た知見をさらなる有用な支援技術として発展させるための研究課題について述べた。

8.2 今後の課題

本研究の成果の1つとして、あらたに取り組むべき具体的な研究課題を見出すことができた。特に本論で提案した入力デバイス検討モデルについては、今後の支援技術サービスの実践の中で、多くの利用者、研究者や支援者と議論を重ねたいと考えている。

またカーソル移動制御ソフトウェアが持つ役割と技術課題は、利用者とポインティングデバイスとの適合技術だけにかかわるものではない。カーソル移動制御ソフトウェアや、そこから発展した技術によって、パソコンや機器操作が可能なること、そして、それらを使いこなすことが利用者の能力の一部となり、さまざまな活動への参加や自己実現を目指すものでなければならないと考える。そういった視点で今後の研究をすすめたい。

そして、利用者不在の研究開発にならないよう、利用する人の“顔が見えるテクノロジー”、“生活を感じるテクノロジー”の発展に寄与したい。

謝 辞

著者は、電機メーカー勤務を経て、1997年より名古屋市総合リハビリテーション事業団にリハビリテーション工学技師として勤務し、福祉用具の適合相談、臨床工学サービスおよび支援技術に関する研究開発に従事してきました。その後、現在の勤務先である日本福祉大学健康科学部に至る間、障害のある人の生活に役立つ機器開発に取り組んできました。

本研究は平成21-23年度科学研究費「重度肢体不自由者のためのポインティングデバイス制御の研究」の助成を受けて実施した研究と、15年以上に渡る相談援助の経験や機器開発の取り組みを基にしてまとめたものです。

本実験に協力者として参加していただいた多くの皆様、貴重な意見を寄せてくださったユーザの皆様に感謝申し上げます。

リハビリテーション工学や支援技術における研究・機器開発は、障害のある人の生活の中にある、さまざまなできごとを、共に話し合いながら解決することで発展するものだと確信しています。今回論文としてまとめることができたのも、多くの人々との出会いと支えによるものであります。

はじめに、立命館大学大学院理工学研究科(理工学部ロボティクス学科)手嶋教之教授には深く感謝いたします。手嶋先生には、きめ細かく丁寧にご指導いただき、いくつかの研究成果を発表することができました。また本論文をまとめるにあたり、今後の研究活動にも繋がる、自分では気がつかなかった多くの示唆を与えてくださいました。心よりお礼申し上げます。

著者がリハビリテーション工学の世界に入るきっかけにもなり、いつも大切な視点を教えてくださる、早稲田大学人間科学学術院 畠山卓朗教授には、本研究に関して多くのご助言とご支援をいただきました。あらためて深く感謝いたします。

今回、論文をまとめるにあたり、ご支援と激励の言葉をいただきました。日本福祉大学健康科学部 福田秀志学部長、福祉工学科 大場和久学科長、名古屋市リハビリテーションセンター総合相談室 高柳泰二室長には、この場を借りてお礼申し上げます。

なごや福祉用具プラザ初代所長 尋木佐一氏、バーチャルメディア工房ぎふ理事長 上村数洋氏、名古屋市総合リハビリテーションセンター自立支援部長 鈴木智敦氏には、地域生活支援やソーシャルワークという相談援助の原点を教えてくださいました。深く感謝いたします。

東京大学先端科学技術研究センター学術支援専門職員 奥山俊博氏，なごや福祉用具プラザ作業療法士 冨板充氏とは，本研究に関してディスカッションを重ねることでまとめることができました。

佐賀大学高等教育開発センター 井手將文特任准教授には日頃から多くの助言をいただき，本研究に関しても貴重な助言をいただきました。厚くお礼申し上げます。

元愛知県心身障害者コロニー発達障害研究所 青木久氏，中部学院大学リハビリテーション学部 井村保准教授，なごや福祉用具プラザリハビリテーション工学技師 田中芳則氏，東京大学先端科学技術研究センター 巖淵守准教授，元国際電業株式会社 武田行夫氏とは，日頃ディスカッションする中で多くの考えと助言をいただきました。そして，言語聴覚士 山本智子氏，神奈川県総合リハビリテーションセンター作業療法士 松本琢磨氏には，カーソル移動制御ソフトウェア構想時に，大変貴重な意見をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

カーソル移動制御ソフトウェアの開発には，株式会社荻原電子製作所 荻原栄一郎代表取締役社長，同社電子システム部 小島洋士氏，大前進也氏に協力いただき，制作することができました。

最後に，論文作成に専念できたのも家族の協力と理解によるものであります。母親，3人の子ども達，そして妻 良恵に心から感謝の気持ちを伝えたいと思います。