

スキャン法を用いたマウスポインタ操作におけるパラメータの最適化

Parameter optimization for mouse-pointer manipulation using scanning method

○ 角田卓哉(新潟大) 林 豊彦(新潟大) 遁所直樹(社会福祉法人 自立生活福祉会)

Takuya TSUNODA, Niigata University Toyohiko HAYASHI, Niigata University
Naoki TONDOKORO, Welfare Association of Independent Living

Abstract: Personal computers have become indispensable for persons with severe motor disabilities in order to ensure communication and social participation. When such patients carry out a mouse-pointer manipulation, they usually use an operation support software together with a single switch. As a typical software of such support, the Cartesian scanning method is widely used. This method necessitates us to determine the values of several parameters for preparation. This determination, however, has been done on a trial-and-error basis up to now, consequently increasing the preparation time drastically. Then, our previous study proposed a parameter optimization method using measured response time of individual user. Subsequently, we attempted to validate the efficacy of this parameter optimization through experiments employing ten volunteers with motor disabilities in this study. Consequently, the optimum values were verified to be effective for decreasing the operation time without the increase in the number of operation.

Key Words: motor disabilities, mouse-pointer manipulation, scanning method, usability evaluation, response time

1. はじめに

本論文では、ALSや脳性麻痺、筋ジストロフィーなどの疾病をもつ重度肢体不自由者がマウスポインタを操作するときを使う「スキャン法」におけるパラメータの最適化について述べる。これらの患者の多くは、コミュニケーションが取れないという大きな問題を抱えている。そのため、コミュニケーションを代替する手段は、命綱であるばかりでなく、社会との関わりを維持し、かつ生活の質(QOL)を高めるために不可欠な道具となっている。そのような道具として、現在、パソコンが広く利用されている⁽¹⁾。その理由は、インターネットや電子メールなどの各種機能を活用すれば、重度肢体不自由者でも、他者との関わり、趣味・生きがいをもつことができるからである。

重度肢体不自由者は、一般的なキーボードやポインティングデバイスが使えないため、入力装置として、わずかな身体運動でも操作できる「シングルスイッチ」が用いられている。ポインタ操作では、これに加えて画面を自動でスキャンする「操作支援ソフトウェア」も必要となる。この画面スキャン法には、一般に Fig.1 に示す「直交移動法」と「画面分割法」の2つがある⁽²⁾。

スキャン法には、スキャン速度に関する4つのパラメータの値があり、その値はポインタの操作性に大きく影響する。そのため、利用者の特性に合わせてパラメータを最適化する必要がある。しかし、従来は試行錯誤的に値を決めていたため、設定に時間がかかり、かつ最適性も保障されていなかった。そこで、客観的な指標に基づいて短時間で行えるパラメータ設定法が求められている⁽³⁾。

上記の問題を解決するために、先行研究では、利用者の反応時間を測定することにより、「直交移動法」、「画面分割法」それぞれのパラメータを最適化する方法を提案した⁽⁴⁾。前者には、「速度が途中で変化するタイプ」があり、現在はそれが主流となっている。そこで先行研究では、直交移動法のパラメータの最適化も試みた。具体的には、ソフトウェアによる「ポインタ操作シミュレータ」を作成し、最適値を推定した⁽⁵⁾。しかし、その最適値が実際にヒトの操作でも有効であるかどうかは未検証であった。そこで本研究では、ヒトを被験者として最適値の有効性を実験的に検証することを目的とする。

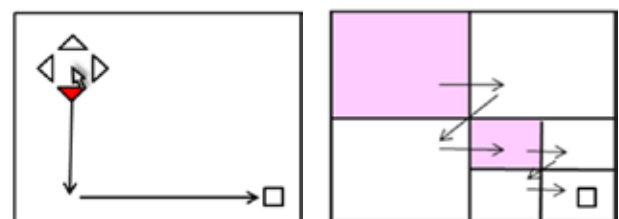
2. パラメータの最適化

2-1 直交移動法について

本節では、スキャン法のひとつである「直交移動法」について述べる。この方法は、1つのスイッチ操作でポインタを上下左右に移動させることができる。特に、実際の操作では、この方法を用いてポインタを標的まで移動させることが多い。ここで、標的とはポインタの「目的地」のことを表す。次に、ポインタを移動させる操作の流れについて述べる。まず、移動方向の選択について述べる。選択スキャンでは、Fig.1(a)のように、ポインタの周りに方向を示す矢印ボタンが配置され、上→右→下→左(→上)の順にフォーカスが自動スキャンされる。ポインタを進めたい方向にフォーカスが来たとき、スイッチを入力すれば、その方向にポインタが移動し始める。移動中に再度スイッチ入力すれば、ポインタが停止して1回の操作が完了する。この操作を繰り返し、ポインタを標的まで移動させる。

前章で述べたように、直交移動法にはポインタの移動速度が途中で変化するタイプがある。このタイプでは、はじめは低速移動し、ある距離だけ移動した後、高速移動する。その利点は、標的までの距離が遠いときは速く移動でき、近いときは低速移動で停止位置を微調整できることである。この移動法には、一般に次の4つのパラメータがある：

- 1) 方向切り替えの時間間隔 [s],
- 2) 低速時のポインタ移動速度 [pixel/s],
- 3) 移動速度変化距離 [pixel],
- 4) 高速・低速比.



(a) Cartesian-cursor method (b) Selection search method
Fig.1 Examples of scanning systems: (a) Cartesian-cursor method, (b) Selection search method

ここで高速・低速比は「高速時のポインタ移動速度/低速時のポインタ移動速度」を表す。なお、上記4つのパラメータの表記は、ソフトウェアによって異なることがある。

従来、上記の4つのパラメータの値は、経験則的ないし試行錯誤的に決定していた。そのため、値が最適かどうか不明であり、かつ設定に時間がかかるといった問題があった。そこで先行研究^(4,5)では、この問題を解決するために、客観的指標に基づいた「パラメータの最適化」を試みた。その結果、4つのパラメータの内、1)方向切り替えの時間間隔、2)低速時のポインタ移動速度を最適化できた⁽⁴⁾。さらに、ポインタ操作シミュレータを用いて、3)移動速度変化距離、4)高速・低速比の最適値も推定した⁽⁵⁾。しかし、推定された3)、4)の最適値は、実際にヒトの操作でも有効であるかどうか未検証であった。そこで本研究では、ヒトを用いた実験により、最適値の有効性を実験的に検証する。

2-2 パラメータの最適化法

本節では、前節で述べた4つのパラメータを最適化する方法について述べる。1)方向切り替えの時間間隔、2)低速時のポインタ移動速度の2つは、計測した利用者の「反応時間」から最適値を決定する⁽⁴⁾。ここで反応時間とは、フォーカスもしくはポインタが標的上にあることを認識してから、スイッチを入力するまでの時間のことを表す。3)移動速度変化距離、4)高速・低速比の2つは、次に述べるように、シミュレーション手法を用いて最適値を求める⁽⁵⁾。先行研究では、ポインタ操作シミュレータを開発し、直交移動法およびスイッチ入力の2つのモデルを用いて、ポインタ操作をシミュレートした。このシミュレータへの入力には、反応時間から決定した1)、2)の最適値とする。それらの値を固定し、残りのパラメータ3)、4)のいくつかの値のすべての組み合わせに関する「平均操作時間」および「平均操作回数」を算出する。次に、その具体的な方法について述べる。

仮想画面を1024×768 [pixel]とし、その中に標的を1個だけ配置し、直交移動法を用いてポインタ移動をシミュレートする。標的サイズはWindows操作における最少サイズを想定し、16×16 [pixel]とした。1試行は、ポインタが初期位置から標的に到達するまでとした。初期位置は、1試行目は画面左上とし、2試行目以降は1つ前の試行の最終停止位置とした。標的的位置は、画面内で一様分布するようにランダムに与え、これを10,000回試行した。1試行では、操作時間・操作回数の2つを記録した。操作時間は、ポインタ移動時間と方向選択時間の和とし、操作回数はスイッチ入力回数とした。最後に、10,000試行に対する平均操作時間および平均操作回数を求めた。次に、これらの平均値から最適値を推定する方法について述べる。

Fig.2は、平均操作時間と高速・低速比の関係を表している。この図は、移動速度変化距離を最適値に固定し、方向切り替えの時間間隔を0.5[s]とし、低速時のポインタ移動速度を45[pixel/s]としたとき結果を示している⁽⁵⁾。図においてU字形特性が認められることから、操作時間を最小とする高速・低速比が存在することが分かる。一方、平均操作回数と高速・低速比の関係については、高速・低速比の上昇に伴って操作回数も単調増加することが分かった⁽⁵⁾。Fig.3は、平均操作時間と移動速度変化距離の関係を表している。なお、高速・低速比は最適値に固定した。図において、Fig.2と同様に操作時間を最小とする移動速度変化距離が存在したが、高速・低速比に比べれば、大きな変化はみられなかった⁽⁵⁾。一方、平均操作回数と移動速度変化距離の関係については、移動速度変化距離の増加に伴い、操作

回数がゆるやかに単調減少した⁽⁵⁾。

上記の変化傾向は、パラメータ値の様々な組み合わせにおいても同様にみられた。このように平均操作回数には最適値が存在しなかったため、先行研究⁽⁵⁾では平均操作時間を最小にする移動速度変化距離、高速・低速比を最適値とした。

2-3 最適値の有効性評価

本節では、前節で述べた方法によって推定した最適値の有効性を、実験的に検証する方法について述べる。具体的には、最適値およびそれと異なる条件でポインタを操作したときの間で操作性を比較検討する。

はじめに、パラメータ4)高速・低速比の最適値の有効性について述べる。Fig.2より、高速・低速比は操作時間に大きく影響することが分かる。その最適値の有効性は、最適値およびそれ以外の値を設定して実験を行い、両者間で操作性を比べれば評価できる。最適値以外の値は、その近傍でできるだけ多くとるのが望ましいが、実験数が多いと被験者の疲労の問題が起こる。それを防ぐには、休息をとり、かつ日を変えて実験する必要があるため、実験に膨大な時間がかかってしまう。そこで、一般性を失わずに実験を単純化するために、高速・低速比の最適値およびそれよりも大きい値と小さい値の3点で実験を行った。具体的には、高速・低速比を次の3通りに設定した：

- ・Type-X：遅い設定（最適値×0.6）、
- ・Type-Y：最適設定、
- ・Type-Z：速い設定（最適値×1.4）。

ここで、倍率の係数0.6および1.4は、利用者が設定の違いを認識できる範囲内でできるだけ小さくなるよう、予備実験をもとに決定した。

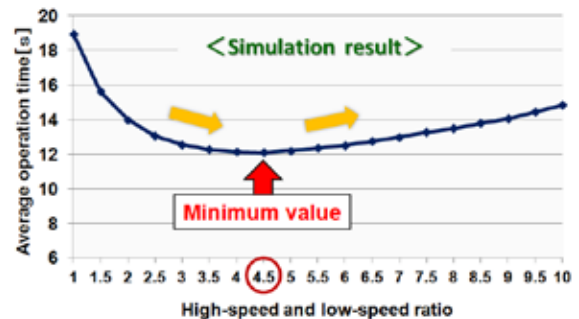


Fig.2 Relation between average operation time and high-speed and low-speed ratio: Change-speed distance is fixed to the optimal value.

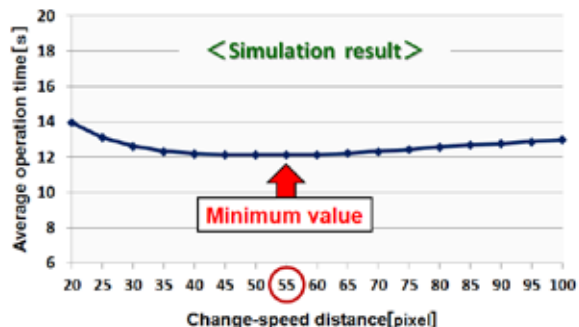


Fig.3 Relation between average operation time and change-speed distance: High-speed and low-speed ratio is fixed to the optimal value.

最後に、パラメータ 3) 移動速度変化距離の最適値の有効性について述べる。Fig.3 より、移動速度変化距離には平均操作時間を最小とする値が存在したが、平均操作時間は最小値付近でほとんど変化しなかった。すなわち、移動速度変化距離は、操作時間にほとんど影響を与えないことが分かった⁵⁾。そのため、すべての実験で移動速度変化距離を最適値に固定した。

3. 実験方法

3-1 健常者を対象とした実験

被験者は健常者 20 名 (21.5±0.65 歳) とした。特に、被験者には実験の内容について詳しく説明し、書面にて同意を得た上で行った。操作時間・操作回数の測定は、Visual C++ で作成した「速度が変化する直交移動ソフトウェア」を用いた。画面サイズは、シミュレーションと同条件の 1024×768 [pixel] とし、標的サイズも同様に 16×16 [pixel] とした。標的は Fig.4 に示すように画面全体に配置し、これを 1 つずつ出現させるようにした。試行回数は Type-X, Y, Z それぞれで 10 試行とした。実験日数は 2 日間とした。入力装置は、代表的なシングルスイッチとしてプッシュスイッチ (Ablenet 社製, Big Red[®] switch) を用いた。スイッチ入力は、方向選択時とポインタ停止時に行った。

次に実験手順について述べる。2-3 で述べたように、高速・低速比は Type-X・Y・Z の 3 つとした。今回、最適値である Type-Y とそれ以外の Type 間で実験結果を比較するために、被験者を次の 2 群に分類した。

- ・ G1 : Type-X と Type-Y の比較を行う群 (10 名),
- ・ G2 : Type-Y と Type-Z の比較を行う群 (10 名)。

最後に G1 を例として、実験の具体的な手順について述べる。1 日目では、はじめに反応時間を測定し、その測定値に基づいてパラメータ 1) ~4) の値を決定する。次に、Type-X・Y の練習を十分に行い、その操作に完全に慣れてから、Type-X→Type-Y の順で測定を行った。ただし、練習では標的をランダムに出現させ、測定では Fig.4 に示す標的位置から一定順に出現させた。測定終了後、官能検査を実施し、5 分程度の休憩を設けた。なお、官能検査では、被験者に Type を伏せた上で、使いやすい Type を選ばせた。

2 日目は、1 日目と同じパラメータ値と条件を用いて、測定の順序だけを入れ替えて、Type-Y→Type-X の順で行った。なお、被験者の 5 名は上記の手順で実験を行い、残りの 5 名は 1 日目と 2 日目の手順を入れ替えて行った。その理由は、測定の順序効果の有無を検証するためである。G2 についても、Type-Y・Z の測定を G1 と同様に行った。

3-2 障がい者を対象とした実験

被験者は障がい者 10 名 (46.9±13.7 歳) とした。特に、健常者と同様に書面にて同意を得た上で実験を行った。被験者 A~J の障がい名およびスイッチ操作部位は、以下に示す通りである。

- ・ A : 頸髄損傷 (手足に不随意運動), 左手側面,
- ・ B : 脳性麻痺 (手足に不随意運動), 左頬,
- ・ C : 頸髄損傷 (不随意運動なし), 左手側面,
- ・ D : Larsen 症候群 (不随意運動なし), 右手側面,
- ・ E : ALS (不随意運動なし), 右手指,
- ・ F : 頸髄損傷 (不随意運動なし), 右手側面,
- ・ G : 脳性麻痺 (手に不随意運動), 左手指,
- ・ H : 脳挫傷 (不随意運動なし), 右手指,

- ・ I : 脳性麻痺 (全身に不随意運動), 右手指,
- ・ J : 筋ジストロフィー (不随意運動なし), 右手指。

すべての被験者は、障がい等級が 1 級のため、一般的なマウスが使いづらい、もしくは使えなかった。加えて、日常的にパソコンを使用しているが、スイッチを用いてポインタを操作した経験はなかった。

障がいのある被験者は、10 名しか確保できなかったため、健常者群のように群分けができなかった。そのため、健常者とは異なる実験手順とした。なお、その手順以外は健常者と同条件とした。1 日目では、はじめに反応時間を測定し、その測定値に基づいてパラメータ 1) ~4) の値を決定した。次に、Type-X・Y の練習を十分に行い、その操作に完全に慣れてから、Type-X→Type-Y の順で測定を行った。測定終了後、官能検査を実施し、5 分程度の休憩を設けた。休憩後、比較する Type を Type-Z→Type-Y に変え、同様に練習→測定→官能検査を実施した。最後に、Type-Z→Type-X の順で同様に実験を行った。2 日目は、1 日目と同じパラメータ値と条件を用い、測定の順序だけを入れ替えて、Type-Y→Type-X, Type-Y→Type-Z, Type-X→Type-Z の順に実験を行った。

4. 実験結果

4-1 健常者における結果

Fig.5 と Fig.6 に、G1・G2 における平均操作時間および平均操作回数の測定結果とシミュレーション結果を示す。今回は 1 日目・2 日目において、同じ Type 間では操作時間・操作回数の平均値に有意差がみられなかったため、2 日分のデータをひとつにまとめて示した。なお、各パラメータの平均値は、1) が 0.37±0.03 [s], 2) が 66.5±3.56 [pixel/s], 3) が 53.3±3.96 [pixel], 4) が 4.60±0.30 であった。

平均操作時間の結果では、G1・G2 ともに最適設定の Type-Y で有意に平均値が小さかった。一方、平均操作回数は、G2 のみにおいて Type-Y で有意に平均値が小さかった。検定には対応のある t 検定を用いた。官能検査の結果は、1 日目の G1 では 6 割, G2 では 9 割, 2 日目の G1 では 8 割, G2 でも 8 割の被験者が最適設定を使いやすいとした。

4-2 障がい者における結果

Fig.7 と Fig.8 に、すべての被験者 (A~J) における平均操作時間および平均操作回数の測定結果とシミュレーション結果を示す。障がい者でも、2 日間において同じ Type 間では有意差がみられなかったため、データをひとつにまとめて示した。なお、各パラメータの平均値は、1) が 0.85±0.27 [s], 2) が 29.6±11.4 [pixel/s], 3) が 53.5±3.91 [pixel], 4) が 4.45±0.27 であった。

平均操作時間の結果では、Type-X・Y 間, Type-Y・Z 間ともに、最適設定の Type-Y で有意に平均値が小さかった。

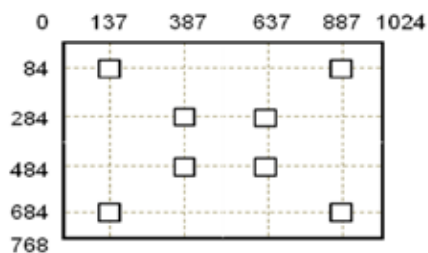


Fig.4 Positions of the target: One of them is selected in each experiment.

一方、平均操作回数は、Type-Y・Z間のみにおいてType-Yで有意に平均値が小さかった。検定には対応のあるt検定を用いた。官能検査の結果は、1日目のType-X・Y間では6割、Type-Y・Z間では9割、2日目のType-X・Y間では8割、Type-Y・Z間では7割の被験者が最適設定を使いやすいたとした。

5. 考察

本章では、「推定された最適値の有効性」について論じる。はじめに、操作時間について述べる。実験結果では、健常者・障がい者ともに最適設定のType-Yにおいて平均値が有意に小さかった。すなわち、最適設定にすれば平均的に操作時間を短縮できることが分かった。一方、操作回数については、Type-X・Y間では有意な差が生じなかったが、Type-Y・Z間では、Type-Yの方が、有意に平均値が小さかった。以上をまとめれば、最適設定のType-Yは、①Type-Xと比べて、操作回数は同程度で、操作時間だけが短い、②Type-Zと比べて、操作回数が少なく、操作時間も短い、の2つが分かった。いずれにせよ、Type-Yはヒトによる実験でも、操作時間・操作回数の両面で最適であると考えられる。この分析結果は、官能検査の結果（被験者の平均8割が最適設定を選択）とも一致している。

次に、今回は最適値で固定した3) 移動速度変化距離の設定法について述べる。予備実験の結果、高速・低速比が提案した最適値のときに、パラメータ3)を増加させると、操作時間はほとんど変化せず、操作回数はゆるやかに単調減少した。この事実から、パラメータ3)は、4)とは独立に設定しても実用上は問題ないと考えられる。

最後に、提案したパラメータ設定法の臨床応用について述べる。先行研究⁽⁴⁾より、「反応時間」を測定すれば、1) 方向切り替えの時間間隔、2) 低速時のポインタ移動速度の2つを決定できることが示された。さらに今回の結果から、3) 移動速度変化距離、4) 高速・低速比も最適化でき、かつ3)、4)は被験者間でもほとんど変わらない値であることが判明した。すなわち、利用者の反応時間だけ測定すれば、客観的指標に基づいて、すべてのパラメータを最適化できることが明らかになった。この導入段階での最適値は、必ずしも大域的な最適値であるとは限らないが、臨床応用ではデフォルトとしてまず設定すればよいと、著者は考える。その後、利用者の心身機能・形態、動作の速さ・正確さなどの個人要因、パソコンやスイッチの設置場所などの環境要因を総合的に考慮して、その値を微調整すればよい。それでも、従来のように主観的かつ試行錯誤的に決定するよりも、より短時間で使いやすい設定値を決定できるものと考えられる。

参考文献

- (1) e-AT 利用促進協会監修, 福祉情報技術II-生活を支援する技術編-, ローカス, pp.73-95, 2003.
- (2) 中邑賢龍, AAC 入門-拡大代替コミュニケーションとは-, こころリソースブック出版会, pp.74-85, 2003.
- (3) 築谷喬之, 高嶋和毅, 北村喜文, 岸野文郎, マウスポインティングにおけるターゲット属性が軌跡と運動特性に与える影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol.10, no.1, pp.95-102, 2008.

- (4) 石川真伍, 小山堅治, 林豊彦, 中村康雄, 若林佑子, 遁所直樹, 利用者に適したポインタ操作代替画面走査法の選択支援, 信学技報, WIT2008-20, pp.1-6, 2008.
- (5) 石川真伍, 小山堅治, 林豊彦, 中村康雄, 若林佑子, 遁所直樹, ポインタ操作を代替する画面走査法における直交移動法パラメータの最適化, 信学技報, WIT2009-20, pp.1-6, 2009.

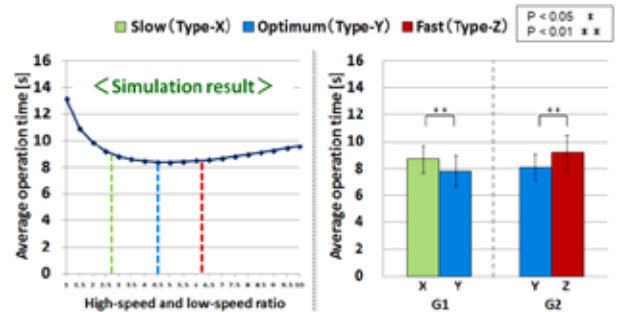


Fig.5 Average operation time in healthy subjects: Results from measurements and corresponding simulation

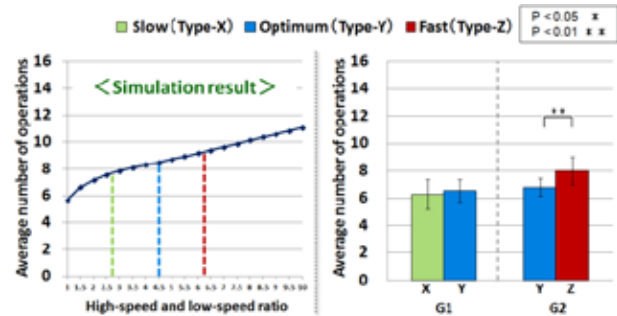


Fig.6 Average number of operations in healthy subjects

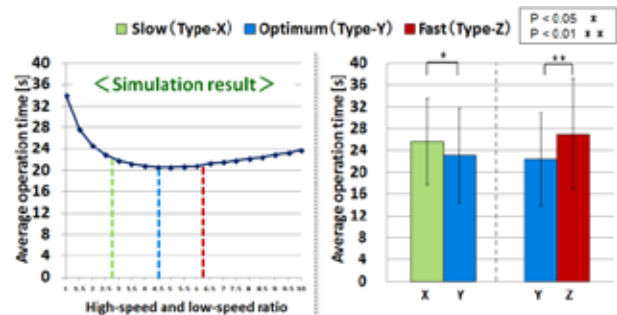


Fig.7 Average operation time in subjects with disabilities

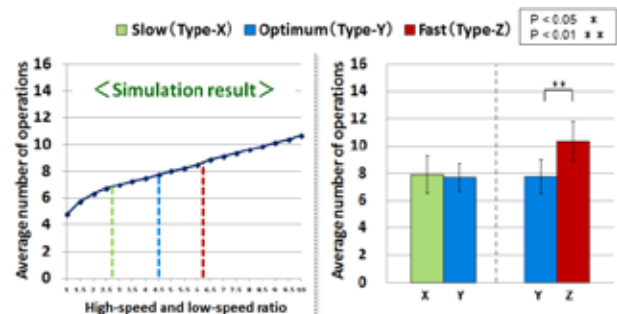


Fig.8 Average number of operations in subjects with disabilities