

# マイコンと加速度センサを用いた反応時間計測システム： 心理学実験における実用性評価

石田 光男\*

本研究は到達運動を含む心理学実験を用いて独自に開発した反応時間 (reaction time: RT) 計測システムの実用性を検討した。本システムは3軸加速度センサとマイコン (Arduino Mega) から構成されており、モニタ接触時に発生する振動波形をデジタルデータ (サンプリング周波数: 250 Hz) に変換することにより RT を計測するシステムであった。実験参加者はタッチパネル式モニタ上に提示される視覚ターゲットに直接接触するリーチング課題と、リーチング課題と同時に2桁の数字を弁別する二重課題を実施した。そしてマイコンによりターゲット出現に対する指のリフティング RT と、リフティング開始から手指がパネルに触れるまでのリーチング RT が計測された。さらにシステムクロックによるリフティング RT とリーチング RT も同時に記録した。その結果、マイコンを介して記録された RT は、システムクロックで測定された RT よりも正確であった。また抽出方法の違いはリーチング RT においてより顕著であり、タスク間で観察された時間差を上回っていた。本研究は本システムが正確な RT 計測を必要とする実験において有効であることを示している。

キーワード：反応時間、加速度センサ、高精度の測定、到達運動、計測の時間遅延

## I. はじめに

タッチパネル式モニタの心理学実験への適用は、反応イベントの取得に柔軟性をもたせ、研究目的に応じた多様な実験装置の設定を容易にする。例えば、視覚的ターゲットへの到達運動を要求する課題において反応時間や手指の移動運動、接触位置の情報を取得するなど (Ishihara & Imanaka, 2007)、視覚-運動協応を対象とする実験において有益である。また課題における反応動作方法が直感的であることから、コンピュータマウスやジョイスティックのような入力デバイスよりも操作に慣れる時間を短縮でき、ボタンスイッチなどのデバイスが不要であることも利点である。チンパンジーを対象にした実験にも適用されており (Matsuzawa, 2013)、反応イベント取得における高い柔軟性は多様な実験装置の設定を容易にする。

到達動作はリーチングやポインティングともいわ

れ、私たちの様々な生活環境において実行されている。例えば、腕を伸ばして机上のペンを取るなどの日常生活上の動作から、動くボールにタイミングを合わせてキャッチするなどの動作まで様々な場面で観察される。これは視対象 (ターゲット) に対して肩関節や肘関節の調節により手指を標的位置に移動させる知覚-運動協応となる。一見この動作は単純であるかのように感じるが、その実行には様々な心的情報処理が関わっており、対応する脳領域も多岐にわたっている。背側経路を含む頭頂連合野で処理された空間情報に基づき運動指令が生成され、背側運動前野、運動野とのネットワークを介して骨格筋に出力される (嶋田, 2017)。このように到達運動は複雑なネットワークにより実行されており、私たちの柔軟な環境適応能力を知る上でも、有益な手がかりとなる動作として位置づけられる。

しかしタッチパネル式モニタを介した場合、様々な要因により反応イベント検出に遅延が生じる。一般

---

\* 愛知学院大学心理学部心理学科  
(連絡先) 〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池12 E-mail: mitsu-da@dpc.agu.ac.jp

的なパーソナルコンピュータに PsychoPy (Peirce et al., 2019) などの心理学実験ソフトウェアを用いた測定環境の場合、マウスやキーボードから反応イベントを検出してシステムクロックにより反応時間 (reaction time: 以下 RT とする) を計測する。一方、タッチパネル式モニタを入力デバイスとして用いた場合、パネル接触時の手指の角度や面積、室内の温湿度などによる皮膚の状態によって、接触タイミングの検出に差異が生じやすいため RT の精度は十分維持されないことがある。また通常デバイスドライバを介して制御されるため、オペレーションシステム (operation system: 以下、OS とする) の割り込み処理の影響も受けやすい。すなわち、柔軟に反応イベントが取得できる反面、正確な RT 計測には適しているとはいえない。

この問題点を解決するために、石田他 (2023) は加速度センサによる RT 計測を試みている。この計測システムでは、モニタ接触時に発生する振動を加速度センサによって検出し、振動波形をマイコンのアナログ-デジタル変換機能を介して RT を算出している。この算出方法は接触時の指尖の面積や角度の違いの影響も受けにくく、OS の割り込み処理に伴う遅延を回避できる。

本研究は加速度センサによる RT 計測システム (石田他, 2023) を適用し、到達運動を含む心理学実験の RT 計測における時間精度と実用性を検証することを目的とした。タッチパネルに提示される視覚ターゲットに対して到達動作を求める検査課題を設定し、パネル接触時に発生する振動を加速度センサにより反応イベントを検出する。これにより得られた RT とシステムクロックによる RT を比較し、心理学実験における当該 RT 計測システムの実用性を検証する。

## II. 方法

### 1. 実験参加者

実験参加者は視覚機能および運動機能に障害のない健常な男子大学生 10 名とした。全ての参加者はフランダース利き手テスト (大久保他, 2014) を用いて参加者の利き手を判定した。なお、今回は利き手に関する分析は実施しなかった。

### 2. 検査課題

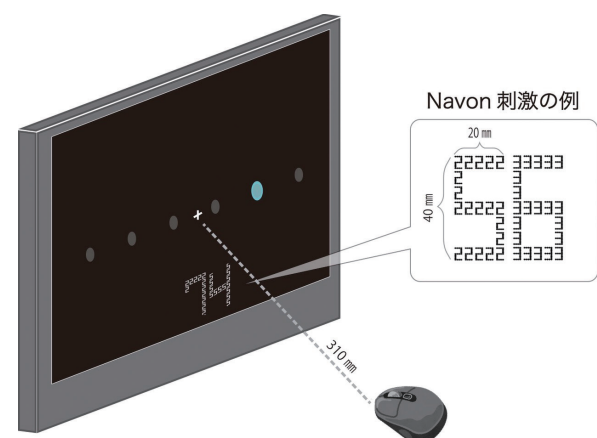
本研究はモニタ上に提示される視覚ターゲットを直接手指により触れる動作を求める到達運動 (以下、リーチングとする) を基本とした。さらにリーチング課題と同時に刺激弁別を求める副課題を行う二重課題条

件を加えた。従って本研究はリーチング課題のみの単一課題条件と二重課題条件となった。

リーチング課題では直径視角  $3^\circ$  の円を視覚ターゲット (R: G: B = 0 : 255 : 255) として用い、刺激が提示されると同時にできるだけ素早くターゲットを直接触れることを求めた。顔面固定器を用いて画面と鼻根点との距離を 360mm に維持した状態で、モニタの中心より左側 3 か所 ( $-29.1^\circ, -18.4^\circ, -6.3^\circ$ ) および右側 3 か所 ( $6.3^\circ, 18.4^\circ, 29.1^\circ$ ) にターゲット刺激を提示した。またターゲットを必ず目視してから参加者に反応させるため、全試行の 40% のターゲットは提示位置を上方向または下方向に  $3^\circ$  ずらして提示した。手指の始動からパネルまでの正確な到達時間を計測するため、反応側の手指を実験台に固定したマウスの左ボタンを押した状態で待機するよう指示し、手指の動作開始位置が一定になるよう設定した。なお、マウスボタンとモニタ中心までの距離は 310mm とした (Figure 1 左)。

副課題は Navon 数字を用いた弁別課題とした (Figure 1 右)。Navon 刺激は小さな数字 (局所数字) の配置により大きな数字 (大域数字) を構成した。大域文字は局所文字を水平方向に 5 個、垂直方向に 7 個分の範囲内で配置した (縦  $6.4^\circ \times$  横  $3.4^\circ$ )。そして大域数字を水平方向に 2 つ配置して 2 桁の数字になるよう提示した。このとき Navon 数字の中心 (2 文字のスペースの中央) と画面中心との距離を視角  $11.8^\circ$  とした。実験参加者には 2 桁の局所数字と 2 桁の大域数字を比較して、どちらの数値が大きいかを判断させた。大域数字が局所数字の数よりも大きい場合 (例: 局所 23, 大域 56) はテンキーの “0” キーを押したまま維持させ、その反対の場合 (例: 局所 65, 大域 24) にはキー

Figure 1  
二重課題条件における刺激提示例



から解放するように教示した。この時、リーチング動作を行っていない側の手により副課題のキー押しをするよう指示した。なお Navon 数字は、リーチング課題を 3～5 試行を遂行するごとに変更した。

### 3. 手続き

実験参加者に対して研究目的、質問内容、プライバシーの保護および自由意志による参加であることを説明した。また一旦同意した後でも途中でやめることが可能であることも説明した。これらの内容を理解したうえで、実験への協力に同意すると回答した者のみ本実験に参加させた。

計測は雑音などが入りにくい防音室にて測定した。はじめに練習セッションとして単一課題 50 試行を実施した。その後、50 試行を 1 セットとし、利き手 2 セット、非利き手 2 セットの計 4 セットを実施した。次に二重課題条件においても練習 50 試行を実施したのうち、利き手 2 セット、非利き手 2 セットの計 4 セットを実施した。また実験参加者が必要と感じた場合に適宜休憩時間を取るようにした。

### 4. 計測装置

実験課題の制御には制御用のコンピュータ (Apple 製 iMac, Retina 4K, 21.5-inch, 2017) と刺激提示用モニタとしてタッチパネル式モニタ (タッチパネルシステムズ製 ET2440L-8CWA-0-NPB-G) を用いた。Processing 4.0 により作成した実験プログラムにより、

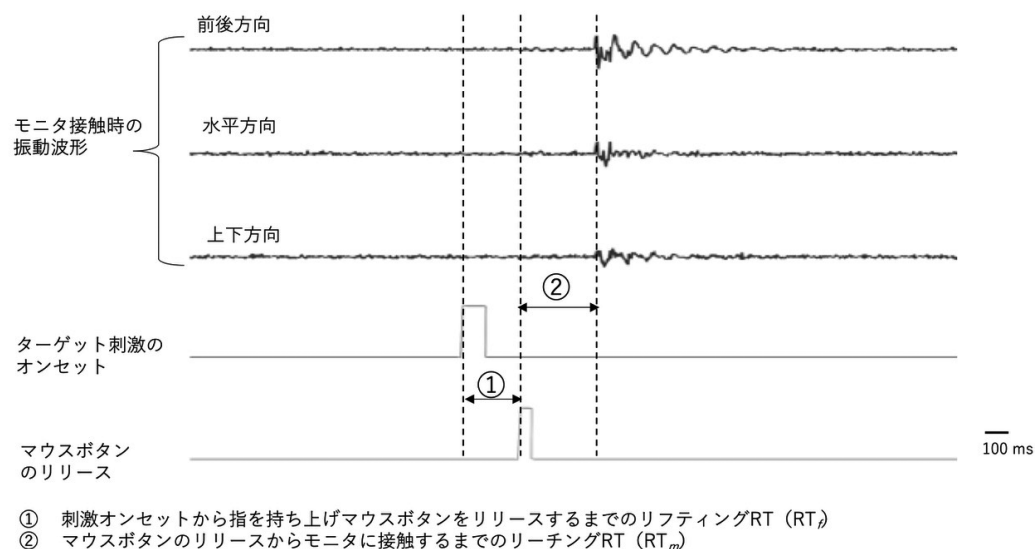
視覚ターゲット提示の制御、システムクロックによる RT 計測、マイコンへの TTL (Transistor-Transistor Logic: 以下、TTL とする) 信号出力を行なった。

反応イベントは、石田他 (2023) の計測システムに一部改良を加えて次の通り行なった。指のリフティング (finger-lifting) 動作は、マウスボタンのリリースと同期した TTL 信号から取得した。手指のリーチング (manual-reaching) 動作の完了は、タッチパネル接触により発生する振動を加速度センサ (秋月電子通商製 KXR94-2050) により検出した。視覚ターゲットのオンセットは光センサモジュール (Zhiwei Robotics Corp 製 Ambient Light Sensor) により取得した。波形データはマイコン (Arduino Mega 2560 Rev3) によりアナログ-デジタル変換 (サンプリング周波数: 250Hz) され、シリアル通信 (baudrate: 115200 bps) を介し記録用コンピュータ (HP 製 EliteDesk) に転送された。この時系列データが csv ファイルに保存された。

### 5. RT の抽出方法

マイコンにより取得した波形データ (Figure 2) から、ターゲットのオンセットから指のリフティング発生までのリフティング RT (以下、 $RT_f$  とする) と、リフティングからモニタに接触するまでのリーチング RT (以下、 $RT_m$  とする) を抽出した。なおシステムクロックにより計測したリフティング RT とリーチング RT は、それぞれ  $sRT_f$  と  $sRT_m$  とした。

Figure 2  
波形データからの反応時間の抽出



### III. 結果

Figure 3 に抽出方法（マイコン vs. システムクロック）、動作タイプ（リフティング vs. リーチング）、課題（単一課題 vs. 二重課題）別の平均 RT を示した。システムクロックによる  $sRT_f$  と  $sRT_m$  は、マイコンを介した  $RT_f$  や  $RT_m$  の値に比べて遅延していることがわかる。この抽出方法の違いは、リフティング動作 ( $RT_f$  vs.  $sRT_f$ ) に比べのリーチング動作 ( $RT_m$  vs.

Figure 3  
動作タイプおよび抽出方法による反応時間の違い

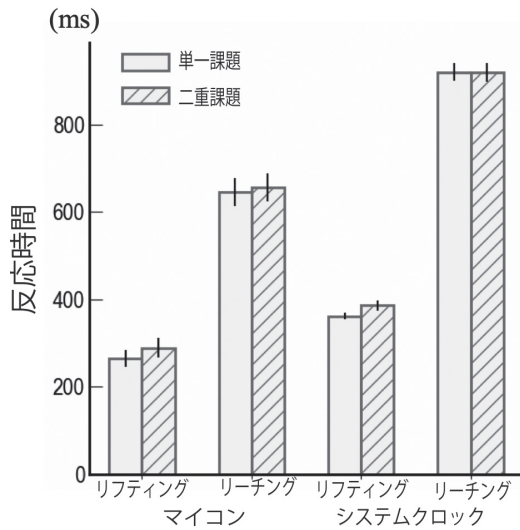
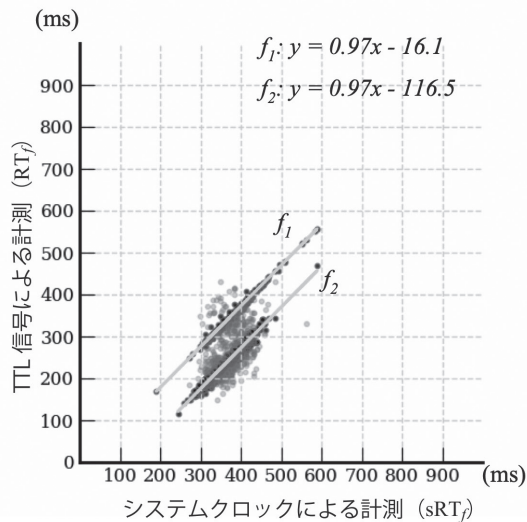


Figure 4  
システムクロックによる RT 遅延

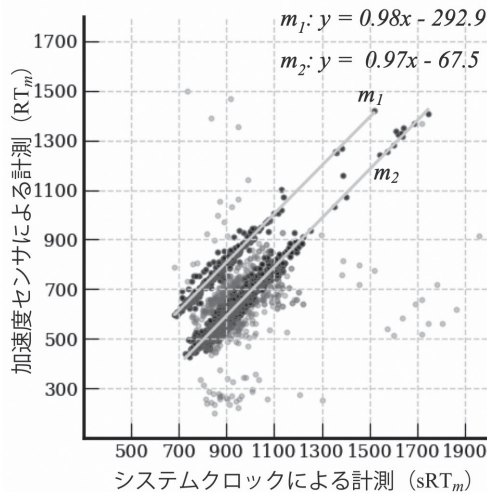


指上げ反応 (finger-lifting)

$sRT_m$ ) にて大きくなっている。3 要因の反復測定分散分析を行った結果、次の通りであった。主効果は抽出方法 ( $F(1,9) = 64.73, p < .001, \eta_p^2 = .88$ ), 動作タイプ ( $F(1,9) = 1064.39, p < .001, \eta_p^2 = .99$ ) で有意であった。また抽出方法  $\times$  動作タイプ ( $F(1,9) = 95.8, p < .001, \eta_p^2 = .91$ ) の交互作用が有意であったことから、抽出方法の違いによる RT の遅延の程度は、動作タイプによって異なることが示された。さらに抽出方法  $\times$  動作タイプ  $\times$  課題 ( $F(1,9) = 5.12, p < .05, \eta_p^2 = .36$ ) が有意であった。多重比較をおこなった結果、リーチング RT の単一課題 ( $t(9) = 6.05, p < .001, d = 2.07$ ) と二重課題 ( $t(9) = 5.78, p < .001, d = 1.97$ ) において、抽出方法の違いに有意な差が認められた。

各動作タイプにおける抽出方法による RT の時間差を求めたところ、リフティング RT では  $96.6 \pm 45.6$ 、リーチング RT では  $268.8 \pm 92.7$  の遅延が確認された。これらの結果は抽出方法による差異はリーチング RT で大きくなることが確認された。

次にシステムクロックによる反応イベント検出遅延の特徴を確認するため、単一課題における全ての有効な試行を対象に、 $sRT_f - RT_f$  (Figure 4 左) および  $sRT_m - RT_m$  (Figure 4 右) の分布を示した。リフティング動作では  $RT_f$  に対して  $sRT_f$  は遅延しており、その時間差は約 30ms または約 125ms に多く分布している。Figure 4 左上のデータ分布から、任意にデータを選択し回帰直線を算出したところ、傾き 0.97 の回帰直線  $f_1$  と  $f_2$  が得られた。またリーチング RT においても  $RT_m$  に対



移動時間 (manual-reaching)



して  $sRT_m$  は約90ms または約300ms 付近の遅延が数多くみられた。Figure 4 右上の分布から回帰直線を算出したところ、傾き0.98の回帰直線  $m_1$  と傾き0.97の回帰直線  $m_2$  が得られた。これらの結果は、システムクロックによる反応イベントの遅延発生はランダムではなく、2つのうちどちらかの一次関数上に分布することを示している。

#### IV. 考察

本研究はリーチング課題を基本とした心理学実験を用いて、加速度センサによる RT 計測システムの有用性を検証することを目的とした。リーチング課題のみを行う単一課題条件とリーチング課題に数字の弁別を同時に行う二重課題条件を設定し、抽出方法 (2) × 動作タイプ (2) × 課題 (2) の実験計画にて検証した。その結果、動作タイプおよび抽出方法の違いによる RT の差は、課題間の差異よりも大きいことが示された。

本研究結果は、加速度センサおよびマイコンを介した RT 計測は高精度に計測できることを示している。指のリフティングイベントは、マウスのボタンリリースと同期させた TTL 信号を検出することにより抽出した。一方、リーチングイベントは、タッチパネル式モニタの接触時に生じる振動を検出し、リフティングイベントの時間差を求めることにより検出している。求めた運動の特性に応じて、遅延なく反応イベントを検出できたことにより、精度よく RT が計測できたといえる。通常システムクロックによる RT 計測では、割り込み処理などの影響を常に受けるため若干の誤差は避けられない。それに対し OS を介さない RT 計測はシステムクロックの計測にくらべ早く正確に計測できる。すなわち本計測システムは、タッチパネルモニタを用いた心理学実験において最適な計測環境を提供できたといえる。

しかし遅延の程度はランダムではなく、一定の基準に従うようである。抽出方法と動作のタイプによって遅延の程度は異なるが、それぞれ2つのパターンで遅延が発生している。リフティング動作の場合、システムクロックでは30ms または125ms の遅延が頻出していた。一方、リーチング動作においても90ms または300ms 程度のどちらかの遅延が頻出していた。マイコンを介した RT に対してシステムクロックによる RT の遅延は直線的な分布であった。これらの遅延はソフトウェアとハードウェアに起因する特定の処理に従って発生していたことが想定される。しかしながら、こ

のような応答の遅延は装置の構成により変動するため(熊田, 2019)、原因を特定することは困難であった。

反応イベント検出遅延への対応は、実施する実験の課題特性や対象とする動作の反応潜時によって異なる。1000ms 前後の反応潜時が得られる実験の場合、今回計測されたイベント検出の遅延はそれほど深刻な問題とはならないかもしれない。一方、事象関連脳電位(Husain et al., 2009) や視線計測などミリ秒単位の時系列変動と対応づけを行う場合は、高精度な時間計測を要求される。そのため対象とする動作に応じたセンサを用いて、可能な限り正確な反応イベントを取得することが望ましい。これらの対応方法は、実験目的、課題の特性を十分に考慮した上で選択すべきであろう。

加速度センサの適用は時間精度以外にも他の利点がある。従来のキー押し反応と比較すると、反応イベント生起時の力を分析対象とすることにより力学的アプローチにより心的情報処理を議論することが可能である(Ulrich et al., 1999)。また到達運動は空間認識に基づいた運動指令、運動の調整などを含み、従来のキー押しに比べ多くの心的情報処理活動が含まれている。加速度センサの適用は行動反応の時間的側面に加え新たな情報を提供し、心理学実験の柔軟性を高めることを期待できる。

本研究は心理学実験の RT 計測において加速度センサを適用した測定システムの高い実用性を示した。このような高精度な RT 計測は行動測定と他の生体反応信号との対応づけを容易にすると考えられる。また導入の際、技術的な面における若干の煩雑さは未解決ではあるものの、導入コストが安価であることも利点である(石田他, 2023)。今後も心理学実験における本 RT 計測システムの適用可能性について継続して探っていきたい。

#### 利益相反

本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

#### 謝辞

本研究のデータ収集にあたり、心身科学部心理学科の堀川隼人氏、愛知皓太郎氏、田口創一朗氏にご協力を賜りましたことを厚く御礼申し上げます。

#### 引用文献

Husain, A.M., Hayes, S., Young, M., & Shah, D. (2009). Visual evoked potentials with CRT and LCD monitors: When newer is not better. *Neurology*, 72 162-164. DOI: <https://doi.org/10.1212/01>.

- wml.0000339041.29147.5f
- 石田光男・石原正規・佐藤壮平 (2023). 加速度センサと Arduino UNO を用いたタッチパネルモニターによる反応時間計測システムの開発 愛知学院大学心理学部紀要, 1, 1-8.
- Ishihara, M., & Imanaka, K. (2007). Motor preparation of manual aiming at a visual target manipulated in size, luminance contrast, and location. *Perception*, 36, 1375-1390. DOI: <https://doi.org/10.1068/p5776>
- 熊田孝恒 (2019). 反応時間計測における装置のタイミング 綾部 早穂・井関龍太・熊田孝恒 (編) 心理学, 認知・行動科学のための反応時間ハンドブック (pp.54-55) 勁草書房
- Matsuzawa, T. (2013). Evolution of the brain and social behavior in chimpanzees. *Current Opinion in Neurobiology*, 23, 443-449. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conb.2013.01.012>
- 大久保 街亜, 鈴木 玄, Nicholls M. E. R. (2014). 日本語版 FLANDERS 利き手テスト — 信頼性と妥当性の検討— 心理学研究, 85. p474-481.
- Peirce, J. W., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*, 51, 195-203. DOI: <https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>.
- 嶋田総太郎 (2017). 認知脳科学 コロナ社
- Ulrich, R., Mattes, S., & Miller, J. (1999). Donders's assumption of pure insertion: an evaluation on the basis of response dynamics. *Acta Psychologica*, 102, 43-76. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(99\)00019-0](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(99)00019-0)

(最終版 2024年1月9日受理)

## Microcomputer and Accelerometer-based Reaction Time Measurement System: Practical Utility Evaluation in a Psychological Experiment

Mitsuo ISHIDA

This study investigated the practicality of a unique reaction time (RT) measurement system in a psychological experiment involving reaching movements. This system comprises a three-axis accelerometer and a microcomputer (Arduino Mega) that converts the vibration waveform into digital data (at a sampling rate of 250 Hz). Participants performed two reaching tasks in which they touched a visual target on a touch panel monitor. In the first condition, participants only performed the reaching task, whereas the other condition required them to discriminate double digits together with the reaching task. Two types of RT were measured using the microcomputer, namely, finger-lifting RT ( $RT_f$ ) for the onset of the visual target and manual-reaching RT ( $RT_m$ ), which represented the time interval between the onset of finger lifting and the moment at which the finger touched the panel. Simultaneously, the finger-lifting RT (s $RT_f$ ) and manual-reaching time (s $RT_m$ ) were recorded using the system clock. The results revealed that the RTs recorded via the microcomputer were more accurate than those measured by system clocks. These differences in measurement methods were more pronounced for manual-reaching times ( $RT_m$  and s $RT_m$ ), surpassing the variation observed between tasks. This study indicates that this system will be valuable for experiments that demand precise RT measurements.

Keywords: reaction time, accelerometer, highly accurate measurement, reaching movement, temporal delay in measuring.