

聴覚障害者に適したクラウチングスタートにおける 触覚刺激スタート合図の特定

設楽明寿^{†1} 生田目美紀^{†2} 白石優旗^{†2}

概要: 現在、聴覚障害者陸上競技短距離走では、光刺激 (LED 方式視覚刺激) によるクラウチングスタートが採用されているが、一般に、触覚は視覚に比べて優位に (40ms 程度) 知覚時間が短く、聴覚の知覚時間とほぼ同じ (5ms 程度の差) と報告されている。そこで、我々は、聴覚障害者を対象とし、触覚を活用したスタートシステムを提案している。本論文では、聴覚障害者に適した触覚刺激を特定するため、プッシュ方式と振動方式の 2 種類の触覚刺激に対して反応時間比較実験を行った。データ解析ならびにアンケート調査の結果、プッシュ方式の方が振動方式よりもスタート合図に適していることが判明した。更に、プッシュ方式触覚刺激と LED 方式視覚刺激との比較を行った結果、反応時間に有意差が認められなかったものの、プッシュ方式触覚刺激の可能性と課題を明確化できた。

キーワード: 聴覚障害者, 陸上競技, 短距離走, スタート合図, 触覚刺激, 反応時間

1. はじめに

本研究は、聴覚障害者陸上競技における従来のピストル音によるスタート合図を代行する新たな代行感覚を利用したスタートシステムとして触覚刺激によるスタートシステムを提案し、「聴覚障害者」のみではなく「視覚障害者」を始めとした「障害者」や「聴者」を対象とした触覚刺激によるスタート合図のユニバーサルデザインを提案することを最終的な研究目的としている[1]。なお、本稿の第一著者は、生まれつき「混合性難聴による聴覚障害」を抱えており、現在も特に 100m 走, 200m 走を専門にして聴覚障害者陸上競技に本格的に関わっている[a]。

聴覚障害者の一般陸上競技短距離走への参加における課題として、青山らによる「光刺激スタートシステム」の開発・普及活動の取り組み[2]にも述べられている通り、以下が挙げられる。

- 補聴器を利用してもスタート音の聞き取りへの不安が大きい
- スターターの動作を確認したくても、スターターが選手の後方からピストルを打つ種目もあり、スターターの動作を目視することができないことがある

これらの課題を解決するため、現在の聴覚障害者陸上競技短距離走では、一般社団法人日本聴覚障害者陸上競技協会が管理している光刺激スタートシステム[2] (図 1, 図 2) が利用されている。

しかし、反応時間に関する研究によると、聴覚と触覚に対する時間は視覚よりも短いと言われており、一例では、聴覚と触覚の単純反応時間[b]は 140ms, 視覚の単純反応時間 180ms と報告されている[3]。

また、伊福部による聴覚障害者の感覚代行における研究

[4]によると、聴覚比較における知覚時間を調査した結果、視覚 (聴覚から約 30ms 遅れ) よりも触覚 (聴覚から約 5ms 遅れ) の反応時間の方が速いことが報告されている。

これらのことから、視覚刺激を用いた場合の聴覚刺激に対する遅れ時間は、写真判定によるレースの最小時間単位である 10ms[5]を超過してしまい、レースの記録に影響を与える可能性がある。すなわち、聴者と聴覚障害者の記録に差が出てしまう可能性がある。しかし、触覚刺激の場合では 10ms 単位未満に抑えられる可能性があり、それにより聴者と聴覚障害者との差を縮めることができる。

そこで、我々は、触覚刺激を採用したスタート方式として、陸上競技短距離走のクラウチングスタートにおける振動刺激によるスタートシステムを提案し開発している[1,6]。ただし、知覚時間については、視覚に対する触覚の優位性が示されているものの、クラウチングスタートのような全身を使った反応時間についての比較実験は、我々の知る限り行われていない。そのため、陸上競技短距離走経験のある聴覚障害者を対象とした反応時間測定の比較実験を行ってきた[7]。しかし、視覚よりも触覚の方が有効である可能性は示されたものの、振動方式触覚刺激における伝達機構に課題があり統計的な有意差は確認できなかった。

したがって、本論文では、これまでに開発してきた LED 方式視覚刺激及び振動方式触覚刺激に対する反応時間計測システム[6,7]を改良し、新たな触覚刺激としてこれまでの振動方式の他にプッシュ方式によるスタート信号を加え、プッシュ方式と振動方式の 2 種類の触覚刺激に対して反応時間計測比較実験を行う。その際、比較のため、現在一般に使用されている LED 方式による視覚刺激スタート信号に対する反応時間計測も実施する。以上により、聴覚障害

^{†1} 筑波技術大学大学院 技術科学研究科
Graduate School of Technology and Science, Tsukuba University of Technology

^{†2} 筑波技術大学 産業技術学部
Faculty of Industrial Technology, Tsukuba University of Technology

a) 2017 年 7 月にトルコ・サムスンで行われた、障害当事者である聴覚障

害者自身が運営する聴覚障害者のためのオリンピック競技大会である「デフリンピック」に 4×100m リレーの日本代表選手として出場し、日本記録の更新と金メダルの獲得に寄与している。

b) 刺激が提示されたらただちに反応する反応時間。

者に適したクラウチングスタートにおける触覚刺激を特定する。

2. 光刺激スタートシステム

現在、聴覚障害者陸上競技短距離走で使用されている光刺激スタートシステム[2]の詳細について以下に述べる。実際の使用手順は以下の通りである。

最初に、各自スターティングブロックの足かけ（図1）の位置を決定する。次に、走者が認識可能な位置に光刺激スタートシステムのシグナル部を設置する（図2）。その後、「On your mark」とスターターが声を出す同時に、光刺激スタートシステムのシグナル部（図3）のランプが「赤」になる。それを認識した走者は、スターティングブロックに足を乗せる。そして、スターターが「Set」と声を出した際に、光刺激スタートシステムのシグナル部のランプを「黄」へ変化させる。その際、走者は腰を上げ、身体を停止させる。最後に、スターターがピストルのトリガーを引く際、光刺激スタートシステムのシグナル部のランプが「緑」に変化する。走者は緑色の光を認識したら、スタートする。

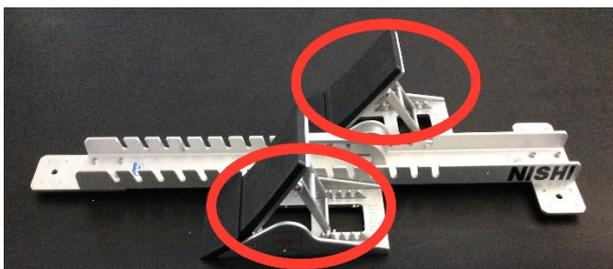


図1 スターティングブロック
(赤い円で囲まれているのが足かけの部分)



図2 図1の使用様子
(一般社団法人日本聴覚障害者陸上競技協会より)



図3 光刺激スタートシステムのシグナル部
(一般社団法人日本聴覚障害者陸上競技協会より)

3. システム概要

本論文では、我々が開発した反応時間計測システム[6]を用い、各刺激に対する反応時間を計測する。検出アルゴリズムには、現在の陸上競技スタートシステムで実際に使用されている横倉の開発した陸上競技用スタート動作の検出方式[8,9]を参考にし、移動平均と遅延を利用した変化量検出方式を用いている。

本システムは、コントローラ、視覚刺激と触覚刺激の各発生装置、組込みボード、スターティングブロックに取り付けたロードセル[c]からなる。本システムの使用イメージを図4,5に示す。

触覚刺激発生装置の位置は手を置く場所としている[1]。理由は以下の通りである。まず、触覚刺激発生装置を身体に身につけることは、スターティングブロックを蹴る動作や走行動作に影響を与える可能性があるため除外する。よって、地面やスターティングブロックと接触部のある手足のみについて考える。しかし、足の場合はスターティングブロックを蹴る動作に影響を与える可能性がある。そこで、除去法により、最も影響の少ないと考えられる手の接触部に絞った。一般に、指先の触覚感知力は他の箇所と比較して高いと言われており、今回の目的と合致する。

視覚刺激発生装置の位置は、選手が目視できるように、スターティングブロックの前方とする。これは、現在の光刺激スタートシステム[2]と同様である。

また、「On your mark」「Set」は、「赤」「黄」のそれぞれのボタンをスターターが押すことにより、任意のタイミングで操作可能とする。「Start」は、視覚刺激、触覚刺激のうちの刺激を発生させるのかを独立して指定可能とするために、コントローラのボタンを別々にしている。

c) 加えられた力の大きさを調べるセンサ。

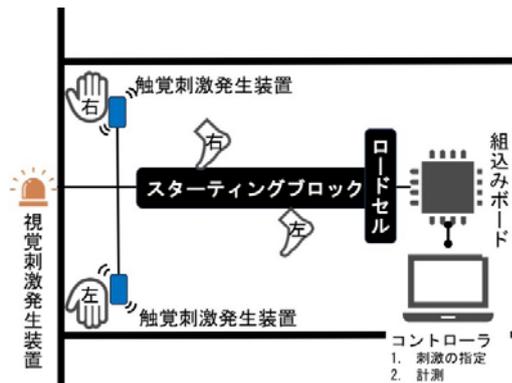


図4 反応時間計測システムの使用イメージ

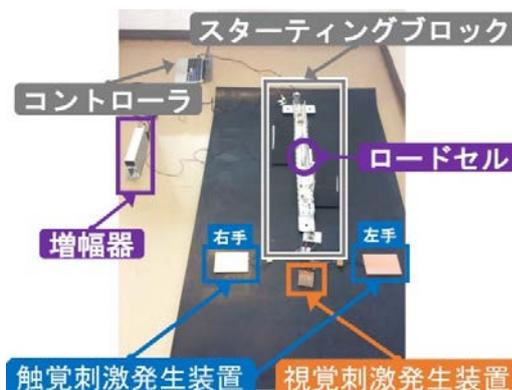


図5 反応時間計測システム全体図

4. 各刺激発生装置の課題

これまでに開発してきた振動刺激によるスタートシステムの課題を明らかにするため、視覚刺激と振動刺激との反応時間比較実験[7]で使われた、LED方式視覚刺激発生装置と振動方式触覚刺激発生装置を図6と図7に示す。

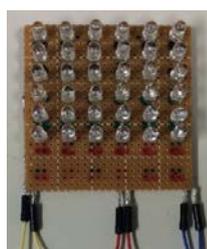


図6 LED方式

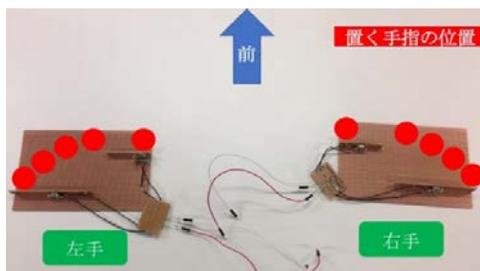


図7 振動方式

4.1 LED方式視覚刺激発生装置の課題

LED方式は、「On your mark」「Set」「Start」の合図を行う場合、図8-10のように動作する。なお、振動方式を利用する場合には、走者に混乱を生じさせないため「On your mark」「Set」の合図はLED方式とし「Start」の合図のみ振動方式により伝達する形式としている。

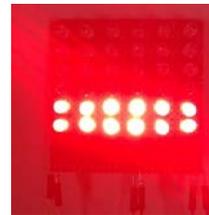


図8 On your mark



図9 Set



図10 Start

しかし、アンケートやインタビューで、「目がチカチカする」、「眩しい」との回答があり、LEDの発光力が強過ぎることが明らかになった。

4.2 振動方式触覚刺激発生装置の課題

振動方式については、両手の親指と小指を振動板（モーターにより振動）に接触させる方式を採用している。横から見た様子を図11に示す。図11から、体重により手を通して地面を押す力と地面反力がともにモーターにはかかっていないことが確認できる。しかし、アンケートやインタビューでは、「手を置く位置を気にする」、「手の置き方に制限がかかってしまう」との回答があった。

振動方式触覚刺激発生装置を真上から見た様子を図12に示す。図12から、手の大きさや手の置き方によっては指を振動板に接触させることが確かに困難であることがわかる。これにより、上記課題に対応するための手の置き方の自由度を確保する必要があることが明らかになった。

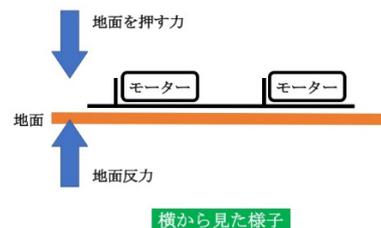


図11 振動方式を横から見た様子

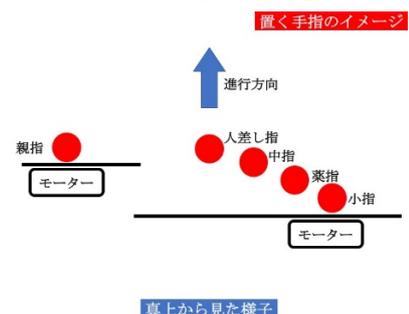


図12 振動方式を真上から見た様子

5. 各刺激発生装置の改善

ここでは、アンケートやインタビューで明確にした各刺激発生装置の課題点について改善する。まずは、触覚刺激の伝達方式の種類を下記に列挙し、検討し直す。

1. 振動方式
2. プッシュ方式
3. 空気方式
4. 冷温方式
5. 電気方式

空気方式と冷温方式は風や温熱などの環境要因の影響を受けるため、スタート信号を確実に伝達するのが困難と考えられる。また、電気方式は雨や汗などの環境要因の影響で人体に悪影響を与える可能性があり、かつ電気方式に対する心理的抵抗が強い[d]ため 比較対象から除外した。結果、残り2つの振動方式とプッシュ方式のうちどちらが聴覚障害者のクラウチングスタートに適しているか比較することにした。

伝達機構については、手を置き方の自由度を確保するために、Autodesk 社の 3DCAD ソフトウェアである Inventor を用いて設計し、FLASHFORGE 社の 3DプリンターInventor2 を用いて製作した。

5.1 LED 方式視覚刺激発生装置の改善

4.1 LED 方式視覚刺激発生装置で述べた LED の発光力が強過ぎる課題に対応するため、アクリル板を LED の上に固定し、そのアクリル板に保護シールを貼ることで、LED の発光力を少し弱めた。

改良した LED 方式視覚刺激発生装置を図 13 に示す。図 14-16 は動作の様子を表している。



図 13 改良した LED 方式



図 14 On your mark



図 15 Set



図 16 Strat

d) ビリッとする感覚に対する嫌悪感のため。

5.2 振動方式触覚刺激発生装置の改善

振動発生装置については、振動をより強く伝達し、かつ応答時間が 1ms と十分に短いモーターである ALPS 社の振動デバイス (ハプティックリアクタ) に変更した (図 17)。また、4.2 振動方式触覚刺激発生装置の課題で述べた手の置き方の自由度を確保するため、両手の親指にのみ接触する方式の伝達機構 (図 18) を 3D プリンターで製作した。



図 17 振動デバイス

(ALPS 社 ハプティック®リアクタ)



図 18 振動方式伝達機構

5.3 プッシュ方式触覚刺激発生装置の開発

今回新たに開発するプッシュ方式触覚刺激発生装置には、プッシュ方式を実現するためのモーターとして ZonHen 社のソレノイド (図 19) を採用した。その際、両手の親指をプッシュする方式の伝達機構 (図 20) を 3D プリンターを用いて製作した。

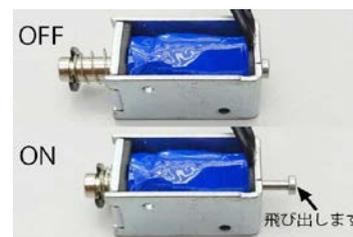


図 19 ソレノイド (ZonHen 社 ZHO-0420S-05A4.5)



図 20 プッシュ方式伝達機構

6. 反応時間比較実験

聴覚障害者に適した触覚刺激を特定するため、プッシュ方式と振動方式の2種類の触覚刺激に対して反応時間比較実験を行う。更に、比較のため、現在一般に使用されているLED方式による視覚刺激スタート信号に対する反応時間計測も実施する。

具体的には、陸上経験のある被験者6名に対して、LED方式、プッシュ方式、振動方式のそれぞれに対して5回ずつクラウチングスタートにおける反応時間を計測する。計測し終わった後にアンケートとインタビューを行い、各方式に対する「認識のしやすさ」と「スタートのしやすさ」についても同時に調査する。それらを6回繰り返し実施する。

実験により得られるデータ数は、実験対象者1名に対し1回の実験当たりLED方式視覚刺激5個、振動方式触覚刺激5個、プッシュ方式触覚刺激5個となる。したがって、全実験で得られるデータ数は、LED方式視覚刺激、振動方式触覚刺激、プッシュ方式触覚刺激のそれぞれに対して180個、合計540個(=180個×3種類)となる。

なお、得られたデータの外れ値の決定方法には標準偏差による選択[10]を用いた。具体的には、それぞれの刺激での平均値に対して標準偏差の2倍の範囲から外れたものを外れ値として除外した。除外した数が、LED方式視覚刺激10個、振動方式触覚刺激が8個、プッシュ方式触覚刺激が10個となった。

表2 2種類の触覚刺激の平均と標準偏差(被験者6名)

	平均(sec)	標準偏差(sec)
振動方式	0.2320	0.06328
プッシュ方式	0.2237	0.05158

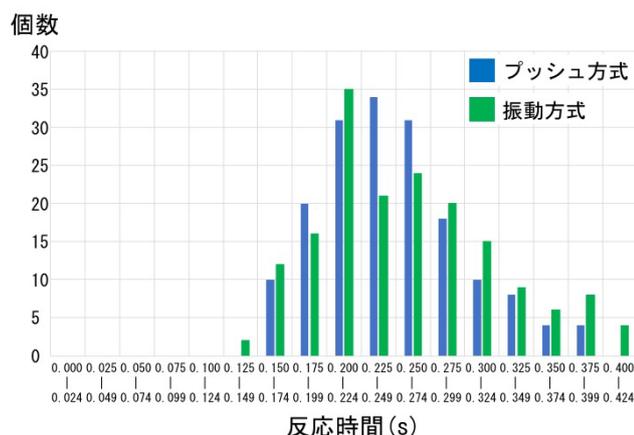


図21 2種類の触覚刺激に対する反応時間のヒストグラム

2種類の触覚刺激に対する反応時間と標準偏差の解析結果を表2と図21に示す。ウェルチのt検定を行った結果、反応時間の平均値の差については有意傾向が確認できた

($p=0.093 < 0.10$)。また、F検定の結果、反応時間の標準偏差の差については有意差があった($p=0.008 < 0.05$)。すなわち、プッシュ方式の方が反応時間が安定していた。以上により、触覚刺激スタート信号としては、プッシュ方式の方が振動方式よりも適していると判断した。

表3 各刺激の平均と標準偏差(被験者6名)

	平均(sec)	標準偏差(sec)
プッシュ方式	0.2237	0.05158
LED方式	0.2234	0.05857

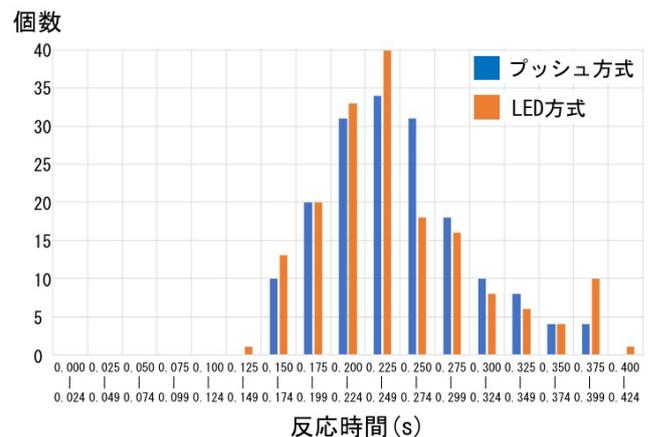


図22 各刺激に対する反応時間のヒストグラム

次に、プッシュ方式触覚刺激と現在一般に使用されているLED方式視覚刺激との差を検証した。解析結果を表3と図22に示す。ウェルチのt検定では有意差を確認できなかった($p=0.477 < 0.05$)ものの、F検定では有意差を確認できた($p=0.010 < 0.05$)。

7. 考察

反応時間比較実験の結果より、触覚刺激スタート信号としては、プッシュ方式の方が振動方式よりも適しており、かつプッシュ方式の方がLED方式よりも安定していることから、スタート信号としてプッシュ方式が最適である可能性があると考えられる。

また、アンケートやインタビューを行った結果、プッシュ方式について「力がもう少し欲しい」、「手の置く位置が少し気になる」、「プッシュ方式にまだ慣れない」との回答があり、課題がまだ残されていることがわかる。

これらの結果から、プッシュ方式を実現するためのアクチュエータであるソレノイドを新たに選定し、新規ソレノイドに合わせて伝達機構を再度製作する。その際、使いやすさを考慮し、伝達機構の更なる小型化を目指す。また、慣れについては、実験回数を増やした上で、十分にプッシュ方式によるスタート合図に慣れたことを確認した後のデータに絞って解析し考察することが必要であるとする。

8. 関連研究

聴覚障害者陸上競技に関わる支援技術の研究は行われているものの、本研究が試みるような、当事者による聴覚障害者陸上競技に関わる支援技術の研究は少ない。

聴覚障害者が関わるスポーツ全般で使うと想定された支援技術の研究を紹介として、穂苅らは聴覚障害者スポーツのための報知・警告システムの開発している[11]。ここでは、振動刺激が利用されているが、様々なスポーツでの利用を想定した試作機を作成したのみであり、聴覚障害者を対象にした様々なスポーツでの場面を想定した評価実験が行われていない。特に、個々のスポーツのルールや場面に合わせた専門性を深めたものではなく、聴覚障害者陸上競技に直接適用はできない。

また、中山らの聴覚障害者水泳選手のリアクションタイムとレースタイムとの関連性に関する研究[12]によると、競技会におけるスタート時のスタート反応時間とレースタイムには、有意な相関がある。このことから、聴覚障害者水泳選手のスタート反応時間は、レースタイムに影響を及ぼす要因の一つとしている。この研究は水泳競技を対象としたものであるが、陸上競技についても同様のことが言えると考えられる。

9. まとめと今後の課題

本論文では、聴覚障害者陸上競技短距離走に適したクラウチングスタートにおける触覚を活用したスタート合図を特定するために、プッシュ方式と振動方式の2種類の触覚刺激に対して反応時間比較実験を行った。

実験の結果、プッシュ方式の反応時間の方が振動方式の反応時間よりも早い有意傾向が得られ、かつプッシュ方式の反応時間の方が安定している（標準偏差の値が小さい）ことから、プッシュ方式の方がスタート合図に適していることが判明した。更に、プッシュ方式とLED方式視覚刺激との比較を行った結果、プッシュ方式の方がLED方式よりも安定していることから、スタート信号としてプッシュ方式が最適である可能性を確認するとともに、プッシュ方式の課題を明確化することができた。

今後は、プッシュ方式によるスタート信号発生装置を改良した後、実験回数を増やした上で、LED方式との反応時間計測比較実験を行う予定である。

将来は、本装置の対象者を聴覚障害者とするだけではなく、視覚障害者、車椅子や義足、義手を使用する障害者など、障害の種類に関係なく誰でも使うことができ、かつ健常者も違和感なく使用可能なユニバーサルデザインにしていくために、触覚インタフェース技術による実用化を進めていきたい。

謝辞 本研究の一部は、筑波技術大学平成30年度学長のリーダーシップによる教育研究等高度化推進事業による助成、並びにJSPS科研費JP16K16460の成果であり、ここに記して謝意を表すものとする。

参考文献

- [1] 設楽明寿, 白石優旗, 聴覚障害者陸上競技に適した振動刺激スタートシステムの提案, 情報処理学会研究報告, Vol.2016-AAC-2, No.2, pp.1-3, 2016
- [2] 青山利春, 竹見昌久, 岡本三郎, 「光刺激スタートシステム」の開発・普及活動の取り組み, 聴覚障害, 67巻, 743号, pp.21-26, 2013
- [3] 大山正, 反応時間研究の歴史と現状, 人間工学 21(1), pp.57-64, 1985
- [4] 伊福部達, 発音訓練における感覚代行, 人間工学 16(1), pp.5-17, 1980
- [5] 公益財団法人日本陸上競技連盟, 第165条 計時と写真判定, 日本陸上競技連盟競技規則, 第3部 トラック競技, pp.185-191, 2016
- [6] 設楽明寿, 白石優旗, 振動刺激を用いたクラウチングスタートにおける反応時間計測システムの開発, 情報処理学会研究報告, Vol.2017-AAC-3, No.7, pp.1-5, 2017
- [7] Akihisa Shitara, Yuhki Shiraishi, Miki Namatame, Proposal of a Vibration Stimulus Start System for Deaf and Hard of Hearing, Journal on Technology & Persons with Disabilities, Vol.6, pp.139-147, 2018
- [8] “セイコー陸上競技システム総合カタログ”.
https://www.seiko-sts.co.jp/products/uploads/pdf/s_rikuiyo_c.pdf, (参照 2018-08-02).
- [9] 横倉三郎, 陸上競技用スタート動作の検出方式, 計測自動制御学会論文集, vol.36, no.2, pp.159-164, 2000
- [10] 大久保街亜, 反応時間分析における外れ値の処理, 専修人間科学論集 心理学篇, Vol.1, No.1, pp.81-89, 2011
- [11] 穂苅真樹, 沖俊典, 聴覚障害者スポーツのための報知・警告システムの開発, スポーツ産業学研究, vol.25, no.1, pp.89-95, 2015
- [12] 中山正教, 木村靖夫, 田中沙織, 聴覚障害者水泳選手のリアクションタイムとレースタイムとの関連性に関する研究, 日本体育学会大会予稿集, 59巻, 272号, 2008