

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

設楽明寿^{†1} 白石優旗^{†1}

概要： 聴覚障害者陸上競技では、光刺激によるスタートシステムが導入されているが、先行研究によると、視覚に比べて触覚の方が知覚時間が短いことが示されている。そこで、我々は、新たな代行感覚である振動刺激によるスタートシステムを提案している。しかし、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、視覚刺激と聴覚刺激に対する比較実験は、我々の知る限り行われていない。よって、本論文では、クラウチングスタートにおける反応時間計測システムを開発し、その有効性について検討する。

キーワード： 聴覚障害者、陸上競技、スタート合図、振動刺激、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、振動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」を対象とした振動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関わっている。

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

これらを解決するため、聴覚障害者陸上競技短距離走においては、スタートの情報を選手が目視できるように、選手の前でスターターが椅子に座った状態で行う「目視スタート」を利用されている。しかしながら、以下の課題が残されている。

- 顔を上げてスターターを目視しなければならず、スターティングブロックを蹴る動作に影響を及ぼす
- スターターの立ち位置によっては顔を傾けてスターターを見る必要があり、音声聞き取れる選手が有利になりやすい

これらを解決するために、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、伊福部による聴覚障害者の感覚代行における研究[3]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[4]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、聴者と聴覚障害者との差が生じにくいことが期待される。

そこで、本研究では、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ている[1]。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。

したがって、本論文では、振動刺激によるスタートシステムを新規に開発するとともに、開発したスタートシステムを用いて、光刺激、振動刺激による全身の反応時間を計測する機能を同時に開発し、予備実験により振動刺激と光刺激の知覚時間を比較する。

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。

最初に、各自、スターティングブロックの足かけ(図3)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、「位置について(On your mark)」とスターターが声を出す

^{†1} 筑波技術大学
Tsukuba University of Technology

同時に、光刺激スタートシステムのシグナル部（図 1）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「よい (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 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)

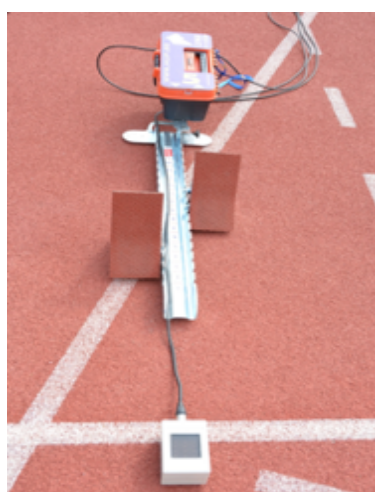


図 2 図 1 の使用様子
(一般社団法人日本聴覚障害者陸上競技協会より)

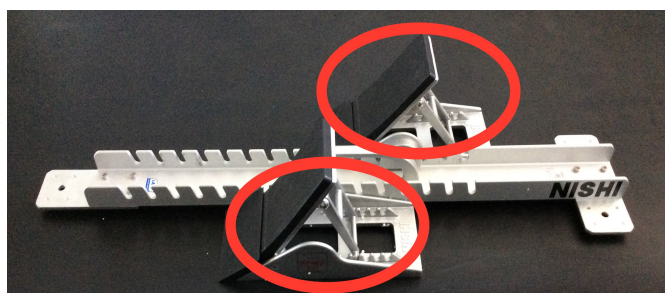


図 3 スターティングブロック
(赤い円で囲まれているのが足かけの部分)

3. システム概要

本論文では、参考文献[1]で提案した試行システム案を元に開発する。試行システム案を図 4 に示す。その際、光刺激、振動刺激による反応時間を計測するため、横倉の開発した陸上競技用スタート動作の検出方式[4]を参考にし、各代行感覚における合図発生装置を新規に作成、搭載する。ここでは、検出アルゴリズムとして、移動平均と遅延を利用した変化量検出方式を用いられている。

我々の開発するシステムは、振動発生コントローラ、光、振動それぞれの発生装置、組み込みボード、スターティングブロックに取り付けたロードセルからなる。ここで、ロードセルとは、加えられた力の大きさを調べるセンサのことである。作成する試行システムの使用イメージを図 5 に示す。その際、振動発生装置の位置は、手を置く場所とする。光発生装置の位置は、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。

これらの、光刺激、振動刺激を同時刻に発生するために、組み込みボード (mbed) を利用し、各刺激の発生を同期するプログラムを作成する。また、コントローラのトグルスイッチを使うことで、光刺激、振動刺激のうちどの刺激を発生させるのかを独立して指定可能とする。また、「位置について (On your mark)」「よい (Set)」「スタート」は、「赤」「黄」「緑」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。

反応時間の計測方法は以下の通りである。最初に、コントローラのスタートボタンを押した時刻「 $T=0$ 」とする。次に、スターティングブロックにあるロードセルが、スターティングブロックを蹴るスタート動作を感知した時刻「 $T=x$ 」とする。最後に、「 $T=x$ 」から「 $T=0$ 」を引き、反応時間「 $T=x-0$ 」を導く方法で行う。

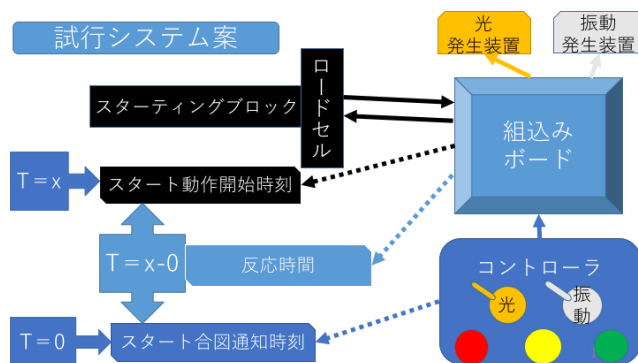


図 4 本研究で使用する試行システム

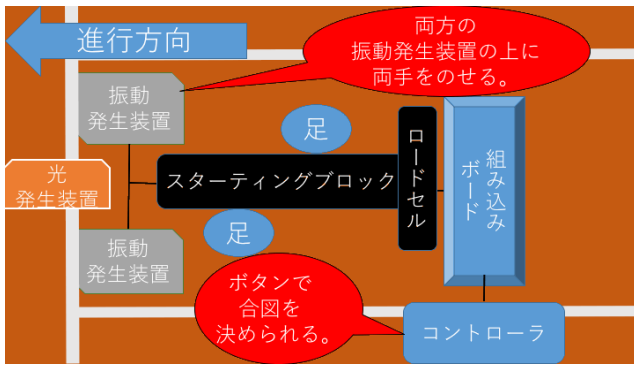


図5 図4の使用イメージ

開発するシステム（以下プロトタイプと記す）の回路図を図6に示す。また、回路図を元に開発したプロトタイプの全体様子と横から見た様子を図7, 8に示す。このプロトタイプは、組込みボード、ロードセル、増幅器、光刺激発生装置、振動刺激発生装置、トランジスタアレイから構成されている。図7では、スターティングブロックは黒色のゴムシートの上に置かれている。

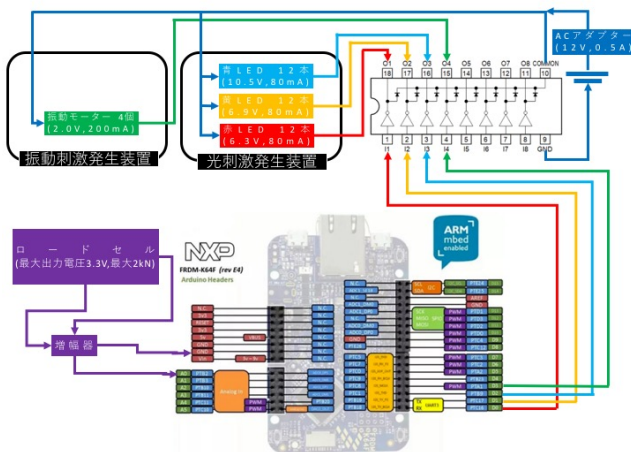


図6 プロトタイプの回路図

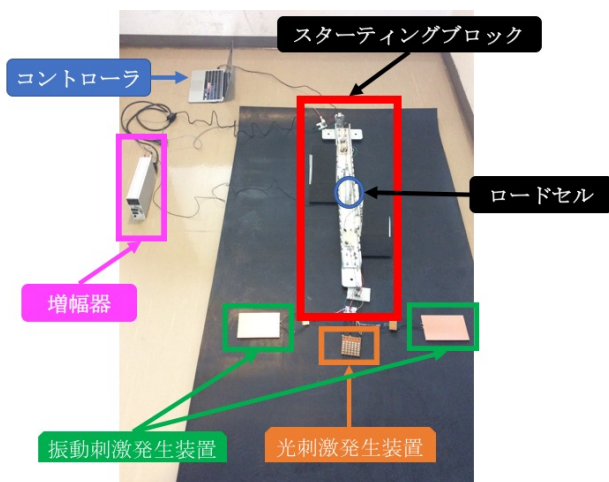


図7 プロトタイプ全体図

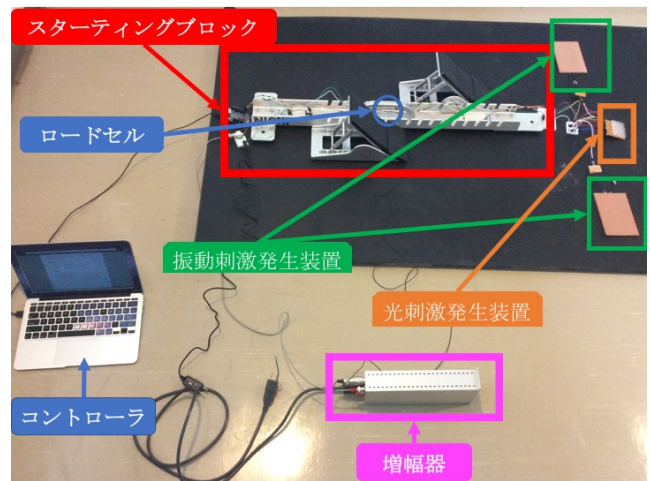


図8 プロトタイプを横から見た様子

4. システム詳細

mbed を用いて反応時間測定用プログラムを作成し、組込みボード（図9）とロードセル（図10）、増幅器（図11）を接続する。横倉[5]の論文を参考に、ロードセルの最大入力を2[kN]とし、最大出力電圧を mbed の最大入力電圧である3.3[V]に設定する。ただし、ロードセル単体で3.3[V]を出力することが困難であるため、増幅器により電圧を増幅した後に mbed に出力する。その後、mbed で変換精度12[bit]のAD変換を行う。その際、サンプリングレートは1[msec]に設定する。mbed アプリケーションにより、反応時間と反応した際のロードセルに掛かる力を記録する。

図9は、ロードセルが組込みボードへ出力するため、ロードセルに接続された増幅器を組込みボードへ接続している様子である。また、図10は、ゴムシートの上に当金を置き、その上にロードセルを設置している様子を示している。当金を置く目的は、ロードセルが正確に力を測定できるようにするためである。

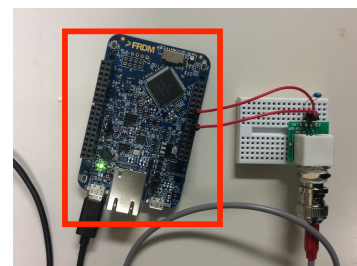


図9 組込みボード（ARMmbed FRDM-K64F）

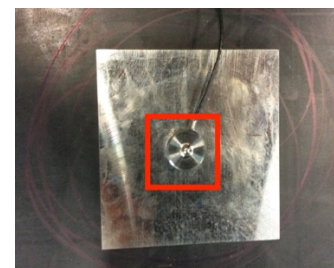


図10 ロードセル（共和電業 LMR-S-2KNSA2-P）



図 11 増幅器 (共和電業 DPM-911B)

光刺激発生装置を図 12 に示す. 光刺激発生装置では, 上から, 赤色, 黄色, 青色の LED を 6 本ずつ設置している. 「位置について (On your mark)」「よい (Set)」「スタート」の合図を行う場合, 図 13, 図 14, 図 15 のように動作する. 赤色, 黄色, 青色の LED 1 本の光の強さは, 6,000[mcd], 4,500[mcd], 4,000[mcd]である.

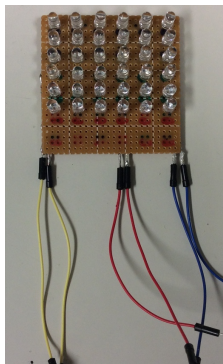


図 12 光刺激発生装置

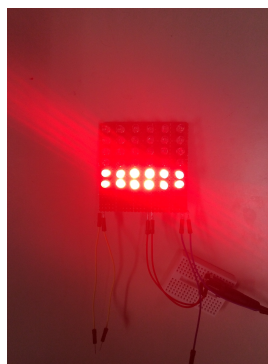


図 13 位置についての場合



図 14 よういの場合



図 15 スタートの場合

振動刺激発生装置を図 16 に示す. 円盤形ブラシレス振動モーター (図 17) を 4 個用いて振動刺激を発生させる. 左右 2 個ずつ設置し, 1 個ずつ基盤に対して直立した基盤の後ろに設置している.

振動刺激発生装置を利用する場合では, 「位置について (On your mark)」「よい (Set)」の合図は光刺激発生装置を動作させる. 次に「スタート」の合図で振動モーターを動作する形で行う.

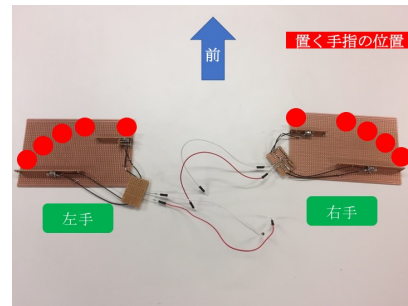


図 16 振動刺激発生装置



図 17 円盤形ブラシレス振動モーター
日本電産コバル株式会社 LBV10B-009

振動刺激発生装置の詳細について以下に述べる. まず, 振動モーターは. その原理上, 一定以上の力が加わると振動することができない. そこで, 直接振動モーターに手で体重をかける方式ではなく, 両手の親指と小指を振動モーターを取り付けた振動板に触れさせる方式を採用する (図 16). 真上から見た様子を図 18 に, 横から見た様子を図 19 に示す. 図 19 に示す通り, 体重により手を通して地面を押す力と, 地面反力が共にモーターにかかっていないことが確認できる.

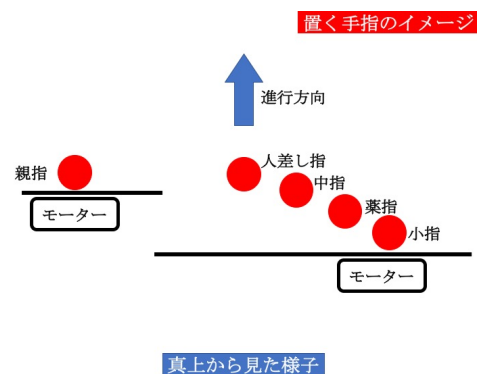


図 18 真上から見た様子

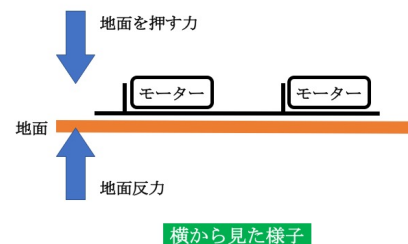


図 19 横から見た様子

5. 予備実験

本論文では、開発システムの有効性を検証するため、予備実験として、陸上経験のある被験者1名に対して、光刺激、振動刺激それぞれに対して3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。

表1 反応時間（被験者1名）

	光刺激	振動刺激
1回目	0.165[sec]	0.282[sec]
2回目	0.178[sec]	0.281[sec]
3回目	0.202[sec]	0.269[sec]
平均	0.182[sec]	0.277[sec]
標準偏差	0.0188	0.0073

実験結果を表1に示す。表1からわかる通り、振動刺激に対する反応時間よりも光刺激に対する反応時間の方が早い結果が得られた。ただし、今回の実験では、振動モーターの応答時間について考慮していない。光刺激発生装置、振動刺激発生装置に対する mbed からの信号発生時刻は同時刻に設定しているが、実際に光刺激発生装置の LED と振動刺激発生装置の振動モーターが起動する時刻は異なる。

データシートによると、振動モーター起動時のターンオン時間が 156ms と判明している。ターンオン時間を考慮すると、 $0.277-0.156=0.121[\text{sec}]$ となり、光刺激より平均して 61[msec]振動刺激の方が反応時間が短い結果となる。更に正確な反応時間を計測するため、振動モーターの応答時間を実際に計測調査し、振動モーターの起動時刻を反応時間計測開始時刻として設定する予定である。

6. 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[6]。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[7]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。

7. まとめと今後の課題

本研究では、聴覚障害者陸上競技における新たな代行感覚を利用したスタートシステムとして、振動刺激によるスタートシステムの提案[1]を元に、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（プロトタイプ）を開発し、予備実験により有効性についての検討を行った。

今後は、振動モーターの応答時間を計測調査し、正確な反応時間について測定可能とすることを計画している。その後、陸上競技経験のある聴覚障害者として、筑波技術大学の複数の学生を対象に、反応時間測定と比較実験を行う。更に、比較実験の結果を元にし、プロトタイプを改良するだけでなく、複数種の光刺激、振動刺激をはじめとした触覚を利用する刺激を発生する装置を開発する。また、各反応時間計測を行い、最適な各刺激信号を特定する。

将来は、聴覚障害者を対象とするだけでなく、聴者、視覚障害者などの障害者の誰でも使えるユニバーサルデザインにしていくために、聴者や視覚障害者、車椅子や義足、義手を使用する障害者に対する反応時間計測を行い、プロトタイプを実用化していきたい。

謝辞 本研究の一部は、筑波技術大学平成 28 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] 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
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 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