

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：25406

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K21781

研究課題名（和文）Drone把持による姿勢動揺誘発が児童の姿勢安定化をもたらす

研究課題名（英文）Gripping the hovering drone strap stabilizes the child's posture

研究代表者

島谷 康司（Shimatani, Koji）

県立広島大学・保健福祉学部（三原キャンパス）・教授

研究者番号：00433384

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：初期歩行間もない乳幼児に対しヘリウムガス入りの風船を把持させることで歩行時の身体動揺が減少することを発見した（挑戦的萌芽研究：16K13074）。しかし、風船の拳動がどのように制御の複雑性を高めているかは明らかにはなっていなかった。本研究では、浮遊風船の揺らぎの周波数を制御するなどによってヒトの立位状態に及ぼす影響を検証した。方法はDrone（力点）と指先（作用点）との関係性（指先への力覚提示）が身体動揺に及ぼす影響を、力覚の方向および力点-作用点距離の違いから検証した。結果、指先への体性感覚刺激と、適度な距離の力覚提示が姿勢制御に好影響を及ぼす可能性を示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

初期歩行間もない乳児に対しヘリウムガス入りの風船を把持させることで歩行時の身体動揺が減少することを発見し、歩行距離が延長することを発見した。この現象は健常成人者においても確認し、多くの人に対して歩行を支援できる可能性がある。しかし、その現象のメカニズムが不明であったことから、幾つかの実験過程を経て、Drone等の「揺らぎ」が指先への体性感覚入力となり、また適度な距離の力覚提示が姿勢制御に好影響を及ぼす可能性が示唆された。さらに、身体動揺や指先の動きに同期した指先への感覚入力刺激が効果的である可能性が示唆され、風船把持現象はLight touch現象とは別の現象である可能性を示唆した。

研究成果の概要（英文）：Our study found that grasping a balloon filled with helium gas reduced body sway during walking in infants starting toddling (Grant-in-Aid for Challenging Research, Exploratory, 16K13074). However, it needed to be clarified how the behavior of the balloons increased the complexity of body control. In this study, we investigated the effects on the human standing posture by controlling the frequency of the floating balloon sway and other factors. The method was to examine the effects of the relationship between the Drone (force point) and the fingertips (action point) (presentation of force sensation to the fingertips) on body sway based on differences in (1) the direction of force sensation and (2) the force point-action point distance. The results suggest that somatosensory stimulation to the fingertips and force presentation at a moderate distance positively affect postural control.

研究分野：運動制御学

キーワード：姿勢制御 Drone 揺らぎ 風船 歩行支援

1. 研究開始当初の背景

初期歩行期乳児に風船の紐を把持させると、初期歩行獲得後の比較的安定した歩行に近似することに気づいた。この現象は、風船の紐を把持した指先感覚情報によって身体と外界との相対的な位置関係を知覚し姿勢が調整され安定することを、風船動態や指先への体性感覚情報の“揺らぎ”解析から風船型立位・歩行制御モデルを構築し、風船立位型姿勢制御の機序の一旦を解明した。しかし、学童期の発達障害児の立位・歩行の不安定性に対する確立した立位・歩行評価、および歩行支援方法が存在しない。本研究では、ヒトの姿勢制御能力を評価・支援する方法を提案することを最終目標とし、ヒトの身体動揺とプログラム制御下にある Drone の動態解析から、Drone 型立位姿勢制御モデルを構築し (図 1)、その機序を解明することとした。チャレンジである本研究において、ヒトの指先感覚誘導が姿勢制御能を改善するならば、Drone 型立位姿勢制御モデルに基づいた姿勢制御支援システムを開発することは、特別支援学校などのヒトの歩行の安定を求める実践現場においても大変意義が大きい。申請者らは、不安定歩行の児童等に対する世界初の Drone 型立位姿勢制御支援システムの構築を目指した。

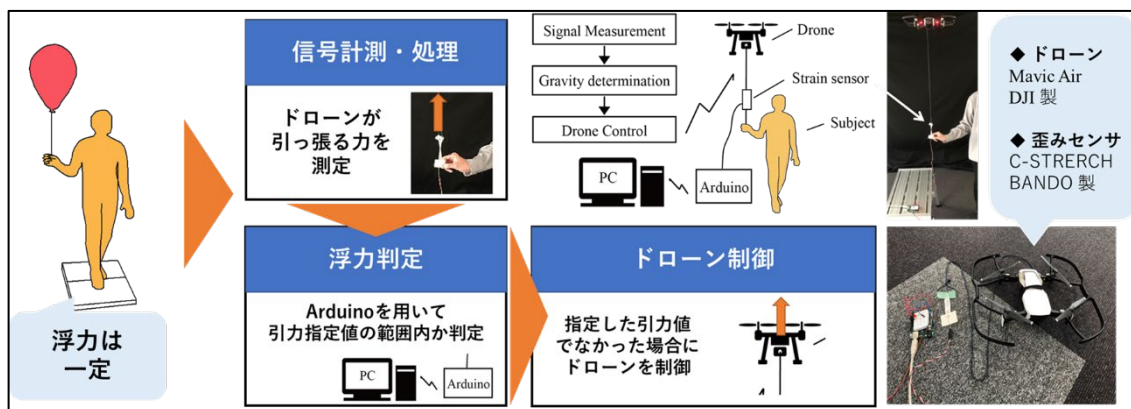


図 1 Drone 型立位姿勢制御支援システムの概要図

2. 研究の目的

まず第 1 実験では、ヒトの Drone 把持姿勢制御戦略の運動学的特徴を明らかにすることとした。次に第 2 実験では、風船の動態や指先への体性感覚情報の“揺らぎ”解析から風船型立位・歩行制御モデルを構築し、風船立位型姿勢制御の機序を解明することとした。そして、第 3 実験では、Drone を使用した場合の立位姿勢制御モデルの構築を目標とし、揺らぎによる指先への力覚と姿勢制御の関係を明らかにすることを目的とした (図 2)。

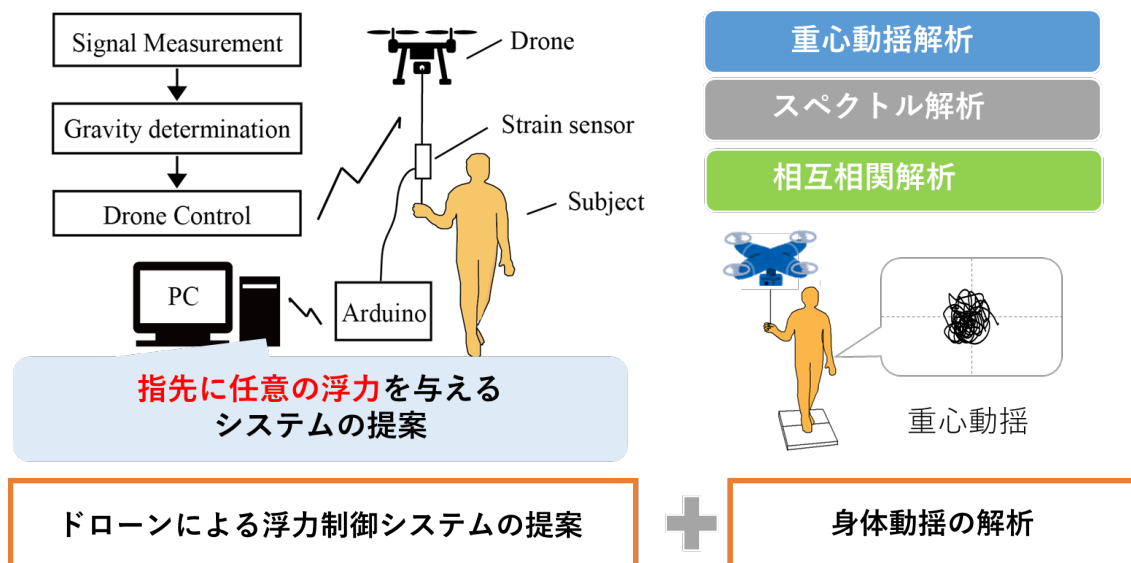


図 2 本研究の目的

3. 研究の方法

第1実験：Drone 把持姿勢制御戦略の運動学的特徴の検証

無秩序に浮遊する風船把持静止立位に代わり、Drone を被験者の頭上でホバリングさせ、Drone に取り付けた紐を把持させたときの静止立位の姿勢動揺低減効果を検証した。まず、Drone の浮力の測定法を確立し、1N 未満で触れる Light Touch (LT) か 1N 以上で触れる Force touch を区別して

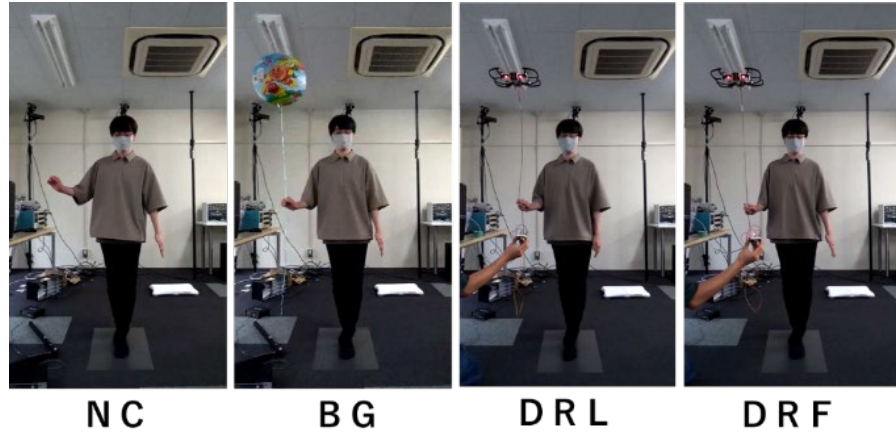


図3 Drone 把持姿勢制御戦略の運動学的検証実験の様子

実験を行うことができる Drone 型立位姿勢制御システムのプロトタイプを構築し実験を行った (図3)。まず、健康成人 10 名を対象に、Drone 把持姿勢制御実験を行った。60 秒間の閉眼タンデム肢位とし、静止立位条件、風船把持条件、LT (A4 用紙) 条件と Drone 把持条件との比較を行った。結果、Drone 把持条件は Light Touch 条件や風船把持条件と比較して有意な身体動揺の低減効果を確認した。さらに、健康成人 5 名を対象に、何も触れない Non-Contact (NC)、6g の浮力を有する Balloon Grasp (BG)、1N 未満の Drone 把持力となる Drone Light Touch (DLT)、1N 以上の Drone 把持力となる Drone Force Touch (DFT) の 4 条件とした。各条件で Force Plate (TF-3040、テック技研社製、サンプリング周波数：5kHz) を 2 台使い、被験者には隙間なく並べた 2 台の Force Plate 上にタンデム立位を閉眼にて 30 秒間保持させ、各 5 試行の重心動揺のパラメータを比較検証した。結果、指先にかかる力が大きいほど姿勢動揺の低減効果が大きいことを確認した (図4)。

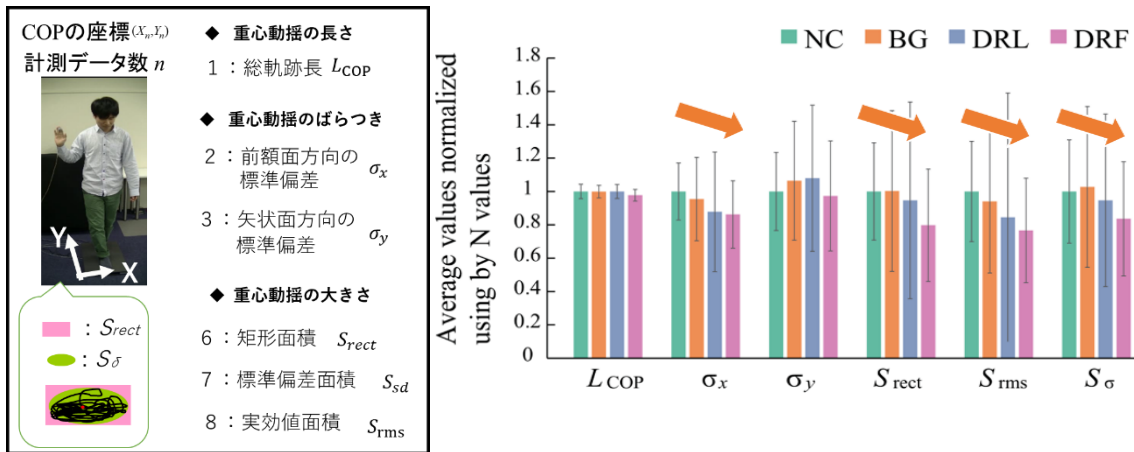


図4 姿勢制御戦略の運動学的特徴

第2実験：風船型および Drone 型立位・歩行制御モデルの検証

風船の動態や指先への体性感覚情報の“揺らぎ”解析を行うために、スペクトル解析を風船やドローンの把持の有無における身体動揺に対して適用し、静止立位姿勢動揺低減効果の要因の特定を試みた。なお、検証には先ほどの第1実験の5名の被験者のデータを用いた。スペクトル解析の結果から、NC 条件と比較すると風船・Drone 把持条件では前庭・体性感覚系由来の周波数帯域のパワースペクトルの有意な低減が認められ、前庭感覚・体性感覚系優位な姿勢制御戦略に変化したことで姿勢動揺が低減した可能性が示唆された (図5)。これは、浮遊風船・Drone を把持することによって指先に加わるわずかな力が体性感覚系刺激となり、立位状態を前庭感覚・体性感覚系優位の制御状態へ変化させたことが要因だと考えられる。つまり、浮遊風船・ホバリングさせた Drone によって指先からの体性感覚系フィードバックが可能であり、重心動揺を低減する姿勢制御支援玩具として利用できる可能性が示唆された。

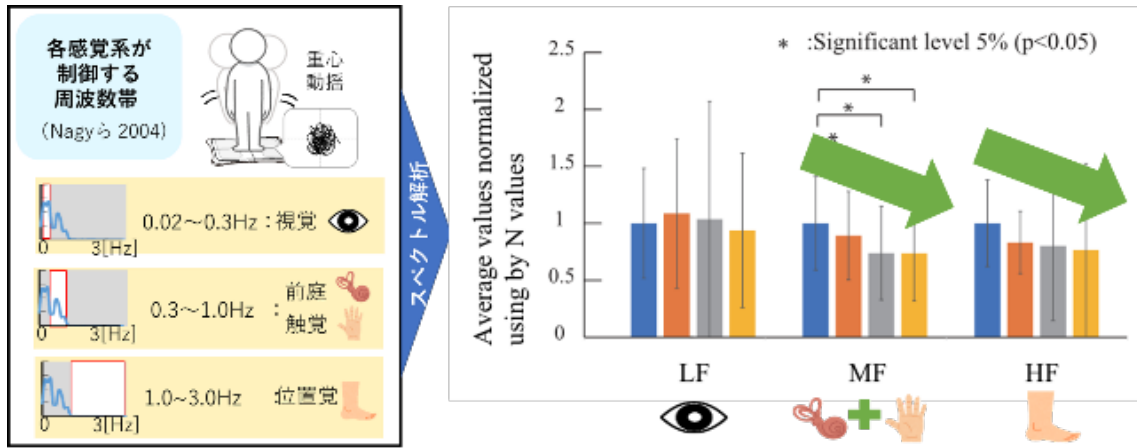


図5 姿勢動揺に対するスペクトル解析

第3実験：Drone型立位姿勢制御システムの確立

風船や Drone の挙動がどのように立位姿勢制御の複雑性を高めているかは明らかにはなっていない。本研究では、浮遊風船や Drone の揺らぎの周波数を制御するなどによってヒトの立位状態に及ぼす影響を検証した。方法は Drone (力点) と指先 (作用点) との関係性 (指先への力覚提示) が身体動揺に及ぼす影響を、①力覚の方向および②力点と作用点距離の違いから検証した (図6)。対象は、健常若年成人5名とした。サーボモーター付きボビンを自作し、実験①②ともに、把持なし (NC)、25 cm、50cm、

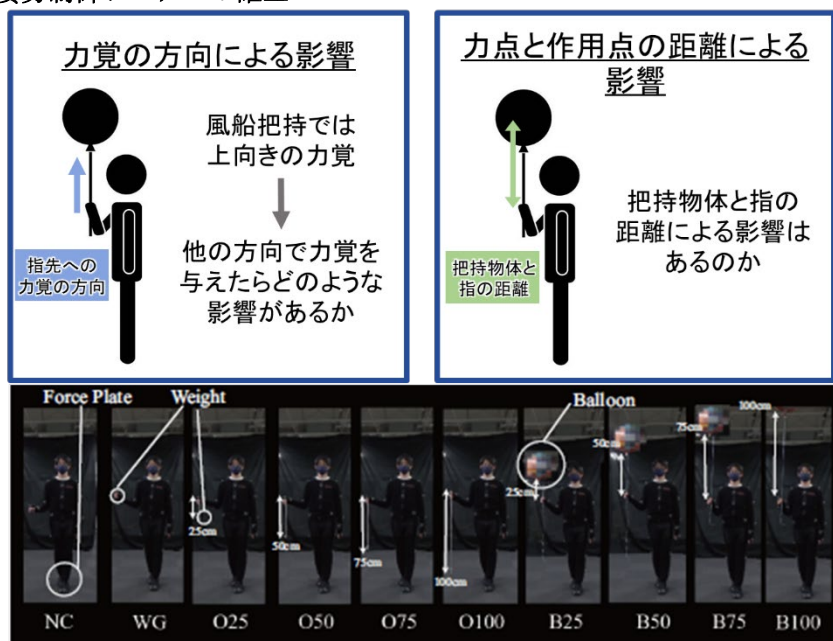


図6 Drone型立位姿勢制御システムによる実験の様子

75 cm、100cm の紐をつけた 5g の重り把持条件(O25, O50, O75, O100)、また、25 cm、50cm、75 cm、100cm の紐をつけた浮力 5g の風船把持条件(B25, B50, B75, B100)、さらに、5g の重り把持する条件 (WG) とした。①②ともに姿勢動揺計測には、Force Plate (TF-3040、テック技研社製、サンプリング周波数: 5kHz) 2 台を用いた。被験者には、隙間なく並べた 2 台の Force Plate 上に、目を閉じた状態でタンデム立位をとらせた。相互相関解析の結果、①力覚提示の方向にかかわらず、牽引力を指先に加えることによって姿勢動揺が低減する可能性が示唆された (図7, 8)。また、Center of Pressure (COP) と力覚の時間の差が約 100ms であった (図9)。

さらに、50 cm の 2 条件の姿勢動揺が低減したことから、適度な距離の力覚提示が姿勢制御に好影響を及ぼす可能性が示唆された (図10)。これら 2 つの実験結果から、指先への体性感覚刺激と、適度な距離の力覚提示が姿勢制御に好影響を及ぼす可能性を示唆した。

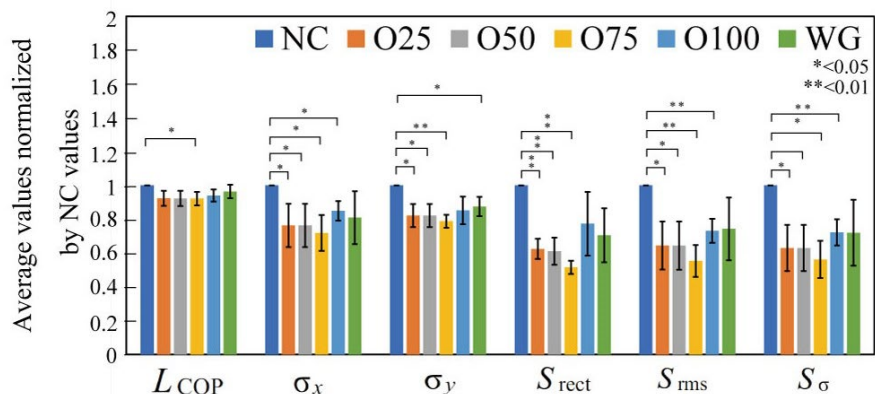


図7 力覚 (重り) における重心動揺解析の結果

4. 研究成果

本研究の成果として、①Drone 把持条件は、NCと比較して姿勢動揺減少させることが可能であることが明らかとなった。さらに、方向にかかわらず力覚を指先に与えることで姿勢動揺が減少することが明らかとなった。②重り条件の方が身体動揺の減少効果が高いことが明らかとなった。また、風船把持条件では紐の長さによる影響がみられたが、重り条件では見られなかった。これらの結果から、より身体動揺に同期した刺激が効果的である可能性を示唆した。③LTでは力覚とCOPのラグが約300msであった。また、風船重り把持現象では約100msであった。さらに、LTでは体性感覚由来の姿勢動揺のみが減少し、風船条件や重り条件では、全周波数帯域で身体動揺が減少したことから、風船条件や重り条件はLT条件とは違う姿勢制御メカニズムである可能性が示唆された。

これらの一連の結果から、我々はDrone型姿勢制御システムを用いて指先に定常的な力覚を与えるシステムの提案が可能となった。

今後は、Drone型立位姿勢制御支援システムを発展させ、予測的姿勢制御の観点から、歩行支援だけでなくトレーニング方法としての提案をしていく予定である。

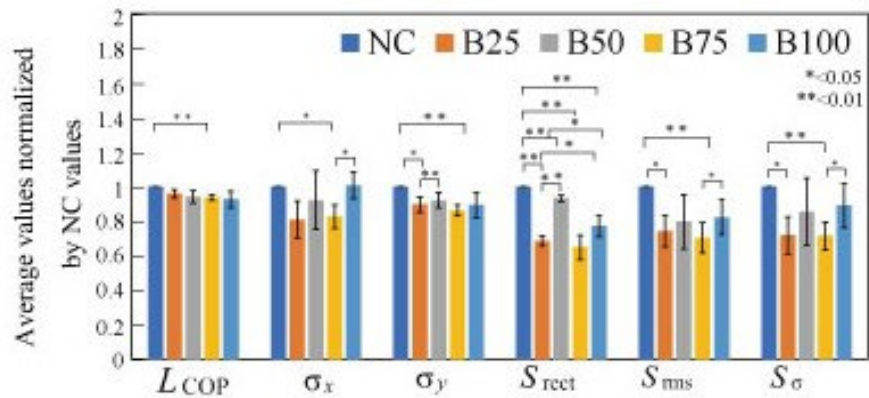
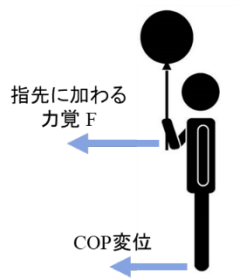


図8 力覚（風船）における重心動揺解析の結果

相互相関解析

指先に加わる力覚FとCOP変位の相関を解析



	COPx	COPy	COPxy
B25	2	7	13
B50	6	8	15
B75	2	4	12
B100	4	10	13
O25	5	8	19
O50	5	6	17
O75	1	1	12
O100	2	5	13

FxとCOPで相関を確認できたデータ点数

Task	Lag[ms]
B25	120
B50	160
B75	90.1
B100	140
O25	100.6
O50	160
O75	98
O100	130

COPと力覚のラグ

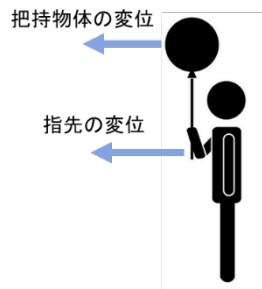
	COPx	COPy	COPxy
B25	3	4	5
B50	2	2	0
B75	1	2	2
B100	4	1	0
O25	1	0	1
O50	3	2	3
O75	4	3	2
O100	5	2	2

FyとCOPで相関を確認できたデータ点数

図9 COPと力覚の相互相関解析の結果

相互相関解析

把持物体と指先の変位の相関とラグの解析



Task	correlation coefficient	Time Lag average[ms]
B25	0.23	120
B50	0.16	-90
B75	0.12	-70
B100	0.08	-100
O25	0.32	-90
O50	0.25	-20
O75	0.24	-30
O100	0.29	-30

把持物体のx方向変位と指先の相関係数とラグ

Task	correlation coefficient	Time Lag average(ms)
B25	0.78	50
B50	0.73	50
B75	0.75	80
B100	0.67	90
O25	0.75	10
O50	0.81	25
O75	0.81	10
O100	0.83	10

把持物体のy方向変位と指先の相関係数とラグ

図10 COPと力点-作用点（紐の長さ）の相互相関解析の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 島谷康司, 島圭介, 坂田茉実	4. 巻 21
2. 論文標題 浮遊する風船の紐を把持した 子どもの姿勢制御 - 乳幼児の歩行獲得支援の試み -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ベビーサイエンス	6. 最初と最後の頁 40-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 上條 冬矢, 坂田 茉実, 島 圭介, 島谷 康司	4. 巻 58
2. 論文標題 身体揺らぎに基づく振動刺激制御による仮想ライトタッチ現象の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生体医工学, Vol. 58, No. 1, pp. 39-46	6. 最初と最後の頁 39-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11239/jsmbe.58.39	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 神谷 昭勝, 島 圭介, 坂田 茉実, 上條 冬矢, 島谷 康司
2. 発表標題 仮想ライトタッチによる立位機能評価システムStA2BLEの社会実装
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koji Shimatani, Mami Sakata, Keisuke Shima, Ryoma Mitani
2. 発表標題 The use of a Drone as a quiet standing aid for human postural control
3. 学会等名 World Confederation for Physical Therapy Congress 2019 (Geneva) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田 創一朗, 坂田 茉実, 島 圭介, 島谷 康司
2. 発表標題 浮遊ドローンの把持がヒトの身体動揺に及ぼす影響の解析
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗山 正輝, 坂田 茉実, 島 圭介, 島谷 康司
2. 発表標題 振動刺激による仮想ライトタッチの身体部位への影響の評価
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島谷 康司, 島 圭介, 坂田 茉実, Prasetia Utama Putra, 三谷 良真
2. 発表標題 センシング技術を用いた子どもの発達と教育の支援
3. 学会等名 LIFE2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 打田 将吾, 坂田 茉美, 島 圭介, 島谷 康司
2. 発表標題 3感覚刺激制御に基づく立位姿勢におけるSensory Reweighting機能評価システム
3. 学会等名 LIFE2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 栗山 正輝, 坂田 茉実, 島 圭介, 島谷康司
2. 発表標題 指先への機械的ノイズが身体動揺に及ぼす影響の評価
3. 学会等名 情報処理学会第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小川 康太, 三上 隼人, 坂田 茉実, 島 圭介
2. 発表標題 仮想ライトタッチ現象を用いた歩行支援効果の評価と検証
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島 圭介, 坂田茉実, 島谷康司
2. 発表標題 ヒトのライトタッチ現象と体性感覚刺激の関係性評価
3. 学会等名 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 谷川 華奈子, 三上 隼人, 坂田 茉実, 島 圭介, 島谷 康司
2. 発表標題 ヒトの立体姿勢制御におけるSensory Reweighting 機能評価システム
3. 学会等名 第29回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	島 圭介 (Shima Keisuke) (50649754)	横浜国立大学・大学院工学研究院・教授 (12701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------