

令和元年6月10日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16420

研究課題名（和文）体重心視覚フィードバックバランス練習の姿勢制御メカニズムへの効果の解明

研究課題名（英文）Investigation of the effect in postural control by providing visual feedback of center of mass.

研究代表者

萬井 太規 (Mani, Hiroki)

北海道大学・保健科学研究院・助教

研究者番号：10765514

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：質量中心位置（COG；体重心（COM）の鉛直投影点）と足圧中心（COP）を同時に視覚的にフィードバックするバランス練習は、COPのみを視覚的に表示するバランス練習よりも、静的立位時の姿勢動揺を軽減させることが明らかになった。さらに、片脚立位時のCOPとCOMの制御の発達は、静的立位保持時と体重移動のような動的な課題において、成熟過程が異なること、さらに、単調的ではないことも明らかになった。今後、課題や疾患に合わせたより適切なCOP - COM視覚フィードバックの教示方法を検討することが必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、従来用いられていた足圧中心点（COP）のみを単独で視覚的にフィードバックするバランス練習よりも、体重心（COM）とCOPを同時に着目するバランス練習が効果的であることを示した研究であり、立位時のCOPとCOMの制御の特性の解明、ならびに効果的なバランス練習方法の考案の一助となる研究である。また、本研究では、COPとCOMの位置関係の発達過程を示し、この結果は、発達学的な観点から、立位時のCOMに対するCOPの制御の機序を示唆する研究である。

研究成果の概要（英文）：We concluded that the novel visual feedback balance training that incorporates the COP-COG interaction reduces postural sway better than the training using the COP alone during quiet standing. Furthermore, we also concluded that the developmental process for ability to control COM and COP at steady phase and dynamic phase during single leg standing is different and does not show a monotonic pattern. It will be necessary to investigate an appropriate simultaneous visual feedback of COM and COP according to characteristics of tasks and diseases in future.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：姿勢制御 体重心 足圧中心点 三次元動作解析 発達過程 視覚フィードバック バランス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究者は、これまでに高齢者の姿勢不安定性の要因の検証、およびバランス能力に優れたアスリートの姿勢制御メカニズムの検証に取り組んできた (Mani et al., 2014; Mani et al., 2015). その結果、姿勢不安定性の要因は、体重心 (Center of body's mass: COM) の位置に対して適切に足圧中心点 (Center of pressure: COP) の位置を調整する能力の低下であることを示した。COM は身体全体の重心のことであり、動揺が小さいことが良好なバランスであると解釈される。一方、COP は、COM の動揺に対する中枢神経系による神経筋反応の指標と解釈されている。従来、COP 単独を視覚的にフィードバックするバランス練習が用いられているが、その効果は十分といえない状況であった。COM に対して COP を適切に制御する新たな練習方法が必要であると考えられ、COM と COP の視覚同時フィードバック練習の着想に至った。また、COM と COP の位置関係は、加齢、疾患などの種々の要因により変化することが報告されていることから、適切な視覚刺激を考案するために、小児の COP と COM の発達過程も明らかにする必要が考えられた。

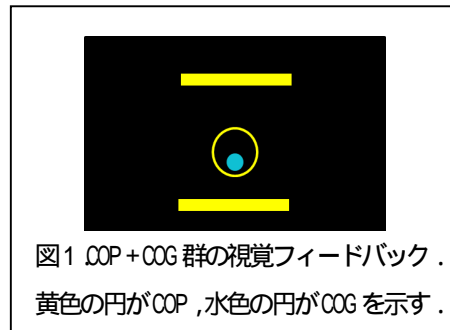
2. 研究の目的

(1) 視覚フィードバックなし練習、従来使用されている COP 視覚フィードバック練習、および COP と COM の同時視覚フィードバック練習による姿勢安定性の効果の差異を明らかにすることを目的とした。姿勢安定性の効果を検証するため、COP と COM の位置関係、および姿勢動揺の指標である COM を指標に比較検討した。

(2) COP と COM との位置関係が加齢や疾患に伴い変化していることが明らかとなっていたが、発達過程に伴う変化は明らかではなかった。COP と COM の同時視覚フィードバックの適切な教示方法の考案のために、COP と COM の位置関係の発達過程を検証することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 対象は、健常若年者 34 名 (男性 19 名、女性 15 名) だった。被験者は、COP のみフィードバックされる COP 群 (11 名)、COP と COG (質量中心位置) を同時にフィードバックされる COP+COG 群 (12 名)、および視覚フィードバックなしの Control 群 (11 名) の 3 群に無作為に分けた。COP は、床反力計シグナルから算出した。COG も、視覚フィードバックのタイムラグが生じないように、床反力計シグナルより算出することとした。COG は、COM の鉛直線上の点として定義される。COP と COG は、LabVIEW を介して、処理リアルタイム表示を行った。一方、姿勢動揺の指標である COM は、三次元動作解析システム (Motion analysis 社製) を用いて算出した。対象者の Baseline の評価は、バランスパッド上にてスクリーン上の固視点を注視しながら静止立位を 60 秒間計測した (Pre test)。被験者にはできるだけ揺れないように指示した。次に、各群それぞれの練習課題を 12 セッション行った。1 セッション 40 秒行った。COP+COG 群は、前方のスクリーン上に被験者の COP と COG をリアルタイムに表示し、2 つの水平線で示された境界線から逸脱しないこと、COG をできるだけ COP に対して均等に動かすように指示された (図 1)。COP 群は、スクリーンに表示された被験者の COP が境界線から逸脱しないように指示された。Control 群は、スクリーン上に表示された固視点を注視しながら、できるだけ体が揺れないように指示された。練習セッションの後、Pre test と同様のバランスパッド上での静止立位を 60 秒実施した (Post test)。COP - COM 間距離の変数は、COP 位置の COM に対する近接性 (COP - COMclose) と、前後の均等性 (COP - COMeven) を算出した。さらに、姿勢動揺の指標として、前後方向の COM の平均速度と COM の二乗平均平方根 (RMS) も算出した。



(2) 対象は、3~10 歳の児童 48 名と 11 名の健常成人だった。児童は、2 歳ごとに 4 群に区分した (3-4 歳: 11 人、5-6 歳: 15 人、7-8 歳: 12 人、9-10 歳: 10 人)。三次元動作解析システム (VICON 社製、カメラ 10 台) と 2 枚の床反力計 (Kistler 社製) を用いて、COP と COM を算出した。片脚立位を動作課題とし、初期姿勢を数秒保持した後、対象者の任意のタイミングで下肢を挙上し、片脚立位姿勢となるように指示した。対象者は、できるだけ長く安定して保持するように指示された。解析項目は、両脚立位から片脚立位の移行期、および片脚立位保持時の COP - COM 間距離を算出した。移行期は、COM を加速させる加速相と、COM を支持脚へ留めるために減速させる減速相に分けた。最後に、COM が支持脚内に減速された後を保持相とした。それぞれの相の COP - COM 間距離の RMS 値 (加速相; D_{ACC} , 減速相; D_{DEC} , 保持相; D_{ST}) を算出した。

4. 研究成果

(1) - 1 COM 動揺 (RMS および平均速度; 表 1)

COM RMS と COM 速度はいずれも足長 (FL; Foot Length) で正規化した。COM RMS は、COP+COG

群が、Control 群と比較して、Post test 時に有意に小さかった。COP 群と Control 群間には有意差は認められなかった。

前後方向の COM 平均速度は、COP + COG 群において、Pre test と比較して、Post test 時が有意に低下した。Control 群も Post test 時に有意に低下していた。Post test 時において、COP+COG 群の方が、Control 群よりも有意に小さかった。一方、COP 群は Pre test と Post test 間に有意差は認められなかった。

表1 COM動揺の結果

	COP+COG		COP		Control	
	pre	post	pre	post	pre	post
COM 速度 (%FL/s)	2.91 ± 0.52 *	2.27 ± 0.41 †	2.94 ± 0.58	2.71 ± 0.66	3.02 ± 0.41 *	2.61 ± 0.34
COM RMS (%FL)	3.24 ± 0.72	2.92 ± 0.86 †	3.38 ± 1.21	2.86 ± 0.62	3.80 ± 1.09	4.01 ± 1.25

平均値 ± 標準偏差

* $p < 0.05$, テスト間の比較

† $p < 0.05$, Post test時のControl group群との比較

(1) - 2 COP - COM 間距離 (図 2)

前後の均等性 (COP - COMeven) は、COP + COG 群のみ、Pre test と比較して Post test が有意に低下し、ゼロに近づいた。さらに、Post test 時に、COP+COG 群は、Control 群と COP 群よりも有意に小さかった。一方、COP 群はテスト間には有意差が認められなかった。

COP 位置の COM に対する近接性 (COP - COMclose) は、Post test と比較して、Pre test で低下はしていたが、群間の有意差は認められなかった。

COP - COM 間距離 (COP - COMeven および COP - COMclose) と COM 速度は有意な正の相関が認められた。

本研究結果より、COP と COG を同時に視覚的にフィードバックするバランス練習は、従来の COP の視覚フィードバックと比較しても、COM に対して COP を適切に調整する能力を高め、静的な立位バランスでの身体動揺を軽減させる方法となることが明らかとなった。

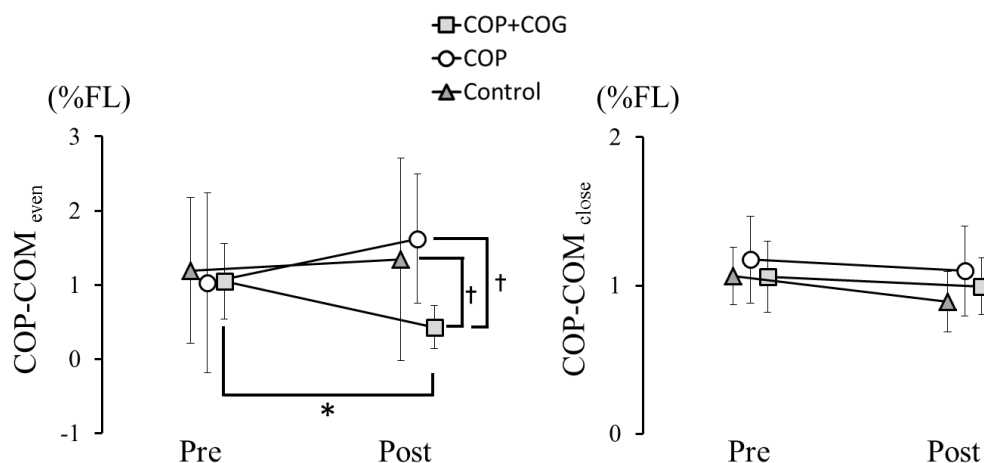


図2.練習前後のCOP - COM間距離の結果。COP+COG 群は、Post test 時に、COP - COMeven が有意に低下した (* $p < 0.05$)。COP+COG 群は、Post test 時に、COP - COMeven が、Control 群と COP 群よりも有意に小さかった († $p < 0.05$)。

(2) - 1 COP と COM の位置関係の発達過程 (図 3)

加速相 (D_{ACC}) においては、5-6 歳群、および 7-8 歳群が成人群と比較して、COP - COM 間距離が有意に大きかった。一方、9-10 歳群は、成人群と有意差は認められなかった。加速相の COP - COM 間距離は、3~8 歳までは単調的に増大し、8 歳以降は有意に減少し、10 歳前後で成熟する発達過程を示した。

減速相 (D_{DEC}) では、小児全群とも成人と比較して、COP - COM 間距離が有意に大きかった。減速相においては、10 歳においても、まだ未成熟であることが示唆される。

保持相 (D_{ST}) では、3-4 歳群は、9-10 歳群と成人群よりも COP - COM 間距離が有意に大きかった。

本研究結果より、両脚立位から片脚立位への COM を加速させる相では、COP - COM 間距離が単調的に発達しないことが明らかになった。一方、静的立位バランスである片脚立位保持中は、COP - COM 間距離が単調的に減少することも明らかとなった。COP と COM の位置関係に着目した視覚フィードバック練習では、課題や発達に合わせて教示方法を調整する必要があることが示

唆される。

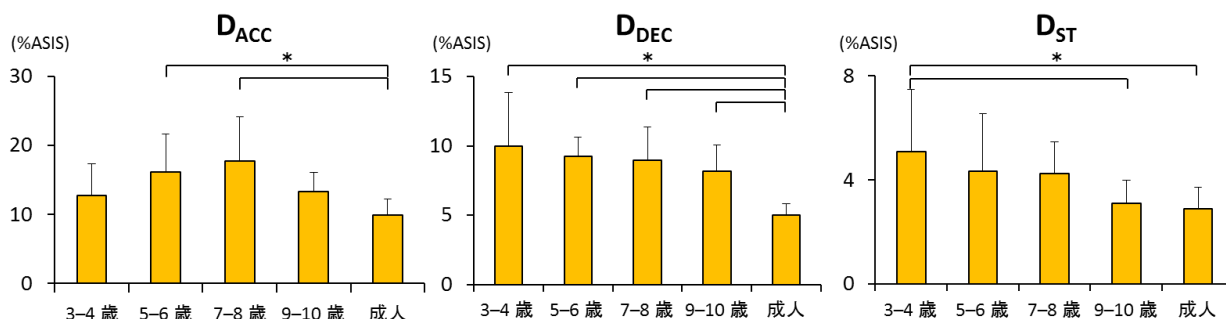


図3. 片脚立位時の各相のCOP - COM間距離の発達過程。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

1. Mani H et al., Development of postural control during single-leg standing in children aged 3-10 years. *Gait Posture*. 2018 22;68:174-180. 査読有 . doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.11.024.
2. Murakami Y et al., (員数 10 名, 8 番目) Autistic traits modulate the activity of the ventromedial prefrontal cortex in response to female faces. *Neurosci Res*. 2018 133:28-37. 査読有 . doi: 10.1016/j.neures.2017.11.003.
3. Hasegawa N, Takeda K, Sakuma M, Mani H et al., Learning effects of dynamic postural control by auditory biofeedback versus visual biofeedback training. *Gait Posture*. 2017 ;58:188-193. 査読有 . doi: 10.1016/j.gaitpost.2017.08.001.
4. Takeda K, Mani H et al., Adaptation effects in static postural control by providing simultaneous visual feedback of center of pressure and center of gravity. *J Physiol Anthropol*. 2017; 36(1): 31. 査読有 . doi: 10.1186/s40101-017-0147-5.
5. Ibuki A, Mani H et al., Characteristic Relationship between the Centre of Pressure and the Centre of Mass During Quiet Standing in Female Ballet Dancers. *Int Phys Med Rehab J* 1(2): 2017. 査読有 . <https://medcraveonline.com/IPMRJ/IPMRJ-01-00009>
6. Takahashi K, Maejima H, Ikuta G, Mani H, Asaka T. Exercise combined with low-level GABAA receptor inhibition up-regulates the expression of neurotrophins in the motor cortex. *Neurosci Lett*. 2017. 査読有 . 1;636:101-107. doi: 10.1016/j.neulet.2016.10.052.
7. Mani H et al., Adaptation of postural control while standing on a narrow unfixed base of support. *Int J rehabil Res*. 2016. 査読有 . 39(1): 92-5. doi: 10.1097/MRR.000000000000143.
8. 萬井太規, 長谷川直哉, 武田賢太, 佐久間萌, 伊吹愛梨, 石川啓太, 前島洋, 浅賀忠義: クロスステップ反復練習による片脚立位動作時の姿勢安定性への効果. *理学療法科学* Vol. 31 (2016) No. 4 601-607. 査読有 . <https://doi.org/10.1589/rika.31.601>.

〔学会発表〕(計 29 件)

1. Mani H. How to interpret the research results of postural control development? Department of physical therapy international collaborative teaching at Kaohsiung medical university, 2019, Taiwan.
2. 萬井太規, 宮城島沙織, 小塚直樹, 小玉祐矢, 武田賢太, 浅賀忠義: 片脚立位姿勢制御の発達過程. 第 5 回日本小児理学療法学会学術大会 2018 年 12 月 21 日. 大阪
3. 萬井太規, 宮城島沙織, 小塚直樹, 種田健二, 井上貴博, 武田賢太, 浅賀忠義: 予測的姿勢調節の潜時と振幅の発達過程は異なる ~ 体重心と足圧中心を用いた分析 ~. 第 23 回日本基礎理学療法学会学術大会. 2018 年 12 月 14 日. 京都
4. Mani H., Hasegawa N., Takeda K., Asaka T.: Interaction between feedforward and feedback postural responses induced by respective perturbations. PCMC 2018, July 23-25, 2018, University Park, Pennsylvania, USA. Poster
5. 石川啓太, 萬井太規, 浅賀忠義, 釘本充, 杉山俊一, 金子貞男: 脳卒中片麻痺患者の起立動作と安定性限界の関係. 第 68 回北海道理学療法士学術大会. 2017 年 10 月. 北海道. 口述
6. 井沢朱里, 宮城島沙織, 萬井太規, 浅賀忠義, 小塚直樹: 幼児期の歩行における重心動揺の発達の变化 - 身体重心と骨盤回旋角度を用いた検討 -. 第 68 回北海道理学療法士学術大会. 2017 年 10 月. 北海道. 口述

7. 萬井太規, 宮城島沙織, 小玉祐矢, 武田賢太, 小塚直樹, 浅賀忠義: 片脚立位保持の姿勢戦略の発達について. 日本健康行動科学会第 16 回学術大会. 2017 年 9 月. 北海道. 口述とポスター発表
8. 小玉祐矢, 萬井太規, 宮城島沙織, 武田賢太, 小塚直樹, 浅賀忠義: 歩行開始における予測的姿勢調節の発達. 日本健康行動科学会第 16 回学術大会. 2017 年 9 月. 北海道. 口述とポスター発表
9. 武田賢太, 花木里穂, 長谷川直哉, 萬井太規, 菅田葉月, 浅賀忠義: 立位姿勢反応と安定性限界が改善したパーキンソン病患者の一症例 足圧中心随伴型床面移動刺激装置を用いた練習効果 日本健康行動科学会第 16 回学術大会. 2017 年 9 月. 北海道. 口述とポスター発表
10. 種田健二, 田中農太郎, 武田賢太, 長谷川直哉, 小玉祐矢, 萬井太規, 浅賀忠義: 周辺視野狭窄が姿勢安定性に及ぼす影響について. 日本健康行動科学会第 16 回学術大会. 2017 年 9 月. 北海道. 口述とポスター発表
11. 丸谷孝史, 武田賢太, 萬井太規, 浅賀忠義: 視覚フィードバック練習が立位における重心動揺のカオス性に及ぼす影響. 日本健康行動科学会第 16 回学術大会. 2017 年 9 月. 北海道. 口述とポスター発表
12. 名和千尋, 萬井太規, 浅賀忠義: タンデム歩行練習による通常歩行への影響について. 日本健康行動科学会第 16 回学術大会. 2017 年 9 月. 北海道. 口述とポスター発表
13. Murakami Y, Sakai S, Takeda K, Sawamura D, Yoshida K, Hirose T, Ikeda C, Mani H, Yamamoto T, Ito A.: Autistic traits affect vmPFC activity associated with preference-related valuation. The Third FHS International Conference. July 7, 2017, Hokkaido, Japan.
14. Hasegawa N, Takeda K, Mani H, Maejima H, Asaka T.: Adaptation effects of postural control during standing on a tilting board in patients with Parkinson's disease. The Third FHS International Conference. July 7, 2017, Hokkaido, Japan.
15. Taneda K, Tanaka S, Takeda K, Hasegawa N, Kodama Y, Mani H, Asaka T.: Influences of visual field loss for postural stability during quiet standing in healthy young adults The Third FHS International Conference. July 7, 2017, Hokkaido, Japan.
16. Takeda K, Mani H, Hasegawa N, Maejima H, Asaka T.: Adaptation effects in static postural control by providing simultaneous visual feedback of center of pressure and center of gravity The Third FHS International Conference. July 7, 2017, Hokkaido, Japan.
17. 萬井太規, 長谷川直哉, 武田賢太, 佐藤祐樹, 田中農太郎, 吳瑕, 前島洋, 浅賀忠義: バランスボード上の姿勢戦略の順応効果. 第 52 回日本理学療法学会学術大会. 2017 年 5 月. 千葉. ポスター発表.
18. 田中農太郎, 長谷川直哉, 武田賢太, 大橋哲朗, 佐藤祐樹, 丸谷孝史, 金雪梅, 萬井太規, 浅賀忠義: 反復後方ステップ練習による非予測的外乱時の即時効果. 第 52 回日本理学療法学会学術大会. 2017 年 5 月. 千葉. ポスター発表.
19. 長谷川直哉, 佐藤祐樹, 武田賢太, 大橋哲朗, 田中農太郎, 丸谷孝史, 加藤新司, 中山恭秀, 萬井太規, 浅賀忠義: 傾斜台上立位保持がパーキンソン病患者の安定性限界と歩行に与える即時効果. 第 52 回日本理学療法学会学術大会. 2017 年 5 月. 千葉. ポスター発表.
20. Mani H., Takeda K., Hasegawa N., Sato Y., Tanaka S., Suda Y., Maejima H., Asaka T.: Effects of visual feedback training using center of gravity along with center of pressure for static postural balance. Neuroscience 2016, November 12-16, 2016, San Diego, CA, USA. Poster
21. Hasegawa N., Sakuma M., Tanaka S., Sato Y., Takeda K., Mani H., Maejima H., Asaka T.: Different learning effects of dynamic postural control by visual or auditory feedback training. Neuroscience 2016, November 12-16, 2016, San Diego, CA, USA. Poster
22. Takeda K., Nishi Y., Mani H., Hasegawa N., Ishigaki T., Takamura Y., Osumi M., Nobusako S., Maejima H., Morioka S., Asaka T.: Cortical processes to predict timing gait initiation through visual information. Neuroscience 2016, November 12-16, 2016, San Diego, CA, USA. Poster
23. 佐藤祐樹, 長谷川直哉, 成田雅, 武田賢太, 石川啓太, 大橋哲朗, 田中農太郎, 吳瑕, 丸谷孝史, 金雪梅, 加藤新司, 萬井太規, 中山恭秀, 浅賀忠義: 傾斜台上立位がパーキンソン病患者の静的立位保持と安定性限界に与える即時効果. 第 14 回 日本神経理学療法学会学術集会. 2016 年 11 月. 宮城. ポスター発表.
24. 石川啓太, 萬井太規, 浅賀忠義, 釘本充, 杉山俊一, 金子貞男: 脳卒中片麻痺患者の起立動作方法の違いによる身体重心と足圧中心の特徴. 第 14 回 日本神経理学療法学会学術集会. 2016 年 11 月. 宮城. 口述発表.
25. 長谷川直哉, 武田賢太, 田中農太郎, 吳瑕, 萬井太規, 浅賀忠義: 周期的な動作課題における視覚と聴覚フィードバック練習の学習効果の違い. 第 15 回日本健康行動科学会. 2016 年 9 月. 大阪. 口述とポスター発表.

26. 萬井太規, 長谷川直哉, 武田賢太, 佐久間萌, 伊吹愛梨, 石川啓太, Shi-Fen Hsiao, 浅賀忠義: バランスボード上における姿勢制御の順応効果について. 第 51 回日本理学療法学会大会. 2016 年 5 月. 北海道. 口述発表
27. 伊吹愛梨, 長谷川直哉, 武田賢太, 石川啓太, 佐久間萌, 佐藤祐樹, 田中農太郎, 萬井太規, 前島洋, 浅賀忠義: クラシックバレエ経験者と非経験者における立位姿勢制御の比較. 第 51 回日本理学療法学会大会. 2016 年 5 月. 北海道. ポスター発表
28. 佐久間萌, 長谷川直哉, 武田賢太, 伊吹愛梨, 石川啓太, 田中農太郎, 佐藤祐樹, 呉瑕, 萬井太規, 前島洋, 浅賀忠義: 口頭指示の違いが姿勢安定性と姿勢戦略に与える影響. 第 51 回日本理学療法学会大会. 2016 年 5 月. 北海道. ポスター発表
29. コリー紀代, 清水弘美, 萬井太規, 浅賀忠義: 気管内吸引技術の反復による学習効果 モーションセンサを用いた加速度と角速度の計測から 日本医工学治療学会第 32 回学会大会. 2016 年 3 月. 山梨. ポスター発表

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等: 該当なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

該当者なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 浅賀 忠義
ローマ字氏名: ASAKA TADAYOSHI

研究協力者氏名: 宮城島 沙織
ローマ字氏名: MIYAGISHIMA SAORI

研究協力者氏名: 小塚 直樹
ローマ字氏名: KOZUKA NAOKI

研究協力者氏名: 武田 賢太
ローマ字氏名: TAKEDA KENTA

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。