

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：82611

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2014

課題番号：22240049

研究課題名(和文)非侵襲脳刺激法を用いた運動認知共通制御神経機構の解明と認知機能促進手法の構築

研究課題名(英文) Investigation of common neural mechanisms for motor and cognitive control towards the development of cognitive enhancement technique

研究代表者

本田 学 (HONDA, Manabu)

独立行政法人国立精神・神経医療研究センター・神経研究所疾病研究第七部・部長

研究者番号：40321608

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,900,000円

研究成果の概要(和文)：非侵襲脳刺激法を用いた認知リハビリテーションの開発に向けて、さまざまな基礎的検討をおこなった。まず運動機能障害に対するリハビリテーション効果として、下肢の運動障害を持つ皮質下梗塞の患者に対して経頭蓋直流電気刺激tDCSが有効であることが示された。tDCSによる頭頂葉刺激により計算課題の成績が向上すること、成績改善の程度は事前におこなう機能的MRIの所見で予測できることを明らかにした。また動物実験により、大脳皮質の陰極刺激によって基底核のドーパミン遊離が促進されることを明らかにした。これらの成果は、tDCSを用いた認知リハビリテーションの開発に貢献するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have performed various basic investigations for the development of cognitive rehabilitation using non-invasive brain stimulation. It was shown that tDCS is useful for the improvement of lower limb weakness due to subcortical infarction. It was revealed that tDCS to the bilateral parietal cortex (anodal stimulation to the left and cathodal stimulation to the right) improved the performance of mental calculation and the degree of improvement could be predicted by the preceding fMRI. Using animal study, it was shown that the cathodal tDCS to the rat cortex increased extracellular dopamine levels in the striatum. All of these findings are thought to contribute the development of cognitive rehabilitation using tDCS.

研究分野：神経科学

キーワード：脳機能操作 経頭蓋磁気刺激 経頭蓋電気刺激

### 1. 研究開始当初の背景

刺激や行動に伴う脳活動を可視化する脳機能イメージング(脳波・脳磁図含む)と、脳活動の変化が行動や認知に及ぼす影響を調べる脳活動干渉・操作法とがある。前者は、高い空間解像度で脳全体を調べることが可能であるが、観察された脳活動の機能的有意性を知ることができない。後者は、従来脳損傷患者を対象とした神経心理学研究が中心であった(受動的干渉)。しかし臨床症例は、損傷が必ずしも特定の領域に限局していない。他の健常な脳領域が損傷部位の機能を代償する可能性がある。ターゲットとなる損傷以外の要因が画的でない。薬物治療の影響など、結果の解釈を困難にする要因を含むことが多い。これに対して経頭蓋磁気刺激(Transcranial magnetic stimulation: TMS)や経頭蓋直流電気刺激(Transcranial direct current stimulation: tDCS)では、特定部位の神経活動を実験的かつ一過性に变化させ、その結果引き起こされる行動や認知の変化を観察することにより、神経活動の因果関係を直接調べることが可能である(実験的操作)。このように脳機能イメージングと脳活動干渉・操作法(臨床観察、非侵襲脳刺激法)とは相補的な特徴を有しており、その有機的な連携は神経科学や臨床神経学の発展に大きな貢献をすることが期待される。

近年、これまで運動制御機構と考えられてきた脳領域の機能が、知的活動全般に広く関与することを裏付ける知見が蓄積されつつある。例えば小脳や大脳基底核の機能は運動制御に留まらず、認知機能や情動反応におよぶことが示され、国際的にも一つの大きなトピックとなっている。さらに計算論的神経科学の分野では運動制御における成果を踏まえて、より広く知的活動に敷衍できるモデルが提唱されつつある。加えて、運動関連脳領域のうち運動前野の吻側部は、脊髄や一次運動野と直接の神経線維連絡をもたない反面、前頭前野と緊密な連絡をもつことが知られており、身体を操作する運動機能と脳内情報を操作する認知・思考機能とは、多くの神経機構と作動原理を共有し互いに協調的な情報処理を行っている。しかし、運動関連脳領域で認知作業に伴って観察される神経活動が、本当に認知作業に不可欠のどのような役割を担っているかは脳活動の観察だけでは知ることができない。

頭皮上から1mA程度の微弱な直流電流を流すことで神経系の活動を変化させることができるtDCSが、TMSと同様にヒトの脳活動を非侵襲的に操作できる手法として脚光を浴びている。tDCSは刺激電極の極性により、その直下の神経活動を促進(陽極刺激)もしくは抑制(陰極刺激)することが知られている。動物実験の結果から、この効果はtDCSが静止膜電位の状態を変化させることにより、入力に対し活動電位が生じやすい(陰極の場合は生じにくい)状態を作り出し

ていると考えられている。これまで痙攣等の重篤な副作用は報告されておらず、刺激による不快感もTMSの半分程度であり、装置本体の大きさは文庫本程度で携帯性に優れ、かつ価格はTMSよりも安価であることから、基礎研究のみならず脳活動干渉・操作手法を広く臨床応用するための条件を備えている。tDCSのヒト脳機能への効果については、反応時間や握力など単純な運動や日常的動作の促進、促進触覚弁別閾値の一時的な上昇などが報告されているが、認知機能に対する影響は記憶改善の報告がみられるものの、未だ萌芽的な段階にある。

### 2. 研究の目的

本研究では、TMSやtDCSなどの非侵襲脳刺激法を従来の脳機能イメージングと統合的に用いることにより、運動関連脳領域の活動を操作することにより、認知機能に果たす役割を因果関係の観点から明らかにする。同時に、tDCSの神経活動促進効果を応用した認知リハビリテーションの開発に向けて、まず脳卒中患者の運動機能について、tDCSが機能回復効果を持つかどうかを検討する。さらに、tDCSの神経活動促進効果の背景にある神経生理学的メカニズムを明らかにするために動物実験を実施する。これらによって、新しい認知リハビリテーションの開発に貢献することを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 統合的イメージングを用いた慢性期脳卒中患者に対する機能的治療法の開発にむけた検討

近年、非麻痺側の使用を抑制する療法やロボット支援を積極的に用いる療法など、脳卒中によって生じた機能障害に対するリハビリテーションの方略を最適化しようとする試みが広く行われている。さらに、リハビリテーションの効果を促進するための新しい技術として、tDCSが注目されている。近年報告が増加しているtDCSは装置が小型で比較的安価であり、またこれまで重篤な副作用の報告がない。そのためリハビリテーション効果を促進するための補助的な機能的治療法として臨床応用の可能性が指摘されている。

そこで本研究では、脳卒中後の運動障害に対するtDCSの効果を検討した。健常成人を対象とした研究で、経頭蓋直流電気刺激(tDCS)により下肢筋力が増強されることが報告されている。本研究では脳卒中片麻痺例を対象とし、tDCSによる麻痺側下肢筋力への効果を検証した。

#### (2) 経頭蓋直流電気刺激が認知機能に及ぼす影響についての検討

経頭蓋直流電気刺激(tDCS)は、頭皮上に置いた電極から非侵襲的に大脳皮質を刺激する手法である。課題に関係する大脳皮質に対して陽極刺激を印加することで、運動機能や認知課題学習効果が増強されることが報

告されており、臨床応用が期待される。一方、tDCS の効果には個人差が存在し、臨床応用にあたっての課題となっている。そこで本研究では、暗算課題時の tDCS 効果の個人差を、あらかじめ機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) によって予測することができないか検討した。

はじめに、各被験者 (15 名) の暗算課題中の左右頭頂葉の脳活動を fMRI で計測し、活性化部位の体積の左右差を Lateral Index(LI)=(L-R)/(L+R) を用いて評価した。次に、被験者ごとに同定された左右頭頂葉の活性化部位直上の頭皮に刺激電極を設置し (左:陽極、右:陰極)、暗算課題施行中に tDCS を印加した。刺激前、刺激中、刺激後 30 分、刺激後 60 分の成績を反応時間と動作時間の和 (Response time) を用いて評価した。tDCS による暗算課題の成績変化と LI との関係を検討した。

### (3) 大脳基底核モノアミン神経系に対する経頭蓋直流電気刺激の効果

tDCS) は、刺激電極直下の皮質細胞膜内外の電位を変化させることにより、ヒトの脳機能を制御すると言われている。tDCS は健常者の運動機能や認知機能に対する促進・抑制効果だけでなく、パーキンソン病や脳血管障害を含むさまざまな神経疾患症状に対して改善効果を持つことが近年報告されており、神経疾患や加齢に伴う運動・認知機能低下の補強手段として臨床への応用が期待されている。しかしながら、その作用点や影響を受ける神経ネットワークに関しての基礎研究はほとんど実施されておらず、より安全で有効な臨床応用のための神経メカニズムの解明は急務である。

そこで本研究では、tDCS のパーキンソン病への臨床応用を視野に入れ、前頭皮質への tDCS 処置がラットの線条体における細胞外ドパミン濃度に対してどのような影響を与えるかを、In vivo microdialysis 法を用いて検討した。ウレタン麻酔下において、ラットの右線条体に透析プローブを挿入後、人工脳脊髄液の灌流および回収を 10 分間隔で開始した。無処置段階で細胞外ドパミンならびにセロトニン濃度が安定したことを確認後、右前頭皮質直上の頭皮と首に設置した電極から 800  $\mu$ A の直流電流を 10 分間印加した。対照条件として、10  $\mu$ A の sham 刺激を 10 秒間印加し、両条件下での線条体における細胞外ドパミンならびにセロトニン濃度を計測し経時的な変化を観察した。

### (4) 経頭蓋直流電気刺激が神経細胞の発火頻度に与える影響の検討

本研究で得られた、正常なラットの皮質へ頭皮上から陰極 tDCS を印加することにより、線条体細胞外ドパミン濃度が増加するという知見 (研究成果(3)参照) は、刺激電極直下の皮質における興奮性の変化に関連すると考えられるが、陽極刺激は皮質の興奮性を増加させ、陰極刺激は減少させるという従来の報告とは矛盾する点がある。一方、先行

研究は、in vitro の実験系や、in vivo でも記録細胞自体の樹状突起を直接刺激しており、経皮的に直流電流を印加した際に皮質の神経活動がどのように変化するかについて神経細胞の発火頻度などを直接計測した報告はない。tDCS の安全かつ有効な臨床応用のためには、処置時間や処置間隔などの適切な処置条件の確立が必要であり、in vivo の実験系による神経ネットワークレベルでの効果発現メカニズムの解明が必要である。

本研究では、皮質神経活動に対する tDCS の影響を in vivo での電気生理学的手法を用いて検討した。ウレタン麻酔下のラット (n=34) の刺激電極直下の皮質に 16 チャンネルシリコンプローブを挿入し、電極がなじむのをまった後、multi neuron recording を開始した。tDCS 処置前 1 時間をベースラインとして記録した後、記録領域直上の頭皮と首に設置した刺激電極を用いて、800  $\mu$ A を 10 分、対照群には 10  $\mu$ A を 10 秒間印加し、刺激電極直下の皮質における多細胞の平均発火頻度を示す multi unit activity (MUA) ならびに単一神経細胞の平均発火頻度に対してどのような影響を与えるかを検討した。

## 4. 研究成果

### (1) 統合的イメージングを用いた慢性期脳卒中患者に対する機能的治療法の開発にむけた検討

皮質下梗塞により下肢の片麻痺が認められる 4 名の慢性期脳卒中患者が実験に参加した。梗塞側の下肢運動野直上に電極を置き、陽極刺激と偽刺激の下肢筋力への効果を比較した。比較条件として上肢筋力の計測も行った。陽極刺激は 2 mA 強度で 10 分間刺激を行い、偽刺激は最初の 15 秒間のみ刺激を行った。

陽極刺激中の下肢筋力は、刺激前と比べて平均で約 20% 増加した。一方、偽刺激においては有意な変化がみられなかった。陽極刺激、偽刺激ともに上肢筋力には影響しなかった。以上より、下肢の運動障害を持つ皮質下梗塞の患者に対しても、tDCS が有効であることが示唆された。

### (2) 経頭蓋直流電気刺激が認知機能に及ぼす影響についての検討

tDCS 施行の前後で暗算課題の成績は統計的に有意に改善した。また、刺激後の Response time の改善の程度は LI と有意な相関を示し ( $p < 0.01$ )、相対的に左の活動が優勢な被験者ほど、tDCS による課題改善効果がより顕著であることが示された。

左頭頂葉の角回や縁上回は、失計算症の責任病巣として知られていることから、その活動を陽極刺激によって促進することにより計算課題の成績が向上したと考えられる。一方、左右の頭頂葉は互いに活動を抑制し合っている可能性が報告されている。本研究で見いだされた fMRI の活性化部位と tDCS による成績改善効果との間の有意な相関の背景に

は、陽極刺激により左頭頂葉の活動を促進する効果と、陰極刺激により右頭頂葉の左に対する抑制を抑える効果の両者が関与している可能性がある。本研究は、fMRI の結果が tDCS による成績改善効果を予測できることを示した世界初の所見であり、tDCS の臨床応用において適用基準を検討する上で有用と考えられる。

### (3) 大脳基底核モノアミン神経系に対する経頭蓋直流電気刺激の効果

前頭皮質側に設置した電極を陰極として直流電流を印加した場合、線条体細胞外ドパミン濃度が有意に増加した。このドパミン濃度の増加は 120 分後から統計的有意な水準に達し、その後 400 分以上維持されていた。一方、前頭皮質側の電極を陽極として直流電流を印加した場合には、線条体細胞外ドパミン濃度に有意な変化は認められなかった。また、セロトニン濃度は、いずれの条件でも有意な変化は認められなかった。本研究で用いた全ての刺激条件において、刺激電極直下ならびに周辺組織に明らかな組織障害や細胞死は認められなかった。

前頭皮質への陰極 tDCS 処置が、線条体に投射するドパミン神経に直接または間接的に影響を与えるという本研究の結果から、パーキンソン病のような大脳基底核疾患への代替治療としての tDCS の可能性が示唆されたと考えられる。

### (4) 経頭蓋直流電気刺激が神経細胞の発火頻度に与える影響の検討

頭皮側の電極を陰極として刺激した場合、対照群と比較して、刺激電極直下の皮質における MUA が最大で 200% 程度増加した(図 2 赤)。この増加は少なくとも tDCS 処置後二時間に渡り認められた。また、頭皮側の電極を陽極として刺激した場合も、MUA の増加傾向が認められた。これらの結果は、樹状突起に直接直流電流を印加して検討した先行研究の結果と相違があり、非侵襲的に頭皮の上から刺激したときには神経細胞の電気生理学的な振る舞いが異なる可能性が考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 15 件)

- 1) Fukushima A, Yagi R, Kawai N, Honda M, \*Nishina E, Oohashi T: Frequencies of inaudible high-frequency sounds differentially affect brain activity: positive and negative hypersonic effects. PLoS One, 9: e95464, doi: 10.1371/journal.pone.0095464, 2014(査読有)。
- 2) \*Oohashi T, Maekawa T, Ueno O, Kawai N, Nishina E, Honda M: Evolutionary acquisition of a mortal genetic program: the origin of an altruistic gene. Artif Life, 20: 95-110, doi: 10.1162/ARTL\_a\_00098, 2014,(査読有)。
- 3) \*Honda M, Kawai N, Yagi R, Fukushima A, Ueno O, Onodera E, Maekawa T, Oohashi T: Electroencephalographic index of the activity of functional neuronal network subserving the hypersonic effect. Asiagraph Journal, 8: 41-46, 2013(査読有)。
- 4) Hosoda C, Tanaka K, Nariyai T, Honda M, \*Hanakawa T: Dynamic neural network reorganization associated with second language vocabulary acquisition: a multimodal imaging study. J Neurosci 33: 13663-72, doi:10.1523/JNEUROSCI.0410-13., 2013(査読有)。
- 5) Kasahara K, Tanaka S, Hanakawa T, Senoo A, \*Honda M: Lateralization of activity in the parietal cortex predicts the effectiveness of bilateral transcranial direct current stimulation on performance of a mental calculation task. Neuroscience letters, 545: 86-90, doi:10.1016/j.neulet.2013.04.022., 2013(査読有)。
- 6) \*Maekawa T, Honda M, Nishina E, Kawai N, Oohashi T: Structural complexity of sounds necessary for the emergence of the hypersonic effect: Estimation of autocorrelation order. Asiagraph Journal 8: 35-40, 2013.
- 7) Omata K, Hanakawa T, Morimoto M, \*Honda M: Spontaneous slow fluctuation of EEG alpha rhythm reflects activity in deep-brain structures: A Simultaneous EEG-fMRI study. PLoS ONE, 8: e66869, doi:10.1371/journal.pone.0066869, 2013(査読有)。
- 8) Shitara H, Shinozaki T, Takagishi K, Honda M, \*Hanakawa T: Movement and afferent representations in human motor areas: a simultaneous neuroimaging and transcranial magnetic/peripheral nerve-stimulation study. Front Hum Neurosci 7:554, doi: 10.3389/fnhum.2013.00554, 2013(査読有)。
- 9) \*Tanaka S, Ikeda H, Kasahara K, Kato R, Tsubomi H, Sugawara SK, Mori M, Hanakawa T, Sadato N, Honda M, Watanabe K: Larger right posterior parietal volume in action video game experts: a behavioral and voxel-based morphometry (VBM) study. PLoS One, 8: e66998, doi: 10.1371/journal.pone.0066998, 2013(査読有)。
- 10) Tanaka T, Takano Y, Tanaka S, Hironaka N, Kobayashi K, Hanakawa T, Watanabe K, \*Honda M: Transcranial direct-current

- stimulation increases extracellular dopamine levels in the rat striatum. *Frontiers in systems neuroscience* 7:6, doi 10.3389/fnsys.2013.00006, 2013(査読有)。
- 11) Aihara T, Takeda Y, Takeda K, Yasuda W, Sato T, Otaka Y, Tanaka S, Hanakawa T, Honda M, Liu M, Kawato M, Sato M, \*Osu R: Cortical current source estimation from electroencephalography in combination with near-infrared spectroscopy as a hierarchical prior. *Neuroimage* 59: 4006-4021, doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.09.087., 2012(査読有)。
  - 12) \*Tanaka S, Seki K, Hanakawa T, Harada M, Sugawara SK, Sadato N, Watanabe K, Honda M: Abacus in the brain: a longitudinal functional MRI study of a skilled abacus user with a right hemispheric lesion. *Frontiers in psychology* 3: 315, doi: 10.3389/fpsyg.2012.00315., 2012(査読有)。
  - 13) \*Yamamoto S, Honda M, Oohashi T, Shimizu K, Senda M: Development of a brain PET system, PET-Hat: A wearable PET system for brain research. *IEEE Transactions on Nuclear Science* 56(5): 668-673, doi: 10.1109/TNS.2011.2105502, 2011(査読有)。
  - 14) Shitara H, Shinozaki T, Takagishi K, Honda M, \*Hanakawa T: Time course and spatial distribution of fMRI signal changes during single-pulse transcranial magnetic stimulation to the primary motor cortex. *Neuroimage* 56: 1469-1479, doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.03.011., 2011(査読有)。
  - 15) Tanaka S, Takeda K, Otaka Y, Kita K, Osu R, Honda M, Sadato N, \*Hanakawa T, \*Watanabe K: Single session of transcranial direct-current stimulation transiently increases knee extensor force in patients with hemiparetic stroke. *Neurorehabilitation Neural Repair* 25: 565-569, doi: 10.1177/1545968311402091., 2011(査読有)。
- [学会発表](計23件)
- 1) Honda M: Monitoring Fundamental Brain Activity and Mental Health: Application to the Development of "Information Therapy". The 4th International Symposium on Pervasive Computing Paradigms for Mental Health, Tokyo, 5.8, 2014.
  - 2) Honda M: Inaudible high-frequency sounds affect brain activity and improve sound quality: hypersonic effect. International Symposium on "Future of Shitsukan Research", Tokyo, 7.16, 2014.
  - 3) 本田 学: 脳と情報環境～精神神経疾患に対する新しいアプローチ, 第48回広島神経医科学研究会, 7.2, 2014.
  - 4) Honda M, Oohashi T: Hypersonic effect of Balinese gamelan music: Inaudible high-frequency sounds activate deep brain structures. Special Lecture, Asian and Oceanian Congress of Clinical Neurophysiology (AOCCN2013). Bali, Indonesia, 8.29, 2013. (招待講演)
  - 5) 本田 学: 人と音と脳の科学が拓く音響学の地平. 日本音響学会2012年秋季研究発表会原点回帰スペシャルセッション, 長野, 9.21, 2012. (招待講演)
  - 6) Omata K, Morimoto M, Hanakawa T, Honda M: Correlation between the activity of deep brain regions and the change of arousal level. The 15th Annual meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness, Kyoto, 6.11, 2011.
  - 7) Maekawa T, Ueno O, Kawai, N, Nishina, E, Honda M, Oohashi T: Evolutionary acquisition of genetic program for death. 20th European Conference on Artificial Life (ECAL2011), Paris, 8.10, 2011.
  - 8) Honda M: Adverse effect of the non-invasive brain stimulation: A case report. 第34回日本神経科学大会 Neuroethics symposium, 横浜, 9.15, 2011.
  - 9) 小俣圭, 森本雅子, 花川隆, 本田学: 自覚脳波における覚醒度判断のEEG-fMRI同時計測による検討. 第13回日本ヒト脳機能マッピング学会, 京都, 9.1, 2011.
  - 10) 小俣圭, 森本雅子, 花川隆, 本田学: 覚醒状態の変化と脳活動. 第34回日本神経科学大会, 横浜, 9.15, 2011.
  - 11) Aihara T, Takeda Y, Takeda K, Yasuda W, Sato T, Otaka Y, Hanakawa T, Honda M, Liu M, Kawato M, Sato M, Osu R: Cortical current estimation from EEG by incorporating NIRS activity as a hierarchical prior. Society of Neuroscience 2011 Annual Meeting, Washington, DC, USA, 11.12-16, 2011.
  - 12) DaSalla CS, Kasahara K, Honda M, Hanakawa T: EEG-based brain-computer interface control during simultaneous fMRI acquisition. Society of Neuroscience 2011 Annual Meeting, Washington DC, USA, 11.15, 2011.
  - 13) Osu R, Morimoto M, Honda M, Oohashi T, Hypersonic effect - Inaudible high-frequency sounds activate deep

- brain structure, ASIAGRAPH 2010 in Shanghai, Shanghai, China, 6.12, 2010.
- 14) Nishina E, Morimoto M, Kawai N, Yagi R, Honda M, Oohashi T: Hypersonic Sounds a New Dimension of Digital Acoustics Indicated by Balinese Traditional Gamelan Music, International Joint conference APCHI-ERGOFUTURE 2010, Bali, Indonesia, 8.2, 2010.
  - 15) Morimoto M, Honda M, Nishina E, Kawai N, Oohashi T: Study on the Sound Structure of Georgian Traditional Polyphony (2): Quantitative Analysis of Fluctuation Structure, The Fifth International Symposium of Traditional Polyphony, Tbilisi, Georgia, 10.6, 2010.
  - 16) Kawai N, Morimoto M, Honda M, Onodera E, Nishina E, Oohashi T: Study on the Sound Structure of Georgian Traditional Polyphony (1): Analysis of the Temperament Structure, The Fifth International Symposium of Traditional Polyphony, Tbilisi, Georgia, 10.6, 2010.
  - 17) Omata K, Hanakawa T, Morimoto M, Honda M: Influence of cardiac and respiratory artifacts on the relationship between EEG and fMRI signals, 29th International Congress of Clinical Neurophysiology ICCN2010, Kobe, Japan, 10.30, 2010.
  - 18) Omata K, Morimoto M, Hanakawa T, Honda M: Brain activities related to vigilance judgment based on spontaneous EEG: A simultaneous EEG-fMRI study, The Society for Neuroscience 40th Annual Meeting, San Diego, USA, 11. 13-17, 2010.
- 他 5 件

〔図書〕(計 6 件)

- 1) 本田 学: 感性と情動を生み出す脳, 『質感の科学』第 2 部第 3 章, 朝倉書店, 東京, 発行確定.
- 2) Honda M: Information environment and brain function: A new concept of the environment for the brain, in “Neurodegenerative Disorders as Systemic Diseases”, Springer, 発行確定.
- 3) 本田 学: 脳と情報環境 - 脳科学から見た環境の安全・安心 - . 脳の発達と育ち・環境 . NPO 法人脳の世紀推進会議編, クバプロ, 東京, 9-45, 2010.
- 4) 本田 学: 感性的質感認知への脳科学的アプローチ, 映像情報メディア学会誌 2012 年 05 月号, 特集「質感を科学する」2-2, 343 -348, 2012.
- 5) 本田 学: ハイパーソニック・エフェクト

- の脳科学. 科学, 83: 328-340, 2013.
- 6) 本田 学: 感動する脳の仕組み. 「音楽・情報・脳」仁科工ミ, 河合徳枝(共編著): pp.36-52, 放送大学教育振興会, 東京: 2013.

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

本田 学 (HONDA, Manabu)

国立精神・神経医療研究センター・神経研究所疾病研究第七部・部長

研究者番号: 40321608