

平成 30 年 5 月 21 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06153

研究課題名(和文) 身体図式改変操作によるビークルの遠隔操縦・遠隔存在感向上支援

研究課題名(英文) Enhancement of driver's operational ability relating tele-existence by interfering the modification of body schema

研究代表者

鈴木 聡 (Suzuki, Satoshi)

東京電機大学・未来科学部・准教授

研究者番号：20328537

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：経皮的抹消神経電気刺激(TENS)と視覚情報操作で、身体図式なる脳内身体表現獲得のための体性感覚-視覚情報統合処理に干渉し、ビークル操作時の身体図式に関わる車体感覚の向上を支援する手法を研究した。ポータブルTENS装置並びにNIRS-SPM(近赤外光脳血流計測(NIRS)による体動アーチファクトに頑強な画像統計解析)を開発して、TENSによる身体図式への介入効果を脳科学的に立証しつつ、同装置と画像湾曲法を併用した車体感覚支援法を提案した。レイグジスタンスロボットでの事務室内移動タスクと運転シミュレータでの細街路運転タスクを用いた操作実験で本支援法を検証し、その傾向と効果を確認した。

研究成果の概要(英文)：An assistance method to enhance a feel of the width of vehicle was studied by interfering an integrated processing of visual and somatosensory information with transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and modification of visual information to the operator, focusing on body schema (BS) which relates to the feeling. A portable TENS device and NIRS-SPM (near-infrared spectroscopy-based statistical parametric mapping) analysis were newly developed, and an interference effect by the TENS device into the BS modification was confirmed using the NIRS-SPM. Combining the TENS with real-time image rectification, several vehicle-operation systems with assistance methods for enhancement of the feeling of vehicle width were presented and build. Effect of the assistance was confirmed through two types of middle-term tasks with participants: a tele-operation task using a tele-existence robot in a remote office, and a driving task using a real-size driving simulator on virtual narrow street.

研究分野：人間機械システム

キーワード：身体図式 熟達支援 脳機能計測 SPM 近赤外光脳血流量計測 経皮的電気神経刺激 画像湾曲刺激

1 . 研究開始当初の背景

身体図式 (body schema) は身体の無意識的な延長感覚であり、道具やピークルなどの人工物を能動的に使用する際に必須である。自己身体の境界を人工物外縁に可逆的に適切に変容できなければ、それらの空間内配置や移動に支障を生じる。身体図式には視覚と触覚のバイモダルニューロン [Rizzolatti, Mirrors in the brain: 2006] が関係しており、ピノッキオ錯覚 [Lackner, Brain: 1988] や胴体縮小錯覚 [Ehrsson, Biol.: 2005] など、筋肉の筋紡錘への低周波刺激で視触覚情報の統合処理に介入することで人工的に変容できることが報告されていた。そこで研究代表者はこれらの現象を応用したピークル操作時の車体感覚向上支援について、平成 25 ~ 26 年度の挑戦的萌芽研究「皮膚低周波刺激での身体図式改変によるピークル操作熟達支援」を実施し、運転シミュレータを活用して身体図式変容を誘発する経皮的抹消神経電気刺激 (TENS : 概略 70Hz の丁度可知差異 (JND) 未満の微弱パルスを使用) を用いた車体感覚支援法を見出した。

2 . 研究の目的

本研究は、前萌芽研究で有効性を確認できた人工的な身体図式介入の手法 [23, 17, 18, 雑誌論文 3] の、実空間作業への展開を主眼とし、下記 3 つの目的を設定した。

- ・目的 A : TENS による身体図式介入時のヒトの空間知覚特性の脳科学的解明
- ・目的 B : TENS を活用した車体感覚支援法の実空間作業への展開
- ・目的 C : 同支援法の日常使用を可能とするポータブル端末の開発

上記目的達成のために、ピークル遠隔操作検証システムで操縦実験を行い、それらにおいて近赤外光脳血流計測 (NIRS : 日立メディコ社製 ETG-4000, 48ch を使用) による分析で科学的裏付けを得つつ、空間認知機能への介入によるピークル操作熟達支援の汎用化を目指した。

3 . 研究の方法

(1) 体動アーチファクトにロバストな脳機能解析ツールを構築して TENS 介入効果を検証しつつ、(2) ポータブル TENS 装置開発を進め、進展状況に即して (3) 検証システム各種を構築し、(4) 車体感覚支援法をそれらに適用した操縦実験で検証し、目的の達成に努めた。主に、項目 (1) は目的 A に、(3) (4) は目的 B に、そして (2) が目的 C に対応している。以下項目 (1) ~ (4) の方法の詳細を述べる。

(1) 脳機能解析ツール構築と TENS 評価

本 TENS 印加法が、身体図式に関与している脳部位に干渉できているのか確認を得るため、棒指し課題 (壁面印字文字を異なる長さの棒を用いてなぞることで、指腕の身体図式に異なる強度の変容を促す。詳細後述 4 (1)

参照) を考案し、その課題遂行時の脳賦活を NIRS で測定した。そして統計解析ツールとして NIRS 版 SPM (Statistical Parametric Mapping) の開発を進めた。本ツールの開発理由は、既存 SPM [WTCN, University College London] は fMRI/MEG/PET など空間分解能が高く、統計処理上厄介な時系列信号由来の自己相関性の影響が少ない他種の新規脳機能計測法向けであって、これら条件を満たせない NIRS のための SPM は確立されておらず、かつ身体図式変容時には避けられない体動下でも十分な精度が得られる分析手法が存在していなかったからである。

(2) ポータブル TENS 装置の開発

市販 TENS 機器は医療機器であり、その電気特性 (強度/発生タイミング/周波数/振幅等) をリアルタイムには変えられないので、本支援法の汎用装置として使うには限界があった。そこで上記特性を実時間で制御可能な TENS 発生回路を新たに設計、さらにスマートフォンとの併用で日常的に携帯使用可能なポータブル化に取り組んだ。

(3) 検証システム構築

ピークル操作者の身体図式変容を適切に誘発するには、視触覚統合処理への介入、すなわち触覚的な TENS 操作に加え、視覚情報操作も有効である。そのため操作上の視覚情報を実時間で加工・表示が可能なコンソール系を含む 2 つの検証システム (テレイグジスタンスロボット : TER, 運転シミュレータ : DS) を構築し、提案する車体感覚支援法の検証に用いた。

(4) 車体感覚支援法の開発と検証

身体図式特性の数値モデルを主観調査と客観的計測実験で同定、その逆モデルを支援決定関数として使用する計画であったが、本モデリングに必要な一様かつ多量のデータの収集が研究進捗に伴い困難であることが判明したため、ピークル周辺環境の位置関係に応じて支援操作量を決定する方針に変えて支援法の開発を進めた。具体的には、実験的に TENS 印加条件候補と支援判定式候補から有力案を取捨選択、続いて実験協力者を増やした検証実験を通して、有効な支援手法の絞り込みを行った。

4 . 研究成果

(1) NIRS-SPM の確立

棒指し課題 (図 1 (a)) を用いて、棒という人工物の使用に伴う身体図式伸展を実験協力者に促し、その際に賦活する特徴的な脳部位を、検定処理を経て可視化する SPM の NIRS 版を確立した。その確立に際しては、一般的に NIRS 計測による脳血流量信号の強い自己相関性が、既存 SPM を単純適用できない障害であったので、統計上の必要条件を吟味して NIRS のための自己相関補正・有効

自由度補正法を提案し、さらに体動アーチファクト対策として SPM 計算時の一般化線形モデルの同定手法と数理モデルの組合せを AIC とダービン-ワトソン比を指標にして最適化した。本 NIRS-SPM を棒指し課題に適用した結果、ブロードマン 7-40-21 野の帯状領域が身体図式改変時に有意に賦活していることが判明し ($t(15)$; $p < .01 \sim p < .001$), その特徴的賦活パターン (図 1(b)) を特定できた [雑誌論文 1]。

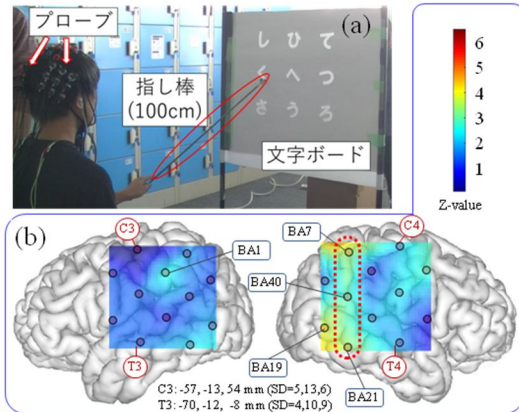


図 1. (a)棒指し課題風景 (b)NIRS-SPM 解析結果

続いて身体図式伸展時に TENS を与えることで、側頭から後頭部の広い領域と下頭頂小葉が賦活することが確認され ($p < .05$), これらの領域は上述の帯状領域と一致することから、TENS で身体図式に干渉し得ることが確認できた [21]。しかし、その際の身体図式変容強度/TENS 強度/脳賦活強度の数理的關係を確定できなかったため、実験条件の分解能と尺度を上げて追試したが、適切な適合関数を同定できなかった [9,13]。そこで車体感覚支援法の設計方針を変更し、そのアルゴリズム開発を進めた。

(2)ポータブル TENS 装置の開発

波形形状を外部操作で変更可能な TENS 回路を、電気回路シミュレータ設計と実基盤製作を繰り返して開発した [14]。発生パルスの双方向性化による抹消神経への負荷低減と小型化改良を行い [6], さらに無線通信で TENS 波形を実時間で変更するためのアプリを Xcode/iOS で製作し、ポータブル TENS 装置を完成させた (図 2)。

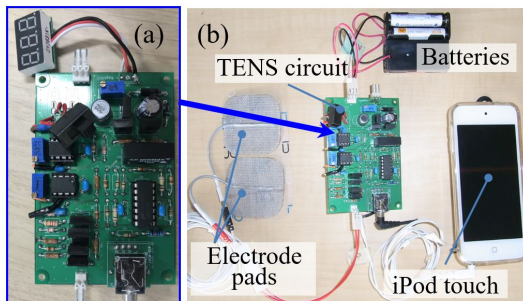


図 2. (a)開発した TENS 回路 (b)システム構成例

(3) 車体感覚支援法の検証システム構築

車体感覚の習熟度によって操作技量に差が生じるピークルとして、TER に倒立振り子型の double を、DS 車種に大型乗用車を選び、双方の検証システムを年次進行で構築した。具体的には前者の TER の場合は、側域センサ機器等を TER に追加装備し (図 3(a)), TER 周辺の空間的情報を視覚的に掲示する操作コンソール (図 3(b)) を構築した。

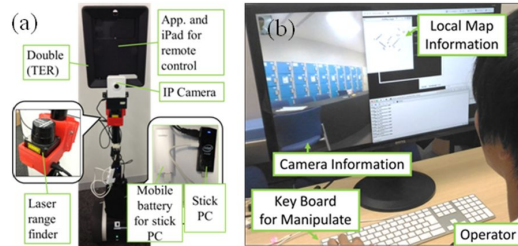


図 3. (a)TER 検証機 (b)同コンソールシステム

その過程で、TER 自己位置推定 [20,22] を実装し、評価用計測基準を確保し、TER 操作者・対話者の主観性に関わる空間認知特性 [12] や印象特性 [7:優秀講演賞] を踏まえて、コンソールシステムを改良した。さらに、TER 周辺地図の移動プレ効果での操作者空間知覚の向上特性 ($p < .001$: Wilcoxon signed-rank test) [雑誌論文 2] [11: Student Paper Award] や近接空間知覚特性 [16: 奨励賞受賞] を把握し、これら知見を後述の車体感覚支援法に反映させた。続いて画像処理ライブラリ OpenCV を用いて、TER の周辺距離情報に応じて TER 搭載カメラ映像に加工を施す実時間映像編集機能と、前ポータブル TENS 装置を同検証システムに追加実装し、視触覚統合処理へ介入可能な TER 検証システム (図 4) を完成させた。

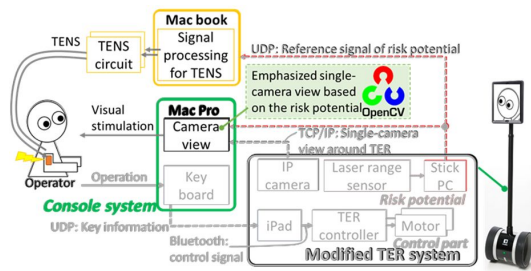


図 4. TER 検証機のシステム構成

後者の DS の場合は、前萌芽研究で開発した dSPACE を中核にしたシミュレータ [24] の、グラフィック描画系を高精度のものに刷新して映像没入感を高め (図 5(a)), ハンドル反力発生機構の制御精度向上で視触覚マルチモーダル性の向上に努めた。そして、上記 TER 検証システムで構築したポータブル TENS 装置・通信系を移植し、DS 検証システムを完成させた。

(4) 車体感覚支援法の開発と実証

車体感覚の習熟差が現れる狭隘空間での操作課題として、TER 事務室移動タスクと DS 細街路運転タスクを考案し、それぞれの実験フィールドを実空間ならびに仮想空間に構築してピークル操作実験を行い、収集データを分析して提案する支援法を評価した。以下タスク別に成果を纏める。

TER 事務室移動タスク実験

触覚系の支援法である TENS 印加方法は前萌芽研究で概略特定していたが、視覚系については本研究で新たに検討する必要があった。そこで、TER 搭載カメラ映像の左右・奥行き方向の接近感・距離感を変える画像湾曲手段を複数検討し、TER 予備実験で有望な候補に絞り込んだのち、実験協力者らの慣れや順序効果を考慮した TER 本実験を実施した。

予備実験では TER 操作者の有効視野/周辺視野領域を考慮し、TER 撮影画面の湾曲加工を施すべき範囲とその強度・変化率を調査した。その結果、周辺視野外側湾曲時には TER とその周辺事物との距離（以下、安全距離）が減少 ($p < .001$: U-test) するが、逆の内側湾曲時には、安全距離が有意に増加して TER 操作性能の向上が見られたので ($p < .001$: U-test) [8]、画像湾曲法を内側湾曲式に確定した。

続いて本実験では(予備実験で TER 操作技能に無視できない個人差が確認された為)、3日間の練習期間の後、画像湾曲修正支援と TENS 印加支援の有無の 4 通りの組合せで、1 週間の事務室移動タスクを実験協力者ら ($N=10$) に対して、順序効果を加味して実施した。操作履歴データを分析したところ、練習期間を設けても操作技能個人差が見られた。そこで技能レベルに応じてグループ分けしたのち、複数の指標(接近距離レンジ別の安全距離の平均値/中央値/分布、最接近距離の極小値群分布等)で支援法の効果を精査(ANOVA, U 検定, 順位和検定等)したが、有意性は確認できなかった ($p > 0.05$) [5]。以上のことから、画像湾曲支援法単体は有効であるが、TENS 印加を併用すると十分な効果が得られないという予想に反した結果となった。

原因分析を行ったところ、支援タイミングに対する TER の応答遅延により TER がオーバシュート気味に動作している pilot-induced oscillation 的挙動が確認された。つまり、操作者の身体図式感覚に関する時定数と本ピークル系のそれとの違いが大きかったためと推察された。そこで応答性の高いピークルを操る検証システムである DS を用い、車体感覚支援法の実証作業を進めた。

DS 細街路運転タスク実験

DS を用いた実験では、開発したポータブル TENS システムで運転者の身体図式に介入できることを DS 予備実験で確認した後、そこで得られた知見を元に車体感覚支援法を改良した上で DS 本実験を行った。

DS 予備実験では、実験協力者が運転する仮想車と路上物体との主観的距離感覚を調査した。運転への介入条件(実験協力者が自ら運転して能動的に停車させた場合と、受動的に運転席映像を見せた場合)・TENS 強度・空間位置関係を変えて調べたところ、運転者から遠い左前方方向の距離感が、能動運転時の TENS 印加で変わり ($F(21,21)=0.41$, $p < .05$) [15,19], TENS で身体図式に干渉して主観的な車体感覚を変えられることが確認された。

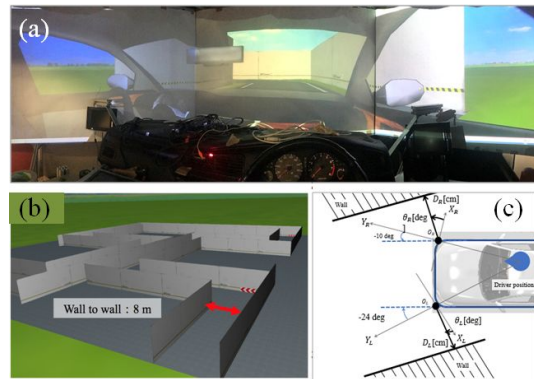


図 5. (a)運転シミュレータ(DS), (b)細街路コース, (c)安全距離計算の位置関係

続いて、車体感覚に加えてアクセル・ブレーキ・ハンドルの熟達した複合操作が求められる細街路コース(図 5(b))上で、TENS 支援の有無で運転精度に違いがでるか検証した。安全距離として仮想車の左右前方との側壁最短距離(図 5(c))の変化を実験協力者ごとに標準化して分析したところ、安全距離の極小値群には変化がみられなかった ($p > 0.05$: t 検定)が、中央値が本支援で有意に大きくなり ($p < .001$: U 検定) [4]、実験協力者ら ($N=10$) の運転技能の個人差に依らず、同様の結果が得られた ($p < .001$: U 検定) [2]。つまり、本支援法は DS の場合、瞬時に身体図式を変容する効果は弱いですが、定常的な車体感覚向上に有効であることが認められた。

(5) 総括と今後展開

以上のことから、NIRS-SPM の確立とその棒指し課題への適用分析で目的 A が、TER と DS 予備/本実験での車体感覚支援法の実検証で目的 B が、そしてポータブル TENS 装置の開発完了とそれら実験での活用で目的 C がそれぞれ達成された。つまり、新規開発したポータブル TENS 装置で身体図式に関わる脳部位に干渉できることが脳科学的に示され、同装置を用いた車体感覚支援法でその操作者の空間認知能力の向上が示せた。ただし二つ課題が浮き彫りになった。

一つは TENS 印加法の個人差校正であり、本研究では TENS 刺激に対する JND を個人毎に調査して TENS 強度を調律していたが、その主観知覚が身体図式干渉刺激に対する基準化として十分機能しておらず、そのために

身体図式改変時の空間知覚特性モデル化の支障になった可能性である。二つめは事象と情報の時間タイミングの不一致の問題である。つまり、視覚情報に対する触覚情報の遅延が、身体図式が関与する運動錯覚の発現を左右する[Simada, PLoS One: 2009]ことから、TERの反応遅れや画像処理/通信遅延が、身体図式変容を阻害した恐れがある。実際、これら情報伝達遅延を排除した確認実験としてHMDを用いた仮想工場内移動シミュレータを構築して、同TENS支援実験を行ったところ、装着者の空間移動・認知性能が向上することが確認でき、上記懸念のある程度の裏付けを得た。このことから、介護やりハビリなど自己身体移動時の空間認知補助への応用が考えられる。また、TER自体は遠隔コミュニケーションツールとして有望であるので、その向上研究として頭部視線協調動作同定によるTER操作支援[1,3]などにも応用可能である。今後は上述の方面への展開を図りたい。

(5) 成果公開

本研究で得られた成果は、国際会議 (IEEE HSI2015 [21], IEEE IECON2016 [17,18], IEEE/SICE SII2017 [8], IEEE ICIT2017[4,5]) での特別セッション企画をはじめ、学会大会 (電気学会 C 部門大会 [9,10], SICE-SI2017[6,7]), 招待シンポジウム (SICE LE2015[23]) や学会技術研究会で発表し、その公表に努めた。

また、本研究に関わる成果発表で、優秀講演賞 [7], 技術委員会奨励賞 [16], Student Paper Award [11]を受賞した。

5. 主な発表論文等

下記“査読なし”と付した以外は全て査読有。〔雑誌論文〕(計3件)

- [1] Satoshi Suzuki, “Optimized statistical parametric mapping procedure for NIRS data contaminated by motion artifacts: neurometric analysis of body schema extension,” *Brain Informatics, Springer*, pp.1-12, DOI:10.1155/2012/724587, 2017.
- [2] Noritaka Funada and Satoshi Suzuki, “Preliminary verification of spatial perception support for tele-existence robot manipulation,” *Journal of Signal Processing, RISP*, Vol. 21, No. 4, pp. 187-190, July 2017.
- [3] Noriko Kimura, Akira Ichinose, Takumi Matsumura, and Satoshi Suzuki, “Biosignal detection of expansion of body schema induced by TENS on driving,” *J. of Signal Procs. RISP*, Vol. 19, No.4, pp.167-170, 2015.

〔学会発表〕(計24件)

- [1] Seina Amagi and Satoshi Suzuki, “Identification of Eye-Head Coordination for Maneuvering Assistance of Telepresence Robot,” IEEE 2nd Int. Conf. on Intelligent

Systems Eng. (ICISE2018), Kuala Lumpur, Malaysia, March 20-21, pp. 32-37, 2018.

- [2] Kei Kawahara and Satoshi Suzuki, “Evaluation of spatial awareness on driving under TENS assistance,” IEEJ Int. Workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control (SAMCON2018), Tokyo, Japan, March 6-8, V3-5, 2 pages, 2018.
- [3] Seina Amagi, Noritaka Funada, and Satoshi Suzuki, “Maneuvering assistance for telepresence robot based on eye-head coordination,” SAMCON2018, Tokyo, Japan, March 6-8, V1-4, 2pages, 2018.
- [4] Kei Kawahara and Satoshi Suzuki, “Enhancement of spatial awareness on vehicle driving using transcutaneous electrical nerve stimulation,” IEEE Int. Conf. on Industrial Technology (ICIT2018), Lyon, France, February 20-22, 2018, pp. 1967-1972.
- [5] Noritaka Funada and Satoshi Suzuki, “Perceptual assistance using transcutaneous electrical nerve stimulation and emphasized single-camera view for tele-existence robot user,” ICIT2018, Lyon, France, February 20-22, 2018, pp. 1997-2002.
- [6] 加々美 拓朗 鈴木 聡, 身体図式干渉による空間移動支援のための TENS デバイスの開発と改善, 第 18 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 (SI2017), 仙台国際センター(宮城・仙台市), 12/20-22, 2017, pp.1773-1776.
- [7] 堀 深太 鈴木 聡, 快適な対話を目指したサービスロボットの高さとディスプレイに映る顔の大きさの適正条件の調査, SI2017,仙台国際センター(宮城・仙台市), 12/20-22, 2017, pp1802-1807, **優秀講演賞**.
- [8] Noritaka Funada and Satoshi Suzuki, “Preliminary verification of spatial perception support using emphasized single-camera view,” IEEE/SICE Int. Symp. on System Integration (SII2017), Taipei, Taiwan, December 11-14, 2017, 6 pages.
- [9] 渡邊 匠, 村田 祐輔, 鈴木 聡, NIRS-SPM による TENS 刺激強度と身体図式干渉効果の検証, 電気学会電子・情報・システム部門大会 (C 部門大会), サンポートホール高松(香川・高松市), 9/6-9, 2017, pp. 474-479.
- [10] 河原 啓, 谷口 裕人, 鈴木 聡, 遠隔操作支援に向けたテレグジスタンスロボット操作時の空間認知精度の分析, 電気学会 C 部門大会, サンポートホール高松(香川・高松市), 9/6-9, 2017, pp. 490-494.
- [11] Noritaka Funada and Satoshi Suzuki, “Investigation of human spatial perception on teleoperation by third person perspective,” RISP Int. Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'17), Guam, USA, 2/28-3/3, 2017,

- pp.553-556, **Student Paper Award.**
- [12] 船田 典孝, 河原 啓, 鈴木 聡, 遠隔操作における人間の空間認知特性変化の分析, 電気学会知覚情報研究会, 浦田クリニック/スコール(富山・富山市), 1/7-8, 2017, PI-17-008, pp.33-38 (査読なし).
- [13] 渡邊 匠, 村田 祐輔, 鈴木 聡, 脳血流量解析による身体図式に対する電気刺激効果の検証, 電気学会知覚情報研究会, 浦田クリニック/スコール(富山・富山市), 1/7-8, 2017, PI-17-007, pp.27-32 (査読なし).
- [14] 駒宮 造, 船田 典孝, 鈴木 聡, 身体図式改変のための TENS 刺激装置の開発, 電気学会・産業計測制御研究会(ISAM), 東京電機大学(東京・足立区), 11/25, 2016, IIC-16-031 (査読なし).
- [15] 河原 啓, 鈴木 聡, 奥行き方向の身体図式に TENS が与える影響の実験的検証, 電気学会知覚情報研究会, 慶応義塾大学(横浜市・神奈川), 10/28, 2016, PI-16-053 (4 pages) (査読なし).
- [16] 船田 典孝, 鈴木 聡, 三人称視点情報による遠隔操作時の空間認知特性変化の分析, 電気学会知覚情報研究会, 慶応義塾大学(横浜市・神奈川), 10/28, 2016, PI-16-052 (4 pages) (査読なし), **技術委員会奨励賞**
- [17] Satoshi Suzuki, "Lane-keeping assistive method based on the BS modification effect induced by weak electrical stimulus," the 42nd Annual Conf. of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'16), Firenze, Italy, Oct. 24-27, 2016, pp. 5921-5928, DOI: 10.1109/IECON.2016.779342.
- [18] Mikko Laurikkala, Satoshi Suzuki, and Matti Vilkkko, "Predicting operator's cognitive and motion skills from joystick inputs," IECON'16, Firenze, Italy, Oct. 24-27, 2016, pp. 5935-5940, DOI: 10.1109/IECON.2016.7792994.
- [19] Kei Kawahara and Satoshi Suzuki, "Experimental verification of depth perception by interfering body schema induced by transcutaneous electrical nerve stimulation," Int. Conf. on Elect. Engineering (ICEE'16), Okinawa, Japan, July 3-7, 2016, ID 90363, 4 pages.
- [20] Noritaka Funada and Satoshi Suzuki, "SLAM using laser range sensor with reflectable landmark for inverted pendulum wheeling type tele-existence robot," ICEE'16, Okinawa, Japan, July 3-7, 2016, ID 90527, 4 pages.
- [21] Yusuke Murata and Satoshi Suzuki, "Investigation of brain activation with body schema induced by TENS using NIRS," IEEE Int. Conf. on Human System Interaction (HSI 2016), Portsmouth, UK, July 6-8, 2016, pp.405-411, DOI:2016. 10.1109/HSI.2016.7529665.

- [22] 船田 典孝, 鈴木 聡, レーザ測域センサと反射材マーカを用いた倒立振子型レイグジスタンスロボット用 SLAM, 電気学会次世代産業システム研究会, 東洋大学(文京区・東京), 3/1, 2016, IIS-16-040, 5 pages (査読なし).
- [23] Satoshi Suzuki, "Brain activity on voluntary motion and its relation with body schema," SICE Life Engineering Symposium 2015, Fukuoka, Japan, Sept. 2-4, 2015, pp.191-196.
- [24] 河原 啓, 鈴木 聡, 危険運転と心拍変動からのドライバーの眠気推定, 平成 27 年電気学会 C 部門大会, 8/26-29, 2015, 長崎大学(長崎市・長崎), pp. 391-394.

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 聡 (SUZUKI SATOSHI)
東京電機大学・未来科学部・准教授
研究者番号：20328537

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし