

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：32692

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700485

研究課題名(和文) 3次元脳回路モデルの再構成技術と神経伝達物質のリアルタイム計測技術の開発

研究課題名(英文) Developments of 3D reconstruction neuronal tissue technique and real-time neurotransmitter measurement techniques

研究代表者

鈴木 郁郎 (SUZUKI, Ikuro)

東京工科大学・応用生物学部・助教

研究者番号：90516311

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：脳組織モデルのin vitro再構成技術として、PDMSマイクロチャンバにより細胞体位置を制御し、コラーゲン繊維配向技術により神経突起の方向を制御した3次元培養技術を開発した。構築した3次元脳組織モデルは、生体組織と同等の細胞密度および活動電位の伝播スピードを有し、顕著な薬剤応答を示すことがわかった。また、カーボンナノチューブ微小平面多電極アレイを開発し、マウス線条体脳スライスよりドーパミンのリアルタイム検出に成功した。開発した脳組織モデルの3次元培養技術および神経伝達のリアルタイム計測技術は、創薬スクリーニングにおける評価系としての応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：We developed a 3D reconstruction neuronal tissue technique using collagen fiber orientation and PDMS microchambers. We used this method to produce 3D neuronal networks by controlling the position of somata and the direction of neurite elongation in the 3D space. We confirmed that the interlayer propagation was chemical synaptic transmission by pharmacological experiments and that the velocity of propagation was equivalent to biological tissue. Furthermore, we developed carbon nanotube (CNT)-MEA chips that can measure both electrophysiological responses such as field postsynaptic potentials and action potentials as well as the release of the neurotransmitter dopamine. These CNT-MEA chips were fabricated by electroplating the indium-tin oxide microelectrode surfaces. Chronoamperometric measurements using these CNT-MEA chips detected dopamine at nanomolar concentrations and successfully measured synaptic dopamine release from spontaneous firings in mouse striatal brain slices.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：医用生体工学・生体材料学

キーワード：3次元培養 神経回路 組織モデル 神経伝達物質 カーボンナノチューブ 多電極アレイ 電気化学

1. 研究開始当初の背景

工学と生物学の融合による生体組織を創る研究は、心筋組織などを中心に研究が進んできている。今後も、様々な組織・臓器を iPS 細胞などから創る研究への期待は大きくなることが予想されるが、それに伴い新しい 3 次元細胞培養技術の開発が重要な研究課題となっている。われわれは、脳神経組織に着目し、神経細胞から意図した形状の 3 次元神経ネットワークを再構成する新たな 3 次元培養技術の開発に取りかかることとした。In vitro で形態や機能をコントロールした 3 次元脳回路を構築することができれば、生体環境を模倣した神経系の薬剤評価モデルへの応用や脳損傷部位の移植治療法にも将来的につながると思われる。学術的な面からは、神経回路の構造の違い (2 次元と 3 次元での違い) を組み立てながら理解する構成的研究を可能にする技術開発である。

脳回路を動作させる神経伝達物質をネットワークレベルでリアルタイムに計測することは、神経疾患などの回路機能を評価する上で重要である。しかしながら、in vitro 培養系の神経細胞から神経伝達物質の放出を非侵襲かつリアルタイムに計測できる技術はない。神経細胞から放出される神経伝達物質をチップ上で非侵襲かつリアルタイムに計測することができれば、神経伝達物質の放出異常で起こる神経疾患の解明や薬剤評価系への応用が期待できる。

2. 研究の目的

本研究は、脳神経系における再生医療および薬物毒性検査技術の分野で期待されている脳組織モデルの 3 次元再構成技術に着目し、従来の技術では難しかった細胞の空間配置および神経突起の伸長方向を自在に制御した 3 次元脳回路モデルの再構成技術を開発する。また、脳回路機能を解析する上で重要となる神経伝達物質の放出量を計測できる技術として、高導電性および吸着物質特異的に物性が変化するカーボンナノチューブ (CNT) などのナノカーボンを電極材料とした微小多電極アレイチップを開発し、神経機能計測の分野で新しい基盤技術となる神経伝達物質のリアルタイム計測技術を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 3 次元脳回路モデルの再構成技術

生体脳の構造を模倣した脳神経回路を構築するために、細胞体の位置と突起の伸長方向を制御した 3 次元培養技術を開発した。細胞体位置を制御する技術として PDMS マイクロ加工技術、神経突起の伸長方向を制御する技術としてコラーゲン繊維配向技術を用いた。はじめに、①PDMS シートに幅 $4000 \times 2000 \mu\text{m}$ 、高さ $500 \mu\text{m}$ のマイクロチャンバを作製し、チャンバ内を細胞接着基質である Poly-D-Lysine で 1 時間コートした。

次に、②チャンバ内に $5 \times 10^6 \text{ cells/ml}$ のラット海馬初代培養細胞または大脳皮質細胞懸濁液を $20 \mu\text{l}$ 入れ、③30 分間 37°C 、5% CO_2 インキュベータ内に静置した。④基板上に細胞が接着したことを確認後、PDMS シートを基板から剥がし、細胞ブロックを構築した。その後、神経突起の伸長方向を制御するために、培養皿を 45° に傾け、⑤細胞ブロックの上から 2 mg/ml のゾル状コラーゲンを上から流し、コラーゲン繊維の配向を行った。培養皿を傾けたままの状態、インキュベータ内に 5 分間入れ、ゲル化後、培地を入れ、インキュベータ内で培養した。

構築した 3 次元脳回路の機能の評価を、Oregon Green 488 BAPTA-1 を用いた Ca^{2+} イメージングおよび活動電位を非侵襲、リアルタイム、多点で計測できる平面微小多電極アレイ計測法を用いて行った。

(2) 神経伝達物質のリアルタイム計測技術
多点同時計測と長期計測が可能である微小平面多電極アレイ基板を用いた。 $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ のガラス基板上に、indium-tin oxide (ITO) を材料とした $50 \mu\text{m}$ の電極が $150 \mu\text{m}$ 間隔で 64 個、 $200 \mu\text{m}$ の電極が 4 個配置された構造となっている。ITO 電極表面に修飾するカーボンナノチューブは、竹型構造を有した多層カーボンナノチューブ (MWCNT type-HB) を用いた。MWCNT の分散液を多電極アレイチップ上に滴下し、電気化学アナライザーを使用して電気めっきを行った。電気めっきにより作製した CNT 微小多電極アレイの構造評価を電子顕微鏡にて行い、神経伝達物質 (ドーパミン) に対する電気化学特性をサイクリックボルタメトリー法およびクロノアンペロメトリー法にて調べた。神経細胞からの神経伝達物質のリアルタイム検出を行うために、4 週齢マウスから脳スライスを作製した。ドーパミン放出部位である線条体部位を CNT 微小多電極アレイにマウントし、クロノアンペロメトリー法にて計測した。

4. 研究成果

PDMS マイクロチャンバに生体脳組織と同等の細胞密度となるように Rat 海馬細胞を 3 次元播種し、コラーゲン繊維に沿って神経突起を伸長させることを試みた。その結果、生体組織と同等の細胞密度 ($43,000 \pm 8,000 \text{ cells/mm}^3$ ($n=4$)) で細胞体位置を制御し、神経突起の伸長方向を 3 次元ゲル内のコラーゲン繊維の方向に制御した多層の 3 次元脳回路を構築することに成功した (図 1 A)。また、HE 染色により約 $50 \mu\text{m}$ の厚みに 3 層の細胞体層を形成していることが確かめられた (図 1 B)。次に、活動電位を多点および非侵襲かつリアルタイムに取得できる多電極アレイ上に 3 次元層構造を構築し、作製した層間の活動電位の伝播時間を計測した。その結果、A 層から B 層への伝播速度は 0.23 m/s 、B 層から A 層への伝播速度は 0.18 m/s であった。

化学シナプスによって活動が層間を伝播していること、および大脳皮質脳スライスで観察されている伝播速度と同等の伝播速度を有していることを確認した。また、機能的なシナプス伝達を確認するために、シナプスのアンタゴニストを投与し、2層間の同期発火率と伝播時間の変化を評価した。その結果、GABA-A receptor のアンタゴニストである Bicuculline 投与によって、同期発火率 100% となり伝播時間が短くなった。AMPA/Kainate receptor のアンタゴニストである CNQX 投与においては、同期発火率 0% となり層間の伝播は遮断された。このことから、機能的なシナプス伝播をしていることが確かめられた。開発した技術は、生体神経組織の構造を模倣する 3 次元培養技術であり、創薬スクリーニングにおける評価モデルなどへの応用が期待できる。

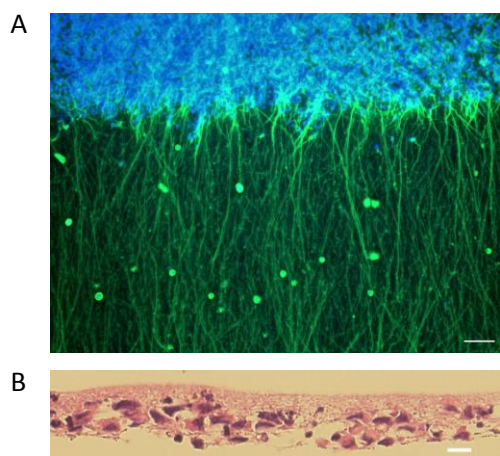


図 1 細胞体位置と神経突起の伸長方向を制御した 3 次元脳回路モデル
A: 免疫染色画像 (青: Hoechst33258, 緑: MAP2)。B: Z 軸断面の HE 染色画像。

ITO 微小平面多電極アレイ基板に MWCNT を電気めっきした結果、 $50\mu\text{m} \times$ および $200\mu\text{m} \times$ ITO 表面に CNT の構造を保ってめっきされている様子が電子顕微鏡観察により確かめられた (図 2)。サイクリックボルタメトリー計測により、ドーパミンの酸化ピーク電流が顕著に見られ、クロノアンペロメトリー計測の結果、nM レベルから濃度相関が検出できることがわかった。また、マウス線条体脳スライスをマウントすることにより、自発活動により放出されるドーパミンをリアルタイムに検出することに成功した (図 3)。計測したドーパミンシグナルとノイズ比 (S/N 比) は約 62 倍であり、高い感度で検出できることが明らかとなった。更に、作製した CNT 微小多電極アレイ上に海馬初代培養細胞を培養した結果、S/N 比 100 倍以上で活動電位が検出され、海馬脳スライスをマウントした結果、集合シナプス後電位が検出された。これらの結果より、開発した CNT 微小多電極アレイ基板は神経伝達物質の放出、活動電位、シナプス後電位の 3 つの

主要な神経機能を非侵襲かつリアルタイムに計測できることが明らかとなった。開発した CNT 微小多電極アレイチップは in vitro の神経機能計測や薬剤スクリーニング技術としての応用が期待できる。

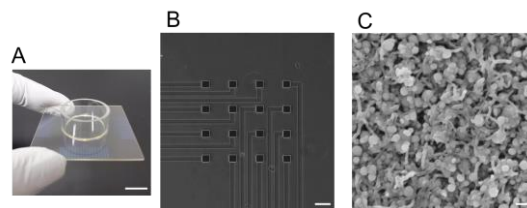


図 2 CNT 微小多電極アレイチップ
A: 電極チップの全体像。Scale bar, 1cm。B: 多電極アレイの位相差像。Scale bar, $100\mu\text{m}$ 。C: 電極表面の電子顕微鏡画像。Scale bar, 200nm 。

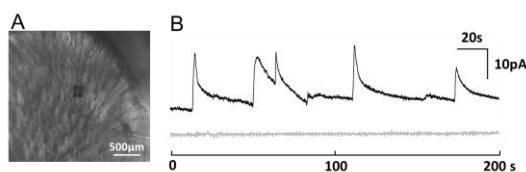


図 3 線条体脳スライスからのドーパミンリアルタイム検出

A: CNT 微小電極上にマウントしたマウス線条体脳スライス。B: 自発活動時に放出されたドーパミンのリアルタイム計測。

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 9 件)

- (1) Odawara, A., Saitoh, Y., Alhebshi, AH, Gotoh, M., Suzuki, I* “Long-term electrophysiological activity and pharmacological response in human induced pluripotent stem cell derived neuron and astrocyte co-culture” *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 443(4) (2014), pp1176-1181. doi: 10.1016/j.bbrc.2013.12.142. 査読有
- (2) Alhebshi, AH, Gotoh, M. and Suzuki, I*. “Thymoquinone protects cultured hippocampal and human induced pluripotent stem cells-derived neurons against α -synuclein-induced synapse damage,” *Neuroscience letters* 570 (2014) pp 126-131. doi: 10.1016/j.neulet.2013.09.049. 査読有
- (3) Odawara, A., Gotoh M., and Suzuki, I*, “A three-dimensional neuronal culture technique that controls the direction of neurite elongation and the position of soma to mimic the layered structure of the brain” *RSC Advances* 3(45) (2013) pp. 23620-23630. doi: 10.1039/C3RA44757J 査読有
- (4) I. Suzuki*, M. Fukuda, S. Amano, M. Gotoh, “High Sensitive Electrochemical Measurements of Neurotransmitters Using

- Multi-wall Carbon Nano-tube Electrode s,” *IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems* 133 (11) (2013), pp.2068-2074. <http://dx.doi.org/10.1541/ieej.iss.133.2068> 査読有
- (5) I. Suzuki*, M. Fukuda, S. Amano, M. Gotoh, “Development of the neuronal network embedding techniques by three-dimensional processing of the biomaterials using an excimer laser,” *Journal of life support engineering* 25 (2) (2013), pp.82-89. 査読有
- (6) Suzuki, I.*, Fukuda, M., Shirakawa, K., Jiko, H., Gotoh, M., “Carbon nanotube multi-electrode array chips for noninvasive real-time measurement of dopamine, action potentials, and postsynaptic potentials,” *Biosensors and Bioelectronics* 49 (2013), pp.270-275. doi: 10.1016/j.bios.2013.05.023. 査読有
- (7) Odawara, A. Gotoh, M. and Suzuki, I.*, “Control of neural network patterning using collagen gel photothermal etching,” *Lab on a chip* 13 (2013), pp.2040-2046. doi: 10.1039/c3lc00036b. 査読有
- (8) Alhebshi, AH, Gotoh, M, and Suzuki, I.*. “Thymoquinone protects cultured rat primary neurons against amyloid β -induced neurotoxicity,” *Biochemical and Biophysical Research Communications* 433 (2013), pp.362-367. doi: 10.1016/j.bbrc.2012.11.139. 査読有
- (9) Suzuki, I.*, Nakamura, K. Odawara, A. Alhebshi, A. Gotoh, M., “A simplified micropatterning method for straight-line neurite extension of cultured hippocampal neurons,” *Analytical Sciences* 29 (2013), pp.263-266. <http://dx.doi.org/10.2116/anal.sci.29.263> 査読有
- [学会発表] (計 47 件)
- (1) I. Suzuki*, M. Gotoh, “Carbon Nanotube Multi-electrode Array for Noninvasive Real-Time Measurement of Dopamine Action Potentials and Postsynaptic Potentials” Society for Biomaterials 2014 Annual Meeting and Exposition, Denver, CO, USA, 2014-4-16
- (2) A. Odawara, M. Gotoh, I. Suzuki*. “A Three-dimensional Neuronal Culture Technique That Controls the Direction of Neurite Elongation and the Position of Soma to Mimic the Layered Structure of the Brain. ” Society for Biomaterials 2014 Annual Meeting and Exposition, Denver, CO, USA, 2014-4-16
- (3) 鈴木郁郎 “脳組織モデルの再構成とヒト iPSC 由来ニューロンの in vitro 機能計測技術の開発” 生物物理学学会北海道支部講演会, 北海道, 2014-3-13
- (4) 鈴木郁郎 “ヒト iPS 細胞由来ニューロンの機能センシング技術の開発” 第 23 回ライフサポート学会 フロンティア講演会, 東京, 2014-2-28
- (5) A. Alhebshi, I. Suzuki* “Thymoquinone Protects Cultured Hippocampal and Human Induced Pluripotent Stem Cells-derived Neurons Against α -Synuclein-induced Synapse Damage. ” 6th International Conference on drug discovery and the rapy, Dubai, UAE, 2014-2-10
- (6) A. Odawara, A. Alhebshi, M. Trujillo, M. Gotoh, I. Suzuki*. Long-term electrophysiological activity and pharmacological response of a human induced pluripotent stem cell-derived neuron and astrocyte co-culture. Biophysical Society 58th Annual Meeting, San Francisco, California, USA 2014-2-7
- (7) 小林楓, 小田原あおい, 後藤正男, 鈴木郁郎 “ヒト iPS 細胞由来ニューロンを用いた人工脳スライスの作製と fPSP 計測技術の開発” 日本生体医工学会 関東支部 若手研究者発表会 2013, 東京, 2013-11-23
- (8) 小田原あおい, 斎藤佳伴, 後藤正男, 鈴木郁郎 “培養条件に依存したヒト iPS 細胞由来ニューロンの長期培養特性と薬理応答” 日本生体医工学会 関東支部 若手研究者発表会 2013, 東京, 2013-11-23
- (9) 天野翔太, 後藤正男, 鈴木郁郎 “脱細胞化ブタ脳組織を用いたヒト iPS 細胞由来ニューロンの成熟化技術の開発” 日本生体医工学会 関東支部 若手研究者発表会 2013, 東京, 2013-11-23
- (10) アルヒブシアマーニ, 後藤正男, 鈴木郁郎 “Thymoquinone protects cultured hippocampal and human induced pluripotent stem cells-derived neurons against α -synuclein-induced synapse damage” 日本生体医工学会 関東支部 若手研究者発表会 2013, 東京, 2013-11-23
- (11) バワズィール サーリム, 後藤正男, 鈴木郁郎 “マイクロ流路型セルソーターを用いた神経細胞のダメージレス分離技術の開発” 日本生体医工学会 関東支部 若手研究者発表会 2013, 東京, 2013-11-23
- (12) 望月あさな, 三浦恵理子, 後藤正男, 鈴木郁郎 “細胞内包型マイクロカプセルソーティング技術を目指したマイクロカプセル作製技術と神経細胞培養の検討” 日本生体医工学会 関東支部 若手研究者発表会 2013, 東京, 2013-11-23
- (13) K. Yokoyama, I. Suzuki, D. Ito, K. Gohara, “Analysis of electrical activity in a single neuron” 43rd annual meeting of so

- ciety for neuroscience, San Diego, California, USA, 2013-11-9
- (14) 鈴木郁郎 シンポジウム: 工学技術を駆使した新しい細胞プロセッシング「ヒトiPS細胞由来ニューロンへの応用を目指した脳回路3次元再構成技術と細胞センシング技術の開発」第31回日本ヒト細胞学会, 東京, 2013-8-10
- (15) 小田原あおい, 後藤正男, 鈴木郁郎 “ヒト神経組織モデルへの構築を目指した3次元培養技術の開発” 第31回日本ヒト細胞学会, 東京, 2013-8-10
- (16) I. Suzuki*, A. Odawara, M. Gotoh, "Non-Invasive and Real-Time Measurement Techniques of Dopamine; APs and fSP Using Carbon Nanotube Multi-Electrode Array Chip" 35th The IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Osaka, Japan, 2013-7-3
- (17) A. Odawara, M. Gotoh, I. Suzuki*. "Flexible Neuronal Network Patterning During Cultivation Using Collagen Gel Photo-Thermal Etching" 35th The IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Osaka, Japan, 2013-7-3
- (18) 鈴木郁郎, “活動電位、神経伝達物質、ポストシナプス電流を非侵襲リアルタイム計測可能なCNT多電極アレイチップの開発” 第13回次世代医工学研究会, 大阪, 2013-6-21
- (19) アルヒブシアマーニ, 鈴木郁郎 後藤正男, “アミロイドベータペプチドが及ぼす神経活動への影響とチモキノンによる保護効果の検討” 第133回日本薬学会, 横浜, 2013-3-27
- (20) 鈴木郁郎, バワズィールサーリム, 川瀬芳恵, 山下南海子, 藤村祐 “On-chip Sortを用いた神経細胞のダメージレス分離技術の開発” 第12回日本再生医療学会総会, 横浜, 2013-3-21
- (21) 布志木雄士, 鈴木郁郎, 後藤正男 “近赤外レーザー照射による脳神経ネットワークの刺激技術の開発”, 第22回ライフサポート学会フロンティア講演会, 東京, 2013-3-2
- (22) 小田原あおい, 鈴木郁郎, 後藤正男, “生体組織を模倣する神経回路の3次元再構成技術の開発” 日本生体医工学会 関東支部大会 若手研究会 2012, 東京, 2012-11-17
- (23) 福田真生, 鈴木郁郎, 後藤正男, “電気めっきによるCNT微小多電極アレイ基板の開発と神経伝達物質計測” 日本生体医工学会 関東支部大会 若手研究会 2012, 東京, 2012-11-17
- (24) アルヒブシアマーニ, 鈴木郁郎, 後藤正男, “Thymoquinone protects cultured rat primary neurons against Amyloid β induced neurotoxicity” 日本生体医工学会 関東支部大会 若手研究会 2012, 東京, 2012-11-17
- (25) 鈴木郁郎, 福田真生, 後藤正男, “微小ナノカーボン電極を用いた細胞分泌物のリアルタイム計測技術の開発” Life2012(第28回ライフサポート学会大会、第12回日本生活支援工学会大会、日本機械学会福祉工学シンポジウム2012の連合大会), 名古屋, 2012-11-2
- (26) 布志木雄士, 鈴木郁郎, 後藤正男, “近赤外レーザー照射による脳神経ネットワークの刺激技術の開発” Life2012(第28回ライフサポート学会大会、第12回日本生活支援工学会大会、日本機械学会福祉工学シンポジウム2012の連合大会), 名古屋, 2012-11-2
- (27) A. Odawara, I. Suzuki*, M. Gotoh. "Three-dimensional neuron culture method controlling the direction of neurite elongation and the position of soma". Micro total analysis system 2012(16th Int. conf. on miniaturised systems in chemistry and life sciences) Okinawa, Japan, 2012-10-28
- (28) 天野翔太, 鈴木郁郎, 後藤正男, “脱細胞神経組織を足場とした3次元培養技術の開発” 第64回日本生物工学会, 神戸, 2012-10-23
- (29) 福田真生, 鈴木郁郎, 後藤正男, “ナノカーボンを用いた神経伝達物質の高感度記録法の開発” 第64回日本生物工学会, 神戸, 2012-10-23
- (30) 小田原あおい, 鈴木郁郎, 後藤正男, “細胞体位置と神経突起の伸長方向を制御した3D脳回路再構成技術の開発” 第64回日本生物工学会, 神戸, 2012-10-23
- (31) 鈴木郁郎, “神経伝達物質の実時間計測を可能にするカーボンナノチューブ微小多電極アレイの開発” BioJapan 2012, 横浜, 2012-10-10
- (32) アルヒブシアマーニ, 鈴木郁郎, 後藤正男, “Neuroprotective effects of thymoquinone against amyloid β toxicity on cultured rat primary neurons” 第64回日本生物工学会, 神戸, 2012-10-23
- (33) アルヒブシアマーニ, 鈴木郁郎, 後藤正男, “Protective effects of thymoquinone against amyloid β induced neurotoxicity in cultured rat primary neurons” 第50回日本生物物理学会, 名古屋, 2012-9-22
- (34) 小田原あおい, 鈴木郁郎, 後藤正男, “Development of Three-dimensional reconstruction brain circuit controlling the direction of neurite elongation and cell body position” 第50回日本生物物理学会, 名古屋, 2012-9-22
- (35) 天野翔太, 鈴木郁郎, 後藤正男, “3次元ネットワーク再構築のための神経組織の脱細胞化条件” 第50回日本生物物理学会, 名古屋, 2012-9-22

- (36) 福田真生, 鈴木郁郎, 後藤正男, “カーボンナノチューブ電極を用いた神経伝達物質の高感度記録法の開発” 第 50 回日本生物物理学会, 名古屋, 2012-9-22
- (37) アルヒブシアマーニ, 鈴木郁郎, 後藤正男, “Protective effects of thymoquinone against amyloid β induced neurotoxicity in cultured rat primary neurons” 第 35 回日本神経科学会, 名古屋, 2012-9-18
- (38) 鈴木郁郎, 福田真生, 天野翔太, 後藤正男, “ナノカーボン電極を用いた神経伝達物質計測” 平成 24 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, 弘前, 2012-9-6
- (39) I. Suzuki, M. Fukuda, M. Gotoh, “Development of carbon nanotube microelectrode array for real-time extra cellular recording of neurotransmitter” 8th FENS (Federation of European Neurosciences), Barcelona, Spain, 2012-7-14
- (40) A. Alhebshi, I. Suzuki, M. Gotoh, “Protective effects of thymoquinone against amyloid β induced neurotoxicity in cultured rat primary neurons” 8th FENS (Federation of European Neurosciences), Barcelona, Spain, 2012-7-14
- (41) I. Suzuki*, M. Fukuda, A. Odawara, A. Alhebshi, M. Gotoh, " A novel multi-electrode array chip for neurotransmitter measurement" 8th Int. Meeting on Substrate-Integrated MicroElectrodes, Reutlingen, Germany, 2012-7-10
- (42) 小田原あおい, 鈴木郁郎, 後藤正男, “3次元ゲル内に細胞の空間配置を自在に制御した神経回路の再構成技術の開発” 第 11 回日本再生医療学会総会, 横浜, 2012-6-12
- (43) 鈴木郁郎, 山下南海子, 西尾香織, 藤村祐, “使い捨てチップ型セルソーター (On-chip Sort)を用いた神経細胞の表現系を揃えた培養系の開発” 第 11 回日本再生医療学会総会, 横浜, 2012-6-12
- (44) アルヒブシアマーニ, 鈴木郁郎, 後藤正男, “Neuroprotective effects of thymoquinone against amyloid β induced toxicity in rat primary neurons” 第 51 回日本生体医工学会大会, 福岡, 2012-5-10
- (45) 小田原あおい, 鈴木郁郎, 後藤正男, “3次元ゲル内に細胞の空間配置を制御した脳回路再構成技術の開発” 第 51 回日本生体医工学会大会, 福岡, 2012-5-10
- (46) 福田真生, 鈴木郁郎, 後藤正男, “ナノカーボン微小電極を用いた神経伝達物質のリアルタイム細胞外記録法の開発” 第 51 回日本生体医工学会大会, 福岡, 2012-5-10
- (47) 鈴木郁郎, 小田原あおい, 福田真生, 天野翔太, 後藤正男, “脳神経回路の3次

元再構成技術とナノカーボン電極を用いた神経伝達物質計測” 第 51 回日本生体医工学会大会, 福岡, 2012-5-10

〔図書〕 (計 1 件)

- (1) 鈴木郁郎, 電気学会出版会, 電気工学ハンドブック (第 7 版) 2 編 基礎物理 11 章 生体電磁気現象, 2013, pp. 37-39

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 郁郎 (SUZUKI, Ikuro)
東京工科大学・応用生物学部・助教
研究者番号: 90516311