

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月13日現在

機関番号：31304

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20310075

研究課題名（和文） フェムト秒レーザー衝撃を用いたハイスループット液中極微量試薬添加技術の基礎検討

研究課題名（英文） Basic research of high-throughput-technology which adds a small amount of liquid reagents using impact force generated with femtosecond laser

研究代表者

岡野 和宣（OKANO KAZUNORI）

東北福祉大学・感性福祉研究所・研究員

研究者番号：00443250

研究成果の概要（和文）：高出力集光フェムト秒レーザーを用いた生細胞の制御に係る要素技術に関して、1）同レーザーの液中集光で発生する応力波を用いた液中微量試薬添加による細胞刺激と、2）接着細胞の個別剥離と基板へのアレイ化を実現した。また、3）細胞非接着性ポリマーをコートした基板に同レーザーを培養液中で集光すると表面が細胞接着性に転換する液中レーザーリソグラフィを見出し、異種細胞の配置や培養中でのパターン変更に成功した。

研究成果の概要（英文）： We developed fundamental technologies by using a femtosecond laser (fs laser) on living-cell stimulation and manipulation. 1) Drugs were delivered to limited area in culture medium by applying an fs laser-induced impact for bombing targeted cells with the drags. 2) The impact could release a targeted cell from a culture plate and delivered to a desired position. 3) Surface characteristic of the culture platform was changed from cytophobic to cytophilic when the fs laser was focused to the platform coated with cytophobic polymer. In conclusion, this fs-laser process in aqueous solution achieved the limited cell stimulation and the multiple cell arrangement.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2009年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2010年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学；マイクロ・ナノデバイス

キーワード：マイクロバイオシステム；フェムト秒レーザー；極微量液中試薬添加；レーザー誘起応力波；細胞刺激；細胞アレイ；液中レーザーリソグラフィ

## 1. 研究開始当初の背景

細胞生理学、細胞工学から創薬、再生医療に至るまで、細胞利用技術とマイクロ・ナノ技術やホトニクス技術等からなる融合分野の研究が進みつつあった。また、ES細胞やiPS細胞の利用において、本融合分野の重要性が増している。研究開始当初、基板上に細

胞を配置する研究 [Langmuir 2009, 25, 7533-39; J. Am. Chem. Soc. 2004, 126, 16314-15; Langmuir 2009, 25, 7533-37; Biomaterials 2009, 30, 2095-101] や、培養細胞に薬剤を添加してその刺激応答を解析する手段開発が盛んになされていた。しかし、異種細胞の空間的な配置に依存する空間

的相互作用制御や細胞分化を考慮した時間的制御は不十分であった。特定の細胞を培養中に選別配列する基礎的な技術が未熟な状態であったし、生理活性因子や薬剤を培養液中のマイクロ空間でハンドリングして特定細胞のみを刺激することはほとんど不可能であった。

## 2. 研究の目的

本テーマでは時間的空間的な細胞制御を可能とする技術を、マイクロ・ナノバイオの観点から開発することを目的としている。具体的には、1) 生理活性物質を培養中の特定領域に添加する技術を開発し、培養細胞の局所刺激を可能とする、2) 培養中の目的となる細胞を単離し、基板のプラットフォーム上の任意の位置に配列する技術を開発する。

## 3. 研究の方法

従来から培養細胞への試薬添加や細胞選別は行われていたが、時間的空間的な制御を可能とするには新たな方法が必要であった。本テーマでは、高出力再生増幅フェムト秒レーザー (fs レーザー) で得られる2種の現象を応用した。第1は、fs レーザーの液中集光で起きる現象で、集光点で水が多光子吸収を起こして発生する局所的な爆発に起因する応力である [Appl. Phys. A 2004, 79, 795-798]。この応力は 100  $\mu\text{m}$  程度しか及ばないが  $\mu\text{N}$  の力を発生するので、ポリマーに苞埋した試薬を溶液中に放出して細胞を刺激したり、任意状態になった細胞を培養基板から剥離搬送して細胞アレイを作製したりできると考えた。第2は、fs レーザーを基板に集光すると起きる現象で、液中でのレーザーリソグラフィに関する。一般にポリマーにレーザーを集光するとアブレーションや光化学的な変性が起きる。この現象は液中でも起きると仮定して、基板表面の細胞培養中の改質による細胞パターンニングを試みた。

## 4. 研究成果

fs レーザーで得られる上記2種の現象を用いることで、液中での試薬添加、細胞の剥離回収配置、細胞パターンニングを実現した。

### 4. 1. 液中試薬添加

図1に概念を示す。添加する試薬はあらかじめ固体キャリアに不溶化して用いる。キャリアは培地を挟んで細胞培養基板と対向する位置におかれている。fs レーザーで応力を発生させて不溶化キャリアを液中で飛散させると、苞埋されている試薬で細胞が曝露される。モデル試薬として蛍光粒子 (粒径 2  $\mu\text{m}$ ) をキトサンに懸濁してガラス表面に吸着させ、その上をデキストラン硫酸でコートした蛍光粒子苞埋キャリア層を作製した。800 nm チタンサファイアポンプレーザー (120 fs パ

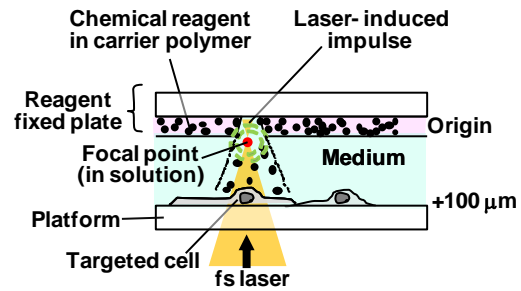


図1 fs レーザー誘起応力によるポリマー苞埋試薬放出と細胞刺激の概念

ルス, 0.5  $\mu\text{J}$ /パルス) の単発照射で飛散する蛍光粒子の状況を共焦点顕微鏡で観察した結果、レーザー照射後は蛍光粒子苞埋キャリア層に穴があき、液中に蛍光粒子が飛散する様子が確認できた (図2)。飛散範囲は表面から 100  $\mu\text{m}$  位置で、直径 190  $\mu\text{m}$  であった。

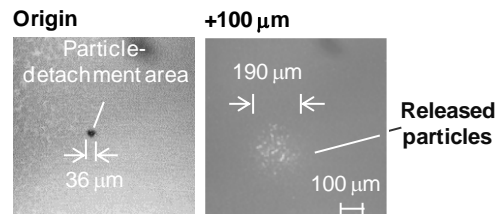


図2 キャリア層からの蛍光粒子放出を捉えた像: ポリマー層から液中 20  $\mu\text{m}$  にレーザーを単発照射した時の蛍光粒子苞埋層 (左) と液中 100  $\mu\text{m}$  の位置 (右) での共焦点蛍光像。

ガラス表面からの距離を変えて蛍光粒子が剥離した領域を測定したところ、ガラス表面に集光するよりも液中に 20  $\mu\text{m}$  離れた位置に集光した時に最も広い範囲の蛍光粒子を飛散できた (図3)。この時集光点では爆発に伴うキャビテーションバブルが観測された。また、ガラス内部に集光すると、急激に剥離径が減衰していた。これは、ガラス内ではキャビテーションバブルが発生しないため、効果的な応力に結びつかないからである。ガラス表面に集光した時もおおよそ半分のエネルギーがガラス内部で消費されるので液中に集光したほうが効率よく蛍光粒子を飛散

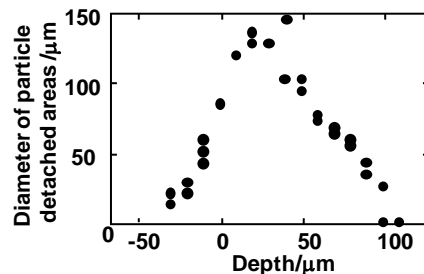


図3 fs レーザー焦点位置と蛍光粒子苞埋ポリマー層からの粒子放出領域の関係: 図2左図における蛍光粒子放出領域の径を fs レーザー焦点位置毎に数値化。横軸で正の値は液中、負ではガラス内部に焦点があることを示す。

できたと考えられる。一連の結果は局所的な試薬添加が可能であることを示している。

そこで、アドレナリン、ハロペリドール、アセチルコリンを苞埋したポリマー塗布基板を用いて、細胞刺激を試みた。細胞にはマウス由来 P19CL6 細胞をジメチルスルホキシドで心筋様拍動細胞に誘導して細胞塊としたものを用いた。その結果、レーザー照射直後にアドレナリン固定基板(図4)では拍動周期が上昇し、アセチルコリン基板(図5)では拍動が停止することが観察された。ハロペリドールでは、明確な結果は得られなかった。以上のように、液中での非接触局所試薬添加の可能性を示すことができた。

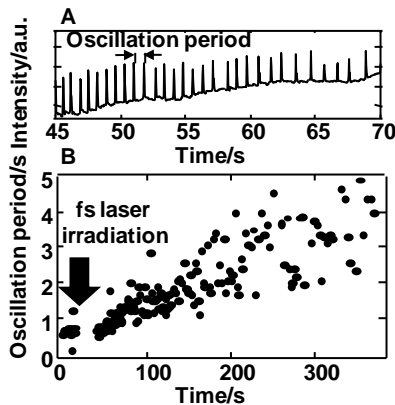


図4 心筋様拍動細胞にアドレナリン苞埋ポリマー基板を用いた例: 拍動強度の時間変化(A)と拍動間隔の時間変化。

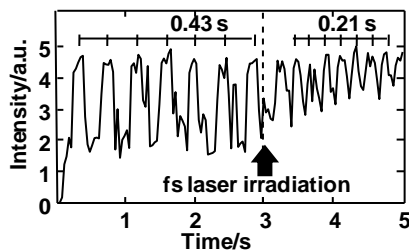


図5 心筋様拍動細胞にアセチルコリン苞埋ポリマー基板を適用した例

#### 4. 2. 細胞の剥離回収と配置

図1の方法を細胞の剥離と細胞搬送に利用した。苞埋試薬をリリースすることができるので、同様に基板に固定された細胞の剥離も可能で、さらに剥離後の細胞に対して応力波を作用させることで細胞の搬送が可能となる(図6)。培養したPC12近傍にfsレーザーを集光して細胞を剥離し、プラットフォーム上の所定の細胞接着域に搬送し、個々の細胞が確実に配置できることを確認した(図7)。この時、レーザー集光位置が細胞に対して10  $\mu\text{m}$ より近いと、細胞接着能が落ちるとともに細胞が肥大し、細胞死に至ることが分かった。レーザーパワーが1.5  $\mu\text{J}$ 以上だとさらに細胞に与えるダメージが大きく、レーザーパワ

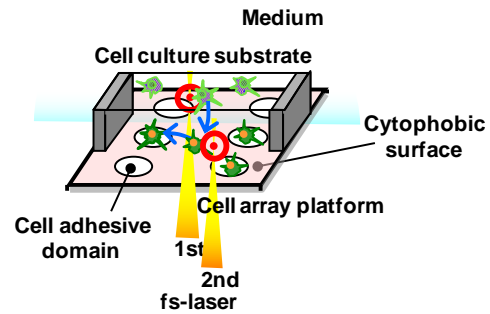


図6 fsレーザー誘起応力による細胞搬送

ー0.5-1  $\mu\text{J}$ で10  $\mu\text{m}$ より遠い位置に集光すべきであることが分かった。今までにPC12の他、アストロサイト、メラノサイト、ケラチノサイト、HeLaに適用し、レーザーパルス照射回数は最適化が必要であるものの、いずれも良好な結果を得ている。

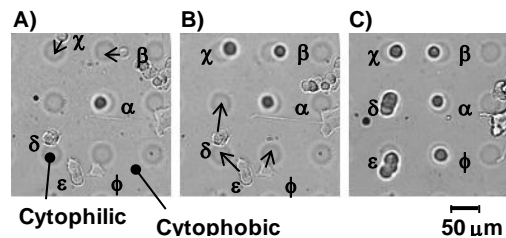


図7 fsレーザー衝撃による細胞搬送例: 焦点のあっている細胞は細胞培養基板(上の基板)に接着している細胞、焦点の外れている細胞は同レーザーで剥離し、プラットフォーム上に移動した細胞。矢印は細胞の搬送方向を表す。

#### 4. 3. レーザーリソグラフィーによる細胞パターンニング

細胞接着阻害ポリマーを塗布してあるガラス基板表面に、キャビテーションバブルが発生しないように注意深くレーザーを照射するとポリマーが変性して、細胞接着阻害表面が細胞接着性に変化することを新たに見出した。概念を図8に示す。細胞接着阻害ポ

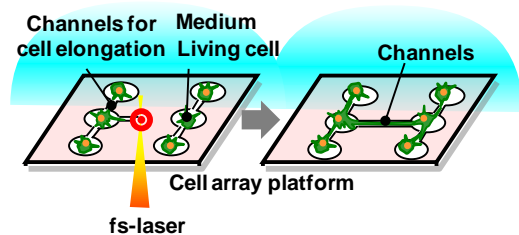


図8 fsレーザーによる液中リソグラフィー

リマーに関しては、研究開始当初に種々ポリマーを検討した結果、高分子パーフルオロアルキル系( $R_f$ ポリマー)とホスリルコリン系ポリマー(MPCポリマー)が適していることが分かったので、この2種を使用している。このうち $R_f$ ポリマーはシランカップリング残基を持っているので、ガラスと共有結合し

て単分子層を形成する。MPC ポリマーは物理吸着でガラス表面に結合するので、かなり厚みのある膜となっている。

fs レーザーを集光した  $R_f$  ポリマー修飾ガラス表面の原子間力顕微鏡 (AFM) 像を図 9 に示す。レーザー集光部分は  $R_f$  ポリマー特有のピラーが短くなっていることがわかる (A)。

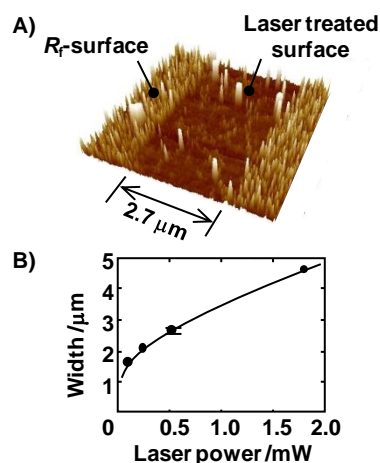


図 9 fs レーザー照射面の AFM 解析：基板は  $R_f$  単分子膜表面を持つガラス。0.5 mW, 2  $\mu\text{m/s}$  の速度で加工した AFM 像 (A) と加工線幅のパワー依存性 (B)。

その線幅は 0.5 mW (1 kHz, 0.5  $\mu\text{J}$ /パルス) で 2.6  $\mu\text{m}$  であった (B)。このピラーの低くなった部位を X 線光電子分光 (XPS) で解析したところ、 $R_f$  基のフッ素含有率が低下し、カーボンの比率が増えていた。ガラス表面に由来するシリコンの含有率はほとんど変化がなかった。このことは、 $R_f$  ポリマーのフッ素が飛んで炭素骨格が残っていることを示している。同様に MPC ポリマーに fs レーザーを集光するとポリマーがアブレーションを起こしてガラス表面が露出した (データ示さず)。これらの結果は、ポリマーの種類によって起きる現象が異なることを示している。

細胞 (PC12) を配置した  $R_f$  ポリマープラットフォームに fs レーザーを照射した状況を図 10 に示す。2 細胞間にレーザーを照射する間、細胞が動いたり剥離したりする事はなかった (A)。Neuronal growth factor 共存下で培養を続けると、PC12 の突起が伸びてお互いに結合した (B)。

以上の結果より fs レーザー集光によりプラットフォームを細胞接着阻害表面から細胞接着性に変換でき、細胞間相互作用をレーザーで制御できる可能性を示すことができた。

以上、細胞の時空間的な制御に関する新たな技術的発展の可能性を示すことができた。① fs レーザーの液中集光で発生する応力を用いて、基板上的ポリマーに苞埋した試薬を

局所放出できた。すなわち特定時刻に特定細胞を刺激する原理を確認した。

② 同応力波を用いて基板上の接着性細胞を 1 細胞毎に剥離し、培養プラットフォームの所定の位置に配置できることを示した。

③ 細胞接着阻害ポリマー表面を持つ細胞培養プラットフォームに fs レーザーを集光することで、表面特性を細胞接着性に変換できた。すなわち細胞の自在なパターンニングを時間的・空間的に制御可能であることを示した。

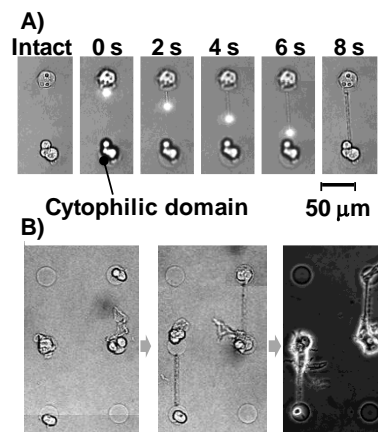


図 10 液中リグラフィによる細胞間相互作用確保用チャンネルの作製：チャンネル作製の様子 (A)、チャンネル作製前 (B 左) と作成後 (B 中)、培養 4 日後 (B 右)。細胞は PC12。

## 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 10 件)

- ① H. Yamamoto, K. Okano, T. Demura, Y. Hosokawa, H. Masuhata, 他 2, In-situ guidance of individual neuronal processes by wet femtosecond-laser processing of self-assembled monolayers, Appl. Phys. Lett. 査読有, 2011, 99, 163701
- ② 岡野 和宣, 松井 愛, 前澤 安代, 細川陽一郎, 杉山 輝樹, 増原 宏, 高強度フェムト秒レーザーパルスを用いた細胞操作—概要溶液中での基板表面改質による細胞接着領域の作製—, 感性福祉研究所年報 査読有, 2011, 12, 179-178
- ③ K. Okano, D. Yu, A. Matsui, Y. Maezawa, Y. Hosokawa, A. Kira, M. Matsubara, I. Liau, H. Tsubokawa, H. Masuhara, Induction of cell-cell connections by using in situ laser lithography on a perfluoroalkyl-coated cultivation platform, ChemBioChem 査読有, 2011, 12, 795-801
- ④ 岡野和宣, 前澤安代, 松原美恵, 細川陽一



郎, 増原宏, オンチップ細胞選別と一細胞培養技術の開発, 東北福祉大学感性福祉研究所年報 査読有, 2010, 11, 157-163

- ⑤ 岡野 和宣, 于 大衛, 廖 奕翰, 前澤 安代, 松井 愛, 細川 陽一郎, 松原 美絵, 吉良 敦史, 増原 宏, フェムト秒レーザーを用いた細胞アレイ様基板上での個別細胞配置と細胞間接続, 第10回(社)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論文集 査読有, 2009, 1643-1646
- ⑥ K. Okano, Y. Maezawa, Y. Hosokawa, A. Kira, M. Mastubara, H. Masuhara, In-situ arrangement of living cells on a fabricated surface by femtosecond laser. Abst.  $\mu$ TAS 2009, 査読有, pp1249-1251
- ⑦ 岡野 和宣, 前澤 安代, 細川 陽一郎, 松原 美絵, 増原 宏, 吉良 敦史, フェムト秒レーザーを用いた培養液中細胞間ジャンクションの形成, The papers of Technical Meeting on Bio Micro Systems, IEE Japan 査読有, 2009, BMS-09-17
- ⑧ 吉良 敦史, 不破 耕, 岡野 和宣, 細川 陽一郎, 内藤 晶, 増原 宏, 自己組織化単分子膜のパターニングで作製した基板をもちいた三次元細胞培養の検討, The papers of Technical Meeting on Bio Micro Systems, IEE Japan 査読有, 2009, BMS-09-18
- ⑨ A. Kira, K. Okano, Y. Hosokawa, A. Naito, K. Fuwa, J. Yuyama, H. Masuhara, Micropatterning of perfluoroalkyl self-assembled monolayers for arraying proteins and cells on chips, Appl. Surf. Sci. 査読有, 2009, 255, 7647-7651
- ⑩ A. Kira, K. Okano, Y. Hosokawa, K. Fuwa, J. Yuyama, A. Naito, H. Masuhara, Array arrangement of living cells on self-assembled-monolayer pattern chip with femtosecond laser inducing mechanical force "micro tsunami", Proceedings of the 2008 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science 査読有, 2008, 387-391

[学会発表] (計17件)

- ① K. Okano, A. Matsui, Y. Maezawa, Y. Hosokawa, H. Yamamoto, H. Masuhara, H. Tsubokawa, In-situ dynamic surface control of culture substrate using a laser-directed microfabrication, Neuroscience 2011, Nov. 12-16 2011, Washington, DC (USA).
- ② K. Okano, A. Matsui, Y. Maezawa, M. Matsubara, Y. Hosokawa, H. Masuhara, H. Tsubokawa, Fabrication of cell-migration channels to organize neuronal cell-networks on a cell-array platform,

第33回日本分子生物学会年会, 第83回日本生化学会大会合同大会, 2010. 12. 7-10, 神戸ポートアイランド(神戸)

- ③ 前澤 安代, 松井 愛, 松原 美絵, 岡野 和宣, 細川 陽一郎, 増原 宏, フェムト秒レーザーを用いた液中プロセスによる細胞接着領域の作製と異種細胞の配置 3, 第33回日本分子生物学会年会, 第83回日本生化学会大会合同大会, 2010. 12. 7-10, 神戸ポートアイランド(神戸)
- ④ 松井 愛, 前澤 安代, 松原 美絵, 細川 陽一郎, 岡野 和宣, 増原 宏, フェムト秒レーザーを用いた液中プロセスによる細胞接着領域の作製と異種細胞の配置 2, 第71回応用物理学会学術講演会, 2010. 9. 14-17, 長崎大学(長崎)
- ⑤ 松井 愛, 前澤 安代, 松原 美絵, 細川 陽一郎, 増原 宏, 岡野 和宣, フェムト秒レーザーを用いた液中プロセスによる細胞接着領域の作製と異種細胞の配置, 第57回応用物理学関連学術講演会, 2010. 3. 17-20, 東海大学(神奈川)
- ⑥ 岡野 和宣, 于 大衛, 廖 奕翰, 前澤 安代, 松井 愛, 細川 陽一郎, 松原 美絵, 吉良 敦史, 増原 宏, フェムト秒レーザーを用いた細胞アレイ用基板上での個別細胞配置と細胞間接続, 第10回(社)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, 2009. 12. 24-26, 芝浦工業大学(東京)
- ⑦ K. Okano, D. Yu, Y. Maezawa, Y. Hosokawa, A. Matsui, M. Matsubara, A. Kira, H. Masuhara, Cell arrangement and promotion of cell junctions on a cell array platform using a femtosecond laser, 第32回日本分子生物学会年会, 2009. 12. 9-12, パシフィコ横浜(横浜)
- ⑧ K. Okano, Y. Maezawa, Y. Hosokawa, A. Kira, M. Matsubara, H. Masuhara, In-situ arrangement of living cells on a fabricated surface by laser micro tsunami,  $\mu$ TAS 2009, Nov. 1-5, 2009, Jeju (Korea)
- ⑨ 吉良 敦史, 岡野 和宣, 細川 陽一郎, 内藤 晶, 増原 宏, 自己組織化単分子修飾とそのパターニングによるチップ上での細胞配置および培養制御, 第82回日本生化学会大会, 2009. 10. 21-24, 神戸国際会議場(兵庫)
- ⑩ 岡野 和宣, 前澤 安代, 細川 陽一郎, 吉良 敦史, 松原 美絵, 不破 耕, 増原 宏, フェムト秒レーザーによる液中における細胞基板の表面改質と細胞間接合形成, 第70回応用物理学会学術講演会, 2009. 9. 8-11, 富山大学(富山)
- ⑪ 前澤 安代, 細川 陽一郎, 岡野 和宣, 松原 美絵, 増原 宏, フェムト秒レーザー誘起応力による細胞剥離過程: 細胞マト

リックスの可視化による解明, 第 70 回応用物理学学会学術講演会, 2009. 9. 8-11, 富山大学 (富山)

- ⑫ 岡野 和宣, 前澤 安代, 細川 陽一郎, 松原 美絵, 増原 宏, 吉良 敦史, フェムト秒レーザーを用いた培養液中細胞間ジャンクションの形成, 009 年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会, 2009. 7. 23-24, 東京工科大学 (八王子)
- ⑬ 前澤 安代, 細川 陽一郎, 岡野 和宣, 松原 美絵, 増原 宏, フェムト秒レーザー誘起応力波により選別された細胞形態の評価, 第 56 回応用物理学関連連合講演会, 2009. 3. 30-4. 2, 筑波大学 (茨城)
- ⑭ 岡野 和宣, 細川 陽一郎, 吉良 敦史, 不破 耕, 湯山 純平, 内藤 晶, 増原 宏, オールウェットレーザーナノプロセスによる細胞及び生体材料の集積化 (5) パーフルオロアルキル基板上でのフェムト秒レーザー単細胞プロセス, 第 31 回日本生物学会年会第 81 回日本生化学会大会合同大会 (BMB 2008), 2008. 12. 9-12, 神戸ポートアイランド (神戸)
- ⑮ 吉良 敦史, 岡野 和宣, 細川 陽一郎, 内藤 晶, 不破 耕, 湯山 純平, 増原 宏, 化学表面修飾と微細加工による生体分子ならびに細胞の高精度集積化技術, 第 31 回日本生物学会年会第 81 回日本生化学会大会合同大会 (BMB 2008), 2008. 12. 9-12, 神戸ポートアイランド (神戸)
- ⑯ A. Kira, K. Okano, Y. Hosokawa, H. Masuhara, 他 3 名, On-chip integration of biomolecules and cells by chemical surface modification and micro fabrication technologies, 4th Vacuum Surface Sci. Conf. of Asia and Australia, Oct. 28-31, 2008 Matsue (Japan)
- ⑰ 岡野 和宣, 吉良 敦史, 細川 陽一郎, 不破 耕, 増原 宏, パーフルオロアルキル系単分子膜上でのフェムト秒レーザーによる細胞配置制御, 第 69 回応用物理学学会学術講演会, 2008. 9. 2-5, 中部大学 (愛知)

[その他] (計 7 件)

- ① K. Okano, Induction of Cell-Cell Connections by Using in situ Laser Lithography and Monitoring of Cell Activities on a Solid Platform, The 3rd Workshop on Laser Bio/Nano Sci., March 4, 2011, National Chiao-Tung Univ. (Hsinchu, Taiwan) (*Invited*)
- ② 坪川 宏, 岡野 和宣, 細胞間ネットワーク構築の時空間的制御が可能なプラットフォームの開発, 電気通信研究所共同プロジェクト研究会「ナノ・バイオの融合による新規バイオデバイスに関する研究」第 16 回情報バイオトロニクス研究会, 2011. 2.

3, 電気通信研究所 (仙台) (*Invited*)

- ③ K. Okano, Induction of the intercellular connections by using in-situ laser lithography and monitoring of cells responding to drags on a solid platform, The 2nd Workshop on Laser Bio/Nano Sci., Sept. 6, 2010, Nara Inst. Sci. Technol. (Ikoma, Japan) (*Invited*)
- ④ K. Okano, D. Yu, I. Liao, Cell arrangement and connection of individual cells on a cell array platform by femtosecond laser, The 1st NCTU-NAIST Workshop on "Molecular/Nano Sci." Nov. 11-13, 2009, National Chiao-Tung Univ. (Hsinchu, Taiwan) (*Invited*).
- ⑤ Y. Yasuyo, Y. Hosokawa, K. Okano, M. Matsubara, H. Masuhara, Fluorescence visualization of cell detachment process from a substrate by femtosecond laser "tsunami", The 1st NCTU-NAIST Workshop on "Molecular/Nano Sci.", Nov. 11-13, 2009, National Chiao-Tung Univ. (Hsinchu, Taiwan)
- ⑥ A. Matsui, Y. Maezawa, Y. Hosokawa, K. Okano, M. Matsui, H. Masuhara, Fabrication of cell-array platform by femtosecond laser process in culture medium, The 1st NCTU-NAIST Workshop on "Molecular/Nano Sci." Nov. 11-12, 2009, National Chiao-Tung Univ. (Hsinchu, Taiwan)
- ⑦ Y. Maezawa, Y. Hosokawa, K. Okano, M. Matsubara, H. Masuhara, Individual sorting of animal cells by femtosecond laser induced-stress wave, The 8th Gist/NIST joint symposium on advanced materials, Nov. 26-27, 2008, Nara Inst. Sci. Technol. (Ikoma, Japan)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岡野 和宣 (Okano Kazunori)

東北福祉大学感性福祉研究所・特任研究員  
研究者番号: 00443250

### (2) 研究分担者

増原 宏 (Masuhara Hiroshi)

奈良先端科学技術大学院大学・特任教授  
研究者番号: 60029551

### (3) 研究分担者

細川 陽一郎 (Hosokawa Yoichiroh)

奈良先端科学技術大学院大学・特任准教授  
研究者番号: 20448088

### (4) 研究分担者

宇和田 貴之 (Uwada Takayuki)

奈良先端科学技術大学院大学・研究員  
研究者番号: 30455448