

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25410148

研究課題名(和文)細胞リソグラフィーによる異種細胞配列体の形成と電気化学的機能評価

研究課題名(英文) Patterning with different cell types based on the dielectrophoresis and estimation of its activity by electrochemical method

研究代表者

安川 智之 (Tomoyuki, Yasukawa)

兵庫県立大学・物質理学研究科・准教授

研究者番号：40361167

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：細胞サイズの微小孔を有するマイクロ電極を作製し、誘電泳動を利用して個々の細胞を捕捉、輸送および排出することにより、目的位置に再配置した。この手法を複数細胞に繰り返して適用することにより、自由度の高い細胞配列が可能となった。また、マイクロ電極を多孔質薄膜上で走査させることにより、薄膜表面に電極の走査軌跡に沿った細胞パターンを作製することができた。細胞をアルファベットの形状に配列できることを示し、本手法の自由度の高さを明確にした。また、薄膜表面に異なる種類の細胞パターンを作製することができた。

研究成果の概要(英文)：Picking up, positioning and relocating of single target cells were achieved based on the dielectrophoretic manipulation using a microdisk electrode with microcavity. The patterning with living cells were performed by repeating the present capture and release procedure to individual cells. The pattern with cells can be also fabricated on the porous membrane by scanning the microelectrode based on the positive dielectrophoresis manipulation. Cells were patterned to form alphabet characters in order to demonstrate the flexible formation of cell patterns. Moreover, the patterns with the different types of cells can be formed in pattern on single membrane.

研究分野：生物電気化学

キーワード：誘電泳動 細胞配列 電気化学顕微鏡 細胞アッセイ 細胞センサ

1. 研究開始当初の背景

細胞パターンング技術は、細胞活性を指標としたバイオセンサーや再生医学に資する細胞培養工学に不可欠な技術となりつつある。これまでの細胞パターン培養は、フォトリソグラフィやソフトリソグラフィを用いて作製した細胞の接着領域と非接着領域パターン上への培養が主な手法であった。しかし、この手法は複数種類の細胞パターン作製が困難であり、また、パターンを得るために数日間の培養を必要とする。初期細胞パターンを形成後に局所領域の表面改質による新たな細胞パターンの形成が達成されたが、迅速性や自由度の面で大きな制限がある。

これまで、マイクロ・ナノ電気化学計測システムおよび誘電泳動を利用した微粒子や細胞の操作に関する研究を行ってきた。マイクロ電極をプローブとした電気化学顕微鏡 (SECM) を用いた単一細胞評価法をセンサーシステムの構築に応用した。¹⁾ 微細加工技術を用いてシリコン基板上に作製した微細孔に複数種の細胞を固定化し、SECM を用いて複数の細胞腫に対する薬剤感受性試験を同時に行った。しかし、細胞アレイチップを作製するために数十から数百ミクロンの微細孔に細胞を正確に固定化する煩雑な操作を必要とする。

また、誘電泳動を用いて微粒子や細胞の高速操作技術の開発を行い、迅速な細胞パターンの構築に貢献してきた。^{2, 3)} また、マイクロウェルアレイに細胞を誘導してアレイ化し、SECM による機能計測を行っている。⁴⁾ しかし、この手法では、1 枚の平板電極上にホールアレイを作製しているため複数種の細胞パターンが困難であった。

これまでに、正の誘電泳動によるアルミナ膜の微細孔 (100-200 nm) 内への金ナノ微粒子 (30 nm) の挿入を報告した。⁵⁾ ポーラスアルミナ膜を 2 枚のインジウムスズ酸化物 (ITO) 電極で挟み込み、誘電泳動により金ナノ微粒子を微細孔内に導入できる。これは、上下電極への交流電圧の印加により膜の細孔内に強電場領域が形成され、流路中の微粒子が強い電場領域に引き寄せられる正の誘電泳動を受容して膜内へと挿入されるためである。すなわち、ナノ構造体により微細孔内に強電場領域を形成し、誘電泳動力を発生させている。そこで、上面電極の代わりに、マイクロ電極やマイクロアレイ電極を用いることにより、迅速にフレキシビリティの高い細胞パターンを作製できると着想した。

2. 研究の目的

本研究では、平板基板上およびセルフスタンディングなポーラス膜上に極めてフレキシビリティ高く、迅速に細胞パターンを作製する技術を開発することを目的とした。ニードル型のマイクロディスク電極を用い、ランダムに配置された単一細胞を正の誘電泳

動により電極に捕捉し、目的位置へと移動後に負の誘電泳動を用いて再配置する。これを繰り返すことにより、任意の位置に細胞を配列することができる。また、ポーラス膜の局所領域に強電場領域を形成し、正の誘電泳動 (引力) による細胞をポーラス膜表面上へ局所集積化することにより任意の位置での局所配列を行う。電極を xy 平面上で走査することにより任意形状の細胞パターンを得る。さらに、作製した細胞パターンの活性を SECM により評価する。

3. 研究の方法

マイクロディスク電極を用いた細胞パターンの作製

直径 20 μm のニードル型 Pt マイクロディスク電極を作製した。この溶液を飽和硝酸ナトリウム水溶液に浸漬し、交流電圧 (10 V_{pp}, 200 Hz) を 10 秒間与えて電解エッチングすることにより電極先端に微小孔を形成した。微小孔の深さは約 10 μm である。この電極を xyz マニピュレータに設置し、ITO 基板上に 14° の角度で接触させた。

ITO 基板上にマウスミエローム細胞 (直径、10-15 μm) の懸濁液 (250 mM スクロース溶液) を滴下し、ミエローム細胞をランダムに配置した。微小孔を有するマイクロ電極を ITO 基板上の目的とするミエローム細胞の近傍に設置した。ファンクションジェネレータを用いてマイクロ電極に交流電圧 (周波数、10 MHz) を印加し、正の誘電泳動の引力を用いて目的細胞を電極先端の微小孔内に移動させて捕捉した。この時、ITO 基板を設置した。細胞が微小孔内に捕捉された後、交流電圧の印加を停止した。マイクロ電極を移動させることにより捕捉した細胞を目的位置に輸送した。再度、マイクロ電極に交流電圧 (周波数、1.0 kHz) を印加し、負の誘電泳動の反発力を利用して微小孔内から放出した。それぞれの細胞に対してこの操作を繰り返し、細胞の配列体を取得した。

捕捉した細胞のエステラーゼ活性により細胞の活性を調査するために、捕捉した細胞を 5-(and -6)-carboxyfluorescein diacetate, succinimidyl ester (CFDA SE) で処理した。この処理により、生きている細胞では細胞質内に存在するエステラーゼの酵素反応による加水分解反応が進行し緑色の蛍光を示す。正の誘電泳動を用いて捕捉した細胞に、1.2 μM CFDA SE を加え 10 分後に蛍光観察した。

走査型誘電泳動による多孔質膜表面への自由度の高い微粒子配列体作製

多孔質薄膜を底面としたチャンバーを作製し、そのチャンバーを ITO 電極上に配置して、ITO 基板と多孔質薄膜間にマイクロ流路を形成した (高さ、14 μm) 作製した。図 1 にデバイスの断面図と粒子配列化の概念図を示す。流路内にポリスチレン (PS) 微粒子 (直径 10 μm 、濃度 2.7×10^7 particles mL⁻¹)

または Huh7 細胞の懸濁液を導入した。マイクロ電極を多孔質アルミナ膜の上方 $10\ \mu\text{m}$ に保持した。マイクロ電極に交流電圧 ($200\ \text{V}_{\text{pp}}$, $1\ \text{kHz}$ - $100\ \text{kHz}$) を印加し、微粒子の挙動を顕微鏡下で観察した。ITO 基板は接地した。マイクロ電極先端直下の多孔質薄膜で電場強度が強くなるため、正の誘電泳動により粒子をマイクロ電極先端の直下に集積できる。また、マイクロ電極を xy 方向に走査することにより、微粒子のパターンを形成した。微粒子と多孔質薄膜間の接着には、化学架橋法を利用した。

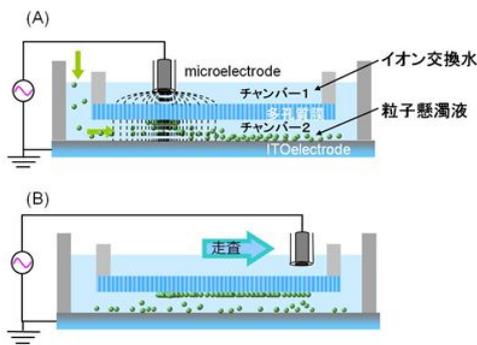


図 1. (A) 誘電泳動デバイスの断面図と (B) 粒子配列化の概念図

4. 研究成果

正の誘電泳動によるマイクロ電極先端の微小孔内へのミエローマ細胞の捕捉を行った (図 2)。電極表面を捕捉目的細胞の中心から $50\ \mu\text{m}$ 右の位置の配置している (図 2a)。交流電圧 ($10\ \text{V}_{\text{pp}}$, $10\ \text{MHz}$) を印加すると、ミエローマ細胞 (直径, $12\ \mu\text{m}$) は、電極の微小孔に向かって移動しはじめ (図 2b-2d)、16 秒で $45\ \mu\text{m}$ を移動して微小孔内に捕捉された (図 2e)。微小電極と大面積の導電性表面を有する ITO 基板の構造の関係から、相対的に電場の強い部分が微小孔内に形成されるため、ミエローマ細胞は正の誘電泳動による引力により微小孔内に捕捉される。

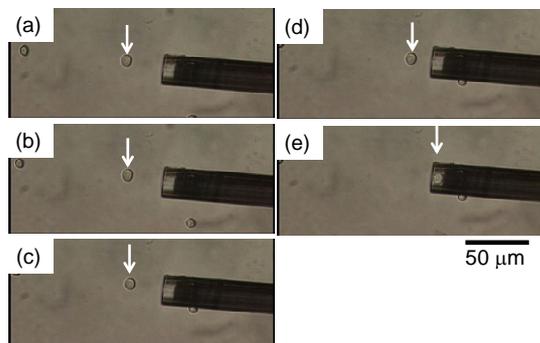


図 2. 正の誘電泳動によるマイクロ電極先端の微小孔内へのミエローマ細胞の捕捉。(a) 電圧印加前, 電圧印加後 (b) 5, (c) 10, (d) 15, (e) 16 秒

正の誘電泳動により微小孔に移動する細胞の速度を調査した。細胞と電極の距離が減

少すると、速度は急激に増加する。周波数 $10\ \text{MHz}$ で $10\ \text{V}_{\text{pp}}$ の交流電圧を印加すると、細胞が捕捉される直前の平均移動速度は $600\ \mu\text{m}\ \text{s}^{-1}$ に達した。速度の増加は、距離の減少による電場強度の増加に起因する。溶液中を移動する細胞の粘性抵抗から誘電泳動力を見積もると、電極表面から $10\ \mu\text{m}$ の地点で $68\ \text{pN}$ であった。印加する電圧強度を増加させると細胞の移動速度は増加した。印加電圧が $15\ \text{V}_{\text{pp}}$ および $20\ \text{V}_{\text{pp}}$ の場合、捕捉直前の細胞の移動速度は、それぞれ $850\ \mu\text{m}\ \text{s}^{-1}$ および $1100\ \mu\text{m}\ \text{s}^{-1}$ であった。

CFDA SE を用いて捕捉された細胞を蛍光染色し、細胞のエステラーゼ活性を調査した。交流電圧 ($20\ \text{V}_{\text{pp}}$) を印加して正の誘電泳動により約 3 秒で微小孔内に細胞を移動させて捕捉した。細胞が捕捉された後、交流電圧の印加をすぐに停止した。 $1.2\ \mu\text{M}$ CFDA SE を含む溶液を加えた後、10 分後に蛍光観察を行った。微小孔内の細胞捕捉位置に明瞭な緑の蛍光が観測された。よって、正の誘電泳動により微小孔内に捕捉された細胞はエステラーゼ活性を有しており、生きていることが示された。

負の誘電泳動による反発力を用いて、目的の場所に細胞を再配置した。図 3a に、正の誘電泳動を用いて微小孔内に捕捉した細胞の光学顕微鏡写真を示す。細胞は正の誘電泳動により微小孔内に捕捉されることがわかる。この状態から、電極に交流電圧 ($2.0\ \text{V}_{\text{pp}}$, $1.0\ \text{kHz}$) を印加して細胞を再配置した。電圧印加後 20 秒の再配置された細胞の写真を図 3b に示す。電圧を印加すると、細胞は徐々に微小孔から排出され、20 秒後に電極の先端に配置された。負の誘電泳動による反発力により、微小孔内の細胞は微小孔の外に向かって移動する。細胞内のエステラーゼ活性を示す蛍光は、負の誘電泳動によって再配置された細胞からも観察された。しかし、高電圧 ($10\ \text{V}_{\text{pp}}$) を用いて細胞を微小孔から排出した場合、捕捉されていた細胞は電極先端から急激に排出され数十マイクロメートル離れた場所に配置され、その位置の正確な制御は困難であった。また、捕捉された細胞は、電圧を印加しないと微小孔内に捕捉されたままであり微小孔から排出されることはなかった。よって、 $2.0\ \text{V}_{\text{pp}}$ の電圧で誘起される負の誘電泳動を用いると、目的の位置に正確に細胞を再配置できることがわかった。

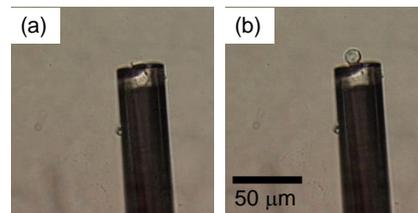


図 3. (a) 正の誘電泳動によって微小孔内に捕捉された細胞のイメージ。(b) 負の誘電泳動によって微小孔内から電極先端に排出された細胞のイメージ。

正の誘電泳動および負の誘電泳動による個々の細胞の捕捉と再配置を繰り返し細胞のパターン形成を行った。図 4a に、配列した細胞のイメージを示す。細胞(a)を正の誘電泳動 ($10 V_{pp}$, 10 MHz) で微小孔内に捕捉し、電圧印加停止後に $100 \mu\text{m s}^{-1}$ で図 4a の左上の位置に移動させた。捕捉された細胞は、目的位置に移動する間、微小孔内に捕捉されたままであり微小孔外に排出されることはなかった。微小孔は、電極の移動により形成される粘性抵抗による細胞の排出を抑制できる。目的位置に到達後、捕捉された細胞を負の誘電泳動 ($2.0 V_{pp}$, 1.0 kHz) により微小孔内から電極先端に再配置した。細胞の捕捉、移動および排出の工程を他の 6 個の細胞(b)から (g) に適用して繰り返し操作することにより、7 個の細胞を用いてアルファベットの Y の字を形成することができた (図 4b および 4c) 7 個の細胞で Y の字を作製する際、正の誘電泳動による引力を用いなくても、目的位置への移動において細胞の排出は起こらなかった。しかし、微小孔を形成していないマイクロ電極を用いた場合には、正の誘電泳動によって電極先端に捕捉された細胞は電極の移動で電極先端から排出された。よって、捕捉細胞を目的位置に移動し配置するためには、微小孔の存在が有利であることを示せた。細胞の再配置に必要なとする時間は約 1 分である。

微小孔を有するマイクロ電極を用いた誘電泳動により細胞を配列化することができた。正の誘電泳動により捕捉された細胞は、目的位置に移動する際に微小孔外に排出されなかった。この方法を用いると、他の方法で作製された細胞パターンの修復や細胞間距離を制御した異種細胞の共培養等に応用可能である。

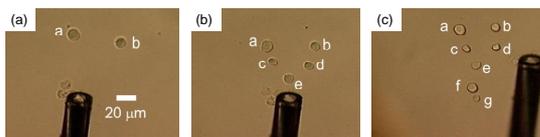


図 4. 細胞パターンのイメージ。(a) 2, (b) 5, (c) 7 細胞でパターンを作製。

この PS 粒子には、この条件で 1 kHz から 30 kHz において正の誘電泳動が作用した。図 5 に正の誘電泳動により多孔質膜に集積化された微粒子の顕微鏡写真を示す。マイクロ電極に交流電圧 ($180 V_{pp}$, 10 kHz) を印加すると、ITO 電極の表面上の PS 微粒子 (図 5A) は、マイクロ電極先端の直下に移動し、10 秒後には、多孔質薄膜下面 (約直径 $100 \mu\text{m}$ の範囲) へ集積化した。これは、正の誘電泳動を受容した PS 微粒子が電場強度の強いマイクロ電極先端直下の多孔質薄膜に誘導されたためである。印加電圧強度が $80 V_{pp}$ 以上で微粒子はマイクロ電極直下の ITO 表面上に集積化し、 $120 V_{pp}$ 以上の場合、ITO 表面から浮上して多孔質薄膜下面に移動できることがわかった。

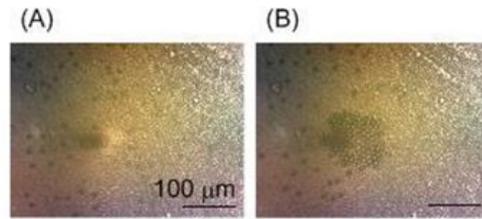


図 5. 多孔質薄膜下面への PS 微粒子の集積化。(A) 電圧印加前の薄膜の写真。(B) 電圧印加 10 秒後の薄膜に集積化した PS 微粒子の写真。

PS 微粒子を多孔質薄膜へ誘導し、化学架橋剤を用いて固定化することにより、PS 微粒子のラインパターンを作製した。図 6 に、マイクロ電極に交流電圧 ($140 V_{pp}$, 10 kHz) を印加し、走査速度 $10 \mu\text{m/s}$ で x 軸方向に移動させた際の PS 微粒子配列を示す。イメージ左に位置したマイクロ電極を右方向に走査させると、PS 微粒子はマイクロ電極の移動軌跡に沿った領域に配列した (図 6A-6D)。強電場領域は電極の真下の位置に形成されるため、電極を走査することにより微粒子の集積化位置を制御できる。これにより、PS 微粒子のラインパターンを作製できた。また、交流電圧の印加停止後も PS 微粒子のラインパターンは多孔質薄膜下面に保持されていた。中心が白い粒子は多孔質薄膜下面に固定化された PS 微粒子で、黒い粒子は ITO 電極表面に存在する。 $1000 \mu\text{m}$ の配列体を約 1 分半で作製できた。化学架橋反応を組み込まない場合、配列化した微粒子は電圧印加停止により再分散しラインは消失した。これにより、化学架橋法を用いると、誘電泳動により集積化した PS 微粒子を多孔質薄膜に固定化してパターンを形成できた。

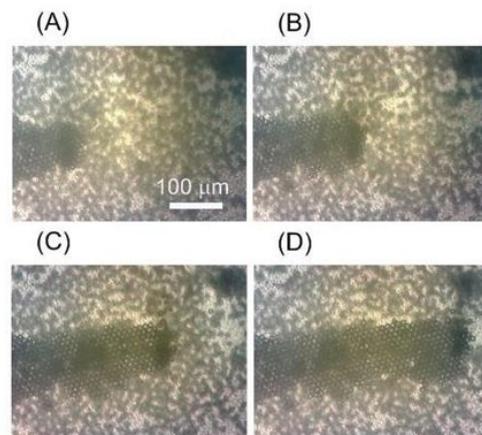


図 6. 走査型誘電泳動により多孔質薄膜表面にライン配列した PS 微粒子。(A) 0, (B) 10, (C) 15, (D) 20 秒後の細胞パターン。

この微粒子の配列技術を応用して PS 微粒子の自由度の高い配列体の作製を行った。図 7 に、この手法を用いて作製した微粒子のアルファベット状配列体を示す。マイクロ電極に交流電圧 ($200 V_{pp}$, 10 kHz) を印加し、走査速度 $10 \mu\text{m/s}$ で xy 軸方向に走査させた。電

極に交流電圧を印加しながら，x 軸方向へ $-500\ \mu\text{m}$ ，y 軸方向へ $-500\ \mu\text{m}$ ，x 軸方向に $500\ \mu\text{m}$ ，y 軸方向に $-500\ \mu\text{m}$ および x 軸方向へ $-500\ \mu\text{m}$ 動かすとアルファベットの「S」状の配列体を作製できた（図 7A）．この配列体は，約 250 秒で作製可能であった．また，異なる走査方法を用いると，アルファベットの「H」（図 7B）および「K」（図 7C）状に配列させることもできた．微粒子は多孔質薄膜上に単層で固定化されており，各配列体のラインの幅は約 $100\ \mu\text{m}$ であった．このように，マイクロ電極をメカニカルに xy 軸方向へ動かすだけで文字を描くように粒子の配列体を作製することが可能である．さらに，細胞を用いて同様の配列体を作製できた．また，異なる種類の細胞を配列化することも可能であった．

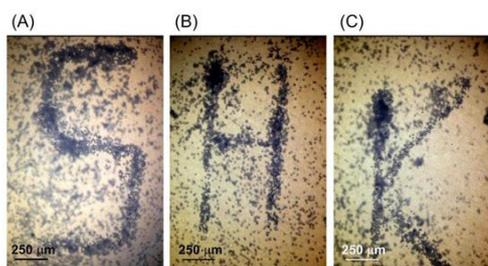


図 7. 微粒子のアルファベット状配列体。(A) S，(B) H，(C) K のアルファベット状に配置した細胞パターン．

< 引用文献 >

Y. Torisawa, N. Ohara, K. Nagamine, S. Kasai, T. Yasukawa, H. Shiku, T. Matsue, Electrochemical monitoring of cellular signal transduction with a secreted alkaline phosphatase reporter system, *Anal. Chem.*, 2006, 78(22), 7625-7631.

M. Suzuki, T. Yasukawa, Y. Mase, D. Oyamatsu, H. Shiku, T. Matsue, Dielectrophoretic Micropatterning with Microparticle Monolayers Covalently Linked to Glass Surfaces. *Langmuir*, 2004, 20(25), 11005-11011.

M. Suzuki, T. Yasukawa, H. Shiku, T. Matsue, Negative dielectrophoretic patterning with different cell types, *Biosens. Bioelectron.*, 2008, 24, 1043-1047.

T. Murata, T. Yasukawa, H. Shiku, T. Matsue, Electrochemical Single-Cell Gene Expression Assay Combining Dielectrophoretic Manipulation with Secreted Alkaline Phosphatase Reporter System, *Biosens. Bioelectron.*, 2009, 25, 913-919.

H. J. Lee, T. Yasukawa, M. Suzuki, S. H. Lee,

T. Yao, Y. Taki, A. Tanaka, M. Kameyama, H. Shiku, T. Matsue, Simple and Rapid Preparation of Vertically Aligned Gold Nanoparticle Arrays and Fused Nanorods in Pores of Alumina Membrane Based on Positive Dielectrophoresis, *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 2009, 136, 320-325.

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）

Y. Igaki, F. Mizutani, T. Yasukawa, Oxygen consumption of contractile C2C12 myotubes investigated by scanning electrochemical microscopy, *Chem. Lett.*, 2015, 44(7), 1031-1032, 査読有.
DOI: 10.1246/cl.150371

T. Yasukawa, Y. Kiba, F. Mizutani, A Dual Electrochemical Sensor Based on a Test-Strip Assay for the Quantitative Determination of Albumin and Creatinine, *Anal. Sci.*, 2015, 31, 583-589, 査読有.
DOI: <http://doi.org/10.2116/analsci.31.583>

T. Yasukawa, Y. Yamashita, R. Moede, D. Nakayama, S. Iijima, F. Mizutani, A DNA hybridization sensor based on catalytic response by platinum deposition, *Analyst*, 2015, 140, 1014-1018, 査読有.
DOI: 10.1039/c4an01561d

Y. Yoshimura, M. Tomita, F. Mizutani, T. Yasukawa, Cell Pairing Using Microwell Array Electrodes Based on Dielectrophoresis, *Anal. Chem.*, 2014, 86, 6818-6822, 査読有.
DOI: [org/10.1021/ac5015996](http://doi.org/10.1021/ac5015996)

T. Horii, M. Yamamoto, T. Yasukawa, F. Mizutani, Rapid Formation of Cell-Particle Complexes via Dielectrophoretic Manipulation for the Detection of Surface Antigens, *Biosens. Bioelectron.*, 2014, 61, 215-221, 査読有.
DOI: [org/10.1016/j.bios.2014.05.019](http://doi.org/10.1016/j.bios.2014.05.019)

Y. Yoshimura, C. Fujii, M. Tomita, F. Mizutani, T. Yasukawa, Array of single-cell pairs on a microwell array based on positive dielectrophoresis, *Chem. Lett.*, 2014, 43(7), 980-981, 査読有.
DOI: 10.1246/cl.140195

T. Hokuto, T. Yasukawa, R. Kunikata, A. Suda, K. Y. Inoue, T. Matsue, F. Mizutani, Electrochemical Activity Imaging of Enzymes Immobilized on Substrates Based on a Bio-LSI System, *Chem. Lett.*, 2014,

43(6), 758-759, 査読有.
DOI: 10.1246/cl.140055

T. Yasukawa, M. Koide, N. Tatarazako, R. Abe, H. Shiku, F. Mizutani, T. Matsue, Detection of the oxygen consumption rate of migrating zebrafish by electrochemical equalization systems, Anal. Chem., 2014, 86(1), 304-307, 査読有.
DOI:10.1021/ac402962f

S. Arimoto, A. Kamei, T. Yasukawa, F. Mizutani, T. Yoshioka, Development of highly sensitive electrochemical measurement on dry chemistry measuring electrode potential shift, Electrochim. Acta, 2013, 108, 776-780, 査読有.
DOI: 10.1016/j.electacta.2013.07.024

T. Yasukawa, Y. Yoshida, H. Hatanaka, F. Mizutani, Line patterning with microparticles at different positions in a single device based on negative dielectrophoresis, Journal of Robotics and Mechatronics, 2013, 25(4), 650-656, 査読有.
DOI: 10.20965/jrm.2013.p0650

T. Yasukawa, J. Yamada, H. Shiku, F. Mizutani, T. Matsue, Positioning of cells flowing in a fluidic channel by negative dielectrophoresis, Sens. Actuator. B, 2013, 186, 9-16, 査読有.
DOI: org/10.1016/j.snb.2013.05.048

〔学会発表〕(計 87 件)

T. Yasukawa, Y. Yoshikura, M. Tomita, F. Mizutani, Rapid and highly-effective formation of precise single-cell pairing based on dielectrophoresis, Pacificchem 2015 Bio/chemical Approaches for Single Cell Biosensing Technologies, 18 December 2015, Honolulu, Hawaii, USA.

安川智之, バイオセンシングシステムの迅速化, 簡素化, 高感度化, 第 61 回ポータログラフィーおよび電気分析化学討論会, 2015 年 11 月 25 日, イーグレひめじ (兵庫県姫路市)

T. Yasukawa, Y. Minakuchi, H. Hatanaka, F. Mizutani, Negative dielectrophoretic separation of cells based on the expression of specific surface antigen, The 66th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, 5 October 2015, Taipei, Taiwan.

T. Yasukawa, Discrimination of cells with specific antigen expressed on membrane

based on the dielectrophoresis, 2014 19th Annual Conference of Chemical Sensors, 17 May, 2014, Pingtung, Taiwan.

T. Yasukawa, Manipulation of particles and cells with dielectrophoresis for simple and rapid analysis, 10th Asian Conference on Chemical Sensors, 12 November. 2013, Chiang Mai, Thailand.

安川智之, 迅速, 簡便, 高感度なバイオセンシングシステムの構築, 2013 年電気化学秋季大会, 2013 年 9 月 27 日, 東京工業大学 (東京都目黒区)

T. Yasukawa, H. Shiku, T. Matsue, F. Mizutani, Rapid and Simple Immunoassay Based on Negative Dielectrophoresis with Three-Dimensional Interdigitated Array Electrodes, 222nd ECS Meeting, 9 October, 2012, Honolulu, USA.

〔図書〕(計 2 件)

安川智之, 水谷文雄, 株式会社エヌティエス, 誘電泳動を利用した細胞配列, 三次元ティッシュエンジニアリング技術最前線 第 1 編第 3 章第 5 節, 2015, 149-158.

T. Yasukawa, F. Mizutani, Springer, Hyper Bio Assembler for 3D Cellular Systems, Chapter 5, Discrimination of Cells with Specific Antigens Expressed on a Membrane Based on the Dielectrophoresis, 2015, 69-78.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

http://www.sci.u-hyogo.ac.jp/material/analytical_chem/index-j.html

6. 研究組織

研究代表者

安川 智之 (YASUKAWA, Tomoyuki)
兵庫県立大学・大学院物質理学研究科・准教授

研究者番号: 40361167