

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25340002

研究課題名(和文)住環境におけるアレルゲン分布動態評価のための免疫学的蛍光計測システム

研究課題名(英文)A fluoroimmunoassay system for on-site monitoring of environmental allergens

研究代表者

宮島 久美子(Miyajima, Kumiko)

東京工業大学・物質理工学院・JSPS特別研究員

研究者番号：10516298

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)：浮遊アレルギー物質(アレルゲン)のon-site計測を実現するための、気相成分捕集デバイス開発、及び先行研究成果である光ファイバ式免疫化学蛍光計測システムとの組み合わせによる浮遊アレルゲンの定量的測定を実現した。撥水性多孔質膜を隔膜とした気液二相セルを中心に気相成分捕集系を構築し、空間中に噴霧したダニアレルゲンDer f1の捕集と計測システムによる評価を行ったところ、0.125-2.0 mg/m3の範囲で気相中のDer f1の捕集計測が可能であり、今後技術を統合し捕集から測定まで一括したシステムを構築することで、浮遊アレルゲンのon-site計測が可能になるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：A fiber-optic chemifluorescent immunoassay for the detection of airborne allergen of house dust mite (Der f1) was developed. The Der f1 concentration was measured on the basis of the intensity of fluorescence amplified by an enzymatic reaction between the labeled enzyme by a detection antibody and a fluorescent substrate. For the implementation of airborne allergen measurement in a residential environment, a bioaerosol sampler was constructed. The airborne allergen generated by a nebulizer was conveyed to a newly sampler we developed for collecting airborne Der f1. The sampler was composed of polymethyl methacrylate cells for gas/liquid phases and some porous membranes which were sandwiched in between the two phases. Der f1 in air was collected by the sampler and measured using the fiber-optic immunoassay system. The concentration of Der f1 in aerosolized standards was in the range from 0.125 to 2.0 mg/m3 and the collection rate of the device was approximately 0.2%.

研究分野：臨床検査医学

キーワード：アレルゲン 浮遊粒子捕集 光ファイバ 蛍光免疫計測

1. 研究開始当初の背景

2011年に発表された厚生労働省の報告によると、喘息や鼻炎など、何らかのアレルギー疾患に罹患している患者の割合は、人口の約2人に1人に達するとされている。このように、アレルギー疾患は近年増加傾向にあり、大きな社会問題となっている。現状では、アレルギー疾患の発症機序や病態は十分に解明されておらず、根治的な治療法が確立されていないため、その予防や治療支援を行うためには、個人の生活環境や生活習慣を見直し、アレルギー（アレルギー疾患惹起物質）との接触を回避することが最も有効である。しかしながら、ハウスダストや花粉等の吸入性アレルギーは、生活環境中に浮遊・拡散して存在する場合も多く、その分布動態を把握し回避することは容易でない。すなわち、個人が行う環境整備において、浮遊アレルギーの存在の程度や推移を、その場（on-site）でリアルタイムに知ることが可能となれば、アレルギー疾患対策の促進に役立つものと考えられる。現時点では、家庭での使用に耐えうるほど小型で簡便なアレルギー計測技術は確立されておらず、その開発が求められている。

2. 研究の目的

上述の背景を受け、本研究では、生活環境における各種アレルギーの on-site モニタリングを可能とし、アレルギーへの接触回避と、健康的な生活環境の維持を支援するための新規な免疫計測システムを創造することを目的とした。吸入性アレルギー疾患の代表的アレルギーである、コナヒョウヒダニ由来の *Der f1* を測定対象とし、まず、アレルギー計測システムの要素技術として、気相成分サンプリングのためのデバイスを構築し、先行研究にて開発された基盤技術である光ファイバ式免疫化学蛍光測定系に組み込むことで、生活環境における時間的・空間的なアレルギー動態の評価を目指すこととした。

3. 研究の方法

(1) 浮遊 *Der f1* 捕集のための隔膜セルの構築

アレルギー捕集のための多孔質隔膜の検討
 浮遊 *Der f1* を捕集する隔膜セルの基本構造を図1に示す。本デバイスは、多孔質膜を隔膜とした気液二相セルの構造を有する。液相セル及び気相セルには、市販透析セルの下部側及び上部側を用いた。隔膜には、パーフルオロアルコキシアルカン（PFA）ネットの他、含水セルロース膜と、たわみ防止のためのエチレン-テトラフルオロエチレン共重合体（ETFE）メッシュを用い、シリコン-oリングとともに挟み込み、隔膜セルとした。含水セルロース膜の使用の有無による隔膜セルのアレルギー取り込み能について比較するため、まず、気相セルに *Der f1* を含むハウスダスト試薬 20mg を封入し、ELISA によりそれぞれの *Der f1* 量を評価した。

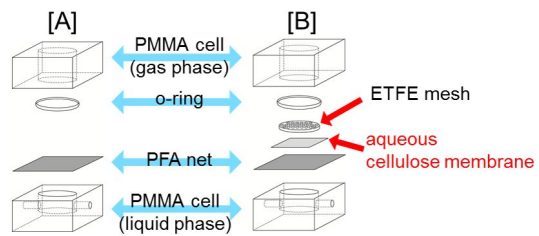


図1. アレルギー捕集用隔膜セルの基本構造

浮遊 *Der f1* 捕集実験系構築のための隔膜セル構造の改良

アレルギー捕集実験系の構築のため、図2のように隔膜セル構造を改良した。浮遊アレルギーの隔膜セルへの移送には、市販の粉粒体搬送装置により行うこととした。移送空気の外漏れを抑制するため、隔膜セルの気相側を機械加工して開口部を設け、粉粒体搬送装置が直接接続可能な構造とした。さらに、隔膜セルへ流入した空気の排気のため、高さ 1.6 mm の通気層を設けた。

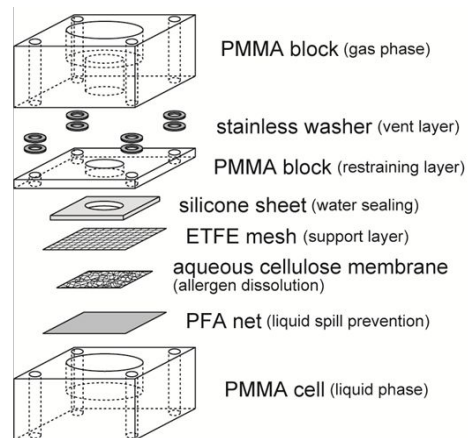


図2. 改良型隔膜セルの構造¹⁾

ETFE メッシュ間隙率の最適化

隔膜のたわみを防止する ETFE メッシュは、隔膜層の最も気相側に配置されるため、隔膜セルのアレルギー回収率は ETFE メッシュの間隙率に大きく影響を受けるものと考えられる。そこで、間隙率の異なる4種のメッシュを用いてそれぞれセルを構築し、取り込み能を評価した。評価実験では、下記に詳述する実験系のネブライザに西洋ワサビペルオキシダーゼ（HRP）を注入し、実験系を2分間駆動させたのちに液相から回収した溶液に 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine（TMB）を添加し、450 nm における吸光度を測定した。

(2) 浮遊 *Der f1* 捕集実験系の構築

図3に構築した浮遊 *Der f1* 捕集実験系を示す。アレルギー拡散槽として導電性樹脂製の容器（1L）を用いて、その下部にネブライザ用、側面には流量計用と粉粒体搬送装置用の各開口部を設けた。そして、粉粒体搬送装置の吐出口に隔膜セルの開口部を接続した。隔膜セルは、液相セルに市販透析セルの下部側、

気相セルには液相と同一の透析セルを機械加工して使用した。隔膜は、液相セル側から順に、PFA ネット、含水セルロース膜、ETFE メッシュ、シリコンシートを重ねて複合膜とし、アクリル板と通気用ステンレスワッシャー2枚にて固定した。

実験では *Der f1* 溶液をネブライザにより拡散槽に噴霧し、粉粒体搬送装置にて、吸引空気流 2 L/min で浮遊アレルゲンを気相セルに移送した。捕集時間を 2 分とし、液相セル内で攪拌を行ったのち、サンプルを採取し、先行研究成果である光ファイバ式免疫化学蛍光測定系による *Der f1* 計測に供した。

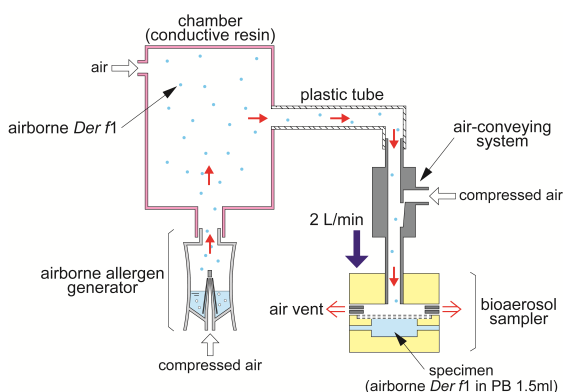


図 3. 浮遊 *Der f1* 捕集実験系¹⁾

(3)免疫学的化学蛍光測定

光ファイバ式免疫化学蛍光測定では、免疫複合体の標識酵素にストレプトアビジンペルオキシダーゼ (HRP)、基質に 10-acetyl-3,7-dihydroxy-phenoxazine (ADHP) を用い、反応生成物であるレゾルフィン (励起光: 570 nm, 蛍光: 585 nm) を検出した。用いた測定系は、LED を励起光源とし、バンドパスフィルタ (BPF: 570±10 nm) を介して二分岐光ファイバの入力側から試料溶液に照射し、試料内に生じるレゾルフィンの蛍光を二分岐光ファイバの出力側から蛍光用 BPF (600±10 nm) を介して光電子増倍管 (PMT) にて測定した。感応部には、ポリスチレン製光ファイバ (φ1.0 mm, 12.0 cm) の両端面に乾式研磨 (シリカフィルム、粒子径: 3µm) 及び湿式研磨 (シリカフィルム、粒子径: 9µm; アルミナフィルム、粒子径: 0.3µm) を施し、測定用プローブとした。

さらに、家屋から採集した 5 種のハウスダスト 5mg を気相成分捕集系にて取り込み、試料溶液に含まれる *Der f1* 量を免疫学的化学蛍光測定系により計測した。

4. 研究成果

(1) 隔膜セルの抗原捕集能の評価

アレルゲン捕集のための多孔質隔膜の検討
隔膜として含水セルロース膜の使用の有無による隔膜セルのアレルゲン取り込み能について評価した結果を図 4 に示す。含水セルロース膜を挟まない構造[A]では、*Der f1* に

よる有意な出力は確認されなかったが、含水セルロース膜を挟んだ構造[B]の場合、*Der f1* がまずセルロース膜上の緩衝液に溶解し、液相溶液とセルロース膜との間に濃度勾配が生じるため、自然拡散により液相溶液に *Der f1* が取り込まれたものと考えられる。

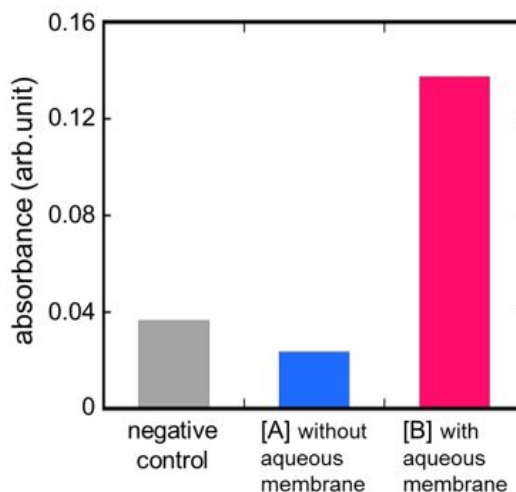


図 4. 含水セルロース膜の有無によるアレルゲン捕集能比較

ETFE メッシュ間隙率の検討

たわみ防止のための ETFE メッシュの間隙率を変化させ、それぞれの構造について HRP 取り込み能を評価した。結果を図 5 に示す。間隙率 59% のメッシュを用いることで最も吸光度が大きくなり、捕集能が高いことが示唆された。また、より間隙率の大きい 61% では 59% に比して若干の出力減少が確認された。加えて、61% のメッシュでは隔膜のたわみを抑制しきれず、セルの構築時や空気流入時に隔膜がたわみ、溶液漏出が起こりやすく、隔膜として適さないことが確認された。以上の結果により、間隙率 59% の ETFE メッシュを適用することとした。

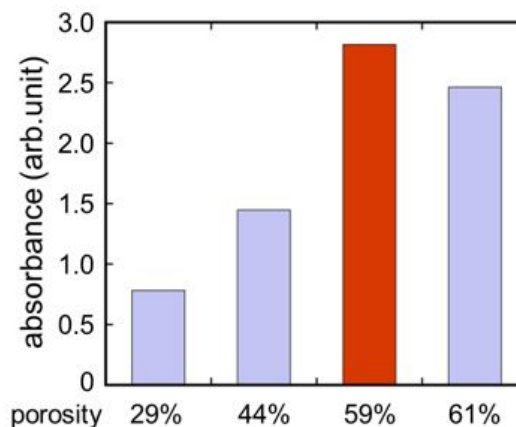


図 5. ETFE メッシュの間隙率の違いによる捕集能比較

(2) 気相中 *Der f1* 測定と環境応用

浮遊アレルゲン計測を目的とし、浮遊成分捕集デバイスを用いて *Der f1* 計測を行った。本実験ではアレルゲンの浮遊状態を再現するため、ネブライザを用いてアレルゲン溶液

を噴霧し、粉粒体搬送装置にて捕集デバイスの気相セルに送風し、液相セルに捕集したサンプル溶液について *Der f1* 測定を行った。図6に浮遊アレルゲン濃度と蛍光出力の関係を示す。この図からわかるように、浮遊させた *Der f1* 濃度に伴う蛍光出力の増加 (0.125-2.0 mg/m³) が観察され、構築した捕集デバイスにより、浮遊アレルゲンの捕集が可能で、光ファイバ型免疫化学蛍光法にて *Der f1* の計測が可能であった。なお測定結果から、捕集デバイスによるアレルゲン回収率を評価したところ、平均回収率は浮遊濃度の 0.23%であった。

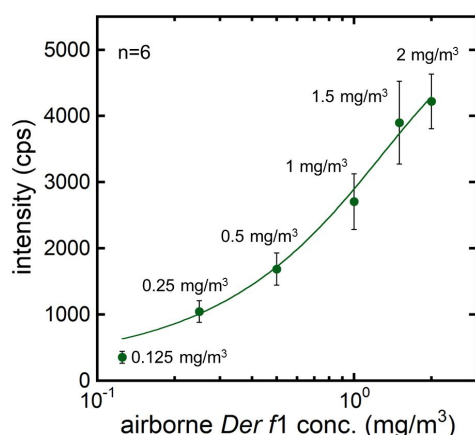


図6. 浮遊 *Der f1* 濃度と蛍光出力の関係¹⁾

次に実際の住環境でのアレルゲン計測への可能性を調べるため、家屋から採集した5種のハウスダスト5 mgを隔膜セルに移送し、回収した液相溶液について *Der f1* 測定を行ったところ、ELISAによる測定値と矛盾しない結果が得られた(図7)。

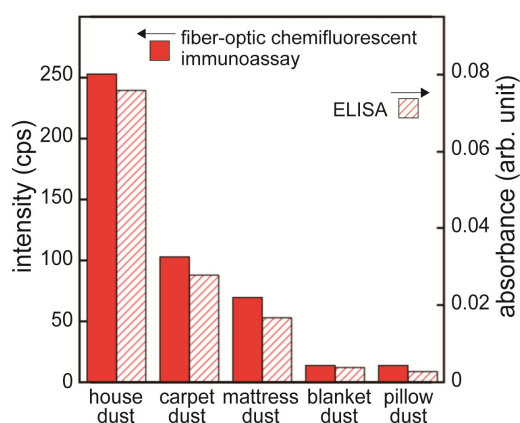


図7. ハウスダスト試料に対する化学蛍光法と ELISA の出力比較¹⁾

Der f1 の空間濃度については、公式な基準値は定められていないものの、浮遊状粒子である PM10 規制値を考慮すると、0.2 µg/m³ 以下であることが望ましいと考えられる。構築した隔膜セルによる浮遊 *Der f1* の検出限界は 0.125 mg/m³ であることから、さらなる感度向

上が課題であり、光学測定系の改善、及び捕集条件の検討を進めることで目標感度を達成できるものと考えられる。また、本捕集系は自然拡散による捕集方法であるため、免疫センサ感応部に直接組み込むことが可能である。今後、隔膜セルに光ファイバプローブを組み込むことで、浮遊アレルゲンの迅速及び繰り返し計測を実現し、住環境における浮遊アレルゲンの連続計測及び分布評価が可能になるものと期待される。

<引用文献>

1) Miyajima K, Suzuki Y, Miki D, Arai M, Arakawa T, Shimomura H, Shiba K, Mitsubayashi K. Direct analysis of airborne mite allergen (*Der f1*) in the residential atmosphere by chemifluorescent immunoassay using bioaerosol sampler. *Talanta* 2014;123:241-246.

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16件)

1. Toma K, Suzuki Y, Saito M, Miyajima K, Arakawa T, Shimomura H, Mitsubayashi K. Fiber-optic chemifluorescent immunosensor for influenza virus monitoring. *Journal of Analytical Bio-Science* 2016;39:271-276. [査読有り]
2. Toma K, Miyajima K, Sawada S, Arakawa T, Kudo H, Akiyoshi K, Mitsubayashi K. Direct measurement of gaseous formaldehyde from food with a fiber-optic biochemical gas sensor (bio-sniffer). *Sensors and materials* 2016;28:1265-1272. doi: 10.18494/SAM.2016.1288. [査読有り]
3. Toma K, Suzuki Y, Kishikawa C, Saito M, Miyajima K, Arakawa T, Shimomura H, Mitsubayashi K. Chemifluorescent optical fiber immunosensor for on-site bioaerosol monitoring system. *Sensors and Materials* 2015;27(11):1113-1122. doi: 10.18494/SAM.2015.1148. [査読有り]
4. Suzuki Y, Ye M, Miyajima K, Arakawa T, Sawada S, Kudo H, Akiyoshi K, Mitsubayashi K. A fluorometric biochemical gas sensor (bio-sniffer) for acetaldehyde vapor based on catalytic reaction of aldehyde dehydrogenase. *Sensors and Materials* 2015;27(11):1123-1130. doi: 10.18494/SAM.2015.1149. [査読有り]
5. Miyajima K, Kon H, Arakawa T, Shiba K, Mitsubayashi K. Fluoroimmunoassay system for fiber-optic measurement of house dust mite allergen (*Der f1*). *Sensors and Materials* 2015;27(9):871-880. doi: 10.18494/SAM.2015.1123. [査読有り]
6. Toma K, Miki D, Kishikawa C, Yoshimura

- N, Miyajima K, Arakawa T, Yatsuda H, Mitsubayashi K. Repetitive immunoassay with a surface acoustic wave device and a highly stable protein monolayer for on-site monitoring of airborne dust mite allergens. *Analytical Chemistry* 2015;87(20):10470-10474. doi: 10.1021/acs.analchem.5b02594. [査読有り]
7. Arakawa T, Kita K, Wang X, Miyajima K, Toma K, Mitsubayashi K. Chemiluminescent imaging of transpired ethanol from the palm for evaluation of alcohol metabolism. *Biosensors and Bioelectronics* 2015;67:570-575. doi: 10.1016/j.bios.2014.09.045. [査読有り]
 8. Saito H, Goto T, Miyajima K, Munkhjargal M, Arakawa T, Mitsubayashi K. Odourless watermark (digital chemocode) system with biochemical sniff scanner. *Sensors and Materials* 2014;26(3):109-119. <http://myukk.org/SM0975.html> [査読有り]
 9. Saito H, Suzuki Y, Gessei T, Miyajima K, Arakawa T, Mitsubayashi K. Bioelectronic sniffer (biosniffer) based on enzyme inhibition of butyrylcholinesterase for toluene detection. *Sensors and Materials* 2014;26(3):121-129. <http://myukk.org/SM0976.html> [査読有り]
 10. Miyajima K, Suzuki Y, Miki D, Arai M, Arakawa T, Shimomura H, Shiba K, Mitsubayashi K. Direct analysis of airborne mite allergen (*Der f1*) in the residential atmosphere by chemifluorescent immunoassay using bioaerosol sampler. *Talanta* 2014;123:241-246. doi: 10.1016/j.talanta.2013.11.033. [査読有り]
 11. Miyajima K, Miki D, Arakawa T, Kudo H, Saito H, Mitsubayashi K. Fiber-optic fluoroimmunoassay for determination of *Dermatophagoides farinae* allergen by flow analysis technique. *Sensors and Materials* 2013;25(9):591-599. <http://myukk.org/SM0952.html> [査読有り]
 12. Munkhjargal M, Matsuura Y, Hatayama K, Miyajima K, Arakawa T, Kudo H, Mitsubayashi K. Glucose-sensing and glucose-driven “organic engine” with co-immobilized enzyme membrane toward autonomous drug release systems for diabetes. *Sensors and Actuators B: Chemical* 2013;188:831-836. doi: 10.1016/j.snb.2013.07.080. [査読有り]
 13. Arakawa T, Wang X, Kajiro K, Miyajima K, Takeuchi S, Kudo H, Yano K, Mitsubayashi K. A direct gaseous ethanol imaging system for analysis of alcohol metabolism from exhaled breath. *Sensors and Actuators B: Chemical* 2013;186:27-33. doi: 10.1016/j.snb.2013.05.071. [査読有り]
 14. Arakawa T, Ando E, Wang X, Miyajima K, Takeuchi S, Kudo H, Saito H, Takahashi M, Mitani T, Mitsubayashi K. Chemiluminescent visualization for evaluation of gaseous ethanol distribution during ‘La France’ pear maturation. *IEEE Sensors Journal* 2013;13:2842-2848. doi: 10.1109/JSEN.2013.2257740. [査読有り]
 15. Kudo H, Yamashita T, Miyajima K, Arakawa T, Mitsubayashi K. NADH-fluorometric biochemical gas sensor (bio-sniffer) for evaluation of indoor air quality. *IEEE Sensors Journal* 2013;13:2828-2833. doi: 10.1109/JSEN.2013.2257739. [査読有り]
 16. Miyajima K, Koshida T, Arakawa T, Kudo H, Saito H, Yano K, Mitsubayashi K. Fiber-optic fluoroimmunoassay system with a flow-through cell for rapid on-site determination of *Escherichia coli* O157:H7 by monitoring fluorescence dynamics. *Biosensors* 2013;3:120-131. doi: 10.3390/bios3010120 [査読有り]
- 〔学会発表〕(計 16 件)
1. Kishikawa C, Miki D, Miyajima K, Yoshimura N, Yatsuda H, Toma K, Arakawa T, Mitsubayashi K, SAW immunosensor for on-site monitoring of airborne mite allergen *Der f1* in residential environment, International Symposium on Biomedical Engineering, Tokyo, Japan, 10,11 November 2016.
 2. Toma K, Miki D, Yoshimura N, Miyajima K, Arakawa T, Mitsubayashi K, A regenerable SAW (Surface Acoustic Wave) immunosensor for repetitive measurement of dust mite allergen, IMCS 2016, Jeju, Korea, 10-13 July 2016.
 3. Toma K, Miki D, Kishikawa C, Yoshimura N, Miyajima K, Arakawa T, Yatsuda H, Mitsubayashi K, A surface acoustic wave (SAW) immunosensor with a regenerable surface enabling repetitive measurement of dust mite allergens, Biosensors 2016, Gothenburg, Sweden, 25-27 May 2016.
 4. Toma K, Miki D, Yoshimura N, Miyajima K, Arakawa T, Yatsuda H, Mitsubayashi K, Repetitive immunosensing with a highly stable protein monolayer and surface acoustic wave device for allergen monitoring, Pacificchem 2015, Honolulu, Hawaii, USA, 15-20 December 2015.
 5. 宮島久美子, 三輪勇樹, 淵上輝頭, 北本仁孝, 環境アレルギーモニタリング用光ファイバ式免疫計測システムのための磁性マイクロカプセルの作製, 2015年電気化学会秋季大会, 埼玉, 2015年9月11,12日.
 6. Toma K, Miki D, Yoshimura N, Miyajima K, Arakawa T, Yatsuda H, Mitsubayashi K,

- Repetitive immunoassay with a regeneration resistant protein and surface acoustic wave device for allergen monitoring, EuroAnalysis 2015, Bordeaux, France, 6-10 September 2015.
7. Miyajima K, Miwa Y, Fuchigami T, Kitamoto Y, Fabrication of porous FePt micro-capsules for fiber-optic fluoroimmunoassay of environmental allergens, EM-NANO 2015, Niigata, Japan, 16-19 June 2015.
 8. Toma K, Miki D, Yoshimura N, Miyajima K, Arakawa T, Yatsuda H, Mitsubayashi K, Repetitive measurement of house dust mites (*Der f1*) with surface acoustic wave (SAW) immunosensor for on-site monitoring of indoor allergens, 4th International Conference on Bio-Sensing Technology, Lisbon, Portugal, 10-13 May 2015.
 9. Miyajima K, Arai M, Toma K, Arakawa T, Shimomura H, Mitsubayashi K, Fiber-optic immunosensing device for house dust mite allergen in air, Bio4Apps 2014, Shanghai, China, 17-19 November 2014.
 10. 三輪勇樹, 淵上輝顕, 宮島久美子, 北本仁孝, 多孔質中空粒子の網目状構造シェル形成に与えるシリカコートの影響, 粉体粉末冶金協会平成 26 年度秋季大会, 大阪, 2014 年 10 月 29,30 日.
 11. Suzuki Y, Miyajima K, Arai M, Arakawa T, Shimomura H, Shiba K, Mitsubayashi K, Fiber-optic chemifluorescent immunoassay system for measurement of mite allergen *Der f1*, IUMRS International Conference in Asia 2014, Fukuoka, Japan, 24-30 August 2014.
 12. Miyajima K, Suzuki Y, Miki D, Arai M, Toma K, Arakawa T, Shimomura H, Mitsubayashi K, Fiber-optic chemifluorescent immunoassay for continuous monitoring of airborne mite allergen *Der f1*, 38th International Symposium on Environmental Analytical Chemistry, Lausanne, Switzerland, 17-20 June 2014.
 13. Miyajima K, Suzuki Y, Miki D, Arai M, Arakawa T, Shimomura H, Shiba K, Mitsubayashi K, Bioaerosol analysis of house dust mite allergen (*Der f1*) by fiber-optic chemifluorescent immunoassay system, Biosensors 2014, Melbourne, Australia, 27-30 May 2014.
 14. 宮島久美子, 鈴木友梨香, 新井萌花, 荒川貴博, 下村弘治, 三林浩二, 光ファイバ型化学蛍光法による居住空間中ダニアレルゲン(*Der f1*)免疫計測に関する研究, 電気化学会第 81 回大会, 大阪, 2014 年 3 月 29-31 日.
 15. Suzuki Y, Miyajima K, Arakawa T, Mitsubayashi K, Fiber-optic chemifluorescent immunoassay system for on-site monitoring of airborne mite allergen *Der f1*, Bio4Apps 2013, Tokyo, 30,31 October 2013.
 16. Miki D, Miyajima K, Arakawa T, Mitsubayashi K, Fiber-optic fluoroimmunoassay system for on-site determination of *Der f1* in residential environment, Bio4Apps 2013, Tokyo, 30,31 October 2013.
- 〔図書〕(計 2 件)
1. 宮島久美子, 三林浩二, 医療・健康科学のためのバイオセンシング 気相バイオ計測技術を用いた生体ガス及びアレルギーモニタリング, クリーンテクノロジー-2015 年 1 月号, pp. 18-24, 日本工業出版株式会社, 東京, 2015.
 2. 宮島久美子, 三林浩二, スマートヒューマンセンシング~健康ビッグデータ時代のためのセンサ・情報・エネルギー技術~, 第 6 章 浮遊アレルギー物質のモニタリング, pp. 247-254, シーエムシー出版, 2014.
- 〔産業財産権〕
出願状況 (計 1 件)
1. 名称: 固相標的物質用捕集部材、固相標的物質検出システム、固相標的物質の捕集方法及び固相標的物質の検出方法
発明者: 三林浩二, 荒川貴博, 宮島久美子
権利者: 国立大学法人 東京医科歯科大学
種類: 特許
番号: 特願 2014-027788
出願年月日: 2014 年 2 月 17 日
国内外の別: 国内
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
宮島 久美子 (MIYAJIMA, Kumiko)
東京工業大学・物質理工学院・
JSPS 特別研究員
研究者番号: 10516298
 - (2) 研究協力者
三林 浩二 (MITSUBAYASHI, Kohji)
東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・
教授
研究者番号: 40307236
- 荒川 貴博 (ARAKAWA, Takahiro)
東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・
講師
研究者番号: 50409637
- 當麻 浩司 (TOMA, Koji)
東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・
助教
研究者番号: 40732269