

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 4 月 2 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360088

研究課題名（和文） 多次元マイクロ・プロセス・トモグラフィー法によるバイオ流体チップの開発と計測

研究課題名（英文） Development of Bio fluid chip and measurement by Multi-dimensional micro process tomography method

研究代表者

武居 昌宏（TAKEI MASAHIRO）

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90277385

研究成果の概要（和文）：MEMS 技術を駆使し 80 個のセンサからなるセンサを備えたマイクロ流路を完成させた。そのマイクロ流路は、積層させた石英とプラチナ電極からなる。そして、5 個の断面計測可能な多次元マイクロ・プロセス・トモグラフィー(MPT)法を構築し、多次元 MPT センサを完成させた。製作したマイクロ流路内で、高濃度細胞を模擬した微粒子濃度分布の多次元可視化計測を行い、精度を検討した。シミュレーションには、オイラー・ラグランジュ法を用いた。実験結果とシミュレーション結果とは適切に一致していることを確認した。微粒子濃度分布の多次元計測を行い、超微小・高濃度細胞適用可能な多次元フローサイトメトリーやリアルタイム遺伝子解析の実現性を検討した。

研究成果の概要（英文）：The novel microchannel using quartz glass and platinum wire with the five measurement cross-sections and the embedding 80 electrodes in each cross-section has been successfully fabricated by MEMS process. The 3D particle concentration distribution in a particle-liquid two-phase flow in the novel microchannel was revealed by the micro process tomography (MPT) method. In the obtained 3D reconstruction image, the dielectric particle-injected area appears to have a high particle concentration, and the deionized water-injected area appears to have a low particle concentration along the x -axis. A comparison of the qualitative results for the 3D reconstruction image and the quantitative results for the particle concentration along the x -axis reveal that the particles are reasonably well distributed in the particle-injected area of the cross-section. In addition, numerical simulations combining the discrete Lagrangian method for the particle phase and the Eulerian method for the liquid phase are performed in order to verify the MPT reconstruction image. The particle concentration pattern calculated by the numerical simulations agrees qualitatively with the MPT reconstruction image in the microchannel.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|------------|-----------|------------|
| 2009 年度 | 7,200,000 | 2,160,000 | 9,360,000 |
| 2010 年度 | 4,500,000 | 1,350,000 | 5,850,000 |
| 2011 年度 | 3,100,000 | 930,000 | 4,030,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 14,800,000 | 4,440,000 | 19,240,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：流体工学・混相流

キーワード：医療・福祉 可視化 マイクロ・ナノデバイス

1. 研究開始当初の背景

現在、細胞解析や細胞挙動計測が広く研究されているが、バッチ解析(リアルタイムではない解析)が主流で、非常に多くの時間と労力を要する。次世代の超高速解析の足かせとなり、細胞サイズが小さくなるほど、濃度が高くなるほどその解析は難しくなる。微小細胞や細胞の超高速解析は、急務の研究課題である。その解決の一つの可能性が極微小なマイクロ流路である。例えば、フローサイトメトリー(細胞数をカウントする装置で血液分析には必須)では、一次元的に一行に細胞を配列させて電極を通過するときのピークをカウントする必要があるが、測定可能な細胞の最小サイズは $0.5\mu\text{m}$ 程度あり、最大濃度は 5×10^6 個/ml 程度である。それ以下の大きさの細胞やそれ以上の濃度では、一行に細胞を配列できず、測定不可能となる。一方、細胞解析では、電気泳動法を用いたバッチ解析が主流で、単純な解析でも数十時間を要する。本研究代表者らは、効率的にマイクロ流路内の微粒子を可視化計測できるバイオ流体チップの研究開発を進めている。その実現には、流路内の微粒子濃度や流速の多次元計測が非常に重要なキープポイントとなる。一般的に、マイクロ流路内の微粒子の流動挙動の計測は、顕微鏡と PTV(Particle Tracking Velocimetry) の組み合わせ技術により行われ、マイクロ流路断面を計測する方法はなく、高濃度では計測不可能となる。

2. 研究の目的

マイクロ流路内で微粒子の 3 次元可視化計測法を確立させ、シミュレーションによりその精度を確認し、超微小・高濃度細胞適用可能な多次元フローサイトメトリーやリアルタイム細胞解析の実現性を検討することを目的とする。

3. 研究の方法

1 年ごとに次の 3 つのフェーズを元に研究を進めた。フェーズ 1(平成 21 年度)では、10 個の断面計測可能な多次元 MPT センサからなるマイクロ流路を完成させ、その画像再構成のソフトウェアを多次元 MPT センサ用にアレンジした。具体的には、次の通りである。

- ◆実施項目：①多次元 MPT バイオ流体チップの詳細設計：前年にすでに実施した基本設計を元に、今までにない 80 個もの大多数の電極をマイクロ流路に配置したセンサを設計し、MEMS センサを応用した MPT を製作して固液二相流のキャパシタンスを測定した。微粒子の三次元的な分布を求めることができた。
- ◆実施項目：②多次元 MPT バイオ流体チッ

プの製作：基本設計に従い、自作にて制作し、その製造ノウハウも蓄積することができた。電気的な処理、AD 変換器後のソフトウェア的処理なども、自作にて行った。

- ◆実施項目：③多次元 MPT 用感度マップの計算：マイクロ流路断面マイクロ粒子位置の全パターンについて感度マップを計算した。本研究代表者が開発した IPT において実績の有る一般化ベクトル・サンプルドパターンマッチングを用いた画像再構成法のパラメータを、多次元 MPT 用に最適に調整した。キャパシタンス値の特徴成分のみを抽出できた。静止した一様分散液体をセンサ内に挿入し、周波数特性を把握し、そのキャパシタンス値の妥当性を定量的に検討し、センサの各周波数条件を変化させ、精度が高くなるように周波数およびセンサを調整した。16 個のセンサへの交流周波数は 100Hz~100MHz まで可変とした。センサ出力は大幅にノイズが含まれていたため離散ウェーブレットによるノイズ処理法を適用した。

フェーズ 2(平成 22 年度)では、製作したマイクロ流路内で、高濃度細胞を模擬した微粒子濃度分布の多次元計測を行い、精度を検討した。具体的には次の通りである。

- ◆実施項目：①超高速スイッチング装置のプログラミングと調整：80 の電極間の超高速スイッチングと電位印加の同期を取るために、マトラボを用いてプログラミングを行った。静止一様分散液体を用い、作成したプログラムを調整しつつ、その精度の評価を行った。
- ②マイクロシリンジポンプからの定量供給における画像再構成の調整：次の段階として、粒子濃度分布を可視化計測するために、マイクロシリンジポンプから多次元 MPT バイオ流体チップ内に、実際に微粒子を供給した。
- ③マイクロ流路内の微粒子挙動の多次元 MPT による可視化計測実験：さらに段階を進め、多次元 MPT バイオ流体チップを用い、流量、供給量をさまざまに変化させた。これにより多種の濃度分布画像を取得しデータベースを構築した。

フェーズ 3(平成 23 年度)では、微粒子濃度分布の多次元計測精度を確認するために、オイラー・ラグランジュ法により検討した。

- ◆実施項目：①濃度分布アルゴリズムの開発と混相流シミュレーション：相関法を用いた濃度分布の計算のためのアルゴリズムを開発した。さらに、実験結果を検証するためにシミュレーションを行った。
- ◆実施項目：②オイラー・ラグランジュ法によりシミュレーションを行った。

4. 研究成果

平成 21 年度

多次元 MPT バイオ流体チップ内に、実際に微粒子を供給し、濃度の初期条件をパラメータとし、静止状態でその粒子濃度分布を可視化計測した。これらのデータを元に、データベースを構築した。80 個の断面計測可能な多次元 MPT センサからなるマイクロ流路を完成させて、その画像再構成のソフトウェアを多次元 MPT センサ用にアレンジすることができた。

平成 22 年度

本年度はフェーズ 2 「多次元 MPT バイオ流体チップによる微粒子濃度分布の多次元計測」を行った。昨年度製作した多次元 MPT により、流量の初期濃度をパラメータとし、微粒子の濃度分布を、マイクロ流路断面二次元+時間の分布画像として可視化計測し、微粒子混相流の多次元フローサイトメトリーを開発した。

平成 23 年度

精度検討したマイクロ流路断面二次元で微粒子の濃度分布を計測し、シミュレーションにより実験結果の検証を行った。その結果、良好な一致が見られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 17 件) 全て査読有

1. Nur Tantiyani ALI OTHMAN, Hironichi OBARA, Je-Eun CHOI, and Masahiro TAKEI, Temporally Transitional Cross-Sectional Capacitance Measurement of Micro Particles Concentration in the Microchannel, *Japanese Journal of Multiphase Flow*, Vol. 25 No. 5 (2011)
2. Achyut SARKOTA, Masahiro TAKEI, Takashi YAMANE and Yukitaka SHINODA, Impedance Spectroscopic Measurement of Particle Concentration in Solid-Liquid Two-Phase Flow, *Journal of JSEM*, Vol. 11, Special Issue (2011) (日本実験力学学会論文誌), SS162-SS167
3. V S Ghali, R Mulaveesala and M. Takei, Frequency modulated thermal wave imaging for non destructive testing of carbon fiber reinforced, plastic materials, *Measurement Science and Technology, IOP Science, Meas. Sci. Technol.* 22 (2011) 104018 (4pp)
4. Tong Zhao, Kai Liu, Je-Eun Choi, Yahui Cui, Masahiro TAKEI, Deog-Hee Doh, Wavelet Analysis of Particle Distribution in Down-flow Fluidized Bed based on Electrical Capacitance Tomography Images, *Powder Technology*, Volume 211, Issues 2-3, 10-25 August 2011, Pages 264-274,
5. T. Zhao, K. Liu, Y. Cui and M. Takei, Three-dimensional simulation of the

particle distribution in a downer using CFD-DEM and comparison with the results of ECT experiments, *Advanced Powder Technology, Elsevier*, Vol. 21 (2010), pp. 630-640

6. T. Zhao, M. Takei and D.H. Doh, ECT Measurement and CFD-DEM Simulation of Particle Distribution in a down-flow fluidized bed, *Flow Measurement and Instrumentation, Elsevier*, Vol. 21, Issue 3 (2010) pp. 212-218

7. J.E. Choi and M. Takei, Fabrication of Microchannel with 60 electrodes and Resistance measurement, *Flow Measurement and Instrumentation, Elsevier*, Vol. 21, Issue 3 (2010) pp. 178-183

8. M. Honda, T. Noguchi, D.H. Doh, M. Takei and S. Ishii, Conditional Sampling Stereoscopic PIV Measurements around the Blade of the Vertical Axis Wind Turbine, *Journal of Japanese Society for Experimental Mechanics*, (日本実験力学学会誌), Vol. 10 (2010) pp. 73-78

9. K. Oshii, J.E. Choi, H. Obara, M. Takei, Measurement of Dielectrophoretic Velocities of Microparticles in a Minichannel, *Journal of Japanese Society for Experimental Mechanics* (日本実験力学学会誌), Vol. 10 (2010) pp. 79-84

10. N. Guan, L. Zhigang, M. Takei and C. Zhang, Boiling Heat Transfer in Micro-Capillary-Grooves with Different Structured Surfaces of Micro-Cavities, *Experimental Heat Transfer, Taylor & Francis*, Vol. 23 Issue 3 (2010) pp. 217-234

11. T. Zhao and M. Takei, CFD-DEM Simulation of Particle Behaviors under Acceleration in a Solid Air Two Phase Flow, *日本冷凍空調学会論文集*, Vol. 27 No. 2 (2010) pp. 161-168

12. J.E. Choi, M. Takei and D.H. Doh, Proposal of Resistivity Distribution Tomography Measurement Method of Two-Phase Flow in Microchannel for Heat Exchanger, *日本冷凍空調学会論文集*, Vol. 27 No. 2 (2010) pp. 139-147

13. J.E. Choi, M. Takei and D.H. Doh, Simulation of the relationship between the Current Pattern and Particle Distribution in Electrical Resistance Tomography, *Japanese Journal of Multiphase Flow 混相流*, (日本混相流学会論文集), Vol. 24, No. 2 (2010) pp. 179-188

14. 崔題恩、武居昌宏, マイクロ・プロセス・トモグラフィ法における電流パターンと二相流再構成画像のシミュレーション, *可視化情報学会論文集*, Vol. 30, No. 3 (2010)

pp. 17-24

15. T. Zhao and M. Takei, Discussion of the solids distribution behavior in a downer with new designed distributor based on concentration images obtained by electrical capacitance tomography, *Powder Technology, Elsevier*, Vol.198, Issue1 (2010) pp.120-130

16. D. H. Doh, H. J. Jo, T. G. Hwang, B. Y. Koo, M. Takei, T. Tanaka and T. Uemura, Development of an adaptive stereoscopic-PIV system for the analyses of the flow-structure interactions (FSI) of air-lifted bodies, *Chemical Engineering Communications, Taylor & Francis*, Vol. 196, No. 122 (2009) pp. 1437-1450

17. M. Takei, T. Zhao and K. Yamane, Measurement of Particle Concentration in Powder Coating Process Using Capacitance Computed Tomography and Wavelet Analysis, *Powder Technology, Elsevier*, Vol.193, Issue1 (2009) pp.93-100

[学会発表] (計 76 件)

1. Nur Tantiyani ALI OTHMAN, Je-Eun CHOI, Hiromichi OBARA and Masahiro TAKEI, Particle Concentration In-Transition at Upstream and Downstream of Cross-section in, Microchannel System by Using Capacitance Sensing, 11th International Conference on Fluid Control, Measurements and Visualization, National Taiwan Ocean University, Taiwan, December 5-9, 2011

2. Nur Tantiyani ALI OTHMAN, Je-Eun CHOI, Hiromichi OBARA and Masahiro TAKEI, Cross-Sectional of Capacitance Measurement In-Transition of Particle Concentration in Microchannel System, 22nd MHS2011 & Micro-Nano Global COE, Nagoya, Japan Nov. 6-9, 2011

3. Kota SUZUKI, Hiromichi OBARA, JeEun CHOI and Masahiro TAKEI, Analysis of Dielectrophoretic force acting on particles in minichannel, The 6th International Symposium on Advance Science and Technology in Experimental Mechanics, Osaka, Japan Nov. 3-5, 2011

4. Je-Eun Choi, Mohd Sobri Takriff and Masahiro TAKEI, 3D transition measurement of particle-liquid two-phase flow and simulation in microchannel by process computed tomography, 4th International Workshop on Process Tomography, Chengdu, China, September 21-23, 2011

5. Nur Tantiyani Ali Othman, Je-Eun Choi, Mohd Sobri Takriff and Masahiro TAKEI,

Proposal of 3D Active Particle Sensing by Using Process Tomography Sensing and Dielectrophoresis, 4th International Workshop on Process Tomography, Chengdu, China, September 21-23, 2011

6. Tong ZHAO, Masahiro TAKEI, Kai LIU, Yahui CUI, Visualization of Particle Distribution in Circulating Fluidized Bed under Swing Motion by Means of ECT, The 7th International Symposium on Measurement Techniques for Multiphase Flows, Tianjin, China, September 17-19, 2011

7. J. Choi, M. Takei, 3D Tomographic Transition of Particle Distribution in Microchannel, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, Hamamtsu, 24-29, July 2011

8. N. Ali Othman, J. Choi, M. Takei, 3D Particle Sensing and Mixing in Microchannel by Electrical Capacitance Tomography and Dielectrophoresis, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, Hamamtsu, 24-29 July 2011

9. D. H. Doh, G. R. Cho, C. J. Lee, J. E. Choi and M. Takei, A Hybrid PTV Using an Affine Transformation, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, Hamamtsu, 24-29 July 2011

10. A. Sapkota, M. Takei, O. Maruyama, R. Kosaka, T. Yamane, Multifrequency Electrical Impedance Analysis of the Solid-Liquid Two Phase Flow (An Application in Blood Flow Monitoring), The 9th Asian symposium on Visualization, Niigata, 5-9 June 2011

11. D. H. Doh., G. R. Cho., Y. H. Kim, C. J. Lee, J. E. Choi and M. Takei, Performances of a New Hybrid PTV, The 9th Asian symposium on Visualization, Niigata, 5-9 June 2011

12. 崔題恩、武居昌宏、マイクロ・プロセス・トモグラフィー法を利用したマイクロチャンネル 混相流の抵抗率の分布、日本混相流学会年会講演会 2010 (静岡大学)、2010年7月17日-19日

13. 藤原琢也、趙桐、武居昌宏、揺動する循環流動層内における触媒粉体濃度分布のキャパシタンス CT 計測、第 15 回動力・エネルギー技術シンポジウム (早稲田大学)、2010年6月21日-22日

14. R. Mulaveesala, S. V. Ghali, M. Amarnath, V. K. Gupta, and M. Takei, Nonstationary thermal wave imaging techniques for nondestructive testing, SPIE conference on Smart Structures/NDE 2011, San Diego, California, USA, 6-10 March 2011

15. J. E. Choi and M. Takei, Sub-Micro Particle Distribution of Measurement and

- Simulation in Cross-section of Microchannel by Process Computed Tomography, IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 2010 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science, Nagoya, Japan, November 7-10, 2010
16. M.Hatakeyama, M.Takei and S.Yakubo, Pressure Measurement in Elastic Tube Changing Cross Section Area, The 5th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, Kyoto, November 4-7, 2010
17. K.G.Basario, J.E.Choi and M.Takei, Determining Temperature Distribution on a Polycarbonate material during phase Change using Electrical Capacitance Tomography, The 5th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, Kyoto, Japan, November 4-7, 2010
18. Y.Itoh and M.Takei, Impedance Spectroscopic Measurement of Particle Concentration in Solid-liquid Two-phase Flow, The 5th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, Kyoto, Japan, November 4-7, 2010
19. R.Mulaveesala and M.Takei, Frequency Modulated Thermal Wave Imaging for Non Destructive Testing, 6th World Congress on Industrial Process Tomography, Beijing, China, September 6-9, 2010
20. J.E.Choi and M.Takei, 3D Sub-Micro Particle Distribution in Microchannel by ECT and Comparison with Simulation, 6th World Congress on Industrial Process Tomography, Beijing, China, Sep.6-9, 2010
21. T.Zhao and M.Takei, CFD-DEM Simulation and Laser CT Measurement of Particle Dispersion Behaviors in an Accelerative Container, 6th World Congress on Industrial Process Tomography, Beijing, China, September 6-9, 2010
22. Y. Liu, J.E.Choi and M.Takei, Experimental Residence Measurement on Solid -liquid Two-phase Flow in Microchannel, 6th World Congress on Industrial Process Tomography, Beijing, China, September 6-9, 2010
23. M.Takei, Fabrication of 80 Electrodes Embedding Micro Channel and Tomographic Concentration Measurement in Liquid Particle Flow, 15th Annual International Symposium on Chemical-Mechanical Planarization, Lake Placid, NY, USA, Aug.8-11, 2010
24. J.E.Choi, T.Zhao and M.Takei, 2D Measurement and Simulation of Microparticle Cross-Sectional Distribution by micro process Tomography, Proceedings of the 3rd joint US- European Fluids Engineering Summer Meeting and 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels, Montreal, Canada, August 1-5, 2010
25. N.Guan, Z.Liu, M.Takei and C.Zhang, Numerical Investigation of Laminar Flow and Heat Transfer in Micro-Cylinder-Groups, Proceedings of the 3rd joint US-European Fluids Engineering Summer Meeting and 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels, Montreal, Canada, Aug.1-5, 2010
26. G.V.Subbarao, R.Mulaveesla and M.Takei, Cross-Correlation Based Compression Technique for Frequency Modulated Thermal Wave Imaging, 10th International Conference on Quantitative IR Thermography (QIRT 2010), Québec City, Canada, July 27-30th, 2010
27. D.H.Doh, G.R.Cho, H.J.Jo, Y.W.Lee and M.Takei, Comparisons of Volume-PTV and Tomo-PIV, International Symposium on Flow Visualization, Daegu, Korea, June 20-24, 2010
28. J.E.Choi and M.Takei, Particle Concentration of 3D-Imaging in Microchannel by Process Computed Tomography Method, International Symposium on Flow Visualization (ISFV14), Daegu, Korea, June 20-24, 2010
29. T.Zhao and M.Takei, Study of the Catalyst Distribution in a New Designed Downer Distributor Using ECT and CFD-DEM Method, 7th International Conference on Multiphase Flow, Florida, USA, May 30-June 4, 2010
30. T.Zhao and M.Takei, Particle Behaviors under Acceleration Condition in Solid-Air Two Phase Flow, The 18th International Conference on Nuclear Engineering, Xi' an, China, May 17-21, 2010
31. M.Takei, T.Zhao and J.E.Choi, New Distributor Design for Circulating Fluidized Bed and Particle Distribution Measurement by Electrical Computed Tomography, The Korea Japan Joint Seminar on Dynamic Measurements for Multi-Scales & Multi-physics , Naha, Feb.26-28, 2010
32. M.Honda, T. Noguchi, D.H.Doh, M.Takei and S.Oshii, Conditional Sampling Stereoscopic PIV Measurement around Blade

of Vertical Axis Wind Turbine, The 4th International Symposium on Advanced Fluid/ Solid Science and Technology in Experimental Mechanics, Niigata, Nov. 28-30, 2009

33. K. Oshii, J.E. Choi, H. Obara and M. Takei, Movement of Micro Particles under Electrical Field, The 4th International Symposium on Advanced Fluid/ Solid Science and Technology in Experimental Mechanics, Niigata, Japan, November 28-30, 2009

34. T. Zhao, M. Takei, and T. Fujiwara, 3D Simulation of the Solid Distribution in a Downer- a Comparison Study with the Experiments Using ECT, The 4th Asian Particle Technology Symposium (APT2009), New Delhi, India, September 16, 2009

35. T. Zhao and M. Takei, Particle Distribution in CFB with a New Designed Distributor using DEM Simulation and ECT, 6th International conference for Conveying and Handling of Particles Solids (CHoPS), Brisbane, Australia, August 4, 2009

36. J.E. Choi and M. Takei, Impedance Measurement in Multilayer Connector System of Micro Channel with Different Frequency, 7th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels, Pohang, Korea, June 23, 2009

37. M. Honda, M. Takei, T. Zhao and J.E. Choi, Multi- Dimensional Visualization of Multiphase Flow Using Electric Tomography and Stereoscopic-PIV, What Where When Multi-dimensional Advances for Industrial Process Monitoring, Leeds, UK, June 23, 2009

38. T. Zhao and M. Takei, Discussion of Nozzle Structure in Air-Solid Flow from Process Tomography Image, 12th International Freight Pipeline Society Symposium, Istanbul, Turkey May 29, 2009

39. T. Zhao and M. Takei, ETC Measurement and DEM Simulation of Particle distribution in a Down -Flow Fluidized Bed, The 3rd International Workshop on Process Tomography (IWPT-3), Nihon University, Tokyo, April 15, 2009,

40. J.E. Choi and M. Takei, Cross-Sectional Impedance Measurement of Nano Particle Flow in Microchannel, The 3rd International Workshop on Process Tomography (IWPT-3), Nihon University, Tokyo, April 15, 2009,

41. Y. Shimohara, D. Ito, H. Kikura, M. Aritomi and M. Takei, Micro Bubbly Flow Measurement using Narrow Wire-Mesh Sensor,

The 3rd International Workshop on Process Tomography (IWPT-3), Nihon University, Tokyo, April 15, 2009

42. Y. Shimizu, D. Ito, H. Kikura, M. Aritomi and M. Takei, Flow Measurement in Open Channel using Ultrasonic Array Sensor, The 3rd International Workshop on Process Tomography (IWPT-3), Nihon University, Tokyo, April 15, 2009,

43. 崔題恩、武居昌宏、3D 電極を絡み込んだマイクロ流路の製作とシミュレーション、第 87 期日本機械学会年流体力学部門講演会 (名古屋工業大学)2009 年 11 月 7 日

44. 押井和毅、崔題恩、小原弘道、武居昌宏、電場による粒子挙動の可視化、可視化情報全国講演会 (米沢 2009) 2009 年 10 月 24 日

45. J.E. Choi and M. Takei, Simulation of Relationship between Current Pattern and Flow Pattern for in Microchannel、日本混相流学会年会講演会 2009 (熊本大学)、2009 年 8 月 16 日

46. 伊藤勇人、武居昌宏、固液二相流の電気 CT におけるキャパシタンスの計測、年次大会 日本機械学会 (岩手大学)、2009 年 9 月 14 日

47. 藤原琢也、趙桐、武居昌宏、DEM シミュレーションによるダウンナー内の粒子挙動の可視化とトモグラフィ画像との比較、第 14 回動力・エネルギー技術シンポジウム (筑波大学)、2009 年 6 月 29 日

48. 武居昌宏、粉体製造プロセス制御を目指したプロセス・トモグラフィの基礎研究、第 2 回粉体工学情報センター助成研究講演春期研究発表会講演論文集、総評会館 (東京)、2009 年 5 月 26 日

49. 武居昌宏、キャパシタンス・トモグラフィによる固気二相流の計測、日本粉体工業技術協会粉体工業技術センター教育部門第 48 回粉体技術専門講座 粉体輸送における計測技術とその応用、名古屋国際センター、2009 年 9 月 30 日、

ほか 27 報

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.em.eng.chiba-u.jp/~takei/top.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武居 昌宏 (TAKEI MASAHIRO)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90277385

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし