

平成 21 年 5 月 16 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560183

研究課題名（和文） マイクロ流路一体型レジスタンス CT の製作とナノ粒子濃度の計測

研究課題名（英文） Manufacture of Resistance CT integrated in Micro Channel and Measurement of Nano Particle Concentration

研究代表者

武居 昌宏 (TAKEI MASAHIRO)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号：90277385

研究成果の概要：多次元 MPT センサを製作し、マイクロ流路断面ナノ粒子位置の全パターンの感度マップを計算した。さらに、定量供給における画像再構成法のパラメータを、最適に調整した。実際にナノ粒子をマイクロチャンネル内に供給し、ナノ粒子濃度をインピーダンスの時間変化として計測した。電圧を周波数パラメータとして振ったところ、マイクロチャンネル内で粒子に動きを与えることがわかり、ある一定の周波数ではナノ粒子は静止した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

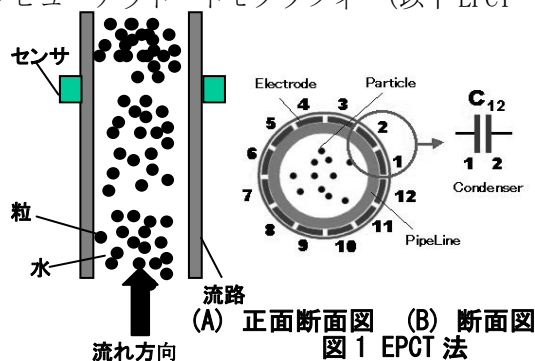
科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：固気二相流、混相流、定量的可視化、ナノ粒子、マイクロ一体型レジスタンス

三次元計測、MEMS センサ

## 1. 研究開始当初の背景

図1に示した通り、本研究の対象である抵抗やキャパシタンスなどの電気プロセス・コンピュータド・トモグラフィ(以下 EPCT



と略記)法に関して、本研究代表者は、1998年から英国のマンチェスター工科大学 (UMIST) とともに、基礎研究をスタートしており、1999年には、プロトタイプ of EPCT 装置が完成している。

## 2. 研究の目的

現在、ナノテクノロジーを駆使したナノ粒子の創成が盛んに行われている。しかしその製造過程はバッチ式によるものであり、より効率的な高機能性ナノ粒子の創成には、マイクロ流路内におけるナノ粒子の貯蔵・輸送・分級が必要不可欠となっている。その貯蔵・輸送・分級を高精度で実現するうえでマイクロ流路内のナノ粒子濃度や流速の計測が、非

常に重要なキーポイントとなってくる。現在マイクロ流路内のナノ粒子の流動挙動について、顕微鏡とPTV(Particle Tracking Velocimetry)の組み合わせ技術により、計測が行われている。しかしながら、この手法では管路の長手方向のみの測定しかできず、管路断面のナノ粒子の分布を測定することは、まったくのところ不可能である。従って、実際には三次元的な挙動をしているナノ粒子ではあるが、その投影面の挙動を測定しているに過ぎない。

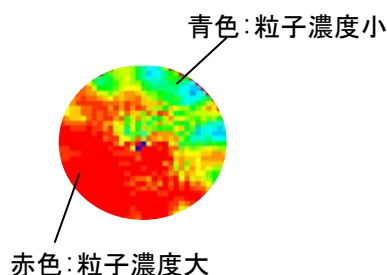


図2 EPCTにより得られた粒子濃度分布

このような問題に対して、本研究代表者は、前述の通り EPCT 法という新しいコンセプトを提案した。EPCT は電極を管路外周に例えば 12 個程度配置させ、その各電極間のキャパシタンスやレジスタンスを測定し、図 2 に示した通り画像再構成法により粒子濃度分布を再構成する手法で、構造が簡易であり、管路内の混相流濃度分布を非接触でかつ 1 フレーム画像あたり 1 ミリ秒の高速で取得できるといった特徴を持っている。本研究はこの EPCT をマイクロ流路に応用するものである。

本研究は、マイクロ流路一体型レジスタンス CT を実際に作製し、ナノ粒子流動挙動の計測の基礎的研究を行う。より具体的には、本研究では、その研究期間内に、(1)実際にマイクロ流路一体型レジスタンス CT のセンサを製作すること、(2)それをマイクロ流路断面内に濃度の異なる水ベースのナノ粒子を流動させ、その濃度分布の計測を行い、ナノ粒子混相流のダイナミクスを定量的に考察すること、の二つの明らかにするフェーズが存在し、各フェーズを一年の期間で行なった。

### 3. 研究の方法

本研究は、その研究期間内に、(1)フェーズ 1「マイクロ流路一体型レジスタンス CT センサの製作」、および、(2)フェーズ 2 の「マイクロ流路一体型レジスタンス CT によるナノ粒子流動挙動の計測」の二つのフェーズが存在し、各フェーズ一年の期間で、研究を進めた。

(1)平成 19 年度実施のフェーズ 1「マイクロ流路一体型レジスタンス CT センサの製作」

では、前期 4 月～9 月までに、図 3 に示した通り、実際にマイクロ流路一体型レジスタンス CT のセンサ (MPT センサ) を製作し、また、本研究代表者がソフトウェア開発し実績の有る分散ウェーブレットによるノイズ処理法の開発までも含め、これを実際のマイクロ流路一体型レジスタンス CT に応用した。さらに、後期 10 月～翌年 3 月までに、静止物体と移動物体をセンサ内に挿入し、その抵抗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センサを調整した。

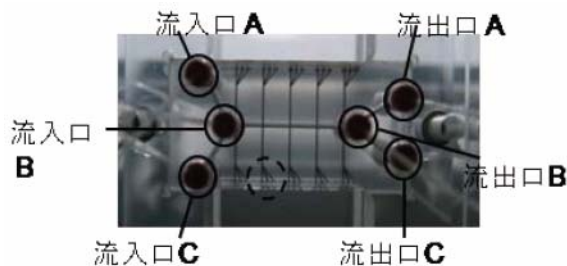


図3 完成した MPT センサ

(2) 20 年度実施予定のフェーズ 2 の「マイクロ流路一体型レジスタンス CT によるナノ粒子流動挙動の計測」では、製作したマイクロ流路一体型レジスタンス CT により、ナノ粒子を供給しインピーダンスを計測し流動挙動、ナノ粒子混相流のダイナミクスを明らかにした。

### 4. 研究成果

(1)新しく設計したマイクロ流路一体型レジスタンス CT に対して、ガウス法則とラプラス方程式の連立微分方程式を解き、管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。

(2)新しく開発したGVSPM法を用いた高精度な画像再構成法を、マイクロ流路一体型レジスタンス CT 用に改良してGVSPM法の最適なパラメータを調整した。

(3)マイクロ流路内のナノ粒子挙動のマイクロ流路一体型レジスタンス CT による計測実験流路一体型マイクロ流路一体型レジスタンス CT を使い、流量、供給量を変化させ、インピーダンスを計測した。

(4)高精度シリンダポンプからマイクロ流路一体型レジスタンス CT センサ内に、実際にナノ粒子濃度をパラメータに振り、その粒子濃度分布に起因するインピーダンスの時間変化を測定し、画像再構成により、濃度分布を計測した。

(5)まとめとしてマイクロ流路内のナノ粒子挙動のインピーダンスの変化のデータベースを作成し、本研究の有用性を確立した。

図 4 は本研究者が電気配線をほどこした 60 個の電極を備えたマイクロ流路である。研究で完成するマイクロ流路から得られるナノ粒子の濃度分布を基準として、マイクロ流路の入口から流入される液体の流量または濃度、反応部の温度、反応部の電磁場などを動的に制御することが

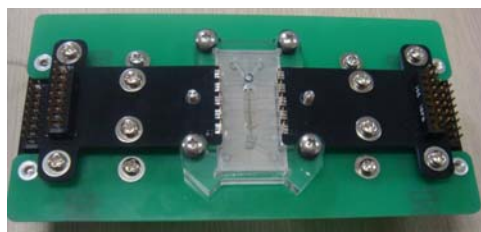


図 4 電気配線付 MPT センサ

できる次世代のマイクロリアクターが期待できる。さらに、ナノオーダーのリアルタイムのコントロールが可能な、サイトメトリーや遺伝子解析などのバイオチップ、マイクロリアクター、マイクロタス ( $\mu$  TAS)、ラボ・オン・チップなどにも応用が可能となる。いずれも、従来の手法より高速化、効率化が可能になり、その応用範囲は、化学やバイオをはじめ、環境やエネルギーの分野まで幅広く、さまざまな業界において実用化が期待され、ナノオーダーの機能性粉体工学の創製に発する産業的な波及効果は計り知れない。

#### 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 11 件)

1. T. Zhao and M. Takei, Design of Plug Formation detector based on Capacitance Measurement Technique, *Advanced Powder Technology* Vol. 19, 2008, pp. 559-572 (査読あり)
2. J. -E. Choi, M. Takei, D. H. Doh, H. -J. Jo, Y. A. Hassan and J. Ortiz-Villafuerte, Decompositions of Bubbly Flow PIV Velocity Fields Using Discrete Wavelets Multiresolution and Multi-Section Image Method, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 238, 2008 pp. 2055-2063 (査読あり)
3. T. Noguchi, M. Honda, M. Takei, K. Hoshino, S. Ishii and M. Ochi, Particles Concentration Measurement of Fluidized Bed in Wavy Flow by Impedance Method, *Journal of Japanese Society for Experimental Mechanics*, JSEM, Vol. 8, 2008, pp. 37-42 (査読あり)
4. K. Kofu, M. Ochi and M. Takei, Derivation of Predicted Pressure Drop Equation on

Granular Particle Plug Transportation in Horizontal Pipe, *Journal of Fluid Science and Technology*, Vol. 3, 2008pp.104-115 (査読あり)

5. T. Zhao, M. Takei, (他 4 名, 2 番目), Sensor Design and Image Accuracy for Application of Capacitance CT to the Petroleum Refinery Process, *Flow Measurement and Instrumentation*, Elsevier, Vol. 18, 2007, pp. 268-276 (査読あり)

6. M. Takei, D. H. Doh, M. Ochi, Electrical CT Image Reconstruction Technique for Powder Flow in Petroleum Refinery Process, *Experiments in Fluids*, Springer, Vol. 44, 2008, pp. 481-490 (査読あり)

7. L. Zhigang, G. Ning, M. Takei, An Experimental Investigation of Single-Phase Heat Transfer in 0.045mm to 0.141mm Microtubes, *Nanoscale and Microscale Thermophysical Engineering*, Taylor & Francis, Vol. 11, 2007, pp. 333-349 (査読あり)

8. 河府賢治、越智光昭、武居昌宏, 鉛直管粒子プラグ輸送の粒子流動を考慮した粒子速度と圧力損失予測式の提案、*粉体工学会会誌*, Vol. 44, 2007, pp. 723-731 (査読あり)

9. 河府賢治、越智光昭、武居昌宏, 水平管粒子プラグ輸送における圧力損失予測式の導出 (粒子種類および管内径に対する高応用性) *日本機械学会論文集 (B 編)*, Vol. 73, 2007, pp. 1868-1875 (査読あり)

10. TG. Hwang, M. Takei (他 2 名, 2 番目), Analysis of Fluid-Elastic-Structure Interactions in an Impinging Jet with Dynamic 3D-PTV and Non-contact 6D Motion Tracking System, *Chemical Engineering Journal*, Elsevier, Vol. 130, 2007, pp. 153-164 (査読あり)

11. Z. Liu, Y. Zhao, M. Takei, Experimental Study on Axial Wall Heat Conduction for Convective Heat Transfer in Stainless Steel Microtube, *Heat and Mass Transfer*, Springer, Vol. 43, 2007, pp. 587-594 (査読あり)

[学会発表] (計 24 件)

1. 下原康彰、武居昌宏、伊藤大介、木倉宏成、有富正憲、 $\mu$  WMS を用いた狭隘流路内気液二相流計測手法の開発、日本原子力学会 関東・甲越支部、第 2 回学生研究発表会-原子力・放射線分野-、2009 年 3 月 13 日、東海大学。
2. 趙桐、武居昌宏、キャパシタンス・トモグラフィによるダウンフロー層におけるノズル配置の影響分析、化学工学会 粒子・流体プロセス部会 (流動層分科会)、第 14 回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム、2008 年 12 月 11-12 日、大阪大学。

3. 藤原琢也、趙桐、武居昌宏、プロセス・トモグラフィによるダウンナー内の可視化と解析、可視化情報全国講演会(釧路 2008)、2008年10月11-12日、釧路市生涯教育センター。
4. N. Guan, Z. G. Liu, M. Takei and C. Zhang, Phase-Change Heat Transfer in Micro-Capillary Grooves with Different Micro-Caves Distributions, 日本混相流学会年会講演会 2008(会津), 2008年8月8-10日, 会津大学。
5. J. E. Choi and M. Takei, Micro Channel of Fabrication and Impedance Measurement, 日本混相流学会 年会講演会 2008(会津), 2008年8月8-10日, 会津大学。
6. J. E. Choi and M. Takei, Measurement of particle in Micro Channel with Electrical Impedance Tomography Technique, The International Symposium on integration of MEMS and Intelligent Electronics, August 23, 2008, Tokyo, Japan.
7. J. E. Choi, M. Takei and D. H. Doh, Micro Tomography by Electrode Impedance Method, The 13<sup>th</sup> International Symposium on Flow Visualization (ISFV 13), July 1-4, 2008, Nice, France.
8. 堀田俊輔、武居昌宏、齊藤兆古、レーザーCTによる回転槽内分散粒子の濃度分布計測、第36回可視化情報シンポジウム講演論文集 可視化情報学会、工学院大学、2008年7月22-23日。
9. 中村達也、武居昌宏、インピーダンス法による固液二相流内の粒子濃度の測定、第13回動力・エネルギー技術シンポジウム、2008年6月19-20日、北海道大学。
10. M. Takei and J. E. Choi, Application of Cross-Sectional Impedance Measurement Technique to Micro Channel, The 6th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels (ASME ICNMM 2008), June 23-25, 2008, Darmstadt, Germany.
11. Z. Liu, G. Ning and M. Takei, Flow and Heat Transfer in 0.0196mm Quartz Microtube, The 6th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels (ASME ICNMM 2008), June 23-25, 2008, Darmstadt, Germany.
12. J. -E. Choi, M. Takei, The Concept of Fabrication of Micro-Channel and Measurements of Flow, 日本機械学会 関東支部 第14期 総会講演会, 2008年3月14-15日, 東京海洋大学。
13. T. Zhao and M. Takei, Development and Industrial Application of Electric Capacitance Tomography CT2008: Tomography Confluence An International Conference on the Applications of Computerized Tomography, February 15-17, 2008, Kanpur, India.
14. 正木健太、趙桐、武居昌宏、キャパシタンスCTを用いた鉛直管内流動層の濃度分布計測、日本機械学会流体工学部門講演会、2007年10月17-18日、広島大学。
15. 堀田俊輔、武居昌宏、キャパシタンスCTによる固気二相流の周波数解析、日本機械学会創立110周年記念2007年年次大会、2007年9月9-12日、関西大学。
16. 趙桐、武居昌宏、電極を持つマイクロチャンネルの製作および固液流の横断面のインピーダンス計測、日本機械学会創立110周年記念2007年年次大会、2007年9月9-12日、関西大学。
17. M. Takei, Visualization of Catalysts Particle Flow Using Electrical Computed Tomography, 9<sup>th</sup> International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization (FLUCOME2007), September 16-19, 2007, Tallahassee, Florida, USA.
18. T. Zhao, M. Takei, R. Ogiso and K. Nakao Measurement of FCC Catalyst Fluidization Using Capacitance CT in Petroleum Refinery Process, World Congress on Industrial Process Tomography (WCIPT), September 3-6, 2007, Bergen, Norway.
19. 堀田俊輔、武居昌宏、齊藤兆古、CT画像のベクトル化による粒子濃度分布の解析、第35回可視化情報シンポジウム講演論文集 可視化情報学会、2007年7月24-25日、工学院大学。
20. E. Dominguez-Ontiveros, C. Estrada-Perez, Y. Hassan, J. Ortiz-Villafuerte, M. Takei, Time and Spatial Pressure and Velocity Correlation in a Microbubble Laden Boundary Layer, 日本混相学会 年会講演会 2007, 2007年6月22-24日, 札幌市コンベンションセンター。
21. T. Zhao, M. Takei, T. Itagawa, Concentration Measurement of Liquid-Solid Two-Phase in Mini-channel Using Impedance CT, 日本混相流学会 年会講演会 2007, 2007年6月22-24日, 札幌市コンベンションセンター。
22. 板川剛、武居昌宏、趙桐、ミニチャンネル内の流動の計測、日本機械学会 関東支部 第13期 総会講演会、2007年3月16-17日、宇都宮大学。
23. 中村達也、武居昌宏、固液二相流濃度分布測定のためのレジスタンスCTの開発、第12回動力・エネルギー技術シンポジウム 2007年6月14-15日、東京海洋大学。
24. T. Zhao, M. Takei, T. Itagawa, An Electric Measurement of Liquid-Solid Two-Phase flow in a mini-channel, 第12回

動力・エネルギー技術シンポジウム，2007年  
6月14-15日，東京海洋大学。

〔その他〕

<http://www.mech.cst.nihon-u.ac.jp/studies/takei/top.htm>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

武居 昌宏 (TAKEI MASAHIRO)  
日本大学・理工学部・准教授

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし