

三宅 亮

東京大学 大学院工学系研究科
教授

モデルベースによる水循環系スマート水質モニタリング網構築技術の開発

§ 1. 研究実施体制

(1)「東大マイクロ・ナノ流体」グループ

① 研究代表者: 三宅 亮 (東京大学工学系研究科、教授)

② 研究題目

水循環系スマート水質モニタリング網構築技術に関する研究

i) 研究項目 1: マイクロ流体対応モデルベース型開発環境構築

i - ②) マイクロ流体対応モデルベース型開発環境の高度化と改良

ii) 研究項目 2: 水質分析に必要なマイクロ流体要素の試作とモデル開発

ii - ②) マイクロ流体要素の試作とモデル化

iii) 研究項目 3: 水質モニタ対応モデルベース型開発環境構築と開発効率の評価

iii - ①) 水質モニタリングの現状調査と適用先の提案

iii - ②) 水質モニタ対応モデルベース型開発環境の構築

iii - ③) 水質モニタ設計・試作効率の評価

iv) 研究項目 4: スマート水質モニタリング網対応モデルベース型開発環境構築と検証

IV - ①) モニタリング網モデルベース型開発環境構築

(2)「日立水インフラ」グループ

① 主たる共同研究者: 遠藤 喜重 ((株)日立製作所 インフラシステム社 機械システム事業本部、
主管技師長)

② 研究題目

マイクロ流体要素・モニタ装置の試作研究

ii) 研究項目 2: 水質分析に必要なマイクロ流体要素の試作とモデル開発

ii - ②) マイクロ流体要素の試作とモデル化

iii) 研究項目3: 水質モニタ対応モデルベース型開発環境構築と開発効率の評価

iii - ①) 水質モニタリングの現状調査と適用先の提案

iii - ③) 水質モニタ設計・試作効率の評価

(3) 「広大ナノデバイス」グループ

① 主たる共同研究者: 横山 新 (広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所、教授)

② 研究題目

連続監視センサの試作研究

iii) 研究項目3: 水質モニタ対応モデルベース型開発環境構築と開発効率の評価

iii - ①) 水質モニタリングの現状調査と適用先の提案

(4) 「豊橋技科大」グループ

・主たる共同研究者: 村上裕二 (豊橋技術科学大学電気電子情報工学系、准教授)

・研究項目

マイクロ流体要素の試作研究

ii) 研究項目2: 水質分析に必要なマイクロ流体要素の試作とモデル開発

ii - ②) マイクロ流体要素の試作とモデル化

§ 2. 研究実施の概要

本研究では、水質モニタ内部のマイクロ流体要素 (μ -fluidics) レベルから、モニタを多点配置したシステムに至るまで動作予測・評価が可能な、マイクロからマクロまで統合した、HILS (Hardware In the Loop Simulator) 技術を核としたモデルベース型の開発環境基盤を構築するとともに、実際に水質モニタを試作し、開発効率 (設計・試作期間の効率化、設計性能等) の向上度合いを評価する。さらに多点に仮想的に水質モニタを配置した水質モニタリング網レベルの開発環境を利用し、試作した水質モニタの実環境変動下での動作安定性の評価を行い、モデルベース型開発環境の有効性を検証する。またこれを用いて多点モニタリング条件 (設置台数、測定頻度等) の探索を行う。以上の研究を4つの研究項目に分けて進める。その中で平成 25 年度は、i) 研究項目1「マイクロ流体対応モデルベース型開発環境構築」②HILS 技術を核としたマイクロ流体対応のモデルベース型開発環境基盤の高度化と改良、ii) 研究項目2「水質分析に必要なマイクロ流体要素の試作とモデル開発」②マイクロ流体要素の試作とモデル化の研究、iii) 研究項目3「水質モニタ対応モデルベース型開発環境構築と開発効率の評価」①水質モニタリングの現状調査と適用先の提案、②水質モニタ対応モデルベース開発環境の構築、③水質モニタ設計・試作効率の評価に関する研究、iv) 研究項目4「スマート水質モニタリング網対応モデルベース型開発環境構築と検証」①モニタリング網モデルベース型開発環境構築に関する研究を実施した。具体的内容について以下に記す。

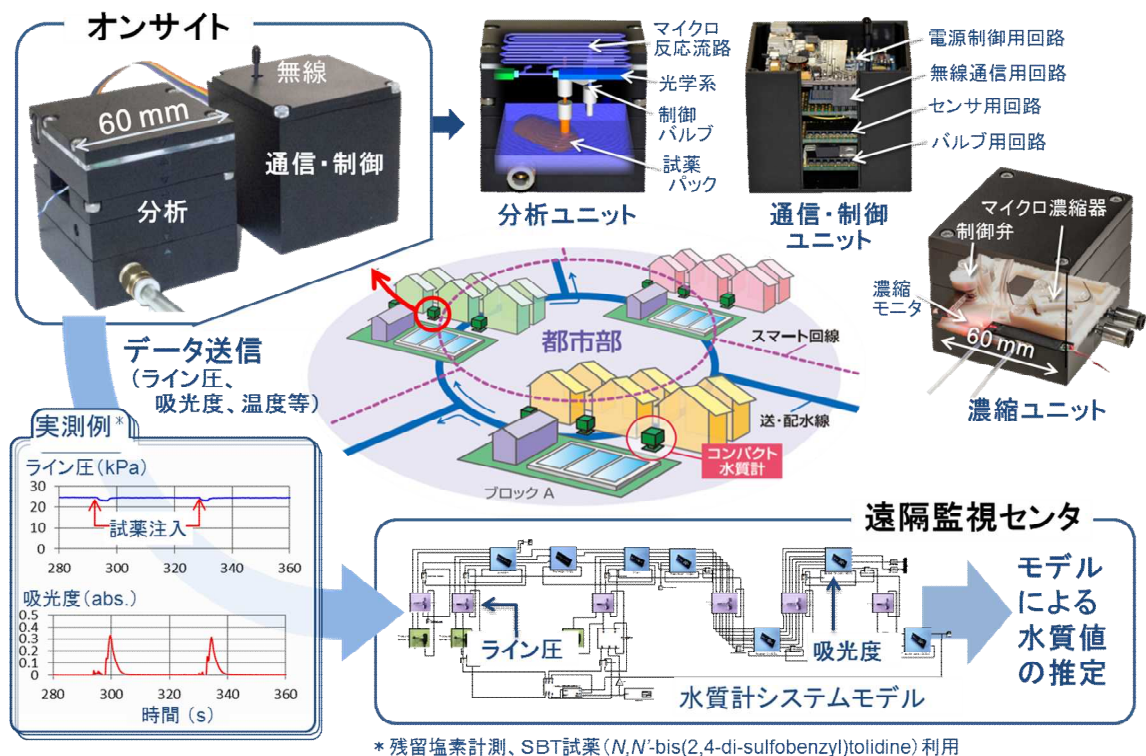
i) 研究項目1②のHILS技術は、水質モニタを模擬した仮想流体システムと実マイクロ流体要素とを同期させてハイブリッドでシミュレーションを可能とするものである。平成 25 年度は、特にHILSの演算能力の強化、実デバイスとの入出力の同期性を高めた系の構築、下位のモデルを簡略化する方法論の提案を行った。

ii) 研究項目2②では、水道水中の細菌数計測のために試料水を低温で蒸発させることで試料液の濃縮を行うマイクロエバポレータ型の濃縮器に対して、濃縮デバイスの周辺に流体・温度制御機能等を備えた小型パッケージ (60 mm 立方、図1濃縮ユニット参照) を製作し、基本性能を確認した。更に生細菌を顕在化させるための前培養反応デバイスの試作、細菌数を計測するためのシースフローセルの構造簡素化の検討を進めている。また硝酸・亜硝酸窒素の分析 (ナフチルエチレンジアミン吸光光度法) のための還元カラム (硝酸→亜硝酸) に対して、試料水の還元処理量増大 ($\sim 0.1 \mu\text{L/s} \rightarrow \sim 0.5 \mu\text{L/s}$) を図るために、高耐圧シームレス加工による4層構造のマイクロ還元デバイス (基材: Cu) を提案・試作した。また水道水中のトリクロラミンのフロー式分析の実現の鍵となる濃度勾配形成型滴定デバイスに対して、混合比によって発色の異なる色素を用いて濃度勾配の形成の確認と流動安定性の評価を行った。また濃度勾配検出用の白金電極アレイを流路末端に設けたデバイスを試作した。加えて懸濁粒子が混在する試料水のために、サイクロン型分離部と細孔フィルタを組み合わせた試料水フィルタを新たに考案・試作し、懸濁粒子の除去性能評価を開始した。

iii) 研究項目3①では、MBRなど膜を用いた浄化技術における膜の閉塞状態の予測・推定のために表面への異物付着を直接検知可能な技術について検討を進めている。特に水中に

実装しても漏電の恐れのない光共振リング型センサを提案、設置場所の温度変化などによる感度低下を抑制するために、参照検出部を並置搭載した差動型センサを試作、模擬試料（ショ糖液）を用いた実験で高感度・安定化への見通しを得た。研究項目3②では、実水質モニタと仮想水質モニタモデルを連動させて水質濃度値を推定・補正する遠隔計測システムについて、遊離残留塩素（SBT法）を例に、水質モニタ汎用プラットフォーム及び新たに開発したアルゴリズムを用いて、その有効性の検証を行った。研究項目3③では、モニタの更なる簡略化・小型化・低コスト化を図るために、残留塩素計測を対象に流路の専用設計を行い超小型の水質モニタ（60 mm立方、体積従来比約1/10）を実現した（図1、分析ユニット参照）。

iv) 研究項目4の①では、複数の仮想水質モニタと各水質モニタとの情報（制御信号、計測値、運転状態等）をやりとりする仮想モニタリング網システムモデルを提案した。また研究項目4②では、試作モニタを設置するモニタリングサイトを摘出し、それらサイト環境を想定して幾つかの無線形式（Bluetooth、ZigBee、WiFi等）を比較、距離・消費電力の観点から通信規格としてZigBeeを選定した。また図1に示すように、実際に無線制御・通信ユニットを試作、上記モニタと接続し、無線での安定動作が可能であることを確認した。



* 残留塩素計測、SBT試薬 (*N,N'*-bis(2,4-di-sulfobenzyl)tolidine) 利用

図1 分析ユニット、通信・制御ユニットから成る超小型水質モニタと仮想モデル連動計測

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

論文詳細情報(国内)

- 1 佐藤友美、三宅亮(2014年5月掲載予定)、振りマイクロ流路を用いたシースフロー形成, 日本機械学会論文集(マイクロ・ナノ工学)

論文詳細情報(国際)

- 2 Y. Murakami, K. Araki, R. Ohashi, H. Honma, N. Misawa, K. Takahashi, K. Sawada, M. Ishida (2014) Mems mixer as an example of a novel construction method of microfluidics by discrete microparts, Sensors and Actuators B, 194, 528-533 (DOI: 10.1016/j.snb.2013.12.100)
- 3 N. Hanamori, K. Aritome, Y. Takahata and R. Miyake, Research for Bacteria Culture in Droplet, proc. of ISMM 2013, Xiamen, China, May 19, P-I-67. [proceedings]
- 4 K. Aritome, W. P. Bula, K. Sakamoto, Y. Murakami and R. Miyake, Autonomous Compact Water Quality Monitor, proc. of ISMM 2013, Xiamen, China, May 20, 2013, 1-O-12. [proceedings]
- 5 W.P. Bula, Y. Takahata, K. Aritome, Y. Murakami, J.G.E. Gardeniers, and R. Miyake, Hybrid Technology (3D Additive Printing-Silico-Glass) Multiline Evaporative Concentrator for Water Quality Monitoring System, proc. of ISMM 2013, Xiamen, China, May 18, 2013, 1-O-3. [proceedings]
- 6 Y. Murakami, K. Araki, R. Ohashi, H. Honma, K. Takahashi, K. Sawada, and M. Ishida, MEMS MIXER AS AN EXAMPLE OF A NOVEL CONSTRUCTION METHOD OF MICROFLUIDICS BY DISCRETE MICROPARTS, proc. of Transducers 2013, Barcelona, Spain, June 16, 2013. 1958-1961. [proceedings]
- 7 W.P. Bula, Y. Takahata, K. Aritome, Y. Murakami, J.G.E. Gardeniers, and R. Miyake, Hybrid technology (3D additive printing-silicon-glass) multiline evaporative concentrator for water quality monitoring system, proc. of Transducers 2013, Barcelona, Spain, June 16, 2013, 400-403. [proceedings]
- 8 T. Taniguchi, Y. Amemiya, T. Ikeda, A. Kuroda, and S. Yokoyama, Fabrication and Evaluation of Differential Si Ring Optical Resonator for Biosensors, Extend. Abst. Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM2013), Tsukuba, September 8-11, 2013, 826-827. [proceedings]

- 9 Katsuhiko Aritome, Wojciech Piotr Bula, Kenji Sakamoto, Yuji Murakami and Ryo Miyake, 3D printed microfluidic devices and reconfigurable analysis system, proc. of Micro TAS 2013, Freiburg, October 30, 2013,1622-1624. [proceedings]
- 10 K. Araki, R. Ohashi, H. Honma, N. Misawa, K. Takahashi, K. Sawada, M. Ishida, Y. Murakami, Slurry packing placement of MEMS microparts assisted with gel microcapsule, proc. of Micro TAS 2013, Freiburg, October 29, 2013, 793-795. [proceedings]
- 11 Mitsuyoshi Tomida, Yuji Murakami, Nobuo Misawa, "FROG EGG-ARRAY DEVICCE INTEGRATED WITH FLUIDIC CHANNEL AND MICROELECTRODES FOR CHEMICAL SENSING, proc. of MEMS 2014, San Francisco, January26-30, 2014, 318-321. [proceedings]

(3-2) 知財出願

- ① 平成 25 年度特許出願件数 (国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数 (国内 5 件)