

三宅 亮

東京大学工学系研究科・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、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

## § 2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

本研究では、水質モニタ内部のマイクロ流体要素 ( $\mu$ -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24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」の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」の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」の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」の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1の②の HILS 技術は、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 24 年度は、実要素との間の応答速度に見合うモデルベース解析速度( $\sim 1$  m 秒)を確保するために演算能力の強化(ワークステーションの導入等)及び、アクチュエータと実デバイスを結ぶ伝達系の改良等を行い、入出力の同期性を高めた系を構築した。これを用いて、流動に関して仮想流体システムと実要素のハイブリッド動作を確認した。

ii)研究項目2の①、②では、水質分析に必要なマイクロ流体要素についてモデル化を行い、それらをデータベースとして記録・蓄積することを行う。平成 22 年度、23 年度にかけて試作・評価を行ったマイクロ濃縮器に対し、平成 24 年度は必要試料量を考慮して、16 チャネル並列の蒸発流路を備えた改良版濃縮器を試作し処理量増大を果たした。しかしながら温度制御系まで含めた小型化が不十分で、当該期間内に試作モニタに実装して評価するまでには至らなかった。また硝酸・亜硝酸性窒素モニタ用の還元カラムに関しては、取得した反応プロファイルを元にモデル化を行い、耐久性と反応性を向上させるための流路構造を提案、試作・評価を行い、一定の還元性能を得ることができた。また、水道水中のトリクロラミンを対象として、滴定を自動化するためのデバイスを提案し、原理試作を行った。

iii)研究項目3の①は、水質モニタリング現場でのヒアリングを実施し、実装性や耐久性などに関するニーズ調査を行う。平成 24 年度は、国内施設(東京都、岡山市、広島市等の浄水場及び

水質検査センター)及び海外の施設(シンガポール PUB/Water HUB)における、水質モニタリングに関する現場ニーズについて調査を実施、その結果、当初からの測定対象(一般生菌数、硝酸態窒素、トリクロロアミン)に加えて、上水道配管網末端における残留塩素計測について、多点化、簡便化、小型化等に対し強い潜在的ニーズがあることがわかったため、これらの課題解決に向けた残留塩素用モニタを新たな試作対象として追加することとした。また浄化プラントでの水質連続監視に向け、光学センサを未処理水に浸漬、連続計測を実施し、技術課題の抽出を図った。研究項目3の②に対しては、試料水の供給水圧変動など、時々刻々変動するモニタ内部の動作状態の観測データから、水質濃度値の真値を推定・補正するための水質値補正アルゴリズムを新たに開発した(図1参照、関連特許1件出願)。また研究項目3の③では、平成23年度に試作済のモニタ汎用プラットフォーム(マイクロ流体要素を交換・配置することで多種の水質モニタを構成可能)上に、硝酸態窒素(ナフチルエチレンジアミン吸光光度法)及び遊離残留塩素(SBT法)の分析系を構築し、基本的な分析動作が可能であることを確認した。また今後の改良課題(分析精度に関する諸因子、長期安定駆動に関する諸因子)を抽出した。一方、細菌モニタの分析系については、マイクロ濃縮器周辺機器の小型化等が不十分だったため、期間内にプラットフォーム上に構築するまでに至らなかった。これについては平成25年度に温度制御・気相供給系などの周辺部を含めた小型パッケージ化を進め、プラットフォームへの実装・動作検証を行う。

iv)研究項目4では、複数の水質モニタをITネットワークで繋ぎ、遠隔制御することを想定しているため、その前段階として汎用プラットフォームに太陽電池給電系、無線による制御・通信系を付加した水質モニタを試作し、遠隔での制御及び各種動作情報(試料水供給水圧変動値、吸光度信号値等)を連続的に取得可能であることを確認した(図1参照)。

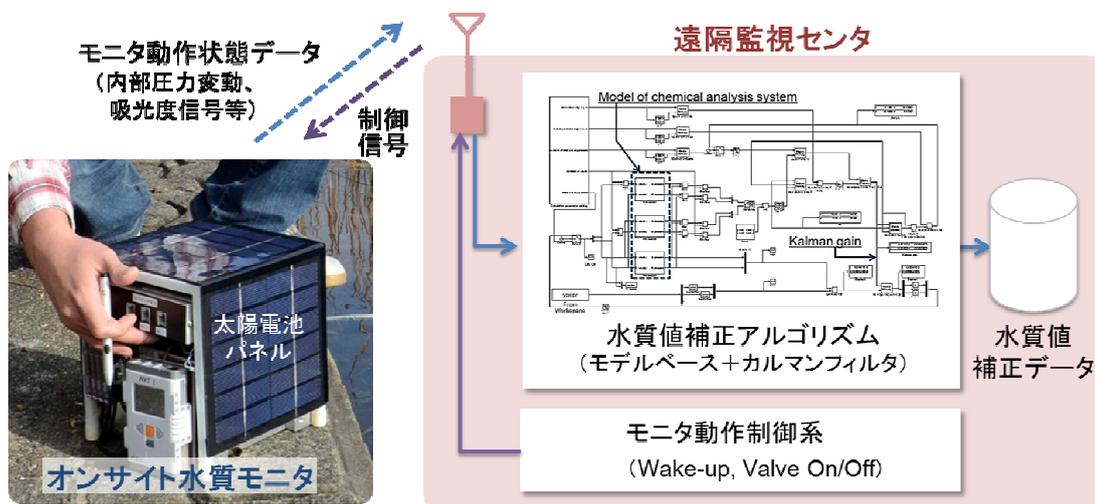


図1. オンサイト水質モニタ試作機及び構築中の遠隔監視システム

### §3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

なし

#### (3-2) 知財出願

- ① 平成 24 年度特許出願件数(国内 2 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 5 件)