

三宅 亮

広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・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)「広大ナノデバイス」グループ

① 研究代表者: 三宅 亮 (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

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 - ①) マイクロ流体対応モデルベース型開発環境の基盤構築

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 - ①) 反応系基本要素のモデル化

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) 水質モニタ開発効率の評価

(2)「日立プラント」グループ

① 主たる共同研究者: 遠藤 喜重 ((株)日立プラントテクノロジ・社会・産業システム事業本部、
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) 水質モニタ開発効率の評価

§ 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(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、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、それを用いて、実際に水質モニタ(水道水水質用)を設計・試作し、開発効率の向上度合いを評価する。さら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モデルを用いて、屋外設置下での動作安定性の予測・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ている。

その中で平成 23 年度には、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①HILS 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構築、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①細管や合流管など比較的簡素な流路構造から成る反応系基本要素のモデル化、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水質モニタ開発効率の評価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①で構築する HILS は、仮想流体システムの中で、新たにモデル化対象とする流体要素部分を外部の存在するマイクロ流体要素に置換し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 23 年度は、平成 22 年度に導入した高速入出力装置に加えて、マイクロ流体要素へ流動や負荷を与えるための大流量2連、微小流量1連のポンプ・アクチュエータ系及び流体接続インターフェースから成る微量流体生業装置を導入・微量制御可能とし、マイクロ流体要素からの応答プロファイルを取得する系(4系統;流量、圧力、温度、濃度)と組み合わせたマイクロ流体対応の基本構成構築を完了した。ただしセンサ系のノイズ対策が不十分であり、応答速度 1m 秒を確認するに至らなかった。そこで H24 年度はノイズ要因の探索・低減を迅速に進めるとともに、応答速度 1m秒オーダーに見合うモデルベース解析速度を確保するために演算能力の強化を図る。具体的には FPGA (Field Programmable Gate Array) を導入し、実デバイスとの入出力の同期性を高めた系を構築する。

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。これに対し、平成 23 年度は、混合・反応用流路モデルに熱現象を追加、流路幅方向に拡張した数理モデルを作成、また濃縮用流体要素として、微小孔アレイによる濃縮用マイクロエバポレーターを試作し、応答プロファイルを取得、数理モデルに実験データを反映させたモデルを作成した。またこれを多連並列化した多量試料用濃縮デバイスを試作、連続処理性能、濃縮倍率(目標 10 倍以上)の評価を実施した。硝酸・亜硝酸窒素モニタ用としては、カドミウムに代わり、環境負荷の少

ない亜鉛を利用した還元用マイクロ流体要素の構造を提案、還元カラムを試作し、還元反応の基本的な応答プロファイルを取得、数理モデルに実験データを反映させたモデルを作成した。平成 24 年度は、モデルの高精度化を図るとともに、流動安定性を高める工夫と実装に適した形状に改良する。また新たに水道水中のトリクロラミンを対象として、滴定などの化学処理を自動化するためのデバイスを試作し、それらの応答データをベースにモデル化を行う。

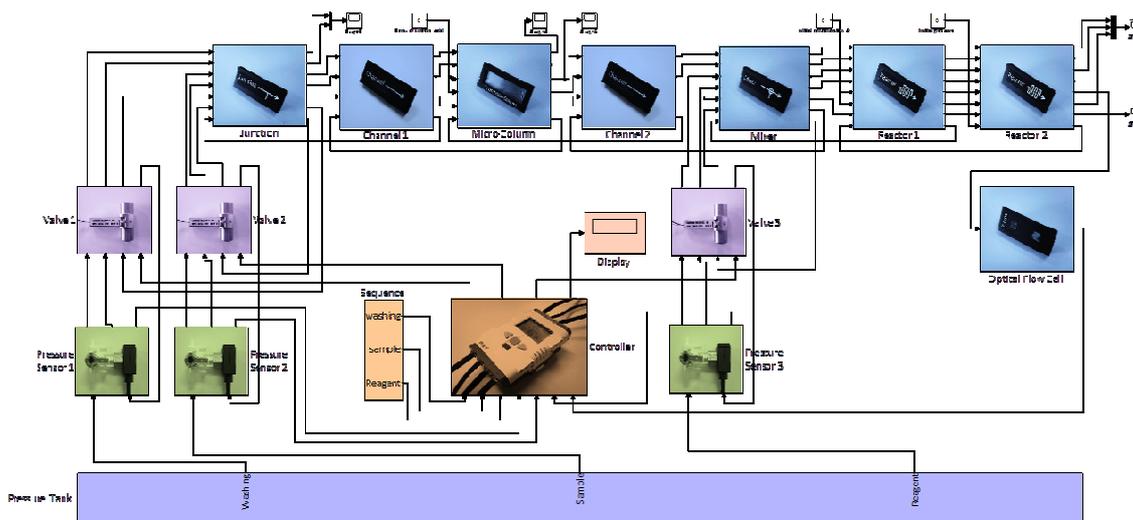


図 1. 水質モニタレベルの仮想モデル（例：硝酸・亜硝酸性窒素モニタ用）

iii) 研究項目 3 の①では、水利用におけるモニタリングの現状調査を実施し、MEMS 技術の応用の観点から、一般生菌数、硝酸態窒素、トリクロラミンを測定項目対象として選択した。本研究は平成 24 年度も継続して実施し、実装性や耐久性の観点で調査を深耕する。また調査を進める中で、MBR など膜を用いた浄化技術において生物由来物質による膜の閉塞状態の予測・推定の必要性や、生活排水等に混入する医薬品等生理活性物質などの恒常的検知の必要性が高まっていると判断された。そこで平成 24 年度は、既に基礎評価を進めている免疫分析法（磁気ビーズ利用等）による生体物質の連続測定に関してフィジビリティスタディを実施すると共に、細胞や微生物を用いたバイオアッセイなど生物学的計測手法の MEMS 化の可能性及び連続モニタへの適用性について調査を実施する。研究項目 3 の②では、制御・信号処理機能等の要素を加えた水質モニタの仮想モデルを作成し、水質モニタ対応のモデルベース型開発環境の基本構成を構築した（図 1 参照）。また簡易な構造の水質モニタと、ネットワーク上に置かれた同水質モニタのミラーモデルから成る外的変動要因に対してロバストな遠隔計測システムを提案した（関連特許 2 件出願）。研究項目 3 の③では、分析処理プロセスに応じて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とするモニタ汎用プラットフォーム（サイズ約 150 mm 角、モデルベース連携型）を創案し、一次プロト機を設計・試作した（図 2 参照）。また水道水中の細菌計測

のための処理プロセス、処理条件を抽出、モニタ化のための基本構成を提示した。平成 24 年度は、前記一般生菌数及び硝酸態窒素の分析系を前記汎用プラットフォーム上に構成することを旨とする。そのため新たに多連試薬反応用のマイクロ流体要素、光測定用のマイクロフローセルを種々開発する。併せて対応する水質モニタ仮想モデルと比較検証を行う。

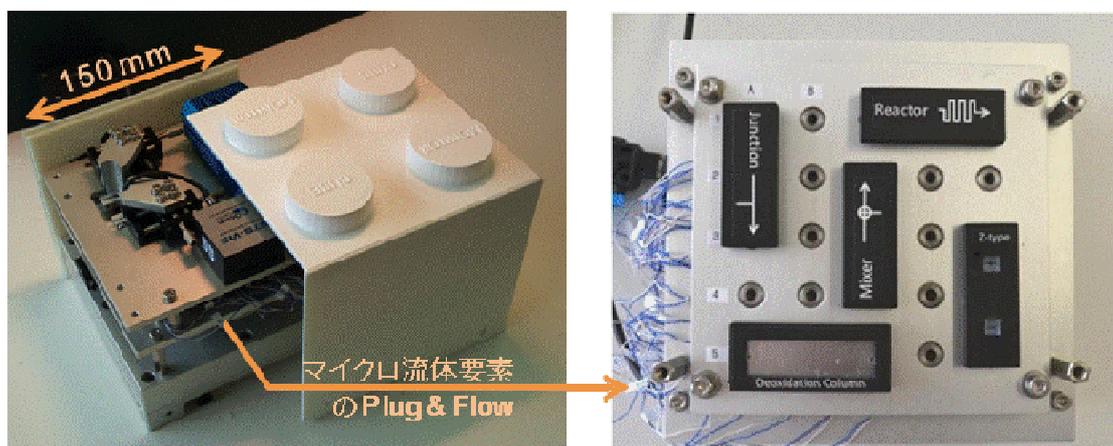


図2. 水質モニタ汎用プラットフォーム

§3. 成果発表等

(3-1) 知財出願

- ① 平成 23 年度特許出願件数(国内 3件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 3件)