

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. 研究実施の概要

本研究期間では、i) HILS 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の基盤を構築、ii) 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、iii) 試料水を濃縮するためのマイクロエバポレータの提案を行う。このうち i) HILS とは、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実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 22 年度は、HILS 基本構成の設計及び高速入出力装置部分の選定・導入がほぼ予定どおり完了した。今後は前記基本構成に微量流体制御装置の接続インターフェース部分、及びマイクロ流体要素へ流動や負荷を与えるためのポンプ・アクチュエータ系と、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を組み合わせ、HILSを完成させ、マイクロ流体対応のモデルベース型開発環境の基盤を構築する。また ii) 反応系基本要素のモデル化においては物質拡散(テイラー拡散)、化学反応を含めた物理モデルを作成し、シミュレーションが動作することを確認した。今後は熱現象を考慮したモデル、流路幅方向に拡張したモデルを作成するとともに、モデルベース開発環境を利用して実験結果と比較検証し、実在の流体要素との予測誤差を抑えるためのモデル化手法を検討する。さらに iii) 試料水を濃縮するためのマイクロ流体要素については、濃縮時の制約条件を検討し、水を低温で蒸発させることで濃縮を行うマイクロエバポレータの構造を提案した。今後は実際にマイクロエバポレータを試作し、モデルベース型開発環境を利用して、応答プロファイルを取得・性能を評価し、モデル化を行う。

## §2. 研究実施体制

### (1) 「広大ナノデバイス」グループ

- ① 研究分担グループ長: 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 研究項目

- ・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) 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) 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

(2)「日立プラント」グループ

- ① 研究分担グループ長: 遠藤喜重 ((株)日立プラントテクノロジー・社会・産業システム事業本部、  
主管技師長)
- ② 研究項目
  - ・マイクロ流体要素・モニタ装置の試作研究
  - ii) 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

### §3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)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、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モデルベース開発環境を用いて、試作した水質モニタの実環境変動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(水道配管網での設置台数、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ている。その中で平成 22 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の基盤を構築、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を実施した。具体的内容について以下に記す。

i - ①) 研究項目1の①で構築する HILS は、モデルを作製するための PC (ホスト PC)、前記モデルを高速でエミュレーションするための PC (ターゲット PC)、ターゲット PC に接続される高速入出力装置、高速入出力装置と接続されているマイクロ流体要素用テストベンチ(マイクロ流体要素に送液や圧力負荷を与える微量流体制御装置と各種センサを装備)から成り、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実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 22 年度は、モデルベース作成環境、コンパイラ、リアルタイムコントローラ、DAQ から成る高速入出力装置部分の選定・導入がほぼ予定どおり完了した。今後は前記構成に微量流体制御装置の接続インターフェース部分、及びマイクロ流体要素用テストベンチ部分を組み合わせて HILS を完成させ、マイクロ流体対応のモデルベース型開発環境の基盤を構築する。

ii - ①) 研究項目2の①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。流体要素をモデル化する方法として、流動方向が一様であり、3次元的に複雑な流れを呈さない簡素な流路要素に対しては、理論式から流体要素モデルを構築する。平成 22 年度は細管、合流管から成る最もシンプルな混合・反応流路要素を対象に、物質拡散(テイラー拡散)、化学反応を含めた物理モデルを作成し、シミュレーションが動作することを確認した(図1参照)。今後は熱現象を考慮したモデル、流路幅方向に拡張したモデルを作成するとともに、モデルベース開発環境を利用して実験結果と比較検証し、実在の流体要素との予測誤差を抑えるためのモデル化手法を検討する。

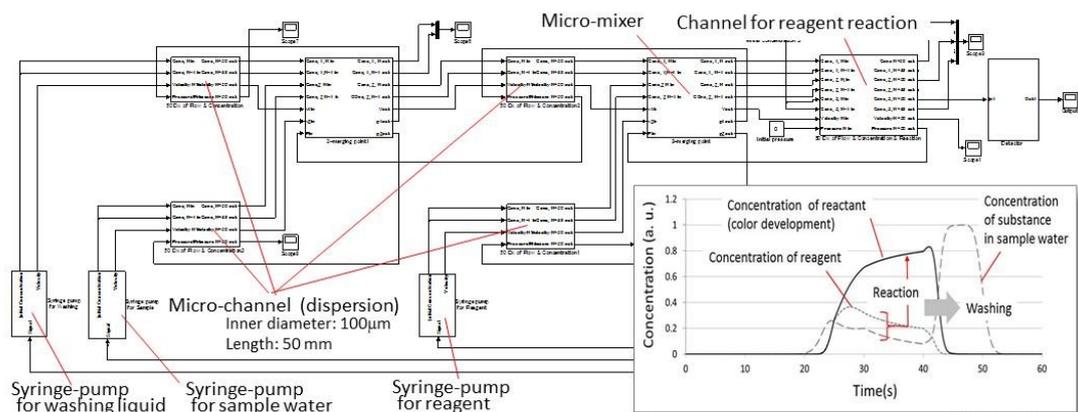


図1. 物質拡散・化学反応を伴うマイクロ流体要素のモデル化

ii -②) 研究項目2の②では、微細なピラー構造等を持つ分離カラムなど、内部で3次的に複雑な流れを呈する流体要素についてモデル化を行う。具体的には対象とする流体要素を考案・設計した後、実際に試作し、研究項目1で開発する HILS に接続し、刺激に対する流動、物質、温度など応答プロファイルを実験的に取得して、それを基に要素モデルを作成する。平成 22 年度では、水質分析に必要な流体要素として、試料水を濃縮するためのマイクロ流体要素を手掛けた。対象とする水道水では含有成分(細菌)の濃度が小さいため、含有成分の変質を最小限に抑えつつ効率良く濃縮することが必要となる。そこで濃縮時の制約条件(濃縮効率、細菌欠損率等)を検討し、それに沿って溶媒である水を低温で蒸発させることで濃縮を行うマイクロエバポレータを提案、複数の構造(微小液滴と超撥水表面を持つ流路によるマイクロエバポレータ、ナノチャネルアレイによるマイクロエバポレータ(図2参照))について製作可能性等を検討した。今後は実際に濃縮用マイクロエバポレータを試作・評価し、モデルベース型開発環境を利用して、応答プロファイルを取得・性能を評価し、モデル化を行う。

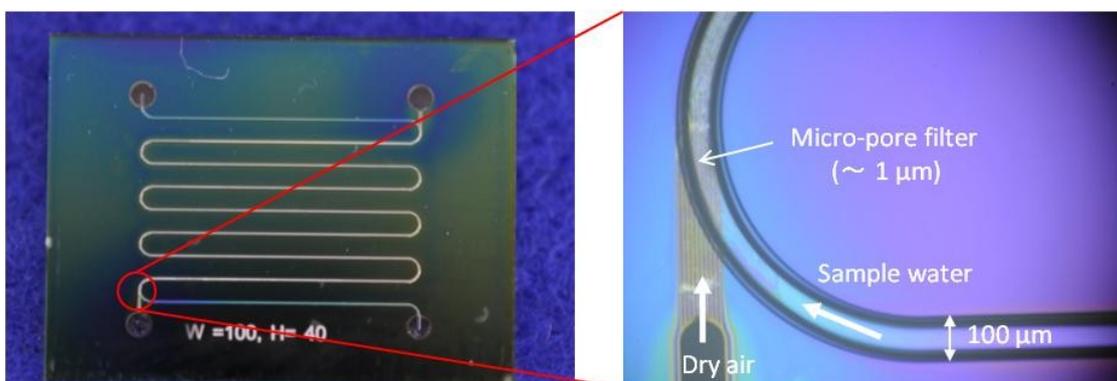


図2. マイクロエバポレータ(製作可能性評価用)

その他、細菌モニタ小型化のために、光学系の簡素化が見込める分析方法の検討を実施して

いる。具体的には細菌を含有する試料水を微小液滴に分割し、ATP 法を応用して生化学発光反応により細菌の検出を行うものである。平成 22 年度には液滴内 ATP 試薬混合迅速化等の検討を行った。また、試料水中の有機物の簡便な検出技術として、ELISA 法の検出原理を援用しつつ、磁気微粒子を標識として用い、半導体素子上で検出を行う手法の適用可能性についても検討を行った。

#### §4. 成果発表等

##### (4-1) 原著論文発表

##### (4-2) 知財出願

- ① 平成22年度特許出願件数(国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 0 件)