

遠心熱対流 PCR の流路集積設計に向けたシミュレーション解析検討

Simulation Analysis for Integrated Channels in Centrifugal Thermal Convection PCR

阪大院工¹、産総研・先端フォトバイオ²O(M1)後 早希子¹、齋藤 真人^{1,2}、Wilfred Villariza Espulgar¹、民谷 栄一¹Graduate School of Engineering, Osaka University¹, AIST PhotoBIO-OIL²Ushiro Sakiko¹, Saito Masato^{1,2}, Wilfred Villariza Espulgar¹, Tamiya Eiichi¹

E-mail: saitomasato@ap.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】薬剤耐性菌への対応は世界的な課題として研究が推進されている。カルバペネマーゼ産生腸内細菌科の IMP-6 などを含め 80 種類以上の耐性遺伝子が存在することが知られている。そのため医療現場では操作簡便で迅速・高感度かつ網羅的にこれらの病原細菌を検出する遺伝子検知デバイスの開発が望まれている。本研究室では、ベナール対流の重力依存性に着目し、重力依存パラメータを遠心力に置き換えることで流体速度を制御し、熱交換速度を向上させることで PCR を迅速に行う遠心熱対流 PCR 法を提案・開発してきた。これまでに 15 分以内にヒト β -actin 遺伝子やヒト検便体から IMP-6 遺伝子を検出、さらに検体液を注入するだけで PCR が行えるよう、遠心力と熱対流を利用することで自動的な溶液充填と混合にも成功してきた[1][2]。しかし現在のデバイスでは最大で 8 流路による同時検出しかできず、薬剤耐性菌などの多種類の遺伝子を網羅的に検知するのが困難である。そこで本研究では、流路の集積設計に向けて遠心熱対流シミュレーションを行い、集積化の際に問題となる流路間の熱干渉や流体挙動解析を試みた。

【実験】COMSOL Multiphysics (Non-Isothermal Flow module)を用いて、遠心熱対流装置の 3D モデル(Fig.1)を作製し、ヒーター温度を PCR 条件(95°C, 60°C)でベナール対流方程式中の重力項を 5G に設定した。流路中心に対する低温ヒーター端位置

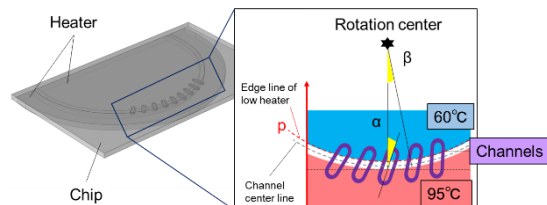


Fig.1. Simulation geometry

p (-2~2mm)と流路の傾き α (20~30°)を変化させ、遠心熱対流シミュレーションを行った。さらに流路間の熱干渉の有無を調べるために流路間のなす角 β (7.2~30°)を変化させ、流路内の流体挙動を観察し最適な流路・ヒーターの位置関係の検討を行った。

【結果と考察】上記条件にて熱対流シミュレーションを行った結果、ヒーター位置 $p=1.5$ 、流路の傾き $\alpha=20^\circ$ の時に流速が最大であった。この条件下で流路間のなす角 β を変化させた場合、 $\beta=10^\circ$ では流路内の流れ方向が揃い、 $\beta=7.2^\circ$ では流れ方向が不揃いになることが分かった。熱対流に伴う流路周囲の熱分布変化、つまり流路間の熱干渉が生じているものと考えられた。これらの結果から熱干渉を回避するための流路集積設計指針が得られた。

[1] Masato Saito, Kazuya Takahashi *et al.*, *Anal. Chem.*, 2017, 89 (23), pp 12797–12804

[2] M. Saito, K. Takahashi, W.V. Espulgar, and E. Tamiya, μ TAS 2017 1244-1245