

流体の拡散を表現する単電子回路の定量的評価と改善

Quantitative evaluation and improvement of single-electron circuit for representation of diffusion in fluid

横国大院理工 ○角野 友裕, 大矢 剛嗣

Yokohama Nat'l Univ., °Tomohiro Sumino, Takahide Oya

Email: sumino-tomohiro-tk@ynu.jp

【研究背景・目的】

ナノテクノロジーの発展に伴い、量子効果を用いた様々なナノデバイスが開発された。これらの量子効果デバイスの1つで、独自の動作が特徴的な単電子デバイスに着目する。

単電子デバイスはトンネル接合を主体として構成される量子効果デバイスである。このデバイスは、トンネル接合における量子効果によって電子を1個単位で制御することができる。このデバイスの主な特徴として、確率動作・低消費電力・並列処理などが挙げられる。これらの特徴を活かした今までにない情報処理デバイスの実現が期待される。

本研究では、先行研究である波の伝搬によってパターンを生成する単電子回路^[1]に着目し、回路によって流体モデルを表現することを目的とする。これを可能にすることで流体解析の新たな手法として応用が期待できる情報処理デバイスの実現を目指す。

【研究内容】

等質・非圧縮性流体の運動は以下(1)のNavier-Stokes方程式によって記述される^[2]。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{f} \quad (1)$$

この式において流体の運動を特徴づける主な要素は、移流項 $(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u}$ と粘性項 $Re^{-1} \nabla^2 \mathbf{u}$ である。流れの状態は移流項・粘性項比(レイノルズ数 Re)により決定される。一般にこの値が小さいほど粘性項の拡散作用が支配的な定常流となり、大きいほど移流項の非線形性による影響が支配的な乱流となる。

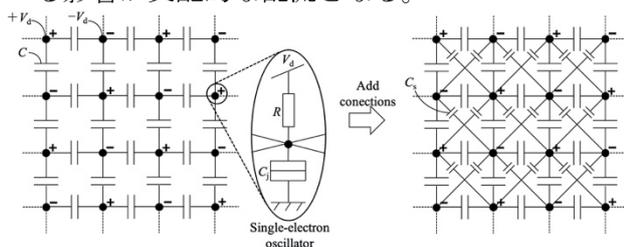


Fig. 1 Designed circuit for suppressing diffusion

本研究ではこれまでにFig. 1右図の拡散抑制回路^[3]を設計し、レイノルズ数の違いが流れに与える作用を単電子回路上で表現した。この回路では単電子振動子における電子トンネルによる急峻な電位変化が C の結合により波のように伝搬し、流体中の質点の移動を表現できる。Fig. 1左図^[1]の回路では波の伝搬が遅れている部分では進んでいる部分より伝搬が促進されるため平均伝搬速度が拡散・平滑化されるが、ここに C_s の結合を加えることによって遅れている部分に対して伝搬を抑制する電圧が印加され、拡散作用を抑制する。これによりレイノルズ数の違いによる作用を表現している。

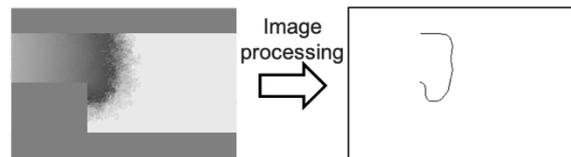


Fig. 2 Wave position extraction

拡散抑制回路における拡散作用の大きさと流体の粘性項による拡散作用の大きさとを定量的に評価するためには、回路のシミュレーション結果を用いて波の局所的な伝搬速度を計算する必要がある。今回は結果のフレーム毎の波の位置を画像処理によって抽出し、差分から速度分布を計算・評価を行った。画像処理結果をFig. 2に示す。画像処理と評価結果の詳細については講演にて述べる。

【参考文献】

- [1] T. Oya, et al., *Int'l J. Unconv. Comp.* 1, 177 (2005).
- [2] G. K. Batchelor, "The theory of homogeneous turbulence," *Cambridge Univ. Press*, (1953).
- [3] 角野 他, 第 81 回応物学会秋季講演会, 9p-Z26-6 (2020).

【謝辞】

本研究の一部は JSPS 科研費・基盤研究(A)(JP18H03766)、(B)(JP19H02545)の助成を受け実施された。