単電子回路による流体モデル表現

Design of new single-electron circuit for representation of fluid model

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って、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、独自な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、電子トンネルによって電子を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。

しかし、単電子デバイスにとって最適な情報処理手法は未だ確立されていない。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考える。これを可能にすることで、数値流体力学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的とする。

【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]。

$$\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial t}+(\boldsymbol{v}\cdot\nabla)\boldsymbol{v}=-\nabla p+\frac{1}{Re}\nabla^2\boldsymbol{v}+\boldsymbol{g} \quad (1)$$

この式において流体の運動を特徴づける主な要素は、右辺第２項（粘性項）と左辺第２項（移流項）である。粘性項の拡散作用が支配的な流れでは定常な層流となり、反対に移流項の非線形性による影響が支配的な流れではカオス現象である乱流となる。これらの流れは移流項・粘性項比（レイノルズ数 *Re*）により決定される。

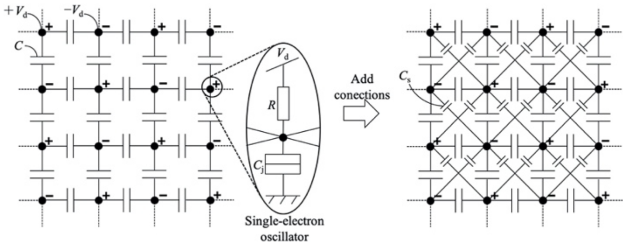

Fig. 1 Designed circuit for suppressing diffusion

本研究ではこれまでに Fig. 1 の回路を設計し、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。*C* の結合のみ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、平滑化作用を抑制する。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。

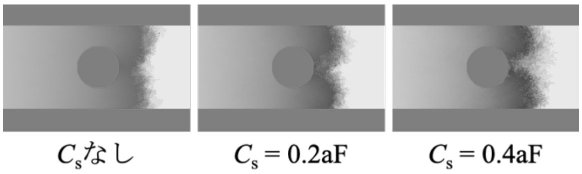

Fig. 2 Simulation of designed circuit

この回路では確率動作によって試行毎に異なった伝搬速度の偏りが顕著に出てしまうという課題がある。今回この回路について複数回シミュレーションを行い、結果を重ね合わせることで偏りの平均化を行った。またこれによって確率動作による作用が、抑制効果に対して与える影響のみを抽出し、C_s の大きさ毎の変化を比較・検証した。シミュレーション結果を Fig. 2 に示す。この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 67 回応物学会春季講演会, 12a-D331-6 (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。