

単電子回路による流体モデルの圧力項表現

Design of new single-electron circuit for representation of internal source in fluid

横浜大院理工 ○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回路に着目する。

単電子回路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]。

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

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。

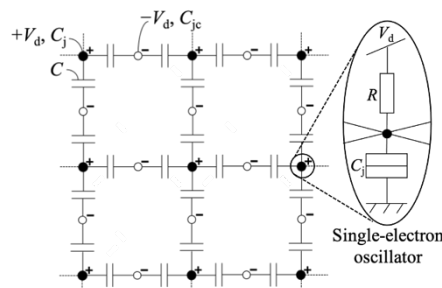


Fig. 1 Designed circuit for representation of flow

本研究ではFig. 1の回路によって流れを表現する。この回路では単電子振動子におけ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。バイアス電圧 V_d を正に設定した単電子振動子 (Fig. 1 黒丸) は格子点に対応し、質点の位置を表している。 V_d を負に設定した単電子振動子 (Fig. 1 白丸) は隣り合う格子点を接続し、流れの方向を判定・制御するための素子である。

前回^[3]は粘性項に着目した設計・評価を行った。今回は圧力項 $-\nabla p$ に着目する。この項は圧力 p の勾配に応じて流れが変化することを表している。特に非圧縮性流体中ではこの作用によって速度場の発散は常に $\text{div } \mathbf{u} = 0$ となる。回路上では反対に各格子点における発散を計測し、それに応じて伝搬を制御できれば圧力項の作用を表現できると考えられる。今回の発表ではFig. 2に示す回路を設計し、各格子点での流入・流出を判定することを考える。この回路は単電子メモリのヒステリシス特性を利用して電子トンネルの順序を検知する構成となっている。結果の詳細については講演にて述べる。

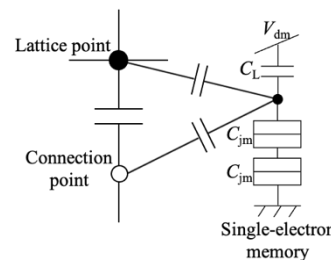


Fig. 2 Circuit for measuring divergence

【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68回応物学会春季講演会, 19p-Z16-4, (2021).

【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。