

# 双極子ガラスによる生体ゆらぎ模倣情報処理

東京大学 大学院工学系研究科 バイオエンジニアリング専攻/電気系工学専攻(兼)

田畑 仁 (tabata@bioeng.t.u-tokyo.ac.jp)

従来の半導体デバイスでは、室温（熱雑音）に対して十分に高いエネルギーを投入することで、高速かつ正確な演算を実現している。一方、生物の行う情報処理は、熱ゆらぎ（生体ゆらぎ）を巧妙に活用することによって、処理速度が低速であるが、熱雑音と同レベルの低エネルギーで確率的に動作する情報処理を行っている。この“ゆらぎ”情報処理の鍵は、環境からの“熱ゆらぎ”エネルギーを活用する点にあり、これまでは“厄介者”であった“環境からの熱”を生かす逆転の発想による生体に学んだ超低消費電力デバイスの実現を目指すものである。

一般にコンピュータの特徴は、熱雑音に対して高エネルギーを用いて誤作動率を極めて低く抑さえ、決定論的作動を高速に行う点にある。しかし、その高速な処理は膨大な消費電力を伴う。また、その動作を規定するアルゴリズムはソフトウェアとしてハードウェアから切り離され、システムは環境変動に対し脆弱である。一方、生体情報処理の特徴は、熱ゆらぎ（生体ゆらぎ）を利用することによって、処理速度が低速であるが、熱雑音と同レベルの低エネルギーで確率的に動作する点にある。しかしながら、こうしたあいまいで確率的にゆらぐ素子がシステム化されると、脳に見られるような生体特有の柔軟な情報処理が生み出される。例えば、脳を構成する神経細胞一つ一つは雑音を包含している素子であるにもかかわらず、それらが集まると信頼性が高い情報処理が可能なシステムを構築している。またアルゴリズムを自発的に形成することができ、そのシステムは環境変動に対し頑強（ロバスト）なものになる。

我々は、阪大在職中よりゆらぎ PJ に関連して進めてきた研究を発展させ、生体における「ゆらぎの利用」を「情報処理」へ活用することにより、脳機能に代表される生体機能を備えた、従来には無い新しい情報処理システムを構築し、生体に学んだ超低消費電力デバイスを創製することを目指している。

デバイス化には、生体ゆらぎを実現するための材料開発が不可欠である。材料開発の観点から“ゆらぎ”を考えると、物性ゆらぎ（スピン、双極子ゆらぎ）を利用する事とした。すなわち、スピングラス、双極子ガラス（リラクス）材料の利用を検討している。

“ガラス物性”の持つゆらぎ・ブラウン運動を記述する熱力学運動方程式として、Langevin 方程式が知られているが、この確率微分方程式をもとに、“生体ゆらぎの基本式”として、確率共鳴原理の式を用いたデバイス設計を実施する。図1は、ニューロンの発火現象 ( $d/dx$ ) を確率共鳴原理の式として表したものである。生体での情報処理を示す多状態システムは、刻々変化する環境情報“ゆらぎ”を基に状態間を遷移し、最適状態を選択している。この時、式中の  $\eta$  (ゆらぎ) の物性制御がこの提案デバイスの鍵となる。

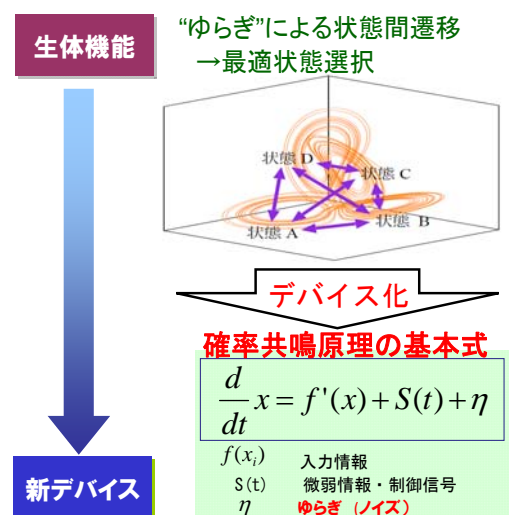


図1. 生体機能に学ぶ新デバイス構造概念

Ref.) Appl.Phys.Express 1 (2008) 088002.  
Phys.Rev.E, 79 (2009) 021902  
Appl.Phys.Lett. 92(2008)182505.  
Appl.Phys.Express 3(2010) 105801