

## レドックス活性を有する分子ネットワークが示す確率共鳴現象

(阪大院理<sup>1</sup>, 阪大産研<sup>2</sup>) 松本 卓也<sup>1</sup>, 平野 義明<sup>1</sup>, 瀬川 裕司<sup>1</sup>, 川合 知二<sup>1</sup>

## Stochastic resonance in redox-active molecular network

(Graduate School of Science, Osaka Univ.<sup>1</sup>, ISIR, Osaka Univ.<sup>2</sup>)Takuya Matsumoto<sup>1</sup>, Yoshiaki Hirano<sup>1</sup>, Yuji Segawa<sup>2</sup>, and Tomoji Kawai<sup>2</sup>

**【序】** ゆらぎを積極的に利用し、生物のように柔軟性に富む動作を行う脳型の情報処理デバイスが求められている。たとえば、微小かつ莫大な数のマイクロ・ナノマシンを用いて、集成的にある目的を達成しようとするれば、これらに直接搭載できる超低消費電力かつ自己組織的に自然に組み上がるニューラルネットワークが必要である。

本研究は、分子の自己組織化を用いて、分子物質でニューラルネットワークを構築しようとする試みである。神経細胞の発火に対応する閾値動作を示す二準位電子系として、安定な酸化還元特性を示す電子伝達タンパク質シトクロム c に着目した (図 1)。シトクロム c は孤立した酸化・還元中心を持つヘムタンパク質である。このような酸化・還元中心のアレイを形成すれば、ナノスケールの回路として働くことが期待できる。

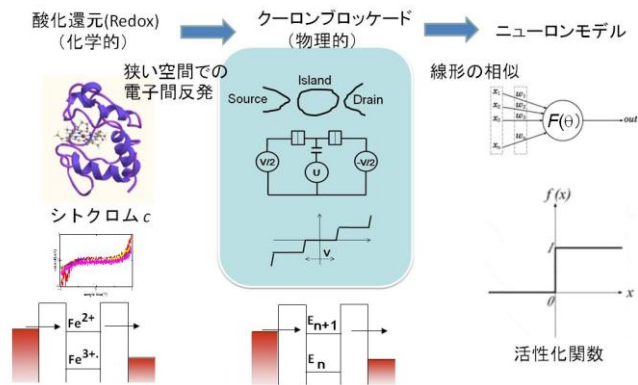


図 1. シトクロム c とニューロンの対応関係

**【実験】** シトクロム c は DNA 分子に強く吸着する。そこで、DNA をテンプレートとして用いることにより、シトクロム c のネットワークを形成した。この上に傾斜蒸着法で約 80nm のスリット幅を持つナノギャップ電極を形成した。電極両端にノイズを重ねた微弱信号を加え、その時流れる電流を I/V 変換アンプで検出し、オシロスコープに記録した (図 2)。

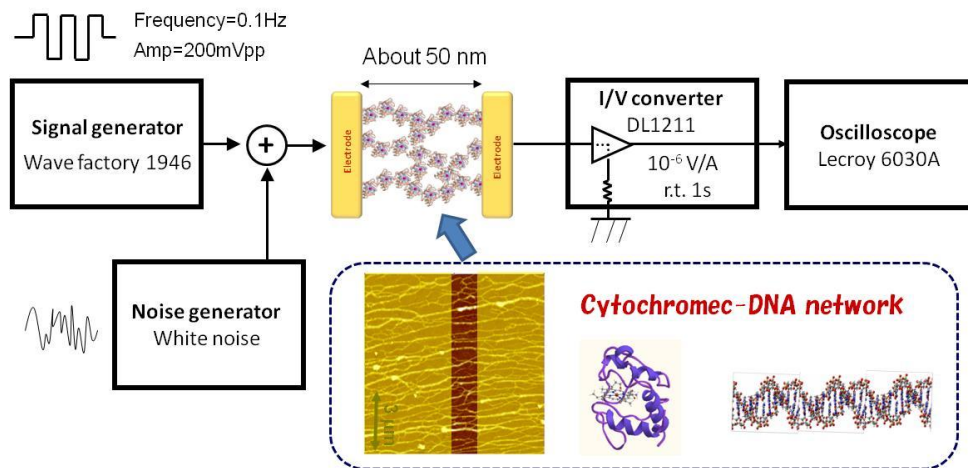


図 2. 実験のセットアップ

【結果と考察】シトクロムcのネットワークが示す電流-電圧特性とその温度変化は、低次元クーロンブロッケードモデルで良く記述できた[1]。低温において、I-V 曲線は明確な閾値を持ち、閾値より低い電位における伝導度は測定限界以下であった。閾値より高い電位においては、インピーダンス測定におけるコール・コールプロットはきれいな半円状の曲線を示し、純抵抗と電極間の静電容量の並列回路で近似できることがわかった。

このシトクロムcネットワークについて、温度 10K において振幅 0.1V の微弱信号にホワイトノイズを重ね合わせてシトクロムc/DNA ネットワークに入力した結果を図3に示した。ノイズを加えないときには、微弱信号の振幅は閾値以下であるので電流は流ない。ノイズの振幅を上げていくと、入力した微弱信号と同期した信号が現れ、その振幅が次第に大きくなった。入力信号と出力電流との関係を定量的に評価するために、相関係数を求めた。その結果、ノイズ振幅の増加とともに相関係数は大きくなるが、ある振幅値で極大となり、ノイズが大きくなり過ぎると相関係数は小さくなることが分かった(図4)。このことから、ニューラルネットワークの基礎的要件である確率共鳴が起こっていることが明らかになった。また、相関係数の極大値は 0.9 に達していることから、電流のパスは複数あり、経路のばらつきによる平均化が有効に作用していることが推測される。これは、分子による自己組織化構造が回路として働いていることを示唆している。

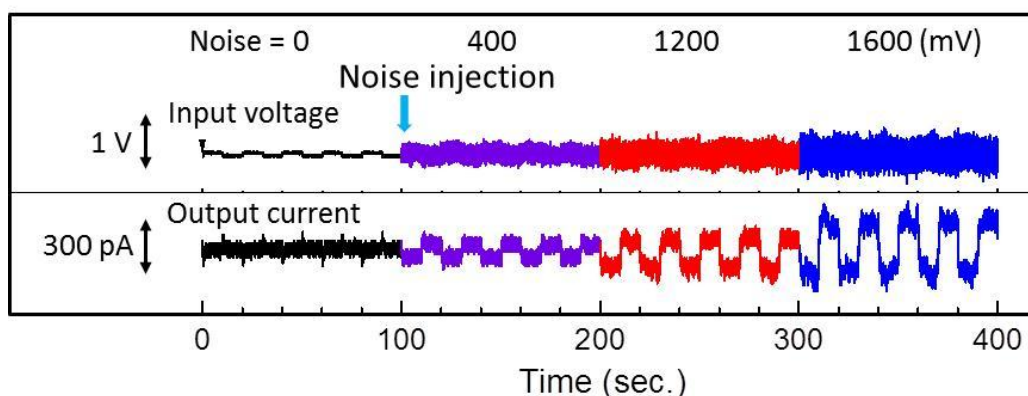


図3. 入力電圧と出力電流の比較。ノイズの印加により、周期信号が出力される。

[1] Yoshiaki Hirano, Yuji Segawa<sup>‡</sup>, Fumihiko Yamada, Takayoshi Kuroda-Sowa, Tomoji Kawai, Takuya Matsumoto, *J. Phys. Chem. C*, **116**, 9895–9899 (2012).

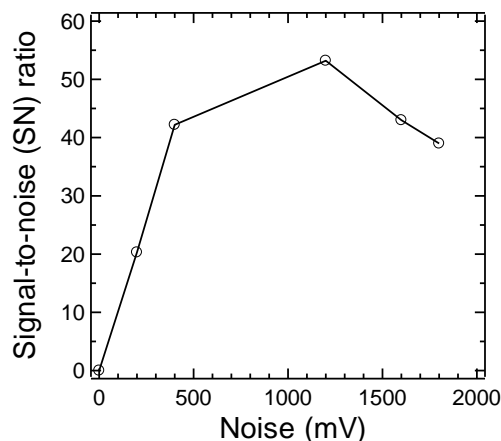


図4. 相関係数のノイズ振幅依存性