

スパイクニューロンを用いた超省エネ環境発電用回路

Spiking-Neuron-Based Ultra-low Power Circuit Technology for Energy Harvesting

東京大学 / JST さきがけ [○]矢嶋 昶彬

The Univ. of Tokyo / JST PRESTO, [○]Takeaki Yajima

E-mail: yajima@adam.t.u-tokyo.ac.jp

設置環境からエネルギーを取り込みエッジデバイスの電力源とする環境発電技術の開発が急務となっている。環境中のエネルギー源には、室内光、温度差、振動、電磁波等があるが、その電力が小さいため、エッジデバイスそのものの消費電力も強く制限される。エッジデバイスの中でも、無線やセンサ部は間欠動作によって電力を削減できるが、環境発電素子から電力を取り込む電源部だけは常時動作させる必要があり、極限的な低消費電力性が望まれる。将来的に、 $1\mu\text{W}$ を切るような微小エネルギーを長時間溜めて利用する場合、ナノワットレベルの電力で電源部を制御する超省エネ回路技術が必要である。従来一般的な電源制御は、CMOS デジタル回路によって行われてきた。CMOS デジタル回路は元来低消費電力だが、高い周波数で回路全体を充放電する同期回路であるため、 $1\mu\text{W}$ 以下の低消費電力化には限界がある。そもそも環境発電の電源制御に必要なのは、高速動作ではなく、現実環境のゆっくりとした変化に即して動作するリアルタイム動作である。従って現実環境とは独立に高速な一定周期のクロックを刻む同期制御は最適と言えない。

生物に目を向けると、身体の高高度リアルタイム制御は、非同期な反射神経回路によって行われている。ニューロンとスパイク信号に基づくその動作様式を、CMOS デジタル回路に融合すれば、非同期で省エネリアルタイム電源制御を実現できる可能性がある。このような考えに基づき、本研究では、現実環境の遅い電圧変化からナノ秒幅の高速スパイクを出力する CMOS ニューロン回路を用いて、非同期に局所動作する特殊なデジタル回路を構築した[特願 2019-036951]。実際に 100nW - $10\mu\text{W}$ の出力レンジを持つ MEMS 振動発電素子に向けて、同期整流・電圧変換・インピーダンス整合・コールドスタート等の電源部に必要な各機能を設計した。TSMC $0.18\mu\text{m}$ BCD トランジスタモデルを用いたシミュレーションを行い、 1nW オーダーの超省エネで上記の各機能をそれぞれ実現できることを示した。本結果は、従来の情報処理システムとは全く異なる神経回路の動作様式に目を向けることで、環境発電に最適な新しい回路技術が構築できる可能性を示唆している。