

研究終了報告書

「漏れ電流抑制素子を用いたパルス駆動型低消費電力 CPU」

研究期間：2021年10月～2024年3月

研究者：横式 康史

1. 研究のねらい

エネルギーハーベスティングに関する研究は数多くなされており、提案者の所属する研究室で用いている太陽電池による手法の他、無線からの給電、温度差によるゼーベック効果を用いた給電があり、それぞれに利点が存在する。これらの技術は優れているが、それ単体では意味をなさず、それを高度に発展した現代社会に適用させるためには、情報処理技術基盤が不可欠となる。エネルギーハーベスティングからなる電力源からは数 μW 程度の電力が得られるが、それを実際に活用しようと考えたとき、通常のCPUを駆動させることは難しい。なぜならば、安定した電力供給が保証されていないからである。例えば、太陽電池では夜間のエネルギー供給が難しい。無線からの給電では、障害物などの影響を受ける可能性がある。温度差についても、常に温度差があると保証されているわけではない。不安定な電源下では、不意にCPUがオンオフされてしまい、プログラムがどこまで実行されたのか分からず、場合によっては初期動作を繰り返しハングアップしてしまうことさえ考えられる。

この問題を解決するためには、エネルギーハーベスティング技術に特化したCPUを開発すればよい。何らかの方法で電力を充電し、一定電力が溜まった後に間欠駆動する回路で駆動するCPUがあれば、電力供給側では充電終了時に好きなタイミングで間欠駆動することだけ考えればよいので、とても使い勝手が良い。太陽電池が夜間使えなかったとしても、本研究のCPUは夜の間止まり、昼の間だけ動作することができる。また、このような技術は外乱耐性にも繋がるため、応用を考えたときに都合が良い。例えば、人の影になって太陽電池の充電量が低下し、電力が供給できなくなったとしても、本研究のCPUはパルスが来るまで待ち続けるので、問題なく動作する。本研究では”不安定な電力供給下でも安定して動作する”間欠駆動型CPU製作を行う。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、どのような電力供給下にあっても動作するCPUとして、間欠駆動の仕組みを利用する。電力源から得られる電力をキャパシタに貯め、負荷回路を間欠駆動することを考える。

これを実現するために、CPUの動作の基本となる1サイクルごとに動作するパルス駆動型CPUを製作し、動作可能であることが分かった。また、本研究で試作した間欠駆動のための電源回路と組み合わせることで、本研究では不安定な電力供給化でも動作するパルス駆動型CPU、という概念を実証することができた。

(2) 詳細

【電源部】

本研究では間欠駆動のために外部の電力源から充電・放電のできる充放電回路を試作した。回路は異なる電力供給量を想定し、複数の構成で製作し、シミュレーション結果において十分な

性能を示すことが分かった。

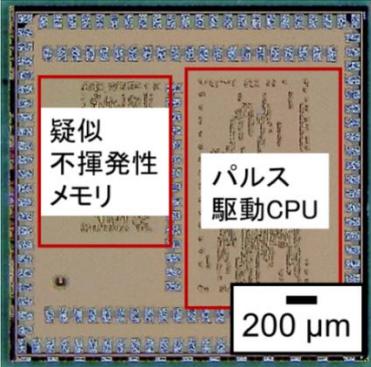
【パルス駆動 CPU 部】

本研究ではオープンソースの命令セットアーキテクチャである RISC-V を用いた CPU の製作を行い、動作を確認できた(図 1-a)。また、デジタル回路設計に関するノウハウも蓄積することができた。パルス駆動型 CPU に関しては、FPGA を二台用いて検証を行った電源を分けることで SRAM を不揮発性メモリとみなし、内部で配線されていないタイプと内部で配線されているチップの二種類を設計した(図 1-(b, c))。図 1-(b) の CPU チップでは想定していた動作を実証することができ、最低限動作に必要な電力を計算することができた。

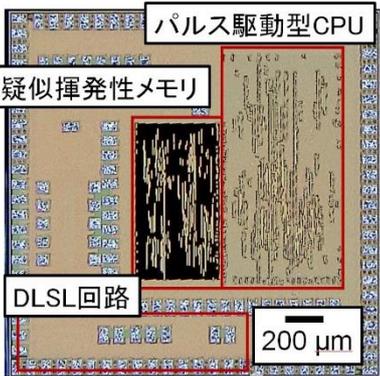
図 1(c)では、アーキテクチャを RV32E に変更し、レジスタやフラグなどの信号を削減することで高速化、省電力化した。更に、SRAM ではなく不揮発性メモリ IC と接続して動作するパルス駆動型 CPU も設計した(図 1-(d))。これに加え、本研究では漏れ電流抑制素子についても検証し、その動作を確認した。



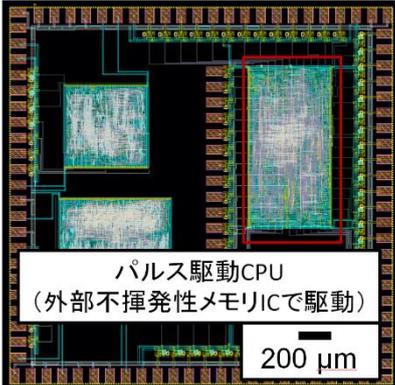
(a)



(b)



(c)



(d)

図 1 これまでの研究成果 (a) FPGA で製作したパルス駆動型 CPU (b) 製作したパルス駆動型 CPU のチップ(外部配線タイプ) (c)製作したパルス駆動型 CPU のチップ(内部で配線済み) (d)外部の不揮発性メモリ IC で駆動するパルス駆動型 CPU

3. 今後の展開

将来的にはパルス駆動型 CPU に様々な機能を組み合わせた、超小型センシングプラットフォーム創出を行いたい。タイムスパンとしては、3 年以内に周辺回路を製作し、デモ可能なデバイスを作りたいと考えている。その後、①などの応用研究を行い、3～5 年以内に社会実装を行えるシステム創出へと繋げたい。

① 全てのモノの IoT 化

本研究により自律駆動可能な自律駆動するマルチセンシング基盤を製作できれば、様々なものの中に超小型デバイスを入れることができ、センシング・通信することができる。例えば、ネジの頭に入れて家具に組み込む他、服、メガネ、指輪、靴など、超小型で駆動するという利点を活かして幅広い情報化を行うことができる。間欠駆動型の ID ビーコンなどを想定する。小型かつ“自律して通信できるセンシングデバイスにより、あらゆるものの情報化を行う、Internet of Everything (IoE)を実現する。

4. 自己評価

エネルギーハーベスタ、特に小型のフォトダイオードを用いた超小型センシングプラットフォームを実現するための基礎的な技術を構築することができた。更に、CPU と電源回路を組み合わせて間欠駆動で安定的に CPU を動かす仕組みを構築できたので、将来的に無線回路やセンサなどを組み込んだ発展的なシステムの構築へ発展させることができる。世界的にも、間欠駆動型の回路の実現に取り組んでいる研究者はまだ少なく、我が国独自かつ世界的にも優れたデバイス製作へとつながる成果だと思う。本成果をより発展させ、今後社会実装へと繋げたい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 代表的な論文(原著論文)発表

研究期間累積件数: 0 件

(2) 特許出願

研究期間全出願件数: 1 件(特許公開前のは件数にのみ含む)

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

- 横式康史, 高松洸佑, 徳田 崇, 間欠駆動 IoT デバイス向け RISC-V CPU の試作と評価, 第 89 回情報システム研究会, IS-22-037, Oct. 2022.
- 大学見本市 2023～イノベーション・ジャパンへ出展, Aug. 2023.
- 横式康史, “ごく僅かな電力で継続的に駆動するパルス駆動型 CPU”, 東京工業大学 新技術説明会, JST 東京本部別館 1F ホール(東京・市ヶ谷), Nov. 2023