

# 不揮発性メモリICと間欠駆動型RISC-V CPUの統合 Intermittently Driven RISC-V CPU Using Non-Volatile Memory IC

青山学院大学 ○(B4) 井上 颯士, 横式 康史  
Aoyama Gakuin Univ. ○Hayato Inoue, Yasufumi Yokoshiki

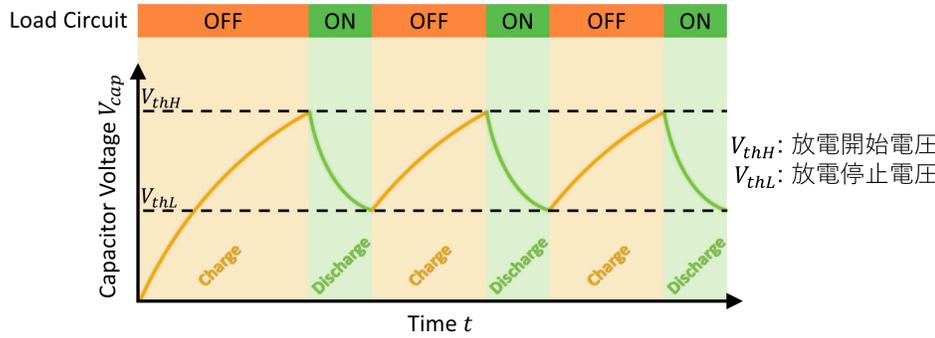
## 1. 研究背景・目的

### 間欠駆動デバイス

- 電源の供給を断続的にONにして駆動するデバイス
- 低電力の発電素子（室内光による発電、熱電素子）で駆動できる低消費電力デバイスを実現可能

### 間欠駆動電源回路

- 電力源（発電素子等）からキャパシタに充電し、キャパシタの電圧に応じて負荷への放電を制御することで、間欠駆動を実現



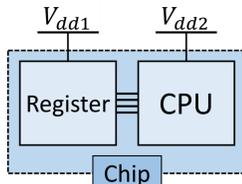
室内光や熱電素子によって動作し、センシング、無線通信を行う間欠駆動デバイスの製作を目指す

### 間欠駆動CPU

- 電源が一度OFFになっても、再度ONになるとプログラムの実行が継続されるCPU

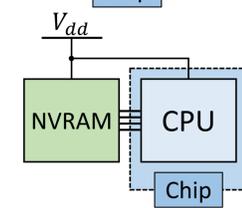
#### これまで

チップ内にCPUとレジスタを別電源で用意して駆動することで間欠的な動作を実現



#### 本研究

チップ上のCPUに不揮発性メモリ (NVRAM) を接続し、それらを同一電源で駆動することで間欠駆動を実現

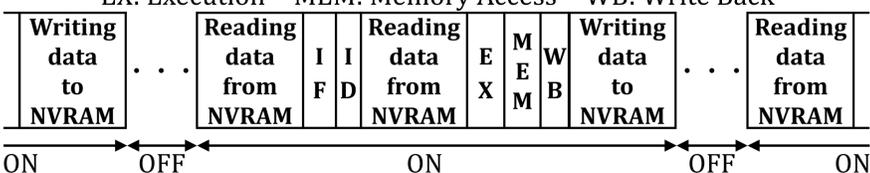


## 2. 間欠駆動CPUの仕組み

### 基本的な動作

- 命令セットアーキテクチャ：RISC-V (RV32E)
- 電源が一度OFFになっても動作を継続するために必要なデータを、NVRAMに保存
  - 命令実行開始時：NVRAMからPC等のデータを読み出す
  - 命令デコード後：デコードした命令の演算に必要なデータをNVRAMから読み出す
  - 命令実行終了時：データをNVRAMに書き込む
- RST信号が入力されると1命令だけ実行し、1つの命令の実行が終了するとfinish信号 (ocff) を出力
- CPUそのものをリセットするために、RST信号とは別に、CPUリセット信号を用意

IF: Instruction Fetch ID: Instruction Decode  
EX: Execution MEM: Memory Access WB: Write Back



### チェックフラグ (CF)

- NVRAMを簡単に初期化するために用いるデータ
- CPUリセット時に、CFのすべてのビットを初期値にする
- NVRAMのデータそのものは初期化されないが、CFによって疑似的な初期化が可能

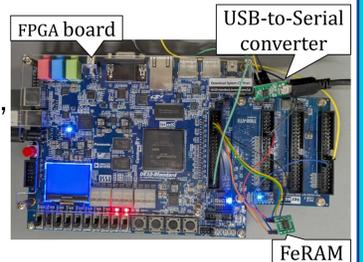
0x00002137とは扱わず初期データを使う

NVRAM data	CF
0x0040006f	1
0x00002137	0
0x00000297	1

## 3. 検証方法

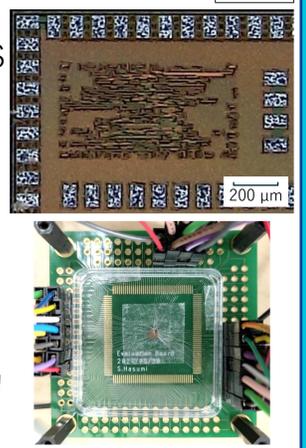
### FPGAボードを用いた検証

- FPGAボード (Terasic, DE10 standard, Taiwan) のGPIO端子にFeRAMを接続
- ソフトウェアロジックアナライザ (Intel, Signal Tap II, USA)により測定



### チップを用いた検証

- TSMC 0.18 μm 1-poly 6-metal 標準CMOSプロセスで試作
- チップ上のCPUと外部に接続したFeRAMを同一電源で駆動
- デバッグピンやGPOの出力を、ロジックアナライザ (Digilent, Digital Discovery, USA) を用いて測定
- RST信号を周期的に入力する疑似的な間欠駆動と、電源を周期的に供給する間欠駆動における動作を検証

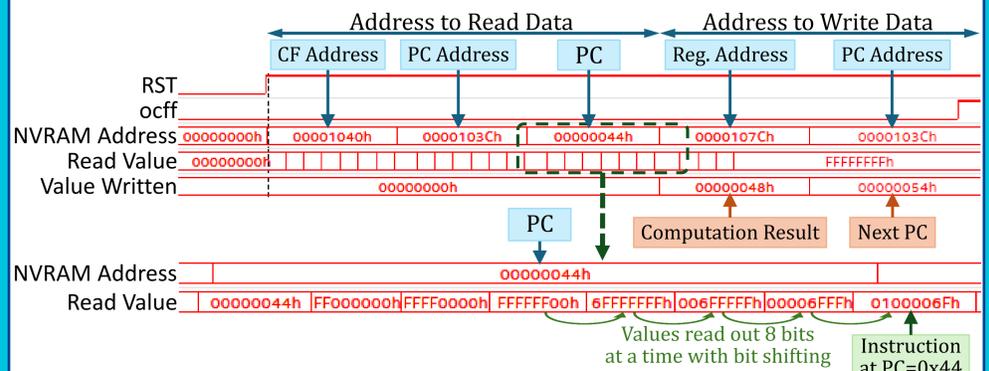


## 4. 検証結果

\*実行する命令データの保存箇所を示す値

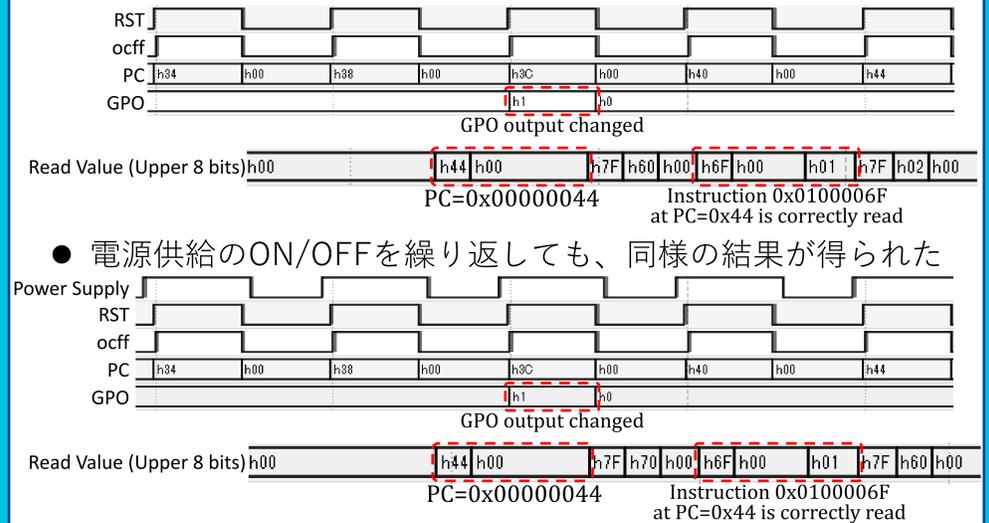
### FPGAボードを用いた検証

- RST信号が1になる度にPC (プログラムカウンタ\*) が正常に増加
- 命令の実行終了を表す信号 (ocff) が正常に出力



### チップを用いた検証

- RST信号が1になる度にPCが正常に増加し、GPO出力が変化



間欠駆動CPUとして動作することが実証された

## 5. 今後の展望

- 電力を消費するNVRAMへのアクセスを減らすため、複数の命令ごとに間欠駆動するように変更する
- ワンチップ動作のため、CPUの周辺回路を設計する

## 謝辞

本研究は、東京大学VDEC活動を通して、日本シノプシス合同会社、日本ケイデンス・デザイン・システムズ社、シーメンスEDAジャパン株式会社の協力で行われたものである。また、本研究の一部はACT-X、JPMJAX21KLの支援を受けた。