

# シリコン太陽電池による光環境エネルギー利用システム基盤の創生

研究代表者

廣瀬 哲也

大阪大学大学院工学研究科電気電子情報通信工学専攻 教授



## 1. 研究の背景と達成目標

本研究は、光環境エネルギー利用システム基盤の創生を目指し、電池レス・光環境エネルギーで動作するシステム創出に向けた超低消費電力で動作する集積システム基盤技術の構築を行うものである。

超低電力・超低電圧アナログ・デジタル要素回路技術（電圧源電力 50nW, 0.3V 動作デジタル回路）を実現する。RTC 回路の消費電力として、50nW 以下の超低消費電力動作の実現を行う。また、デジタル回路の消費電力削減に向け、0.3V 以下の超低電圧動作が可能なデジタル回路技術の構築を行う。スイッチトキャパシタ技術を用いた昇圧回路技術（消費電力<150nW）と高効率パワーマネジメント技術（電力変換効率>80%）を実現する。

## 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- ・ 32.7kHz、54.2nW のリアルタイムクロック（RTC）回路を実現

本成果は、システムの時間計測を極めて低い消費電力で、オンチップで実現した点にインパクトがある。100nW を下回る消費電力で動作するシステムの報告は今後の進展が想定され、及ぼす影響は大きい。

- ・ 0.3V 以下の 42mV の超低電圧で動作するデジタル回路技術を実現

本成果は、CMOS デジタル回路の理論動作限界に迫る 42mV での動作を確認した。極めて低い電圧でのデジタル回路動作は新しいデジタル回路の応用を拓ける可能性がある。デジタル回路の低消費電力化とともに、超低電圧エネルギーハーベスティング技術に向けた基本回路となることが想定される。

- ・ 126nW の極めて低い消費電力で SC 型電源システムを実現

本成果は、極めて低い消費電力で SC 型電源回路を構築したことにインパクトがある。126nW での電源回路の動作は学術的に報告例がなく、小型ハーベスタの利用拡大に向け、大きなインパクトを与える成果である。

## 3. 研究成果

提案した SC 型電源システムの研究成果を説明する。図 1（左）に、提案システムのブロック図を示す。システムは、スタートアップ用のリング発振器、ドライバ回路、6 倍昇圧コンバータ、そして MPPT 制御回路から構成される。出力電圧が生成できていないコールドスタート時、シリコン太陽電池からの入力電圧  $V_{IN\_PV}$  でリング発振器を動作させて昇圧動作を行う。昇圧コンバータの出力電圧が増加し、1.3 V 以上になると、PG\_MPPT 信号が生成され、昇圧回路へ入力される。PG\_MPPT 信号が立ち上がると、リング発振器による昇圧動作から MPPT 制御回路による昇圧動作へ切り替わり、出力電圧の最大化が行われる。図 1（右）に、試作回路のチップ写真を示す。TSMC CMOS プロセスを使用し、面積は 0.46 mm<sup>2</sup>であった。オンチップの負荷容量  $C_L$  を 30 pF とし、6 倍昇圧コンバータを用いた昇圧回路を評価した。入力電圧を 0.5V としたとき、1.2V 以上を出力する負荷電流範囲は、0-1.46  $\mu$ A であった。最大電力変化効率は、負荷電流  $I_L = 0.4 \mu$ A 時の 68.3%であった。また、動作時の消費電

力は 126nW、待機時の消費電力は 1.7 nW であった。 $I_L = 0$  A 時の昇圧比率が 5.5 以上となる入力電圧を、昇圧回路の動作電圧を定義すると、6 倍昇圧コンバータの最低動作電圧は 220 mV であった。極めて低い消費電力で、低電圧を昇圧可能であることを実証した。

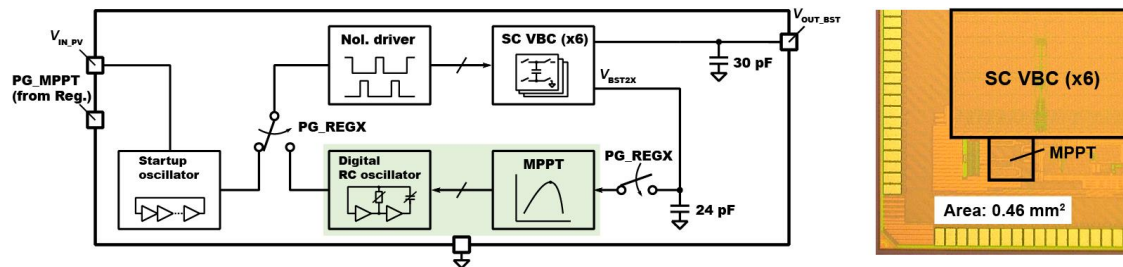


図 1 提案する SC 型電源回路のブロック図(左)と試作したチップ写真(右)

#### 4. 今後の展開

本研究により、微弱な光エネルギーを有効化する回路技術の実現に見通しを得た。今後、センサ、信号処理回路を組み合わせたシステム構築を行っていく予定である。また、デジタル回路の動作限界に迫る極低電圧での動作を可能とする回路技術を開拓した。本成果は、ウェアラブルシステム向けの熱電変換素子などのエネルギー源を有効化する技術となることが期待される。次世代システム構築に向けた研究開拓を推進する予定である。

#### 5. 発表実績

1. T. Hirose and Y. Nakazawa, "Design of switched-capacitor voltage boost converter for low-voltage and low-power energy harvesting systems," IEICE Trans. Electron., no. 10, 2020.
2. M. Nishi, et al., "A 34-mV startup ring oscillator using stacked body bias inverters for extremely low-voltage thermoelectric energy harvesting," Proc. of the 18th IEEE International NEWCAS conference, pp. 1-4, 2020.
3. K. Matsumoto, et al., "An 11.8 nA ultra-low power active diode using a hysteresis common gate comparator for low-power energy harvesting systems," IEICE Electron. Express, vol. 17, 2020.
4. R. Matsuzuka, et al., "A 42-mV startup ring oscillator using gain-enhanced self-bias inverters for extremely low voltage energy harvesting," Jpn. J. Appl. Phys. 59, SGGL01, 2020.
5. 廣瀬哲也, "微弱光エネルギーを利用する集積回路システムの構築," 電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ 回路・デバイス・境界技術領域 依頼講演, 2020年1月23日.
6. M. Nishi, et al., "Sub-0.1V input, low-voltage CMOS driver circuit for multi-stage switched capacitor voltage boost converter," Proceedings of the IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems, pp. 530-533, 2019.
7. R. Matsuzuka, et al., "A 42-mV startup ring oscillator using self-bias inverters for extremely low voltage energy harvesting," Extended abstract of the 2019 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2019), M-5-03, 2019.
8. S. Kanzaki, et al., "Switched-capacitor voltage buck converter with step-down-ratio and clock-frequency controllers for ultra-low-power IoT devices," Proceedings of the IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems, pp. 209-212, 2018.
9. K. Matsumoto, et al., "An ultra-low power active diode using a hysteresis common gate comparator for low-voltage and low-power energy harvesting systems," Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC), pp. 196-200, 2018.
10. Y. Nakazawa, et al., "Analytical study of multi-stage switched-capacitor voltage boost converter for ultra-low voltage energy harvesting," Proceedings of the 2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2018), pp. 1-5, 2018.