

微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出  
2020年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書
-----------------

石橋孝一郎

電気通信大学 大学院情報理工学研究科  
教授

スーパースティープトランジスタによるレクテナと圧電トランスの融合による  
RF エネルギーハーベスティング技術の実用化

## § 1. 研究成果の概要

RF エネルギーハーベスティング(RFEH)の実用化を目指す本研究の中で、2020 年度は、2021 年度に終了予定の各要素技術の開発継続と実用化を見据えた目標仕様の見直しを行った。実用化へのアプローチとして、国内の12 社からなるアドバイザ委員会を設置し、RFEH への期待とあるべき目標仕様について議論を行ない、従来の 1uW 超発電に加えて 100uW 超発電の仕様を設けることとした。

要素技術開発として、改良 SSFET、圧電トランス、uLoop アンテナ、周波数高選択 WuR、sub uW CPU, sub uW IoT センサ、圧電トランス等の要素技術開発に取り組んだ。改良 SSFET では、新構造の Steep 確認と  $V_{\text{th}} < 50\text{mV}$  の Feasibility を確認した。圧電トランスでは、量産に対応した新構造の圧電膜製膜法に成功した。uLoop アンテナは新構造の RFEH に好適な無指向性  $\Omega$  ループアンテナを提案した。Sub uW CPU では、独自仕様8ビット CPU を設計し、0.18um と 65nm CMOS プロセスで Sub uW 動作を確認した。Sub uW IoT センサとして、Sensor TAG を提案して設計に着手した。圧電トランスは従来にない 92 倍の高昇圧比を達成した。さらにバックスキップ通信方式の高速化提案やトランジスタ整流器の設計や評価法の確立等当初の予定にはない成果も得られた。

一方、WuR の開発では、アンテナと圧電膜とのマッチングを含めた設計法、sub uW IoT センサ、SSFET を用いたレクテナ等が課題として残されている。

これらの活動を通し、2021 年度には従来分も含めて関連研究で合計 7 社と共同研究が進行することになり、実用化の加速が期待できる状態になった。

外部発表として、発行予定を含めた原著論文29件、招待講演7件を含む国内外の発表87件、国内外の特許出願7件、受賞1件等と多くの発表を行なった。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 石橋グループ

- ① 研究代表者: 石橋孝一郎 (電気通信大学 大学院情報理工学研究科 教授)
- ② 研究項目 Sub uW: 低電力応用システムの研究
  - ・ RFEH で動作する IoT センサの研究及び EH 電源回路の研究
  - ・ RFEH で動作する Sub uW CPU の研究
  - ・ 微小電力動作アクティブソース・プルシステムを用いた微小電力整流動作計測
  - ・ Back Scatter RF 通信技術の高速化の理論検討

### (2) 井田グループ

- ① 主たる共同研究者: 井田次郎 (金沢工業大学 工学部電気電子工学科 教授)
- ② 研究項目: SSFET、メタマテリアルアンテナの開発と RFEH システムフロント・エンドの設計
  - ・ 整流用 SSFET の開発と SSFET CMOS 技術
  - ・ 小型高効率メタマテリアルアンテナの開発

- ・ RFEH システムフロント・エンドの設計

(3) 柳谷グループ

- ① 研究代表者: 柳谷 隆彦 (早稲田大学 理工学術院 先進理工学部 電気・情報生命工学専攻 准教授)
- ② 研究項目
  - ・ RF エネルギーハーベスティング応用向け圧電素子の研究
  - ・ 横波モード傾斜配向 SeAlN 薄膜を用いた抗原抗体反応検出センサの開発

(4) 平山グループ

- ① 主たる共同研究者: 平山裕 (名古屋工業大学 大学院工学研究科 電気・機械工学専攻 准教授)
- ② 研究項目
  - ・ RF エネルギーハーベスティング応用向けアンテナの研究

【代表的な原著論文情報】

- 1) Nobuhiko Yasumaru, Naoki Sakai, Kenji Itoh, Toshiki Tamura, Shigeru Makino, "920MHz Band High Sensitive Rectenna with the High Impedance Folded Dipole Antenna on the Artificial Magnetic Conductor Substrate," 2020 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium, pp.1070-1072, Th1E-5, 2020.
- 2) Takayuki Mori, Jiro Ida, Hiroki Endo, "Transient Characteristics on Super-Steep Subthreshold Slope "PN-Body Tied SOI-FET" -Simulation and Pulse Measurement-", IEICE TRANS. ELECTRON., Vol. E103-C, No.10, pp533-542, 2020