

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

2021 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)技術の実用化を目指す技術として(C-1)周波数高選択 WuR、(C-2) Sub uW 低電力応用システム、(C-3)1uW 超 RFEH モジュールの開発を行っている。2020 年度には、目標仕様の見直しを行ない、100uW 超の高出力 RFEH の実現を目指すこととした。2021 年度は、目標仕様に基づき要素技術開発及び実用化を目指す統合試作に着手した結果以下の成果が得られた。

(C-1)Vf<50mV の SSFET を実現し、CCW 回路に組んで1MHzまでの整流昇圧動作を確認した。ScAlN 積層圧電トランスを実現し、2.7 倍の昇圧効果が得られた。指向利得の最大値と最小値の差が 1.45dB の無指向性 Ω アンテナの動作を実証した。

(C-2)Open 8 アーキテクチャの 8bit CPU の設計、試作を行い、SOTB 65nm で試作したチップでは、32KHz で約 0.5uW 動作を確認した。温度センサを搭載した 920MHz 帯の RF センサ TAG チップは 0.62uW の低消費電力動作を確認した。LoRa モジュールを搭載した Beat Sensor は、RFEH 電源で温度データを無線送信できることを確認した。遅延素子を用いた BS 通信により、通信レートを高められることを理論的に確認した。Al₂O₃ 薄膜による4端子 BAW デバイスを作製し、115ns 毎の遅延動作を確認した。

(C-3)メタマテアンテナにより、920MHz 高効率レクテナを実現し、これをベースに国内5社と実用化に向けた共同研究を開始した。100uWRFEH モジュール実現のため、RF 合成、DC 合成に適したアレイメタマテアンテナ構造とトランジスタ整流器の設計技術を開発した。バイパスダイオード、シュミットリガ回路により内部抵抗が1K Ω 以上のEHを用いても総合効率が約 40%の EH 電源回路を実現した。

§ 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 センサと EH 電源回路の研究
 - ・RFEH で動作する Sub uW CPU の研究
 - ・安価で高出力レクテナに適したトランジスタ整流回路の研究
 - ・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
 - ・RFEH 向け 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と RF/DC 合成の検討
 - ・RFEH システムフロント・エンドの設計と RFEH 実用化に向けた企業との協業

(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 准教授)
- ② 研究項目: RFEH 応用向け及び BS 通信応用向け圧電素子の研究

(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 准教授)
- ② 研究項目: RFEH 応用向けアンテナの研究

【代表的な原著論文情報】

- 1) Marco Sarmiento, Khai-Duy Nguyen, Ckristian Duran, Trong-Thuc Hoang, Ronaldo Serrano, Van-Phuc Hoang, Xuan-Tu Tran, Koichiro Ishibashi, Cong-Kha Pham, "A Sub- μ W Reversed-Body-Bias 8-bit Processor on 65-nm Silicon-on-Thin-Box (SOTB) for IoT Applications", IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 68, no. 9, pp. 3182-3186, Sept. 2021.
- 2) S. Kinoshita and T. Yanagitani, "Theoretical and experimental study of shear mode bulk acoustic wave transformer based on c-axis zigzag ScAlN multilayer for rectenna application", Applied Physics Letters, vol. 118, pp. 142903 (2021).