

令和元年6月10日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18875

研究課題名(和文) フィールドセンサネットワークのためのコンクリート発電システムの試作と評価

研究課題名(英文) Energy harvesting by electro-chemical reaction in reinforced concrete for sensor network system

研究代表者

北川 章夫 (Kitagawa, Akio)

金沢大学・電子情報通信学系・教授

研究者番号：10214785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：山林や農地などの屋外において長期にわたって動作するセンサネットワークの電源として、鉄筋コンクリートが発生する微弱な電力を利用するエナジーハーベスティングの方法について研究を実施した。鉄筋コンクリートは、鉄筋の電気化学反応によって、電力を発生しながら劣化しているが、発生した電力は自己消費されてしまうため、発生した電気エネルギーをキャパシタに蓄電し、積極的に活用することが望ましい。しかし、発生電圧が非常に低いため、電源として使用するためには、昇圧および安定化を行う必要がある。本研究では、コンクリートと鉄筋の間に発生する電力を、無線モジュールやマイコンが利用できる電源に変換する回路の試作に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉄筋コンクリートが、内部の電気化学反応によって発生する微弱な電力を10分程度で蓄電し、無線モジュールや発光ダイオードを動作させることができる、電気エネルギー蓄積回路を開発した。この回路を利用して、数10年にわたってほぼメンテナンスなしに、動作し続ける無線センサネットワークの構築が可能になった。特に社会インフラの維持管理および山林や農地の環境モニタリングおよびビッグデータの取得においては、有効な手法である。さらに、将来、電力変換効率を高めることに成功すれば、無線ノードに中継機能を持たせて、巨大規模の無線ネットワークを構築することも可能になると予想される。

研究成果の概要(英文)：The energy harvesting from the reinforced concrete is studied to use the electric power source for the IoT sensor network in the field of the farmlands, the forests and the urban area. While the reinforced concrete generates the electricity by the electrochemical reaction of the reinforcing rod, but the electric energy can be accumulated and be utilized to drive the sensor network. However, it is necessary to up-convert it and to be stabilized to use it as a power supply because the outbreak voltage is very low and unstable. In this study, I have succeeded in the circuit implementation which convert the electricity to occur between concrete and reinforcing rods into the power supply that a wireless module and microcomputer were available.

研究分野：電子工学、通信工学、情報工学

キーワード：エナジーハーベスティング センサネットワーク インフラモニタリング 環境モニタリング

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、無線センサネットワークを含む IoT (モノのインターネット) システムを利用して、インフラの維持管理、山林や農地の管理、災害の検知、生産設備の維持管理を行うための研究開発が活発に行われており、一部は実証試験や社会実装が可能な段階に入っている。これまで、IoT による老朽化社会インフラの診断や、農地と山林の環境モニタリングに取り組んできたが、道路、橋梁、農地、山林などのフィールドにおける電源の確保の問題があり、実際の環境下で IoT システムを長期運用することは困難であった。この問題を解決する理想的な方法として、エナジーハーベスティングにより半永久的に動作する無線センサネットワークの実現が望まれている。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、昼夜によらず数 10 年にわたって、フィールドで使える環境エネルギーとして、鉄筋コンクリートが発生する起電力を利用する方法を確立する。ここでは、コンクリートが発生する電力を効率的に取り出し蓄電する電源回路を「コンクリート電池」と呼ぶ。さらに、コンクリート電池を利用した無線センサネットワークおよび社会インフラのモニタリングデータを収集するための IoT システムの試作と評価を実施する。

### 3. 研究の方法

(1) コンクリート内の電気化学反応は、温度、水分含有量、塩分 (塩素イオン) 濃度に依存することが知られている。製作条件の異なる複数の鉄筋コンクリート供試体を使用し、温度および湿度の環境条件を変えながら、コンクリート電池の蓄電速度および負荷駆動力を計測し、環境と発電力の関係を明確にする。

(2) 鉄筋コンクリートのエネルギーのみで LED を点灯させる回路を考案する。考案した回路構成を基に、最も効率的に出力側蓄電が行われる回路の設計を行い、シミュレーションと実測により確かめる。回路が完成したら、鉄筋コンクリートの電気エネルギーで、実際に無線センサモジュールを駆動し、センサネットワークの安定性を確認する。

### 4. 研究成果

鉄筋コンクリートの起電力は、電圧が約 0.1V と小さいため、このままではマイコン、無線モジュール、センサなどの電源として使用できない。直流電圧を昇圧するための回路として、一般的に DC-DC コンバータが使用されるが、低

電圧で DC-DC コンバータを起動するためには、起動に必要なエネルギーを蓄電するため数時間以上の長い時間がかかり、センサによるデータの取得頻度が少なすぎて実用的ではない。そこで、各種回路構成について試行錯誤的に検討した結果、図 1 の回路構成で、効率的に電気エネルギーが蓄電できることが分かった。この回路を構成に基づいて、回路定数の最適化を行った結果、約 10 分で、30mJ の電気エネルギーを蓄電することに成功した。この電気エネルギー量は、無線モジュールや LED を約 1 秒間駆動することができるエネルギーに相当するため、通常のインフラモニタリングや環境モニタリングを行うための無線センサネットワークを駆動するためには十分なエネルギー量である。図 2 に実験に用いた鉄筋コンクリート供試体の形状 (上) と試作したコンクリート電池の回路 (下) を示す。順方向電圧約 3.0V の青色 LED が点灯している。10 分の蓄電で LED は約 1 秒間転倒するが、近距離無線通信規格 (IEEE 802.15.4 または IEEE 802.15.1) の通信モジュールとマイコンの場合、数バイトのセンサ情報を無線ネットワークに送信するためには、この 1/10 以下のエネルギーを消費するため、1 分に 1 回以上の送信頻度を持つ無線センサネットワークを構築できることが分かった。

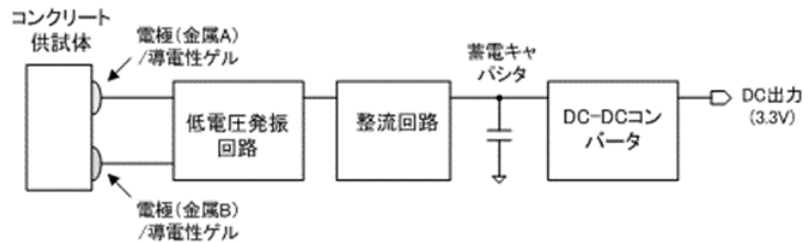


図 1 コンクリートの電気エネルギーを蓄電する回路の構成

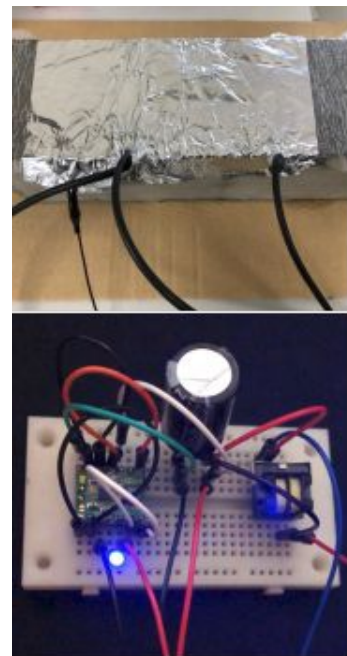


図 2 実験に使用した鉄筋コンクリート供試体と蓄電回路

## 5 . 主な発表論文等

### [ 雑誌論文 ] ( 計 8 件 )

1. Puput Dani Prasetyo Adi and Akio Kitagawa, "ZigBee? Radio Frequency (RF) Performance on Raspberry Pi 3 for Internet of Things (IoT) based Blood Pressure Sensors Monitoring", International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 10 Issue 5, pp.18-27, 2019.5 DOI: 10.14569/IJACSA.2019.0100504
2. Puput Dani Prasetyo Adi and Akio Kitagawa, "Quality of Service and Power Consumption Optimization on the IEEE 802.15.4 Pulse Sensor Node based on Internet of Things", International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 10 Issue 5, pp.144-154, 2019.1 DOI: 10.14569/IJACSA.2019.0100518
3. Puput Dani Prasetyo Adi and Akio Kitagawa, "Performance Evaluation WPAN of RN-42 Bluetooth based (802.15.1) for Sending the Multi-Sensor LM35 Data Temperature and RaspBerry? Pi 3 Model B for the Database and Internet Gateway", International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 9 Issue 12, pp.612-620, 2018.1 DOI: 10.14569/IJACSA.2018.091285
4. Jumadi Mabe Parenreng and Akio Kitagawa, "Resource Optimization Techniques and Security Levels for Wireless Sensor Networks Based on the ARSy Framework", Sensors, vol.18, Issue 5, pp.1594 (15 pages), 2018.5. DOI: 10.3390/s18051594
5. Muhammad Fauzan Edy Purnomo and Akio Kitagawa, Triangular Microstrip Antenna for Circularly-Polarized Synthetic Aperture Radar Sensor Application, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Vol.12, No.1, pp.310-318, October 2018. DOI: 10.11591/ijeecs.v12.i1.pp310-318
6. Muhammad Fauzan Edy Purnomo and Akio Kitagawa, "Development of Sixteen Elements of Microstrip Triangular Array Antenna for Circularly Polarized-Synthetic Aperture Radar Sensor Application", Journal of Fundamental and Applied Sciences, vol.10, No. 5S, pp.535-550, 2018.3. DOI: 10.4314/jfas.v10i5s.43
7. Muhammad Fauzan Edy Purnomo and Akio Kitagawa, " Analysis Performance of Triangle Microstrip Antenna for Basic Construction of Circularly Polarized-Synthetic Aperture Radar Application ", Jurnal Teknologi, Vol.80, No.2, pp.93-104, 2018. DOI: 10.11113/jt.v80.11119
8. Jumadi Mabe Parenreng and Akio Kitagawa, " A Model of Security Adaptation for Limited Resources in Wireless Sensor Network ". Journal of Computer and Communications, 5, 10-23, 2017. DOI: 10.4236/jcc.2017.53002

### [ 学会発表 ] ( 計 5 件 )

1. Irawan Sukma and Akio Kitagawa, " Comparison Topologies of Resonant Tank from Class-C Wireless Power Transfer ", 2018 IEEE International Workshop on Electromagnetics, POS2.52, pp.1-2, August 20 2018. DOI: 10.1109/iWEM.2018.8536684
2. Muhammad Fauzan Edy Purnomo and Akio Kitagawa, " The Analysis of Basic Construction of Triangular Microstrip Antenna Using Modified Lossless Power Divider for Circularly-Polarized Synthetic Aperture Radar Sensor Application ", 12th International Power Engineering, Optimization and Computing Conference, Paper ID: 59, July 2018.
3. Muhammad Fauzan Edy Purnomo and Akio Kitagawa, " Development of Equilateral Triangular Array Antenna with Truncated-Tip for Circularly Polarized-Synthetic Aperture Radar Sensor Application, Proceedings of 12th European Conference on Synthetic Aperture Radar ", Session E.10, pp.1462-1467, June 2018.
4. Muhammad Fauzan Edy Purnomo and Akio Kitagawa, " Development of Sixteen Elements of Microstrip Triangular Array Antenna for Circularly Polarized-Synthetic Aperture Radar Sensor Application ", International Conference on Electrical Engineering and Computing (ICEECComp2018), Session 3A, Paper ID 92, 2018.3.24-25
5. Muhammad Fauzan Edy Purnomo and Akio Kitagawa, " Developing Basic Configuration of Triangle Array Antenna for Circularly Polarized-Synthetic Aperture Radar Sensor Application ", IEEE 2017 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications, pp.112-117, 2017.10.23-24. DOI: 10.1109/ICRAMET.2017.8253157

### [ その他 ]

ホームページ等

<http://www.merl.jp/>

## 6 . 研究組織 研究代表者のみ。

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。