

## 環境電磁波をエネルギー源とする電池レスワイヤレス通信の検討

日大生産工(院) ○大窪 健作

日大生産工 田中 将義

### 1. はじめに

老朽化、強度不足等による建造物の倒壊、崖や山の崩壊により人的、物的に被害を与える事故が発生している。これらの倒壊や崩壊は突然発生するものではなく、なんらかの前兆を伴う。これらの前兆となる信号を検出して、事前に周囲の人々に危険を報知できれば、被害を最小限に留めることが可能となる。

前兆を検出するセンサは、通常は高所、建造物の内部、人里離れた施設等に設置されることが多く、センサならびに送信設備の電源確保とメンテナンスは容易ではない。

本研究では、この問題を解決するために、センシングならびにデータの送信に必要な電力を環境電磁波からエネルギーを回収する Energy harvesting に着目した。環境電磁波とは我々の周囲に飛び交い、受信されず無駄になっている TV 放送あるいはラジオ放送の電波、電源ラインから発生するノイズ等である。環境電磁波をエネルギー源とする電池レスワイヤレス通信システム<sup>(1-5)</sup>が実現すれば、環境の Health monitoring に適用可能となる。

### 2. 環境電磁波を利用した電池レス通信システムの概要

本研究では、Fig.1に示すように建造物倒壊予知システムを想定し、建造物等に加速度センサ端末を取り付け、建造物等から振動応答を自動送出し、この信号を受信した親機が異常を検知して、アラームで周囲に警告を出すシステムを念頭に置いている。建造物の倒壊には傾き、振動等の前兆が存在し、通例、これらの前兆を検知

するセンサは、高所や建造物の内部に設置するために、人の手が届かず、バッテリーの保守は容易でない。バッテリー交換が不要な電池レス・ワイヤレス端末通信システムが実現すれば保守が簡単となり、利便性が向上する。

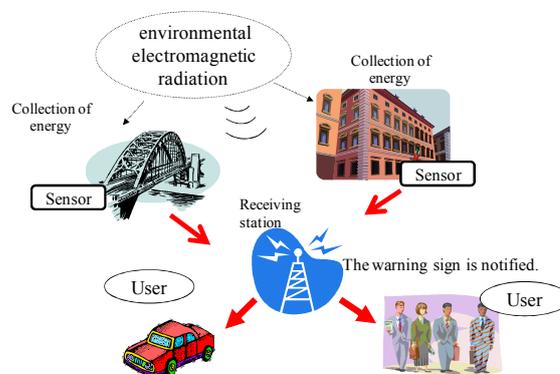


Fig.1 Structure warning system using battery-less ubiquitous wireless terminals.

### 3. 通信システム構成

本通信システムは、環境電磁波をアンテナで受信してエネルギーを回収し、キャパシタを充電し、この電圧でワイヤレス通信端末を動作させる構成である。

Fig.2に本通信システムの構成図を示す。受信エネルギーが小さいために、通信端末に連続的に電力供給が不可能であり、充電電圧が通信端末の動作電圧内の期間に通信する間欠動作とした。Fig.3に目標とする端末供給電圧波形を示す。SWのON-OFFの切り替えにより間欠動作を実現する通信方式である。

#### 3. 1 環境電磁波のスペクトラム

環境電磁波からエネルギーの回収の実現性を確

認するために、最初に実内での検討を行った。室内で観測した環境電磁波のスペクトラムをFig. 4に示す。測定結果から室内の環境電磁波の主要成分は20 [kHz]から50 [kHz]帯であることが分かった。

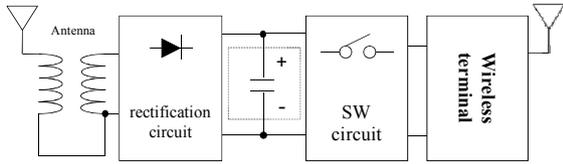


Fig.2 Configuration of battery-less ubiquitous wireless communication system.

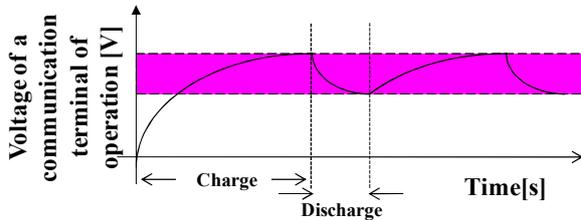


Fig.3 Ideal voltage waveform applied to terminal.

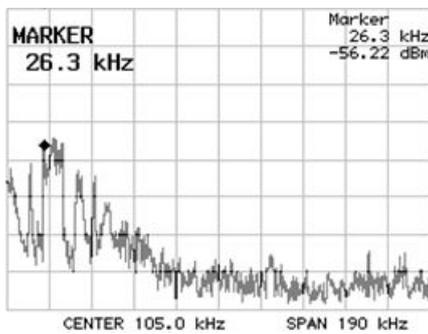


Fig.4 Spectrum of environmental electromagnetic radiation (indoor).

今回はこの周波数成分の回収にFig.5に示すL字型アンテナを利用した。



Fig.5 L-line-type antenna.

### 3. 2 キャパシタ充電回路

環境電磁波を回収する回路構成をFig.6に

示す。環境電磁波の受信電圧をトランスで昇圧後に整流し、キャパシタを充電する。

環境電磁波の受信波形 $V_1$ をFig.7-aに、その後トランスで昇圧した時の出力波形 $V_2$ をFig.7-bに示す。更に $V_2$ を整流した後の出力波形 $V_3$ をFig.7-cに示す。トランスで4倍に昇圧し、整流後には $V_3$ で約8.0 [V]の出力電圧を得ることができた。

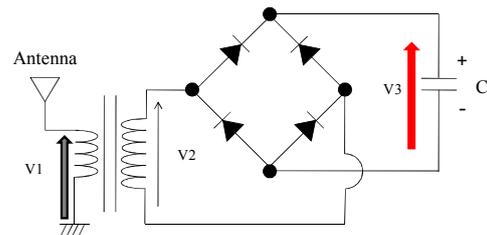


Fig.6 Energy harvesting circuit from environmental electromagnetic wave.

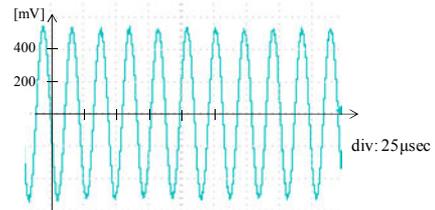


Fig.7-a Received voltage waveform (V1 in Fig.6)

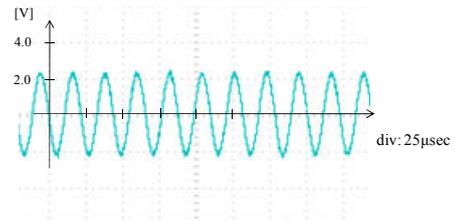


Fig.7-b Transformed voltage waveform. (V2 in Fig.6)

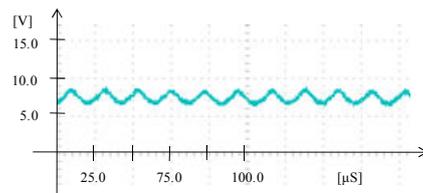


Fig.7-c Rectified voltage waveform across capacitor. ( $V_3$  in Fig.6)

### 3. 3 電源の等価回路

通信に必要となるキャパシタ容量と無線端末の間欠動作を実現するSWの設計のために、電源回路の等価的内部インピーダンスを求めた。キャパシタへの充電特性から等価回路を検討した。キャパシタの充電特性をFig. 8に示す。

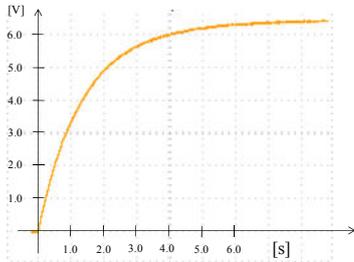


Fig. 8 Charging characteristic using environmental electromagnetic waves.

この結果から、Fig.9に示す等価回路の電源内部インピーダンスRaを以下のように求めた。

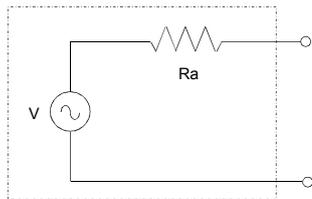


Fig. 9 Image of the internal impedance of the L line antenna.

$$Ra = \frac{Vo}{\frac{dV}{dt}(t=0) \times C} \quad (1)$$

$V_0=8.0$  [V],  $C=10 \times 10^{-6}$  [ $\mu$ F],  $dV/dt(t=0)=2$  を使用すると、電源の内部インピーダンスは $Ra=2$  [M $\Omega$ ]と非常に大きいことが明らかになった。

### 4. 間欠動作の制御法

#### 4. 1 データ送信用通信端末

通信端末として、Zigbeeを使用した。Zigbeeは2.4 [GHz]帯の周波数を使用し最大通信速度は38.4[kbps]、通信距離は100 [m]程度である。通信速度と通信容量が小さいが、低消費電力であることが最大の特徴であり、本システムの無線送信機として使用した。

#### 4. 2 無線端末の制御シーケンス

Zigbeeの動作には、2.5 [V]~3.6 [V]の範囲で35 [ms]以上の保持が必要である。本検討で

はPICマイコン (Peripheral Interface Controller) を利用して短時間内での通信を検討した。

Fig.10は放電時間に通信を実現する回路構成を示す。Fig.11は制御シーケンスを示し、以下のように動作する。

- ・充電完了後、充放電制御回路によってPICに電力を供給し、PICが起動。
  - ・PICは加速度センサのデータ取得後、Zigbeeの電源投入+コマンド送信を行う。
  - ・Zigbeeは30 [ms]の立ち上がり時間経過後、PICからのコマンドを受けてメッセージフレームを送信。
- これらの動作には通信システム全体で35 [ms]の電圧保持が必要である。

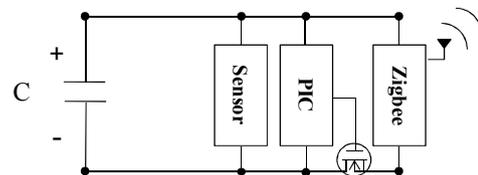


Fig.10 Configuration of wireless terminal with controller.

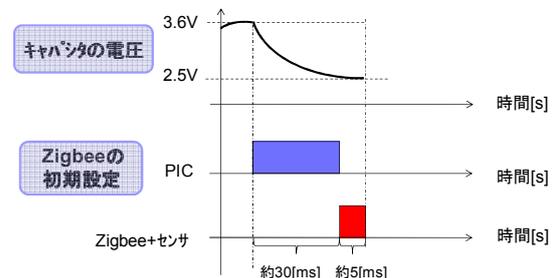


Fig.11 Time sequence during data transmission.

### 4. 3 キャパシタ容量の決定

Zigbeeを用いた時の、キャパシタ容量と通信時間の関係をFig.12に示す。Fig.12より通信に必要なキャパシタ容量は660 [ $\mu$ F]以上であることが明らかになった。

## 5. 通信実験

### 5. 1 制御シーケンスの確認試験

制御シーケンスの確認試験を行うために、Fig.10の回路を使用し、環境電磁波ではなく外部電源でキャパシタを充電し、加速度センサの3Bytesのデータの送信を試みた。この結果、加速度センサのデータをPICでAD変換後、キャパシタ放電時間35 [ms]間内で3 Bytesのセンサデータの送信を確認し

た。

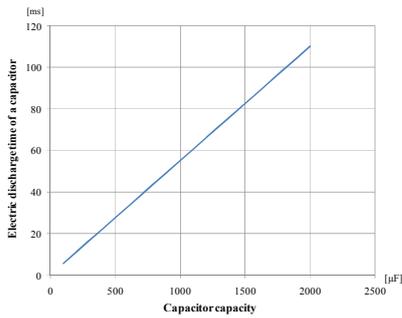


Fig.12 Relationship between communication time and capacity volume.

## 5. 2 連続間欠通信動作に向けた検討

Fig.3に示した電圧波形で間欠動作を連続的に行うために、キャパシタと端末を繋ぐSWのON/OFFの制御を電氣的に行う充放電制御回路を検討した。

Fig.13に製作した充放電制御回路のキャパシタ出力波形を示す。電源部分には定電源を使用し、スイッチング素子にサイリスタ、ツェナーダイオード、FET等を用いた。

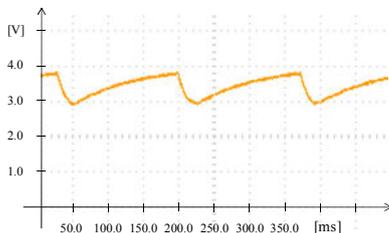


Fig.13 Voltage profile of a charging-discharging control circuit using a constant power supply

しかし、外部定電源部分を環境電磁波の電源に変更して充電を開始すると、充放電の繰り返しが途中で停止する現象が発生した。

電源インピーダンスの限界値を明らかにするために、定電源を用いてインピーダンスの値を変えて充放電特性を検討した。電源インピーダンスを14.1kΩとした時、Fig.14に示すように設計通りの動作を実現していることを確認した。

電源インピーダンスを14.1 kΩ以上の18.8 kΩとした時の充電特性をFig.15示す。充放電の繰り返しが停止している。充放電の連続動作の停

止要因として電源出力インピーダンス $R_a$ が大きいと、この部分での電圧降下が大きく、SW動作が機能していないことが明らかとなった。

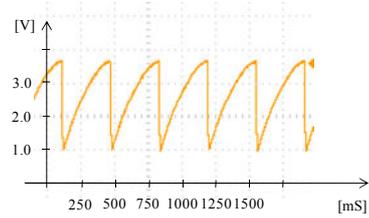


Fig.14 Voltage waveform across capacitor when internal impedance is 14.1kΩ.

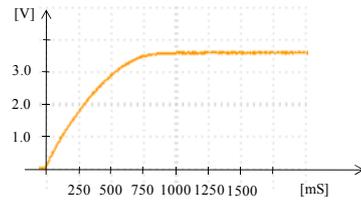


Fig.15 Voltage waveform across capacitor when internal impedance is 18.8kΩ.

## 6. まとめ

環境電磁波をエネルギー源とするバッテリーレスエッジデバイスワイヤレス通信システムを用いて構造物倒壊予知システムを検討した。この結果、35 [ms]の通信時間の間に3 Bytesの加速度センサデータの送信の実現性を確認した。しかし現状のシステム構成では、電源の等価内部インピーダンスが大きく、連続間欠通信動作は実現していない。今後はこの問題点の解決を検討していく。

### 参考文献

- 1) 富森 英樹, エッジデバイスワイヤレスセンサネットワークの構成法の研究, 平成 18 年度卒業論文
- 2) 飛内, 田中, 信学会総合大会, B-20-2, p. 606, 2009
- 3) 大窪, 田中「環境電磁波をエネルギー源とするエッジデバイス・ワイヤレス通信の検討」第43回 日本大学生産工学部学術講演会, 2010, p35~38
- 4) 福島, 田中, 信学会サイエンス大会, B-19-31, p. 449, 2011
- 5) 大窪, 田中, 信学会総合大会B-20-31, p. 626, 2011