

電磁波ノイズ整流昇圧型エネルギーハーベスト技術の実用性評価

駒田航平^{†1} 大村廉^{†1}

概要: 人々の生活や行動を支援する際、支援対象となる人の存在を検知するための「人感センサ」は重要な役割を持つ。これに対し、我々はアンテナと CW 回路を利用し、環境電磁波ノイズを利用した無電源で動作する人感センサを提案している。このセンサを使用することにより、人感センサを使用したシステム的大幅な消費電力の低下、もしくは、無電源化が期待できるが、人を検出した情報を外部に通知する機構が必要となる。本研究では、提案する人感センサをエネルギーハーベスト技術に併用することを検討するため、その性能評価を行なった。具体的には、CW 回路における各素子のパラメータ、アンテナサイズ、アンテナ設置状況において、その電力収集能力の評価実験を行った。実験の結果、約 5 分で 100 μ F コンデンサに 3V 以上の蓄電が行うことが可能であることがわかった。

キーワード: エネルギーハーベスト, Cockcroft-Walton 回路, 電磁波ノイズ, 整流昇圧回路, 人検知センサ

Practicality evaluation of electromagnetic noise rectification boost energy harvesting technology

KOHEI KOMADA^{†1} REN OHMURA^{†1}

Abstract: For supporting human life and activities, a human detection sensor for detecting the presence of a human plays an important role. As a novel type of a human detection sensor, we proposed the one that works without power sources using environmental electrical noise, which implements an antenna and CW circuit. Using the human detection sensor, it is expected that a human detection system significantly reduces the power consumption or can eliminate power source. However, a module for transmitting information of detecting a human to an external node is required for effectively using it. In this study, we conducted experiments for investigating the performance of the proposed human detection sensor as an energy harvesting technology. More concretely, the experiments evaluated the collecting electric power along the parameters of CW circuit elements, size of antenna, condition of antenna placement. The result showed that the voltage raised to 3V within 5 minutes when using 100 μ F capacitor for electrical power charge.

Keywords: Energy harvest, Cockcroft-Walton circuit, Electromagnetic noise, Rectifier boost circuit, Human detection sensor

1. はじめに

近年、家庭内や企業のオフィス内など様々な場所で Internet of Things(IoT)と呼ばれる様々なモノの中に通信機能を付与する試みが増えてきている。それらのシステムの自動制御のトリガーとして、「人検知」は人を対象としたサービスを提供する際に非常に有用である。例として、人が部屋に入ったことを検知して点灯する照明や人がいる時のみ動作して撮影を行う監視カメラなどに利用されている。

設備の中に人検知用のセンサを導入する場合、人検知センサ用の電力も必要になってくる。そのため、どのように電力を確保するかが問題として挙げられる。家庭内の電化製品などで使用する場合、センサで使用する電力は電化製

品で使用する電力と共用することが可能である。しかし、扉や椅子などの非電化製品にセンサを組み込むことを想定した場合は、電力用に商用電源を引き込む、もしくは電池やバッテリーをセンサデバイスに搭載するなどの方法をとる必要がある。しかし、商用電源から引き込む場合は電力線を引く必要があり、設置数が多くなると電力線の管理が難しくなる。そのほか、電力線がついていると電力線の長さや設置場所などにおいて使用が制限される。電池やバッテリーを搭載する場合、バッテリーの残り電力の確認や電力消費されたバッテリーの交換など、メンテナンス面において手間が必要となる。設置箇所が増えるとその分メンテナンスの手間も増加する。

人検知センサのバッテリー交換の手間を軽減する手法として、センサ回路の省電力化を行いバッテリーの消費電力を下げ動作期間を延長する試みがある。近年の研究で消費

^{†1} 豊橋技術科学大学
Toyohashi University of Technology

電力は下がってきているがゼロにすることはできず、バッテリー交換の手間を完全になくすことはできていない。

これらに対して、我々は電力を必要としない人検知センサを提案している[1]。このセンサは人体が環境中に存在する商用電源から漏れ出した電磁波ノイズを収集することで人の存在の有無を検知するセンサである。しかし、人検知は無電源で行うことができる一方で、通信機器の電力はボタン電池を使用しており、完全な無電源センサシステムの完成には至っていない。

電磁波を用いたエネルギーハーベスト技術は多数研究されているが、1) エネルギーハーベストを目的として意図的に放出された電磁波を用いるもの、2) 他の目的で放出された電磁波を用いるもの、3) そもそも電磁波を放出することを目的としていない状況において漏れ出した電磁波を用いるものなど、様々である。本稿では、3) のタイプを、電磁波ノイズを用いたエネルギーハーベスト技術と呼ぶこととする。

電磁波ノイズはエネルギーハーベスト技術を用いることで電力に変換することが可能である。Nina らの研究[2]では屋外の送電線や変電所の周囲の空間から電磁波を収穫し、電力を得ることができることを示した。しかしこの研究は変電所周囲など居住空間に比べて強い電磁波が発生しており、位置依存の影響が大きい。一方、家庭内などの状況を想定した研究として、Kawahara らの研究[3]では電子レンジから漏れる電磁波ノイズを収穫し、電子レンジが駆動している間だけではあるが電力に利用できることを示した。また、Vikram らは商用電源から漏れ出る電磁波を収穫する研究を行っている[4]。彼らは電力線の近くにコイルを置いて電力を収穫した。Manoj ら [5]や Keunsu ら [6]は電力線の周囲に金属を設置することで、多くの電場を得てより多い電力を収穫した。どちらの方法も電力は収穫できるが、電力線の近くでなければならなかった。電磁波を用いるエネルギーハーベスト手法は天候や時間帯に影響を受け難い、という特徴があるものの、電磁波ノイズを用いた場合は、太陽光発電などに比べて得られる電力量が僅かである。一方で、マイコンや通信機器の省電力化により、動作に必要な電力も小さくなってきていることから、少量でも駆動する可能性も高まってきている。

本研究では、我々が提案している電磁波ノイズを用いた人感センサをエネルギーハーベスト技術として使用することを検討するため、その適切な構成要素のパラメータの調査を行う。より具体的には、整流昇圧回路に使用されている構成要素のパラメータや、使用するアンテナのサイズなどの構成要素を変化させ、蓄電に適したパラメータの評価を行い、無線通信素子を動作させるための電力を得ることができるか調査を行う。

2. 電磁波ノイズ式人感センサ

Ohmura ら[1]は商用電源などから漏れ出した電磁波ノイズ

を微弱な電流電圧を持つ交流電源と見なし、整流昇圧回路を利用して「交流且つ低圧の電力を直流且つ高圧の電力に変換する」手法と「人体が誘電体であることを利用し、人がアンテナに接近するとアンテナが収集する電磁波ノイズ量が増え、出力電圧が変動する」というアイデアを利用した人検知センサを提案している。アンテナが収集する電磁波ノイズは主に交流商用電源 (50Hz/60Hz) から発せられていると考えられ、ノイズを整流昇圧回路に流すことで DC 出力を得ることができる。アンテナの他、誘電体である人体も電磁波ノイズを収集する特性があり、人がアンテナに近づくとアンテナの見かけ上の感度が上昇する。よって人がアンテナ近くに存在すると、収集される電磁波ノイズ量が増え出力電圧が増加する。結果としてアンテナ近くに人がいる場合といない場合で出力電圧に差ができるため、その差を確認することで人の存在を検知することができる。この方法は電磁波を収集するアンテナと交流の微弱なノイズを整流及び昇圧する回路によって成り立つ。

人検知センサのアンテナには平面金属板 (箔) を用いることで人体が近づいた際の結合のしやすさを確保している。また、人の有無による電圧差が大きい方が人検知センサに適している。先行研究[7]より、アンテナサイズを大きくすると出力電圧は大きくなるが、電圧差が小さくなるのが確認された。また、人検出に適したアンテナサイズはおおよそ 30×40cm 以下のサイズが望ましいことが分かっている。そのほか、アンテナの素材として銅とアルミニウムを使用した。素材ごとによる電圧差の違いは見られなかったため、価格や加工のしやすさの点からアンテナ素材にアルミニウムを使用している。

整流昇圧回路には Cockcroft-Walton 回路を使用している。CW 回路はコンデンサとダイオードのみで構成される。CW 回路に交流信号が入力されると、ダイオードの整流作用によって電圧のバイアスによりコンデンサが充電と放電を繰り返す。放電時にはコンデンサが直列になるため、入力電圧より高い電圧を出力することができる。ダイオード及びコンデンサは受動素子であるため、この動作に電源を必要としない。アンテナと整流昇圧回路の両方で電源を必要としないため、この方式のセンサは無電源で人検知を行うことができる。また、静止状態の人も検知することが可能である。

先行研究[7]では、CW 回路に使用するダイオードとコンデンサの素子パラメータごとに回路の出力電圧の比較を行った。逆電流が異なるダイオードと絶縁抵抗が異なるコンデンサを使用した CW 回路ごとの出力電圧の比較を行ったところ、使用した素子によって出力電圧に大きく差が出るのが確認された。

Ohmura らの研究[1]より電磁波ノイズのレベルは使用する環境によって異なることが確認されている。そのため、開発された人検知センサは環境依存性が強いことが確認さ

れている。故に使用環境や状況によって出力電圧に違いが生ずる。また、前述したように使用するアンテナのサイズや CW 回路の素子によっても出力に変化があることが確認されている。

このセンサに関するこれまでの研究では、前述した手法を人検知の使用法として使用する場合の実用性評価に関する研究が主であった。そのため、収集した電磁波ノイズを電力に変換するエネルギーハーベスト技術方面の調査は十分になされていなかった。人検知センサは CW 回路を利用することで無電源動作を可能としているが、人検知情報をマイコンなどで処理する場合や、もしくは、外部システムにその情報を送信するためには電池等を使用する必要がある。このため、「人感センサシステム」として、完全な無電源化には至っていない。

3. 蓄電性能評価

先行研究[7]を参考に実験環境を整える。先行研究の人検知センサは商用電源などから漏れ出した電磁波ノイズを利用するため室内での使用を想定している。そのため実験はすべて室内で行うが、建物が鉄筋でできている場合、床などから人体やアンテナに影響を及ぼす可能性がある。先行研究ではこの問題を解決するため、床にアルミ箔を敷き、商用電源のアースと繋いだ。これにより、アルミ箔の電位を明示的な共通 GND として扱うことで、床下からの影響を受けないようにする。また、実験で使用するオシロスコープも電源と繋がらないバッテリー内蔵型の携帯オシロスコープを使用することで、センサ回路の GND がオシロスコープを通して商用電源のアースに繋がりで共通 GND に影響を与えることを防いでいる。そのほか、センサ回路やアンテナを床などの外部からの影響を受けないように高さ 1m の木製の台によって床から離して設置した。今回はこの環境を再現して実験を行う。

実験環境の全体図を図 1 に示す。床にアルミ箔 (1m×2m) を共通 GND として敷き、実験装置などはすべてその上に置いて実験を行った。実験装置は蓄電用回路、蓄電用回路用の木製台 (高さ 1m)、ハンディオシロスコープから構成される。蓄電用の CW 回路は図 2 に示す。使用する蓄電用アンテナについては先行研究[7]より、人検知を行う場合に適しているサイズの内、最大の大きさである 30cm×40cm を使用し、素材はアルミニウムを使用する。このアンテナは回路用台の上 (高さ 1m) に置く。アンテナは蛍光灯の真下に設置した。また、アンテナの周囲 1m 以内にはノイズ収集の障害になるようなものは置かないようにした。また、床に敷いた共通 GND 用アルミ箔は、商用電源のアースとの間にコンデンサ (22 μ F) を挟むことで感電対策を行った。

コンデンサに蓄電できた電圧の評価はハンディオシロスコープ (GDS-310) で測定する。また、蓄電用コンデンサは 100 μ F コンデンサを使用する。予備実験段階において、3V

ほど蓄電した 100 μ F コンデンサを用いて、無線通信素子を動作させることが可能であることを確認した。よって蓄電電圧 3V を 1 つの基準として評価する。

これらの環境の下、異なる構成要素ごとの蓄電回路を用いて、構成要素ごとの蓄電回路の蓄電電圧とかかった時間を基に評価を行い、蓄電に適した構成要素を検証する。

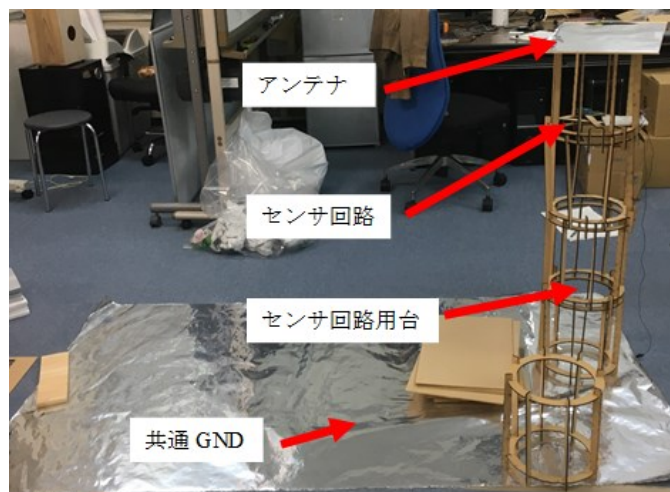


図 1 実験環境の全体図

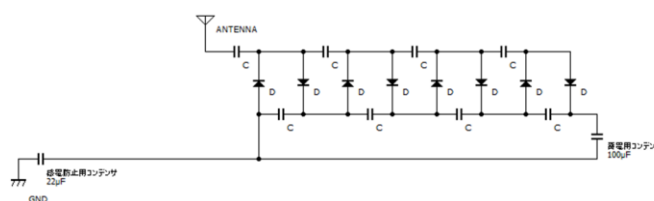


図 2 CW 回路 (8 倍昇圧回路)

3.1 素子パラメータごとの蓄電用 CW 回路の評価実験

3.1.1 実験内容

まず、蓄電に適した CW 回路の評価を行う。ダイオードとコンデンサがそれぞれ異なる CW 回路を作成して評価を行う。逆電流値が異なるダイオードを 5 種と静電容量が異なるコンデンサを 5 種使用した。但し、逆電流 1nA のダイオードは、FET をダイオードの代わりに見立てて使用する。CW 回路の段数はすべて 4 段 (8 倍昇圧回路) で評価する。

蓄電方法はアンテナと CW 回路と蓄電用コンデンサを繋ぎ、5 分ごとにオシロスコープでコンデンサの電圧を測定し、20 分でどれだけ充電できたかを検証する。また、蓄電の間はアンテナには人は触れないものとする。これは人検知用センサに蓄電回路を組み込んで使用を想定した場合、人がアンテナに触れている場合よりも、人がアンテナに触れていない場合の方が多くと考えられるからである。使用した素子は表 1 と表 2 に示す。

表1 使用したダイオード

型番	逆電流
1SS321	0.5 μ A
1SS196	0.1 μ A
1SS398	0.05 μ A
1SS307	0.01 μ A
2SK209-Y(FET)	1nA

表2 使用したコンデンサ

型番	静電容量
0805C100J5GACTU	10pF
0805C470J5GACTU	47pF
0805C101J5GACTU	100pF
0805C102J5RACTU	1000pF
222224015663	1 μ F

3.1.2 結果

各ダイオード及びコンデンサを使用した回路ごとの蓄電電圧の結果を表3~7に示す。

全てのダイオードのパターンにおいてコンデンサの静電容量が高い方が短時間で高い電圧を得ることができた。この結果は先行研究で100pFコンデンサを使用したCW回路が最も出力が高いという結果と異なるものとなった。考えられる理由は、先行研究はCW回路の直接の出力電圧のみを評価していた。しかし、今回の実験ではCW回路の使用コンデンサの静電容量が大きくなることでCW回路の出力電流が上昇し、蓄電用コンデンサに蓄電された電力も増加したと考えられる。よって本実験では最も静電容量が高い1 μ Fが蓄電回路に適していることがわかった。

またダイオードの逆電流に関しては、先行研究では逆電流値が低い方が高い出力を得られることが確認されていたが、逆電流0.05 μ A以下では蓄電性能が低かった。よってこれらのダイオードを用いたCW回路は蓄電に適していないことがわかった。また、逆電流が0.1 μ Aと0.5 μ Aで比較した場合、静電容量の小さい10pFコンデンサを使用した場合を除いたほぼ全ての状況で逆電流0.1 μ Aの方が短い時間でより高い電圧を蓄電できた。よって蓄電に適したダイオードは逆電流0.1 μ Aのダイオードであると考えられる。

また本実験の蓄電回路に適した素子は、先行研究により調査された人感センサ用の整流昇圧回路に適した素子とも異なることがわかった。よって電磁波ノイズ式人感センサに蓄電回路を導入する場合、使用する整流昇圧回路は人検知用と蓄電用で個別のものを使用した方がよい、ということがわかった。

表3 逆電流値:0.5 μ Aの蓄電電圧

	5分	10分	15分	20分
10pF	760mV	1.08V	1.28V	1.36V
47pF	1.64V	2.52V	3.04V	3.36V
100pF	2.12V	3.16V	3.80V	4.20V
1000pF	2.96V	4.24V	5.08V	5.52V
1 μ F	3.04V	4.48V	5.28V	5.56V

表4 逆電流値:0.1 μ A蓄電電圧

	5分	10分	15分	20分
10pF	720mV	1.16V	1.44V	1.68V
47pF	1.68V	2.76V	3.56V	4.12V
100pF	2.20V	3.36V	4.04V	4.60V
1000pF	3.08V	4.64V	5.64V	6.16V
1 μ F	3.20V	4.76V	5.64V	6.12V

表5 逆電流値:0.05 μ Aの蓄電電圧

	5分	10分	15分	20分
10pF	0mV	0mV	0mV	0mV
47pF	280mV	440mV	560mV	680mV
100pF	440mV	720mV	960mV	1.16V
1000pF	720mV	1.20V	1.56V	1.88V
1 μ F	920mV	1.40V	1.80V	2.04V

表6 逆電流値:0.01 μ Aの蓄電電圧

	5分	10分	15分	20分
10pF	0mV	0mV	0mV	40mV
47pF	120mV	240mV	280mV	360mV
100pF	320mV	520mV	680mV	800mV
1000pF	760mV	1.16V	1.44V	1.56V
1 μ F	960mV	1.36V	1.72V	1.92V

表7 逆電流値:1nAの蓄電電圧

	5分	10分	15分	20分
10pF	0mV	0mV	0mV	0mV
47pF	0mV	0mV	0mV	40mV
100pF	0mV	0mV	0mV	0mV
1000pF	0mV	0mV	0mV	0mV
1 μ F	40mV	40mV	40mV	40mV

3.2 CW回路の昇圧段数ごとの蓄電性能の評価実験

3.2.1 実験内容

CW回路の倍圧段数ごとの蓄電性能評価を行う。比較する段数は2,4,6,8,10段で評価を行う。CW回路素子には、前章

での実験において、最も性能の良かったものを選択し、ダイオードは逆電流値 $0.1 \mu A$ のもの、コンデンサは $1 \mu F$ のものを使用する。実験環境は図 1 とし、実験回路は図 2 を使用する。蓄電方法はアンテナ (30×40cm) と CW 回路と蓄電用コンデンサを繋ぎ、3,5,10 分ごとにオシロスコープでコンデンサの電圧を測定し、10 分間でどれだけ充電できたかを検証する。また、蓄電の間はアンテナには人は触れないものとする。

3.2.2 結果

各段数における蓄電電圧を図 3 に示す。

2,4,6,8,10 段でそれぞれ評価を行ったところ、2 段が最も蓄電性能が良かった。10 分間蓄電した場合での蓄電量については、2 段の場合よりも 4 段の場合の方が若干良い結果が得られたが、3 分間で 3V 以上蓄電できているのは 2 段の場合のみであった。よって、本研究で最も蓄電に適した昇圧段数は 2 段であると考えられる。

本来 CW 回路は段数が多くなるごとに入力に対して出力電圧が倍数昇圧されていく。段数が多くなるにつれて蓄電電圧が低下した理由は、各段においてロスが生じ、段数が多くなるにつれ出力電流が低下したことが原因と考えられる。

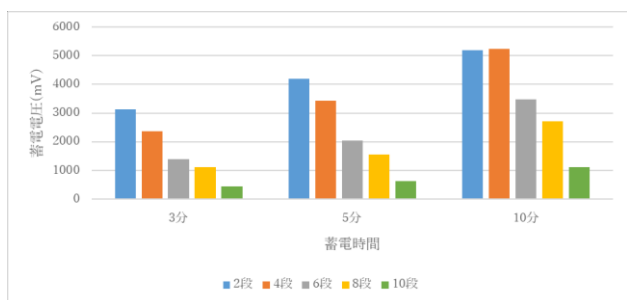


図 3 段数ごとの蓄電電圧

イオード、静電容量 $1 \mu F$ のコンデンサを使用する。回路の倍圧段数は 3.2 章で最も蓄電効率が高かった 2 段を選択する。実験方法は、CW 回路に蓄電コンデンサを接続して、3,5,10 分ごとにオシロスコープで蓄電コンデンサの電圧を測定し時間内にどれだけ蓄電できたかを実験条件ごとに評価する。

実験条件は A.被験者は台に乗って、アンテナに触れる、B.被験者は床に敷かれたアルミ箔に乗って、アンテナに触れる、C.被験者は台に乗って、アンテナから 1m 離れる、D. 被験者は床に敷かれたアルミ箔に乗って、アンテナから 1m 離れる、E.床に敷かれたアルミ箔に触れず、アンテナから 2m 離れる、の 5 パターンで調査を行った。

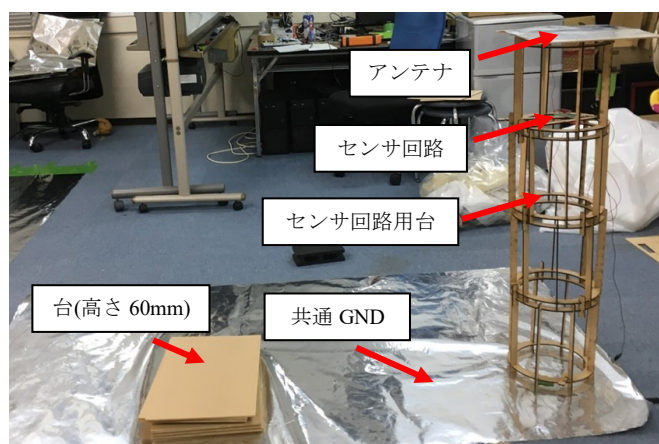


図 4 実験環境の全体図 (台の位置:アンテナから 1m)

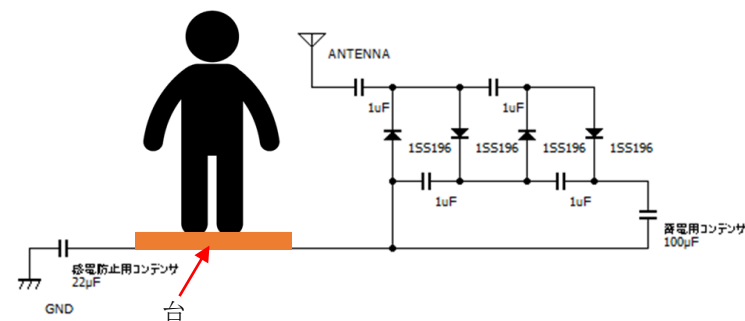


図 5 蓄電回路

3.3 人-アンテナ間距離による蓄電性能の評価実験

3.3.1 実験内容

これまでの実験の方法は人がアンテナ付近にいない場合を想定して行った。一方、本エネルギーハーベスト技術を使用する場合人が近くにいる場合でも安定して蓄電できることが要求される。本章では、人とアンテナ間の距離を変えた場合における蓄電できた電圧量の比較を行う。また人が共通 GND に接した場合における蓄電電圧量の比較も行う。

実験環境及び回路は図 4 と図 5 に示す。使用する実験装置は人が乗る台 (高さ 60mm) を使用する以外 図 1 の実験装置と同様である。回路に使用するダイオード・コンデンサは 3.1 章で最も蓄電効率が高かった逆電流値 $0.1 \mu A$ のダ

3.3.2 結果

それぞれの実験条件における蓄電電圧の結果を図 6 に示す。アンテナに触れて台に乗らない (共用 GND に乗る) B パターン以外は 3 分で 3V を超え、5 分で 4V を超え、10 分で 5V を超えることが確認された。人体がアンテナ・共用 GND 両方に触れている場合を除くと、人の有無に関係なく高い蓄電性能を保持できることがわかった。

3 分後、5 分後では条件 A が最も高い。これは人がアンテナに触れることで収穫できる電磁波ノイズ量が増えたためと考えられる。但し、3 分間蓄電で条件 C, D, E と約 1V 差、5 分間蓄電で条件 C, D, E と約 0.75V 差と徐々に差が小さくなっていき、10 分まで蓄電すると条件 C, E でも同程度まで蓄電できていることから、蓄電時間が長くなるに

つれて必ずしも人の存在が蓄電効率を向上させているわけではないことがわかる。

条件 C, D を比較すると条件 D の電圧が若干低くなる。これは条件 D が共通 GND に接しているため人体が得た電磁波ノイズが共通 GND を介して CW 回路の GND へ入力され、相対的に CW 回路の入力端子にかかる電圧が低くなり出力が下がったことが原因と思われる。しかし、差は微量なものであるためアンテナから 1m も離れていれば、蓄電に大きく影響を及ぼすことはないと思われる。

また、条件 B において他条件と比較して最も蓄電電圧が低かった。これは人体がアンテナと共通 GND の両方に接しており、CW 回路の入力と GND が人体と同じ電位になり電位差が生じない状態になっていたため、蓄電できた量が他条件より低かったからであると考えられる。

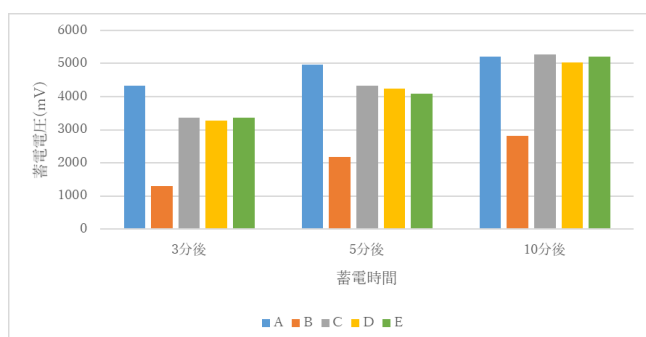


図 6 各測定条件の蓄電電圧

3.4 アンテナの大きさによる蓄電性能の評価実験

3.4.1 実験内容

これまでの実験では、電磁波ノイズを収穫するアンテナのサイズは 30cm×40cm で一定であった。しかし、アンテナが近くの人体や周辺のノイズ源とカップリングをする場合、面積が広い方がカップリングしやすい。また、3.3 章で人がアンテナに触れた場合が最も蓄電効率が高かったのは、人体とアンテナがカップリングを起こし、アンテナが見かけ上大きくなったためと考えられる。そのため、収穫される電磁波ノイズが増え、短時間で高い電圧を得ることができたと考えられる。本章では、アンテナの大きさがどれだけ蓄電性能に影響を及ぼすかの調査を行う。

アンテナ (図 5 の ANTENNA) のサイズを変えて比較実験を行った。アンテナのサイズは「5cm×7.5cm」「7.5cm×10cm」「10cm×15cm」「15cm×20cm」「20cm×30cm」「30cm×40cm」「40cm×60cm」「60cm×80cm」「80cm×120cm」とした。

また、実験条件は A.台 (60mm) に乗って、アンテナに触れる、B.床に敷かれた共通 GND に乗らず、アンテナから 2m 離れる、の 2 パターンで評価した。

3.4.2 結果

アンテナサイズごとの条件 A, B それぞれの蓄電結果を図

7,8 に示す。

結果として常に人が触れ続けていると、アンテナサイズが 5cm×7.5cm の小さい場合でも 3 分で 3.7V 以上蓄電することがわかった。しかし、人がアンテナから離れた条件 B の場合では、7.5cm×10cm 以下のサイズでは 10 分間蓄電を行っても 3V にも満たない結果が得られた。20cm×30cm 以上の大きさのアンテナならば、条件 B の場合でも 5 分間で 3V 以上蓄電できていることがわかった。また、30×40cm 以上の大きさのアンテナの場合、人が存在している条件 A が 10 分間蓄電をした最終的な蓄電結果が人のいない条件 B の時と比べて劣っていることもわかった。よって大きなアンテナで長時間蓄電を行う場合、人の存在で反対に蓄電性能が低下する可能性があることがわかった。

今実験より人がアンテナに触れ続けていればアンテナの大きさに関わらず短時間で 3V 付近まで蓄電することができることがわかった。しかし、人が近くに存在していない場合には蓄電効率が非常に低くなってしまった。常に人がアンテナに触れている状況として、アンテナが仕込まれた椅子に人が座っている状況などが考えられる。そのような特定な使用方法を除き、アプリケーションに使用する場合のアンテナの大きさは人が不在の場合でも高い蓄電効率を出せる 20cm×30cm 以上の大きさが望ましい。

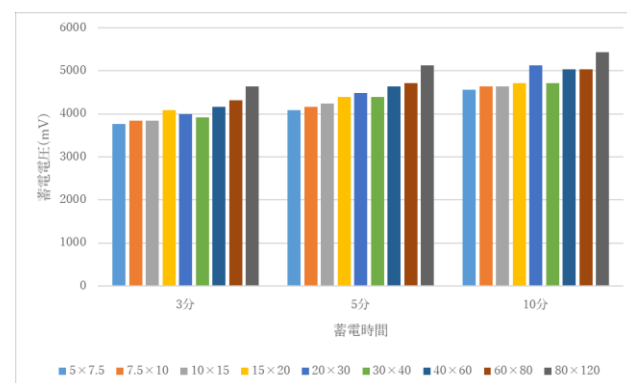


図 7 アンテナ大きさごとの蓄電電圧の比較/条件 A

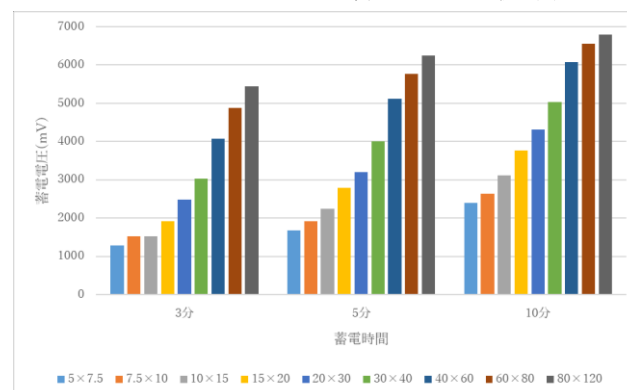


図 8 アンテナ大きさごとの蓄電電圧の比較/条件 B

3.5 アンテナが複数存在した場合の蓄電性能の評価実験

3.5.1 実験内容

本章の実験では、同じサイズのアンテナを 2 枚並べてそ

それぞれ別の CW 回路を用いて蓄電を行い、アンテナが 1 枚のみで蓄電を行った場合との蓄電量の差を比較する。それによりアンテナが複数存在する場合に蓄電性能に影響を及ぼすかの調査を行う。

アンテナを 2 枚並べる際は図 5 の実験回路を 2 つ使用した。アンテナ 2 枚の場合はそれぞれの CW 回路の蓄電コンデンサの電圧を測定し、平均を取る。

2 枚のアンテナを並べる際はアンテナ間を 1.5cm 空けて設置する。使用するアンテナの大きさは「5cm×7.5cm」「7.5cm×10cm」「10cm×15cm」「15cm×20cm」「20cm×30cm」「30cm×40cm」で評価した。

条件は A.台 (60mm) に乗って、アンテナに触れる (2 枚の場合は両方に触れる)、B.商用電源に乗らず、アンテナから離れる、の 2 パターンで評価した。

また条件 B の検証方法は、アンテナ 1 枚で検証後、使用したアンテナの位置をずらさずアンテナをもう一枚追加して、アンテナ 2 枚の場合とで比較検証を行った。これはアンテナ位置による収穫ノイズ量の差を出さないためである。条件 B では 2 枚のそれぞれのアンテナが蓄電した結果でなく、図 9,10 の a の位置のアンテナが蓄電した結果を比較する。

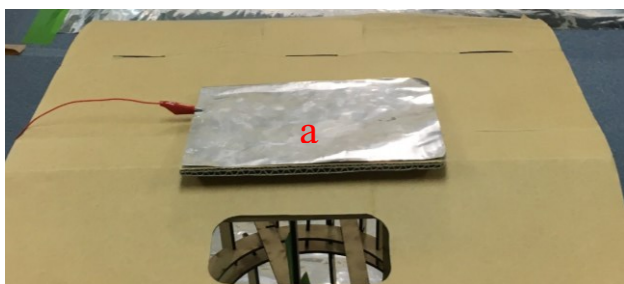


図 9 アンテナ 1 枚の場合(15cm×20cm)



図 10 アンテナ 2 枚の場合(15cm×20cm)

3.5.2 結果

各条件のアンテナ 1 枚の場合とアンテナが 2 枚の場合のそれぞれの蓄電結果と比較のグラフを図 11,12 に示す。

結果として全てのパターン・蓄電時間でアンテナ 1 枚の場合の蓄電結果に対して、アンテナを 2 枚並べた場合は蓄

電結果が低下していた。差の大きいものでは約 1V ほど蓄電結果に差のあるものもあった。

2 枚並べた場合でもアンテナが 20cm×30cm 以上の大きさがあれば人の有無に関係なく 5 分で 3V ほど蓄電は可能である。よってこのエネルギーハーベスト技術を使用するアプリケーションを複数個並べて使用する際には、いくつ並べるか、アンテナ同士の距離などを考慮してアンテナサイズを選択する必要がある。

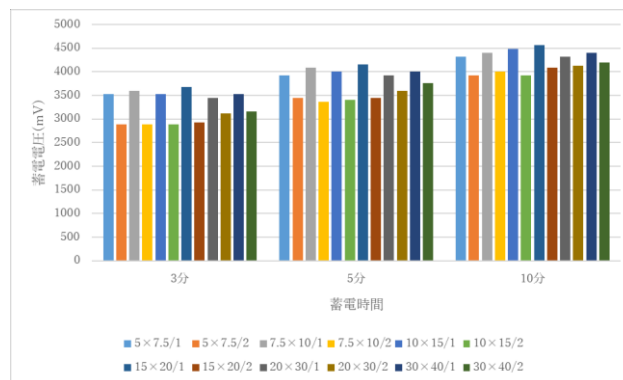


図 11 アンテナ 1 枚と 2 枚の蓄電電圧の比較/条件 A
 (/1:アンテナ 1 枚, /2:アンテナ 2 枚)

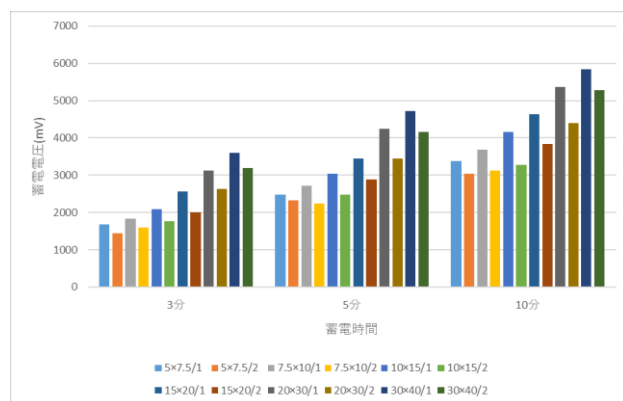


図 12 アンテナ 1 枚と 2 枚の蓄電電圧の比較/条件 B
 (/1:アンテナ 1 枚, /2:アンテナ 2 枚)

4. まとめ

先行研究において、我々は電磁波ノイズを用いた人感センサを提案した。この人感センサは、人検知自体は無電源で行うことはできるものの、センサデータの処理やその情報を外部に伝えるためには電池などを利用する必要があり、人感センサシステムとして構築する場合、完全な無電源化には至っていなかった。一方、この人感センサが用いる方式はエネルギーハーベスト技術の一つとして、利用することができる。

そこで、本研究では、同人感センサをエネルギーハーベスト技術として利用する際の実用性について評価実験を行った。具体的には、CW 回路に使用する素子パラメータやアンテナの大きさなど構成要素ごとによる蓄電性能の評価実

験を行った。

その結果、以下のことが分かった。

- CW回路に使用する素子パラメータは、ダイオードは逆電流:0.1 μ A が最も蓄電性能が高く、コンデンサは静電容量:1 μ F が最も蓄電性能が高かった。また、昇圧段数は2段(4倍昇圧回路)が最も蓄電性能が高かった。
- 最低20cm \times 30cmの大きさのアンテナを用いれば5分ほどで人の有無に関係なく3V以上蓄電できることがわかった。アンテナサイズを大きくすれば、より短時間で多くの電力を蓄えることができるが、40cm \times 60cmを超えると、人の存在が蓄電の阻害になる可能性を確認した。
- アンテナを複数枚並べると、回路1つあたりの蓄電性能が低下してしまうことがわかった。アンテナを2枚並べた場合でもアンテナが20cm \times 30cm以上の大きさがあれば人の有無に関係なく5分で3Vほど蓄電は可能である。よってこのエネルギーハーベスト技術を使用するアプリケーションを複数個並べて使用する際には、いくつ並べるか、アンテナ同士の距離などを考慮してアンテナサイズを選択する必要がある。

今回蓄電性能評価を行った回路により、5分に一度程度間欠的に動作を行い、人の有無を通知するシステムが構築可能であると考えられる。今後の課題として、蓄電した電力を用いて実際に人の検出情報を無線通信素子で送信することが可能であるか評価を行う。また、自動的に蓄電及び放電を行う回路を作成し、実環境下で動作可能かテストを行う予定である。

謝辞 本研究の一部は東洋アルミニウム株式会社の支援によって行われた。

参考文献

- [1] Ren Ohmura and Kentaro Higa, "Development of Zero Powered Human Detection Sensor Using Environmental Electric Noise," Proceedings of International Conference Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services (MOBIQUITOUS'16), ACM, Hiroshima, Japan, 2016.
- [2] Nina M. Roscoe and Martin D. Judd, "Harvesting Energy from Magnetic Fields to Power Condition Monitoring Sensors," IEEE Sensors Journal, Vol. 13, Issue 6, pp. 2263-2270, 2013.
- [3] Yoshihiro Kawahara, Xiaoying Bian, Ryo Shigeta, Rushi Vyas, Manos M. Tentzeris and Tohru Asami, "Power Harvesting from Microwave Oven Electromagnetic Leakage," Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing, pp.373-382, Zurich, Switzerland, 2013.
- [4] Vikram Gupta, Arvind Kandhalu and Ragunathan Rajkumar, "Energy Harvesting from Electromagnetic Energy Radiating from AC Power Lines," Proceedings of the 6th Workshop on Hot Topics in Embedded Networked Sensors (HotEmNets'10), No. 17, Killarney, Ireland, 2010.
- [5] Manoj Gulati, Farshid Salemi Parizi, Eric Whitmire, Sidhant

- Gupta, Shobha Sundar Ram, Amarjeet Singh and Shwetak N. Patel, "CapHarvester: A Stick-on Capacitive Energy Harvester Using Stray Electric Field from AC Power Lines," Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, Vol. 2, Issue 3, 2018.
- [6] Keunsu Chang, Sungmuk Kang, Kyungjin Park, Seunghwan Shin, Hyeong-Seok Kim and Hoseong Kim, "Electric Field Energy Harvesting Powered Wireless Sensors for Smart Grid," Journal of Electrical Engineering and Technology, Vol. 7, No. 1, pp.75-80, 2012.
 - [7] Kazuki Ikeda, Ren Ohmura, "Exploring Suitable Electrical Elements on Human Detection Sensor Using Electromagnetic Noise" 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), Kyoto, Japan, 11-15 March 2019