環境ノイズ人感センサにおける人・環境依存性および整流昇圧回路の出力信号評価

池田一貴[1]　　大村廉[1]

概要： 私たちの身の回りにあるモノにセンサやネットワーク機能を付加してスマート化し，生活支援を行うための研究が進んでいる．人を対象としたサービスとなるため，これらのサービスのトリガには人検出センサが使われることが多い．しかし，IoT 環境として，あらゆるモノにセンサを取り付けることが考えられる．例えば，椅子などの電気製品でないものにセンサを取り付ける場合，システムにどのように電力供給を行うかが問題となる．そこで我々は電磁波ノイズを用いた人感センサを提案している．このセンサは環境中の電磁波ノイズを利用することで電源供給を行うことなく人検出を行うことができる．また，その方式はレクテナによるエナジーハーベスティング技術と類似するため，システムに対する電力供給を行うことができる．これまでの研究では，基礎的な実現性を示したが，システムの構成要素のパラメータや測定条件についての評価が不十分であった．そこで本研究では，構成要素である整流昇圧回路の素子について適切なパラメータを得るための実験を行った．また，提案センサの適用範囲を明かにするため，検出対象である人や，設置場所を変えて測定を行った．実験の結果，整流昇圧回路のダイオードは 6μA 未満，コンデンサは 100pF 程度が適していることがわかった．また，提案センサの人依存性は少ないが，設置場所の違いによる影響は大きく，場所ごとに閾値を適切に設定する必要があることがわかった．

1. はじめに

近年，身の周りのあらゆるモノにセンサを取り付けて通信させるスマート化により生活支援サービスを行うための研究が進んでいる．スマート化によるサービスのひとつにスマートホームがある[1]．　スマートホームでは家の中の様々なデータを収集し，サービスのトリガとする．特に「人検出」は人を対象としたサービスのトリガなるため，多くのサービスの実現において非常に重要となっている．例えば，人が部屋に入った時に点灯する照明や人がいる時のみ動作する監視カメラなどに利用されている．

一方で，様々なモノにセンサを取り付ける場合，電源をどのように確保するかが問題となる．現状では，センサを壁や天井に取り付ける場合には電力線を引き回すか，電池を付与する，といった対応が取られる．しかし，IoT 環境では電気機器でないものなどにもセンサを付与することが考えられる．例えば椅子など移動する物体にセンサを設置する場合は電力線の引き回しが困難であったり，バッテリーを搭載してもそのメンテナンスにコストがかかるといった問題がある．これに対して Ohmura らは，環境に存在する電磁波ノイズを利用し，無電源で人検出を行うことが可能な人感センサを提案している[2]．また，この人感センサはレクテナによるエネルギーハーベスティング技術を応用したものであり，人感センサから得た信号を電力に変換して無線モジュールに供給して動作させることができる．しかし，現在までにその基礎的な実現性を確認したものの，システムの各構成要素のパラメータもまだ十分に検討されていない．また，検出対象となる人の違いや設置する環境によるセンサへの影響に関する評価は不十分であった．

そこで本研究では，提案されたセンサに利用する整流昇圧回路の素子パラメータを変えてその出力を測定し，適切なパラメータの評価を行った．また，複数の人と測定環境でセンサの出力を測定し，人依存性と環境依存性について性能評価を行った．

以下，本稿では，2 章では現在使われている人感センサの説明とセンサの電源問題に関する研究を述べ，3 章では提案しているセンサの人検出手法についてと現在までに明らかになっていることを述べ，4 章では整流昇圧回路の素子パラメータの選定，5 章ではセンサの人による依存性について評価し，6 章ではセンサを設置する環境による依存性について評価し，　7 章では結論を述べ，8 章で今後の課題を述べる．

2. 関連研究

人感センサには赤外線や超音波，カメラを使ったものがある．例えば，Yordan らは，赤外線を利用した PIR(Passive infrared)センサを部屋内における人の有無とその人数を推定することに利用した[3]．しかし，PIR センサは熱源の移動によって電圧が変化することを利用しているため，動いている人の検出はできるが，静止状態の人を検出することは困難だった．Benezeth らの研究[4]ではカメラを使い，人検出や行動量推定を行っている．カメラを使うことで多くの情報を得ることができるため行動認識などに応用することができ，より複雑なサービスにも対応することができる．しかし，カメラを使う場合，画像解析などの高度な処理を行うため，多くの計算資源を必要とする．また，プライバシーを侵害する可能性もあるため設置場所が制限される．環境の電磁波ノイズや電界の変化を用いて人の存在だけでなくその動きを認識する研究が行われた[5],[6],[7]．これらの

1 豊橋技術科学大学

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

研究では，人の動作や検出は受動素子であるアンテナによって行われセンサの省電力化はされたものの，環境内にノイズを発生させるための信号源を必要とするため信号源用の電力が必要であった．これらの人感センサは人検出の方法は違うものの静止状態の人を見つけることが困難であったり複雑な計算を必要とする．また，人感センサは周辺の人の存在を検出することを目的とするため，一般的には常に稼働状態にあり，常に電力を消費し続ける．そのためセンサ自体の省電力化が重要である． これに対して Ohmura らの提案している人感センサでは静止状態の人を見つけることができ，環境に存在する電磁波ノイズを利用し，人が近くにいるときのみ動作させることで省電力化を試みた．

センサの省電力化はワイヤレスセンサネットワークでバッテリーの交換頻度を減らすためには重要であるものの交換をなくすことはできない．そこでバッテリー自体を取り除くための研究が行われている．Tao らの研究[8]では，電力を無線電力伝送によって供給することで，バッテリーフリーで動作するセンサモジュールを提案した．彼らはバッテリーフリーを実現したが，電力伝送を行うため電力送信用の装置を設置する必要があった．また，近年では，ワイヤレスセンサネットワークにおけるセンサノードの電力源として，太陽光や風などの環境や振動，環境の電磁波などから電力を収穫するエネルギーハーベスティング技術が注目されている [9]. 太陽や風など既にあるものを使うことで新たに電力供給用の装置を設置する必要がなくなる．しかし，エネルギーハーベスティング技術による電力供給は，一般的に安定的に電力供給することが難しい．特に自然エネルギーは不安定であり，例えば，太陽光は日照量に依存するなどといった問題がある. Kawahara ら[10]は電子レンジから漏れ出る電磁波ノイズから電力を収穫する方法を提案したが，天候の影響はないものの電力を収穫できるのは電子レンジを使っている時のみであった．Nishimoto ら[11]の研究では電力源としてテレビの放送信号を使用する方法を提案した．この方法は，比較的安定的な電力の収穫が期待できるが，テレビの放送信号が弱まる時間帯が存在するため，収穫電力と消費電力のバランスをとるための回路を付与する必要があった．

これに対し，Ohmura ら[2]の提案しているセンサでは，電力源として商用電源から漏れ出る電磁波ノイズを利用する．商用電源は時間帯による変化はなく安定した電力収穫が行える．これにより，無電源で動作する人感センサノードの構築が期待できる．詳しくは次章で説明する．

3. 提案手法

Ohmura ら[2]は周囲環境ノイズを微小電流・電圧の交流電源とみなし,「交流から高圧直流への変換を行う回路によって直流電圧出力を得る」という技術，および,「人が近接するとアンテナに入力されるノイズのレベルが変動し，出力電圧も変動する」というアイディアを基にした人感センサを提案している．アンテナで受信する環境ノイズ（主に 50Hz/60Hz の交流商用電源ノイズ）は整流昇圧回路を通すことである一定の DC 出力を得ることができる．この時，誘電体である人体が近づくことでアンテナの見かけ上の感度が上昇する．すなわち，図 1 のように人が居るときはアンテナからの出力が大きくなり，結果として人がアンテナに居るときは，人が近辺に居ないときよりも高いレベルの出力を得ることができる．これにより，アンテナ周囲の人の存在を検出する．整流昇圧回路には，Cockcroft-Walton 回路（以下，CW 回路）を用いる．CW 回路はダイオードとコンデンサのみで構成され，その動作に電源を必要とせず，これらのことから，無電源で人検出を行うことができる．また, 人に対して特別なデバイスを身に着ける必要はなく，静止状態の人を検出することもできる．

また，この原理は空間中の電波を電源として利用するレクテナ（レクティフィケーションアンテナ）を用いたエネルギーハーベスティング技術と同一のものである．通常レクテナは，マイクロ波や UHF 帯の放送波を利用して，送電や電力抽出に用いられる．このため，特に住宅やオフィスなどの環境では，Wi-Fi のアクセスポイントなど，特別な設備が存在することを前提としたものが多かった．一方，提案する人感センサでは，主として商用電源ノイズ（50Hz もしくは 60Hz）を用いて動作することがわかっている．このため、人が家やオフィスなど居住する環境では，特に新たな電源設備を行なうことなく動作する事が期待できる．このような原理により Ohmura らの人感センサでは人検出を行うと共に，前述のよう，センサシステムへの電力供給として活用することが可能である．

Ohmura らの研究では，提案する人感センサについて，人とセンサ間の距離や角度，蛍光灯の状態を変えた時の出力への影響を明らかにし，人検出の可能性を示した．また，人感センサと同じ回路を用いてコンデンサを充電し，その電力によって無線モジュールを動作させることが可能であることを示した．

しかし， CW 回路の素子パラメータによってセンサの出力電圧が異なることはすでに明らかにされていたものの，CW 回路の適切なパラメータに関する検討は不十分だった．また，検出する人や測定場所による影響の検討が不十分であった．

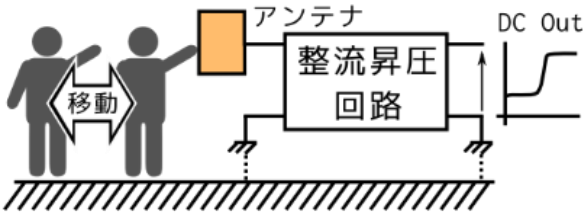


図 1　提案センサの概念図

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

そこで本研究では，CW 回路の素子パラメータを変えてセンサの出力を測定し，適切なパラメータ選択を行う．また，得られた結果より適切な CW 回路を作成し，複数の被験者と測定場所でセンサの出力を測定することで人や測定場所の依存性について評価を行う．

4. 回路素子パラメータ選定

4.1 実験内容

先行研究[2]において CW 回路の素子パラメータによって出力が異なることがわかっている．しかし，どの素子パラメータが影響するか明らかになっていない．そのため CW 回路を構成するダイオードとコンデンサの組み合わせを変えて測定し，人感センサとして利用するうえで適切な素子パラメータの選定を行った．

実験用システムのブロック図を図 1 に示す．アンテナと CW 回路で構成されており，アンテナには先行研究[1]と同様に 15×20cm の銅板を使用した．CW 回路も先行研究と同様に 8 倍昇圧で使用した．使用するダイオードは順電圧や逆電流の違う 8 種類, コンデンサは 10μF, 0.01μF, 100pF, 1pF の 4 種類で組み合わせを変えた．使用するダイオードの特性は表 1 に示す．CW 回路の出力をセンサ全体の出力とし，オシロスコープで観測した．実験用システムの全景を図 3 に示す．実際にはセンサの位置は床から 1m としアンテナとオシロスコープは 50cm 以上離して配置した．測定は商用電源がある豊橋技術科学大学内の学生居室 2 ヶ所で行い，被験者は 2 名とした．また，人の有無による出力の差を評価するために，人とセンサの距離を 0cm と 200cm にして測定した．

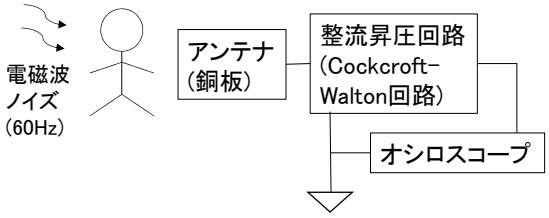


図 2　評価実験用センサシステムブロック図

表 1　ダイオードの特性

	順電圧(V)	逆電流(μA)	端子間静電容量(pF)	逆回復時間(ns)
1SS196	0.60	0.10	0.90	1.60
DB3X313N0L	0.55	50.00	3.80	1.50
DB3X315E0L	1.00	0.30	1.40	1.00
1SS321	0.32	0.50	4.50	−
1SS377	0.18	20.00	20.00	−
DA3X103E0L	1.20	0.10	2.00	2.00
1SS392	0.28	5.00	18.00	−
SBR05U20SN-7	0.51	6.00	−	−

−：データシートに記載なし

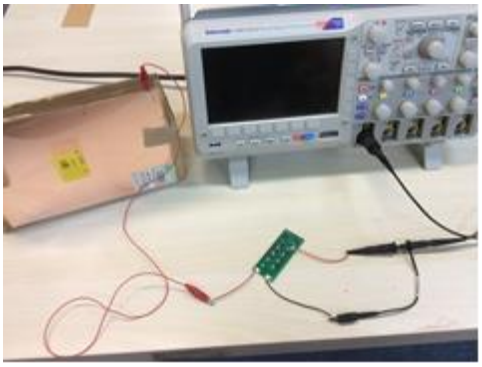
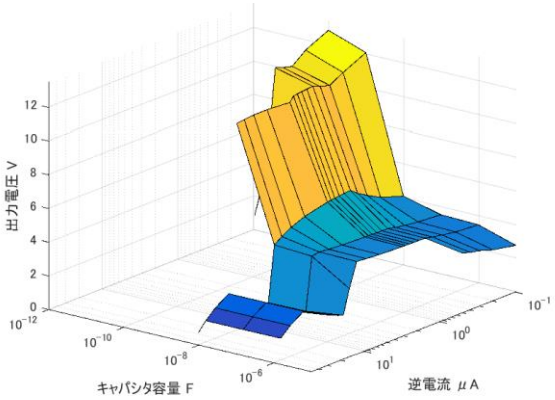


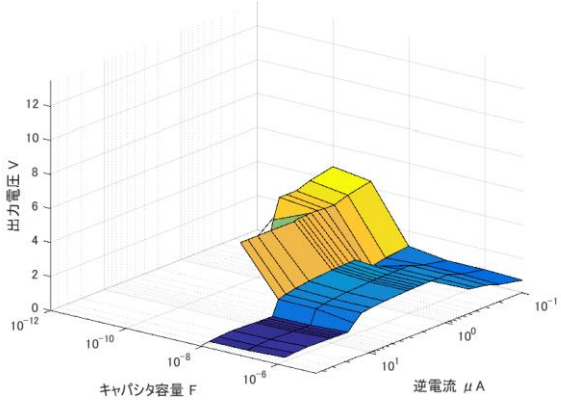
図 3　評価実験用センサシステム全景

4.2 結果と考察

被験者や場所に関らず同様の結果が得られたため被験者 1 人の 1 ヶ所での結果のみを示す．各ダイオードとコンデンサ 0.01μF の組み合せでの人センサ間距離 0cm 時のセンサ出力電圧とダイオードの特性(順電圧，逆電流，端子間容量)において無相関検定を行った．その結果，各ダイオード特性と出力電圧における相関係数は順電圧で 0.218, 逆電流で-0.747，端子間容量で-0.273 であった．P 値はそれぞれ 0.604，0.033，0.514 であった．逆電流値と出力電圧の相関のみが有意水準 5%で有意であったことからダイオードの逆電流値に着目した．ダイオードの逆電流値とコンデンサの静電容量，センサの出力電圧の 3 次元プロットを図 4 に



(a)　人センサ間 0cm



(b)　人センサ間 200cm

図 4　整流昇圧回路の素子パラメータと出力電圧のプロット

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

示す．逆電流値が高いほど出力電圧は下がっており，特に6μA 以上だと 1V 以下であった．CW 回路はダイオードの整流作用で交流電圧をスイッチングすることでコンデンサの充放電を繰り返して昇圧を行う．しかし，逆電流値が高いと逆バイアス時に漏れ電流が発生し，コンデンサが充電できず昇圧されなかったと考えられる．

コンデンサの静電容量は傾向として小さくするにつれて出力電圧が高い傾向があった．静電容量が大きいと充電に時間がかかるため充電が不十分な状態で放電しなければならなくなり昇圧が出来ていないと考えられる．しかし，最も出力電圧が高かったのは 100pF 使用時で，1pF では出力電圧が下がった．これは CW 回路に使用するコンデンサは静電容量が小さければいいというわけではなく，適切な値の範囲が存在することを示している．

また 100pF 使用時では人センサ間距離 0cm と 200cm で出力電圧に 3V 以上の差があり，人検出を行うのに十分な差であった．

5. 人依存性

5.1 実験内容

人感センサとして利用することを考えると誰でも検出できることが望ましい．もし検出できない人の条件があるならば考慮しなければならない．そこで提案センサが検出対象である人の違いによる影響について評価した．

実験に使用するシステムは 4 章で使用したものと同じものを用いた．また， 4 章の結果をもとに，CW 回路には逆電流の値が最も小さいダイオード DA3X103E0L とコンデンサ 100pF を組み合わせた回路を使用した．測定場所は 4 章と同じく豊橋技術科学大学内の部屋 2 ヶ所で，被験者 10 名（男性：9，女性：1）とした．被験者の身体的パラメータは表 2 に示す. 人の有無による出力電圧の差だけでなく，人による検出距離の違いも評価するため人とセンサの距離を 0cm から 50cm までは 10cm，50cm から 200cm までは 50cm ずつ変えて測定した．

表 2　被験者の身体的パラメータ

	身長(cm)	体重(kg)	BMI
最大値	175	81	23
最小値	156	45	17
平均	170	59	21
標準偏差	7.12	10	2.8

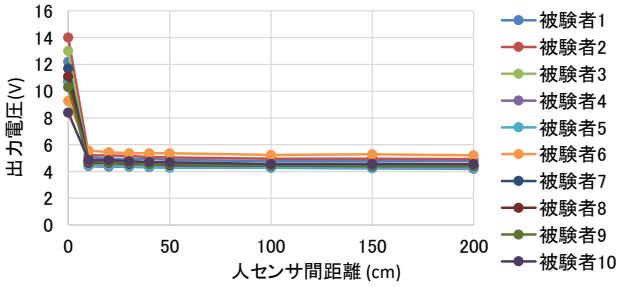


図 5　被験者ごとの人センサ間距離対出力電圧

5.2 結果と考察

場所による傾向は同じだったことから 1 ヶ所について，各被験者での人センサ間距離と出力電圧の測定結果を図 5 に示す. 人センサ間距離 200cm 時の最大出力電圧は 4.92V，人センサ間 0cm 時の最小出力電圧は 8.4V であった．ゆえに閾値を 4.92～8.4V の範囲で設定すれば人によらず同じ閾値で人感センサとして使用することができる．

また，身長と体重，BMI が影響するかについて評価した．人センサ間 0cm 時の出力電圧と相関があるか評価した．出力電圧と身長の相関係数は 0.501，体重とは 0.307，BMI とは 0.0959 であった．身長には一定の相関がみられた．そのため，無相関検定を行った結果，P 値は 0.14 となり有意であるとは言えなかった．

6. 環境依存性

6.1 実験内容

人感センサが使用される場所は様々である．その設置場所による人感センサへの影響の有無やその強さを明らかにするため，様々な場所で測定しその影響について評価を行った．

実験に使用するシステムは 5 章と同じものを使用した．被験者 2 名で行った．測定場所は豊橋技術科学大学内で部屋と開けた場所，廊下の 3 グループに分け計 9 ヶ所とした．9 ヶ所のラベルと簡単な特徴を表 3 に示す．実際の測定場所周辺の様子の例は図 6 に示す．また 5 章と同様に人とアンテナの距離を変えて測定した．

6.2 結果と考察

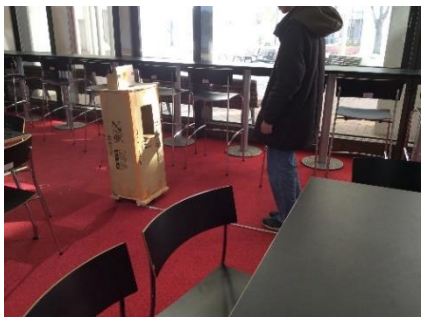
被験者による傾向は同じだったため被験者 1 人の各測定場所での人センサ間距離と出力電圧の測定結果を図 7 に示す．部屋を青または紫系統，開けた場所を緑系統，廊下を赤系統の色の線で表している．出力電圧レベルはグループごとに類似した結果とはならなかったことから，今回分類

表 3　測定場所の特徴

測定場所	特徴
C2-402	学生居室(冷蔵庫あり)
C3-405	学生居室
A203	講義室
F101	講義用PC室
C-2F掲示板前	掲示板前の広く取られたスペース
A-1F	2階まで吹き抜けのホール
福利施設1F	本屋前の休憩スペース
A-2F廊下	1階から吹き抜け
C-4F廊下	学生居室に挟まれている

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

(a)　部屋の例(A203)



(b)　開けた場所の例(A-1F)

(c)　廊下の例(A-2F 廊下)

図 6　測定場所周辺の様子

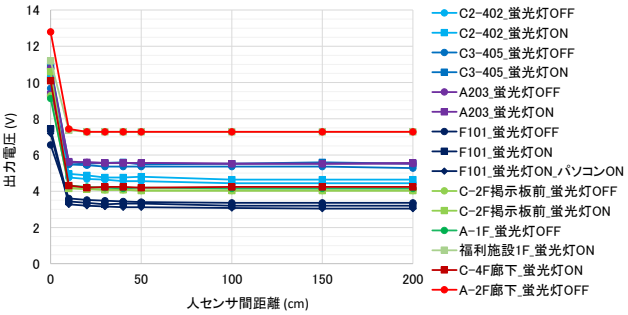


図 7　測定場所ごとの人センサ間距離対出力電圧

した条件では出力に影響を与えなかった．

人センサ間距離 200cm 時の最大出力電圧は 7.28V，人センサ間距離 0cm 時の最小出力電圧は 6.56V であった．これは 6.56V を閾値として設定すると，別な場所に設置した時に常に人検出状態になってしまうことを意味している．ゆえに電圧レベルを閾値として人検出を行う場合同じ閾値で利用することができない．しかし，5 章で述べたように人による出力の違いはないため場所ごとに適切な閾値を設定することで十分人感センサとして使用できると考えられる．

7.　結論

本研究では, Ohmura らが提案している環境ノイズ人感センサの CW 回路素子パラメータの選定と人・環境依存性について評価を行った

CW 回路はダイオードとコンデンサのみで構成された昇圧回路である．そのため素子の選定基準を明らかにする目的で，ダイオードとコンデンサの組み合わせを変えてセンサの出力を測定し, 素子パラメータによる影響を評価した．その結果，ダイオードは逆電流値が影響し，6μA 以上では出力電圧が著しく低くなることがわかった．コンデンサは静電容量が小さいほうが出力電圧は高くなり 100pF 使用時が最も高かった．これらのことから提案しているセンサに使用する CW 回路は逆電流の小さいダイオードと 100pF 程度のコンデンサの組み合わせが適切であることがわかった．

人による依存性を評価するため，被験者 10 名で測定した．その結果，電圧レベルの閾値が同じでも人感センサとして利用できるため人による影響はないと考えられる．

また，測定場所による影響を評価するため 9 ヶ所で測定を行なった．その結果，場所による依存性は大きく，人感センサとして使用する場合には適切な閾値が場所ごとに存在することがわかった．

8.　今後の課題

本研究では人による依存性は人検出に影響がない範囲に収まっていたが，影響を及ぼす要因が身体的パラメータ以外にも存在する可能性があるため，服装や装飾品などの身に着けるものによる影響についても評価を予定している．また，これまでの実験では銅板アンテナを用いたが，その形状や大きさなどについては未検討であった．今後，これらの条件を変えて実験を行い，検出距離や出力電圧に影響があるか評価する予定である．

これらの実験とともに，本研究で明かになった環境依存性への対応方法を検討し，提案する人感センサの実用性を高めていく予定である．

参考文献.

[1] Silva, L.C.D., Morikawa, C., and Petra, I.M.:State of the art o f smart homes, *Engineering Applications of Artificial Intelligen ce*, Vol.25, No.7, pp.1313-1321(2012)

[2] Ohmura, R. and Higa, K.: Development of Zero Powered Hum an Detection Sensor Using Environmental Electric Noise, Proc. *International Conference Mobile and Ubiquitous Systems: Co mputing, Networking and Services* (*MOBIQUITOUS'16*), ACM, (2016)

[3] Raykov, Y.P., Ozer, E., Dasika, G., et al.:Predicting room occu pancy with a single passive infrared (PIR) sensor through beha vior extraction, *2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*(UbiComp 2016), ACM, p

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

p.1016-1027(2016)
[4] Y.Benezeth, H.Laurent, B.Emile., C.Rosenberger: Towards a se nsor for detecting human presence and characterizing activity, *Energy and Buildings*, Vol.43, No.2-3, pp.305-314(2011)
[5] Chon, G., Gupta, S., Lee, T., et al.:An Ultra-Low-Power Hum an Body Motion Sensor Using Static Electric Field Sensing, *1 4th ACM International Conference on Ubiquitous Computing*(Ub icomp 2012), ACM, pp.99-102(2012)
[6] Chon, G.,Morris, D., Patel, S.N., et al.:Humantenna: Using the Body as an Antenna for Real-Time Whole-Body Interaction, Pr oc.*SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Syste ms*(CHI '12), ACM, 1901-1910(2012)
[7] Kellogg, B., Talla, V. and Gollakota, S.:Bringing Gesture Reco gnition To All Devices, *11th USENIX Conference on Networke d Systems Design and Implementation*(NSDI'14), USENIX, pp. 303-316(2014)
[8] Yu, T., Kuki, Y., Matsushita, G., et al.:Design and implementat ion of lighting control system using battery-less wireless huma n detection sensor networks, *IEICE Transactions on Communic ations*, (2016)
[9] Shaikh, K.F, Zeadally, S.:Energy harvesting in wireless sensor networks:A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.55, pp.1041-1054(2016)
[10] Kawahara, Y., Bian, X., Shigeta, R.:Power Harvesting from Mi crowave Oven Electromagnetic Leakage, *2013 ACM Internation al joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*(U biComp 2013), ACM, pp.373-382(2013)
[11] Nishimoto, H., Kawahara, Y., Asami, T.:Prototype Implementati on of Ambient RF Energy Harvesting Wireless Sensor Networ ks, *IEEE SENSORS 2010 Conference*, IEEE, (2010)

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan