

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4049112号  
(P4049112)

(45) 発行日 平成20年2月20日 (2008. 2. 20)

(24) 登録日 平成19年12月7日 (2007. 12. 7)

(51) Int. Cl.

H04B 1/38 (2006.01)

F I

H04B 1/38

請求項の数 7 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2004-64973 (P2004-64973)  
 (22) 出願日 平成16年3月9日 (2004. 3. 9)  
 (65) 公開番号 特開2005-260291 (P2005-260291A)  
 (43) 公開日 平成17年9月22日 (2005. 9. 22)  
 審査請求日 平成18年5月19日 (2006. 5. 19)

(73) 特許権者 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
 (74) 代理人 100100310  
 弁理士 井上 学  
 (72) 発明者 山下 春造  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内  
 審査官 山中 実

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

センサを接続するためのコネクタと、  
上記コネクタを経由して上記センサからセンサデータの入力を受け、上記センサデータから送信データを形成する第1の信号処理回路と、  
上記第1の信号処理回路からの上記送信データを高周波信号に変換する第2の信号処理回路と、  
上記高周波信号の入力を受け、アンテナを介して出力する入出力回路と、  
上記コネクタ及び上記第1の信号処理回路を実装する第1の面と、上記第2の信号処理回路及び上記入出力回路を実装する第2の面とを有する基板と、を有し、  
上記第1の信号処理回路と上記第2の信号処理回路との間の信号経路が折り返すように上記第1の面と上記第2の面が上記基板の表裏をなす電子装置。

【請求項 2】

請求項 1 において、  
 上記基板には、上記第1の信号処理回路から発生するノイズを上記第2の信号処理回路に伝達するのを抑制するシールド層を設けた電子装置。

【請求項 3】

請求項 2 において、  
 上記シールド層として、第1電位が与えられる第1のプレーン層と第2電位が与えられる第2のプレーン層が設けられ、

上記第 1 電位は上記第 1 の信号処理回路の基準電位であり、上記第 2 電位は上記第 1 の信号処理回路の電源電位である電子装置。

【請求項 4】

請求項 3 において、

上記第 1 のプレーン層は、上記第 2 のプレーン層よりも上記基板の第 2 の面に近い層として形成された電子装置。

【請求項 5】

請求項 2 乃至 4 の何れかにおいて、

上記シールド層が、上記基板の内部に設置されている電子装置。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 の何れかにおいて、

上記センサは上記コネクタを介して電源を供給され、

上記第 1 の信号処理回路は、上記センサを間欠的に動作させ、上記センサを動作させないときには上記センサへの電源供給を遮断する電子装置。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 の何れかにおいて、

上記電子装置に内蔵された内蔵センサを有し、

上記第 1 の信号処理回路は、上記内蔵センサを間欠的に動作させ、上記内蔵センサを動作させないときには上記内蔵センサへの電源供給を遮断する電子装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無線通信機能付きの電子回路に関する。特に、センサネットワークシステムを構築するために好適な小型かつ低消費電力な電子回路に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、センサに無線通信機能を有する小型の電子回路を付加して、現実世界の様々な情報をリアルタイムに情報処理装置に取り込むネットワークシステム（以下、センサネットワークという）が検討されている。センサネットワークには幅広い応用が考えられており、例えば、無線回路、プロセッサ、センサ、電池を集積した指輪型の小型電子回路により、脈拍等を常時モニタし、モニタ結果は無線通信により診断装置に送信され、モニタ結果に基づいて健康状態を判定するといったような医療応用も考えられている（非特許文献 1）。

【0003】

しかし、センサネットワークを広く実用化するためには、無線通信機能、センサ、および、電池等の電源を搭載する電子回路（以下、センサノードという）を、長時間に渡ってメンテナンスフリー、かつセンサデータを送信し続けられるものとし、かつ外形も小型化することが重要になる。このため、超小型でどこにでも設置できるセンサノードの開発が進められている。現段階では、実用上、1 年程度の期間、電池交換をせずに使用可能であることが、メンテナンスコストおよび使い勝手の両面から必要と考えられている。

【0004】

このように、センサノードは、超小型であると同時に低消費電力であることが要求される。例えば、非特許文献 2 には、「M i c a 2 D o t」と呼ばれる、直径 3 c m 程度の小型のセンサノードのプロトタイプが紹介されている。この M i c a 2 D o t は、無線通信に必要な機能を集積した R F チップと、低消費電力なプロセッサチップから構成される。このプロトタイプにおいては、99%の時間は待機状態で、残りの 1%の時間のみを間欠的に起動してセンサを動かして結果を無線通信するという間欠動作により、小型電池にて 1 年程度の動作が可能としている。このセンサノードでは、米国にて免許不要で使用可能な周波数帯である 260 ~ 470 M H z、902 ~ 928 M H z 等の周波数帯を利用して無線通信を行う。一般的に無線通信を行うためには、免許やあらかじめ認証された特別な送受信機を使用する必要がある、利用に制限が大きい。そのため、免許不要な周波数を利

10

20

30

40

50

用するのであれば、手間とコストをかけずに設置可能となりシステムの構築が容易になるため、このような周波数帯を用いることが有利である。特に、米国においては送信電力の最大値は、433 MHz 帯では電界強度は11 mV/m以下、また、900 MHz 帯では、50 mV/m以下と規定されており（いずれも送信点より3 mの距離の地点）、免許不要な周波数帯の中でも、これらの送信電力の規制値が比較的緩和されている周波数帯を使用することで、良好な通信性能かつ低コスト化を実現している。

#### 【0005】

しかし、電波法規は国や地域によって異なっており、例えば日本における電波法規は非特許文献3に記載されている通りであり、必ずしも免許不要な周波数帯において許容されている電界強度が緩和されているとは限らない。

10

また、非特許文献4には、センサノードの電源として好適な小型ボタン電池が開示されている。

#### 【0006】

【非特許文献1】Sokwoo Rhee他「Artifact-Resistant Power-Efficient Design of Finger-Ring Plethysmographic Sensors」, IEEE Transactions On Biomedical Engineering, Vol.48, No.7, July 2001, pp.795-805

#### 【0007】

【非特許文献2】Crossbow「Smarter Sensors In Silicon」[online][2004年2月16日検索]、インターネット URL : [http://www.xbow.com/Support/Support\\_pdf\\_files/Motetraining/Hardware.pdf](http://www.xbow.com/Support/Support_pdf_files/Motetraining/Hardware.pdf)

20

【非特許文献3】「たくさん使われている微弱無線機器」[online][2004年2月17日検索]、インターネット URL : [http://www.circuitdesign.jp/jp/technical/technical\\_pdf/bijaku.pdf](http://www.circuitdesign.jp/jp/technical/technical_pdf/bijaku.pdf).PDF

【非特許文献4】「Data Sheet CR2032」[online][2004年2月21日検索]、インターネット URL : [http://www.maxell.co.jp/e/products/industrial/battery/pdf/CR2032\\_DataSheet.pdf](http://www.maxell.co.jp/e/products/industrial/battery/pdf/CR2032_DataSheet.pdf)

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

無線通信で必須な電波資源（使用可能な周波数帯域と最大送信電力）は国や地域によって異なっており、非特許文献3に示されるように、日本において免許不要で使用可能な電波資源は以下の通りとなっている。

30

1. 322 MHz 以下あるいは10 GHz 以上の周波数帯

送信点より3 mの距離にて、電界強度が500  $\mu$ V/m以下

2. 322 MHz 以上かつ10 GHz 以下の周波数帯

送信点より3 mの距離にて、35  $\mu$ V/m以下。

#### 【0009】

この規制値は米国での規制値よりもはるかに厳しい値である。このため、高い送信電力を想定して設計されたセンサノードを厳しい電波規制環境で使用するためには、送信電力を当初の設定値よりも低くなるようにしなければならない。しかし、受信側にて元々想定していた電力よりも遥かに低い電力しか受信できないためうまく動作しない。例えば、米国の電波規制のもとで設計されたセンサノードを日本の電波規制のもとで使おうとすれば、900 MHz 帯の場合、送信電力は50 mV/mから35  $\mu$ V/mに削減しなければならないのである。つまり、電波強度は、63 dB (= 20  $\times$  log (50 mV / 0.035 mV)) も弱める必要があることになる。

40

#### 【0010】

一般的なRFチップでは最小受信感度（受信可能な高周波無線信号の信号レベルの最小値）は、-100 dBm程度である。電波強度が63 dBも弱まるとすると、ほとんど受信不可能に陥ってしまう。具体的には、数10 mの距離で安定して送受信できていたものが、数mの距離でも通信できない事態に陥ってしまうおそれがある。使用する周波数を3

50

15 MHzに変更すれば、電波強度として500  $\mu\text{V}/\text{m}$ が許容されるため、状況は多少改善される。しかし、この場合でも、40 dB ( $= 20 \times \log(50 \text{ mV} / 0.5 \text{ mV})$ )も劣化していまい、やはり、通信可能な距離の劣化は避けられない。

#### 【0011】

受信感度を向上させるためには、まずRFチップをより高感度とすることであるが、現状のCMOSテクノロジーではこれ以上の感度向上は困難であると考えられる。そのため、外付けの高周波低雑音増幅器(Low Noise Amplifier、LNA)を、RFチップの入力に付加して、受信感度を上げる方法が広く実行されている。このような増幅器を付加して、受信された信号を20 dB程度増幅すれば、理論的には、10 m程度の通信距離が可能になるものと考えられる。

10

#### 【0012】

しかし、我々が実際に試行した範囲ではこれだけでは不十分であった。通常、センサノードでは、サイズの制約からプロセッサチップとRFチップを非常に小さい領域(～数cm角)に集積する必要がある。一方、よく知られているように、センサノードのように微弱な高周波無線信号で無線通信を行う場合には、プロセッサチップからの輻射ノイズが障害となって簡単には受信感度向上できない。通常、デジタル回路は、方形波で信号をやり取りする。方形波は様々な周波数成分の交流信号から構成され、その中には無線通信で使用する信号成分に極めて近い周波数帯の信号が含まれている。一方、RFチップでは、非常に微弱な高周波無線信号(典型的には $\mu\text{V}$ 以下のオーダー)を増幅して、所望のデータを復調する。このため、デジタル回路の信号が少しでも、RFチップの入力部分に回り込んでしまうと、RFチップでは、アンテナからの高周波無線信号を正常に復調できなくなってしまう。さらに、一見すると全く違う周波数成分でも、増幅回路LNAやRFチップ内部で使用する半導体デバイスの入出力非線形特性により、新たな周波数成分の信号が合成され、受信対象の周波数帯にノイズ信号が出現してしまう。このため、最悪の場合、受信感度を上げる目的で追加した増幅器LNAが増幅しているのはプロセッサチップからの輻射ノイズである、ということにもなりかねない。したがって、センサノードにおいては小型化と受信感度の向上という相反する課題を解決する必要がある。

20

#### 【0013】

また、増幅器LNAの採用は、消費電力ひいては電池寿命に影響を与える。増幅器LNAに未使用時に増幅器LNAチップ全体を待機状態として消費電力を抑える機能が具備されていたとしても、待機状態で最大で10  $\mu\text{A}$ 程度の待機電流が消費される。センサノードをメンテナンスフリーとし、かつコンパクトで長時間動作を可能にするためには、ボタン電池を使用せざるを得ない。しかし、このようなボタン電池だと電流容量はせいぜい200 mAhである。このため、増幅器LNAで常時10  $\mu\text{A}$ 程度の電流を消費するとすると、何も動作しなくとも2年程度( $2.28 \text{ 年} = 200 \text{ mAh} / 0.01 \text{ mA} / 24 \text{ h} / 365 \text{ day}$ )しか持たない。実際には、条件により電池容量は低減し、例えば低温時には電池容量が減少することが知られており、一層電池寿命を短くしてしまう。

30

#### 【0014】

電池寿命の観点から重要なのはその使い方である。非特許文献4に示されるように、ボタン電池では、数mAを超えるような大電流を流し続けると、電池容量は極端に劣化する。さらに、発明者が検証したところ、ボタン電池を使用する場合には、パルス的に(間欠的に)ボタン電池を使用する場合においてもピーク電流を抑えないと、電池容量が極端に劣化してしまうという問題が見出された。発明者の実測では、パルス的に10 mA程度の電流を消費させた場合でも同様の現象が観測されている。これまでのセンサノードでは、例えば非特許文献2に示されているように、デューティ比(間欠動作において、実際に動作している時間と間欠動作の時間間隔の比率)を1%以下に抑えることにより、平均消費電流を下げて電池寿命を延ばすことを目指している。したがって、デューティ比を下げて平均消費電流を削減する方式は、大きなピーク電流を生じさせてしまう場合には電池容量が極端に劣化してしまうので、かえって電池寿命を短くしてしまうおそれがある。

40

#### 【0015】

50

現状の半導体テクノロジーで実現可能なRFチップでは、送受信には10mA程度の電流が必要であり、低消費電力なプロセッサチップを動作させるにも5mA程度の電流が必要である。さらに、増幅器LNAにも10mAの電流が必要である。したがって全体としては、送受信には20mA程度の電流が必要である。このため、非特許文献2が開示するように、0.1%程度の低いデューティ比で動作させて、見かけ上の消費電流を10μA程度に抑えたとしても、実際には、ピーク電流によるボタン電池容量の劣化現象のため、寿命はかなり短くなるおそれがある。さらに、センサの消費電流を考慮すると、実際の電池寿命はもっと短いものになる。一般的なセンサネット応用では、センサとして、温度センサ、加速度センサ、光学センサ等が考えられる。このうち、温度センサは数μAのものが入手可能である。しかし、非特許文献1で開示される光学センサベースの脈拍センサでは、ピークで数mAの電流が必要である。また、温度センサの消費電流が数μAであるとしても、常時起動したままにしておくと、ボタン電池の電流容量が限られたものであるため、動作寿命に与える影響は無視できない(5μAとした場合でも、200mAh/5μA/24h/365day=4.5年しか持たない)。

10

#### 【0016】

そこで、本発明により、ノイズの影響を極力排除して増幅器LNAにより実効的な受信感度を高めるとともに、待機電流を極力抑えながら、ピーク電流も低く抑えて、ボタン電池の電池容量の劣化現象を低減して、小型でかつ長寿命な実用的なセンサノードを提供する。

さらに、本発明では、センサノードにおいて、電池寿命を最大限に延ばすために、プロセッサチップ/RFチップ/LNA/センサを総合的に制御して、待機電流およびピーク電流を最小限に抑えることを可能とする制御方式を提供する。

20

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0017】

本発明の代表的なものは下記のとおりである。本発明の電子装置は、基板と、センサを接続するためのコネクタと、コネクタを経由してセンサからセンサデータの入力を受け、送信データを形成する第1の信号処理回路と、第1の信号処理回路からの送信信号を高周波信号に変換する第2の信号処理回路とを有し、コネクタ及び第1の信号処理回路は基板の第1の面に実装され、第2の信号処理回路は基板の第2の面に実装される。これによりノイズの発生源となるデジタル回路と高周波回路とを分離する。その効果をより高めるために基板にはノイズシールド層を設ける。さらに、それぞれの面の配置もノイズ発生源になる回路とノイズにセンシティブな回路とを遠ざけるように工夫する。

30

#### 【0018】

また、電子装置は間欠動作するものとし、使われない回路については電源を遮断可能に構成する。例えば、高周波低雑音増幅器LNAは受信動作を行わない場合には電源遮断し、センシング動作を行わない場合にはセンサへの電源供給を遮断する。

さらに、ボタン電池にて電源が供給され、内部処理と外部装置との送受信処理とを同時に実行可能に構成された電子装置に対して、内部処理に要する消費電流と送受信処理に要する消費電流の和が所定の電流量を越えると判断される場合には内部処理と送受信処理とを異なるタイミングで実行し、内部処理に要する消費電流と送受信処理に要する消費電流の和が所定の電流量を越えないと判断される場合には内部処理と送受信処理とを重複するタイミングで実行する。ボタン電池は一時的であっても大きなピーク電流が流れると電池寿命を劣化させるため、推定される消費電流に基づき動作タイミングを決定させるものである。

40

#### 【発明の効果】

#### 【0019】

本発明により、実用的な通信距離性能を有し、実用的な動作寿命を有するセンサノードが実現可能となる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0020】

50

以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら詳細に説明する。なお、同一符号を付した構成要素は、同一または類似の構成を示すものである。

図1に、センサノードSN1を構成する回路を基板BO1の表面SIDE1へ実装した様子を示し、図2に、基板BO1の裏面SIDE2へ実装した様子を示す。図1に示されるように、基板BO1の表面SIDE1には、高周波信号処理チップCHIP1（以下、「RFチップ」と称する）、第1の水晶振動子X1、高周波スイッチRF SW、高周波低雑音増幅器LNA、マッチング回路MA、裏面SIDE2に実装された回路とのインタフェースIF1、表示装置DISP、および、コンデンサC1、C2、C3、C4が実装されている。また、図2に示されるように、裏面SIDE2には、プロセッサチップCHIP2、コネクタCN1、第1および第2の電源遮断スイッチ（PS1、PS2）、内部センサとしての温度センサTS1、第2および第3の水晶振動子（X2、X3）、及び表面SIDE1上に設けられたスイッチRF SWおよび増幅器LNAをインタフェースIF1経由で制御するRF SW/LNA制御回路LSCから構成される。コネクタCN1には外部センサが接続される。なお、水晶振動子X1～X3に代えてセラミック振動子を用いることもできる。

#### 【0021】

RFチップCHIP1とプロセッサチップCHIP2とはインタフェースIF1により相互に接続される。プロセッサチップCHIP2は、内部センサから、またはコネクタCN1経由で外部センサからセンサデータを収集し、センサデータをインタフェースIF1経由でRFチップCHIP1に引き渡す。RFチップCHIP1はセンサデータを無線信号に変換して、センサノードSN1の外部に設置される外部無線端末に送信する。また、逆に外部無線端末からの無線信号を受信する。外部無線端末からは、典型的には、センサデータの送信要求や、無線通信の周波数や伝送レート等の動作パラメータが送信され、センサノードSN1で受信されたデータは、インタフェースIF1経由でプロセッサチップCHIP2に引き渡され、次回からの無線通信時の設定等に使用される。

#### 【0022】

図3に示すのはセンサノードSN1の断面図である。この図に示されるように、基板BO1内部には、グランドプレーンGP1および電源プレーンVP1が設置されている。これら2つのプレーンは、基板BO1の表裏のシールドとして利用され、表面SIDE1に実装される高周波回路に伝達されるプロセッサチップCHIP2等から発生されるノイズを低減して実効的な受信感度を向上させる。グランドプレーンGP1は、グランド電位（基準電位）GNDに接続されたビア（例えばビアV20）に接続され、グランド電位GNDが与えられている。また、電源プレーンVP1は、電源ラインVDDに接続されたビア（例えばビアV10）に接続され、電源電位VDDが与えられている。図4および図5は、それぞれグランドプレーンGP1および電源プレーンVP1の平面構成を示した図である。グランドプレーンGP1では、グランドに接続しても良いビア（例えば、V20）以外の部分では、ビアに接触しないようにプレーン層を設置しない。図4に示す、電源電位VDDに接続されたビアを通すためのビア孔VH10～VH15やインタフェースIF1を通すためのビア孔VH1がこれに該当する。同様に、電源プレーンVP1においても電源プレーンVP1に接続しないビアの周囲にはプレーン層を設置しない（図5）。

#### 【0023】

なお、図3では、2層のプレーン層のうちRFチップCHIP1に近い方のプレーン層をグランドプレーンGP1としているが、これは表面SIDE1上の高周波回路から見た場合のグランドプレーンGP1の電源インピーダンスを低くできることから好ましい構成である。また、図4、図5の例ではビア孔以外の全面にプレーン層を設けているが、裏面SIDE2または表面SIDE1の配線層としてその一部を用いることも可能である。

#### 【0024】

次に、図2を参照しながら、基板BO1の裏面SIDE2に実装されたプロセッサチップCHIP2について説明する。プロセッサチップCHIP2は、メモリ回路MEM、プロセッサ回路CPU、データ入出力回路SIO、A/D変換回路ADC、タイミング生成

回路TIM、プログラマブル入出力回路PIOを含む。これらの回路ブロックは、内部バスBUS1により相互に結合され、データのやり取りや制御がなされる。

【0025】

メモリ回路MEMは低消費電力なSRAM(Static Random Access Memory)やフラッシュメモリ等の不揮発メモリで構成される。メモリ回路MEM上に、後述する本発明に特有な制御方式を実現するためのソフトウェアが搭載される。プロセッサ回路CPUは搭載されたソフトウェアに従ってプロセッサチップCHIP2内の他の回路ブロックを制御して、所望の動作を実現する。

データ入出力回路SIOはシリアルデータの入出力回路であり、センサデータをRFチップCHIP1に送るために使用される。また、プログラマブル入出力回路PIOはパラレルデータの入出力回路であり、主にRFチップCHIP1の送信/受信等の動作モードの制御に必要な制御データの入出力のために使用される。

【0026】

コネクタCN1には外部センサが接続されるが、外部センサはアナログデータを出力するものであっても、デジタルデータを出力するものであってもよい。アナログタイプのセンサのセンサデータAPはAD変換回路ADCによりデジタルデータに変換される。例えば、センサノードSN1にはアナログタイプの温度センサTS1が基板BO1上に内蔵されており、センサTS1からの温度データATはAD変換回路ADCにてデジタル量に変換され、必要に応じてメモリMEM上に格納される。一方、デジタルタイプのセンサデータDPはプログラマブル入出力回路PIOを介してプロセッサチップCHIP2に入力され、必要に応じてメモリMEM上に格納される。

【0027】

また、プロセッサチップCHIP2はRF SW/LNA制御回路LSCを制御し、増幅器LNAの電源のオン/オフや高周波スイッチRF SWの送受信切り替えを実行する。さらに、プロセッサチップCHIP2は電源遮断スイッチPS1, PS2を制御して、温度センサTS1や外部センサの電源のオン/オフを制御する。また、タイミング生成回路TIMは、水晶振動子X2またはX3の発振周波数から、動作に必要なタイミング、例えば、クロック信号や後述する間欠動作において使用されるタイマ信号が生成される。

【0028】

なお、プロセッサチップCHIP2は、低消費電力動作のため2つの水晶振動子を使い分けている。水晶振動子X2はメインクロック用で、例えば、数MHz以上のものである。メインクロック使用時の消費電流は、典型的には数mAとなる。一方、水晶振動子X3は、サブクロックおよびタイマ信号の生成用で、例えば腕時計用に使用される32KHzの超低消費電力のタイプのものによって構成される。プロセッサチップCHIP2は、低消費電力モードにおいてメインクロックX2を停止させ、サブクロックX3によりプロセッサチップを駆動することにより、消費電流を10μA以下に削減可能である。さらに、上記回路ブロックのうちAD変換回路ADC、データ入出力回路SIO、プログラマブル入出力回路PIO、メモリMEMは、プロセッサ回路CPUからの制御によりクロック供給を止めることにより、待機時の消費電流を低く抑え、数μA以下の待機電流を実現することができる。

【0029】

次に、図1を参照しながら、基板BO1の表面SIDE1に実装されたRFチップCHIP1について説明する。RFチップCHIP1は、高周波変復調回路RF、発振回路OSC及び制御回路CONから構成される。プロセッサチップCHIP2から送られて来たセンサデータDSは高周波変復調回路RFにおいて所定の周波数帯(〜315MHz)の高周波無線信号RFOに変換され、外部無線端末へと送信される。また、外部無線端末からの高周波無線信号は、アンテナANT1にて受信され、高周波変復調回路RFにて復調される。復調された信号CSはインタフェースIF1経由でプロセッサチップCHIP2に引き渡される。なお、センサノードSN1では受信強度をモニタしており、受信強度を示す信号ASも高周波変復調回路RFのRSSI端子からインタフェースIF1経由でプ

10

20

30

40

50

ロセッサチップＣＨＩＰ２に引き渡されている。

【００３０】

また、発振回路ＯＳＣは水晶振動子Ｘ１の発振周波数をベースに、ＲＦチップＣＨＩＰ１全体の動作に必要なクロック信号、及び目的の無線通信帯の高周波信号（搬送周波数信号）が生成される。

さらに、高周波変復調回路ＲＦと発振回路ＯＳＣとは、制御回路ＣＯＮにより、プロセッサチップＣＨＩＰ２の制御信号ＣＳに応じて制御される。具体的には、送信や受信等の動作モードの切り替えや、送受信信号の周波数帯の微調整、あるいは、送信電力等が制御される。さらに、プロセッサチップＣＨＩＰ２からの制御信号により発振回路ＯＳＣを停止させて、ＲＦチップＣＨＩＰ１全体を待機状態に移行させることも可能である。この場合、ＲＦチップＣＨＩＰ１の消費電流を典型的には１μＡ以下にまで削減可能である。

10

その他の構成要素について動作及び構成を説明すると以下の通りである。

【００３１】

高周波スイッチＲＦＳＷは、裏面ＳＩＤＥ２上に設けられたＲＦＳＷ／ＬＮＡ制御回路ＬＳＣにより制御される。アンテナＡＮＴ１とＲＦチップＣＨＩＰ１との間の結線を切り替えて所望の送受信動作を実現する。具体的には、送信時には高周波スイッチＲＦＳＷのＲＩ端子とＲＯ２端子間を導通させる。また、受信時にはＲＩ端子とＲＯ１端子を導通させる。

【００３２】

増幅器ＬＮＡはＲＦチップＣＨＩＰ１の外付けとして、アンテナＡＮＴ１で受信された非常に微弱な高周波無線信号を、ＲＦチップＣＨＩＰ１で復調可能なレベルにまで増幅する。ここで、増幅器ＬＮＡを外付けとしたのは、ＲＦチップＣＨＩＰ１と違うプロセスで形成された素子を用いるためである。低コスト化及び低消費電力動作のため、ＲＦチップＣＨＩＰ１はＣＭＯＳ回路で構成することが望ましい。しかし、その一方でＣＭＯＳ回路にはゲート雑音が大きいといった問題があり、微弱な高周波無線信号を増幅するのは不得手である。そこで、増幅器ＬＮＡとしてはＣＭＯＳコンパチブルでないプロセスで形成された回路を用い、外付け回路としている。増幅器ＬＮＡはその増幅能力を考慮し、例えばＧａＡｓといった化合物半導体、ＳｉＧｅ、あるいはバイポーラ回路で構成することが望ましい。アンテナＡＮＴ１にて受信された高周波無線信号は、増幅器ＬＮＡの入力端子ＬＩに入力され、所定の増幅率で増幅された後に出力端子ＬＯ経由で出力される。増幅器Ｌ

20

30

【００３３】

マッチング回路ＭＡは、ＲＦチップＣＨＩＰ１の入出力インピーダンスと、高周波スイッチＲＦＳＷおよび増幅器ＬＮＡの入出力インピーダンスをマッチングさせ、高周波無線信号がこれらの素子の間でロスなく伝達できるようにするための回路である。マッチング回路ＭＡは、インダクタ、コンデンサ、抵抗、あるいは、フィルタ等の受動部品で構成される。

40

図６は、表面ＳＩＤＥ１に実装された回路と裏面ＳＩＤＥ２に実装された回路とがインタフェースＩＦ１を介して結線された状態を示す図である。インタフェースＩＦ１は、データ信号線ＤＳ、制御信号線ＣＳ、表示装置（ＤＩＳＰ）制御線ＤＣ、ＬＮＡイネーブル端子制御線ＬＣ、ＲＦＳＷ送受信切り替え制御線ＲＣ、および、電源ラインＶＤＤ／ＬＮＡ電源ラインＶＤＤ１から構成される。

【００３４】

データ信号線ＤＳは、プロセッサチップＣＨＩＰ２のデータ入出力回路回路ＳＩＯとＲ

50



FチップCHIP1の高周波変復調回路RF間を接続する信号線である。また、制御線信号CSは、プロセッサチップCHIP2のプログラブル入出力回路PIOとRFチップCHIP1の制御回路CONとを接続する信号線である。データ信号線DSは2つのチップ間のデータのやり取りに使用され、制御信号線CSは、プロセッサチップCHIP2がRFチップCHIP1の動作モードを切り替えるための制御線として使用される。さらに、表示装置制御線DCは表示装置DISPの制御に用いられる。図7に表示装置DISPの構成例を示す。表示装置DISPは、発光ダイオードLD10、発光ダイオードLD10を駆動するインバータIV10及び発光ダイオードLD10の電流制限用の抵抗R10から構成される。表示装置DISPは、例えば、設置時に外部無線端末との無線通信に成功した時や、故障などの異常状態が生じた時に点灯し、表示装置制御線DCにより点灯あるいは消灯が制御される。

10

#### 【0035】

また、LNAイネーブル端子制御線LC、RF SW送受信切り替え制御線RC、および、LNA電源ラインVDD1は、RF SW/LNA制御回路LSCにより制御される。図8に、この制御回路LSCの構成例を示す。制御回路LSCの2つの入力端子LI1およびLI2は、プロセッサチップCHIP2のプログラブル入出力回路PIOから出力される信号により制御される。増幅器LNAを起動する場合には、LI1を“0”に設定することにより電源遮断スイッチPS20を導通状態とし、増幅器LNAの電源ラインVDD1を通电する。このときLI2を“1”に設定すると、LNAイネーブル制御線LEを“0”に設定し、これにより増幅器LNAが活性化する。これとともに制御線LEと同じレベルをもつRF SW制御線RS-1が“0”に設定され、かつRF SW制御線RS-2がインバータIV21により“1”に設定されることにより、高周波スイッチRF SWは受信経路を導通させ、送信経路を遮断する。一方、LI2を“0”に設定すると、増幅器LNAは不活性とされ、かつ高周波スイッチRF SWは送信経路を導通させ、受信経路を遮断する。

20

#### 【0036】

以下に本実施例の特徴をまとめる。

(1) 微弱な高周波無線信号を扱う高周波回路とそれ以外のデジタル部分とを、基板BO1の表面と裏面とに分離してノイズの影響を低減して受信感度を向上させる。背景技術において説明したようにセンサノードを使用する際に最大送信電力に厳しい制約が課されている場合がある。このような場合には、RFチップ単体では受信感度が不足し、外付けの高周波低雑音増幅器LNAにより受信感度を補う必要がある。しかし、このような増幅器を設けても、デジタル部分からのノイズの回り込みを最小限に抑えないと増幅したい受信信号を増幅できない。ノイズの回り込みを抑えるため、このような場合にはRF部とデジタル部を距離的に離すのが一番効果的である。しかし、センサノードでは、サイズ、特に表面積を極力小さくすることが望ましく、高周波回路とデジタル回路との距離を大きくするために表面積が大きくなってしまふのは望ましくない。

30

#### 【0037】

そこで、高周波回路とデジタル回路とを基板の表裏で分離し、基板内部にノイズ信号のシールドに効果的なグラウンドプレーン及び電源プレーンを設置する。まず、デジタル回路からのノイズがこのグラウンドプレーンでシールドされ、RF部への回り込みを極力抑えることが可能となる。さらに、グラウンドプレーンの直下に電源プレーンを配置することによって電源プレーンとグラウンドプレーン間に静電容量を持たせることが可能となる。この静電容量はデジタル回路から電源回路に回り込む可能性のあるノイズを吸収するのに効果的なバイパスコンデンサとして利用できる。この静電容量により電源回路を経由してデジタル回路から高周波回路へ回り込む可能性のあるノイズを最小限に抑えることが可能になる。特に、電源プレーンやグラウンドプレーンを基板BO1に可能な限り一面に広げる事で、電源部のインピーダンスを小さく抑える事が可能となる。この結果、たとえ、多少のデジタル回路からのノイズが高周波回路に回り込んだとしても、電源インピーダンスが低く抑えられているので、ノイズ成分の電圧振幅を小さく抑えることが可能となる。これは、ノ

40

50

イズ電圧は、回り込んだノイズ電流と電源インピーダンスの積で表されるためである。以上により、たとえデジタル回路から高周波回路へ多少のノイズが回り込んだとしても高周波回路を誤動作させてしまう、あるいは、アンテナからの微弱なRF信号をマスクしてしまう程度のレベル以下に抑え込むことが可能となる。

#### 【0038】

本実施例では、基板の表面と裏面の両面で高密度で部品を実装する場合において、さらに受信感度を向上させるように、単に実装面を分離するのみならず、各実装面における配置位置にも工夫を行った。図1および図2にも示されるように、本実施例においては、RFチップの入力、増幅器LNA、高周波スイッチRF SW、及びアンテナANT1といった、高周波回路の中でもレベルが微弱な高周波無線信号を扱う部分を、デジタル回路の中

10

#### 【0039】

図9に示されるように、アンテナANT1にて受信された微弱な高周波無線信号RFS1は高周波スイッチRF SWに入力される。高周波スイッチRF SWにて選択され、幾分か減衰した高周波無線信号RFS2は、増幅器LNAに入力され、所定の増幅率で増幅される。増幅された高周波無線信号RFS3はマッチング回路MAに導かれ、インピーダンスマッチングされた高周波無線信号RFS4は、RFチップCHIP1に入力される。RFチップCHIP1内では、高周波無線信号RFS4はデジタル信号DJS1に復調され、インタフェースIF1経由でプロセッサチップCHIP2に取り込まれる。

20

#### 【0040】

無線LANといったような無線通信機器では、一般にデジタル信号で通信するためのコネクタは、パソコン本体とデジタル信号をやりとりするといった用途に用いられるために、コネクタには、高い頻度で“0”/“1”間を遷移する、すなわち高速なデジタル信号がやり取りされる。このため、コネクタをアンテナとを距離的に離すようにさせた例がある。これに対して、本実施例のセンサノードSN1では、コネクタCN1には外部センサが接続され、コネクタCN1とプロセッサチップCHIP2間でやり取りされる信号DJP1は遷移の非常にゆっくりしたアナログ信号、またはプロセッサチップCHIP2のクロック信号よりも低速なデジタル信号である。そこで、本実施例ではコネクタCN1をアンテナANT1～RFチップCHIP1の信号経路に近い位置に配置し、プロセッサチップCHIP2をアンテナANT1～RFチップCHIP1の信号経路により遠い位置に配置することとしたものである。表現を変えれば、コネクタCN1とRFチップCHIP1との距離が、プロセッサチップCHIP2とRFチップCHIP1との距離よりも長くなるようにコネクタCN1を配置するようにするものである。このように、図9に示す部品配置はセンサノード特有の信号の流れをうまく捉えて、サイズ小型化と受信感度の向上の両方を同時に実現可能な部品配置となっている。

30

#### 【0041】

(2) 高周波低雑音増幅器LNAの電源線に電源遮断スイッチ(図1、2、8を参照)挿入し、待機時の消費電流を抑える。高周波低雑音増幅器LNAは、一般に消費電力が大きく、待機時でも10μA程度の電流を消費する。この電流値は、サイズや用途の制約から十分な電源を得られないセンサノードにとっては大きすぎる値である。しかし、増幅器LNA無しに実用的な通信距離が達成不可能な場合もある。

40

#### 【0042】

そこで、図8に示したように、増幅器LNAの電源線に電源遮断スイッチPS20を挿入して、このPS20により待機時の消費電流を削減する。この電源遮断スイッチは、図10(a)～(e)に示すように、(a)PMOSFETMP1で構成したもの、(b)PNPバイポーラトランジスタBP1で構成したもの、(c)N-MOSFETMN1で構成したもの、(d)NPNバイポーラトランジスタBN1で構成したもの、(e)プログラマブル入出力回路PIO出力をそのまま利用する等、様々なタイプが使用可能である。いずれのタイプも、プロセッサチップCHIP2のプログラマブル入出力回路P

50

I Oの出力端子から駆動される制御端子SC1～5を“1”あるいは“0”に設定すれば、LNAへの電源供給を遮断できる。実際には、スイッチング素子MP1～BN1のオフ時にも若干の漏れ電流が流れるものの、カタログ値で0.1μA以下のオーダーであり、このようなオフ時の漏れ電流は電池寿命にはほとんど影響を与えないと考えて良い。

#### 【0043】

一方、動作時には、これらスイッチング素子MP1～BN1の内部抵抗により若干の電圧降下が発生する。しかし、例えば、図10(a)のタイプだと、スイッチング素子MP1がオンした場合の内部抵抗が5程度のものできる。既に述べたように、増幅器LNAの動作時の消費電流は10mA程度であり、スイッチング素子MP1に起因する電圧降下は50mV(=5×10mA)程度となり、無視できる程度の値である。なお、図10(e)に示すように、プロセッサチップCHIP2のプログラマブル入出力回路PIOの出力ドライブ能力に十分に余裕がある場合、すなわち、動作時に必要な電流値以上の電流値を十分に供給可能な場合には、図10(a)～(d)に示すようなスイッチング素子なしで、増幅器LNAの電源を駆動することも可能であろう。

#### 【0044】

このように本実施例では、増幅器LNAを使わない時(受信時以外)では、電源遮断スイッチPS20を遮断状態に遷移させ、増幅器LNAを使う時(受信時)では、電源遮断スイッチPS20を導通状態に遷移させる。実際には、電源遮断スイッチを遮断状態から導通状態に遷移させても、増幅器LNAの内部回路が安定するのを待つ必要があり、典型的には1ms程度要する。しかし、一般にはセンサノードSN1は待機時間が動作時間に比べて非常に長い、場合によっては動作時間は全体の約1%程度と想定されているため、受信状態への切り替え待ち時間に起因する消費電力の増加分は無視してよい。

(3)センサ(内蔵及び外付け)の電源線に電源遮断スイッチ(図2を参照)挿入し、待機時の消費電流を抑える。本実施例の第2の特徴と同様の原理をセンサの待機時の消費電流の削減に応用したものといえる。例えば、図2に示すように内蔵温度センサTS1の電源線VDD2は電源遮断スイッチPS1により温度センサTS1の未使用時には電源を遮断できる。現在、温度センサには低消費電力のタイプ(消費電流が5μA程度)のものが開発されており、電源遮断スイッチPS1としては図10(e)のようなタイプでも動作に必要な電流を十分に供給可能である。図10(e)のタイプは、追加のディスクリート素子が不要であり、追加コスト無しに実現できる。

#### 【0045】

また、外付けセンサの消費電力を削減するため、外付けセンサを接続するコネクタCN1の電源ラインVDD3も電源遮断スイッチPS2により遮断する(図2を参照)。一般に、外付けのセンサの消費電力は、内蔵温度センサよりも待機時および動作時ともに大きい。例えば、加速度センサには1mAもの消費電流を要するものもあり、また、外付けセンサ自身には待機状態に移行する機能がない場合が多い。そのため、本実施例のように電源遮断スイッチを使用しなければ、ボタン電池では1週間程度(8.3日=200mAh/1mA/24h)の動作寿命しか得られないものと予想される。さらに大電流で放電した場合の電池容量の劣化現象が生じた場合には、せいぜい数日しか持たないものと予想される。これに対して、電源遮断スイッチにより使用時のみ電源供給を行い、未使用時には電源を遮断することにより、電池寿命を飛躍的に向上させる事が可能となる。

#### 【0046】

この構成は、外付けセンサが何らかの原因で、ショートモードで故障してしまった場合にも有効である。すなわち、外付けセンサがショートモードで故障してしまうと、外付けセンサの電源の電源遮断を行わない場合には、瞬時のうちに電池から大電流が流れて電池を使い切ってしまう。しかし、本実施例では外付けセンサ電源は通常はオフ状態にあり、センサを使用する場合のみ電源が投入されるよう構成されている。さらに、電源は電源遮断スイッチを構成するスイッチング素子を介して供給されるため、スイッチング素子のオン抵抗により、ショート時の電流も低く抑えられ、かつ、ショートにより大電流が流れることにより、電池の内部抵抗による電圧降下が発生して、スイッチング素子がオン状態を

保持するために必要なバイアス電圧が確保できなくなり、電源遮断スイッチは自動的にオフ状態に戻る。

#### 【 0 0 4 7 】

この間にプロセッサチップCHIP2は、内蔵のAD変換回路ADC経由で外付けセンサの出力値を読み込みに行くのであるが、ショート状態であるので“0”電位付近に張り付いたままの異常値しか読み出せない。そこで、プロセッサチップ搭載の制御ソフトウェアに、このような場合には異常と判断して異常信号を無線送信する、という機能をもたせておけば、当該センサノードの外付けセンサが動作不良に陥った事を外部から検出可能である。さらに、異常信号を検出したシステムでは、当該センサノードに、外付けセンサの使用を中断する旨の制御コマンドを発行して、問題の生じた外付けのセンサを使用しないようにしてセンサノードの動作を継続させる事も可能である。さらに、後述するようにプロセッサチップCHIP2のメモリ回路MEM1に格納されたID番号から、外付けセンサが故障したセンサノードを割り出すことができれば交換等の対処も可能となる。

10

#### 【 0 0 4 8 】

次に、動作時の消費電流によるボタン電池の電池容量の劣化現象を回避するための、電力制御方法について詳細に説明する(図11参照)。センサノードは、ノードをセットして起動(P100)後、初期設定ルーチン(P110)を実行すると、ただちに待機ルーチン(P120)に移行する。初期設定ルーチンP110では、あらかじめプロセッサチップCHIP2のメモリ回路MEM内の不揮発メモリ部分に格納された動作のパラメータ等を格納したPDATAファイルに基づいて、センサノードの動作モードを所望の状態に設定する。PDATAファイルには、例えば、どのくらいの時間間隔で待機状態から動作状態に移行するかタイマ間隔、無線通信の伝送レート、使用する周波数帯、およびセンサノード毎に固有の番号を割り振ったID番号等の情報が格納される。さらに、後述する動作モード判定ルーチン(P200)で使用される、増幅器LNA、RFチップCHIP1、プロセッサチップCHIP2、外付けセンサ等の消費電流値もPDATAファイルに格納される。なお、初期設定ルーチンP110では、プロセッサチップCHIP2は低消費電力モードで動作し、プロセッサチップCHIP2のメインクロックX2、RFチップCHIP1のクロックX1もオフする。また、センサや増幅器LNAへの電源供給も遮断されている。

20

#### 【 0 0 4 9 】

待機ルーチンP120では、プロセッサチップCHIP2内のタイミング生成回路TIMのみ動作状態となり、動作する部分を必要最小限に抑える。このように設定する事で、待機時の動作電流を数 $\mu$ A、典型的には5 $\mu$ A以下までに削減可能である。なお、初期設定ルーチンP110で設定したタイマ間隔で発生するタイマ割り込みが発生すると、次のCPU起動ルーチン(P130)に移行する。また、コネクタCN1(図2)にプロセッサチップの割り込み線を接続しておけば、外部からの割り込みにより、オンデマンドで、センサノードを起動させることも可能である。

30

CPU起動ルーチンP130により、プロセッサチップCHIP2のメインクロックX2をオンにして、CHIP2内のプロセッサ回路CPUを起動する。起動後、動作モード決定ルーチン(P200)に移行する。

40

#### 【 0 0 5 0 】

動作モード決定ルーチンP200では、パラメータ/コマンド解析サブルーチン(P220)により、既に説明したPDATAファイルから、デバイス毎の消費電流を読み込む。この際に、外部無線端末から送られて来て受信されたコマンド、例えばセンサデータの送信リクエスト等を読み込むこともできる。コマンドは、例えば、「温度センサを起動してその結果を送信せよ」といったものになる。次に読み込まれたパラメータおよびコマンドを元に、消費電流推定サブルーチン(P230)において、実行に必要な消費電流を推定する。スケジューラサブルーチン(P210)において、基地局から要求されたリクエストを満たした上で、消費電流のピーク値がもっとも小さくなるように、以下に続く、センシングルーチン(P300)、および、データ送受信ルーチン(P400)の起動方式

50

を決定する。

#### 【 0 0 5 1 】

例えば、センシングルーチン P 3 0 0 にて、動作時の消費電流が数 mA 程度で、データの送受信に必要な消費電流 ( 1 0 mA ~ 2 0 mA ) と比較して無視できない外部センサを起動する場合には、データ送受信ルーチン P 4 0 0 を同時には起動しない。図 1 2 に示すのが、この場合のセンサノードの典型的な消費電流の波形である。一方、起動するセンサが内蔵温度センサ等で数  $\mu$  A 程度電流しか消費しないセンサの場合には、データ送受信ルーチン P 4 0 0 を同時起動する。図 1 3 に示すのが、この場合に対応する、センサノードの典型的な消費電流波形である。このような電力制御により、消費電流のピーク値を低減することが可能となる。

10

#### 【 0 0 5 2 】

センシングルーチン P 3 0 0 の動作は以下の通りである。まず、外部 / 内蔵センサ判定サブルーチン ( P 3 1 0 ) にて、起動するセンサの種別を判定する。次にセンサ電源起動サブルーチン ( P 3 2 0 ) により、内蔵センサならば P S 1 をオンに設定し、外部センサならば P S 2 をオンに設定する。次に、ポートオープンサブルーチン ( P 3 3 0 ) において、内蔵あるいは外部センサのセンサ結果を読み出すのに必要なポートがオープンされる。例えば、図 2 に示す内蔵温度センサ T S 1 を読み取る場合には、プロセッサチップ C H I P 2 の A D 変換回路 A D C が起動され、A D C の入力端子 I 2 が読み込み可能状態に設定される。また、起動したいセンサが、図 2 で示すコネクタ C N 1 に接続された外部センサの時には、対応する A D 変換回路 A D C の入力端子、あるいは、プログラマブル入出力回路 P I O の入出力端子が所望の動作モードへと設定される。このようにしてセンサからのデータを読み取り可能な状態に設定される。そして、次のセンサデータ読み出し / 書き出しサブルーチン ( P 3 4 0 ) にて、実際にセンサデータがプロセッサチップ C H I P 2 に読み取られ、メモリ回路 M E M 上のファイル S D A T A に格納される。以上の手順で所望のセンサデータをファイル S D A T A 内に書き出したら、次のポートクローズ / A D C オフサブルーチン ( P 3 5 0 ) にて、使用した A D 変換回路 A D C やプログラマブル入出力回路 P I O を待機状態に移行させて、センシングルーチン P 3 0 0 を終了する。

20

#### 【 0 0 5 3 】

次に、データ送受信ルーチン P 4 0 0 の動作を説明する。まず第 1 に、クロック X 1 オンサブルーチン ( P 4 1 0 ) にて、R F チップ C H I P 1 のクロック X 1 を立ち上げ、R F チップ C H I P 1 を起動する。この際、プロセッサチップ C H I P 2 による R F チップ C H I P 1 の起動は、既に説明した制御信号線 C S 経由で R F チップ規定の形式で行う。次に送受信動作判定サブルーチン ( P 4 2 0 ) により、送信か受信かどちらかの動作が必要かを判断する。このルーチンでは、例えば、最初にセンサノードから基地局へとセンサデータを送信し、その後センサノードは受信状態に移行する。センサノードは、送信したセンサデータを基地局が誤り無く受信したという確認信号が基地局から送り返されて来るまで受信状態で待機する。以上のシーケンスの制御は、サブルーチン P 4 2 0 にて実行される。以下、送信および受信動作について説明する。

30

#### 【 0 0 5 4 】

送信動作の場合には、サブルーチン P 4 3 0 により、高周波スイッチ R F S W を送信状態に切り替える。また、R F チップ C H I P 1 に制御信号線 C S 経由で使用する伝送レートや周波数帯等の通信パラメータを送る。次に、サブルーチン P 4 4 0 により、メモリ M E M 上のファイル S D A T A からセンサデータを読み出して、データ信号線 D S 経由で R F チップ C H I P 1 に送って、センサデータを外部に無線通信により送信する。

40

受信動作の場合には、サブルーチン P 4 5 0 により、高周波スイッチ R F S W や R F チップ C H I P 1 の通信パラメータの設定を行うとともに、L N A 電源遮断スイッチ P S 2 を導通状態に設定し、さらに、L N A のイネーブル端子を活性化させる。次に、サブルーチン P 4 6 0 にてデータを受信し、必要に応じて P D A T A 内に書き込む。

#### 【 0 0 5 5 】

なお、以上の説明では簡略化のため省略したが、実際には、増幅器 L N A の起動や、高

50

周波スイッチ R F S W の切り替え、さらには、R F チップ C H I P 1 のクロック X 1 の起動には、それぞれ安定するまでに時間（典型的には、数  $100\mu s$  ~ 数  $ms$ ）が必要なため、それぞれのルーチンにてその時間分だけ待つ処理が必要である。同様に、増幅器 L N A の電源オフや R F チップ C H I P 1 のクロックオフにも安定化するまでには時間が必要であり、待ち時間処理が必要である。

#### 【 0 0 5 6 】

最後に基地局からの受信確認信号が受信されたら、サブルーチン P 4 7 0 にて、クロック X 1 を停止して、R F チップ C H I P 1 をオフ状態に戻す。さらに、サブルーチン P 1 4 0 にて、プロセッサチップ C H I P 2 のメインクロック X 2 を停止して、待機ルーチン P 1 2 0 へと移行する。

10

#### 【 0 0 5 7 】

このように、本実施例においては事前に必要な消費電流を判断して、ボタン電池の電流容量を劣化させない方式を選択する。すなわち、センサが数  $mA$  もの消費電流を消費する場合に、データ送受信とセンサを同時に起動してしまえば、ボタン電池には電池容量を深刻に劣化させかねない重い負荷を与えてしまう。図 1 4 に示すのが、この場合の消費電流の波形例である。図 1 2 に示す、本発明の制御方式を適用した場合よりも、ピーク電流 ( $I_{p3}$ ) はかなり大きな値になってしまう ( $I_{p3} > I_{p1}$ )。一方、図 1 2 と図 1 4 を比較すれば明らかなように、図 1 2 の制御方式では、センサを起動した後にデータの送受信を行うため、一連の処理を終了するのに必要な時間は長くなってしまふ ( $T_{total1} > T_{total3}$ )。また、平均消費電流は図 1 2 の場合の方が幾分か大きい。しかし、センサノード S N 1 の電源として C R 2 0 3 2 等のボタン電池を用いる場合には、電池容量を劣化させない範囲で利用できる消費電流は、せいぜい  $0.1mA$  のオーダーである。一方、センサノードの動作には  $10mA$  のオーダーの電流が必要である。しかし、このような電流値でボタン電池を使用すると極端に電池寿命が劣化してしまうという問題がある。この問題を回避するためには、我々が検証した範囲では、消費電流のピーク値を抑える事がもっとも効果的である。つまり、ボタン電池動作のセンサノードで長寿命動作を実現するためには、消費電流のピーク値をできるだけ低い値に抑える事が必要不可欠である。このため、平均消費電流が多少大きくなっても、ボタン電池の特性を考慮した本実施例の制御方式の方が、長期間に渡ってボタン電池にて安定的に動作させることができる。

20

#### 【 0 0 5 8 】

一方、センサの消費電流が数  $\mu A$  程度の場合には、データの送受信と同時にセンサを動作させても消費電流のピーク値はほとんど変わらない。つまり、センサを起動させておいて、そのセンサからのデータ読み出しつつ、センサデータを送信した方が、一連の作業にかかる時間を節約できる。つまり、短時間で待機状態に移行できるため、その方が電池の消耗を抑えられる。

30

以上のような電力制御方法によって、ボタン電池の特性を考慮した動作が可能となり、その結果、ボタン電池動作時に長寿命動作が実現される。

#### 【 0 0 5 9 】

図 1 5 にセンサノードを 3 枚の基板で構成した例を示している。センサノードは、本体基板 B O 1、電源基板 B O 2 および制御ソフト書き込み基板 B O 3 から構成される。通常使用時には、本体基板 B O 1 と電源基板 B O 2 の組み合わせで使用される。また、制御ソフトウェアの書き換え時等には、本体基板 B O 1 と制御ソフト書き込み基板 B O 3 の組み合わせにて使用される。このうち、本体基板 B O 1 の構成は、既に説明したセンサノード S N 1 と同様であるので、詳細な説明は省略する。

40

#### 【 0 0 6 0 】

電源基板 B O 2 は、本体基板 B O 1 との接続コネクタ C N 2、外付けセンサを接続する専用センサポート S P 1、センサポート S P 1 の電源遮断を行う電源遮断スイッチ P S 2 1、パワーオンリセット回路 P O R 1、手動リセットスイッチ S W 2、外部電源コネクタ P P 1、電源選択スイッチ S W 1、ボタン電池 B A T 1、レギュレータ R E G 1 から構成される。本基板 B O 2 は、コネクタ C N 2 経由で内蔵するボタン電池からの電力を本体基

50

板 B O 1 に供給する。また、センサポート S P 1 には、C N 2 経由で本体基板 B O 1 からセンサを読み出すための信号線が配線されており、外付けのセンサを接続可能である。

【 0 0 6 1 】

制御ソフト書き込み基板 B O 3 は、同様に、本体基板 B O 1 との接続コネクタ C N 3、外付けセンサを接続する専用センサポート S P 2、センサポート S P 2 の電源遮断を行う電源遮断スイッチ P S 2 1、パワーオンリセット回路 P O R 2、手動リセットスイッチ S W 3、外部電源コネクタ P P 1、レギュレータ R E G 2、および、プロセッサチップに搭載されるプログラム書き換えポート D B P から構成される。基板 B O 3 は、外部電源コネクタ P P 1 に接続された外部電源より電力を得て、本体基板 B O 1 の動作に必要な電力の供給を行う。さらに、プログラム書き換え端子 D B P 経由で、本体基板 B O 1 のプロセッサチップに搭載した制御ソフトウェアの書き換えを行う。このプログラム書き換え端子の信号線は、コネクタ C N 3、C N 1 経由で、プロセッサチップのプログラム書き換え端子に接続されており、この端子経由で搭載する制御ソフトウェアの書き換えを行う。

10

【 0 0 6 2 】

以上のように、センサノードを別々の基板に分けて構成することには、以下のメリットがある。すなわち、通常使用時に不必要なプログラム書き換え端子を、本体基板 B O 1 に搭載しなくてもすむ。このため、本体基板のサイズを小さくすることが可能となる。一方、ソフトウェアの動作確認 / デバック時には、小さすぎるセンサノードは逆に扱いづらい。しかし、図 1 5 のような構成により、デバックに必要な信号線等は、サイズが問題にならない制御ソフト書き換え基板上に引き出すことも可能である。つまり、デバック作業にかかる手間を削減可能であり、開発にかかる期間を大幅に短縮可能である。

20

【 0 0 6 3 】

図 1 6 に示すのは、本発明のセンサノードを使用してセンサネットシステムを構築した例である。図 1 6 において、S N 1 ~ S N 6 が本発明のセンサノードであり、例えば、建物全体の空調を制御する目的で、建物全体にばら撒かれる。これらばら撒かれたセンサノードは無線通信により、基地局 B S 1 と無線通信を行い、センスした温度データを送信する。基地局 B S 1 は、アンテナ A N T 1、無線通信インタフェース R F 1、プロセッサ C P U 1、メモリ M E M 1、二次記憶装置 S T R 1、表示装置 D I S P 1、ユーザーインタフェース装置 U I 1、及びネットワークインタフェース N I 1 から構成される。このうち、二次記憶装置 S T R 1 は、典型的には、ハードディスク等で構成される。また、表示装置 D I S P 1 は C R T 等で、ユーザーインタフェース装置 U I 1 は、キーボード / マウス等で構成される。図 1 7 に、本システムにてセンサノードから基地局に送信されるセンサデータのデータ構造を示す。基地局 B S 1 は、無線インタフェース / アンテナ経由で、センサノードと無線通信を行い、温度等の測定データを読み出す。基地局 B S 1 では、受信した測定データを元に、二次記憶装置 S T R 1 あるいはメモリ M E M 1 上に格納されている品質判定プログラム Q P R 1 に従って、建物全体の温度制御を行う。さらに、ネットワークインタフェース N I 1 経由で、インターネット等に代表される広域ネットワーク網 W A N 1 を介して、遠隔地にある管理サーバー S V 1 0 と通信可能である。

30

【 0 0 6 4 】

本発明のセンサノードを使用することにより、まず、受信感度が良いため、遠くに基地局があっても確実に基地局との通信が可能となる。つまり、基地局の数を削減することができるため、センサネットシステムの導入にかかるコストを大幅に削減できる。さらに、本発明のセンサノードは電池寿命が長寿命であるため、頻繁に電池交換をしなくとも問題なく動作させ続けることが可能である。つまり、センサネットシステム全体でのメンテナンスコストを大幅に削減し、少ないコストで目的の機能を有するセンサネットシステムを構築することが可能となる。

40

【産業上の利用可能性】

【 0 0 6 5 】

本発明により高感度、低消費電力で動作可能なセンサノードが提供され、それにより種々の分野におけるセンサネットシステムの構築が可能になる。

50

## 【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 6 】

【図 1】センサノードの一実施形態（表面）を示す図である。

【図 2】センサノードの一実施形態（裏面）を示す図である。

【図 3】センサノードの一実施形態（断面）を示す図である。

【図 4】基板内部に設けられたグランドプレーン層を示した図である。

【図 5】基板内部に設けられた電源プレーン層を示した図である。

【図 6】インタフェース I F 1 の詳細を示した図である。

【図 7】LED 表示モニタの構成例を示した図である。

【図 8】高周波スイッチおよび増幅器 L N A の制御回路の構成例を示した図である。

10

【図 9】センサノード S N 1 における信号の流れを示した図である。

【図 10】図 10 ( a ) ~ ( e ) のそれぞれは、センサノード S N 1 で適用可能な電源遮断スイッチの構成例を示した図である。

【図 11】センサノードを低消費電力で動作可能させるための電力制御方法のフローチャートである。

【図 12】図 11 の電力制御方法を適用した場合の、センサノードの消費電流波形の例を示した図である。

【図 13】図 11 の電力制御方法を適用した場合の、センサノードの消費電流波形の例を示した図である。

【図 14】図 11 の電力制御方法を適用しない場合の、センサノードの消費電流波形の比較例である。

20

【図 15】本発明のセンサノードと組み合わせて使用する電源基板とプログラム書き込み基板の構成例を示した図である。

【図 16】本発明のセンサノードにより実現されるセンサネットシステムの構成例を示した図である。

【図 17】図 16 のセンサネットシステムにおいて本発明のセンサノードから送信されるデータの構成例を示した図である。

## 【符号の説明】

【 0 0 6 7 】

SN1 ... センサノード、SIDE1 ... 基板の第 1 の面、SIDE2 ... 基板の第 2 の面、CA, CB, C  
 C, CD ... 基板の 4 つのコーナー、CHIP1, CHIP2 ... 半導体集積回路、C1, C2, C3, C4 ...  
 コンデンサ、X1, X2, X3 ... 水晶振動子あるいはセラミック振動子、ANT1 ... アンテナ  
 、LNA ... 高周波低雑音増幅器、RFSW ... 高周波スイッチ、MA ... 高周波インピーダンス  
 マッチング回路、RF ... 高周波回路（データ変復調、PLL、VCOを含む）、OSC ...  
 発振回路、CON ... 制御回路、DISP ... LED 表示モニタ、CPU ... プロセッサ回路、ADC  
 ... A / D 変換回路、MEM, CMEM1 ... メモリ、SIO ... シリアル通信回路、TM1 ... タイマ  
 回路、PIO ... プログラマブル入出力回路、LSC ... RFSW/LNA の制御回路、PS1, PS2, PS11  
 , PS21, PS22 ... 電源遮断スイッチ、TS ... 温度センサ、CN1, CN2, CN3 ... コネクタ、V  
 DD ... 第 1 の電源ライン、VDD2 ... 第 2 の電源ライン、VDD3 ... 第 3 の電源ライン、GND  
 ... グランド電位、IF1 ... インタフェース、V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V10, V11, V1  
 3, V15, V21, V22, V23 ... 基板の表面と裏面を接続するためのビア（貫通穴）、DS ...  
 データ信号線、CS ... 制御信号線、DC ... LED 表示モニタの制御信号線、RES ... CHIP2 の  
 リセット信号線、AP ... A / D 変換信号線、DP ... デジタル I / O 信号線、AT ... 温度セ  
 ンサの出力信号線、VP1 ... 基板内部に設けられた第 1 の電源層、GP1 ... 基板内部に設け  
 られたグランド層、VH10, VH11, VH13, VH11, VH15 ... ビアを通過させるために GP1 に設け  
 られた領域、VH20, VH21, VH22, VH23, VH11 ... ビアを通過させるために VP1 に設けら  
 れた領域、MP1 ... P 型 MOS トランジスタ、BP1 ... P N P 型バイポーラトランジスタ、  
 MN1 ... N 型 MOS トランジスタ、BN1 ... N P N 型バイポーラトランジスタ、IV10, IV20  
 , IV21 ... インバータ、R1, R2, R3, R4, R10 ... 抵抗器、SDATA ... センサからのデータ  
 を読み取った結果を格納したファイル、PDATA ... 通信条件、タイマ起動間隔、センサノ

30

40

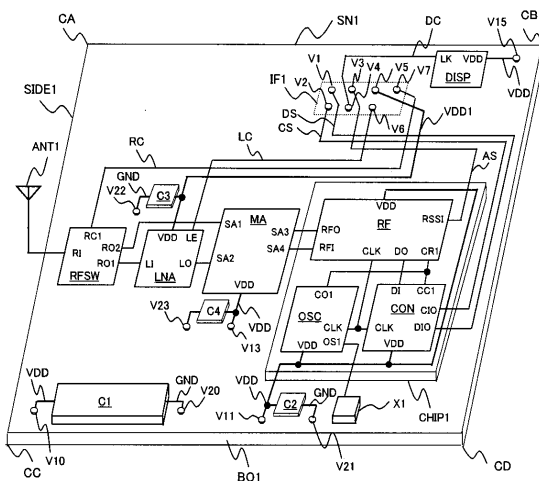
50



ード毎に固有な I D 番号、デバイス毎の消費電流値に関する情報を格納したファイル、I0, I1, I2, I3, I4, I5, Ip0, Ip1, Ip2, Ip3 ... 消費電流値、SP1 ... 外部センサコネクタ、SEN1, SEN2 ... 外部センサ、PP1 ... 外部電源コネクタ、REG1 ... 低電圧レギュレータ、POR ... パワーオンリセット回路、BAT ... 電池、SW1, SW2, SW3 ... スイッチ、DBP ... プログラム書き込み端子、VEX1 ... 外部電源ライン、BS ... プログラム書き込み信号線、HDD1 ... 二次記憶装置、DISP1 ... 表示装置、NI1, NI10 ... ネットワークインタフェース、DB10 ... データベース、BA1 ... ボタン電池。

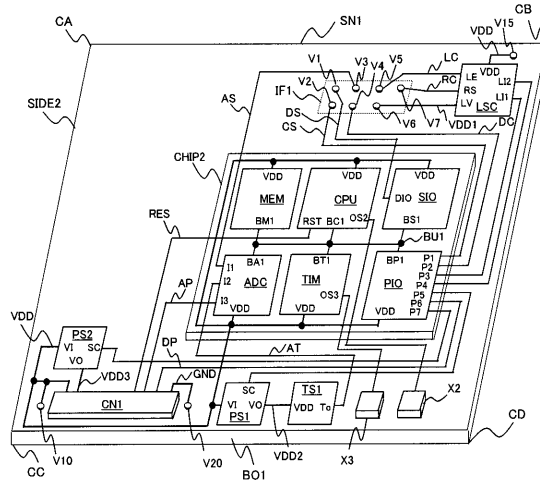
【図 1】

図 1



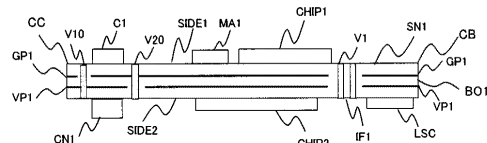
【図 2】

図 2



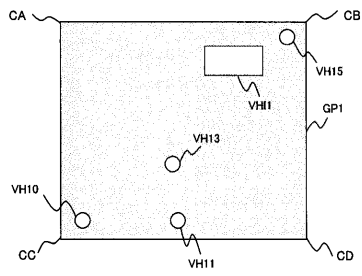
【図 3】

図 3



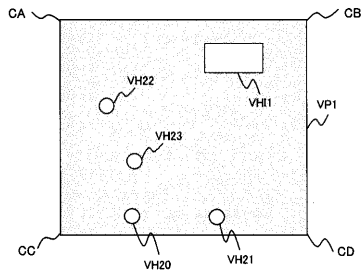
【図 4】

図4



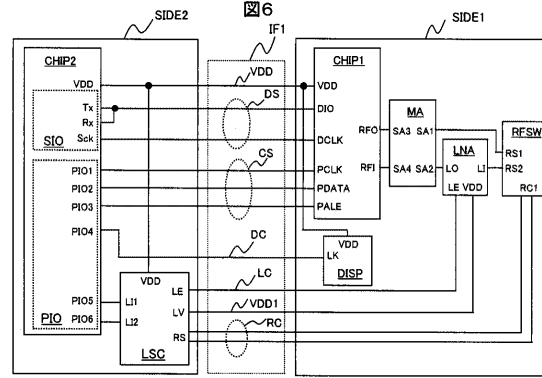
【図 5】

図5



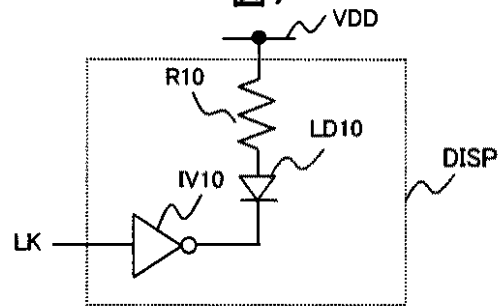
【図 6】

図6



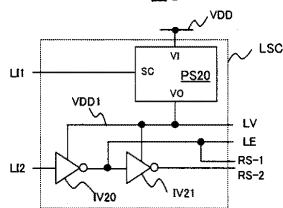
【図 7】

図7



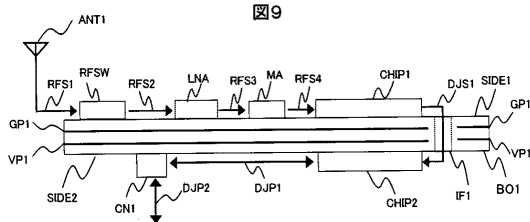
【図 8】

図8



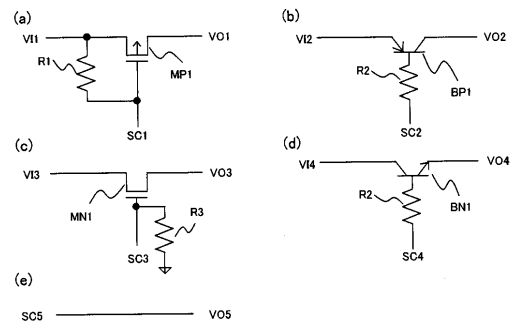
【図 9】

図9

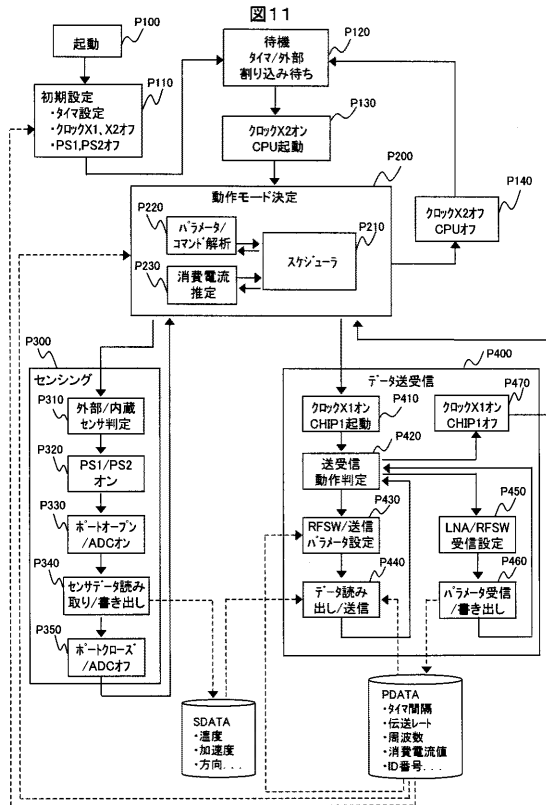


【図 10】

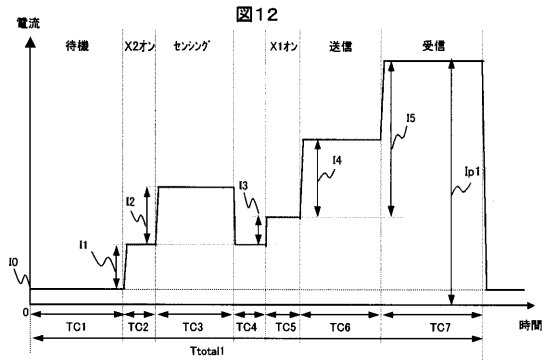
図10



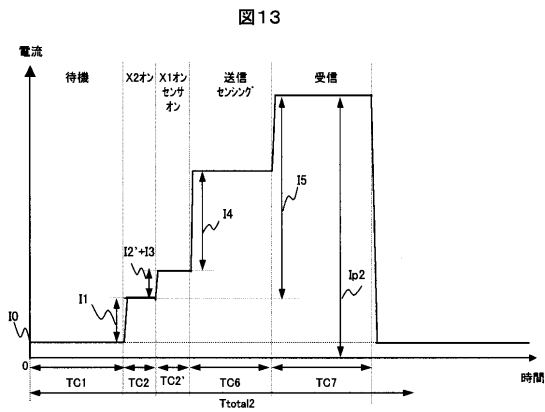
【図 11】



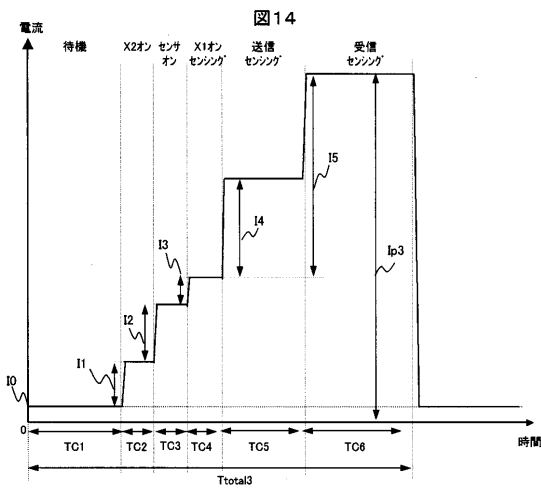
【図 12】



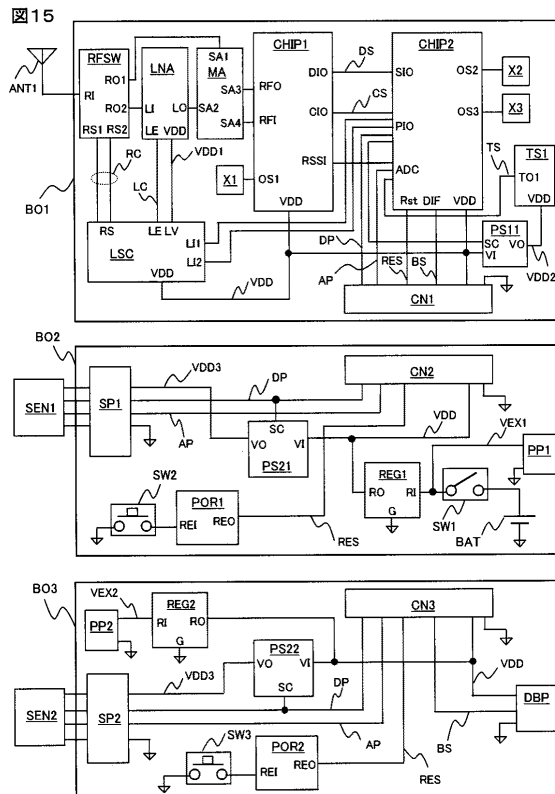
【図 13】



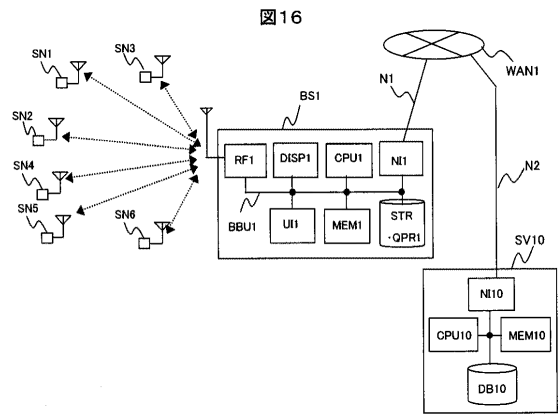
【図 14】



【図 15】



【図 16】



【図 17】

図17

チップID	センサID	温度	時刻	...
#1	#1	+25°C		
#2	#3	+18°C		
#3	#2	+20°C		
#4	#1	+24°C		
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...

PD1

---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-234657(JP,A)  
特開2001-127652(JP,A)  
特開平11-007596(JP,A)  
特開2002-232316(JP,A)  
特開2003-016565(JP,A)  
特開2000-357771(JP,A)  
特開2006-295956(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H04B 1/38  
F24F 11/02