

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6485007号
(P6485007)

(45) 発行日 平成31年3月20日(2019.3.20)

(24) 登録日 平成31年3月1日(2019.3.1)

(51) Int.Cl.

F I

G08C 17/00 (2006.01)

G08C 17/00

Z

G08C 19/00 (2006.01)

G08C 19/00

G

請求項の数 9 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2014-231057 (P2014-231057)
 (22) 出願日 平成26年11月13日(2014.11.13)
 (65) 公開番号 特開2016-95649 (P2016-95649A)
 (43) 公開日 平成28年5月26日(2016.5.26)
 審査請求日 平成29年11月8日(2017.11.8)

(73) 特許権者 000006220
 ミツミ電機株式会社
 東京都多摩市鶴牧2丁目11番地2
 (74) 代理人 100091627
 弁理士 朝比 一夫
 (74) 代理人 100091292
 弁理士 増田 達哉
 (72) 発明者 古河 憲一
 東京都多摩市鶴牧2丁目11番地2 ミツ
 ミ電機株式会社内

審査官 櫻井 仁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線送信装置および無線送信システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

外部から入力される機械的エネルギーを利用して発電を行う発電素子から供給される電力を利用する無線送信装置であって、

前記発電素子が発電した前記電力を蓄積する蓄電器と、

前記蓄電器から供給される前記電力を利用して無線送信動作を実行し、1回の前記無線送信動作で消費される消費電力量を設定可能な無線送信部と、を備え、

前記無線送信装置は、前記発電素子の起電力に応じて、前記無線送信部が前記電力を消費するタイミングおよび前記無線送信部の前記消費電力量を設定するように構成されており、

前記発電素子の前記起電力を E_0 、前記無線送信部が前記電力を消費する前記タイミングにおける前記蓄電器の電圧を E_1 、前記無線送信部が前記電力を消費した後の前記蓄電器の電圧を E_2 としたとき、前記無線送信装置は、 $0.3E_0 \leq (E_1 + E_2) / 2 \leq 0.7E_0$ となるよう、前記タイミングおよび前記消費電力量を設定することを特徴とする無線送信装置。

【請求項2】

前記無線送信装置は、前記電圧 E_1 および前記電圧 E_2 が、 $0.5E_0 < E_1 \leq 0.7E_0$ および $0.3E_0 \leq E_2 < 0.5E_0$ を満たすよう、前記タイミングおよび前記消費電力量を設定する請求項1に記載の無線送信装置。

【請求項3】

前記発電素子が発電した前記電力を前記蓄電器内に蓄積する充電モードと、前記発電素子と前記蓄電器との間の接続を切断し、前記発電素子を開放状態とする開放モードとを切り替えるスイッチング部と、

前記開放モードにおいて、前記発電素子の前記起電力を検出する起電力検出部と、をさらに備える請求項 1 または 2 に記載の無線送信装置。

【請求項 4】

前記起電力検出部は、前記無線送信部が前記電力を消費する前に、前記発電素子の前記起電力を検出する請求項 3 に記載の無線送信装置。

【請求項 5】

前記起電力検出部は、定期的に、前記発電素子の前記起電力を検出する請求項 3 または 4 に記載の無線送信装置。

10

【請求項 6】

前記無線送信装置は、前記蓄電器の電圧を検出する電圧検出部をさらに備え、

前記蓄電器の前記電圧を複数回検出することにより、前記発電素子の前記起電力を推定する請求項 1 または 2 に記載の無線送信装置。

【請求項 7】

前記無線送信装置は、前記蓄電器の前記電圧を複数回検出し、前記蓄電器の前記電圧の変化量が所定値以下となった場合に、前記蓄電器の前記電圧を前記発電素子の前記起電力として推定する請求項 6 に記載の無線送信装置。

【請求項 8】

20

前記無線送信装置は、前記蓄電器の前記電圧が、所定量増加するのに要した時間間隔を測定するタイマーをさらに備え、

測定した前記時間間隔に基づいて、前記発電素子の前記起電力を推定する請求項 6 に記載の無線送信装置。

【請求項 9】

外部から入力される機械的エネルギーを利用して発電を行う発電素子と、

請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の無線送信装置と、を備えることを特徴とする無線送信システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、無線送信装置および無線送信システムに関し、特に、外部から入力される機械的エネルギーを利用して発電を行う発電素子から供給される電力を利用する無線送信装置および無線送信システムに関する。

【0002】

近年、様々なセンサ（湿度センサ、温度センサ、振動センサ、ガス濃度センサ、人感センサ、加速度センサ、CO₂センサ等）の検出データを無線送信によって収集し、収集した検出データを分析することによって、様々な対象（機器、建物、環境等）の状態計測や自動制御等を実行するシステムが検討されている。このようなシステムの中でも、特に、回転機器や回転機器を備える設備等の振動を振動センサで検出し、該振動の成分を評価することで回転機器や設備等の異常、故障を監視又は診断するシステムは、広範な利用可能性を有し、有用である。

40

【0003】

振動を検出し、評価する場合、振動センサのサンプリング周波数を、検出対象の振動の周波数の数倍～10倍程度に設定する必要がある。そのため、振動センサの駆動時間が短時間であったとしても、送信すべき検出データの量は、膨大なものとなる。よって、検出データを無線送信するために必要な電力量は、振動センサが振動を検出するために必要な電力量と比較して、非常に大きなものとなる。

【0004】

このようなシステムにおいて、センサの膨大な検出データを無線送信するために必要な

50

電力量を確保するために、外部から入力される様々な機械的エネルギーを利用して発電を行う環境発電素子を用いることが提案されている。例えば、特許文献 1 に開示されている環境発電素子は、建造物内の空調ダクトのような振動体に取り付けられ、振動体から入力される振動エネルギーを利用して発電を行う。

【 0 0 0 5 】

しかしながら、特許文献 1 が開示する環境発電素子のように、建造物内の空調ダクトの振動を発電に利用する場合、建造物内の空調の設定温度や外気温度等の要因によって、空調ダクトの振動特性（振動周波数、振幅等）が変動する。このように、環境発電素子に対して外部から入力される機械的エネルギーの特性は、一般的に、場所、時間、季節、気象状態等の様々な要因で変動し、一定ではない。そのため、環境発電素子の実際の起電力（
10
発電能力）を事前に想定することは困難である。

【 0 0 0 6 】

一般的に、発電素子は、図 1 に示すような、起電力 E_0 (V) の電池と、抵抗値 R_0 () の内部抵抗とを直列接続して得られた素子と等価であるとみなすことができる。発電素子を抵抗値 R_1 () の負荷抵抗に接続し、回路に電流 I (A) を流す場合、内部抵抗の抵抗値 R_0 と、負荷抵抗の抵抗値 R_1 とを等しくすることによって、発電素子によって発電された電力を最も効率良く消費できることがよく知られている。この時、発電素子と負荷抵抗によって消費される消費電力量 W_0 (W) は、下記式 (1) で与えられる。また、 $R_0 = R_1$ との条件から、負荷抵抗で消費される総消費電力量は、電力量 W_0 の 50 %
20
となる。

【 0 0 0 7 】

$$W_0 = IE_0 = \frac{E_0^2}{2 \times R_0} \cdots (1)$$

【 0 0 0 8 】

また、図 2 に示すように、発電素子が発電した電力を蓄積するために、キャパシタ等の蓄電器を発電素子に接続することが一般に行われている。図 2 に示す例では、発電素子と蓄電器との間には、スイッチング素子 SW が設けられており、スイッチング素子が ON 状態になったとき、発電素子から蓄電器に電力が供給され、蓄電器内に電力が蓄積される。このような回路において、蓄電器内への電力の蓄積は、蓄電器による電力消費とみなすが
30
できる。そのため、蓄電器は容量負荷とも称される。

【 0 0 0 9 】

蓄電器の電圧 E 、回路に流れる電流 I 、および容量 C (F) の蓄電器内に蓄積される（蓄電器によって消費される）電力量 W は、時間 t (s) とともに変化し、それぞれの値は、下記式 (2)、(3)、(4) で表すことができる。また、上述の負荷抵抗接続時の総消費電力量 W_0 と、蓄電器接続時の総消費電力量 W との比を、消費電力効率 と呼び、下記式 (5) で表すことができる。

【 0 0 1 0 】

$$E = E_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{CR_0}}\right) \cdots (2)$$

【 0 0 1 1 】

$$I = \frac{1}{R_0} \times (E_0 - E) \cdots (3)$$

【 0 0 1 2 】

$$W = I \times E \cdots (4)$$

【 0 0 1 3 】

10

20

30

40

$$\eta = \frac{W}{W_0} \cdots (5)$$

【 0 0 1 4 】

図 2 に示す回路において、内部抵抗の抵抗値 R_0 を 2000 ()、発電素子の起電力 E_0 を 2 (V)、蓄電器の容量 C を 500 (μF) としたときの蓄電器の電圧 E 、回路に流れる電流 I 、および消費電力効率 の時間変化を図 3 に示す。図 3 から明らかなように、 $t = 0$ (s) において、 $E = 0$ (V) である。これは、蓄電器内に電力が蓄積されていないことを示す。一方、 t が十分に大きければ、 $E = E_0 = 2$ (V) となる。これは、それ以上蓄電器内に電力が蓄積されないことを示す。また、 $E = E_0 / 2$ ($t = 0.7$) = 1 (V) を満たすとき、消費電力効率は、負荷抵抗接続時と同様の最大の 50% となる。これは、 $E = E_0 / 2$ の状態において、蓄電器のインピーダンスと、発電素子のインピーダンス (内部抵抗の抵抗値 R_0) が整合するためである。インピーダンスが整合した結果、消費電力効率 の観点において、図 2 に示す回路が、 $R_0 = R_1$ を満たす図 1 に示す回路と等価になることを意味する。

10

【 0 0 1 5 】

蓄電器内に蓄積される電力量 W は、下記式 (6) で表すことができる。図 4 は、電力量 W と蓄電器の電圧 E の時間変化を示す図である。図 4 から明らかなように、電力の蓄電効率を表す電力量 W の時間 t に対する傾きは、 $t = 0.7$ (s) の近傍、すなわち、蓄電器の電圧 E が $E_0 / 2$ 近傍にあるときに、最大となることがわかる。

20

【 0 0 1 6 】

$$W = \frac{C \times E^2}{2} \cdots (6)$$

【 0 0 1 7 】

上述のように、蓄電器を発電素子に接続した場合、蓄電器の電圧 E が時間 t によって変化する。そのため、高い消費電力効率 を得られる条件、すなわち、効率良く蓄電器内に電力を蓄積するための条件は、蓄電器の電圧 E が $E_0 / 2$ 近傍となることである。通常、発電素子の起電力 E_0 は、一定であることから、蓄電器の電圧 E が $E_0 / 2$ 近傍となるように、蓄電器内への電力の蓄積および蓄電器からの電力の放出 (消費) を制御することが容易である。しかしながら、上述のように、環境発電素子の実際の起電力 E_0 は、様々な要因によって変動するため、蓄電器の電圧 E が $E_0 / 2$ 近傍となるように、蓄電器内への電力の蓄積および蓄電器からの電力の放出 (消費) を制御することが困難である。

30

【 0 0 1 8 】

また、センサの検出データを外部機器に無線送信するために環境発電素子が発電した電力を後段の無線送信部で消費する場合、一般的に、環境発電素子に外部から入力される機械的エネルギーは微小であるため、環境発電素子は、無線送信部を常時起動するだけの電力量を確保することができない。そのため、図 5 に示す回路のように、環境発電素子が発電した電力を、一旦蓄電器内に蓄積し、時間をかけて所定の電力量とした後、無線送信部に電力を供給する必要がある。

40

【 0 0 1 9 】

上述のように、環境発電素子の実際の起電力 E_0 は、様々な要因によって変動するので、従来技術においては、無線送信部への電力を供給する時間間隔 (蓄電器への電力蓄積時間) を長く設定することにより、無線送信部の消費電力量を確実に確保している。図 6 は、このような動作を行う場合の蓄電器の電圧 E と消費電力効率 の時間変化を示している。図 6 において、 t は、無線送信部への電力を供給する時間間隔、 E は、無線送信部での電力消費による蓄電器の電圧 E の降下量を表す。また、図 6 の例において、発電素子の起電力 E_0 は、 2 (V) である。

【 0 0 2 0 】

図 6 に示すように、時間間隔 t を長く設定した場合、消費電力効率は、蓄電器の電

50

圧 E が $E_0 / 2$ に到達した時点で 50% に達するが、無線送信部へ電力を供給するタイミングでは約 15% にまで低下してしまう。そのため、平均して、消費電力効率は非常に低くなり、その結果、データの平均送信レートが低くなるという問題があった。一方、データの平均送信レートを高くするため、時間間隔 t を短く設定した場合、環境発電素子の実際の起電力 E_0 が変動することから、無線送信部の消費電力量を確実に確保することができないという問題があった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0021】

【特許文献 1】特開 2011-172352 号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0022】

本発明は、上記従来の問題点を鑑みたものであり、その目的は、環境発電素子から供給される電力を利用して、高い消費電力効率および高い平均送信レートで無線送信を行う無線送信装置および無線送信システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0023】

このような目的は、以下の (1) ~ (9) の本発明により達成される。

(1) 外部から入力される機械的エネルギーを利用して発電を行う発電素子から供給される電力を利用する無線送信装置であって、

20

前記発電素子が発電した前記電力を蓄積する蓄電器と、

前記蓄電器から供給される前記電力を利用して無線送信動作を実行し、1 回の前記無線送信動作で消費される消費電力量を設定可能な無線送信部と、を備え、

前記無線送信装置は、前記発電素子の起電力に応じて、前記無線送信部が前記電力を消費するタイミングおよび前記無線送信部の前記消費電力量を設定するよう構成されてお

り、
前記発電素子の前記起電力を E_0 、前記無線送信部が前記電力を消費する前記タイミングにおける前記蓄電器の電圧を E_1 、前記無線送信部が前記電力を消費した後の前記蓄電器の電圧を E_2 としたとき、前記無線送信装置は、 $0.3E_0 < (E_1 + E_2) / 2 < 0.7E_0$ となるよう、前記タイミングおよび前記消費電力量を設定することを特徴とする無線送信装置。

30

【0025】

(2) 前記無線送信装置は、前記電圧 E_1 および前記電圧 E_2 が、 $0.5E_0 < E_1 < 0.7E_0$ および $0.3E_0 < E_2 < 0.5E_0$ を満たすよう、前記タイミングおよび前記消費電力量を設定する上記 (1) に記載の無線送信装置。

【0026】

(3) 前記発電素子が発電した前記電力を前記蓄電器内に蓄積する充電モードと、前記発電素子と前記蓄電器との間の接続を切断し、前記発電素子を開放状態とする開放モードとを切り替えるスイッチング部と、

40

前記開放モードにおいて、前記発電素子の前記起電力を検出する起電力検出部と、をさらに備える上記 (1) または (2) に記載の無線送信装置。

【0027】

(4) 前記起電力検出部は、前記無線送信部が前記電力を消費する前に、前記発電素子の前記起電力を検出する上記 (3) に記載の無線送信装置。

【0028】

(5) 前記起電力検出部は、定期的に、前記発電素子の前記起電力を検出する上記 (3) または (4) に記載の無線送信装置。

【0029】

(6) 前記無線送信装置は、前記蓄電器の電圧を検出する電圧検出部をさらに備え、

50

前記蓄電器の前記電圧を複数回検出することにより、前記発電素子の前記起電力を推定する上記(1)または(2)に記載の無線送信装置。

【0030】

(7)前記無線送信装置は、前記蓄電器の前記電圧を複数回検出し、前記蓄電器の前記電圧の変化量が所定値以下となった場合に、前記蓄電器の前記電圧を前記発電素子の前記起電力として推定する上記(6)に記載の無線送信装置。

【0031】

(8)前記無線送信装置は、前記蓄電器の前記電圧が、所定量増加するのに要した時間間隔を測定するタイマーをさらに備え、

測定した前記時間間隔に基づいて、前記発電素子の前記起電力を推定する上記(6)に記載の無線送信装置。

10

【0032】

(9)外部から入力される機械的エネルギーを利用して発電を行う発電素子と、上記(1)ないし(8)のいずれかに記載の無線送信装置と、を備えることを特徴とする無線送信システム。

【発明の効果】

【0033】

本発明によれば、環境発電素子の起電力に応じて、無線送信部が電力を消費するタイミングおよび無線送信部の消費電力量を設定することができるので、環境発電素子から供給される電力を利用して、高い消費電力効率および高い平均送信レートで、無線送信を行うことができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】図1は、負荷抵抗を発電素子に接続したときの電力消費を説明するための図である。

【図2】図2は、蓄電器を発電素子に接続したときの電力消費を説明するための図である。

【図3】図3は、図2に示す回路の蓄電器の電圧E、回路に流れる電流I、消費電力効率の時間変化を示す図である。

【図4】図4は、図2に示す回路の蓄電器に蓄積される電力量Wと電圧Eの時間変化を示す図である。

30

【図5】図5は、発電素子を利用した無線送信装置の1例を示す図である。

【図6】図6は、図5に示す無線送信装置における蓄電器の電圧Eと消費電力効率の時間変化を示す図である。

【図7】図7は、本発明の第1実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムを示す図である。

【図8】図8は、図7に示す発電素子の断面斜視図である。

【図9】図9は、図7に示す発電素子の分解斜視図である。

【図10】図10は、図7に示す発電素子が備える板バネの平面図である。

【図11】図11は、図7に示すメモリ内に保存されている発電素子の起電力 E_0 と、消費電力量Wおよび電力消費タイミングとを関連付けるデータテーブル群の1例である。

40

【図12】図12は、図7に示す無線送信装置が実行する消費電力量および電力消費タイミングの設定処理を示すフローチャートである。

【図13】図13は、図12に示す起電力 E_0 を推定する処理を示すフローチャートである。

【図14】図14は、図7に示す蓄電器の電圧Eと消費電力効率の時間変化を示す図である。

【図15】図15は、消費電力量Wおよび電力消費タイミングを設定した後の蓄電器の電圧Eおよび消費電力効率を示す図である。

【図16】図16は、無線送信装置の動作中に、消費電力量Wおよび電力消費タイミング

50

を再設定した場合の蓄電器の電圧 E および消費電力効率 η を示す図である。

【図 17】図 17 は、本発明の第 2 実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムを示す図である。

【図 18】図 18 は、本発明の第 3 実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムを示す図である。

【図 19】図 19 は、図 18 に示す無線送信装置および無線送信システムが実行する起電力 E_0 検出処理のフローチャートである。

【図 20】図 20 は、本発明の第 4 実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムを示す図である。

【図 21】図 21 は、図 20 に示す蓄電器の電圧 E と消費電力効率 η の時間変化を示す図である。

10

【図 22】図 22 は、図 20 に示す無線送信装置および無線送信システムが実行する起電力 E_0 推定処理のフローチャートである。

【図 23】図 23 は、図 20 に示す無線送信装置および無線送信システムが実行する消費電力量 W および電力消費タイミングを設定する処理を説明するための図である。

【図 24】図 24 は、図 20 に示す無線送信装置および無線送信システムが実行する消費電力量 W および電力消費タイミングを設定する処理のフローチャートである。

【図 25】図 25 は、本発明の第 5 実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムを示す図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0035】

以下、本発明の無線送信装置および無線送信システムを添付図面に示す好適な実施形態に基づいて説明する。なお、以下の説明では、本発明の無線送信装置および無線送信システムは、外部から入力される振動エネルギーを利用して発電を行う発電素子を利用するが、本発明はこれに限られない。外力等の様々な機械的エネルギーを利用して発電を行う様々な環境発電素子が、本発明の無線送信装置および無線送信システム内において利用されてもよい。

【0036】

< 第 1 実施形態 >

まず、本発明の第 1 実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムについて説明する。

30

【0037】

図 7 は、本発明の第 1 実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムを示す図である。図 8 は、図 7 に示す発電素子の断面斜視図である。図 9 は、図 7 に示す発電素子の分解斜視図である。図 10 は、図 7 に示す発電素子が備える板パネの平面図である。図 11 は、図 7 に示すメモリ内に保存されている発電素子の起電力 E_0 と、消費電力量 W および電力消費タイミングとを関連付けるデータテーブル群の 1 例である。なお、以下の説明では、図 8 および図 9 中の上側を「上」または「上方」と言い、下側を「下」または「下方」と言う。

【0038】

40

図 7 に示す無線送信システム 900 は、外部から入力された振動（振動エネルギー）を利用して発電を行う発電素子（環境発電素子）100 と、発電素子 100 から供給される電力を利用して無線送信動作を実行する無線送信装置 1 とを含む。

【0039】

< 発電素子 100 >

発電素子 100 は、振動体に固定され、該振動体から入力される振動を利用して発電を行う。ここで、振動体としては、例えば、回転機器（モーター、タービン、ファン等）、空調ダクト、配管、輸送機（貨物列車や自動車、トラックの荷台等）、線路を構成する枕木、高速道路やトンネル、架橋、ポンプ、油圧及び空気圧を伝達するためのパイプ類などが挙げられる。

50

【 0 0 4 0 】

図 8 および図 9 に示すように、発電素子 1 0 0 は、筐体 2 0 と、筐体 2 0 内に図 8 および図 9 の上下方向に振動可能に保持された発電部 1 0 とを備えている。発電部 1 0 は、一対の対向する上側板バネ 6 0 U および下側板バネ 6 0 L と、これらの間に固定され、永久磁石 3 1 を有する磁石組立体 3 0 と、永久磁石 3 1 の外周側を囲むように設けられたコイル 4 0 と、コイル 4 0 を保持するコイル保持部 5 0 とを有している。

【 0 0 4 1 】

筐体 2 0 は、発電素子 1 0 0 を振動体に固定すると共に、発電部 1 0 を収納する機能を有する。筐体 2 0 は、カバー 2 1 と、ベース 2 3 と、カバー 2 1 とベース 2 3 との間に位置する筒状部 2 2 とを備えている。

10

【 0 0 4 2 】

ベース 2 3 の 4 隅には、それぞれ、貫通孔 2 3 1 が形成されている。図示しないネジをベース 2 3 の貫通孔 2 3 1 に貫通させ、振動体に設けられたネジ穴と螺合させる。これにより、ベース 2 3 と振動体とが固定され、発電素子 1 0 0 を振動体に取り付ける（固定する）ことができる。発電素子 1 0 0 を振動体に取り付けることにより、振動体の振動を発電素子 1 0 0 に伝達させることができる。

【 0 0 4 3 】

上側板バネ 6 0 U および下側板バネ 6 0 L は、磁石組立体 3 0 およびコイル保持部 5 0 を、筐体 2 0 に対して振動可能に保持する機能を有する。上側板バネ 6 0 U は、カバー 2 1 と筒状部 2 2 との間に固定されている。一方、下側板バネ 6 0 L は、ベース 2 3 と筒状部 2 2 との間に固定されている。各板バネは、それぞれ、金属製の薄板材で形成された円環状の部材であり、互いに同じ構造を有している。

20

【 0 0 4 4 】

図 1 0 に示すように、各板バネは、それぞれ、外周側から、第 1 の環状部 6 1、第 1 の環状部 6 1 の内径よりも小さい外径を有する第 2 の環状部 6 2、および第 2 の環状部 6 2 の内径よりも小さい外径を有する第 3 の環状部 6 3 を有している。これらの第 1 の環状部 6 1、第 2 の環状部 6 2 および第 3 の環状部 6 3 は、それぞれ、各板バネに同心的に設けられている。また、第 1 の環状部 6 1 と第 2 の環状部 6 2 とは、複数（本実施形態では、4 つ）の第 1 のバネ部 6 4 によって連結されており、第 2 の環状部 6 2 と第 3 の環状部 6 3 とは、複数（本実施形態では、2 つ）の第 2 のバネ部 6 5 によって連結されている。

30

【 0 0 4 5 】

上側板バネ 6 0 U が、上側板バネ 6 0 U の上側に設けられたワッシャー 8 0 とコイル保持部 5 0 との間に位置する状態で、上側板バネ 6 0 U の第 2 の環状部 6 2 が、コイル保持部 5 0 の外周部（筒状部 5 1）の上端部に固定されている。また、下側板バネ 6 0 L が、下側板バネ 6 0 L の下側に設けられたワッシャー 8 0 とコイル保持部 5 0 との間に位置する状態で、下側板バネ 6 0 L の第 2 の環状部 6 2 が、コイル保持部 5 0 の外周部（筒状部 5 1）の下端部に固定されている。

【 0 0 4 6 】

また、上側板バネ 6 0 U の第 3 の環状部 6 3 は、後述する磁石組立体 3 0 上に取り付けられたスペーサ 7 0 の上部に固定されており、下側板バネ 6 0 L の第 3 の環状部 6 3 は、磁石組立体 3 0 の底部に固定されている。

40

【 0 0 4 7 】

各板バネの 4 つの第 1 のバネ部 6 4 は、第 2 の環状部 6 2 を第 1 の環状部 6 1 に対して図 8 および図 9 の上下方向に振動可能に支持（連結）している。上述のように、第 1 の環状部 6 1 は筐体 2 0（カバー 2 1、筒状部 2 2 およびベース 2 3）に固定され、第 2 の環状部 6 2 は、コイル保持部 5 0 に固定されている。そのため、振動体から筐体 2 0 に振動が伝達されると、さらに、第 1 のバネ部 6 4 を介して、振動がコイル保持部 5 0 に伝達される。その結果、コイル保持部 5 0 が筐体 2 0 に対して振動する。

【 0 0 4 8 】

また、各板バネの 2 つの第 2 のバネ部 6 5 は、第 3 の環状部 6 3 を第 2 の環状部 6 2 に

50

対して図 8 および図 9 の上下方向に振動可能に支持（連結）している。上述のように、上側板バネ 60U の第 3 の環状部 63 は、スペーサ 70 を介して、磁石組立体 30 に固定されており、下側板バネ 60L の第 3 の環状部 63 は、磁石組立体 30 の底部に固定されている。そのため、振動体から筐体 20 に振動が伝達されると、さらに、第 2 のバネ部 65 を介して、振動が磁石組立体 30 に伝達される。その結果、磁石組立体 30 が筐体 20 およびコイル保持部 50 に対して振動する。

【0049】

かかる構成を有する発電素子 100 では、筐体 20 に対して、各板バネの第 1 のバネ部 64 によってコイル保持部 50 が振動する第 1 の振動系と、筐体 20 およびコイル保持部 50 に対して、各板バネ 60U、60L の第 2 のバネ部 65 によって磁石組立体 30 が振動する第 2 の振動系とが形成されている。

【0050】

磁石組立体 30 は、上側板バネ 60U と下側板バネ 60L との間に、筐体 20 およびコイル保持部 50 に対して振動可能に支持されている。磁石組立体 30 は、円盤状（厚さの比較的薄い円柱状）の永久磁石 31 と、永久磁石 31 がその略中央に配設される底板部 321 と、底板部 321 の外周端部から立設した筒状部 322 とを有する円筒状のバックヨーク 32 と、永久磁石 31 の上面に設けられたヨーク 33 とを有している。バックヨーク 32 の底板部 321 の外周部は、下側板バネ 60L の第 3 の環状部 63 に固定されており、ヨーク 33 は、スペーサ 70 を介して上側板バネ 60U の第 3 の環状部 63 に固定されている。

【0051】

バックヨーク 32 は、筒状部 322 と永久磁石 31（ヨーク 33）との間に、コイル保持部 50 に保持されたコイル 40 が筒状部 322 および永久磁石 31 と離間した状態で配置されるように構成されている。すなわち、筒状部 322 の内径は、コイル 40 の外径よりも大きく設計されている。また、バックヨーク 32 の底板部 321 には、中央部付近に貫通孔が形成されている。

【0052】

コイル保持部 50 は、磁石組立体 30 と筐体 20 との間に、筐体 20 および磁石組立体 30 に対して振動可能に支持されている。コイル保持部 50 は、円筒状の筒状部 51 と、筒状部 51 の内周面側に配設された円環状の環状部 52 とを有している。筒状部 51 は、各板バネの第 2 の環状部 62 に固定されている。また、コイル保持部 50 は、環状部 52 の下面側でコイル 40 を保持している。

【0053】

コイル 40 は、コイル保持部 50 の環状部 52 下面の内周部付近に固定されて、コイル保持部 50 に保持されている。また、コイル 40 は、コイル保持部 50 に保持された状態で、磁石組立体 30 のバックヨーク 32 の筒状部 322 と永久磁石 31 との間に、筒状部 322 および永久磁石 31 と離間して配置されている。このコイル 40 は、発電部 10 の振動（コイル保持部 50 の振動および磁石組立体 30 の振動）に伴って、永久磁石 31 に対して相対的に上下方向に変位する。このような振動により、コイル 40 を通過する永久磁石 31 からの磁力線の密度が変化し、コイル 40 に交流電流が発生する。

【0054】

コイル 40 の両端は、それぞれ、コイル保持部 50 の環状部 52 の上側に設けられた一対の電極端子 90 に接続されている。無線送信装置 1 の入力端子に電極端子 90 を接続することにより、無線送信装置 1 は、発電素子 100 を電源として利用することができる。

【0055】

<<無線送信装置 1>>

無線送信装置 1 は、本実施形態では図示しないセンサに通信可能に接続され、発電素子 100 から供給される電力を利用して、センサから受信した検出データをサーバーや制御装置等の外部機器に無線送信する機能を有する。無線送信装置 1 に通信可能に接続されたセンサは、特に限定されないが、本実施形態ではセンサとして振動センサを用いた場合に

10

20

30

40

50

について説明する。なお、無線送信装置 1 と振動センサとの間の接続は、有線接続であってもよいし、無線接続であってもよい。

【0056】

図 7 に示すように、無線送信装置 1 は、発電素子 100 から供給される電力を整流する整流器 2 と、整流器 2 によって整流された電力を蓄積する蓄電器 3 と、センサから受信した検出データを外部機器へ無線送信する無線送信部 4 と、蓄電器 3 内に電力を蓄積する充電モードと蓄電器 3 から無線送信部 4 へ電力を供給し、消費する電力消費モードとを切り替えるスイッチング部 5 a と、蓄電器 3 の電圧 E を検出する電圧検出部 6 と、を備えている。

【0057】

また、無線送信装置 1 において、少なくとも、電圧検出部 6 と無線送信部 4 との間、およびスイッチング部 5 a と無線送信部 4 との間は、データバス等によって通信可能に接続されている。さらに、電圧検出部 6 と、スイッチング部 5 a との間も通信可能に接続されており、電圧検出部 6 は蓄電器 3 の電圧 E がトリガー電圧 E_1 を超えた場合、スイッチング部 5 a に電力消費開始信号を送信する。スイッチング部 5 a は、電圧検出部 6 からの電力消費開始信号に基づいて、モードを電力消費モードへ切り替える。したがって、本実施形態において、スイッチング部 5 a がモードを電力消費モードに切り替えるタイミング、すなわち、蓄電器 3 から無線送信部 4 へ電力を供給し、消費するタイミング（以下、単に「電力消費タイミング」という）は、トリガー電圧 E_1 に依存する。

【0058】

整流器 2 は、発電素子 100 の電極端子 90 の一方に接続されており、発電素子 100 から供給される電力を整流する機能を有する。整流器 2 は、発電素子 100 から供給される電力を整流することができれば特に限定されない。例えば、ダイオード整流器、ブリッジ整流器等を整流器 2 として用いることができる。

【0059】

蓄電器 3 は、整流器 2 と発電素子 100 の電極端子 90 の他方との間に接続されており、整流器 2 が整流した電力を蓄積および放出（充放電）する機能を有する。蓄電器 3 としては、例えば、電気二重層キャパシタやリチウムイオンキャパシタ等のキャパシタを用いていることができる。このようなキャパシタは、急速充電が可能であり、小型であることから、蓄電器 3 として適している。また、キャパシタと、鉛電池、リチウムイオン電池、ニッケル水素電池等の二次電池（蓄電池）との組み合わせを蓄電器 3 として用いてもよい。この場合、キャパシタの容量以上の電力が供給された場合に、余剰分の電力を二次電池内に蓄積しておくことができるので、発電素子 100 から供給される電力をより効率的に利用することができる。

【0060】

無線送信部 4 は、スイッチング部 5 a を介して、蓄電器 3 の両端に接続されており、蓄電器 3 から供給される電力を利用して、センサの検出データの無線送信動作を実行する機能を有する。無線送信部 4 は、無線送信部 4 の制御を行う CPU（中央演算装置）41 と、メモリ 42 と、所定量の検出データを外部機器に無線送信する RF 部 43 と、を備える。

【0061】

メモリ 42 は、無線送信装置 1 に通信可能に接続されたセンサから受信した検出データと、一回の無線送信動作で送信するデータ量と、図 11 に示すデータテーブル群とを保存している。

【0062】

センサから受信した検出データは、FIFO（ファーストイン・ファーストアウト）方式でメモリ 42 内に保存され、RF 部 43 によって無線送信される。RF 部 43 によって無線送信された検出データは、メモリ 42 内から消去される。

【0063】

メモリ 42 内に保存されている 1 回の無線送信動作で送信するデータ量は、CPU 41

10

20

30

40

50

や外部入力によって変更可能である。一般に、データの無線送信動作に要する消費電力量 W は、無線送信するデータ量に比例する。例えば、送信データ量が 200 バイトのときの無線送信部 4 の消費電力量 W が約 200 μ J であった場合、送信データ量が 400 バイトのときの消費電力量 W は約 400 μ J となる。したがって、無線送信部 4 は、メモリ 42 内に保存されている 1 回の無線送信動作で送信するデータ量を変更することにより、1 回の無線送信動作で消費される消費電力量 W を任意の値に設定することができる。

【0064】

図 11 に示すメモリ 42 内に保存されているデータテーブル群は、発電素子 100 の起電力 E_0 と、消費電力量 W および電力消費タイミングとを関連付けるデータテーブル群である。データテーブル群は、無線送信部 4 の性能および蓄電器 3 の容量 C に基づいて事前

10

【0065】

図 11 に示すデータテーブル群は、発電素子 100 の起電力 E_0 に応じた複数のデータテーブル DT から構成されている。図 11 には、蓄電器 3 の容量 $C = 500$ (μ F) の場合の起電力 $E_0 = 3$ (V)、起電力 $E_0 = 3.5$ (V)、起電力 $E_0 = 4$ (V) に対応した 3 つのデータテーブル $DT1 \sim DT3$ が図示されている。

【0066】

各データテーブル DT は、無線送信部 4 の送信データ量と、そのデータ量の検出データを RF 部 43 によって外部機器に無線送信した場合の消費電力量 W と、トリガー電圧 E_1 と、蓄電器 3 から無線送信部 4 へ電力を供給し、消費した後の蓄電器 3 の電圧 E_2 とから構成される複数のデータセット DS を含む。なお、各データセット DS 内において、消費電力量 W およびトリガー電圧 E_1 は、充電モード中に発電素子 100 から蓄電器 3 に供給される電力量 W_{in} と、1 回の送信動作によって無線送信部 4 によって消費される消費電力量 W との間のエネルギーの収支バランスが維持されるよう ($W_{in} = W$ となるよう)、設定されている。

20

【0067】

無線送信部 4 は、メモリ 42 内に保存されているデータテーブル群を参照し、推定した発電素子 100 の起電力 E_0 の値に応じたデータテーブル DT から、任意のデータセット DS を選択する。その後、無線送信部 4 は、選択したデータセット DS の送信データ量を 1 回の無線送信動作で送信するデータ量としてメモリ 42 内に保存し、選択したデータセット DS のトリガー電圧 E_1 を設定するための信号を電圧検出部 6 に送信する。これにより、無線送信装置 1 は、消費電力量 W および電力消費タイミングを任意に設定することができる。

30

【0068】

電力消費モードにおいて、無線送信部 4 に電力が供給されると、無線送信部 4 は、蓄電器 3 内に蓄積された電力を消費し、メモリ 42 内に保存されている 1 回の無線送信動作で送信するデータ量に基づいて、メモリ 42 から検出データを読み出し、RF 部 43 を用いて、検出データを外部機器に無線送信する。無線送信部 4 は、検出データを外部機器に無線送信した後、スイッチング部 5a に対して、電力消費終了信号を送信する。

40

【0069】

RF 部 43 は、外部機器に検出データを無線送信することができれば特に限定されない。例えば、Bluetooth (登録商標)、ワイヤレス USB、ZigBee 規格に対応した省電力無線 IC 等を RF 部 43 として用いることができる。

【0070】

スイッチング部 5a は、蓄電器 3 と無線送信部 4 との間に接続されており、整流器 2 が整流した電力を蓄電器 3 内に蓄積する充電モードと、蓄電器 3 から無線送信部 4 へ電力を供給し、消費する電力消費モードとを切り替える機能を有する。スイッチング部 5a としては、例えば、MOSFET のような半導体スイッチング素子やメカニカルスイッチ等を用いることができる。スイッチング部 5a は、ノーマリーオープン (NO) タイプのスイ

50

ッチであり、電圧検出部 6 から電力消費開始信号を受信すると、蓄電器 3 と無線送信部 4 とを接続し、無線送信部 4 から電力消費終了信号を受信すると、蓄電器 3 と無線送信部 4 との接続を切断する。

【 0 0 7 1 】

充電モードにおいては、発電素子 1 0 0 から供給される電力は、整流器 2 によって整流され、蓄電器 3 内に蓄積される。一方、電力消費モードにおいては、蓄電器 3 内に蓄積された電力が、無線送信部 4 に供給され、消費される。無線送信部 4 が無線送信動作を実行し、電力が消費された後、スイッチング部 5 a が無線送信部 4 から電力消費終了信号を受信すると、スイッチング部 5 a は、電力消費モードから充電モードへとモードを切り替える。

10

【 0 0 7 2 】

電圧検出部 6 は、蓄電器 3 とスイッチング部 5 a との間に、蓄電器 3 と並列に接続されており、蓄電器 3 の電圧 E を検出し、検出した電圧 E がトリガー電圧 E_1 を超えた際に、スイッチング部 5 a に電力消費開始信号を送信する機能を有する。また、電圧検出部 6 は、検出した蓄電器 3 の電圧 E の値を報告するための信号を無線送信部 4 に送信することができる。

【 0 0 7 3 】

電圧検出部 6 は、蓄電器 3 の電圧 E を検出し、スイッチング部 5 a および無線送信部 4 に信号を送信することができれば特に限定されない。例えば、分圧器、計器用変圧器、ポツケルス効果による光電界センサ等の素子を電圧検出部 6 として用いることができる。

20

【 0 0 7 4 】

スイッチング部 5 a に電力消費開始信号を送信するためのトリガー電圧 E_1 は、無線送信部 4 からの信号に応じて設定される。蓄電器 3 の電圧 E がトリガー電圧 E_1 を超えると、電圧検出部 6 は、スイッチング部 5 a に電力消費開始信号を送信する。上述のように、スイッチング部 5 a は、電圧検出部 6 から電力消費開始信号を受信すると、充電モードから電力消費モードへとモードを切り替える。また、電力消費モードにおいて無線送信部 4 によって電力が消費され、電力消費終了信号を受信すると、スイッチング部 5 a は、電力消費モードから充電モードへとモードを切り替える。このとき、無線送信部 4 による電力消費により、蓄電器 3 の電圧 E は、トリガー電圧 E_1 以下に降下する。その後、蓄電器 3 内への電力の蓄積が再度開始される。

30

【 0 0 7 5 】

このようにして、電圧検出部 6 は、蓄電器 3 の電圧 E がトリガー電圧 E_1 を超える毎に、スイッチング部 5 a に電力消費開始信号を送信する。したがって、トリガー電圧 E_1 を変更することによって、無線送信部 4 は、電力消費タイミングを任意に設定することができる。

【 0 0 7 6 】

次に、図 1 2 ~ 図 1 6 を参照して、無線送信装置 1 の動作、特に、発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 を推定する処理、および、発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 に応じて、消費電力量 W および電力消費タイミングを設定する処理について説明する。

【 0 0 7 7 】

40

図 1 2 は、図 7 に示す無線送信装置 1 が実行する消費電力量 W および電力消費タイミングの設定処理を示すフローチャートである。図 1 3 は、図 1 2 に示す起電力 E_0 を推定する処理を示すフローチャートである。図 1 4 は、図 7 に示す蓄電器 3 の電圧 E と消費電力効率 の時間変化を示す図である。図 1 5 は、消費電力量 W および電力消費タイミングを設定した後の蓄電器 3 の電圧 E および消費電力効率 を示す図である。図 1 6 は、無線送信装置 1 の動作中に、消費電力量 W および電力消費タイミングを再設定した場合の蓄電器 3 の電圧 E および消費電力効率 を示す図である。

【 0 0 7 8 】

図 1 2 に示す消費電力量 W および電力消費タイミングの設定処理 $S 1 0 0$ は、発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 を推定する処理 $S 1 1 0$ と、無線送信部 4 の消費電力量 W および電力

50

消費タイミング（すなわち、トリガー電圧 E_1 ）を設定する処理 S 1 2 0 とを含む。

【 0 0 7 9 】

発電素子 1 0 0 から無線送信装置 1 への電力供給が開始されると、処理 S 1 0 0 が開始される。この消費電力量 W および電力消費タイミングの設定処理 S 1 0 0 は、モードが充電モードであるときに実行される。また、処理 S 1 0 0 は、発電素子 1 0 0 から無線送信装置 1 への電力供給開始時だけでなく、定期的（1 日毎、毎月等）に実行されてもよい。

【 0 0 8 0 】

処理 S 1 1 0 において、発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 が推定される。図 1 3 は、発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 を推定するための処理 S 1 1 0 を示している。また、発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 を推定する方法の基本概念が図 1 4 に示されている。

10

【 0 0 8 1 】

図 1 4 は、発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 が 4 (V) である時の蓄電器 3 の電圧 E と消費電力効率の時間変化を示す図である。図 1 4 に示すように、 $t = 0$ (s) の時点では、 $E = 0$ (V) である。これは、蓄電器 3 内に電力が蓄積されていないことを示す。一方、 t が十分に大きくなると ($t = t_1$ または t_2)、 $E = E_0 = 4$ (V) となり、蓄電器 3 が飽和する。以下、蓄電器 3 が飽和した時の電圧 E を飽和電圧という。蓄電器 3 が飽和すると、蓄電器 3 内にそれ以上電力が蓄積されない。また、消費電力効率は、 $E = E_0 / 2 = 2$ (V) であるとき最大値 5 0 % に到達し、 $0.3 E_0 \sim 0.7 E_0$ (1.2 (V) \sim 2.8 (V)) であるとき約 4 0 % 以上となる。本実施形態では、発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 は、蓄電器 3 の飽和電圧に基づいて推定される。

20

【 0 0 8 2 】

図 1 3 に示す工程 S 1 1 1 において、任意のタイミングにおいて、電圧検出部 6 によって蓄電器 3 の電圧 E_{t1} が検出され、メモリ 4 2 内に保存される。次に、工程 S 1 1 2 において、所定時間経過後に、電圧検出部 6 によって蓄電器 3 の電圧 E_{t2} が検出され、メモリ 4 2 内に保存される。次に、工程 S 1 1 3 において、無線送信部 4 によって $E_t = E_{t1} - E_{t2}$ が算出される。工程 S 1 1 4 において、無線送信部 4 によって E_t が所定値以下であるか否かが判別される。工程 S 1 1 4 において E_t が所定値より大きいと判別された場合、処理 S 1 1 0 は、工程 S 1 1 1 に戻る。一方、工程 S 1 1 4 において E_t が所定値以下と判別された場合、すなわち、所定の時間、電力を蓄電器 3 に蓄積（チャージ）したとしても蓄電器 3 の電圧 E が変化しない場合、蓄電器 3 の電圧 E が飽和電圧に到達したと判断され、処理 S 1 1 0 は工程 S 1 1 5 に移行する。工程 S 1 1 5 において、発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 は、蓄電器 3 の飽和電圧、すなわち、 E_{t2} （または E_{t1} ）であると推定され、処理 S 1 1 0 は終了する。

30

【 0 0 8 3 】

なお、蓄電器 3 の電圧 E が飽和電圧に到達したか否かを判別するための所定値は任意に設定することができるが、電圧検出部 6 の分解能より大きく設定される。また、該設定値は、検出した電圧 E_{t2} （または E_{t1} ）の 1 % 以下に設定されることが好ましく、0.1 % 以下に設定されることがより好ましい。

【 0 0 8 4 】

図 1 2 に戻り、処理 S 1 1 0 において発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 が推定されると、処理 S 1 0 0 は、推定した発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 に応じて、無線送信部 4 の消費電力量 W および電力消費タイミング（すなわち、トリガー電圧 E_1 ）を設定する処理 S 1 2 0 に移行する。

40

【 0 0 8 5 】

処理 S 1 2 0 において、無線送信部 4 の消費電力量 W および電力消費タイミングは、推定した発電素子 1 0 0 の起電力 E_0 に応じたデータテーブル D T の任意のデータセット D S を選択し、一回の無線送信動作で送信するデータ量およびトリガー電圧 E_1 を設定することによって、設定される。

【 0 0 8 6 】

なお、図 1 1 に示す各データテーブル D T において、トリガー電圧 E_1 および電圧 E_2

50

は、トリガー電圧 E_1 と電圧 E_2 との平均値 $(E_1 + E_2) / 2$ が $E_0 / 2$ 近傍となるように設定されている。より具体的には、トリガー電圧 E_1 および電圧 E_2 は、 $0.3 E_0$ $(E_1 + E_2) / 2 = 0.7 E_0$ を満たすように設定されているのが好ましく、 $0.4 E_0$ $(E_1 + E_2) / 2 = 0.6 E_0$ を満たすように設定されているのがより好ましく、 $(E_1 + E_2) / 2 = E_0 / 2$ を満たすように設定されているのが最も好ましい。これにより、消費電力効率を常に高い状態で保ちつつ、無線送信装置 1 を動作させることができる。

【0087】

また、無線送信部 4 は、発電素子 100 の起電力 E_0 に応じたデータテーブル DT から任意のデータセット DS を選択する際、データセット DS 内のトリガー電圧 E_1 が $0.5 E_0 < E_1 < 0.7 E_0$ を満たし、電圧 E_2 が $0.3 E_0 < E_2 < 0.5 E_0$ を満たすように、データセット DS を選択するのが好ましい。これにより、常に消費電力効率を約 40% 以上に保ちつつ、無線送信装置 1 を動作させることができる。

10

【0088】

また、無線送信部 4 は、上述の条件に加え、無線送信部 4 の最低動作電圧や、起動毎にデータ送信に直接消費されない電力量（例えば、CPU 41 内等に蓄積され、電源 OFF 後に捨てられる電力、CPU 41 のイニシャライズ動作に要する電力量等）等を参照して、発電素子 100 の起電力 E_0 に応じたデータテーブル DT から任意のデータセット DS を選択し、一回の無線送信動作で送信するデータ量およびトリガー電圧 E_1 を設定してもよい。

20

【0089】

このように、推定した発電素子 100 の起電力 E_0 に応じて、消費電力量 W および電力消費タイミング（すなわち、トリガー電圧 E_1 ）を設定した後、処理 S120 が終了する。図 12 に戻り、処理 S120 が終了すると、処理 S100 が終了する。

【0090】

図 15 に、上述の方法で、消費電力量 W および電力消費タイミングを設定した後の無線送信装置 1 の消費電力効率および蓄電器 3 の電圧 E を示す。図 15 の例では、消費電力量 W および電力消費タイミングは、 $(E_1 + E_2) / 2 = E_0 / 2 = 2 (V)$ 、 $E_1 = 0.6 E_0 = 2.4 (V)$ 、 $E_2 = 0.4 E_0 = 1.6 (V)$ を満たすように、データセット DS が選択され、設定されている。

30

【0091】

図 15 から明らかなように、発電素子 100 の起電力 E_0 に応じて、消費電力量 W および電力消費タイミングを設定することにより、無線送信装置 1 が無線送信動作を開始した後の消費電力効率は常に約 48% 以上の非常に高い値を保つことができる。したがって、本発明の無線送信装置 1 は、高い消費電力効率で動作することができ、その結果、高い平均送信レートで、検出データの無線送信を行うことができる。

【0092】

また、無線送信装置 1 は、発電素子 100 から無線送信装置 1 への電力供給開始時だけでなく、任意のタイミングで、または定期的に、消費電力量 W および電力消費タイミングの設定処理 S100 を実行してもよい。

40

【0093】

図 16 に示す例は、起電力 $E_0 = 3 (V)$ 、蓄電器 3 の容量 $C = 500 (\mu F)$ の場合の無線送信装置 1 の消費電力効率の例である。図 16 中の $t = 1 \sim 3 (s)$ の区間 1 では、消費電力量 $W = 200 (\mu J)$ 、トリガー電圧 $E_1 = 1.65 (V)$ および $(E_1 + E_2) / 2 = E_0 / 2 = 1.5 (V)$ となるよう消費電力量 W および電力消費タイミングが設定されている。一方、 $t = 3 \sim 6 (s)$ の区間 2 では、消費電力量 $W = 500 (\mu J)$ 、トリガー電圧 $E_1 = 1.89 (V)$ および $(E_1 + E_2) / 2 = E_0 / 2 = 1.5 (V)$ となるよう消費電力量 W および電力消費タイミングが設定されている。

【0094】

このように、無線送信装置 1 の無線送信動作中に、任意のタイミングで、または定期的

50

に、消費電力量 W および電力消費タイミングを設定することにより、送信すべきデータの残量等に応じて、消費電力量 W および電力消費タイミングを適宜再設定（変更）することができる。また、無線送信装置 1 の無線送信動作中に発電素子 100 の起電力 E_0 が変動した場合に、該変動に対応して、消費電力量 W および電力消費タイミングを設定することができる。

【0095】

< 第 2 実施形態 >

次に、本発明の第 2 実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムについて説明する。図 17 は、本発明の第 2 実施形態にかかる無線送信装置および無線送信システムを示す図である。

10

【0096】

以下、第 2 実施形態の無線送信装置および無線送信システムについて、前記第 1 実施形態の無線送信装置および無線送信システムとの相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【0097】

第 2 実施形態の無線送信装置 1 および無線送信システム 900 は、スイッチング部 5a が無線送信装置 1 から省略され、さらに、処理 S120 における無線送信部 4 の消費電力量 W および電力消費タイミングの設定方法が変更されている点を除き、前記第 1 実施形態の無線送信装置 1 および無線送信システム 900 と同様である。

【0098】

20

本実施形態の無線送信部 4 は、前記第 1 実施形態のスイッチング部 5a の機能、すなわち、整流器 2 が整流した電力を蓄電器 3 内に蓄積する充電モード（スリープモードとも称される）と、蓄電器 3 から無線送信部 4 へ電力を供給し、消費する電力消費モードとを切り替える機能をさらに有している。

【0099】

さらに、前記第 1 実施形態の無線送信部 4 は、メモリ 42 内に保存されているデータテーブル群のデータセット DS 内の送信データ量を用いて消費電力量 W を任意に設定していたが、本実施形態の無線送信部 4 は、メモリ 42 内に保存されているデータテーブル群のデータセット DS 内のトリガー電圧 E_1 および電圧 E_2 を用いて消費電力量 W を任意に設定する。

30

【0100】

すなわち、本実施形態の電圧検出部 6 は、蓄電器 3 の電圧 E がトリガー電圧 E_1 を超えたことを検出すると、無線送信部 4 に電力消費開始信号を送信し、さらに、無線送信部 4 の電力消費によって、蓄電器 3 の電圧 E が電圧 E_2 を下回ったことを検出すると、無線送信部 4 に電力消費終了信号を送信するよう構成されている。また、無線送信部 4 へ信号を送信するためのトリガー電圧 E_1 および電圧 E_2 は、無線送信部 4 からの信号に応じて設定される。

【0101】

電圧検出部 6 は、前述の第 1 実施形態と同様に、蓄電器 3 の電圧 E がトリガー電圧 E_1 を超えたことを検出すると、電力消費開始信号を無線送信部 4 に対して送信する。無線送信部 4 は、電圧検出部 6 から電力消費開始信号を受信すると、充電モードから電力消費モードへモードを切り替える。モードが電力消費モードに切り替わると、無線送信部 4 は、蓄電器 3 から供給される電力を消費し、検出データの無線送信動作を開始する。この際、本実施形態の無線送信部 4 は、無線送信すべき検出データのデータ量を特に設定せず、電圧検出部 6 から電力消費終了信号を受信するまで、検出データの無線送信動作を継続する。

40

【0102】

無線送信部 4 が検出データの無線送信動作を継続している間、無線送信部 4 の無線送信動作によって、蓄電器 3 内に蓄積された電力が消費され続け、蓄電器 3 の電圧 E が徐々に低下する。電圧検出部 6 は、無線送信部 4 の電力消費によって、蓄電器 3 の電圧 E が電圧

50

E_2 を下回ったことを検出すると、無線送信部4に電力消費終了信号を送信する。無線送信部4は、電圧検出部6から電力消費終了信号を受信すると、電力消費モードから充電モードへモードを切り替える。その後、蓄電器3内への電力の蓄積が再度開始される。

【0103】

このようにして、電圧検出部6は、蓄電器3の電圧 E がトリガー電圧 E_1 を超える毎に無線送信部4に電力消費開始信号を送信し、蓄電器3の電圧 E が電圧 E_2 を下回る毎に無線送信部4に電力消費終了信号を送信する。無線送信部4が1回の無線送信動作で消費する消費電力量 W は、電力消費開始信号から電力消費終了信号までの時間間隔に依存することから、本実施形態の無線送信部4は、トリガー電圧 E_1 および電圧 E_2 を変更することによって、消費電力量 W を任意に設定することができる。

10

【0104】

すなわち、本実施形態において、無線送信部4は、発電素子100の起電力 E_0 に応じて、トリガー電圧 E_1 および電圧 E_2 を変更することによって、消費電力量 W および電力消費タイミングを設定することができる。

【0105】

このように、本実施形態では、スイッチング部5aを用いることなく、発電素子100の起電力 E_0 に応じて、消費電力量 W および電力消費タイミングを設定することができるので、無線送信装置1の構成をシンプルにすることができる。また、本実施形態では、スイッチング部5bを用いないので、スイッチング部5bの疲労破壊、接触不良、経年劣化等によって、無線送信装置1が故障することを防止できる。無線送信装置1は、発電素子100とともに振動体に取り付けられることが多く、振動によって無線送信装置1の各要素、特にスイッチング部5bは故障しやすい。したがって、このようなスイッチング部5bの疲労破壊、接触不良、経年劣化等による無線送信装置1の故障防止効果は、特に有用である。

20

【0106】

かかる第2実施形態の無線送信装置1および無線送信システム900によっても、前記第1実施形態の無線送信装置1および無線送信システム900と同様の作用・効果を生じる。

【0107】

<第3実施形態>

30

次に、本発明の第3実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムについて説明する。

【0108】

図18は、本発明の第3実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムを示す図である。図19は、図18に示す無線送信装置および無線送信システムが実行する起電力 E_0 検出処理のフローチャートである。

【0109】

以下、第3実施形態の無線送信装置および無線送信システムについて、前記第1実施形態の無線送信装置および無線送信システムとの相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

40

【0110】

第3実施形態の無線送信装置1および無線送信システム900は、無線送信装置1が第2のスイッチング部5bおよび起電力検出部7を備え、発電素子100の起電力 E_0 が起電力検出部7によって直接検出される点を除き、前記第1実施形態の無線送信装置1および無線送信システム900と同様である。

【0111】

第2のスイッチング部5bは、発電素子100と整流器2との間に接続されており、前述の充電モードと、発電素子100と蓄電器3との間の接続を切断し、発電素子100を開放状態とする開放モードとを切り替える機能を有する。また、第2のスイッチング部5bは、少なくとも、無線送信部4および起電力検出部7と通信可能に接続されており、無

50

線送信部 4 または起電力検出部 7 から受信した信号に基づいて、スイッチング動作を実行することができる。

【0112】

第 2 のスイッチング部 5 b としては、例えば、前述のスイッチング部 5 a と同様のスイッチング素子を用いることができるが、第 2 のスイッチング部 5 b は、ノーマリークローズ (NC) タイプのスイッチである。第 2 のスイッチング部 5 b は、無線送信部 4 から信号を受信すると、発電素子 100 と蓄電器 3 との間の接続を切断し、発電素子 100 を開放状態にする。一方、第 2 のスイッチング部 5 b は、起電力検出部 7 から信号を受信すると、発電素子 100 と蓄電器 3 との間を接続し、開放モードから充電モードへとモードを切り替える。

10

【0113】

起電力検出部 7 は、発電素子 100 の一対の電極端子 90 に接続されており、第 2 のスイッチング部 5 b が発電素子 100 を開放状態にしたとき、発電素子 100 の起電力 E_0 を直接検出する機能を有する。また、起電力検出部 7 は、少なくとも、無線送信部 4 および第 2 のスイッチング部 5 b と通信可能に接続されており、直接検出した発電素子 100 の起電力 E_0 の値を無線送信部 4 に送信し、その後、第 2 のスイッチング部 5 b に信号を送信する。

【0114】

起電力検出部 7 としては、例えば、前述の電圧検出部 6 と同様の素子を用いることができる。起電力検出部 7 は、開放状態の発電素子 100 の電圧を検出し、該検出した電圧の振幅から、発電素子 100 の起電力 E_0 を直接検出する。

20

【0115】

第 3 実施形態の無線送信装置 1 は、前述の第 1 実施形態の無線送信装置 1 が実行する発電素子 100 の起電力 E_0 を推定する処理 S110 に換えて、図 19 に示すような発電素子 100 の起電力 E_0 を検出する処理 S130 を実行する。

【0116】

処理 S130 の開始後、工程 S131 において、任意のタイミングで、または周期的に、無線送信部 4 から第 2 のスイッチング部 5 b に信号が送信される。第 2 のスイッチング部 5 b は、無線送信部 4 から信号を受信すると、充電モードから開放モードへとモードを切り替える。次に、工程 S132 において、起電力検出部 7 は、開放状態の発電素子 100 の電圧を検出することにより、発電素子 100 の起電力 E_0 を直接検出し、検出した発電素子 100 の起電力 E_0 を無線送信部 4 に送信する。その後、工程 S132 において、起電力検出部 7 は第 2 のスイッチング部 5 b に信号を送信する。第 2 のスイッチング部 5 b は、起電力検出部 7 から信号を受信すると、開放モードから充電モードへとモードを切り替える。工程 S133 の終了後、発電素子 100 の起電力 E_0 を検出する処理 S130 が終了する。

30

【0117】

このように本実施形態では、発電素子 100 の起電力 E_0 を第 2 のスイッチング部 5 b および起電力検出部 7 を用いて直接検出するので、発電素子 100 の起電力 E_0 を推定する場合と比較して、より正確に起電力 E_0 を把握することができる。また、本実施形態では、蓄電器 3 の電圧 E を複数回測定する必要がないので、起電力 E_0 を得るのに要する時間を短縮することができる。

40

【0118】

かかる第 3 実施形態の無線送信装置 1 および無線送信システム 900 によっても、前記第 1 実施形態および前記第 2 実施形態の無線送信装置 1 および無線送信システム 900 と同様の作用・効果を生じる。

【0119】

< 第 4 実施形態 >

次に、本発明の第 4 実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムについて説明する。図 20 は、本発明の第 4 実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムを示

50

す図である。

【0120】

第4実施形態の無線送信装置1および無線送信システム900は、無線送信装置1がタイマー8を備え、発電素子100の起電力 E_0 の推定方法および消費電力量 W および電力消費タイミングを設定する処理が変更されている点を除き、前記第1実施形態の無線送信装置1および無線送信システム900と同様である。

【0121】

以下、第4実施形態の無線送信装置および無線送信システムについて、前記第1実施形態の無線送信装置および無線送信システムとの相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

10

【0122】

タイマー8は、蓄電器3とスイッチング部5aとの間に、蓄電器3に並列に接続されており、所定の時間間隔 t が経過した際に、スイッチング部5aに電力消費開始信号を送信する機能を有する。さらに、タイマー8は、無線送信部4からの測定開始信号および測定終了信号に基づいて、時間間隔 T_d の測定を行い、測定した時間間隔 T_d を無線送信部4に送信することができる。

【0123】

タイマー8は、無線送信部4に通信可能に接続されている。また、スイッチング部5aに電力消費開始信号を送信するための時間間隔 t は、無線送信部4からの信号に応じて設定される。設定された時間間隔 t が経過する毎に、タイマー8は、スイッチング部5aに電力消費開始信号を送信する。スイッチング部5aは、タイマー8から電力消費開始信号を受信すると、充電モードから電力消費モードへとモードを切り替える。したがって、本実施形態では、電力消費タイミングは、タイマー8の時間間隔 t に依存する。すなわち、本実施形態においては、タイマー8の時間間隔 t を変更することによって、無線送信部4は、電力消費タイミングを変更することができる。

20

【0124】

タイマー8は、時間をカウントし、スイッチング部5aおよび無線送信部4に信号を送信することができる。例えば、CR発振によって時間をカウントするCR発振回路、キャパシタと抵抗により時間をカウントする積分回路、クロック信号を利用した回路等をタイマー8として用いることができる。なお、本実施形態では、タイマー8は、蓄電器3に並列に接続され、蓄電器3内に蓄積された電力を利用して動作を行うが、本発明はこれに限られない。例えば、タイマー8自身が電池等の別の電源を有していてもよいし、外部電源から電力を受け取ってもよい。

30

【0125】

次に、図21～24を参照して、本実施形態の無線送信装置1の動作、発電素子100の起電力 E_0 を推定する処理、および、発電素子100の起電力 E_0 に応じて、消費電力量 W および電力消費タイミングを変更する処理について説明する。

【0126】

図21は、図20に示す蓄電器3の電圧 E と消費電力効率 η の時間変化を示す図である。図22は、図20に示す無線送信装置1および無線送信システム900が実行する起電力 E_0 推定処理のフローチャートである。図23は、図20に示す無線送信装置および無線送信システムが実行する消費電力量 W および電力消費タイミングを設定する処理を説明するための図である。図24は、図20に示す無線送信装置および無線送信システムが実行する消費電力量 W および電力消費タイミングを設定する処理のフローチャートである。

40

【0127】

本実施形態の無線送信装置1は、前記第1実施形態の無線送信装置1が実行する処理S110に換えて、未飽和状態の蓄電器3の電圧 E （例えば、図21中の $E = E_{t1} \sim E_{t3}$ ）を複数回測定することにより発電素子100の起電力 E_0 を推定する処理S140を実行する。

【0128】

50

図 2 2 は、本実施形態に係る無線送信装置 1 が実行する起電力 E_0 を推定する処理 S 1 4 0 のフローチャートである。まず、工程 S 1 4 1 において、変数 n が初期化 ($n = 1$) される。次に、工程 S 1 4 2 において、電圧検出部 6 によって、蓄電器 3 の電圧 E が検出され、検出した電圧 E が所定の基準電圧 E_{t_n} に到達したかどうか判别される。工程 S 1 4 2 において電圧 E が所定の基準電圧 E_{t_n} より小さいと判别された場合、電圧 E が所定の基準電圧 E_{t_n} に到達するまで、工程 S 1 4 2 が繰り返される。一方、工程 S 1 4 2 において電圧 E が所定の基準電圧 E_{t_n} に到達したと判别された場合、処理は、工程 S 1 4 3 に移行する。

【 0 1 2 9 】

工程 S 1 4 3 において、タイマー 8 が無線送信部 4 からの測定開始信号によって、時間測定を開始済みかどうか、すなわち、時間間隔 T_d の測定を開始済みかどうか判别される。工程 S 1 4 3 においてタイマー 8 が時間測定を開始済みではないと判别された場合、処理は工程 S 1 4 4 に移行する。工程 S 1 4 4 において、タイマー 8 がリセットされ、時間間隔 T_d の測定が開始される。また、工程 S 1 4 4 において、変数 n がインクリメントされ、再度、工程 S 1 4 2 において、電圧 E が次の基準電圧 E_{t_n} に到達したかどうか判别される。

【 0 1 3 0 】

一方、工程 S 1 4 3 においてタイマー 8 が時間測定を開始済みであると判别された場合、処理は工程 S 1 4 5 に移行する。工程 S 1 4 5 において、タイマー 8 の時間測定が終了し、時間間隔 T_d が取得され、無線送信部 4 に時間間隔 T_d の値が送信される。その後、工程 S 1 4 6 において、無線送信部 4 が所定の数の時間間隔 T_d を取得済みかどうか判别される。工程 S 1 4 6 において無線送信部 4 が所定の数の時間間隔 T_d を取得していないと判别された場合、処理 S 1 4 0 は工程 S 1 4 2 に戻り、無線送信部 4 が所定の数の時間間隔 T_d を取得するまで工程 S 1 4 2 ~ S 1 4 6 が繰り返される。なお、取得すべき時間間隔 T_d の数は特に限定されないが、少なくとも 2 つ以上であり、後述する曲線回帰の精度を向上させる観点からは、少なくとも 3 つ以上であることが好ましい。

【 0 1 3 1 】

一方、工程 S 1 4 6 において無線送信部 4 が所定の数の時間間隔 T_d を取得済みと判别された場合、処理は工程 S 1 4 7 に移行する。工程 S 1 4 7 において、無線送信部 4 は、取得した複数の時間間隔 T_d 、すなわち、蓄電器 3 の電圧 E が所定量増加するのに要した時間間隔 T_d に基づいて、多項式近似等の曲線回帰により、電圧 E が各基準電圧 E_{t_n} に到達したときの時間 t_n (例えば、 E_{t_1} のときの時間 t_1) を算出する。その後、工程 S 1 4 8 において、式 (2) の E に E_{t_n} を、 t に t_n を代入することにより、発電素子 100 の起電力 E_0 を推定する。ここで、式 (2) 中の C は、蓄電器 3 の容量である。発電素子 100 の起電力 E_0 が推定されると、発電素子 100 の起電力 E_0 を推定する処理 S 1 4 0 は終了する。

【 0 1 3 2 】

$$E = E_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{CR_0}} \right) \cdots (2)$$

【 0 1 3 3 】

発電素子 100 の起電力 E_0 が推定された後、本実施形態の無線送信装置 1 は、前述の第 1 実施形態の無線送信装置 1 が実行する処理 S 1 2 0 に換えて、フィードバック処理を用いて消費電力量 W および電力消費タイミング (すなわち、時間間隔 t) を設定する処理 S 1 5 0 を実行する。

【 0 1 3 4 】

図 2 3 は、本実施形態の消費電力量 W および電力消費タイミングを設定する処理 S 1 5 0 の基本概念を示す図である。上述のように、本実施形態において、タイマー 8 は、設定された時間間隔 t が経過する毎に、スイッチング部 5 a に信号を送信する。スイッチング部 5 a は、電圧検出部 6 から信号を受信すると、充電モードから電力消費モードへとモ

10

20

30

40

50

ードを切り替える。

【 0 1 3 5 】

したがって、所定の時間間隔 t の間、蓄電器 3 内には電力が蓄積され続け、所定の時間間隔 t が経過した後、無線送信部 4 によって消費電力量 W の電力が消費され、蓄電器 3 の電圧 E が E_0 だけ降下する。

【 0 1 3 6 】

本実施形態の無線送信装置 1 も上記第 1 実施形態の無線送信装置 1 と同様に、蓄電器 3 から無線送信部 4 に電力を供給し、消費するタイミングにおける蓄電器 3 の電圧を E_1 、無線送信部 4 が電力を消費した後の蓄電器 3 の電圧を E_2 としたとき、 $(E_1 + E_2) / 2$ が $E_0 / 2$ 近傍となるように、消費電力量 W および電力消費タイミング (時間間隔 t) を設定する。

10

【 0 1 3 7 】

このとき、充電モードの中に発電素子 100 から蓄電器 3 に供給される電力量 W_{in} と消費電力量 W との間のエネルギーの収支バランス ($W_{in} = W$) が取れていないと、 $(E_1 + E_2) / 2$ が E_0 近傍となるという条件を維持し続けることが困難である。

【 0 1 3 8 】

例えば、図 23 中の区間 1 では、電力量 W_{in} が消費電力量 W よりも多いため、充放電動作を繰り返す毎に、電圧 E_1 が増加している ($E_{1-1} < E_{1-2} < E_{1-3}$)。図 23 中の区間 2 では、電力量 W_{in} が消費電力量 W よりも少ないため、充放電動作を繰り返す毎に、電圧 E_1 が減少している ($E_{1-3} > E_{1-4} > E_{1-5}$)。このような場合、 $(E_1 + E_2) / 2$ が $E_0 / 2$ 近傍となるという条件を維持し続けることが困難である。

20

【 0 1 3 9 】

一方、図 23 中の区間 3 では、電力量 W_{in} と消費電力量 W との間のエネルギーの収支バランス ($W_{in} = W$) が取れているため、充放電動作を繰り返しても、電圧 E_1 に変化はない ($E_{1-8} = E_{1-9} = E_{1-10}$)。このような場合、 $(E_1 + E_2) / 2$ が $E_0 / 2$ 近傍となるという条件を維持し続けることが容易である。

【 0 1 4 0 】

電力量 W_{in} は時間間隔 t (電力消費タイミング) によって制御することができる。例えば、時間間隔 t を長くすれば、電力量 W_{in} は増加する。逆に、時間間隔 t を長くすれば、電力量 W_{in} は減少する。一方、上述のように、消費電力量 W は一回の送信動作で送信するデータ量によって制御することができる。

30

【 0 1 4 1 】

本実施形態の無線送信装置 1 は、上述のエネルギーの収支バランスを取りつつ、 $(E_1 + E_2) / 2$ が $E_0 / 2$ 近傍となるように、フィードバック処理を用いて消費電力量 W および電力消費タイミング (すなわち、時間間隔 t) を設定する。

【 0 1 4 2 】

図 24 は、本実施形態の無線送信装置 1 が実行する消費電力量 W および電力消費タイミングを設定するための処理 S150 のフローチャートである。なお、処理 S150 の開始時において、メモリ 42 内に保存されている一回の送信動作で送信するデータ量および時間間隔 t は、任意の初期値に設定されている。

40

【 0 1 4 3 】

処理 S140 において発電素子 100 の起電力 E_0 が推定された後、処理 S150 が開始される。なお、処理 S150 は、処理 S140 において発電素子 100 の起電力 E_0 が推定された後だけでなく、任意のタイミングまたは定期的に実行されてもよく、無線送信部 4 が無線送信動作を実行する度に実行されてもよい。

【 0 1 4 4 】

工程 S151 において、所定量の電力が蓄電器 3 内に蓄積される。工程 S151 における所定量は特に限定されないが、少なくとも想定される消費電力量 W よりも大きくなるよう設定される。蓄電器 3 内に所定量の電力が蓄積されたかどうかの判別は、電圧検出部 6 が蓄電器 3 の電圧 E を検出することにより実行されてもよいし、タイマー 8 によって所定

50

の時間、発電素子 100 から蓄電器 3 に電力が供給されたことを検出することにより実行されてもよい。

【0145】

次に、工程 S152 において、変数 n が初期化される ($n = 1$)。次に、工程 S153 において、電圧検出部 6 によって蓄電器 3 の電圧 $E_{1 \sim n}$ が検出され、無線送信部 4 のメモリ 42 内に保存される。次に、工程 S154 において、メモリ 42 内に保存されている 1 回の送信動作で送信するデータ量に基づいて、無線送信部 4 によって、メモリ 42 内から所定量の検出データが読み込まれ、RF 部 43 によって、読み出した所定量の検出データが外部機器に送信される。次に、工程 S155 において、電圧検出部 6 によって、蓄電器 3 の電圧 $E_{2 \sim n}$ が検出され、無線送信部 4 のメモリ 42 内に保存される。

10

【0146】

次に、工程 S156 において、無線送信部 4 によって、 $D = E_0 / 2 - (E_{1 \sim n} - E_{2 \sim n}) / 2$ が演算される。工程 S156 において、 D が所定の上側しきい値 UT よりも大きい場合、処理 S150 は工程 S157 に移行する。工程 S157 において、一回の無線送信動作で送信するデータ量が減少 (電圧 E_2 が増加)、または、時間間隔 t が増加 (電圧 E_1 が増加) される。一方、工程 S156 において、 D が所定の下側しきい値 LT よりも小さい場合、処理 S150 は工程 S158 に移行する。工程 S158 において、一回の無線送信動作で送信するデータ量が増加 (電圧 E_2 が減少)、または、時間間隔 t が減少 (電圧 E_1 が減少) される。工程 S157 または工程 S158 の後、処理 S150 は工程 S159 に移行する。工程 S159 において、変数 n がインクリメントされ、処理 S150 は工程 S153 に戻る。一方、工程 S156 において、 D が $LT \leq D \leq UT$ の範囲にあるとき、処理 S150 は終了する。

20

【0147】

上側しきい値 UT の値は特に限定されないが、 $0.2E_0$ 以下であることが好ましく、 $0.1E_0$ 以下であることがより好ましく、 $0.01E_0$ 以下であることがさらに好ましい。下側しきい値 LT の値は特に限定されないが、 $-0.2E_0$ 以上であることが好ましく、 $-0.1E_0$ 以上であることがより好ましく、 $-0.01E_0$ 以上であることがさらに好ましい。上述の条件を満たすよう上側しきい値 UT および下側しきい値 LT を設定することにより、フィードバック処理により、確実に $(E_1 + E_2) / 2$ を $E_0 / 2$ 近傍とすることができる。

30

【0148】

また、この処理 S150 において設定される送信データ量および時間間隔 t は、電圧 E_1 が $0.5E_0 < E_1 < 0.7E_0$ を満たし、電圧 E_2 が $0.3E_0 < E_2 < 0.5E_0$ を満たすように、設定されることが好ましい。これにより、消費電力効率を常に高い状態に保ちつつ、無線送信装置 1 を動作させることができる。

【0149】

このように、本実施形態の無線送信装置 1 は、蓄電器 3 から無線送信部 4 に電力を供給し、消費する毎に電圧 E_1 および電圧 E_2 を検出し、図 24 に示すようなフィードバック処理を実行する。そのため、無線通信動作中に発電素子 100 の起電力 E_0 が変動した場合であっても、電力量 W_{in} と消費電力量 W との間のエネルギーの収支バランスは維持され、かつ、 $(E_1 + E_2) / 2$ が $E_0 / 2$ 近傍となるよう、消費電力量 W および時間間隔 t が制御されるため、無線送信装置 1 は安定した動作を実行することができる。

40

【0150】

また、上述のように、本実施形態では、電力消費タイミングの制御にタイマー 8 を用いている。一般的に、時間間隔を計測するタイマー 8 を常時駆動させるために要する電力量は、電圧検出部 6 を常時駆動させるために要する電力量と比較して小さい。そのため、本実施形態の無線送信装置 1 では、上記第 1 実施形態～第 3 実施形態の無線送信装置 1 と比較して、蓄電器 3 内に蓄積された電力が無線送信部 4 以外で消費される量を低減することができる。

【0151】

50

かかる第４実施形態の無線送信装置１および無線送信システム９００によっても、前記第１実施形態～第３実施形態の無線送信装置１および無線送信システム９００と同様の作用・効果を生じる。

【０１５２】

<第５実施形態>

次に、本発明の第５実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムについて説明する。図２５は、本発明の第５実施形態に係る無線送信装置および無線送信システムを示す図である。

【０１５３】

以下、第５実施形態の無線送信装置および無線送信システムについて、前記第１実施形態の無線送信装置および無線送信システムとの相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【０１５４】

第５実施形態の無線送信装置１および無線送信システム９００は、無線送信装置１がセンサ９を備えている点を除き、前記第１実施形態の無線送信装置１および無線送信システム９００と同様である。

【０１５５】

センサ９は、他の実施形態において無線送信装置１の外部に無線送信装置１と通信可能に接続されたセンサと同様のセンサである。本実施形態のセンサ９は、無線送信部４と同様に、スイッチング部５ａが充電モードから電力消費モードへとモードを切り替えた際に、蓄電器３から供給される電力を利用して、検出データを取得する。センサ９によって取得された検出データは、無線送信部４に送信され、無線送信部４のメモリ４２内にＦＩＦＯ方式で保存される。その後、メモリ４２内に保存された検出データは、ＲＦ部４３によって外部機器に送信される。本実施形態において、１回の送信動作で消費される消費電力量Ｗは、無線送信部４とセンサ９の消費電力の和となる。

【０１５６】

このように、無線送信装置１自身がセンサ９を備える場合、検出データを取得するセンサ９用に別途、電池や外部電源等の電源を用意する必要がない。そのため、センサ９のメンテナンスが容易となる。

【０１５７】

かかる第５実施形態の無線送信装置１および無線送信システム９００によっても、前記第１～第４実施形態の無線送信装置１および無線送信システム９００と同様の作用・効果を生じる。

【０１５８】

以上、本発明の無線送信装置および無線送信システムを図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、各構成は、同様の機能を発揮し得る任意のものと置換することができ、あるいは、任意の構成のものを付加することができる。例えば、前記第１～第５実施形態の任意の構成を組み合わせることができる。

【０１５９】

なお、上述の各実施形態では、発電素子１００は、交流電流を発電し、電力を無線送信装置１に供給する交流電源であるが、本発明はこれに限られず、発電素子１００は、直流電流を発電し、電力を無線送信装置１に供給する直流電源であってもよい。この場合、各実施形態の無線送信装置１から、整流器２を省略することができる。

【符号の説明】

【０１６０】

１…無線送信装置 ２…整流器 ３…蓄電器 ４…無線送信部 ４１…ＣＰＵ ４２…メモリ ４３…ＲＦ部 ５ａ…スイッチング部 ５ｂ…第２のスイッチング部 ６…電圧検出部 ７…起電力検出部 ８…タイマー ９…センサ １０…発電部 ２０…筐体 ２１…カバー ２２…筒状部 ２３…ベース ２３１…貫通孔 ３０…磁石組立体 ３１…永久磁石 ３２…バックヨーク ３２１…底板部 ３２２…筒状部 ３３…ヨーク ４０

10

20

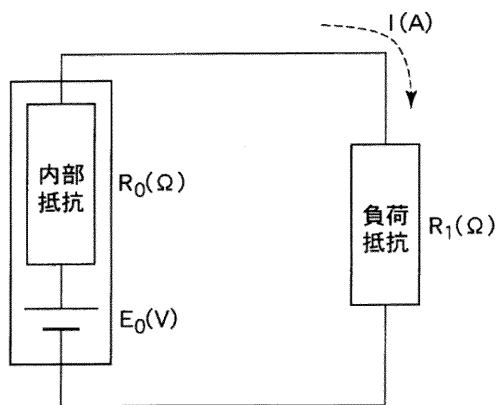
30

40

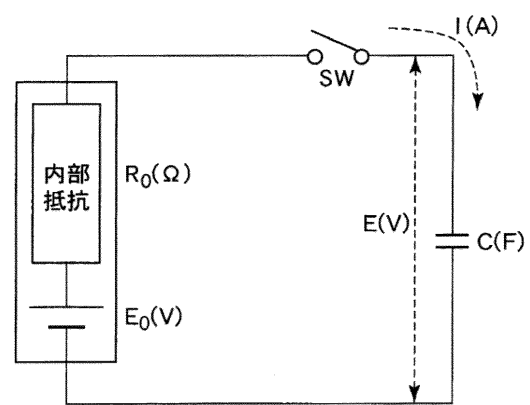
50

...コイル 50 ...コイル保持部 51 ...筒状部 52 ...環状部 60 U ...上側板バネ 6
 0 L ...下側板バネ 61 ...第1の環状部 62 ...第2の環状部 63 ...第3の環状部 6
 4 ...第1のバネ部 65 ...第2のバネ部 70 ...スペーサ 80 ...ワッシャー 90 ...電
 極端子 100 ...発電素子 900 ...無線送信システム

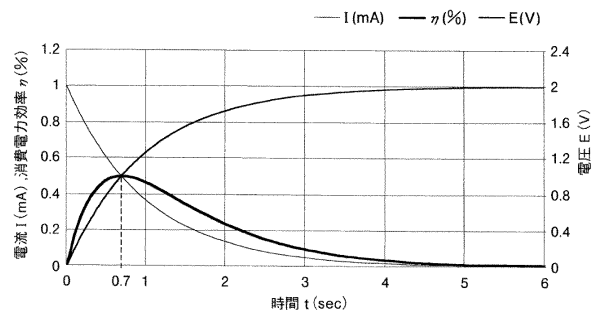
【図1】



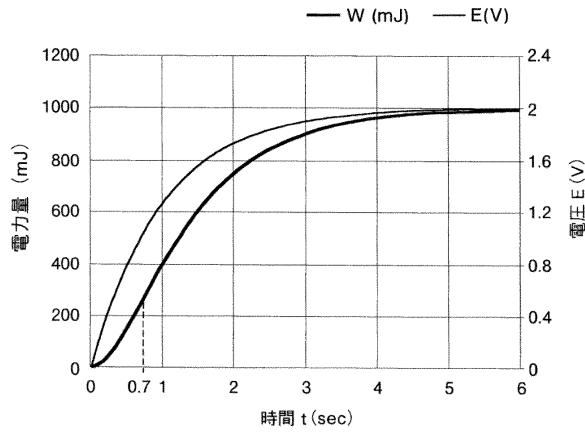
【図2】



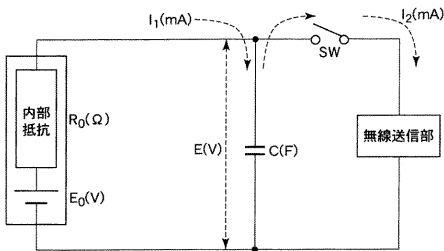
【図3】



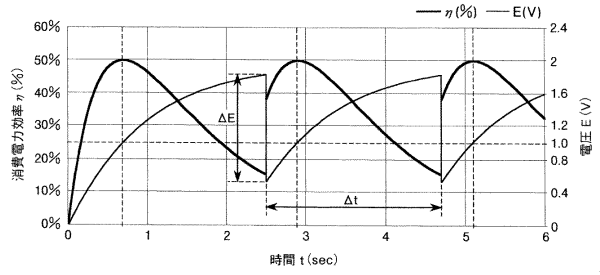
【図 4】



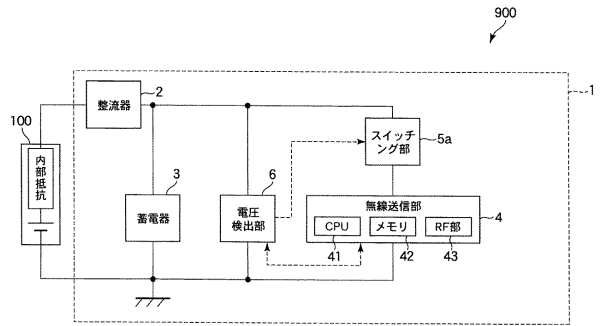
【図 5】



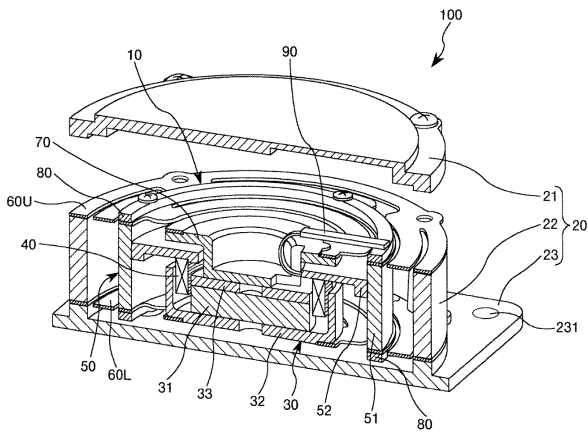
【図 6】



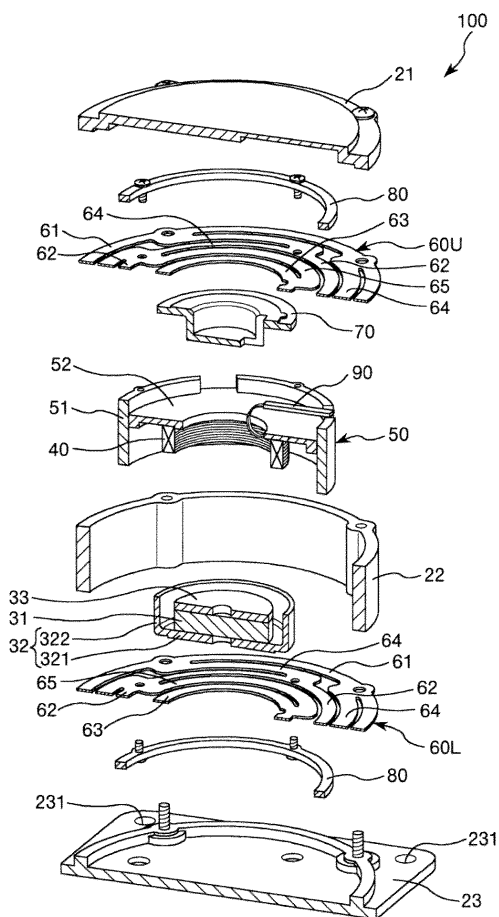
【図 7】



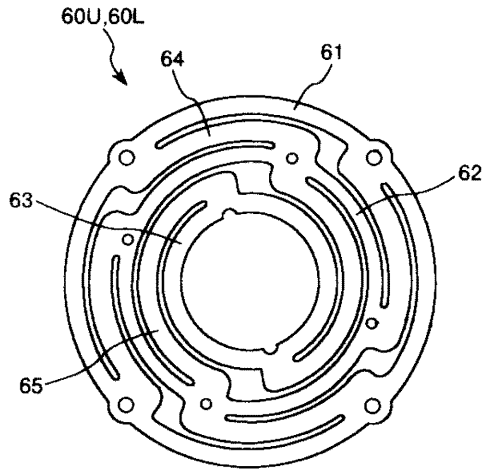
【図 8】



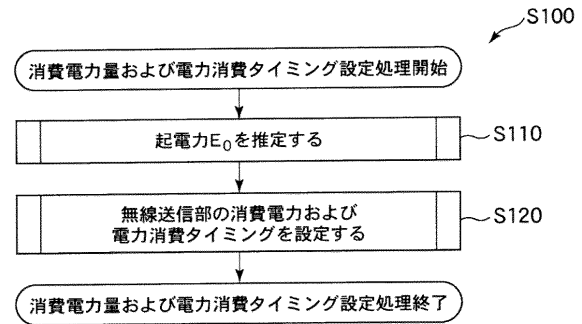
【図 9】



【図10】



【図12】

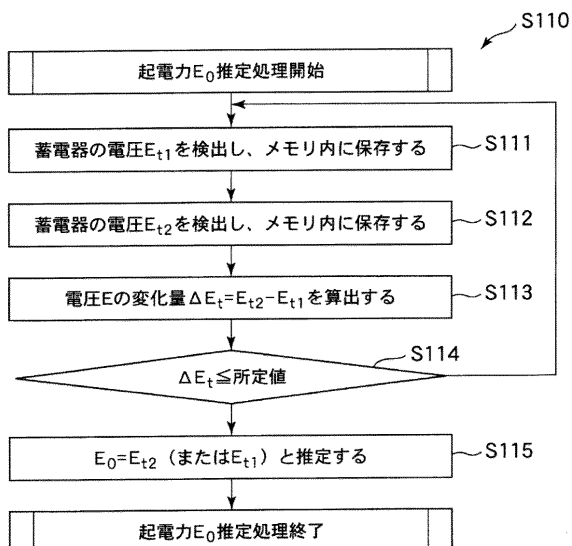


【図11】

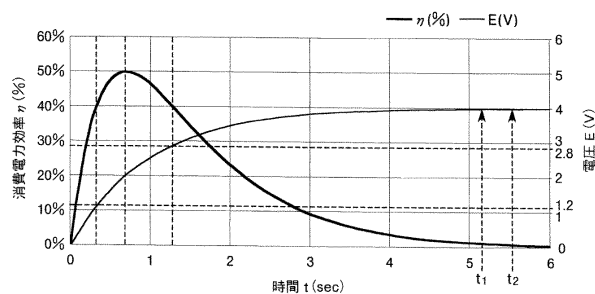
起電力E ₀ (V)	容量C[μF]	送信データ量 [bytes]								消費電力W [μJ]	トリガー電圧E ₁ [V]	電力消費後の電圧E ₂ [V]
4	500	200	300	400	...	800	...	1000	...	2000	1.63	1.37
3.5	500	200	300	400	...	800	...	1000	...	2000	1.70	1.30
3	500	200	300	400	...	800	...	1000	...	2000	1.77	1.23
		200	300	400	...	800	...	1000	...	2000	2.03	0.97
		200	300	400	...	800	...	1000	...	2000	2.17	0.83
		200	300	400	...	800	...	1000	...	2000	2.83	0.17

DT3, DT2, DT1, DS1, DS2, DS3

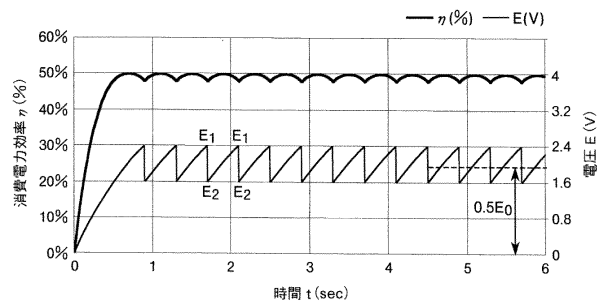
【図13】



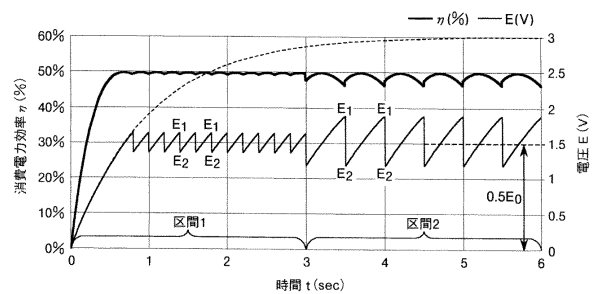
【図14】



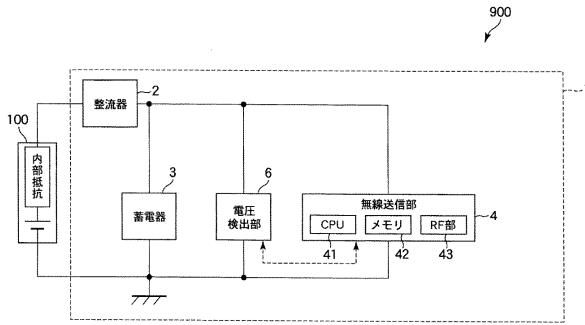
【図15】



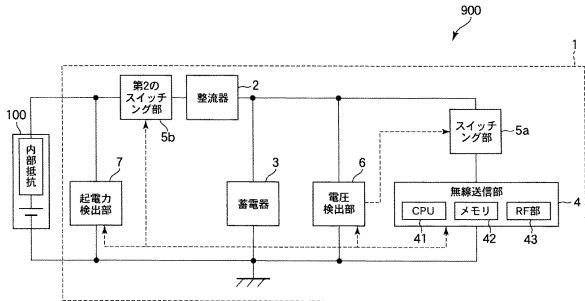
【図16】



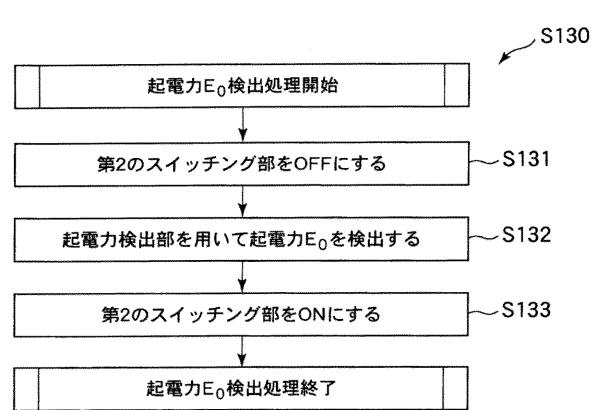
【図 17】



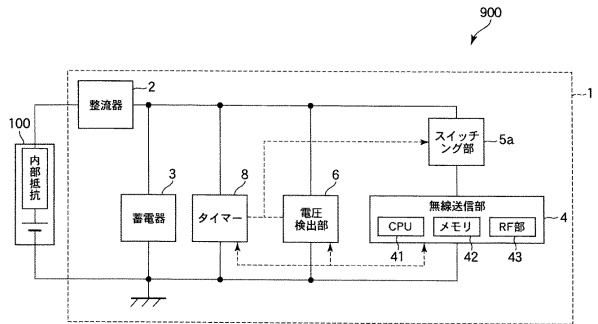
【図 18】



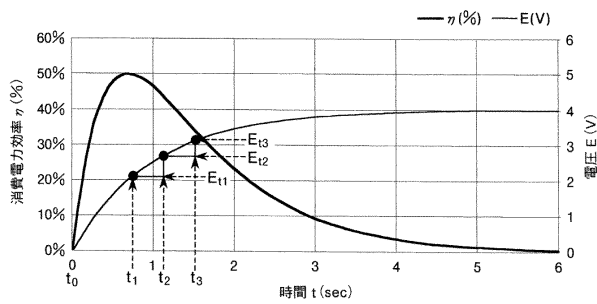
【図 19】



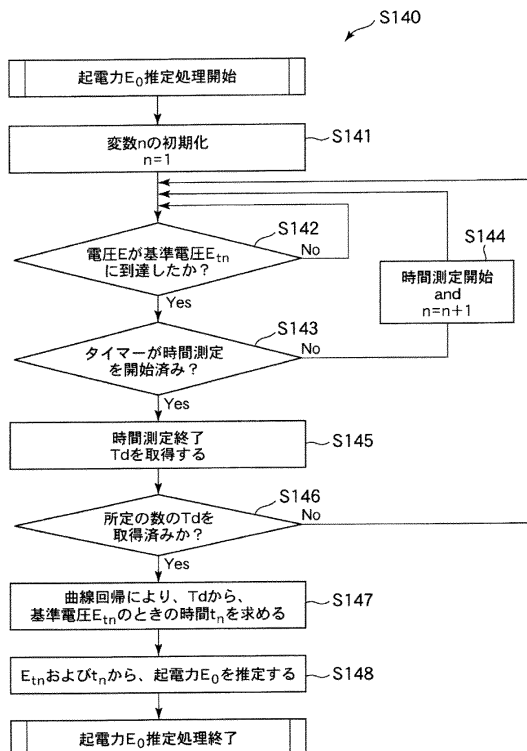
【図 20】



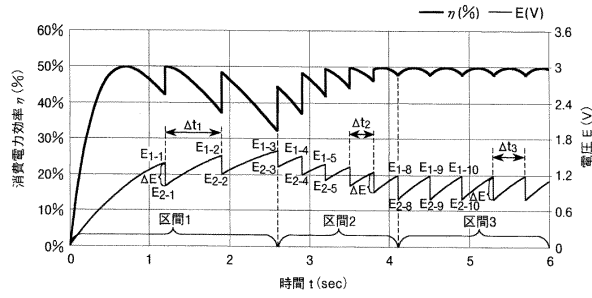
【図 21】



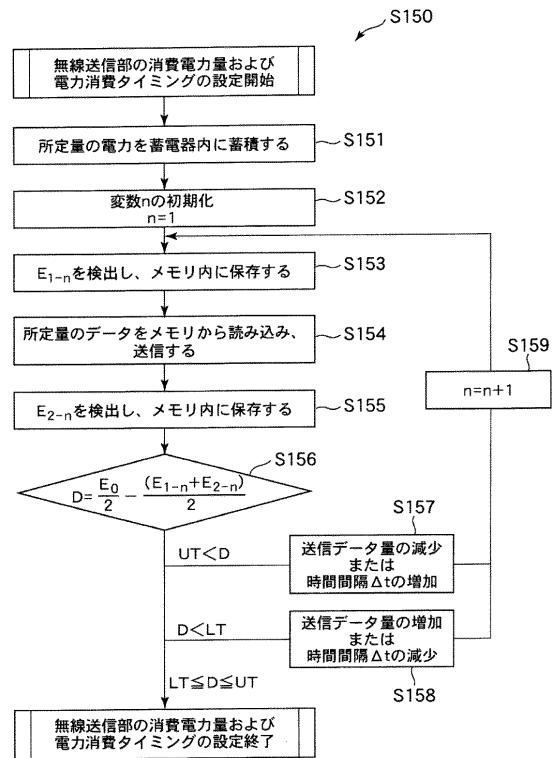
【図 22】



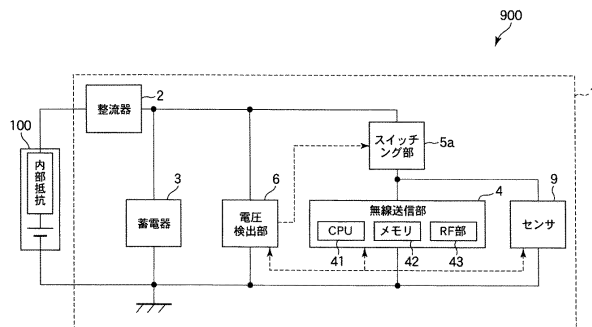
【図 23】



【図 24】



【図 25】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-013765(JP,A)
特開2010-239517(JP,A)
特開2014-215631(JP,A)
特開2007-233941(JP,A)
国際公開第2013/046505(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G08C 13/00 - 25/04
H04B 1/04
H02J 7/00