

無線圧力発信器低消費電力化技術の開発

Development of Low Power Consumption Technology for Wireless Pressure Transmitters

株式会社 山武

木下 靖彦
Yasuhiko Kinoshita

株式会社 山武

瀬川 進
Susumu Segawa

株式会社 山武

田辺 樹
Itsuki Tanabe

株式会社 山武

鄭 立
Li Zheng

キーワード

工業用計測器、圧力発信器、無線、低消費電力、間欠駆動、スリープ電流、環境エネルギー発電、エナジーハーベスト

無線圧力発信器における低消費電力化技術の開発に関して報告する。無線圧力発信器低消費電力化のためには、センサ部における間欠駆動の実現と、スリープ電流を最大限に抑制することが重要である。これらの技術開発の結果として、高い精度を達成すると同時に、バッテリーを長寿命化できる無線圧力発信器を実現した。また環境エネルギー発電を利用する「バッテリーレス」無線圧力発信器の実現も可能となる。

This paper reports the development of low power consumption technology for industrial wireless pressure transmitters. For realization of low power consumption for wireless pressure transmitters, it is important to drive the pressure transmitters periodically and to reduce the sleep current as much as possible. Long battery life can be realized using this low power consumption technology with high measurement precision. Moreover, this low power technology makes so-called “battery-less” industrial wireless pressure transmitters possible by using the environmental energy generation.

1. はじめに

近年、生産のグローバル化や地球環境の問題などへ対応するため、より少ない投資で高い生産性をもつ工業生産システムが求められている。このため、工場やプラントといった工業分野においても、配線コストが不要な無線通信技術の活用が期待されている。本稿では、工業用無線圧力発信器の開発において重要で、かつ解決困難な課題である低消費電力化技術の開発について報告する。

場合、数年に1回の定期的な検査保守の際以外は、バッテリーの交換ができない場合も多い。したがって、工業用のバッテリー動作機器には、数年間バッテリー交換なしに動作することが求められる。このことから、工業用無線圧力発信器においては、バッテリー動作期間長期化のために低消費電力化技術の向上が必要である。

以上のような観点から、低消費電力化に重点をおいて開発した無線圧力発信器を図1に示す。

2. 工業用無線圧力発信器の開発

バッテリー駆動で動作する工業用無線圧力発信器の開発を考える。無線技術の進歩は目覚ましいものがあるが、現代においても、要求される性能の全てを満たす無線通信技術は実現できない。そのため、工業分野で必要とされる性能に注力した開発を行う必要がある。そこで、プラントを例に、具体的に工業用無線に必要な機能を考えてみる。プラントは1年365日24時間運転を続ける。そのため、バッテリー駆動の機器が導入された



図1. 低消費電力無線圧力発信器

この無線圧力発信器は、計測周期を1秒に設定したとき、10年以上の期間を単一形の電池1本で動作させ続けることが可能である。また、このように消費電力が小さいため、環境に存在する微少なエネルギーを利用した動作も可能であり、バッテリー交換さえも不要な無線圧力発信器も実現できる。

3. 工業用無線圧力発信器の低消費電力化

ここでは、上述の無線圧力発信器開発において、どのように低消費電力化を実現したか、その考え方や実現方法について示していく。

3.1 目標とする平均消費電流の算出

まず、工業用無線圧力発信器をバッテリーで駆動する際に許容される消費電流を見積もる。

今回、圧力発信器を無線化し、バッテリー駆動にするにあたり、「単一形以下のバッテリーによる動作期間10年以上」を1つの目標とした。サイズを単一形以下としているのは、小型・軽量化のためである。動作期間については、市販されている一次電池の保証期間が10年であることによる。

では、この条件で使用できる平均消費電流 I を計算する。計算式は以下の通りである。

$$\text{消費電流 } I[\text{A}] = \frac{\text{バッテリー容量 } [\text{Ah}]}{\text{動作期間 } [\text{h}]}$$

ここでバッテリー容量は、小型で大容量の単一形リチウム電池の使用を考え、実際に存在するバッテリーの公称容量 19Ah を使用する。この値と動作期間 10年を用いて、平均消費電流 I は以下のように求まる。

$$I = \frac{19[\text{Ah}]}{10[\text{year}] \times 365[\text{day}] \times 24[\text{h}]} = 219.8 \times 10^{-6} [\text{A}]$$

この結果から、発信器をバッテリー駆動するためには、わずか $220\mu\text{A}$ 程度の電流により、測定から無線通信までの全てを行わなければならないことがわかる。ちなみに、一般的な2線式の発信器では $4 \sim 20\text{mA}$ の電流信号により通信と電力供給を行っているため、少なくとも 4mA の電流を使用することができる。しかもここには、無線通信で必要とされる電流は入っていない。比較してみると、目標とする機器は、消費電流を2線式の20分の1以下に抑えなくてはならない。

3.2 低消費電力化の考え方

では、どうやって $220\mu\text{A}$ 以下という低消費電流を実現するのか、その考え方を以下に示していく。

図2に、無線圧力発信器のブロック図を示す。電源がつけられたとき、電流はセンサ部、A/D変換部、演算・制御部、液晶表示部、そして無線部の各部で消費されることになる。

仮に、2線式の発信器をそのまま無線化することを

考えてみる。このときの電流消費を模式的に表すと、図3(a)のようになる。各ブロックの消費電流を比べてみると、元々存在しない無線部を除けば、センサ部及びA/D変換部の消費電力が大きい。当然、このままでは消費電流の目標を達成できない。

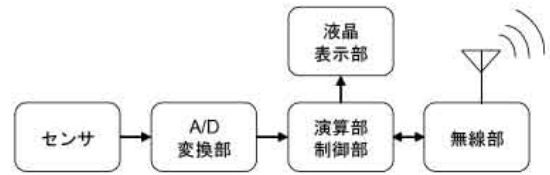
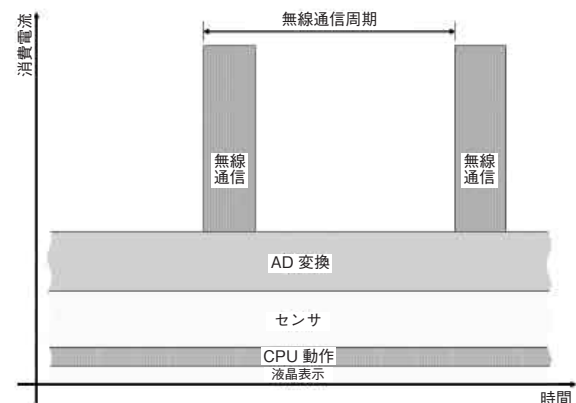


図2. 無線圧力発信器のブロック図

(a) 2線式発信器を無線化した場合



(b) 間欠駆動による低消費電力化

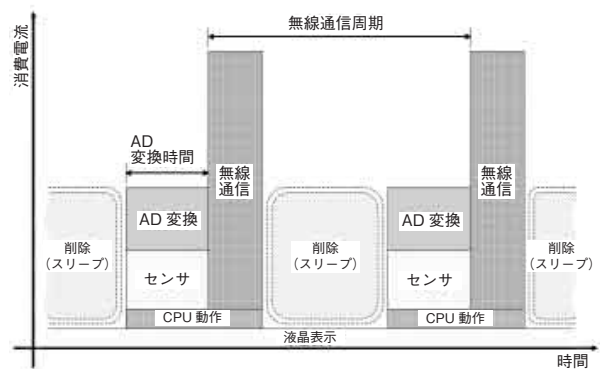


図3. 無線圧力発信器電流消費の模式図

そこで、低消費電力化のために、「間欠駆動」を導入する。元々無線部は電流消費が激しいため、通常、間欠的に通信を行う。そこで、センサやA/D変換部も、これに合わせて無線通信の直前のみ動作させるようにする。こうすることで、「スリープ状態」と呼ばれる、流れる電流の少ない時間を生み出すことができ、消費電流を削減できる。この間欠駆動を導入した際の消費電流削減効果を、図3(b)に示している。重要なのは、間欠駆動によるセンサ部及びA/D変換部の動作時間を短くするほど、高い消費電流削減効果を得られることである。したがって、センサ部・A/D変換部における間欠駆動の実現とその動作時間短縮が、低消費電力化

技術の1つのポイントである。

センサ部及びA/D変換部を含めた発信器の間欠駆動が実現できた場合、もう1つ、低消費電力化のために重要なポイントが現れる。それは、スリープ状態における消費電流（スリープ電流）の大きさである。間欠動作を実現できたとしても、このスリープ電流が大きい場合には、得られる効果が小さいことは容易に理解できる。したがって、スリープ電流を抑制する技術も、バッテリー駆動で10年間動作する低消費電力化を達成する上で重要なポイントである。

以下では、この2つのポイントに関する技術開発について、さらに具体的な内容を示していく。

3.3 センサの間欠駆動実現と動作時間の短縮

バッテリーで駆動する圧力発信器では、間欠駆動に対応できるセンサが必要であると同時に、精度にも気を配る必要がある。そこで、ここでは間欠駆動に対応するセンサの実現方法とその精度について説明する。

今回の開発では、センサ部として差圧センサを選択している。用いたセンサの受圧部を図4に示す。差圧センサは、差圧、静圧、そして温度を測定する3つのSiピエゾ抵抗式センサからなる。このような構成にしているのは、センサが置かれた静圧及び温度に依存することなく差圧を測定するためである⁽¹⁾。

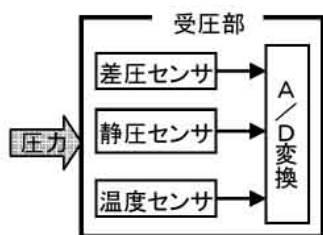


図4. 無線圧力発信器のセンサ構造

間欠駆動を実現するために、従来のセンサ駆動方式である連続駆動との差異を考えてみる。連続駆動の場合、センサの立ち上がりが遅くても、電源供給から十分時間が経過した後に測定すればよい。これに対し、間欠駆動の場合、センサへの通電時間を短くするために、センサに電源を投入した直後に測定を行う必要がある。すなわち、立ち上がりが速いセンサが必要になる。

図5は、開発した間欠駆動用のセンサの立ち上がり時間を示したものである。合わせて、従来の連続駆動用センサの立ち上がりも示している。間欠駆動用センサの立ち上がりが、連続駆動に比べて速いことがわかる。

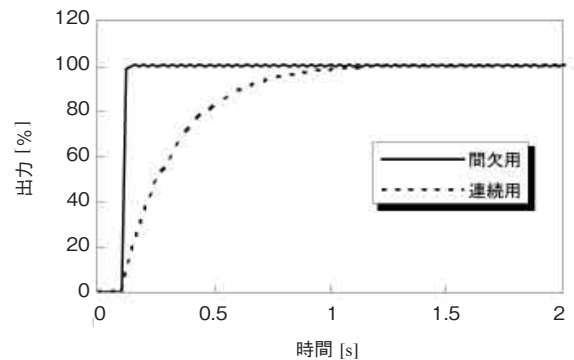


図5. センサの立ち上がり時間の比較

開発した無線圧力発信器の精度について示す。図6は、温度25℃における精度測定の結果である。この図から、開発した無線圧力発信器が、0.01% FS以上の高い測定精度を有していることが確認できる。

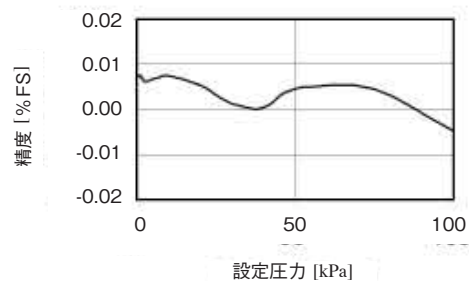


図6. 無線圧力発信器の精度

3.4 スリープ電流の抑制

ここでは、低消費電力化のもう1つのポイントである、スリープ電流の抑制技術について解説する。

スリープ電流に関する説明を行う前に、計測周期について説明しておく。図7は、間欠動作する無線圧力発信器の動作を時間軸上で表した模式図である。

図に示されているように、間欠動作における計測周期は、1周期分の回路動作時間とスリープ時間の和として表せる。

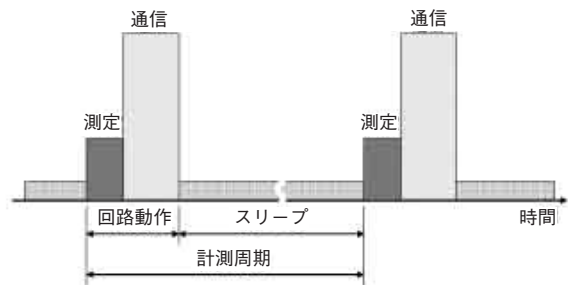


図7. 計測周期の説明

ここで、回路動作時間は、センサの精度や通信データの量など、物理的な要求で決まるものである。したがって、計測周期を短くする場合に削られていくのはスリープ時間であり、消費電流は連続駆動に近づいて

いくことになる。このように計測周期は、バッテリーを用いた機器の動作可能時間と非常に深い関係がある。

次に、スリープ電流を抑制することの重要性を、より具体的に説明する。図8はスリープ電流をパラメータとし、計測周期に対する発信器の消費電流をシミュレートしたものである。シミュレーション条件は、回路における電流消費を30mAとし、その動作時間を5msとしている。

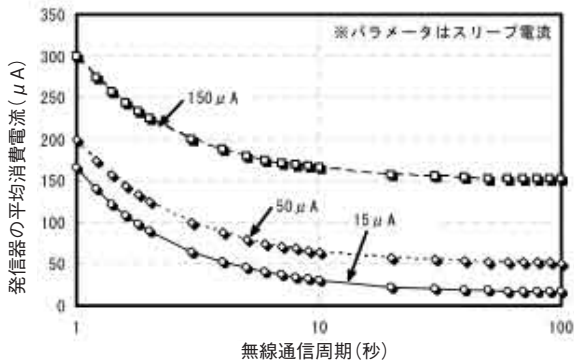


図8. 発信器の消費電流

3.1で計算した目標とする消費電流 $220\mu\text{A}$ を基準に考えると、スリープ電流 $50\mu\text{A}$ において、やっと計測周期が1秒となる。例えば、監視に用いられる計測器では、計測周期が短いほど早く異常を発見できるなど、短い計測周期を要求されることもある。したがって、無線圧力発信器においても、できるだけ計測周期を短く設定可能にした上で、バッテリーによる機器動作期間を長く保つ必要がある。前述の通り、測定や無線通信に必要な電流を削るのは難しいことから、計測周期を短くするためには、スリープ電流を小さくすることが重要であることがわかる。

具体的なスリープ電流の抑制は、CPUや無線ICに待機電流が小さいものを選定し、不要な電流を流さない回路設計の工夫などにより、徹底的に不要な電流を削ることにより行った。この結果、開発した無線圧力発信器では、全体のスリープ電流が $15\mu\text{A}$ であった。これは、目標とする消費電流 $220\mu\text{A}$ の10分の1未満であり、非常に小さな電流値に抑えられていることがわかる。

4. 無線圧力発信器の動作

ここでは、これまで説明してきた低消費電力化技術を組み込んだ無線圧力発信器の全体的な電流消費と、バッテリー駆動での動作可能な期間について説明する。

図9は、開発した無線圧力発信器の1回の測定・通信動作における消費電流を示している。図中9～50msが回路動作(測定+通信)中であり、残りの部分はスリープ状態である。図から、これまで説明してきた間欠駆動を実現できていることが確認できる。

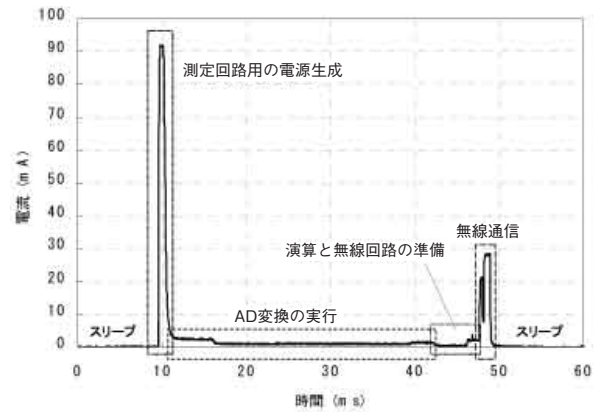


図9. 無線圧力発信器の電流消費

図9において、10ms付近と50ms付近の2つの大きなピークが存在する。

これまでの説明では触れていないが、10ms付近の高いピークは、センサに供給する電源生成のための電流である。これは、センサへの電力供給を間欠的に行っているために現れるピークであり、コンデンサへの突入電流を含むため、大きくなる傾向にある。ただし、センサへ供給される電圧が不安定では測定精度に影響するため、十分に安定するよう注意を払う必要がある。

50ms付近のピークは、無線回路が消費する電流である。無線部に使用されるICには、電波の送受信増幅器が含まれているため、消費電流が大きくなる傾向にある。

これら電源生成及び無線部の電流消費は大きいですが、これ以上小さくできない電流であるため、消費電流を少なくするためには、できるだけ短時間で処理を終了することが重要である。開発した機器では、動作制御プログラム設計の際、この点に注意しており、数msという短時間で処理が終了していることが、図9からわかる。

消費電流が確認できたので、バッテリーによる動作時間を確認してみる。図から回路動作時間の平均電流を計算したところ、およそ 3.6mA であった。スリープ電流は $15\mu\text{A}$ であるので、計測周期を T とすると、平均消費電流は以下の式で求められる。

$$I = \frac{3.6[\text{mA}] \cdot 41[\text{ms}] + 15[\mu\text{A}] \cdot (T - 41[\text{ms}])}{T} [\text{A}]$$

計測周期を仮に1秒($T=1\text{s}$)とした場合、平均消費電流 I は約 $162\mu\text{A}$ となる。このとき、バッテリーとして、3.1の計算で用いた単一形リチウム電池(電池容量19Ah)を使用したときの動作期間は、以下のように求められる。

$$\frac{19[\text{Ah}]}{162 \times 10^{-6} [\text{A}] \times 365 [\text{day}] \times 24 [\text{h}]} = 13.4 [\text{year}]$$

すなわち、計測周期1秒以下でバッテリーによる動作時間10年を超える無線圧力発信器が実現できている。

この結果は、工業用無線圧力発信器において最高水準の低消費電力性能である。

なお、この計算により得られたバッテリーによる動作期間は、IEEE802.15.4^④の物理層、MAC層をベースに構築した当社オリジナルのプロトコルで通信を行った場合である。通信プロトコルによっては、無線回路の動作時間が増す場合もあるため、工業用無線の国際標準である WirelessHART や標準化が進められている ISA100.11a などに対応する場合には、消費電流が大きくなる可能性がある。ただし、今回の開発により、発信器側の消費電流をできる限り抑えることができたため、実用に足るバッテリー寿命は十分に見込めると考えている。

5. バッテリーレス無線圧力発信器

無線機器にバッテリーを使用する限り、ユーザーが「バッテリー交換」というメンテナンス作業から解放されることはない。そこで、ここでは、開発した無線圧力発信器の低消費電力性能を利用した、バッテリーを使用しない無線圧力発信器実現への取り組みを紹介する。

バッテリーレスを実現するために、エネルギーハーベスト技術^⑤が利用できる。図10にエネルギーハーベストの概念を示す。



図10. エネルギーハーベストの概念

図からわかるように、エネルギーハーベストは、周辺に存在する微少な環境エネルギーを利用して発電し、機器の電源として利用する技術である。人の生活圏であれば明かりがあることは多く、光はエネルギー源として利用しやすい。また、工業分野ではボイラーやコンプレッサを利用することも多いため、熱や振動なども利用しやすいエネルギー源といえる。ただし、周辺環境に存在するエネルギーはどれも微少なもので、取り出せる電力も非常に小さい。そこで、このエネルギーハーベスト技術を利用するためには、本稿で解説してきたような徹底した機器の低消費電力化が必要である。

図11は、一例として太陽電池を組み込んだ「ソーラー発電型バッテリーレス無線圧力発信器」を示している。このように、可能な限り一体化することも、運搬の際のユーザーの利便性を考えると重要なポイントである。



図11. ソーラー発電型無線圧力発信器

図からわかるように、太陽電池の大きさは5.5×2cm²と小さいが、照度650lx程度（一般的な事務所の明るさ程度）の室内で動作を確認できている。この程度の太陽電池面積及び明るさで動作が可能であることは、開発した低消費電力化技術を用いることにより、バッテリーレス化実現へと近づけることができたことを示している。

なお、より多くの利便性をユーザーに提供するために、当社では他の環境エネルギーを使用したバッテリーレス無線圧力発信器の実現にも取り組んでいる。その結果として、振動では加速度約1m/s²=0.1g（振幅20μm）という微小振動で、熱では20℃以下という低温度差において無線圧力発信器の動作を確認できている。

エネルギーハーベスト技術を利用したバッテリーレス無線圧力発信器は、環境によってはメンテナンスの全くいらぬ無線計測器を実現できる。ただし、環境エネルギーは不安定なものであるため、異なる複数の環境エネルギーを組み合わせるなど、設置環境に合う機器への安定した電力供給方法を検討する必要がある。

6. おわりに

本稿では工業用無線圧力発信器の低消費電力化技術について紹介し、微少な環境エネルギーでも動作可能なバッテリーレス無線圧力発信器が実現できることを示した。近年、プラントや工場における無線機器利用に注目が集まってきているため、今後もこのような技術開発を通じて、工業用計測器のさらなる利便性をユーザーへ提供していきたいと考えている。

<参考文献>

- (1) 間々田：差圧・圧力発信器の高性能，高精度化技術，
azbil Technical Review(2008)，pp24-29，株式会社
山武
- (2) 鄭：ZigBee 開発ハンドブック(2006)，リックテレ
コム
- (3) 沈，佐々木 宏，鄭：エネルギーハーベスト技術，
計測制御(2009)，V01.48，No. 7，pp579-586

<著者所属>

木下 靖彦	技術開発本部 商品開発部
瀬川 進	技術開発本部 商品開発部
田辺 樹	技術開発本部 商品開発部
鄭 立	技術開発本部 商品開発部