

# WiSensor™工業用ワイヤレスセンサネットワークシステムの開発

Development of Industrial Wireless Sensor Network System "WiSensor™"

株式会社 山武 佐々木 宏  
Hiroshi Sasaki

株式会社 山武 上田 邦良  
Kuniyoshi Ueda

株式会社 山武 田辺 樹  
Itsuki Tanabe

株式会社 山武 鄭 立  
Li Zheng

株式会社 山武 野原 亮  
アドバンスオートメーションカンパニー Ryo Nohara

## キーワード

ワイヤレス、センサ、ネットワーク、ZigBee、IEEE802.15.4、4～20mA、パルス、WiSensor

工業市場向けのワイヤレスデータ収集システムWiSensorを開発したので報告する。このシステムは、工業用センサの出力として一般に広く使われている4～20mA DC出力を無線でホストPCに伝え、データベースに蓄えるものである。免許が不要な無線を採用しているため国内のどこでも使用することができる。ネットワーク構造にはメッシュネットワークを採用しているため、広範囲に散在するセンサのデータを容易に収集することが可能である。また、工業用センサの出力としてはパルス出力もあるがこれに対応した無線機の試作も行った。この試作機は電池により10年以上動作させることができる。

We have developed a wireless data acquisition system, WiSensor, for the industrial market. This system sends outputs of 4-20 mA DC, commonly used as outputs for industrial sensors to the host PC through a wireless network, and stores the data in its database. Since the wireless transmission of this system does not need to obtain a regulatory license, anyone can use it, anywhere in Japan. Since the mesh network system has been adopted as the structure of the network system, the system can easily collect data from widely scattered sensors. In addition, we have made a prototype wireless transceiver corresponding to pulse output, which is being used as an alternative output for industrial sensors. This prototype transceiver is expected to be operated with battery power for ten years or longer.

## 1. はじめに

筆者らは工業用ワイヤレスセンサネットワークシステムを開発した。このシステムは工業用センサの出力をワイヤレスでリアルタイムに収集するものである。

本文では、まず工業市場における無線を取り巻く環境について概論を述べる。その後、このたび製品化した4～20mA DC出力対応ワイヤレスモニタリングシステムWiSensorと、パルス出力対応の試作機WiSensor Leafについて、その仕様と技術的な内容について報告する。

## 2 工業用無線技術

### 2.1 工業用ワイヤレスセンサネットワーク

近年、インターネットに代表されるネットワーク技術の発展とともに、「第2のインターネット」と言われるワイヤレス技術も著しい進展を遂げており、多くの注目を集めている。各種センサをワイ

ヤレスでつなぐ「ワイヤレスセンサネットワーク」は、これからの「ユビキタスネットワーク社会」を支える技術の一つとして位置付けられており、非常に重要な役割を担っている。

また、国内外の工業オートメーション業界でも、ワイヤレスセンサネットワーク技術に関する多様な研究開発が日進月歩で進められている。従来は、有線システムを中心としていた計測制御ネットワークの分野においても、ワイヤレスセンサネットワーク技術に対する大きな期待が寄せられている。

ワイヤレスセンサネットワークは、有線によるネットワークに比べ信頼性の面では劣るものの、システムの設置が

低コスト  
短期間  
フレキシブル

に行えることから、調査・研究など一時的な計測では特に効果を発揮する。また、ワイヤリングにかかる費用を削減できることから、従来はコスト的な制約で現実的でなかった大規模空間におけるモニタリングも行うことができるようになる。

このほか、測定対象が回転テーブルに載っているなどして配

線が困難である場合や、測定対象のレイアウトが頻繁に変わる場合などにも適している。

### 2.1.1 工業ワイヤレスへの性能要求

工業生産現場においては、階層的なネットワーク・インフラが利用されている。もっとも上位の階層に位置するのが、インターネットに接続している企業ネットワークである。工場レベルの生産管理ネットワークおよびプラントレベルの計測制御ネットワークでは、そのほとんどがイーサネットやLANで構築されている。その一方、生産現場ではいろいろなフィールドバスとセンサネットワークが活用されている。

これまでに、従来の有線のインターネットに代わりPHSや携帯電話を利用した工業ネットワークの実例、および有線LANに代わり無線LANを活用した工業アプリケーションがいくつか報告されてきたが、これらのワイヤレス技術はそのままではフィールド・ネットワークへの性能要求を満足できない。

まず、携帯電話や無線LANなどのワイヤレス通信は、1回の充電で数時間動作できる使用環境を想定しており、消費電力より通信距離またはデータ伝送速度を重視して開発された技術である。工業用ワイヤレスセンサネットワークの場合は、1回の電池交換で数年間動作し続けることが要求されるので、データ伝送速度や伝送距離をある程度犠牲にしても、低消費電力を確保しなければならない。

一般的に工業用ワイヤレス技術には以下のような性能が要求されている。すべての性能を最適化するのは不可能なので、アプリケーションによって性能の優先順位も異なってくる。

- 信頼性: 99.9% ~ 99.99%以上の高信頼性
- リアルタイム性: 数ミリ秒以下の遅延時間
- 送信距離: 数百メートル四方以上のフィールドをカバーできる送信距離
- 消費電力: 数年以上の電池寿命
- スケーラビリティ: ネットワーク容量
- セキュリティ: 認証および暗号化技術
- 実装性: 低コストおよび部品の長期安定供給、防水・防塵および防爆性能、電波法の規制
- エンジニアリング機能: 計測ツール、リモート接続状況監視・診断

### 2.1.2 工業用ワイヤレスの標準化

前項で述べたような背景があったため、2003年にIEEE 802.15.4近距離ワイヤレスネットワークのグローバル標準が提案されると、オートメーション業界で大きな反響を呼んだ。また、IEEE 802.15.4で規定されている物理層とメディア・アクセス層に基づいた上で、ネットワーク層およびアプリケーション層を標準化する活動がいくつかある。例えば、ワイヤレスセンサネットワーク技術標準化業界団体であるZigBeeアライアンスは、IEEE 802.15.4をベースにしたZigBeeネットワーク仕様をリリースしており、ビルディング・オートメーション業界から非常に注目されている。一方、プロセス・オートメーションの標準化業界団体であるHART協議会は、IEEE 802.15.4をベースにしたワイヤレスHART仕様を今年(2007年)9月にリリースした。さらに、国際計測制御学会ISAもIEEE 802.15.4をベースにした標準化工業用ワイヤレスセンサネットワークを開発中で、来年(2008年)最初

の仕様書をリリースする予定である。

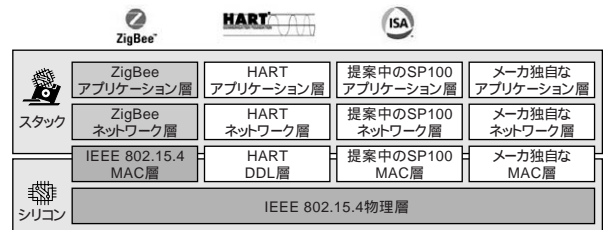


図1. ワイヤレスネットワーク階層

ワイヤレスセンサネットワークへのニーズは様々であるので、ワイヤレスセンサネットワークのアプリケーションに対するすべての要求仕様を一つの標準化仕様で満足させることは困難である。このため、IEEE 802.15.4物理層のみに準拠して、上位に独自のメディア・アクセス層、ネットワーク層およびアプリケーション層を持つワイヤレスセンサネットワークが多数存在しているのが現状である。本稿で紹介する「WiSensor」も、このようなワイヤレスセンサネットワークの一つである。

## 3 WiSensor

WiSensorは工業用センサなどから出力される4~20mA DCデータをワイヤレスでリアルタイムに収集するシステムである。本システムは2007年6月より販売を開始している。

本章では、WiSensorを開発するきっかけとなった工業市場における無線化の利点について概説し、その後WiSensorの仕様や構成について報告する。

### 3.1 ワイヤレスネットワークの利点

無線通信の有線通信に対する利点は、配線が不要なことと、センサの移動に対し容易に対応できることである。この2つのアドバンテージにより、対象プロセスや装置の監視領域を容易に拡大させることができる。

#### 3.1.1 配線不要

配線が不要となることで、従来の有線通信では費用対効果が見込めずに現場監視のみとなっている孤立したセンサや、センサ設置自体を見送られていた測定箇所を監視対象とすることができる。

#### 3.1.2 センサ移動への容易な対応

センサの移動が容易となることで、製造ラインのレイアウト変更の際に必要なセンサネットワークの変更が容易となる。そのため、従来ではレイアウト変更を見込み、設置を見送られていたセンサが設置に見合ったコストとなる。

### 3.2 製品概要

#### 3.2.1 仕様

WiSensorは複数の機器の信号を無線通信にて収集し、対象プロセスや装置を監視するシステムである(図2)(表1)。機器の信号はセンサノード(図3)を介して無線発信される。センサノードには4~20mA DC入力を採用しているため、温度・圧力・電流をはじめとする既存の様々な4~20mA DC出力センサを

監視の対象とすることができる。ネットワーク構造はフルメッシュ型とすることで通信経路の冗長化を行い、無線通信の信頼性向上、すなわちデータ欠損のリスクを大幅に削減している。

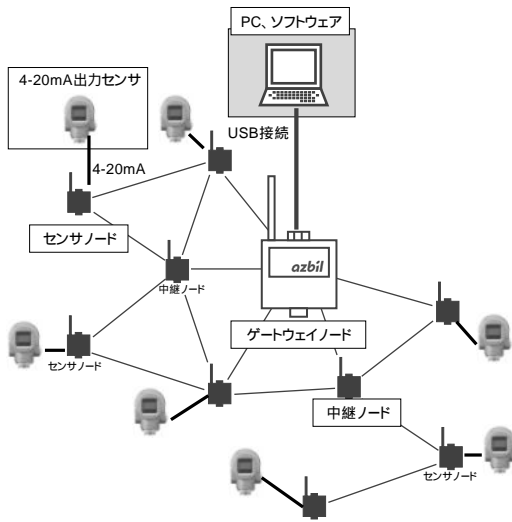


図2. WiSensorシステム構成図

構成要素	機能
ゲートウェイノード	データの無線受信 データのデータベースへの受け渡し
センサノード	4 ~ 20mA DC出力を受ける 入力データの無線送信 データの無線中継
中継ノード	データの無線中継
PC、ソフトウェア	ワイヤレスネットワークの監視 データのデータベースへの収集 データベースの設定 / 管理

表1. WiSensor構成要素の機能一覧



図3 WiSensorノード

### 3.2.2 内部構成

WiSensorノードの内部構成を以下に示す。

センサノードでは4 ~ 20mA入力部で電流値が電圧値に変換され、CPU内蔵のA/D変換器によりデジタル化される。このようにしてCPUに取り込まれたデータはRF ICを経由して電波

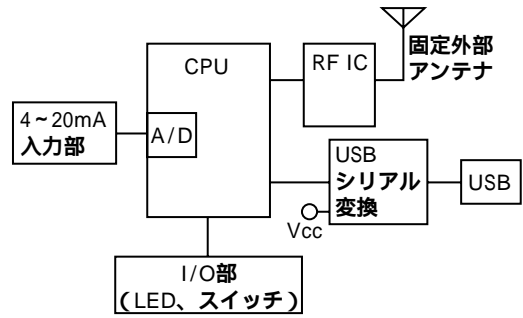


図4. WiSensor内部構成

として送信される。

ゲートウェイノードではセンサノードや中継ノードから送られてきたデータをRF IC経由で取り込み、USBを経てPCへ送られる。

すべてのノードで、電源はUSBポートから供給される。センサノードや中継ノードなどPCにつなぐ必要がないノードには、市販のUSB電源を使って給電する。

### 3.3 WiSensorの特長

#### 3.3.1 免許・資格・申請不要の無線システム

通常、電波を利用した機器を使用する際には総務省への届出が必要となる。WiSensorでは利便性向上のためZigBeeにも採用されているIEEE802.15.4(2.4GHz帯)の通信方式を採用し、「2.4GHz帯高度化小電力データ通信システム」の工事設計認証を取得した。これによりトランシーバーなどと同様な特定小電力無線の適合製品となり、総務省への免許・資格・申請が不要の無線システムとなっている。

#### 3.3.2 高信頼性のフルメッシュ型ネットワーク

WiSensorのネットワーク構造はフルメッシュ型ネットワーク構造を採用している。これは無線LANや携帯電話で採用されているスター型ネットワーク構造とは異なり、各ノード間が相互にデータ通信を行うネットワークとなっている(図5)。そのため、あるノード間が通信不良となってしまった場合でも、他ノードを経由してのデータ通信を行うことが可能となり、常に複数経路でのデータ通信を行うことで通信経路の冗長化を実現し、ネットワークの信頼性向上を行っている。

また、他ノードを経由してデータ通信が可能という利点を活かし、通常では直接データ通信が行えない距離でも中継ノードを

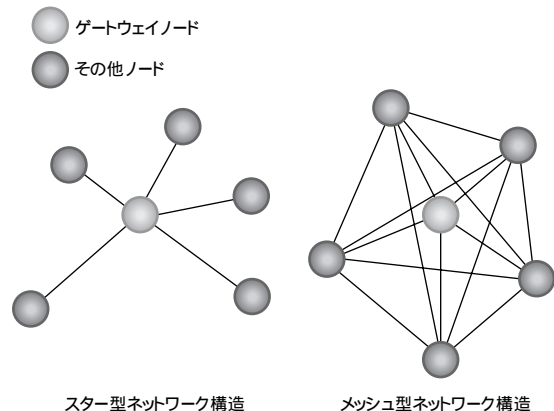


図5. ネットワーク構造比較

設置することでデータ通信を行うことができる。つまり、WiSensorの構築するネットワーク構造は非常に小規模ではあるが、インターネットのネットワーク構造に近いと言える。

### 3.3.3 容易な設定

ワイヤレスセンサネットワークは配線作業の手間から開放されるため、新規設備立上げ時や、仮設ライン設置時、試験設備でのデータ収集などの一時的な測定用途も期待されている。そのためWiSensorは可能な限り設定項目を少なくし、容易に設定を行えるようにしている。ゲートウェイノードをPCに接続し、センサノードにセンサ入力を繋ぎ、チャンネル設定・アドレス設定をするだけで、設置後すぐに測定・データ収集を行えるよう設計されている。

これを実現しているのは次の2つの機能である。

データベースは、出荷時にあらかじめノードのアドレスごとにデータ格納場所を指定しており、データベースの複雑な設定は不要  
 常時ネットワークの監視を行うことで、新たに加わったノードを数秒のうちにネットワークに参加させる

これにより、WiSensorでの一時的な測定は配線時間とシステム設定時間を大幅に削減することができる。

### 3.3.4 既存センサ・データ分析ツールとの高い親和性

WiSensorのセンサノードへの入力は4~20mA DCを採用している。これは汎用的な入力信号を用いることで、温度・圧力・電流・電力をはじめとする既存の様々なセンサに対応させるためである。WiSensorでは、既設にも使用されている信頼性が高く、実績のあるセンシング技術をそのまま使用することができるため、既存設備を変更するリスクを最小限とするだけでなく、段階的にセンサ出力をワイヤレスネットワークに取り込むことが可能となる。

WiSensorのデータベースからはCSV形式で収集データを出力することができる。そのためExcelをはじめとする分析ツールにて収集データの分析が可能である。

### 3.3.5 通信電波強度の表示

無線通信を使用する際には、各ノードの通信状態の確認方法が懸念されている。すなわち、携帯電話の電波受信レベル表示(アンテナマーク)に相当する機能が無線通信システムに求められている。WiSensorでは通信状態確認のため、直接通信を行っているノード間のRSSI(Received Signal Strength Indicator: 受信信号強度表示信号)を取得、発信する機能を搭載している。このRSSIを見ることで、それぞれのノードの通信状態を確認することができる。

WiSensorでRSSIを確認する方法は次の2つがある。確実に通信を行うためにRSSIは-75dBm以上が望ましい。

#### ノードのLED点灯状態

ノード前面のLEDはRSSIの強度により次の3つの点灯状態となる(図6)。

- 75dBm以上 : 点灯
- 75dBm ~ - 85dBm : 点滅(長い点滅)
- 85dBm以下 : 点滅(短い点滅)
- 通信不能 : 消灯

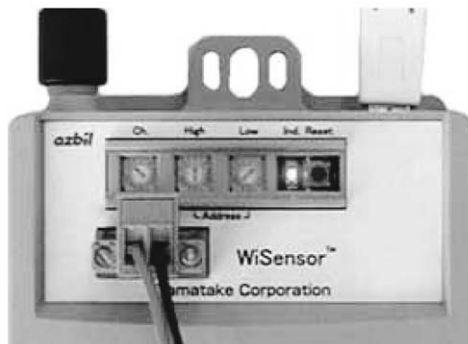


図6. WiSensor前面パネル

#### MeshView(メッシュビュー)での確認

WiSensorを構成するソフトウェアの1つで、ワイヤレスネットワーク監視を担当するMeshViewの画面上では、ノード間の通信を直線にて表示をしている。この直線の表示方法によりRSSIの強度を確認できる(図7)。また、直線にマウスカーソルを合わせることでRSSIの実測値を確認することができる(図8)。

- 75dBm以上 : 青色実線
- 75dBm ~ - 85dBm : 黄色実線
- 85dBm以下 : 赤色点線
- 通信不能 : 直線表示なし

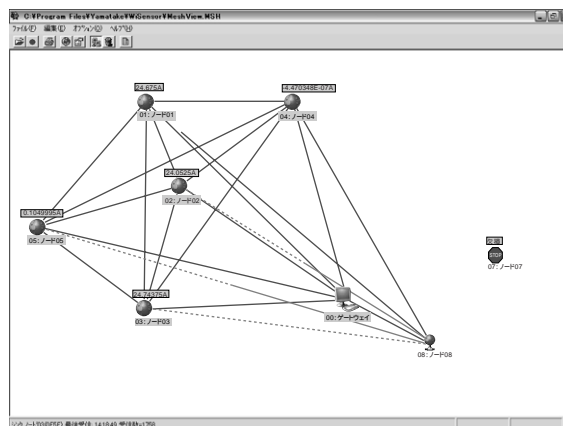


図7. ネットワーク表示とRSSI表示(MeshView)



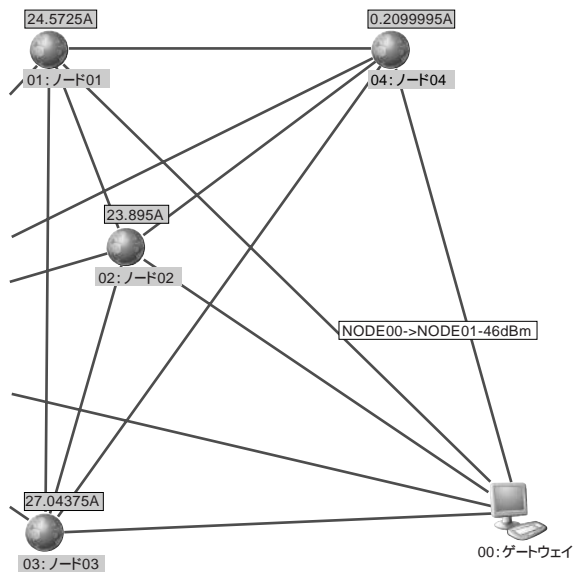


図8. RSSIの実測値表示 (MeshView)

### 3.4 WiSensorの仕様

表2、表3にWiSensorの仕様を示す。

無線規格	IEEE802.15.4
周波数	2.4GHz帯
出力	1mW
チャンネル数	16ch
電源	USB電源 5V (AC100V給電)
消費電力	1W以下
入力信号	4~20mA DC
周囲温度範囲	0~50 (動作時) -20~70 (輸送時)
周囲湿度範囲	10~85%RF(動作時) 10~95%RF(輸送時) いずれも結露なきこと

表2. WiSensor仕様(ノード)

ゲートウェイノード	1台
センサノード	最大20台
中継ノード	最大40台 (センサノードとの合計台数:最大40台)
ノード間通信距離	30m ノード間に金属の遮蔽物(防火壁,金属シャッター,鉄筋コンクリートなど)があると電波が届かなくなる場合がある
中継数	最大5回
精度	±1.0%FS(20~30 ) ±2.0%FS(全温度範囲)
データ収集周期	1秒~255時間 (初期設定2秒)

表3. WiSensor仕様(システム)

### 3.5 フィールドでの実証試験

WiSensorは販売開始に至るまでに、収集データに欠損がなく、安定したデータ収集を行えることを確認するため、国内40ヶ所以上の工場にご協力を頂き、フィールド試験を行った。フィールド試験では1ヶ所につき、1週間から1ヶ月の長期間をかけて行い、安定したデータ収集を行えるよう、ソフトウェアの改良・強化を行うことができた。

また、フィールド試験で実際に現場設置を行うことで、設置環境条件に応じた情報を本システムに反映することができた。中でもノード設置時の通信電波状態確認のため、ノード仮設置の必要性から、WiSensorのノードには仮設置用の器具を標準で添付している。

## 4 WiSensor Leaf

### 4.1 背景

WiSensor Leafは、WiSensorの課題の1つである「無線機への給電方式」を解決するべく、電池による駆動を実現するために企画をスタートさせた。また、WiSensorと同じく、ワイヤレスが必要とされるアプリケーションを開拓するため、約半年間のWiSensorでの活動で得たワイヤレスへのニーズを反映し、開発を行っている。WiSensor Leafは試作の段階である。

### 4.2 ターゲットアプリケーション

WiSensor Leafでは、エネルギー使用量の管理計器である流量計と電力計をターゲットに開発を行った。流量計や電力計は、使用量管理のために取り付けられているユーザは多いが、これらを配線し、ネットワークを用いてデータの管理を行っているケースはまだ多くはない。そのため、WiSensor Leafにより、孤立してしまっている管理用計器のネットワークへの参加を行い、エネルギー使用量のきめ細かい管理を実現することが狙いである。

### 4.3 製品概要

#### 4.3.1 ネットワーク

WiSensor Leafは長時間の電池駆動を実現するために、データ送信時以外の時間はスリープ状態になっている必要がある。また、スリープ状態からの起動後に速やかにデータを送信してスリープ状態に戻る必要がある。このような要求を実現するために、WiSensor Leafはネットワーク参加時に決めた親とだけ通信するようにした。ネットワークの構造を図9に示す。

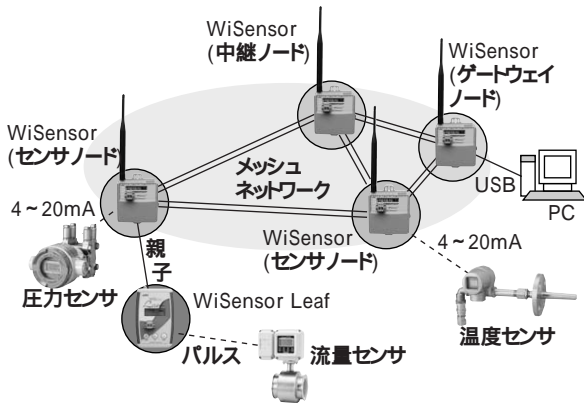


図9. WiSensor Leafのネットワーク構造

上図に示すように、WiSensor LeafはWiSensorによるネットワークに参加する形で使用することができる。WiSensor Leafはネットワークへの参加時に特定のWiSensorとの間で親子関係を結び、親とのみ通信を行う。親はWiSensorで作られるメッシュネットワークを経由してゲートウェイノードに子のデータを伝える。

#### 4.3.2 ノード

WiSensor Leafの外観を図10に、構成を図11に示す。



図10. WiSensor Leaf外観

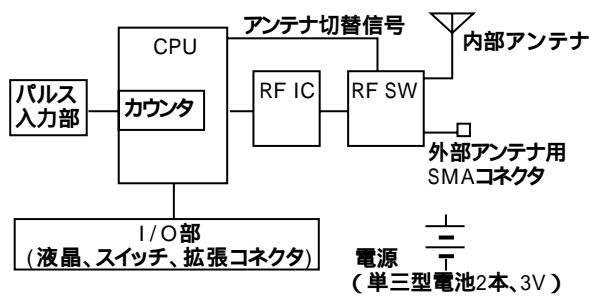


図11. WiSensor Leaf構成

WiSensor Leafでは1つのパルス入力部を持ち、流量計や電力計からのパルス信号を入力する。パルスはCPU内部のカウンタにより計数され、パルス数を液晶に表示する。

WiSensor Leafではユーザインタフェースを変更し、液晶と3つの押しボタンで操作できるようにした。

CPUは以下の基準で新たに選定した。

- 消費電流が小さい(特にスリープ時)
- スリープからの起動時間が早い
- スリープ時でも使えるカウンタを持つ
- 液晶表示機能を持つ

また、WiSensor Leafでは内蔵アンテナを採用した。ただし、

状況に応じ外部アンテナを接続することもできるよう、アンテナ切り替えスイッチを組み込んだ。

#### 4.3.3 連続動作時間

WiSensor Leafは電池で動作するため、連続動作時間は有限である。ただし、WiSensor Leafにつながるセンサ自体も定期的に交換やメンテナンスが行われることが多く、このタイミングで作業の一環としてWiSensor Leafの電池交換が行われればユーザにかかる負荷は少なくてもよい。例えば、計量法に基づく検定有効期間は長いものでも10年になっている。他の装置でも同様の周期で交換やメンテナンスがされると考え、連続動作時間の目標を10年とした。

WiSensor Leafがデータを送信する時の消費電流を測定すると以下のようになった(送信出力0dBm)。

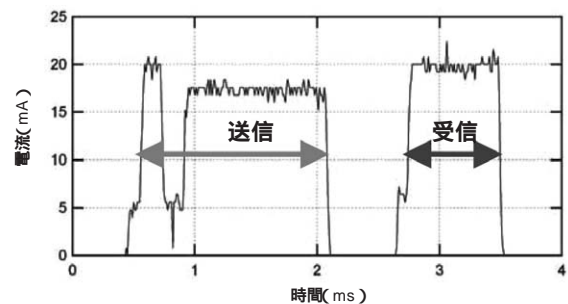


図12. 消費電流

受信は親ノードからのACKを受け取るためのものである。上図から送信時間は約1.5ms、受信時間は約1msである。消費電流はどちらの場合も約20mAである。以上より、データを1回送信するのに $150\mu\text{J} = (1.5\text{ms} + 1\text{ms}) \times 20\text{mA} \times 3\text{V}$ が必要となることになる。データ送信を10秒に1回行うとすると、平均消費電流は $5\mu\text{A} (=150\mu\text{J} / 3\text{V} / 10\text{s})$ である。

上記以外のタイミングでは、CPUおよびRF ICはスリープ状態になっている。ただし、スリープの間もカウンタと液晶は動作を続けている。この状態で消費電流を測定したところ、 $3.5\mu\text{A}$ であった。

パルス入力部は入力端子を抵抗でプルアップしているため電流を消費する。消費電流は入力パルスのデューティ比に依存するが、デューティ比が10%の時、送信時やスリープ時の電流も含めた全平均消費電流は $11.5\mu\text{A}$ であった。

ここで電源として2000mAhの電池を使用したとすると、計算上の動作時間は約20年 $(=2000\text{mAh} / 11.5\mu\text{A} / 24\text{h} / 365\text{day})$ となる。

電池は年月が経るうちに自己放電により容量が減少していくが、計算上の動作時間が10年を大きく超えていることから、保存性の良い電池を使用すれば10年を超える動作が可能となる。

## 5 おわりに

WiSensorの開発によって、我々は工業市場向けに無線通信を利用したデータ収集システムの製品化をすることができた。無線通信の利用は工業市場からも非常に期待されている分野であり、今後はユーザ各位の声を反映するため積極的な開発を行い、仕様拡張を続けていきたい。

**参考文献**

- (1) 鄭: 実践入門ネットワーク ZigBee 開発ハンドブック, リック  
テレコム(2006年)
- (2) 野原: 生産現場の可能性を広げる "無線" ネットワーク <  
ワイヤレス・ネットワーク・モニタリングシステム「WiSensor(TM)」  
>, 『計測技術』V01.35, No.9 p37-40(2007年)

**商標**

WiSensorは、株式会社山武の登録商標です。

**著者所属**

佐々木 宏	研究開発本部 コアテクノロジーセンター
上田 邦良	研究開発本部 コアテクノロジーセンター
田辺 樹	研究開発本部 コアテクノロジーセンター
鄭 立	研究開発本部 コアテクノロジーセンター
野原 亮	アドバンスオートメーションカンパニー IPマーケティング部

