

## 次世代 openATOMS (openATOMS\_FG) の開発について

(株)四国総合研究所 電子技術部 中西 美一

キーワード: IoT  
インターネット  
無線通信  
モニタリング

Key Words: IoT  
Internet  
Wireless communication  
Monitoring

### Development of the openATOMS Future Generation

Shikoku Research Institute, Inc., Electronics Technology Department  
Yoshikazu Nakanishi

#### Abstract

IoT has been one of key words of recent technology trend that can contribute to make society more convenient and safety. On the other hand, it is not so easy to develop and utilize IoT systems in the real world. IoT is a complex assembly of various types of technologies including microcomputers and radio communication devices. Application system engineers don't have enough time to study each individual technology that is composing IoT systems, because of they are always busy to understand problems in the real world and make up practical resolutions to resolve those difficult problems. They obviously need well designed and easy to use common platform technology that can be used in IoT system development.

The openATOMS\_FG was designed as common platform technology to develop and operate various IoT systems in the real world. In this article, basic components of the openATOMS\_FG and two practical application systems based on the openATOMS\_FG are described.

## 1. はじめに

インターネットは1960年に発明されたとされるが、その実用性が一般に認識されたのは1993年のNCSA Mosaicという革新的なWebブラウザの誕生により、ITの専門家ではない極普通の人々とのインターフェースを獲得して以降であると思われる。元来インターネットはコンピュータ間の通信ネットワークとして設計されたものであるが、この25年の間に人と人を繋ぐネットワークに進化したと言えるのではないかと個人的には思っている。

そしてこれからは身の回りの全ての物がインターネットに繋がるIoT(Internet of Things)の時代と騒がれている。Thingsとは物質という意味ではなく、小さなコンピュータを内蔵した物体のことであるので本来の目的に戻っただけのことであるが、57年前との大きな違いは、現在の我が国では殆ど全ての人々がインターネットに繋がっていて、当時は現在の日本円に換算して数千万円もしたコンピュータがワンコイン(500円程度)になったことであろう。

IoTは正確にはInternet of Tiny computersのことである。ちっぽけであっても立派なコンピュータであるので、そう簡単にはインターネットに繋がらない。厄介なのはTiny computerはワンコインなのでインターネットに繋ぐために多くの時間とお金を掛けられないことである。

当社では、IoT応用システムが普及するためには様々な用途の実用システム構築に利用でき、その開発と運用コストを劇的に低減できる共通基盤技術が必要であると考え、2007年頃からopenATOMSの開発を行ってきた。幸いにもopenATOMSはささやかな成功を収め、当社のいくつかの製品で利用されているが、当初の設計から10年が経過し、現在の社会に散在する様々な課題に挑戦するには少々力不足を感じるようになってきた。

openATOMSでは前述のTiny computerのことをNICE(Networked Intelligent Cell)と呼んでいるが、2007年の技術では十分なintelligenceを与えることができなかった。(明らかに名前負けしていた。)さらに、Networkedの部分にもこの10年間でいくつかの技術革新があったため、このintelligenceとnetworking機能の大幅な強化を目指して、2016年から次世代openATOMS(openATOMS\_FG)の開発を進めている。本稿ではその概要を報告する。

## 2. NICE32の開発

openATOMSではNICEとして8bitコアのMCU(Micro Controller Unit)を使用している。(以降、8bitMCUのNICEをNICE8とする。)NICE8のRAM容量は4KBしかなく、NICE8上で十分なデータ処理ができないことが大きな課題であった。

新しく開発したNICE32では32bitMCUを使用している。RAM容量が従来の4KBから256KBへと64倍となり、またデータ処理速度も数十倍になったため、従来は上位のコンピュータで行っていた計測データ処理の大部分をNICE32上で行えるようになった。これにより、データ処理のリアルタイム性が向上すると共に、消費電力の大きい無線データ通信を大幅に削減できることとなり、NICE32の消費電力はNICE8の1/3程度に低減され、用途によっては単三型のLi乾電池×2本で10年以上連続動作させることができるようになった。

このメモリ容量とデータ処理速度の大きさにより、例えば、振動加速度データを収集しながらリアルタイムにFFT演算処理を行うという芸当も可能となっている。通信速度の遅い無線通信ネットワークでは振動加速度データのような大量のデータ送信が難しく、可能な限りNICE32上でデータ処理を行い、無線送信するデータ量を減らす必要がある。これは頭脳明晰で仕事のできる部下は上司への報告も最小限で済むのと同じ理屈である？

最新の32bitMCUはその価格からは想像できないほど高性能で、データ処理速度の向上とメモリ容量の増強に加えて外部デバイスインターフェースも充実しており、様々なセンサやアクチュエータをUART、SPI、I2C、ADC、DAC等の標準化されたインターフェースで接続できるようになっている。

NICE32用のOSとしては、NICE8用に独自開発したS.OS\_NICE8と同様に、低消費電力化のために常時はCPUコア(システムクロック)を停止しておいて、必要時のみCPUコアを起動する方式の独自OS(S.OS\_NICE32)を開発して使用している。システムクロックの停止とは車のアイドリングストップのようなもので、消費電流はアイドリング時の1/1000以下の1 $\mu$ A程度となるため、電池電源で数年間動作させる必要があるNICE32には不可欠の機能である。最新のMCUではシステムクロックの起動時間が1 $\mu$ sec程度と短くなっており、システムクロックを停止していても緊急を要する外部イベント入力に対応できるが、

システムクロックの起動・停止は非常に繊細な動作でこの機能の実装は相当に大変な作業である。この部分の設計をしていると「この場合はこうなって…、その場合はああなって…」と自然と独り言が多くなり、同僚からは変なおじさんと思われているに違いない。

また、NICE32 では前述の外部デバイスインターフェースを介して様々なセンサやアクチュエータを接続する必要があり、そのためのデバイスドライバソフトウェアの開発は結構大変な作業となる。このデバイスドライバを S.OS\_NICE32 の一部として提供することで実用アプリケーションシステムの開発効率は飛躍的に向上するが、世の中に存在する優れたデバイスを継続的に調査し、そのデバイスドライバを開発し続けるというのも骨の折れる仕事である。優れたデバイスの99%は日本語以外の言語を喋る研究者や技術者によって開発されており、彼ら彼女らの共通言語は英語である。1つのデバイスのデバイスドライバを開発するために、時には数百ページの英文ドキュメントを隅々まで読まなければならないことを想像して頂ければこの仕事の過酷さを少しは理解して貰えるだろう。

近年では、Tickless OS と呼ばれる CPU コアを停止できる汎用 OS の開発も進んでいるため、将来的には汎用 OS の採用を予定しているが、汎用の Tickless OS ではデバイスドライバの構造が複雑になりその開発に多大な時間と労力が必要となるため、現時点での採用は時期尚早と判断したというのは言い訳で、OS の開発は純粋に楽しいのである。

### 3. 新しい無線通信技術への対応

openATOMS で使用できる無線通信ネットワーク技術は 2.4GHz\_ZigBee のみであった。優れた技術であり、現在でも十分に活躍しているが、以下のような課題があり openATOMS の利用拡大の制限となっていた。

- ① 2.4GHz の電波は直進性が強く、障害物による通信障害を受けやすい。
- ② 電波出力が 10mW 以下に制限されていて、屋外での見通し通信距離が最大 500m 程度と短い。
- ③ 既に 2.4GHz 帯を利用している機器が広く普及しており、電波障害を受ける可能性が高い。
- ④ ZigBee では無線中継ノードの低消費電力化が考慮されておらず、中継ノードの電源確保が難しい。

無線通信ネットワークの応用が進むにつれ、上記の課題を何とか解決しようということになり登場したのが、2.4GHz に比べて電波の曲がり良く、空中での減衰も少ないため、障害物の多い環境下でも安定した長距離通信性能が期待できる 920MHz 帯の電波の利用と、高精度の時刻同期技術により無線中継ノードを含む全ての無線通信デバイスを間欠動作とすることで、無線通信ネットワーク全体の消費電力を大幅に低減可能とした 920MHz\_MultiHop 技術である。

さらには、通信速度を極端に下げ通信距離を極端に延ばすという逆転の発想で生まれた技術が 920MHz\_LoRa 等の LPWA(Low Power Wide Area の略)技術である。河川の上流で鉄砲水が発生したという情報を 10km 下流の民家に知らせるには 1BPS(手旗信号程度)の通信速度で十分である。下流の民家の住人は数百 MBPS の通信速度を持つスマホで世界の裏側の情報を動画で見ることができるが、1BPS の IoT が無ければ 10 分後に自宅が濁流に飲み込まれることを知ることができないという事実からこの 1BPS の価値を容易に理解することができるであろう。

920MHz 帯を利用する無線通信デバイスには、特別な手続きをせずに使用できる電波出力が 20mW 以下のタイプ(特定小電力無線局)と地方総合通信局への申請と電波使用料(500 円/年程度)の納付が必要な 250mW 出力タイプ(簡易無線局)があり、電波出力が 10mW 以下に制限されている 2.4GHz 帯に比べて通信距離を確保し易いというのも大きな利点である。250mW は 20mW の 12.5 倍であるが、通信可能距離はその $\sqrt{\quad}$ になり 3.5 倍程度となる。

openATOMS\_FG では、これまで利用していた 2.4GHz\_ZigBee に加えて、920MHz\_MultiHop および 920MHz\_LoRa を利用可能とした。無線通信技術の選択肢が増え、従来の 2.4GHz\_ZigBee では適用が難しかった無線中継点での電力確保が難しい場合や、無線中継を行わず 10km を超える通信を行う必要がある用途にも適用可能となっている。

NICE32 と無線通信デバイスは UART で接続されるため、ハードウェア的には簡単に交換可能であるが、通信プロトコルは製品毎に異なるため、各通信デバイス毎にデバイスドライバの開発が必要である。S.OS\_NICE32 では各通信デバイスのプロトコルの違いをこのデバイスドライバが吸収し、無線データ通信のための共通 API をアプリケーションソフトウェアに提供しており、アプリケーションシステムの開発者

は無線通信方式の違いを殆ど意識せずすむようになっている。実用システムの構築では、その要求仕様に応じて適切な無線通信技術を選択あるいは組み合わせで使用する必要があるが、共通 API がないと使用する無線通信技術に合わせてアプリケーションソフトウェアを作り直さなければならない。

### 3.1 2.4GHz\_ZigBee の特徴

2.4GHz\_ZigBee は無線通信ネットワークが一般に普及するきっかけとなった技術である。先行する多くの技術をバランス良く組み合わせると共に、それらの特許問題を解決したことにより多くの無線通信デバイスメーカーの参入を促した結果デバイスも安価になり、当社でもコスト制限の厳しい農業用の環境モニタリングシステム等で使用している。

一方、ZigBee には通信信頼性と消費電力の点で課題もあり、同じ 2.4GHz 帯を使用しながらもそれらの課題の解決を目指した新しい技術もいくつか提案されている。

### 3.2 920MHz\_MultiHop の特徴

屋外での 1 ホップの通信距離が電波出力 20mW のタイプで最大 1,000m 程度あり、30 ホップ程度までのマルチホップ機能により自動的に無線通信経路が構築される。また、無線通信ネットワーク全体を間欠動作させることにより、無線中継ノードを含めて無線通信デバイスを低消費電力動作させることができるため、電源確保の困難な場合でも大規模な無線通信ネットワークを構築し易いという特徴を持つ。連続動作時の通信速度は 100KBPS と比較的高速であるが、低消費電力化の為に間欠動作とした場合は通信速度が低下する。

### 3.3 920MHz\_LoRa の特徴

通信速度を下げ、受信感度を上げるという戦略で電波出力が 20mW のタイプで屋外での見通し通信距離を最大 5km 程度確保できる。無線通信デバイスのレベルではマルチホップ通信機能は搭載されていないため、1つの親局に対して複数の子局が直接通信するスター型ネットワークとなる。実用的な通信速度は 1KBPS 程度と低く、大量のデータ送信には適さない。

920MHz\_LoRa の使用で注意すべきことは、1つのノードの無線データ送信回数と 1 送信当たりの時間を可能な限り小さくすることである。教室での情報伝達に例えるなら、920MHz\_MultiHop が隣通しの早口

ヒソヒソ話で情報を伝達するのに対し、920MHz\_LoRa は大声でゆっくり叫ぶようなものである。ヒソヒソ話は複数の経路を同時に実行できるが、皆が大声で叫ぶと簡単に学級崩壊してしまう。

## 4. NICE32 試作機と NC(Network Computer)

図 1 に NICE32 の試作機を示す。2.4GHz\_ZigBee、920MHz\_MultiHop、920MHz\_LoRa の 3 種類の無線通信デバイスから 2 つまで接続でき、同時に通信ができるようにしており、異なる無線通信方式間のゲートウェイとしても機能する。また FAT32 形式の microSD メモリ(最大 32GB)を搭載可能としており、初期設定ファイルデータの読み込みや大量の計測データの保存も可能である。

openATOMS\_FG 応用システムの多くは低消費電力であることを要求するため、低消費電力動作に定評のある 32bitMCU を選定するとともに、接続するセンサおよび無線通信デバイスの電源をきめ細かく制御することで低消費電力動作を実現している。

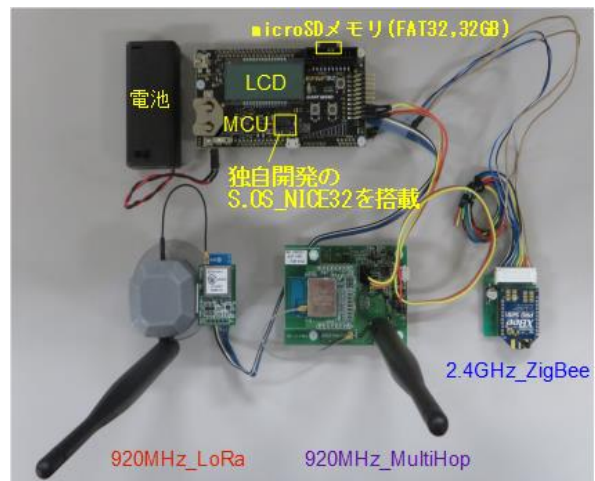


図 1. NICE32 試作機

図 2 に NC(Network Computer)を示す。NC には前述の 3 種類の無線通信デバイスから 1 つを選択して UART インターフェースで接続する。NC には無線通信ネットワークとインターネットを接続するゲートウェイ機能と、NICE 群から収集したデータを蓄積・解析する一種のクラウドサーバ機能が搭載されており、後者の機能を利用する場合はより直感的に理解し易い「データ収集ユニット」という名称で呼んでいる。

近年ではインターネット通信コストも低く、レンタルクラウドサーバも手軽に利用できるため、インターネット上のクラウドサーバにデータを蓄積するシステ

ムが多いが、大地震の発生時等には高い確率でインターネット接続は長時間停止するため、アプリケーションによっては現場設置のクラウドサーバが必要である。openATOMS では設計当初からローカルのクラウドサーバとインターネット上のより強力なクラウドサーバを組み合わせることで利用できるようにしている。これは openATOMS の想定適用分野に当初から自然災害モニタリングが含まれていたためである。

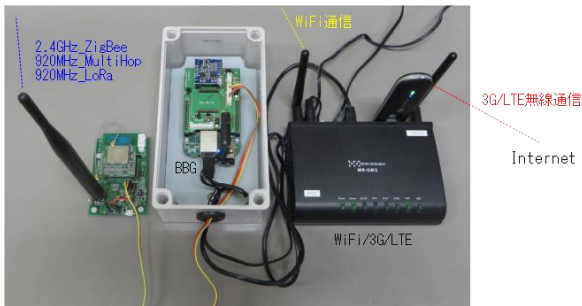


図2. NC(Network Computer)

## 5. 応用システムの開発

openATOMS\_FG は既に十分に実用的なレベルに仕上がっており、現在 openATOMS\_FG をベースに様々な実用システムの検討・試作を進めている。以下に試作した「水田環境モニタリングシステム」および「構造物振動多点同期モニタリングシステム」について紹介する。

### 5.1 水田環境モニタリングシステム

図3に水田環境モニタリングシステムを示す。無線通信デバイスとして 920MHz\_LoRa を使用し、センサデバイスとして水位センサならびに水温センサを搭載している。センサユニットの消費電力は小さく、単三型の Li 乾電池×2本で5年以上動作する設計となっている。

なぜ水田環境モニタリングかと言うと、個々の監視ポイントの情報量とその監視頻度は少ないが、大きな通信距離が必要という要求が 920MHz\_LoRa の実用性評価に適しているからである。最も重要な情報は水位である。計測範囲は 0~200mm 程度で計測分解能は 1mm で十分なのでデータ長は 8bit であり、計測間隔は 1時間以上で良いため、1計測点あたりに必要な無線通信速度は 0.002BPS 程度という計算となる。

広大なエリアの水位を電池電源の簡単なセンサユニットを設置するだけで遠隔監視できるのである。聡明

な本稿の読者であれば、このシステムが水田の水位に留まらず、道路の冠水状況監視や河川の水位監視にも利用できることは容易に想像できるであろう。

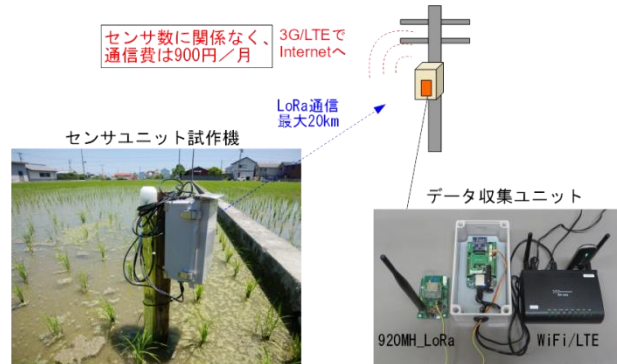


図3. 水田環境モニタリングシステム

### 5.2 構造物振動多点同期モニタリングシステム

図4に構造物振動多点同期モニタリングシステムのセンサユニットを示す。無線通信デバイスとして 920MHz\_MultiHop を使用し、センサデバイスとして高精度の加速度センサを搭載している。最大 200Hz(変更可能)でサンプリングした 3 軸の加速度波形データを内蔵の NICE32 でリアルタイムに分析できる。

本システムは当社の建築技術の研究者からの依頼で開発したものである。原理は簡単で、ビル等の構造物内の複数個所の 3 軸加速度を ±5msec 程度の時刻同期誤差で高精度に計測できれば、その 2 重時間積分値から各計測点の基準点からの移動距離を時々刻々と計算でき、地震による振動が構造物へ与えるダメージの診断に役立つとのことである。

原理は簡単であるが、分散配置された多数のセンサユニットの内部時計の誤差を ±5msec 以内に維持しつつ、いつ発生するか分からない地震による振動を常時監視し、いざという時には複数個所で同時に収集した大量の 3 軸加速度波形データを通信速度の遅い 920MHz\_MultiHop 無線通信でデータ収集ユニットへ確実に回収するという結構凄い機能を、安価に、そしてたったの 6 か月で開発しろという注文であった。

驚くことに、本システムのプロトタイプは 2 か月程度で出来上がったのである。必要な機能の大部分は openATOMS\_FG に用意されており、2 か月という時間の大半は、時刻同期機能の実現と大量の加速度波形の効率的な無線伝送メカニズムの開発の費やすこととなったが、本開発により、openATOMS\_FG には高精度の時刻同期メカニズムと低速の無線通信ネットワー

クによる大量データ送信メカニズムという新たな機能が追加されることとなった。当社では openATOMS\_FG の開発と並行して、その応用システムを積極的に開発している。理由は簡単で基盤技術に搭載する各種機能の開発には、それを必要とする実用システムへの理解が不可欠だからである。

報 No.90,pp24-34(2008.6)

2)中西美一：「オンデマンド・モニタリングシステム技術の開発」,平成 22 年電気学会 C 部門大会講演論文集

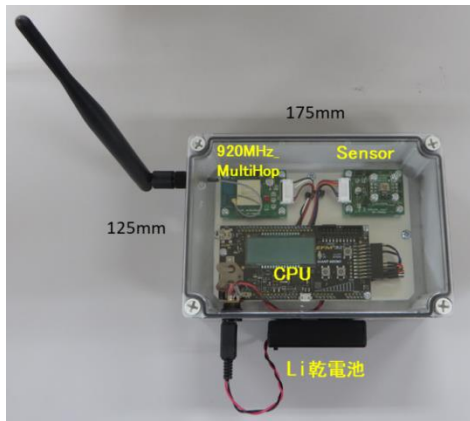


図 4. 構造物振動多点同期モニタリングシステム (センサユニット)試作機

## 6. まとめ

openATOMS\_FG の開発概要とその応用システムの一例を紹介した。IoT とは Internet of Tiny computers であるという独自の解釈に異論を唱える専門家も多いと思うが、Things がインターネットに繋がるという誇大表現が IoT の本質の理解を妨げているようにも思われる。遠い将来には Tiny computer に搭載された AI によりそれがまるで生物のように振る舞い、勝手にインターネットに繋がるようになるかもしれないが、それまでは、真に実用的な IoT システムを構築・運用するためには openATOMS\_FG のような優れた共通基盤技術と、社会に散在する課題を理解しその解決に取り組む熱意に溢れた研究者や技術者の弛まぬ努力が必要であると記して本報告のまとめとしたい。

## 7. 謝辞

本研究の一部は、四国電力(株)事業企画部殿ならびに土木建築部殿より委託を受け実施したものである。ご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

## 【参考文献】

1)中西美一：「オンデマンド・モニタリングシステム技術(ATOMS)の開発」,四国電力,四国総合研究所 研究期