

# 圧電駆動 IoT 機器評価の信号発信のための加圧装置の開発と 無線放射パターンの測定

Development of a pressing equipment for signal transmission of IoT device  
and visualization of radio emission pattern

技術開発部 生産・加工科 鈴木健司 柿崎正貴 吉田英一  
応募企業 T&H デザイン株式会社

圧電素子に力を加えることによって発電しバッテリーレスで駆動する IoT 機器の無線信号の放射パターンを測定するため、一定間隔で圧電素子に力を加え、定常的な信号発信を可能とする加圧装置を開発した。また、開発した加圧装置を用いて IoT 機器の無線信号の放射強度を測定し可視化した。さらに加圧装置が放射パターンに与える影響を確認するための測定を行った。最後に複数の IoT 機器の放射パターンを測定し、個体差の有無を確認した。

**Key words:** IoT、放射エミッション、可視化、モータ制御、測定器制御

## 1. 緒言

近年、無線通信を使った IoT 機器の開発が盛んに行われ、工場の自動化（ファクトリーオートメーション：FA）など産業分野だけでなく、高齢者の見守りといった福祉分野<sup>1)</sup>など様々な場面で IoT 機器が身近に活用されるようになってきている。一方、IoT 機器の無線通信においては、欠損なくデータを送受信するために高い信頼性や安定性が重要となっている。

応募企業の T&H デザイン株式会社では、高齢者の見守り等のため、装着者の活動有無を知らせる IoT 機器を開発している。この IoT 機器は、人の歩行時の圧力等を利用して発電する振力電池<sup>2)</sup>を内蔵しており、靴底に仕込むことで、バッテリーレスで駆動する発信機となっている。この IoT 機器は、Bluetooth Low Energy (BLE) を利用したビーコン信号を発信するが、方位・仰角方向の角度（以後、角度という。）によって信号強度が弱い部分があると場合によっては受信できない可能性がある。放射信号強度の弱い部分の有無を確認するためには、角度ごとの放射信号強度を測定し放射パターンを可視化する必要がある。

そこで本開発支援では、無線放射パターン可視化のために必要な測定をするため、一定間隔で本 IoT 機器に力を加え、定常的な信号発信を可能とする加圧装置を開発した。また、開発した加圧装置を用い本 IoT 機器の各角度での信号強度を測定し、無線放射パターンを可視化した。また、加圧装置の放射パターンに与える影響を確認するため、加圧装置と本 IoT 機器の配置を変えて測定した。さらに、複数の本 IoT 機器に対して同様に測定し、本 IoT 機器の個体差の有無を確認した。

## 2. 実験方法

### 2. 1. 加圧装置の作成

#### 2. 1. 1. ギア及び治具の作成

信号強度の測定には、シグナルアナライザを用いる方法が考えられる。しかし、本 IoT 機器のビーコン信号は、力が加わっている間のみの短い時間に発信され、また、複数の帯域を高速で切り替えて通信しているため、通常のシグナルアナライザによる測定では取り込んだデータからピークのある瞬時スペクトラムを探す必要があり、プログラム制御による自動測定が難しい。そこで、シグナルアナライザのピークホールド値がある閾値以上測定されるまで、繰り返し本 IoT 機器に一定間隔で力を加え信号発信させ続けるための加圧装置を作製した。加圧装置は、サーボモータ、ギア、押し込み部、治具の4つの部品で構成されており、図1にそれらの部品を示す。これらを組み合わせ図2のような加圧装置を作製した。

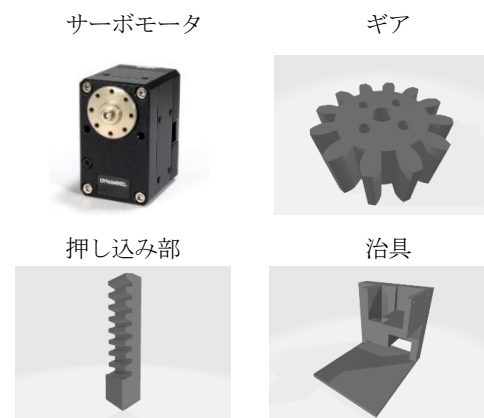


図1 加圧装置の構成部品

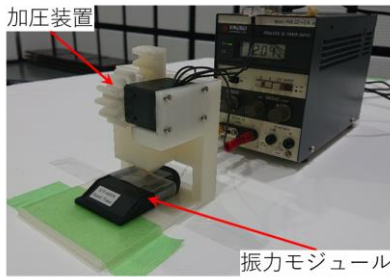


図2 加圧装置の全体図

## 2. 1. 2. サーボモータの制御

作製した加圧装置により一定間隔で本 IoT 機器に力を加えるために、サーボモータを制御する必要がある。制御プログラミング言語は Python を使い、Linux OS (Ubuntu 20.04 LTS) の PC から USB 接続で制御した。サーボモータの駆動条件とギアのピッチ円直径 (PCD) は表 1 のようになる。この条件で、図 2 に示す配置で加圧装置を駆動すると、本 IoT 機器より信号発信されることが確認できた。

表 1 サーボモータ駆動条件とギアのピッチ円直径 (PCD)

サーボモータ型番	ROBOTIS Dynamixel XM430-W350-T
駆動電圧	12V
制御分解能	12bit (0 to 4095)
駆動範囲	1500 to 2550
ギア PCD	36mm

## 2. 2. 測定方法

### 2. 2. 1. 放射パターンの測定方法

本 IoT 機器から発信される信号強度を測定するため、シグナルアナライザはピークホールドで信号を受信し、一定の閾値以上の値が取れるまで作製した加圧装置により本 IoT 機器の押下を繰り返す。図 3 は測定されるスペクトルデータの例である。左にあるピークが 2.4[GHz]に対応しており、本 IoT 機器からの Bluetooth 信号であることがわかる。

今回はこの 2.4[GHz]の周波数の発信信号をターゲットにし、-40[dBm]を閾値として、2.4[GHz]における信号強度が閾値を超えたところで 1 回の測定とした。測定後はピークホールド値をリセットし、次の信号の受信待ち状態とする。この測定を本 IoT 機器の各角度で 10 回繰り返し、値の大きい 3 つの測定値の平均をその角度での信号強度とした。

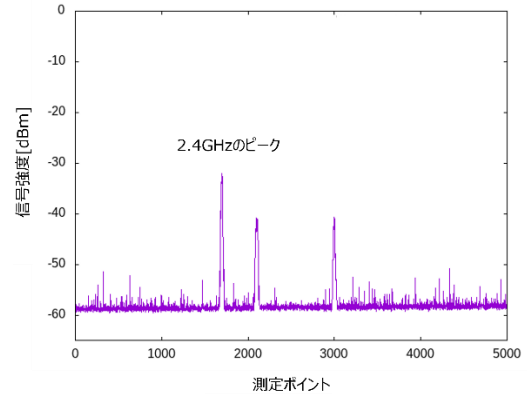


図3 スペクトルデータの例

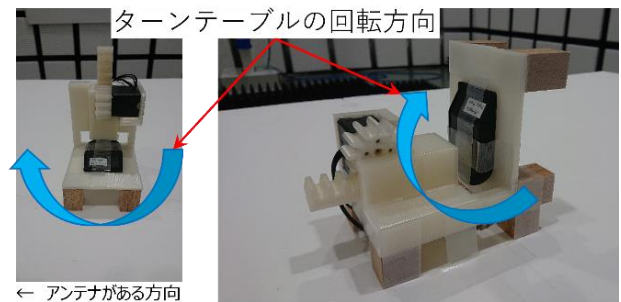


図4 方位方向測定時(左図)と仰角方向測定時(右図)

測定された各角度での放射強度は最大値でおおよそ 1 となるように規格化し、その値を原点からの距離として円座標にプロットすることで放射パターンを可視化した。放射パターンは、図 4 に示すように本 IoT 機器を置いた時の方位方向 360° と仰角方向 180° の範囲で 10° ごとに測定し、それぞれについて水平偏波と垂直偏波について測定した。方位方向については 180° 測定したのちに本 IoT 機器を加圧装置に対して 180° 回転して設置したのちに再び 180° 測定することで 360° の測定とした。

### 2. 2. 2. 放射パターンの測定系

信号強度の測定については、2.4[GHz]におけるピークホールド値をモニターし、閾値を超えたところで 1 回の測定とし、その後リセットする必要があるため、シグナルアナライザを制御し、測定値を取得するためのプログラムを作成した。このときのプログラミング言語はサーボモータ制御と同じ Python であるため、モータ制御部分とアナライザ制御部分を同じプログラムにまとめ、図 5 に示す接続で放射パターンの測定系を構築した。測定は電波暗室内で行い、本 IoT 機器をセットした加圧装置をターンテーブルで回転させ、ターンテーブルの各角度の信号強度を測定した。図 6 は電波暗室内の測定時の様子である。

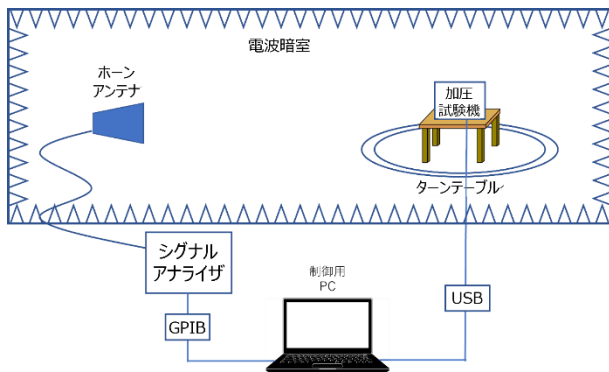


図5 放射パターンの測定系

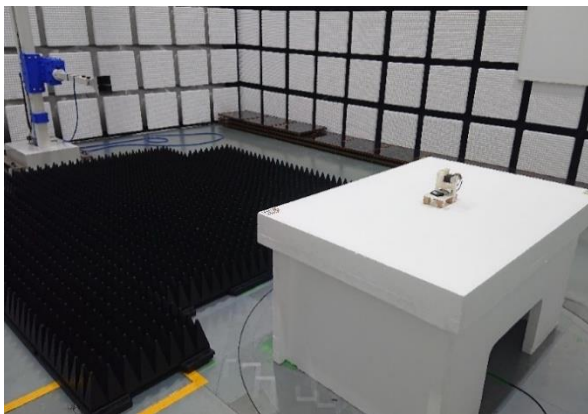


図6 電波暗室内での測定の様子

### 2. 2. 3. 放射パターンに対する加圧装置の影響

加圧装置の放射パターンへの影響を調べるために、図7に示すように前節の測定方法から  $20^\circ$  ずらした状態で本IoT機器を設置し放射パターンを測定した。加圧装置の影響があれば、放射パターンの測定結果に変化が現れると考えられる。

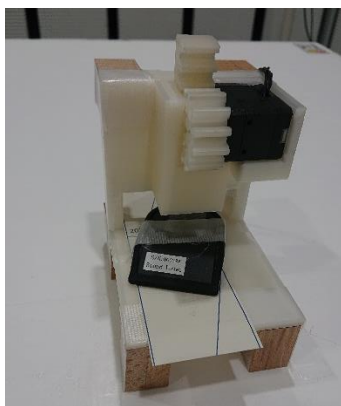


図7 加圧装置に対して  $20^\circ$  ずらして配置した時の様子

### 2. 2. 4. 個体比較

本IoT機器の個体差の有無を調べるため、5つの個体に対し、仰角方向の放射パターン測定を行い、比較を行った。放射パターンは水平偏波と垂直偏波の2種

類の測定を行った。実際の使用環境では、仰角方向の放射パターンが重要となるため、仰角方向のみで比較した。

## 3. 結果と考察

### 3. 1. 放射パターンの測定結果

#### 3. 1. 1. 方位方向の放射パターン

図8に方位方向の放射パターンを示す。水平偏波（赤色）のグラフにおいて、 $130^\circ$ 、 $200^\circ$ 、 $350^\circ$  付近の放射強度が弱おり、 $90^\circ$ 、 $270^\circ$  方向に強度が強くなっている。一方、垂直偏波（青色）については逆に  $90^\circ$ 、 $270^\circ$  方向に強度が弱くなっている。

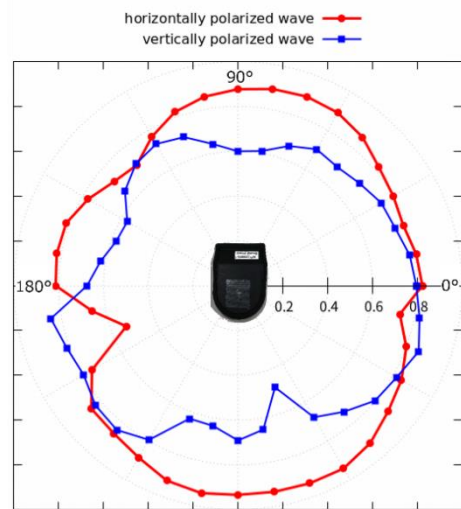


図8 方位方向の放射パターン

#### 3. 1. 2. 仰角方向の放射パターン

図9は仰角方向の放射パターンを測定した結果である。水平偏波（赤色）においては、 $0^\circ$  から  $50^\circ$  までの放射強度が弱くなっていた。しかし、反対側の  $130^\circ$  から  $180^\circ$  までの強度は弱くなっておらず、対称性はみられなかった。また、垂直偏波については  $0^\circ$ 、 $180^\circ$  方向の強度が強い一方で  $90^\circ$  方向は強度が弱い傾向となった。

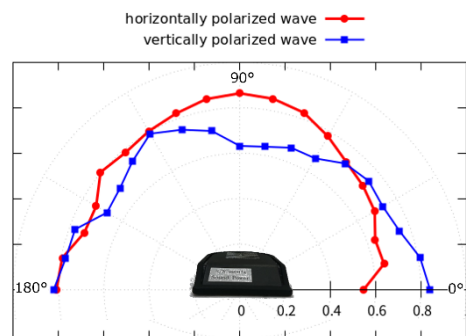


図9 仰角方向の放射パターン

### 3. 1. 3. 放射パターンに対する加圧装置の影響

図10は図7のように加圧装置に対して20°ずらした配置における水平偏波による放射パターンである。赤色が通常の配置で、青色が20°ずらして配置したときの結果である。120°から180°にかけて放射強度が一度弱くなってから強くなることや200°付近の弱くなる部分など特徴が一致している。加圧装置との位置関係が変化しても放射パターンの特徴一致していることから、この結果は本IoT機器本来の特性を示しており、加圧装置の影響は小さいと考えられる。

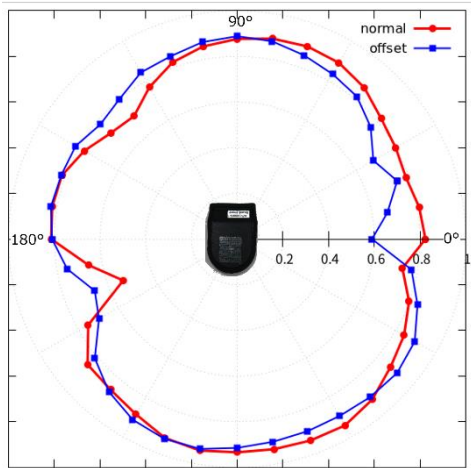


図10 加圧装置に対して20°ずらして配置した時の水平偏波の放射パターン

図11は図10と同様に垂直偏波に対して測定した放射パターンである。こちらは水平偏波のときと異なり、あまり特徴が一致しなかった。むしろ通常配置のグラフ(赤色)の120°や190°付近の強度の強まりは、オフセットしたグラフ(青色)ではちょうど20°ずれて現れているように見え、加圧装置の影響が大きい可能性がある。そこで青色のグラフのみを20°元に戻してプロットし直したものを図12に示す。つまり加圧装置のアンテナに対する角度でプロットしたグラフである。250°から300°付近にかけての違いはあるが、120°や190°あたりの強度の強まりはよく一致している。このことから、垂直偏波については、加圧装置からの影響により、放射パターンの一部特徴的な部分が形成されている可能性が考えられる。したがって垂直偏波の放射パターンについては本IoT機器本来の特性ではない可能性があることに注意が必要である。

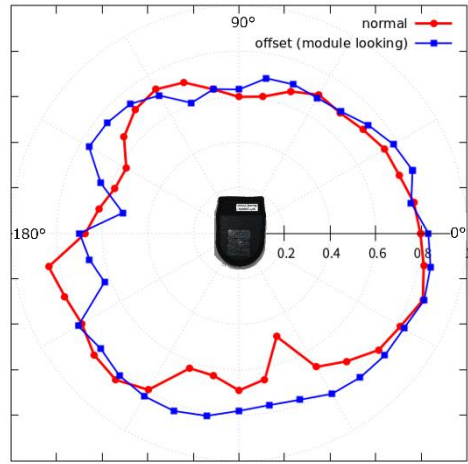


図11 加圧装置に対して20°ずらして配置した時の垂直偏波の放射パターン

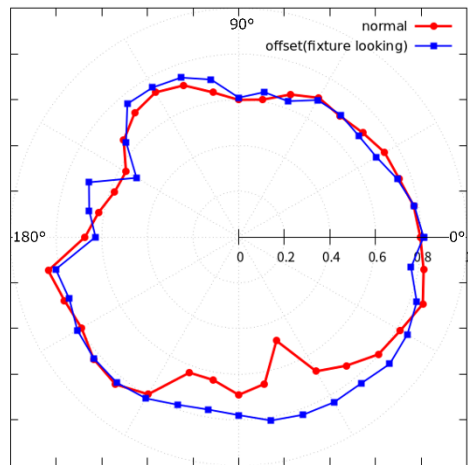


図12 加圧装置の角度に対してプロットした時の垂直偏波の放射パターン

### 3. 1. 4. 放射パターン個体比較

本IoT機器の5つの個体に対し、仰角方向の放射パターンについて、水平偏波と垂直偏波の測定結果を図13、図14に示す。前節で測定した個体はNo.0である。水平偏波については、全体の傾向はおおよそ一致し、各角度における放射強度の個体差は大きくても0.1程度である。0.1を実際の信号強度の測定値にすると6[dBm]である。垂直偏波についても、全体の傾向はおおよそ一致しているが、各角度における個体差は水平偏波時と比べると大きく、150°など放射強度が0.2弱程度異なる角度が見られた。0.2を実際の測定値にすると12[dBm]である。前節において、垂直偏波測定時には加圧装置が放射パターンに影響を与えている可能性が考えられると述べたが、その影響があるために各個体の測定時に加圧装置と本IoT機器の位置関係がわずかに異なり、図14におけるばらつきの原因になっているのではないかと考えられる。

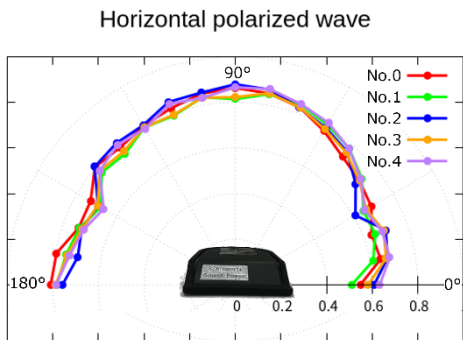


図 1 3 仰角方向の放射パターン（水平偏波）の個体比較

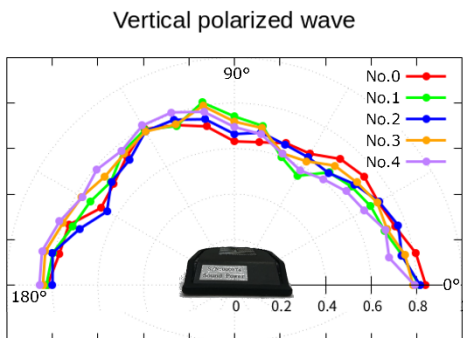


図 1 4 仰角方向の放射パターン（垂直偏波）の個体比較

#### 4. 結言

本開発支援では、本 IoT 機器を一定間隔で押下する加圧装置を作製し、PC 制御により加圧装置とシグナルアナライザを連動させ、発信信号の放射パターンを可視化した。その結果、本 IoT 機器の方位方向と仰角方向の放射パターンが得られ、角度によって信号強度が強い部分と弱い部分があることがわかった。

また、垂直偏波においては、加圧装置と本 IoT 機器の位置関係を変えて測定した放射パターンが一致しないことから、放射パターンの特性に加圧装置が影響を与えている可能性が考えられる。

最後に、本 IoT 機器の複数の個体の放射パターン測定による個体差の検証については、全体の傾向は水平偏波、垂直偏波それぞれにおいて、おおよそ一致した。このことから、個体によって放射パターンが大きく変化することはないものと考えられ、また、角度によって極端に発信強度が弱くなる点は見られなかったため、ある角度でのみ受信が困難になるといったことはないものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 馬場 哲晃, 島影 圭佑, 本多 達也, 田中 浩也. “あなたのためのデザイン：デジタルファブリーケー

ションが可能にする身近な人の為の福祉機器プロダクト”. 情報処理学会研究報告アクセシビリティ (AAC) . 2017-AAC-4, 12, pp.1-4, 2017.8.

#### 注釈

注 1) 振力電池®は、株式会社グローバルエナジーハーベスト（旧社名：株式会社音力発電）が所有する特許にもとづいて製造され、商品名も同社により商標登録されている。本開発支援にあたっては、同社より製品に関する情報提供など協力を得ている。