

## (13) バッテリーレス UHF 帯無線傾斜/震動センサタグ

小林 有理<sup>1</sup>・馮 東方<sup>1</sup>・武田 茂樹<sup>2</sup>・鹿子嶋 憲一<sup>3</sup>・梅比良 正弘<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 非会員 茨城大学大学院理工学研究科博士前期課程 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

<sup>2</sup> 正会員 茨城大学教授 工学部メディア通信工学科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: shigeki.takeda.tmkyou@vc.ibaraki.ac.jp

<sup>3</sup> 非会員 茨城大学名誉教授 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: kenichi.kagosima.em21@vc.ibaraki.ac.jp

<sup>4</sup> 非会員 茨城大学教授 工学部メディア通信工学科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: masahiro.umehira.dr@vc.ibaraki.ac.jp

近年, IoT (物のインターネット) と呼ばれる概念が提唱され, インフラ保守においても利用されることが期待できる. 本論文では, UHF 帯パッシブ RFID とセンシング技術を組み合わせることで, バッテリーレスの無線センシングを可能とする技術を提案する. ここでは, インフラ保全において重要と考えられる傾斜/震動センサの実現を目的とする. 提案するバッテリーレス UHF 帯無線傾斜/震動センサタグは, アンテナ特性を傾斜/震動センサにより変化させ, 一体で設置される基準タグの特性と比較することで, アンテナ特性変化に起因する RFID タグの特性変化を検出し, 傾斜や振動を検出するものである.

**Key Words:** UHF RFID, passive, battery-less, inclination and vibration sensor, wireless, IoT

### 1. まえがき

近年, IoT (Internet of Things, 物のインターネット) と呼ばれる概念が提唱され, インフラ保守においても利用されることが期待できる. インフラ保守における IoT は, センシングデータの収集が目的の一つとなる. さらに, 各センサとの通信は保守性や設置・敷設の容易性から, 無線化されていることが望ましい. さらに電池を用いる場合, 交換コストが問題となる. 従って, バッテリーレスでの運用が望まれる.

バッテリーレス化においては, 太陽電池の利用が考えられるが, 発電量が環境に大きく依存する問題があり, 2 次電池と組み合わせて利用する必要があると考えられる. しかし, 電池のコストや経年劣化の影響などが懸念される.

従って, 本論文では, UHF(Ultra High Frequency)帯パッシブ RFID (Radio Frequency Identification)とセンシング技術を組み合わせることで, バッテリーレスの無線センシングを可能とする技術を提案する. ここでは, インフラ保守において重要と考えられる傾斜/震動センサの実現を目的とする. これまでに, 温度や湿度センサを UHF 帯パッシブ RFID に組み込む試みは行われている<sup>1-3)</sup>が,

傾斜や振動センサを UHF 帯パッシブ RFID と組み合わせる試みは行われていない. 提案するバッテリーレス UHF 帯無線傾斜/震動センサタグは, アンテナ特性を傾斜/震動センサにより変化させ, 一体で設置される基準タグの特性と比較することで, アンテナ特性変化に起因する RFID タグの特性変化を検出し, 傾斜や振動を検出するものである.

### 2. バッテリーレス

#### UHF 帯無線傾斜/震動センサタグ

図-1 に振動センサの応用例を示す. 建物や橋等に設置されたセンサの状況を自動車等に搭載したリーダで読み取る. 将来的には, ドローン, ロボット, 及び自動運転車にリーダを搭載して, センシングデータを収集することも考えられる<sup>4)</sup>. 図-2 に UHF 帯 RFID と傾斜/振動センサを組み合わせたバッテリーレス UHF 帯無線傾斜/震動センサタグを示す. また図-3 に動作原理を示す.

図-4 に傾斜/震動センサ (振動 (傾斜) スイッチ RBS040200) を示す. また図-5 に傾斜/震動センサの動作原理を示す. 内部の金属製のボールが A-B 間や a-b 間を

短絡することで、傾きを検出できる。また、振動付加時は、ボールがこの振動に対応して動くため、振動に対応して、端子間の短絡と開放を繰り返す。

図-2 及び図-3 のように、この傾斜/震動センサを IC (Integrated Circuit) の両側に配置する。図-3 の動作原理に示すように、スイッチにより、アンテナと IC との接続が切り替えられる。IC がアンテナから切り離されている場合は、極めてアンテナ特性が劣化した RFID タグとなっている。これにより、IC タグとして読み取れる場合と読み取れない場合が発生する。基準タグは、センサタグと直交するように配置することで、電磁結合を抑圧している。基準タグとセンサタグの特性を比較することで、センサタグの状態を認識できる。

アンテナ特性の変化をセンシングに利用するため、センサ側は完全にバッテリーレスで動作可能である。従って電池交換等のメンテナンスが不要である。

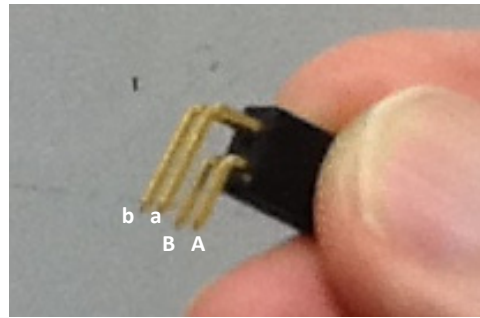


図-4 傾斜/震動センサ

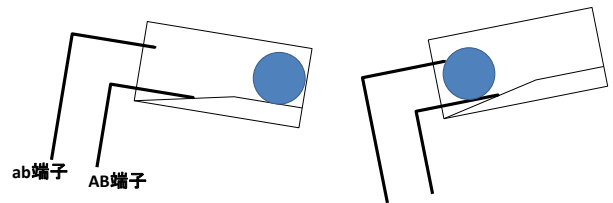


図-5 傾斜/震動センサの動作原理

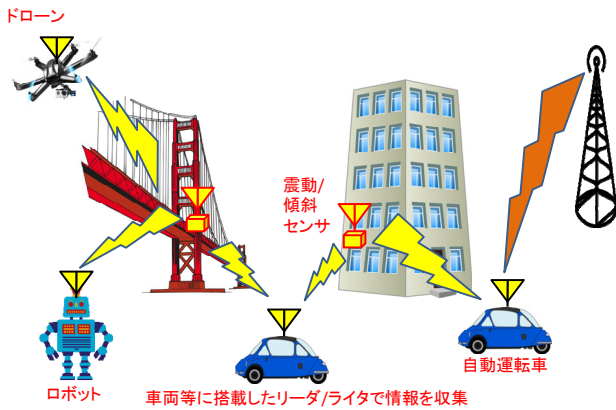


図-1 バッテリーレス UHF 帯無線傾斜/震動センサタグの利用イメージ

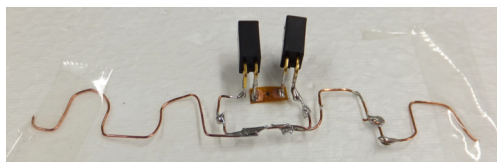


図-2 試作したセンサ

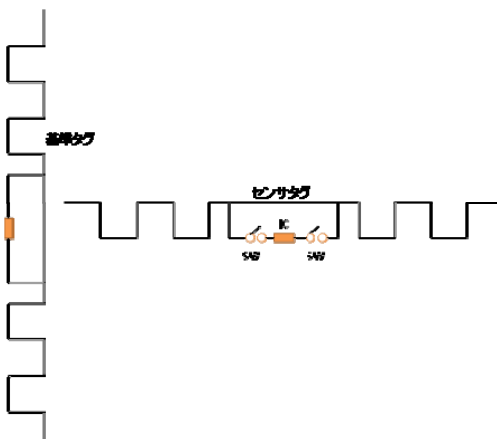


図-3 バッテリーレス UHF 帯無線傾斜/震動センサタグの動作原理

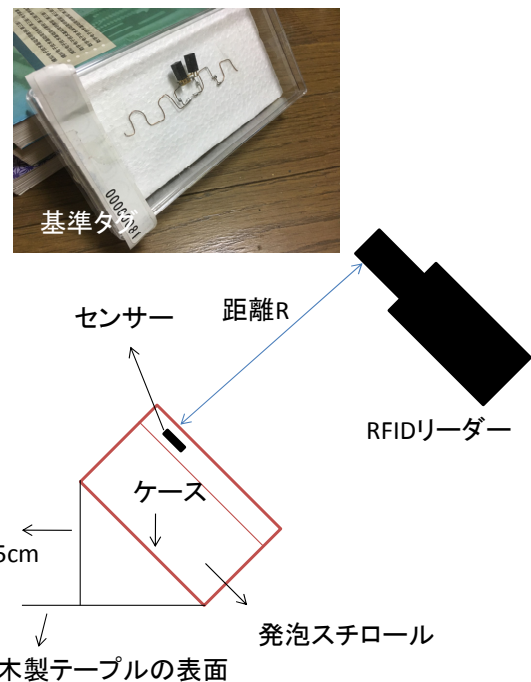


図-6 傾斜センシング (SW ON)

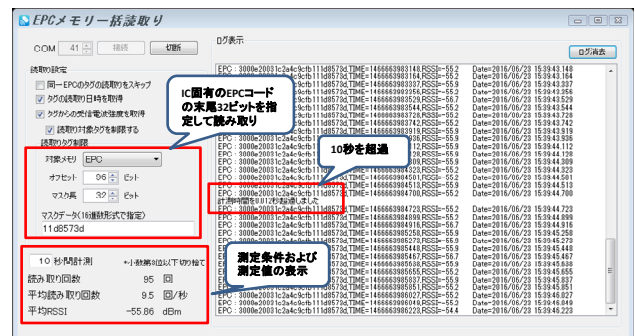


図-7 リーダ用認識回数及びRSSI測定アプリケーション

### 3. 測定アプリケーションと測定結果

まず、傾斜特性について評価する。図-6 に傾斜センサの評価環境を示す。SW が OFF の状態は逆に傾いた状態である。センサタグとリーダとの間の距離を変化させながら、スイッチがオンの場合とオフの場合の認識回数や RSSI を測定した。

図-7 に測定アプリケーションを示す。リーダに付随する SDK (Software Development Kit) を用いて開発し、単位時間当たりの認識回数と平均の RSSI を出力できるようになっている。測定時間は任意に設定できる。ここでは、10 秒としている。リーダのトリガを 10 秒間引き続けることで、自動的に 10 秒間の特性が取得できる。設定時間を過ぎた時点で、ログ表示画面にコメントが出力されるため、このコメントによりユーザはトリガに戻す。

図-8 は、横軸をセンサタグ-リーダ間距離、縦軸を認識回数/秒及び平均 RSSI とした評価結果である。リーダには東北システムズ・サポートの DOTR-910J (250mW)<sup>9)</sup>を用いた。IC は、Alien の Higgs4 Strap<sup>9)</sup>である。

距離が 20cm よりも長い場合は、傾斜センサが導通状態において、基準タグと同程度の認識回数を得られている。一方、非導通状態においては、認識回数がゼロとなっている。このことから、傾斜が検出可能であることが確認できる。一方、距離が 20cm よりも短い場合、センサタグと基準タグがともに同程度の認識回数を示し、傾斜センサの導通及び非導通状態を認識できていない。しかし、RSSI を確認すると、傾斜センサが導通状態では、基準タグに対して 10dB 程度の低下であるのに対し、傾斜センサが非導通状態においては、基準タグよりも 20dB 程度低い値となっている。従って、距離が短い場合に、基準タグとセンサタグの両方が認識され、傾斜が検出できない問題に対しては、RSSI を併用することで、判別可能であると考えられる。

また、今回試作したものの最大の認識距離は 100cm 程度であるが、アンテナ特性の改善により、180cm 程度 (基準タグの読み取り距離) まで増加させることが可能と考えられる。さらに、反射板の利用により、2.5 倍程度まで読み取り距離を増加させることが可能である<sup>7)</sup>。従って反射板の配置のように簡易の改良により、180cm × 2.5=450cm 程度まで読み取り距離は改善可能であると見積れる。

次に、図-9 に振動検出の特性評価環境を示す。ここでは、指で傾斜/震動センサをたたく強度を変化させて、認識回数/秒を測定した。図-10 は、5 回の試行における、各強度に対応した認識回数/秒である。概ね、強度が識別可能であることが確認できる。さらに、図-11 は、図-10 を元に、基準タグの認識回数/秒と、各強度におけるそれとの差分の平均値を算出したものである。このよう

に、おおむね、震動強度に比例した特性が得られており、振動強度が検出可能であることが確認できる。

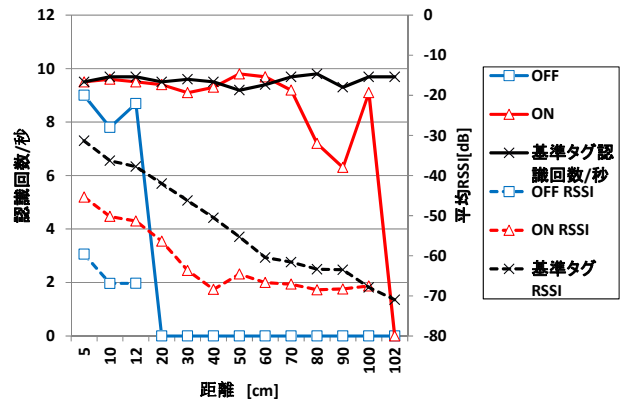


図-8 傾斜センシング特性評価結果

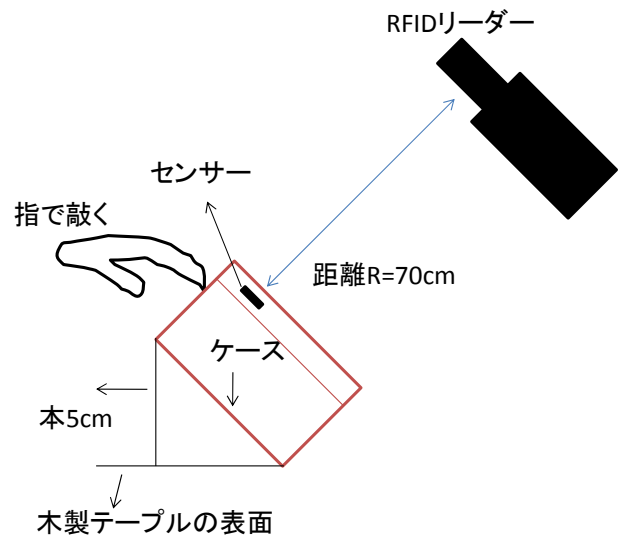


図-9 震動センシング環境

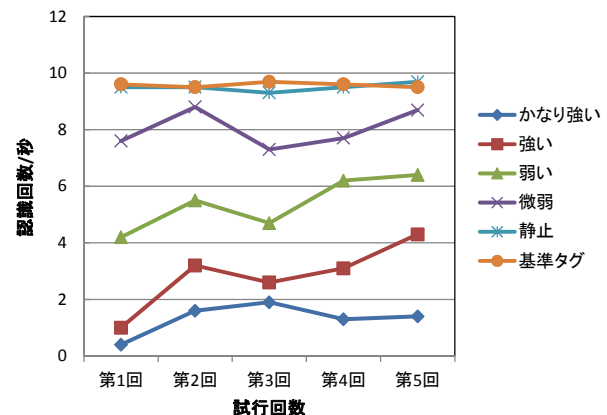


図-10 各試行毎の認識回数/秒

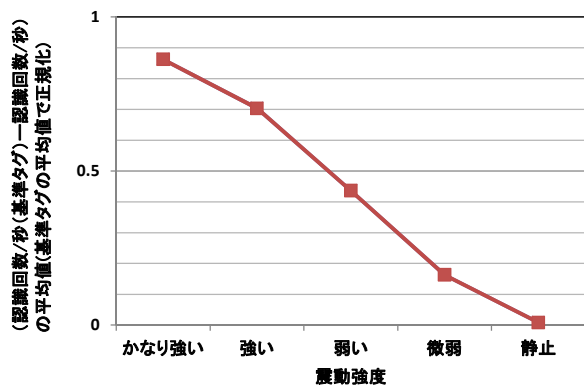


図-11 認識回数/秒の基準タグとの差分の平均値(基準タグの平均値で正規化)

#### 4. むすび

本論文では、UHF帯パッシブRFIDと傾斜/震動センサを組み合わせたバッテリーレスUHF帯無線傾斜/震動センサタグを提案した。動作原理は、傾斜/震動センサにより、ICとアンテナ間の接続を切断することで、アンテナ特性を変化させ、その変化を一体として設置する基準タグと比較することで検出するものである。傾斜/震動センサの動作原理は、内部のボールが2つの端子間の導通と非導通状態を傾斜角度に対応して切り替えるものである。250mWのリーダを用いて評価した結果、リーダ-センサ間距離が20cm以上においては、認識回数により、傾斜が検出可能であることを確認した。また、

20cm未満においては、RSSIを用いることで、検出可能であることを確認した。さらに、指でセンサタグをたたくことによって発生する振動に関しても、基準タグとの比較により、振動の強弱を検出できることを確認した。

#### 参考文献

- 1) ams : SL900A EPC Class 3 Sensory Tag Chip – For Automatic Data Logging, 2014.
- 2) Occhiuzzi, C. Caizzone, S. and Marrocco, G. : Passive UHF RFID Antennas for Sensing Applications: Principles, Methods, and Classifications, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 55, No. 6, pp.14-34, 2013.
- 3) Manzari, S. Musa, T. Randazzo, M. Rinaldi, Z. Meda, A. and Marrocco, G.: A Passive Temperature Radio-Sensor for Concrete Maturation Monitoring, *IEEE RFID-TA*, pp.121-126, 2014.
- 4) Wang, J. Schluntz, E. Otis, B. and Deyle, T.: A New Vision for Smart Objects and the Internet of Things: Mobile Robots and Long-Range UHF RFID Sensor Tags, <<https://arxiv.org/abs/1507.02373>>, (入手 2016.6.22).
- 5) 東北システムズ・サポート : DOTR-900J シリーズの魅力, <[https://www.tss21.co.jp/product/mobile/rfid/concept.html#t\\_1w250mw](https://www.tss21.co.jp/product/mobile/rfid/concept.html#t_1w250mw)>, (入手 2015.6.7).
- 6) Alien : Higgs 4 Strap Datasheet Addendum, <<http://www.alientechnology.com/wp-content/uploads/ALC-370-FS-CU%20Higgs4%20Strap%202014-12-21.pdf>>, (入手 2015.6.7).
- 7) 宮坂隆平, 武田茂樹, 鹿子嶋憲一, 梅比良正弘 : UHF帯RFIDによる災害電子掲示板に関する検討, 土木学会論文集 F3(土木情報学), vol.71, no.2, pp.1\_9-I\_17, 2016.