

パッシブ型 RFID カセンサモジュールの開発

鈴木 伸吾 (東京大学) 池本 有助 (東京大学) 浅間 一 (東京大学)

Development of Force Sensor Module with Passive RFID Tag

*Shingo SUZUKI, Yusuke IKEMOTO and Hajime ASAMA, The University of Tokyo

Abstract: In this paper, we develop novel force sensor module for structural health monitoring. This force sensor module is composed of two passive RFID tags and a force sensor. Power supply to the module is achieved by an electromagnetic induction system therefore this module does not need battery. Moreover, using two tags realize both steady power supply and wireless communication. This force sensor module enables to measure it the static load that hangs in the buildings without contact. In section 2, we explain our RFID device and the circuit of the module to enable the stability drive only by the minute electric power supplied from passive tag. In section 3, we explain the force sensor module of experimental prototype and we confirm the sensor response with basic experiment.

Keywords: Structural health monitoring, Passive RFID, Force sensor

1. はじめに

近年, RFID を建造物の維持管理への利用に関する研究開発が盛んに行われている。矢吹らは, RFID タグを部材に取り付け, 建造物の施工過程や点検・補修履歴の管理に RFID の利用を試みている^[1]。また YRP ユビキタス・ネットワーク研究所及び住友大阪セメント株式会社は, 強アルカリ環境下のコンクリート内においても利用可能な RFID タグデバイスを開発し, RFID タグの設置利用範囲を広げており, さらには, ビルやマンションの利用者が建設年月日, 耐震強度などといった建築物の情報を知ることができる「建築物トレーサビリティシステム」の実現を目指している^[2]。これら以外にも多くの研究開発が行われており, RFID の建造物の維持管理への利用方法や範囲は徐々に広がってきている。2007 年, 国土交通省が「国土交通イノベーション推進大綱」の中間報告の中で, RFID を積極的に建造物の維持管理に利用する方向性を示しており^[3], 今後建造物の維持管理に RFID タグを活用する流れはますます加速するものと予想される。

建造物の維持管理において重要となるのは, 点検・補修の履歴を管理することももちろんであるが, 加えて構造部材の長期間使用による劣化や損傷などに対して, その正しい補修の時期を知ることや, 建造物の異常な部材のひずみなどの異変を検知することが重要となる。これらは建造物, 特に構造部材の力学的なモニタリングを行うことで可能となる。

しかしながら, ビルやマンションといった建造物に

は内装材として化粧板などを貼られているものが多く直接構造部材を触ることができない。よって力学的な計測が必要な場合は建設時に有線でのセンサを貼り付け後, 化粧板等を施工するが, これは配線の取り回し処理などに大きな手間がかかる。そこで我々は, 建造物の維持管理に今後大いに使われていくことが予想される RFID に着目した。建設時に点検・補修など履歴管理に RFID タグを貼り付けることを想定し, 貼り付けた RFID タグによって同時に構造部材のひずみや荷重を測定すること可能になれば, 設置コストを削減し, 化粧板等の遮蔽物を通しての内部の構造部材の力学的センシングが可能となる。より高度な建造物の維持管理が可能になると考えられる。

本研究では, 建造物の維持管理のための RFID デバイスを開発することを目的とし, 大量生産可能なパッシブ型 RFID タグを用いて電池レスで駆動するひずみゲージを用いたカセンサモジュールの試作を行う。パッシブ型 RFID タグを用いたセンシングデバイスには, 温度センサなどのものがいくつか開発されているが^{[4][5]}, それらは美省電力を消費する素子を用いている。ひずみゲージなどの安定してある程度の電力供給を必要とするセンサを駆動させ, かつ同時にセンシングデータを送信するということを 1 枚のタグのみで行うことは困難である。そこで我々は, 1 個のセンサモジュールの中でセンシングデータ通信のタグと電力供給用のタグを別々に駆動させることで, 大量生産可能なパッシブ型 RFID タグのみで安定した回路の駆動, および通信距離の維持を可能とする電池レスのひずみゲージカセンサモジュールを開発した。

2. パッシブ型 RFID カセンサモジュール

2.1 RFID タグ及びリーダライタ

本研究で使用する RFID タグを Fig. 1 に示す。本タグは、通信周波数が 13.56MHz 帯のもので、アンテナからの電磁誘導供給方式によって電池レスで動作するパッシブタグ（吉川アールエフシステム，H 56[mm]，W 84[mm]）である。



Fig. 1 Passive RFID tag with ADC function

タグには一般的なメモリの読み書き機能の他に、タグ側の得た電力を外部に供給する端子を有しており、チップ内で整流、平滑された 2.2V 直流電圧を外部に供給することができる。本タグの大きな特徴として、タグ内部に 8 ビットの ADC 機能を有しているため可変抵抗素子を GND ADC 入力端子間に接続し、2.2V ADC 入力端子間に接続した固定抵抗と分圧することで可変抵抗素子の抵抗変化を RFID 通信で読み取ることができる。すなわち、可変抵抗素子にサーミスタなどのセンサを使用することで簡易なセンシングを行える仕様となっている。

本稿で使用するリーダライタは市販されている RX5300（吉川アールエフシステム）を用いる。アンテナは H 37[mm]，W 67[mm] の 4 回巻きのものを使用しており、最大 4.4mW の電力をタグに供給でき、電力供給端子が無負荷の状態ですべて約 100mm 程度の通信が可能である。

2.2 カセンサ

力学センサとして、一般に建造物のひずみや荷重を測定する際に広く利用されているひずみゲージ（共立電子，KFG5-350-C1-11-L1M2R）を用いる。

ひずみゲージは、貼り付ける部材と連動して変形し、その変形に応じて抵抗変化を生じるが、通常この抵抗変化を正確に測定するためにはブリッジ回路を構成して抵抗の変化を電圧に置き換え、さらにその差圧を計装用のアンプ回路で増幅してメータやデジタル値での計測が可能になる。本センサモジュールにひずみゲ

ージを用いるためには、これらの回路をタグからの誘導起電力で安定して駆動させる必要がある。

2.3 パッシブ RFID タグとモジュール回路

ひずみゲージを駆動するには、誘導起電力による微小な電力によってブリッジ回路、および増幅回路を安定して駆動させる必要がある。しかしながら ADC やタグリーダライタ間の通信にも一定以上の電力を必要とし、さらにはタグリーダライタ間の距離に応じてタグに供給される電力量は減少するため、ブリッジ回路、および増幅回路に安定した電圧を印加して駆動させつつ、ADC やタグリーダライタ間通信を安定に行うことは電力供給の面から非常に困難である。そのため、このようにある程度の電力を必要とするセンサを利用するためには安定した電力を供給するための何らかの方策が必要となる。

そこで本モジュールでは、2 枚のタグを別々のリーダライタによって駆動させ、片方のタグをブリッジ回路、および増幅回路への電力を供給するためのタグ、もう一方のタグを前述のタグから得られた電力値を ADC して、センシングデータをリーダライタへ送信するデータ取得用のタグとすることで、安定したセンサモジュールの動作を可能としている。

本センサモジュールの回路を Fig. 2 に示す。ブリッジ回路、および計装用のアンプ回路は、Fig. 2 右側の 1 枚の同じ電力供給用タグからの電力供給によって駆動している。計装用のアンプには、消費電力の少ない新日本無線社の NUJ7016D オペアンプを利用した。

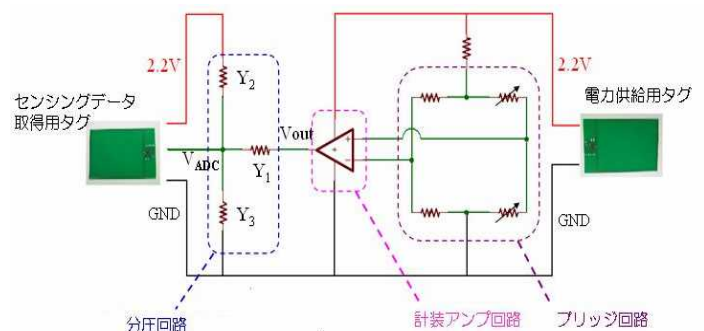


Fig. 2 The circuit of the sensor module

一方、Fig. 2 左側のタグは、センシングデータ取得用のタグであり分圧回路を駆動させている。本タグは、2.2V ADC 間の固定抵抗がチップ内で最初から接続されている仕様のため、計装用のアンプから出力された電圧は、分圧して ADC 入力端子に入力する必要がある。

タグの ADC 端子に入力される分圧された電圧 V_{ADC} は、計装用のアンプから出力された電圧を V_{out} とし、

V_{out} V_{ADC} 間, $2.2V$ V_{ADC} 間, V_{ADC} GND 間のそれぞれのコンダクタンスを Y_1, Y_2, Y_3 とすると,

$$V_{ADC} = \frac{1}{Y_1 + Y_2 + Y_3} (Y_1 * V_{out} + Y_2 * 2.2)$$

となり, Y_1, Y_2 と設定すれば, V_{out} の出力をほぼフルスイングで ADC 入力端子に入力することができる.

3. 実験

3.1 カセンサモジュールの試作

試作したセンサモジュールを Fig. 3 に示す. タグ 2 枚とひずみゲージ用ブリッジ回路, 増幅回路, およびタグ ADC 入力用の分圧回路部からなる. それらをアクリルの容器内に配置し, 納めて一体にした.

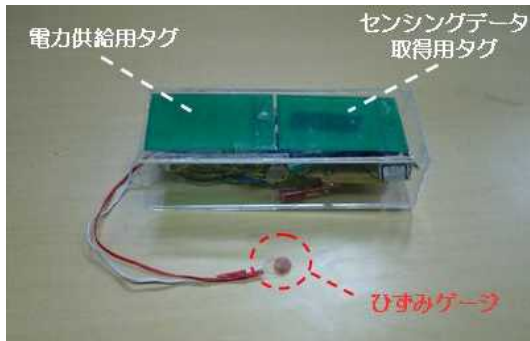


Fig. 3 Force sensor module with passive RFID tag

2 枚のタグは, 写真左側のタグが電力供給用のタグ, 写真右側のタグがセンシングデータ取得用のタグであり, タグ同士が干渉しないよう, 2 枚のタグは重ならないように配置している.

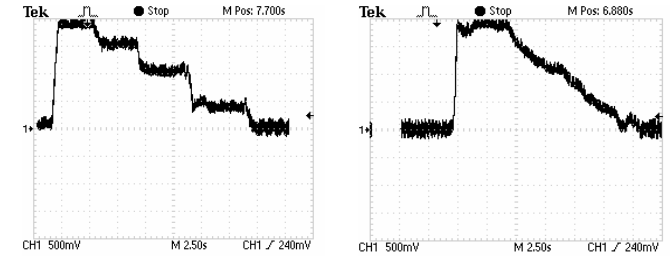
現状では, センシングデータの通信は, センシングデータ取得用のタグからアクリル容器を通して 30mm 程度の通信が可能である.

また, 電力供給用のタグは, 本モジュールでは RFID タグとしての機能をほとんど利用しておらず, 誘導起電力による電力供給のみを担っている. そのため電力供給用のタグは, あえて RFID タグである必要はなく, アンテナと整流, 平滑回路のみを有した電力供給ユニットでも十分であることを確認した.

3.2 応答性の評価

試作したセンサモジュールの動作確認を行うため, 今回は ADC 入力端子への入力電圧, V_{ADC} の応答をオシロスコープで観察し, センサモジュールの応答性を確認した. Fig. 4 に本センサモジュールを駆動させた際

にひずみゲージの変形に対してオシロスコープで観測された V_{ADC} の電圧応答の変化を示す. ひずみゲージを一度, 出力が飽和するまで変形させ, 徐々に変形を戻していった際の V_{ADC} の電圧値を観測している. (a) は段階的に変形を戻した際のもので, (b) は連続的に変形を



戻した際の V_{ADC} を観測した波形である.

(a) (b)

Fig. 4 Response voltage V_{ADC} against load changes

4. おわりに

本稿では大量に生産可能な ADC 機能を有したパッシブ型 RFID タグを用いて, 電力供給用タグとセンシングデータ通信用タグとを別々に駆動させて利用することで, タグからの微小電力のみで安定した回路の駆動, および通信距離の維持を可能とする電池レスひずみゲージカセンサモジュールを開発した.

今後は, 実際の建造物に近い環境を構築し, その中で試作したセンサモジュールを利用した実験によってその有用性を確認したい. またセンサモジュールも回路の小型化やモジュール内の 2 個のタグの配置位置を検討し, モジュール全体の小型化も今後検討する.

参考文献

- [1] 矢吹信喜: “建設分野への RFID(電子タグ)とプロダクトモデルの適用”, (財)日本建設情報総合センター研究助成事業, 2003.
- [2] YRP ユビキタス・ネットワークング研究所, 住友大阪セメント株式会社: <http://www.ubin.jp/press/pdf/UNL061204-04.pdf>, 2006
- [3] 国土交通省: http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/01/010223_.html, 2007.
- [4] Opasjumruskit, K, Thanthipwan, T, Sathusen, O, Sirinamarattana, P, Gadmanee, P, Pootarapan, E, Wongkomet, N, Thanachayanont, A, Thamsirianunt, M, “Self-Powered Wireless Temperature Sensors Exploit RFID Technology” IEEE/JNL Vol. 5, Issue 1, pp. 54 – 61, 2006.
- [5] Philipose, M, Smith, J.R, Jiang, B, Mamishev, A, Sumit Roy, Sundara-Rajan, K, “Battery-free wireless identification and sensing” IEEE/JNL Vol. 4, Issue 1, pp. 37 – 45, 2005.