

RF タグの放射線環境下での保全への適用

Application to the conservation of RF tags in the radiation environment

テララコード研究所	寺浦信之	Nobuyuki TERAURA	Member
日本エヌユーエス	伊藤邦雄	Kunio ITO	Member
原子力機構	高橋直樹	Naoki TAKAHASHI	Non Member
九州大学	櫻井幸一	Kouichi SAKURAI	Non Member

RF tags that are implemented RFID technology as tag has been used in various fields. Tags have been developed, such as resistance to chemicals and high temperature resistant RF tags are also used in specialized fields. The RF tag apply to the existing nuclear field, had been concerned about the effects of radiation to the RF tags. Now, since the RF tag with a goal to develop radiation-proof, we have examined, such as applying for maintenance of nuclear facilities under radiation environment. We report the results and RF tags to be radiation resistant.

Key words: RFID, RF-Tag, Data carrier, Maintenance, Error correction

1. 緒言

この報告では、放射線環境下にある特定施設の保全に RF タグを用いることについて論ずる。

従来の RF タグの原子力分野への応用は、通常の RF タグを用いて、放射線が存在しない環境もしくは非常に低い線量率の環境での応用であった。それに対して、ここでは、従来は使用が不可能とされた線量率環境での応用に関し議論する。

現在評価を進めている耐放射線 RF タグについて、考え方や評価結果について報告し、放射線環境下での応用について提案する。

2. RF タグ

RF タグには、様々な仕様の物が存在し、それを分類するパラメータが用いられている。例えば、後で説明する周波数やメモリータイプなどである。この中で、保全システムとして重要であるのは、稼働電力の有無であり、電波送出の電力源である。

2.1 パッシブ型 RF タグ

パッシブ型 RF タグは、内部に動作用及び通信用の電池を内蔵せず、これらに用いる電力の供給は読書き装置 (RW) から受ける。これの構造は、電子回路部である半導体である IC チップとアンテナから構成される。また、IC チップは RW から供給される電波を電力に変換する電力

連絡先: 寺浦信之、〒477-0032 愛知県東海市加木屋町郷中 53-26、(株)テララコード研究所、E-mail: TerraNob@terara.jp : 九州大学社会人博士課程在学

変換部と通信制御部及びメモリー一部から構成される。放射線からの保護対象はこのメモリー一部である。

パッシブ型 RF タグとバーコードや二次元コードなどの光学的情報媒体と比較すると、Table 1 に示すように、放射線環境下の保全での優位性がある。特に、情報媒体に遠隔からアクセスすることによる作業者の被ばく低減のメリットは大きいと考えられる。

Table1 Comparison of RF tag and barcode tag

比較項目	RFタグ	バーコードタグ
読取り距離	5m	30cm
耐環境性	有	概ね無
汚れの影響	無	有
作業容易性	容易	狙い読み必要
追加書込み	可能	不可

これらのパッシブ RF 型タグには、周波数によって長波、短波、UHF 帯、マイクロ波帯が用いられており、Table 2 に示すように、ISO/IEC によって国際標準が既に策定されている。

Table 2 International standard for RF tags

	長波	短波	UHF帯	マイクロ波
周波数	135KHz以下	13.56MHz	950MHz	2.45GHz
通信距離	10cm	70cm	5m	1m
ISO/IEC番号	18000-2	18000-3	18000-6	18000-4

2000年までは長波とマイクロが主体であったが、電波法の改訂によって高出力が可能となった短波や新たに周波数割当てがなされた UHF 帯 (極超短波) が現在の主流である。本報告のテーマである放射線環境下での保全とい

う観点からは、通信距離が5m程度まで可能となるUHF帯が、作業者の被ばく低減の実現につながるため、適当な周波数帯であると考えられる。

2.2 アクティブ型RFタグ

アクティブ型RFタグは、内部に動作用及び通信用の電池を内蔵しており、一つのコンピュータもしくは通信機として機能する。この構造は、処理部、通信部、メモリー部、センサー部、アンテナ部から構成される。ここで、メモリー部はデータを格納すると共に、プログラムも格納されており、この両者の保護が必要である。

このアクティブ型RFタグにも、周波数割当てがされており、日本では主に400MHz帯や900MHz帯が用いられている。これらは100m程度の通信距離を有すること、及び各種センサーを内蔵し、センサーから入力したデータをメモリー部に蓄積可能であることから、食品の配送管理や子供の見守りシステムなどに適用されている。

3. RFタグ機能の分析

3.1 機能の本質

パッシブタグの構造から、その機能の本質は、その内蔵するメモリーに書き込まれたデータを保持し、必要に応じて読み出すことにある。また、アクティブタグでは、さらに電源を有し常に動作し、また各種センサーを具備することで、当該センサーのデータを常に入力記憶し、適宜読み出したり送信することで、環境データの入力とそのデータの保持に本質があるといえる。

3.2 データキャリア

データキャリアという用語は、2001年のJIS用語改訂(JIS x0500 データキャリア用語)でRFタグだけでなく、バーコードや二次元コードを含む概念に拡張された。RFタグはデータをキャリアする情報媒体のひとつであるが、そのキャリアする領域は、次の二つがある。

- ① 空間的なデータキャリア
- ② 時間的なデータキャリア

これらは、主にパッシブ型タグを対象としている。

3.2.1 空間的なデータキャリア

空間的なデータキャリアとは、RFタグが貼付された物が、空間的に移動することにより、RFタグに記憶されたデータも併せて移動し、別の地点で読み込まれるような場合である。このようなデータキャリアの典型は、トレ

ーサビリティシステムである。RFタグが貼付された商品などが工場から出荷され、販売店に届くまでに、データが書き込まれ、その配送に関するデータをキャリアする。また、データが直接RFタグの内部に書き込まれる場合だけではなく、それを通信ネットワークで接続されたデータベースに記憶させる場合もある。

この他にも、Table 3に示すように、サプライチェーン管理や製造管理システムなどが実現され普及している。

Table 3 Case of spatial data Carry

番号	事例
1	ケーブル管理
2	配管、溶接管理
3	工具管理
4	作業履歴管理
5	作業員入退室管理
6	作業資格管理

Table 4 Case of time Data Carry

番号	事例
1	保全実績収集
2	保全作業管理
3	巡視・点検支援
4	ダム、橋梁監視
5	配管肉厚管理
6	CBM

3.2.2 時間的なデータキャリア

時間的なデータキャリアとは、RFタグが貼付された物が、空間的に移動せず、同じ場所に留まっている場合である。この場合には、ある時点で書き込まれたデータが、例えば1年後の時点で読み込まれるような場合である。このようなデータキャリアの典型は、設備管理システムであり、ある時点で当該RFタグを読み取り、その存在を確認するとともに、確認した年月日や作業員データなどを書き込み、例えば1年後に同じ操作をして、管理された状態にあることを確認する。

この他にもTable 4に示すように資産管理や図書館の蔵書管理のシステムなどが開発され普及している。

3.3 センサーネットワーク

アクティブRFタグでは、上記のパッシブタグの本質であるデータキャリア機能に加えて、センサーネットワークという本質を有する。

アクティブ型タグは、電池を有し、常に動作しているが、その動作の主体は内蔵されるMPUである。そして、多くは温度、湿度、加速度、音や放射線などのセンサーを有し、外界のデータを入力し、記憶する。そして、これらのデータをリアルタイムに処理しながら、基地局の指示や必要に応じて、基地局にデータを発信する。

アクティブタグの空間的なデータキャリアの側面では、食品トレーサビリティの例が典型である。食品を収容す

る容器の中に温度センサー付きのアクティブ型 RF タグを同梱し、食品の配送過程において、その温度の追跡を行なう。例えば、1分毎の温度を記録し、配送先においてそのデータを読み出し、予め定められた温度範囲を超えるデータが存在すれば、廃棄などの処置が取られる。

時間的なデータキャリアの側面では、建築物の監視システムが典型である。このシステムでは、多くの加速度センサーによって建築物を監視し、異常を検出すると警報を発する。

4. 通常の RF タグの原子力及び保全への応用

4.1 通常の RF タグの原子力分野での応用

原子力プラントの生産管理や建設、保全では施工記録や作業履歴といった情報のトレーサビリティが一層厳密に求められており、RFID を応用した技術開発が推進されてきている。

これまでに、Table 5 に示すようにケーブルや配管などの施設関連の管理や作業、また作業者の管理に応用する事例が報告されている。

Table 5 Application in the field of nuclear

番号	事例
1	ケーブル管理
2	配管、溶接管理
3	工具管理
4	作業履歴管理
5	作業員入退室管理
6	作業資格管理

Table 6 Application of Conservation

番号	事例
1	保全実績収集
2	保全作業管理
3	巡視・点検支援
4	ダム、橋梁監視
5	配管肉厚管理
6	CBM

4.2 通常の RF タグの保全への応用事例

Table 6 に示すように、保全に関する作業管理、実績管理や作業者の作業支援、大きな保全対象の監視などに用いられている。

5. 耐放射線 RF タグの可能性

5.1 通常の RF タグの耐放射線性の検討

放射線環境下では RF タグのニーズが高い。このため、RF タグへの放射線照射試験が行われてきている。これらの実験の目的は、影響が認められない最低放射線線量を明らかにすることにより、それらの放射線線量以下の現場に適用しようという意図でなされたものである。

これらの実験の多くは、5、6年前に実施されたもので、

対象とされた RF タグのチップは既に製造されていない製品が多いが、放射線の影響を明らかにしている。

5.2 耐放射線 RF タグの検討

上記の通常の RF タグをそのまま放射線環境で用いるのではなく、何らかの対策を講ずることにより、最低放射線線量を拡大し、必要とされる耐放射線性能を有する RF タグを開発するという考え方もあり得る。我々は、普通の RF タグが使用できない放射線線量の場所でも使用可能な RF タグを検討したので、その結果について述べる。

5.2.1 メモリー素子

現在用いられているメモリー素子の原理は、EEPROM と FRAM がある。FRAM は磁気的な原理でデータを記憶し、ガンマ線照射に強いという特性を有する。一方、破壊読出しを行うため、読み出し操作中に放射線が FRAM 制御部に影響すると誤ったデータが書き込まれる可能性が存在する。EEPROM は、電子の蓄積量でデータを記憶するもので、比較的放射線に弱く、データ化けの可能性はあるが、放射線照射中の読書きに大きな弱点はない。

そこで、FRAM は、放射線環境に設置されるが、読取りや書き込みは通常環境でなされるシステムに適している。しかし、ここで課題としているのは放射線環境下での保全であるので、EEPROM をメモリー素子として用いる場合を、議論の対象とする。

5.2.2 半導体の放射線の影響

半導体の放射線の影響で、着目するのは、ハードエラーとソフトエラーである。ハードエラーはメモリー部のみでなく、そのアクセス制御部についてもエラーが発生し、読書きができなくなるエラーである。それに対して、ソフトエラーは、読書きは可能であるが、記憶したデータが変化するエラーである。

5.2.3 耐放射線性の実現

耐放射線性の実現には、事前対応と事後対応が考えられる。事前対応とは、半導体メモリーが誤りを生じる前にする対応であり、遮蔽体を用いた放射線の遮蔽や、吸収体を用いた放射線の吸収が考えられる。しかし、これらの遮蔽体や吸収体での対応では、透過する放射線の量の低減は可能であるが、無くすることができない。

従って、透過する放射線によって、半導体メモリーに誤りが生じる可能性が残存する。

そこで、事後対応として、誤り訂正を行わせることで補完させる。予めデータに冗長度を与えておき、誤り検出及び誤り訂正を可能とするものである。

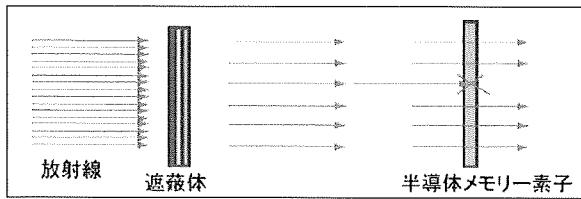


Fig. 1 Shielding and error correction

5.2.4 誤り訂正の考え方

EEPROMは、基本的に電荷をフローティングゲートに蓄積し、その電荷量によって‘0’と‘1’のデータを記憶する。

そして、ソフトウェアによってこの蓄積した電荷が放射線の衝突で減少することによって、検出されるデータ値が当初記憶させてデータ値と異なる結果となる。

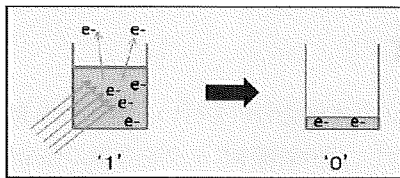


Fig. 2 Soft-error model

そこで、電荷が充分蓄積された状態を‘1’とすると、データの変化は、電荷が減少する方向、すなわち、‘1’が‘0’にしか起こらず、‘0’から‘1’への変化は発生しない。この変化の片方向性を活用するために、データ記憶手法として二線式符号を採用する。

二線式符号化を採用することで、誤りが発生したビットを簡単に検出することが可能になる。この二線式符号に、ハミング符号などの誤り訂正符号を付加することにより、誤り訂正を可能とする。

5.3 確認試験結果

現在市販されている Monza 4 の RF タグチップを用いて製作した耐放射線 RF タグについて、放射線の照射実験を行った結果について述べる。

5.3.1 高エネルギーガンマ線照射試験

UHF 帯 RF タグのインレットに対して、タングステン 95% 部材 (鉛相当) で 3 種類の厚さの遮蔽を行い、Co60 のガンマ線照射を Fig.3 のように実施した。その結果を Fig. 4 に示す。この照射試験によって、10 mm 遮蔽では、4,000 Gy の照射に耐えることを確認した。また、このときのエラーモードはハードエラーであり、誤り訂正はできなかった。

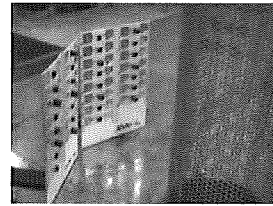


Fig. 3 Gamma irradiation experiment

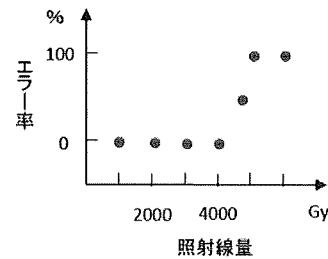


Fig. 4 Exposure and Error rate

5.3.2 低エネルギー放射線照射試験

上記と同じインレット及びそれへの遮蔽材装着体によって、放射性廃棄物等に装着して低エネルギーガンマ線及び低エネルギー中性子線の照射実験を実施中である。それぞれ 215 Gy、5.7 Gy 時点では、両実験において、誤りは発生していない。

なお、高橋が実施した実験では、短波帯のインレットに対して、同様の照射試験を実施しており、131 Gy で、ソフトエラーが発生している。UHF 帯の RF タグでもソフトエラーが発生し、誤り訂正によって、使用可能な放射線量の範囲を拡大し得ると考えている。

6. 耐放射線 RF タグの放射線環境での適用

6.1 パッシブ型のニーズ

ここで開発したタグは、放射線環境ではない一般の工場や原子力施設の非放射線環境で用いられていた RF タグの適用対象を放射線環境に拡張することが可能となると考えられる。

6.1.1 空間データキャリアー

放射線環境下のニーズとしては、放射線源そのものの管理と放射線環境下での物品) 管理がある。放射線源の管理としては、原子力発電所などから排出される低レベルの放射性廃棄物や原子力発電所などを解体した結果生ずる廃棄物の管理がある。また、工具の放射線環境下への放置の防止を目的とする工具管理も想定できる。

6.1.2 時間データキャリアー

(1) 設備管理

放射線環境下にある設備の管理として、配管などの施設管理や装置などの設備管理また作業者などの入退出管理などのニーズがある。

この他にも、医療用アイソトープ等の各種用途の放射線源の管理がある。

(2) 作業管理

作業対象に RF タグを貼付し、作業毎に RF タグを読み取って作業の確認、作業の記録を行わせることで、ケーブルの配線作業や溶接作業の管理を支援する。

原子力機構では保全対象の計測値を RF タグに記憶させておき、次の計測時に比較して、変化の有無を容易に判断させる検討がされている。

6.2 アクティブ型のニーズ

保全の対象となる設備と保全作業者の管理がアクティブ型 RF タグの管理対象となりえる。

6.2.1 設備管理 (状態監視保全)

現在、定期的実施する時間監視保全(TBM)ではなく、状態監視保全(CBM)を行うことで、設備が安定してその性能を発揮しているときに不要な保全を施すのではなく、必要な時に保全を実施する方策が求められている。

アクティブ型 RF タグは、設備の常時監視によって、異常の兆候を検出して、計画的に処置する CBM を放射線環境下で可能とする有効なツールの一つになり得る。

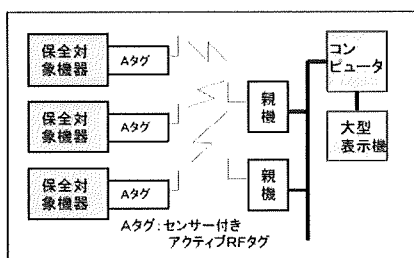


Fig. 5 System configuration

アクティブ型 RF タグは、通信距離が長く (数百メートル)、各種のセンサーを内蔵し、温度や振動、音、放射線量などを検出し、異常を検出して、データをサーバーに送信することで常時の状態監視を行うことが可能であり、設備の運転監視のニーズに応えられる。

また、アクティブ型 RF タグを用いることで、配線が不要となり、低コストでアクセスが難しい設備の管理などを行うことができる。監視にかかわる作業者の不要な被ばくの防止にもつながる。

6.2.3 作業管理

放射線環境下での作業管理は、通常的环境下よりも重要である。作業者の生命に関する事項でもあるからである。パッシブ型 RF タグの利用価値は作業者の被ばく低減にあると指摘したが、ここではその作業者の状態管理を行うシステムへの適用である。

温度 (体温)、脈拍などの身体状態データをセンサーで読み込み体調不調やその前兆を捉え、また加速度センサーなどで作業者が動いているか (倒れていないか) を監視し、多くの作業者を同時に見守る。

設備と同様に、個々人の作業者の状態をリアルタイムに見守り、異常検出すると直ちにアクションを起すことで、作業者に安心して作業をさせることができる。

7. 結言

RF タグの基本機能分析を行い、耐放射線 RF タグの可能性を検討し、耐放射線 RF タグを各種の保全に用いる提案を行った。

参考文献

- [1] 寺浦信之、RF タグ活用の現状と普及のための課題、電気学会、電気・情報・システム部門大会 pp.300-304(2005.09)
- [2] 寺浦信之、RF タグ入門、月刊食品包装(2006.1-2010.3)
- [3] 高橋 直樹、原子力施設への RFID 導入事例について～JAEA における取り組み～、平成 19 年度企業導入対策調査研究事業 IC タグ研究会
- [4] 押味 一之、原子力施設における RFID の適用性検討 (1) 日本原子力学会 2007 春の年会
- [5] 高橋直樹、原子力施設における防護服着用作業員のリアルタイム暑熱負荷モニタリングシステムの開発とその運用 第 34 回人間-生活環境系シンポジウム
- [6] 恩田公治、原子力プラントへの RFID 高度応用システムの開発、日立評論、Vol.90 No.02 156-157 (2008.2)
- [7] 川畑淳一、RFID 応用高度信頼性原子力プラント建設技術、日立評論、Vol.88 No.2
- [8] 清水俊一、運転中保全を支える技術～監視診断・保全高度化への取り組み～、保全学会、設備管理学会 第 2 回連携講演会 (2010.1)
- [9] 胡 アイソトープ・放射線研究発表会要旨集 (2007.6)
- [10] 河内 伸仁、RFID を活用した設備管理・保全システムの提案 (設備管理・保全の今日的課題の解決に向けて) 計装 54(4), 15-18, 2011-04 工業技術社