

九州大学寄附講座「資源循環IoTシステム講座」の紹介

本寄附講座は、サーキュラーエコノミーの推進や資源循環の高度化を背景に設置され、廃棄物処理と資源循環マネジメントの最適化を可能とするインフラDXの構築を目的とする。九州大学の工学研究院環境社会部門とシステム情報科学研究院情報エレクトロニクス部門の連携により、最終処分場管理、資源循環、センサー開発など幅広い研究課題を取り組んでいる。本報告では、その中からRFIDタグを用いたリチウムイオン電池検知技術の研究成果を紹介する。

講 座 名：資源循環IoTシステム講座
<https://env.doc.kyushu-u.ac.jp/mcis/>

設置期間：2022年4月～2026年3月

設置部局：九州大学工学部工学研究院 環境社会部門

スタッフ：名 誉 教 授 島岡隆行（一般財団法人九州環境管理協会 理事長）
 教 授 中山裕文（同講座兼任），金谷晴一（同講座兼任）
 助 教 杉崎康弘，Kumar Goodwill（2023年まで）
 受託研究員 楠原恒治（環境事業本部環境技術推進部）



■ 寄附講座設置の背景、目的

サーキュラーエコノミーの推進、資源循環の高度化、ローカルSDGsの達成は喫緊の課題である。廃棄物の排出・収集、中間処理、再資源化、最終処分に至る一連の廃棄物処理をトータルシステムとして捉え、各種情報を一元管理・活用することが、廃棄物処理マネジメントの高度化において不可欠である。さらに、再生資源を活用した製品の製造・輸送・販売などの動脈産業と廃棄物処理マネジメントの連携により、持続的な資源循環が成立する。本講座では、これらの最適化を可能とするインフラDXの構築を目的とする。

■ 寄附講座の特徴、研究内容

本講座は、廃棄物分野の研究を行う工学研究院環境社会部門と、IoT関連分野の研究を担うシステム情報科学研究院情報エレクトロニクス部門の連携により構成されている。講座開始時点は、具体的な研究テーマが設定されておらず、資源循環に資する将来のビジネスモデル創出につながるシーズを見出すために、幅広い領域から研究課題を抽出することから出発した。このため、異なる専門分野を有する研究室が相互に補完し、知見を結集して共同研究を推進することで、共通の目標を短期間で達成することが期待されている。

本講座では、2022年度の開講以来、学生とともに多様な研究テーマに取り組んできた。本年度の主な研究テーマは以下の通りである。

①最終処分場に関する研究

- 光ファイバセンサーを用いた埋立処分場のモニタリング管理

- 衛星リモートセンシングを活用した埋立処分場の管理
- 埋立処分場における地電流の回収

②資源循環に関する研究

- AI画像認識技術を用いた古紙分別
- ナッジ効果による古紙リサイクルの促進
- RFIDタグを用いたリチウムイオン電池の検知

③センサー開発に関する研究

- 無線電波からのエネルギー回収
- 小型RFIDタグの設計

本報告では、これらの研究テーマのうち「RFIDタグを用いたリチウムイオン電池の検知」に関する研究を取り上げ、基礎的な要素技術の検討から社会実装を見据えた実用性に関する検討まで、その概要を紹介する。

■ 当社が果たす役割

本寄附講座の特徴は、幅広い分野から研究テーマを選定し、シーズ開発を目的としている点にある。そのため、得られた研究成果が、当社の既存技術に直ちにフィードバックされるものではない。しかしながら、世界規模でビジネス環境が大きく変化している状況を踏まえると、本講座での研究成果を基盤として、社会貢献に資する新たなビジネスモデルへと発展させていくことが理想であると考える。

本講座の第1フェーズは本年度で終了を迎えるが、第2フェーズにおいては研究内容のさらなる高度化が求められる。当社としても、その成果を積極的に活用し、新規ビジネスモデルの構築に向けた取組みを推進することが、本講座の価値をさらに高めるものと考える。

RFIDタグを活用したリチウムイオン電池検知システムの構築と社会実装に向けた基礎研究



榎原 恒治	①
相原 愛里子	②
中山 裕文	③
末廣 和樹	④
金谷 晴一	⑤
島岡 隆行	⑥

要旨

近年、ごみ収集現場や廃棄物処理施設において、リチウムイオン電池（LIBs）を原因とする発火事故が急増している。現行の対策は、センサーを用いた発火後の初期消火技術に依存しており、廃棄物中に混在したLIBsを事前に検知・除去する技術は確立されていない。そこで本研究では、九州大学にて開発中のRFIDタグを用いてLIBsを検知する技術の確立を目的とした。提案手法では、LIBs製品に単方向指向性を有するRFIDタグを貼付し、リーダーライターによって検知を行う。実験により、単方向指向性タグの有効性を確認するとともに、一般環境下での検知が可能であることを示した。さらに、金属に囲まれた空間にタグを設置すると検知性能が向上することを明らかにした。加えて、将来の社会実装を想定し、ごみ収集段階（小型電子機器回収ボックス、パッカー車投入口）における検知性能を評価した。その結果、RFIDタグを貼付することで、LIBsの検知が可能になることを確認した。

キーワード

リチウムイオン電池、RFIDタグ、廃棄物、資源循環、サーキュラーエコノミー

1. 緒言

近年、ごみ収集車やリサイクル施設などにおいて、廃棄物中に混在したリチウムイオン電池（以下、LIBsと称する）を原因とする火災事故が多発している¹⁾。環境省の調査によれば、2023年度における廃棄物処理時のLIBs起因と疑われる火災事故は8,543件（職員や消防隊による消火）、さらに発煙・発火を含めると21,751件に達している²⁾。現状の対策としては、リサイクル施設の破碎設備や搬送設備にセンサーを設置し、火花や煙、温度上昇などの異常を検知して散水消火を行う初期消火が導入されている^{3),4)}。しかし、これらは発火後の事後対応にとどまり、事故を未然に防止する仕組みは確立されていない。

本研究では、この課題の解決を目的として、九州大学にて開発中のRFID（Radio Frequency Identification）タグをLIBs製品あるいはLIBsを内蔵する製品に貼付し、これら製品が廃棄物に混入した状態でタグからの電波を受信することで検知する技術の有効性を検証し

た。実験の結果、屋内外のWi-Fiをはじめとする多様な電波環境下においても、RFIDタグによる検知が可能であることを確認した。また、金属に囲まれた環境下では検知性能が向上する傾向が見られたため、この現象について電界分布シミュレーションにより検証した。さらに、社会実装を視野に入れ、小型電子機器回収ボックスやパッカー車投入口における検知性能を評価し、ごみ収集段階における本システムの適用可能性を明らかにした。

2. 実験方法

2.1 RFIDタグとは

RFIDとは自動認識技術の一種であり、専用のリーダーライター（以下、R/Wと称する）を用いて、RFIDタグに内蔵されたICチップに入力された情報を無線で読み書きするシステムである。同様なコードとして、バーコードやQRコードもあるが、これらとは以下のようないいがある。

- (1) バーコードやQRコードはスキャンする際に直接コードを読み取る必要があるが、RFIDタグは電波で読み取りをするためタグが隠れても読み取りが可能である。
- (2) 1回のスキャンで多くのタグデータを読み込みこ

① 環境事業本部 環境技術推進部

② 九州大学大学院工学府

③ 九州大学大学院工学研究院 教授

④ 九州大学大学院システム情報科学府

⑤ 九州大学大学院システム情報科学研究院 教授

⑥ 一般財団法人九州環境管理協会 理事長 九州大学名誉教授

とが可能である。

- (3) タグにICチップを内蔵しているため、データの読み書きや更新が可能である。

そのため、物流業界、小売り業界などでは商品管理に広く用いられており、我々の日常生活においても交通系ICカードや商品の値札などで使われている。

RFIDタグの通信原理を図1に示す。

- ①R/Wのアンテナから搬送波を送信する。
- ②RFIDタグのアンテナで搬送波から電力を得てICチップが駆動し、コード情報を信号化する。
- ③コード情報を反射波に載せて送信する。この反射波を再びR/Wが受信する。
- ④R/Wからモバイル端末にコード情報を転送し、モバイル端末でコード情報を処理する。



図1 RFIDタグの通信原理

2.2 実験方法

実験では2種類のRFIDタグとR/W（株式会社デンソーウェーブ製SP1QuB1）を使用した。タグは、1つは図2に示す九州大学金谷研究室⁵⁾で開発中の単方向指向性タグ（以下、Aタグと称する）と、もう1つは商品の値札など汎用的に使用されている無指向性タグ（以下、Bタグと称する）を用いた。今回使用したBタグは、商品パッケージなどに貼付されているタグ（70mm×15mm）である。Bタグは、タグの接着面が金属や液体であると、電波の打消しや吸収によって反射波が弱くなることからR/Wでの受信が困難となる。一方、Aタグは接着面方向には電波を発信しない単方向指向性を持つことから、接着面に金属や液体が存在していても反射波を正常に発信しR/Wでの受信が可能となる。

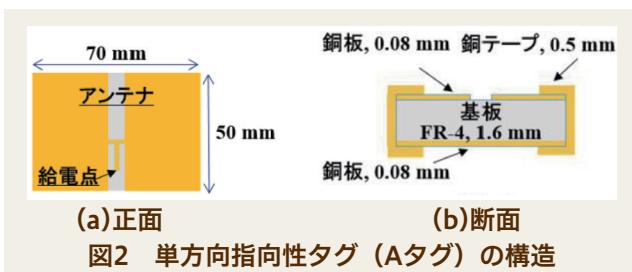


図2 単方向指向性タグ (Aタグ) の構造

各種条件のもとにタグをセットし、900MHz帯の電波を使用して受信性能を評価した。受信測定は10秒間の検知テストを5回もしくは10回実施して、そのときの受信距離、受信強度（RSSI：Received Signal Strength Indicator）、受信時間および受信回数により受信性能の評価を行った。

なお、RSSIはマイナス値で示され、数値が大きいほど

安定して受信ができていることを示す。したがって、RSSIがゼロに近い程、受信性能が高いことを表している。

3. 実験結果

3.1 Aタグの単方向指向性の確認

A、B両タグについて、タグ単体の場合とLIBsを内蔵したモバイルバッテリーにタグを貼付した場合（図3）の2ケースで受信状態を測定した。モバイルバッテリーは、二次電池に起因した火災の最多原因品目である⁶⁾ことから採用した。タグとR/Wの距離は5mとし、タグとR/Wが向き合っている状態を0°として、タグを時計回り（0～+180°）、反時計回り（0～-180°）に回転させて検知可能範囲を測定した。なお、測定は外部からの電波の影響を遮断するために電波暗室で行った。実験の概要を図4に示す。

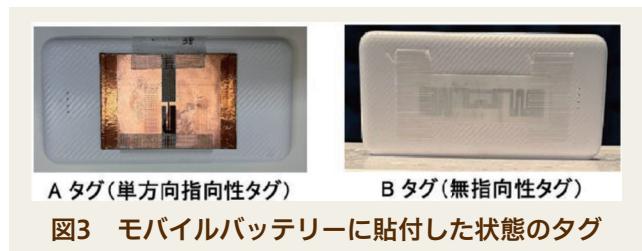


図3 モバイルバッテリーに貼付した状態のタグ

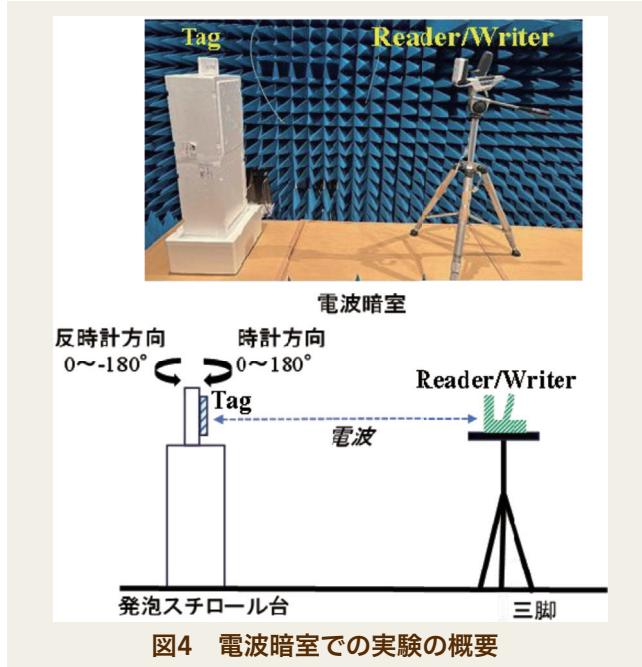


図4 電波暗室での実験の概要

実験結果を図5に示す。Aタグにおいては、モバイルバッテリーに貼付した場合でも受信強度はタグ単体と同等またはそれ以上であった。一方、Bタグでは、モバイルバッテリーに貼付すると全く受信ができなかつた。この結果より、金属ケースでできたLIBsを内蔵したモバイルバッテリーであってもAタグを貼付することでモバイルバッテリーの検知が可能であることを確認した。

なお、電波暗室では、タグ正面がR/W方向とは反対（±90～±180°）となる範囲では受信不可能であった。

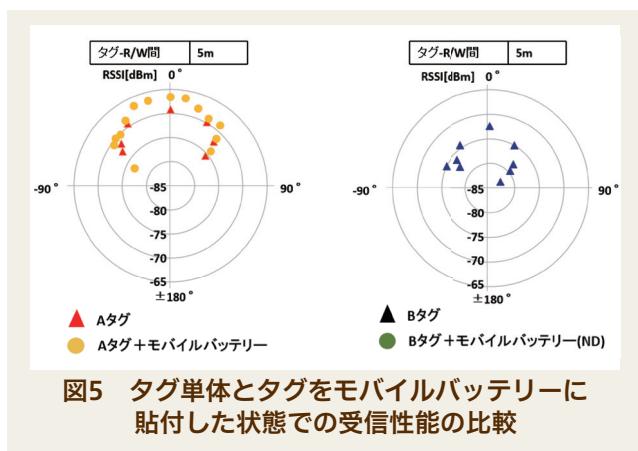


図5 タグ単体とタグをモバイルバッテリーに貼付した状態での受信性能の比較

3.2 一般環境下におけるAタグの受信性能の確認

Wi-Fiなどの様々な電波が存在する環境下におけるAタグの受信性能を確認した。測定場所として、大学構内の研究室、廊下および屋外の広場を選定し、電波暗室の結果との比較を行った。結果を図6に示す。電波暗室では受信距離5mでも受信可能であったが、研究室では、最大1.9mまでしか受信できなかった。ただし、1mまで近づけると電波暗室と同様に±90°まで受信可能であった。また、受信強度は、Aタグの位置が反時計回り（-90～0°）の方が時計回り（0～+90°）よりも4～8dBm高くなかった。この現象は、反時計回り方向に設置されたパーテーションの内部にあるマグネット用の金属板の影響によると推測した。廊下では、受信距離が5mでも受信が可能であり、更に2.5mと1mのときにはAタグ正面がR/W方向とは反対（±90～±180°）を向いていても受信可能であった。前述のように電波暗室では±90～±180°の範囲は受信不可能であったが、廊下では受信可能であった理由として、壁や床の内部にある鉄筋や鉄骨によって反射された電波を読み取ったものと推測した。最後に、屋外では最大4mまでしか読み取れなかつたが、2.5mと1mでは電波暗室と同等の測定結果が得られた。

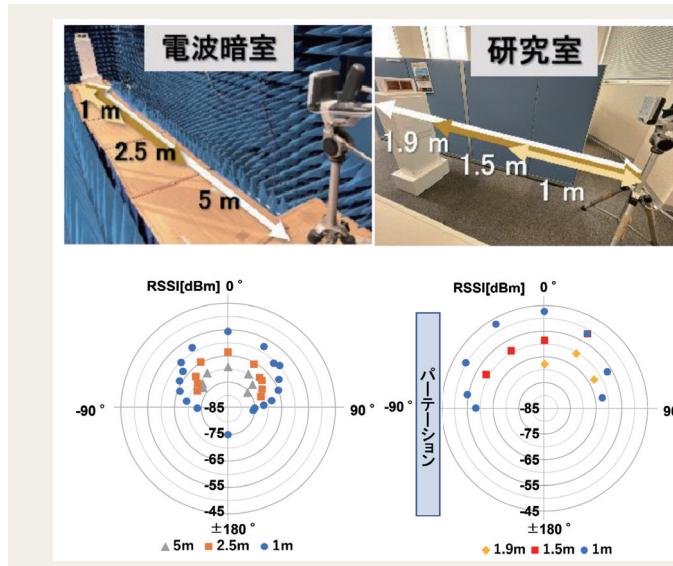


図6 一般環境下におけるAタグの受信性能の比較

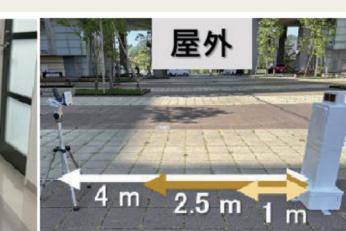
以上の結果から、一般的な環境下においても受信距離は短くなるが、正常に検知できることが確認できた。また、金属の存在が受信性能に影響を及ぼすことも分かった。

3.3 金属円筒による受信効果の検討

3.2の結果より、金属の存在が受信性能に影響する現象が見られたことから、この要因を調査するために金属円筒（亜鉛メッキ鋼板製 φ600mm×L900mm）を用いた実験を行った。Aタグを貼付したモバイルバッテリーを混入させた空き缶を詰めたごみ袋を用意し、ごみ袋単独の場合（金属円筒なし）とごみ袋を金属円筒内部に設置した場合（金属円筒あり）について受信性能を比較した。実験の概要を図7に示す。なお、タグ単独での実験を行わずに、空き缶を詰めたごみ袋にタグを混入させたのは、実際の廃棄状況を想定し、タグの周りに複数の空き缶があることによってタグ単独の場合より受信性能が低下するような状態に設定することで、金属円筒の効果をより明確化させるためである。



図7 金属円筒を用いた実験の概要



実験結果を図8に示す。受信距離を比較すると、金属円筒なしの場合は1mまでしか受信できなかつたが、金属円筒ありの場合は1.5mまで受信可能であった。また、受信強度は金属円筒ありの場合は金属円筒なしに比べて約30dB大きくなつた。

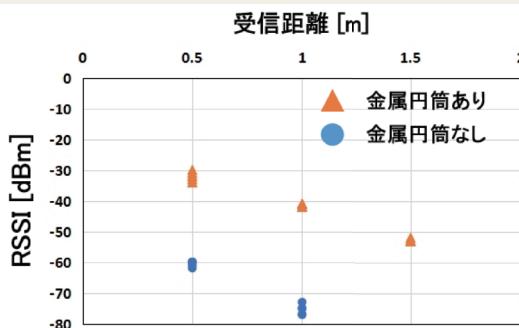


図8 金属円筒の有無による受信性能の比較

装置全体とごみ袋内部にあるAタグ表面のそれぞれの電界分布シミュレーション結果を図9に示す。上段は装置全体を示しており、金属円筒内部の電界強度が周辺よりも50V/m以上高くなっていることが分かる。下段はAタグ表面の電界強度を示しており、金属円筒なしの場合は最大25V/mであったが、金属円筒ありの場合は最大375V/mであった。受信電力の差は(1)式で求められ、金属円筒ありの場合は、金属円筒なしの場合と比べて受信強度が23.5dB大きくなると算出された。金属円筒の内部空間では、電波の拡散が抑制されることで電界強度が増加して受信性能が向上したと考える。

$$\text{受信電力の差 (dB)} = 20 \log_{10} \frac{E_2}{E_1} \dots \dots \dots \quad (1)$$

E_1 ：ごみ袋単独（金属円筒なし）の場合の電界強度 (V/m)

E_2 ：ごみ袋を金属円筒に入れた場合（金属円筒あり）の電界強度 (V/m)

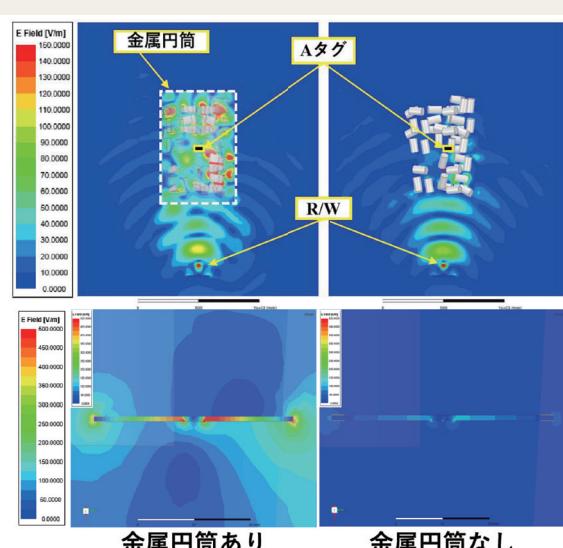


図9 金属円筒の有無による電界分布シミュレーション結果
(上図：全体、下図：タグ表面)

3.4 ごみの収集段階における本検知システムの可能性

本検知システムは、LIBsによる発火事故を未然に防ぐために、ごみと混在して廃棄されたLIBsの検知を目的としている。このため、実際のごみの収集段階における本システムの有効性を評価する実験を実施した。具体的には、小型電子機器回収ボックスでの検知とパッカー車へのごみ袋投入時における検知という2つの状況を対象として、それぞれの条件下での検知性能について検証を行つた。

3.4.1 小型電子機器回収ボックスにおける検知実験

福岡市西区のコミュニティー施設「さいとぴあ」に設置された小型電子機器回収ボックスを実験対象とした。本施設は福岡市西区の出張機関で、図書館、会議室、体育施設などが併設されており、多くの市民に利用されている。回収ボックスは、図10に示すように郵便ポストに似た構造になっており、側面上部の投入口から廃棄される小型電子機器を投入し、ボックス内部にあるプラスチック製の回収容器に保管される。回収容器が一杯になったタイミングで、回収ボックスの扉を開けて回収容器にたまつた電子機器が回収される。実際、回収容器には、ゲーム機、ケーブル、携帯電話、デジタルカメラ、電子タバコなど様々な電子機器が入っていた。本来、LIBsや乾電池などの電池類は、別途設置された電池専用容器にて回収することになっているのだが、携帯電話や電子タバコなどのように内部にLIBsが内蔵されたままの製品も多く含まれていた。



扉を開けると回収容器がある

図10 小型電子機器回収ボックス

実験方法は、回収容器にもともと入っていた電子機器と一緒にAタグを貼付したモバイルバッテリーを混入させて、回収容器の近傍からR/Wをかざすことによって検知性能を評価した。検知方法は、図11に示すように回収ボックスの扉を開け、回収容器は回収ボックスに収まつたままの状態（ケース1）と、回収容器を回収ボックスの外に取り出した状態（ケース2）についてそれぞれ検知を行つた。また、モバイルバッテリーの設置位置は、回収容器内の電子機器が高さ約40cmまで溜まつていたことから、中央部（底から20cm）と底部に混入させる2ケースとした。



図11 小型電子機器回収ボックスにおける検知方法

実験結果を図12に示す。各実験を10回実施して検知回数と検知時間から検知性能を評価した。モバイルバッテリーが回収容器の中央部にある場合、ケース1では10回ともすべて1秒以内に検知できたが、ケース2では検知に1~4秒を要した。また、モバイルバッテリーが回収容器の底部にある場合、ケース1では、検知時間に1~6秒とばらつきがあったものの10回とも検知できた。一方、ケース2では、3~10秒の検知時間を要し10回中2回は検知できなかった。以上より、検知方法としては、ケース1のように回収ボックスの扉を開け、回収容器は回収ボックスに収まつたままの状態での検知が有効であった。この理由として、回収ボックスが鋼板製であることから、回収容器が回収ボックスに収まっている状態は、金属空間の中にタグが存在することになり、タグの周りの電界強度がアップしたことによると推定される。

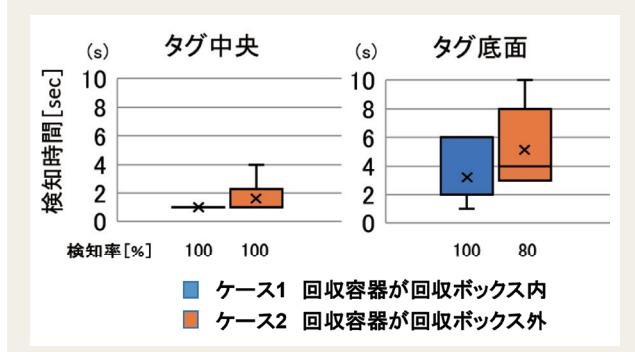


図12 測定方法とタグの位置による検知時間の比較

3.4.2 パッカー車投入口における検知実験

回転板式4tパッカー車を用いて実験を行った。パッカー車のごみ投入口のサイズは横1670mm×高さ890mmであり、横方向が長いことから2基のR/Wを用いて実験を行った。また、Aタグを貼付したモバイルバッテリーを混入させた空き缶を詰めたごみ袋を用意した。実験条件は以下の通りであり、それぞれ5回実験を行い検知時間によって検知性能を評価した。

- 2基のR/Wを、投入口の上部（投入口両端から400mm内側の位置）もしくは左右（投入口底部から500mm上方の位置）に設置（図13）
- ごみ袋を投入口内部の左側、中央、右側にそれぞれ設置
- 収集作業員がごみ袋を投入する時の作業を想定して、ごみ袋の位置を投入前（ごみ袋を投入口に入る直前）と投入後（ごみ袋は投入口内部）に設定（図13）

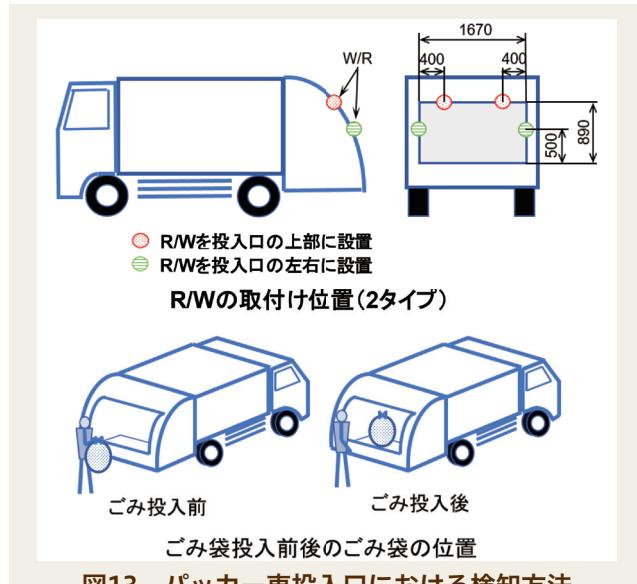


図13 パッカー車投入口における検知方法

まず、R/Wの取付け位置による検知時間の比較を図14に示す。R/Wを投入口の左右に取付けた場合は、ごみ袋の位置によらずどちらか一方のR/Wで1秒以内に検知できた。一方、R/Wを上部に設置した場合は、概ね1秒内で検知はできたものの、ごみ袋が右側にあった場合には検知できないケースがあった。このことから、R/Wの取付け位置は、投入口の左右が有効であると考える。

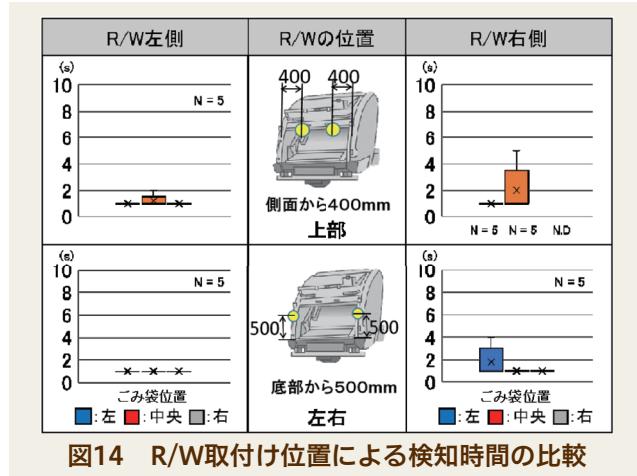


図14 R/W取付け位置による検知時間の比較

次に、ごみ袋投入前後のごみ袋の位置における検知時間の結果を図15に示す。投入前では1~10秒と検知時間にばらつきがあったが、投入後は5回ともどちらか一方のR/Wで1秒以内に検知できた。また、ごみ袋の位置（左、中央、右）によっては、投入前では検知

できない場合があったが、投入後ではどの位置あっても5回とも検知できた。以上から、投入後のようにごみ袋が投入口内部にある状態では、検知しやすくなることが確認できた。

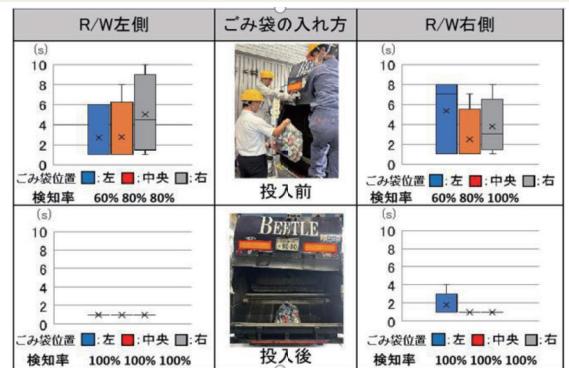


図15 ごみ投入前後における検知時間の比較

また、投入前と投入後におけるごみ袋内部の電界分布シミュレーション結果を図16に示す。ごみ袋内部の電界強度は、投入前より投入後の方が全体的に高くなることが確認された。また、ごみ袋内部にあるタグの表面の受信強度は、投入前が -92.5dBm 、投入後は -39.2dBm （2基のR/Wの平均値）であり、投入後の方が高くなる結果となった。パッカー車の投入口は鋼板で構成されており、投入後は金属で囲まれた空間にタグが存在する状態になるため受信性能が高くなったと考えられる。

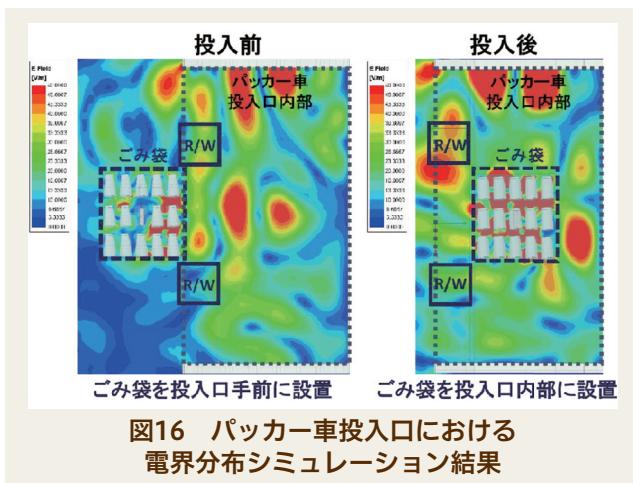


図16 パッカー車投入口における電界分布シミュレーション結果

3.5 実験結果のまとめ

本研究では、LIBsを起因とした火災事故を未然に防止するために、単方向指向性を有するRFIDタグをLIBsに貼付することで、廃棄物に混在したLIBsをR/Wを用いて検知することを目的に様々な状況における受信性能の評価を行った。結果を以下にまとめる。

- モバイルバッテリーなどLIBsを内蔵する製品にAタグのような単方向指向性を有するRFIDタグを貼付することで、製品の検知が可能であった。
- Wi-Fiなどの様々な電波が存在する環境下においても、受信距離が屋内の研究室では1 m以内、屋外

では2.5 m以内であれば電波暗室と同等の受信性能であった。

- Aタグを貼付したモバイルバッテリーを混入させた空き缶を詰めたごみ袋を用い、ごみ袋単独で検知を行うと、受信距離は最大1 m、受信強度は最大 -60dBm であったが、金属円筒内部にごみ袋を設置した場合は、受信距離が1.5 mと長くなり、受信強度は 23.5dB 大きくなつた。金属で囲まれた空間においては、タグからの電波の拡散が抑制され電界強度が増加することで、受信性能が向上したためと考えられる。
- 実際のごみ収集段階における検知方法として、小型電子機器回収ボックスでは、回収ボックスの扉を開けて、回収容器が回収ボックスに収まった状態での検知、パッカー車では、パッカー車投入口の左右にR/Wを取り付け、投入後の投入口内部にごみ袋が収まった状態における検知がそれぞれ有効であった。

4. 新たなビジネスモデルの検討

LIBsにRFIDタグが貼付されていることを前提条件とし、本検知システムを応用した新たなビジネスモデルの構築について検討を行つた。提案するモデルは二つに大別される。第一は、廃棄物の処理および管理に関わる分野における適用であり、第二は、資源循環の高度化やサーキュラーエコノミーの推進を目的としたデータ連携基盤ツールとしての活用モデルである。

4.1 ごみ収集段階、リサイクル施設におけるLIBs検知システム

ごみ収集段階やリサイクル施設におけるLIBs検知の方法としては、図17に示すように以下の2つが考えられる。

- ごみ収集段階での検知

収集作業時には、作業員によるハンディ型R/W端末を用いた検知と、パッカー車投入口での自動検知の2つの方法が想定される。前者では、作業員がR/W端末を手に持ち、ごみ袋の周囲にかざすことでLIBsの有無を確認する。後者では、パッカー車の投入口に複数のR/Wを設置し、投入されるごみ袋を自動的に検知する仕組みである。

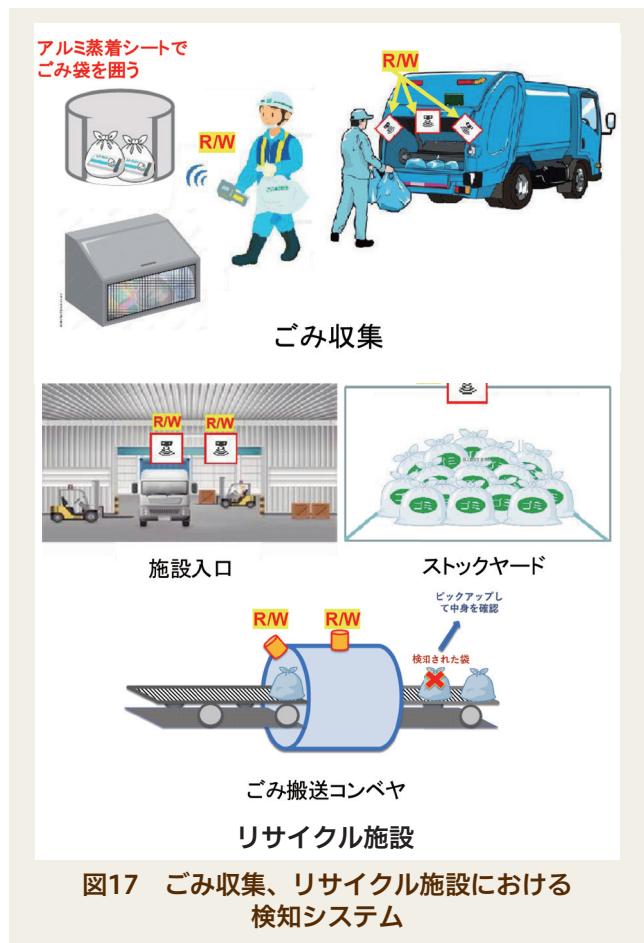
- リサイクル施設での検知

リサイクル施設においては、LIBsが破碎処理工程に投入される前段での検知が重要である。具体的には、施設入口やストックヤードでの検知あるいは選別・搬送ライン上の検知が挙げられる。施設入口やストックヤードの天井部にR/Wを設置し、搬入車両（平ボディ車両に限定）の荷台のごみ袋やストックヤードに保管されたごみ袋を検知することが可能である。また、搬送

ラインでは、R/Wを組み込んだ金属円筒の内部を搬送コンベヤが貫通する方式とすることで、コンベヤ上を移動するごみ袋を検知する。さらに、後段には検知されたごみ袋を自動で分離するピックアップ装置を設ける。

二つの検知システムにより、LIBsが混入したごみ袋を判別することが可能となり、検知されたごみ袋からLIBsを除去することで発火リスクを未然に回避できる。

加えて、本システムに検知情報として時刻や位置情報を取り込むことで、LIBsが「いつ」「どこで」発見されたかを記録・管理することができる。例えば1)の場合では、これらのデータを活用することで廃棄状況の実態把握が可能となる。このようにハードとソフトを一体化したシステムとして運用することで、事故防止と資源管理の双方に貢献できると考える。なお、ごみ収集作業員が携行するR/W端末、収集車両やコンベヤに設置されるR/Wなどは、それぞれの用途に適した形状・仕様とする必要があり、センサーメーカーとの共同開発が不可欠である。当社のビジネス展開としては、こうした専門メーカーとの協業によるハードウェア開発と並行して、検知・管理を担うソフトウェア開発を進め、LIBs除去装置（ハード）とデータ管理（ソフト）を一体化した製品として事業化することを構想している。これにより、メーカーや自治体への導入が可能となり、循環型社会の構築に貢献できる新たな事業モデルを開拓していく。



4.2 サーキュラーエコノミーを構築するプラットフォームにおけるデータツールとしての活用

従来の大量生産・大量消費・大量廃棄を前提としたリニアエコノミーから、資源循環を基盤とするサーキュラーエコノミー(CE: Circular Economy)への移行が世界的に加速している。環境省はCEを「従来の3Rの取組に加え、資源投入量・消費量を抑制しつつ、ストックを有効活用し、サービス化等を通じて付加価値を創出する経済活動であり、資源・製品価値の最大化、資源消費の最小化、廃棄物発生の抑制を目指すもの」と定義している。欧州連合(EU)においては、2015年に欧州委員会が「CEパッケージ」として行動計画を策定し、その後、使用済み電気自動車(ELV)のバッテリー規制(2023年)、エコデザイン規則(2024年)など、具体的な法規制を導入している。一方、日本においても、第5次循環型社会形成推進基本計画(2024年8月閣議決定)において循環経済への移行が国家戦略として位置づけられ、2026年4月には改正資源有効利用促進法の施行が予定されるなど、法制度の整備が進められている。

これら政策的背景のもと、国・政府の主導により、動脈産業・静脈産業に携わる企業や大学・研究機関が連携する組織が形成され、業種横断的なデータ基盤やシステム連携の構築が進められている。特にEU圏では、「デジタル製品パスポート(DPP: Digital Product Passport)」の導入が進展している。DPPには、製品に用いられた原料の採掘地や製造場所、製造過程におけるCO₂排出量、再生材の使用量、修理可能性や耐久性といったサステナビリティおよびCEに関する幅広い情報が記録され、サプライチェーン全体で共有される仕組みが整備されつつある。日本においても、経済産業省が主導する「ウラノス・エコシステム」が存在する。

DPPやウラノス・エコシステムにおいては、①Who(参画主体)、②What(共有・提供される情報内容)は明確化されている一方で、③How(情報の発信・受信の方法)については具体的な標準手法が確立されていない。特に、市場に広く流通した製品一つひとつに對してどのように情報を付与し、活用していくかが課題となっている。将来的には、これらの情報は紙媒体ではなく、データとして統合的に管理することが不可欠である。

本研究に用いたRFIDタグはICチップを内蔵しており、データの読み書きが可能である。例えば、LIBsに関しては、再生材料(Ni, Co, Liなど)の使用量、メーカー名、製造年月日、充放電回数、残存容量などの情報をICチップに入出力することができる。これにより、本研究で構築した検知システムは単にLIBsを検知するだけでなく、図18に示すようにRFIDタグを通じて情報を蓄積・共有し、ステークホルダー間でのデータ交換が可能となる。

夕利活用を可能にする。今後、EUにおける規制は、蓄電池、電子部品、繊維製品など多様な製品へ適用されることから、LIBs以外にも本システムの活用が期待できる。このように、本システムはCEを支える資源循環プラットフォームにおけるデジタルツールとして機能し得ると考える。

今後、政府や自治体、業界団体などが主体となって資源循環プラットフォームの構築が進展されると想定されるが、これらプラットフォームの基盤となるデータシステム構築に関与していくことが、当社の新たな事業分野の創出に繋がると考える。また、プラスチック分野やレアメタル分野など資源の特性に応じた循環システムへの適用を可能とすることで、事業モデルの拡大展開も図ることができると考える。

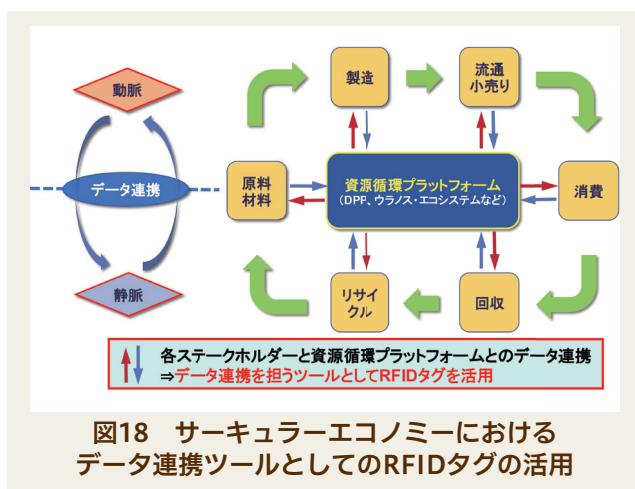


図18 サーキュラーエコノミーにおけるデータ連携ツールとしてのRFIDタグの活用

5. 結 言

本研究では、単方向指向性を有するRFIDタグをLIBsに貼付し、R/Wによって検知するシステムについて、タグの基本性能評価から社会実装を見据えたごみ収集段階での活用方法の検証までを行った。

その結果、単方向指向性タグの有効性を確認するとともに、Wi-Fiなどの電波が存在する一般的な環境下においても安定した検知が可能であることを明らかにした。さらに、金属に囲まれた空間では検知性能が向上することを確認し、ごみ収集段階（小型電子機器回収ボックス、パッカー車）における適切な検知方法を評価した。

これらの成果を踏まえ、本検知システムを廃棄物収集・リサイクル施設でのLIB検知に活用するとともに、資源循環やサーキュラーエコノミーの基盤となるデータ連携ツールとして応用する新たなビジネスモデルを提案した。

今後は、本寄附講座で得られた知見を活かし、資源循環およびサーキュラーエコノミーの実現に貢献するビジネスモデルの構築に取り組む所存である。

謝 辞

本研究に多大なるご協力をいただきました福岡市環境局、福岡市西部地域交流センター（さいとぴあ）、公益財団法人福岡県リサイクル総合研究事業化センターおよび株式会社西原商事ホールディングスの皆様に心より謝意を申し上げます。

参考文献

- 日本容器包装リサイクル協会：リチウムイオン電池等の発火物が原因になる発煙・発火トラブル
<https://www.jcpca.or.jp/municipality/dangerous/tabid/757/index.php> (確認日：2025.2.1)
- 環境省：リチウムイオン電池による火災防止のための啓発強化の取組みについて, p.4
https://lithium.env.go.jp/recycle/waste/lithium_1/torikumi.pdf (確認日：2025.9.1)
- 寺園淳：リチウムイオン電池の循環・廃棄過程における火災等の発生と課題, 廃棄物資源循環学会誌, 2022, Vol.33, No.3, pp.214-228
- Mohammadmahdi Ghiji,; Vasily Novozhilov,; Khalid Moinuddin et al.: A Review of Lithium-Ion Battery Fire Suppression, Energies 2020, 13, 5117
<https://doi.org/10.3390/en13195117> (確認日：2024.9.1)
- 伊藤憲司, Kumar Goodwill, 金谷晴一：900MHz 帯単方向指向ダイポールアンテナの設計及び評価, 2022年度電気・情報関係学会九州支部連合大会講演論文集, 2022, p.27
- 環境省：リチウム蓄電池等処理困難物対策集, 2022, p.30

出典元

第2章～第3章に記載した実験成果に関する記述は、下記論文より転載したものである。
榎原恒治, 相原愛里子, 中山裕文ほか：RFIDタグを用いたリチウムイオン電池（LIBs）検知システムの構築に関する研究, 都市清掃, 2025, Vol.78, No.38, pp.17-23

文責者

カナデビア株式会社 環境事業本部
環境技術推進部
榎原恒治
E-mail : sakakibara@kanadevia.com

Fundamental Study on the Development and Social Implementation of a Lithium-Ion Batteries Detection System Utilizing RFID Tag

Abstract

In recent years, fire incidents caused by Lithium-Ion Batteries (LIBs) have been rapidly increasing at waste collection sites and treatment facilities. Current countermeasures primarily rely on early fire suppression technologies using sensors after ignition, and no technology exists to detect and remove LIBs embedded in waste beforehand. This study aims to establish a detection method for LIBs using RFID tags. In the proposed approach, LIB-containing products are labeled with unidirectional RFID tags, which are then detected by a Reader-Writer (R/W). Experiments first confirmed the effectiveness of the unidirectional tags, demonstrating that LIBs can be detected under typical environmental conditions. Notably, detection performance was found to improve in spaces surrounded by metal. Furthermore, considering future social implementation, detection performance was evaluated at the waste collection stage, including small electronic device collection boxes and waste truck loading inlets. These results confirm that LIBs can be effectively detected, provided that RFID tags are attached in advance.

Authors

Koji Sakakibara (Kanadevia Corporation, E-mail : sakakibara@kanadevia.com)
Eriko Aibara (Kyushu University) Hirofumi Nakayama (Kyushu University)
Kazuki Suehiro (Kyushu University) Haruichi Kanaya (Kyushu University)
Takayuki Shimaoka (Kyushu Environmental Evaluation Association)