

AI新時代の環境ソリューション開発

～廃棄物処理施設におけるAI火花検知の開発を例に～

株式会社イーアイアイ
代表取締役社長
胡 浩

1. はじめに

近年、人工知能(AI)を中心としたICT(情報通信技術)の進化によってこれまでのICTと違い、知的な業務の自動化を実現できるようになり、各分野においてその開発と推進が盛んに行われている。一方で循環型社会の構築を目標に、処理対象物や処理方式が多様化し、静脈産業といわれる廃棄物処理・リサイクル業がますます複雑なシステムとなっている。しかし、目視確認や手作業など、従来のアナログなオペレーションが業務の中心になっているのがほとんどである。今後、AI・IoTをはじめとしたICTソリューションの導入による生産効率化、安全性の向上が期待され、静脈施設におけるスマートファクトリーの実現を目指す取り組みが必要である¹⁾。これによりAI時代の静脈施設のあり方を模索し、世界競争力を維持していくためにも重要な取り組みであると考えられる。

一方で、新型コロナ禍による社会変化への対応について、施設の維持管理体制には、少人化への対応が求められ、AIによる知的業務の自動化が一層重要な役割を果たすことになる。

そこで、筆者らは静脈産業のスマート化を推進し、Smart Waste Management®(以下、SWM)の事業コンセプトを打ち出し、AI火花検知、AI自動配車、AI自動選別ロボット等、廃棄物処理・リサイクルに特化した様々なICTソリューションの開発を行っている。本誌では、一例として「AI火花検知システム(Spark Eye™)」開発の考え方や取り組みについて紹介する。

2. 廃棄物処理施設における火災事故の現状と課題

(1) 爆発・火災事故が顕著

動脈施設と比べ、静脈施設の事故発生頻度が比較

的に高く、とくに爆発・火災事故が顕著である²⁾。早稲田大学システム安全安心研究会(代表:永田勝也教授、筆者は当時学生として研究に参画)では、独自の安全解析手法で、2005年にすでに、不燃ごみ施設における爆発・火災事故のリスクが最も高く、最大被害リスクが921万円/施設・年であるとの研究成果²⁾を発表し、静脈施設におけるリスクの定量評価を実現できた。また廃棄物処理施設技術管理協会の調査では、平成27～29の3年間で総物損事故発生件数の291件のうち、爆発(99件)、火災(97件)の2種で全体の67%を占めることがわかる。損害1億円以上の大きい事故の原因の大半は爆発・火災である³⁾。日本容器包装リサイクル協会では、電子タバコ等のリチウムイオン電池を含む電子機器がプラスチック製容器包装ベールに混入し、プラスチックのリサイクル工場での発火事故が近年増加しており⁴⁾、適切な小型家電の排出と回収を呼び掛けている。



写真-1 リチウムイオン電池の発火が原因でリサイクル工場の建屋・設備の火災事例

出典:日本容器包装リサイクル協会ホームページ

(2) 既存火災検知器の課題

一定規模以上の事業所では、法定の火災報知設備を設置する義務があると消防法に定められている。しかし、一般的な煙や熱検知器では、検出感度が低いことや誤検知等の課題があり、静脈施設における火

災害事故率は依然と高いままである。また、火の発生元から既存検知器の検出範囲に届くまでは時間がかかり、すでに可燃物への引火や延焼が拡大され、消火措置が手遅れになってしまう場合があると考えられる。そこで多くの事業所では作業員の目視確認による巡回監視が行われ、業務負担が増加している。そこで、火の発生元で自動的に異常を素早く検知し、さらに自動消火の制御までできれば、安全性の向上だけでなく、業務負担の軽減も実現でき、効果的な対策になると考えた次第である。

筆者らの調査では、廃棄物処理施設において、火の発生元として多く発生するのは、①破砕機、②コンベヤ、および③可燃物保管場所の3か所である。それぞれ発火の特徴が異なり、表-1に整理する。とくに、近年リチウムイオン電池等の異物が混入し、破砕機における刃の衝撃圧力による発火が発生元になる場合が多く確認できている(図-1)。

表-1 設備別の発火の特徴

対象設備	危険発生	特徴	ハザード(危険要因)
破砕機	火花、火、発熱、煙	火花や発熱の発生元	リチウムイオン電池や可燃性ガスボンベ等が混入し、強い圧力を加わると発火
コンベヤ	発熱、煙、火	破砕後の対象物がコンベヤにて搬送される	破砕機から火や発熱物の落下による可燃物への引火
可燃物保管場所(ごみビット等)	発熱、煙、火	破砕前や破砕後の対象物の保管	破砕機から火や発熱物の落下による可燃物への引火、可燃物の発酵による発熱



図-1 リチウムイオン電池破砕の瞬間

表-1に示すような対象設備の実態により、従来の検知器の動作環境に適応しない場合や、検知範囲がカバーできない場合があると考えられる。とくに、破砕機について火花の発生元である刃の部分では、破砕対象物や粉じんが飛び散る環境であり、密閉式が多く、ほとんどの火災検知器では直接的に設置や検知ができないのが現状である。またコンベヤと保管場所の場合、対象エリアが広く検出範囲に限界があると考えられる。また、安定運転を確保するためには、誤検知率を下げるための感度調整機能が必要で

あるが、既存検知器では対応できない場合が多い。さらに、事故原因の究明や安全向上策の検討に活用可能な事故事例のデータベース化、およびリアルタイムの可視化システムが求められている。

3. 「AI火花検知システム (Spark Eye™)」の開発コンセプトと位置づけ

早稲田大学システム安全安心研究会では、2005年に多重防護の考え方(図-2)を打ち出し、静脈施設における安全安心を実現させるためには、「安全配慮設計」、「操業管理」および「情報公開」の相互連携が重要である²⁾と掲げられている。

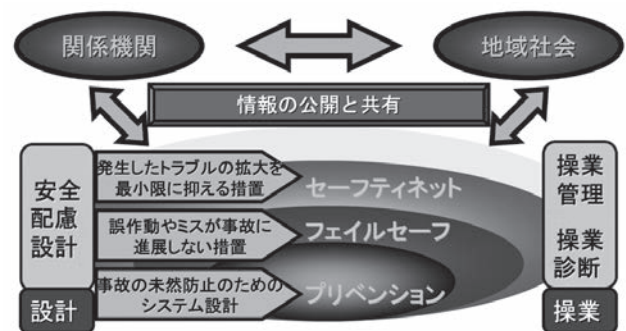


図-2 静脈施設における多重防護の考え方³⁾

筆者らは、このコンセプトに基づき、AI・IoT、SaaSといった先進的なICTを活用し、静脈施設における爆発・火災事故を対象に、フェイルセーフ(誤動作やミスが事故に進展しない措置)段階における実用的なICTソリューションの開発を行う。

具体的には、火花や煙等の異常を発生元で素早く自動検知し、事故に進展しないように、現場の実際のニーズに応じ、以下に示す機能を有するAI火花検知システム(Spark Eye™)の開発を行う。

- ▶ 火花の発生元を抑え、破砕機の中を直接的に自動検知ができること
- ▶ 超高感度で一瞬の火花を逃さず検知できること
- ▶ 検知可能物:①火花、②火、③煙、④熱
- ▶ 誤検知率を下げるための感度調整ができること
- ▶ 無人で自動消火制御ができること
- ▶ リアルタイムの可視化・DB化ができること

これにより、「安全配慮設計」、「操業管理」および「情報公開」それぞれのプロセスにおいて、Spark Eye™を活用した安全安心システムの高度化を図ることができると考えられる。

4. 「AI火花検知システム (Spark Eye™)」の概要

筆者らは、静脈施設における火災防止に特化し、様々な現場で適用できるように①火花、②火、③煙、④熱の4つの危険因子を検出できるAI火花検知システム(Spark Eye™、特許出願中)の開発を行った。

(1) 火花・火・煙の検知

画像解析およびAI(人工知能)技術を活用し、火花・火・煙の検知を実現できた(図-3)。検知最小画素数は図-4に示すように、10×10ピクセルとなっている。カメラの検知性能を表-2に示す。



図-3 ディープラーニングを用いた火花・煙の検知

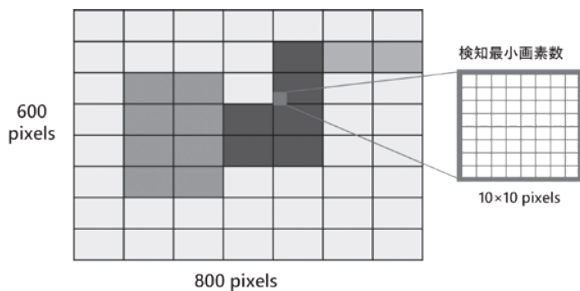


図-4 検知最小画素数

表-2 検知性能

項目	縮元	仕様
カメラ性能	最大解像度	3264 (H) X 2448 (V) @15fps
	最大フレームレート	30fps
	可変焦点距離	IR 5-50mm
検出性能	検出フレームレート	20fps
	検出速度	0.05秒以下
	検出最大距離	25m ※火花直径25cmの場合
	検出エリア最大範囲	20m X 14m ※火花直径25cmの場合

(2) 熱の検知

Spark Eye™には、サーモセンサーをシステムに組み込み、リアルタイムで熱を検知できるようになっている。熱の検知性能(実験結果)を図-5に示す。

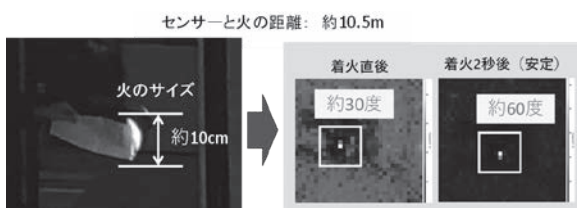


図-5 サーモセンサーの検知性能

(3) Spark Eye™の機能と応用

本システムは、画像認識AIの技術により、リチウムイオン電池等が破砕機において破砕された瞬間に発生する火花をリアルタイムで自動検知(0.05秒)し、アラート発報や自動散水を制御することで、従来よりも前段階でリスクを検知でき、火災を未然に防ぐシステムである(図-6)。また、検知した画像や動画をクラウド上で管理できる可視化機能も備えており、定量的なリスク管理が可能になる。さらに、警報の感度調整を現場の火花発生状況に応じてクラウドシステムで簡単に設定ができ、誤動作を防止することが可能になる。

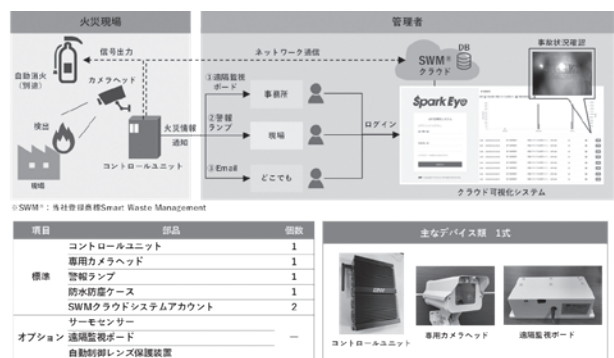


図-6 Spark Eye™の構成と応用

本システムの主要機能を以下に整理する。

- ▶ 検出速度0.05秒以下(感度調整可能)、一瞬の火花でも逃さず、昼夜問わずに検知可能
- ▶ 火花の発生状況を鑑み、適切な警報レベルを設定可能(Email送信、遠隔監視ボードへアラート発信、PLC出力によるIoT警報ランプ・消火栓等の自動起動など)
- ▶ 火花発生と終了時に、設定したメーリングリストに画像付きの発生状況を送信可能
- ▶ クラウドシステムにて、検知状況を統計グラフで確認できるとともに検知した画像、日時、場所、開始時間、終了時間等すべての検知情報をいつでもどこでも確認可能
- ▶ クラウドシステムにて、カメラのリアルタイムモニタリングと20日間以上の動画記録機能
- ▶ クラウドシステムは、ID・パスワード管理、権限の設定が可能
- ▶ 検知情報データベースの蓄積により、操業診断、安全性解析等にビッグデータとして活用可能

5. Spark Eye™の導入事例

2020年6月に、はじめてSpark Eye™を産業廃棄物処理事業所の容器包装リサイクル施設の破砕機に設置し、オペレーションを開始した。現地設置完了の様子を図-7に示す。現在まで安定的な運転を確認できている。約半年間に4回ほど破砕機における火花を検出することができた(図-8)。火花を検出するたびに、現場管理者メーリングリストに、画像付きのアラートメールが送信される。また、事前にSWMクラウドシステムで設定した警報レベルに達した場合には、IoT技術を用いて警報や自動的に生産ラインを停止させ、散水設備を自動的に起動させることができた。管理者が現場にいなくても自動的な制御消火ができたことを確認できた。

これにより、リチウムイオン電池等の異物が破砕機に混入し、発火しても火災事故に進展しないように、フェイルセーフ段階の対応策として、Spark Eye™の有効性を確認できた。

さらに、取得した発火データは、リアルタイムでSWMクラウドシステムに記録され、データベース化し、管理者が遠隔監視や事故原因の究明に活用される。将来的には、ビッグデータとして施設の安全性向上策の分析にも活用可能である。

Spark Eyeは、昨年12月より販売開始をしている。今後、廃棄物処理分野における火災防止システムと



図-7 破砕機におけるSpark Eye™設置完了の様子

会社名			
事業所名			
現場ライン			
破砕機			
カメラID	3		
検知Start	2020/06/11 10:55:00	検知End	2020/06/11 10:55:01
火花検出	1	フレーム数	6
火花レベル	3	火花検出	2回 or 2秒
Email	<input type="checkbox"/>	警報	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	消火	<input type="checkbox"/>

A screenshot of a software interface showing detection results. It includes a table with columns for Start/End time, number of sparks, and spark level. Below the table are checkboxes for 'Alert' and 'Fire'.

図-8 設置後の検知実績 (例)

して広く普及推進を行っていく。

6. おわりに

AI・IoTの時代における安全・安心な静脈施設を実現するためには、多重防護の考え方(図-2)に基づき、以下に示す3点が重要であると考えられる。

- a)ICTリテラシーの向上
- b)安全配慮設計、操業管理におけるICTの利活用
- c)周辺住民と充分なリスクコミュニケーション

時代は絶対的安全から相対的安心へシフトしている。先進的なICTソリューションを用いてリスクマネジメントを行うことが、アナログな目視確認等より効果的であることは明らかである。しかし、すでに定着している産業に新しい技術の受け入れは簡単ではない。多くの場合は研究開発や実証による試行錯誤のプロセスを経る必要がある。現場で確実に使える効果的なICTソリューションを実現させるためには、施設の運営管理者から行政当局、一般市民までステークホルダーのICTへの理解を深め、積極的に取り組む姿勢が重要である。また、周辺住民の安心につなげるためには、ICTの普及・啓蒙をはじめ、ICTを活用した静脈施設の進化と施設側の努力を周辺住民に伝え、住民の理解を獲得することが重要であると考えられる。

筆者らはSmart Waste Managementの実現を目指し、Spark Eye™をはじめ、様々なAI・IoTソリューションの開発と普及に取り組んでいる。本稿は同じ志を持つ方の参考になれば幸いである。

7. 参考文献

- 1)小野田弘士、AI・IoTの活用と資源循環、第17回「産業廃棄物と環境を考える全国大会」基調講演資料、2018.11.16
- 2)小野田弘士、廃棄物処理・リサイクル施設における安全・安心、ペトロテック37巻6号、pp.32-38、2014.6
- 3)一般社団法人廃棄物処理施設技術管理協会、平成30年度一般廃棄物処理施設等事故事例調査報告書、2019.3
- 4)公益財団法人日本容器包装リサイクル協会ホームページ、アクセス日:2021年1月2日