

# 産業保安のスマート化を目指した ガス監視システム高度化の取り組み

Advanced Gas Monitoring System for Smart Industrial Safety

浅野 基 広\*      森 本 隆 史\*      木 内 美 佳 子\*  
Motohiro ASANO      Takashi MORIMOTO      Mikako KIUCHI

## 要旨

近年、プラントの経年劣化損傷による爆発・火災事故や破壊事故の発生が懸念されている。また、ベテラン作業員の引退により、プラント保安力の低下が課題となっている。このため、経済産業省が主導しているAI・IoTを活用した産業保安のスマート化により、安心安全の確保のみならず、プラント企業の国際競争力を強化することを目指した動きが活発化してきている。

コニカミノルタは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）の次世代人工知能・ロボットの中核となるインテグレート技術開発プロジェクトとして、2018年度より5か年の計画で、神戸大学と共にAI活用によるプラント保全におけるガス漏洩の発見と特定の迅速化の開発を進めている。

従来から保有してきた赤外カメラを活用したガス可視化技術にAIを組み合わせることで、漏えい源位置や流れの方向をより正確に把握するシステムの開発を進めてきた。

実撮影画像とガス流体シミュレーションに基づくシミュレーション画像、両方を用いることで効率的にAI学習を進めることができた。また、数値出力モデルとヒートマップ出力モデルの2種のAIを用いたモデルを作成し、比較評価を行った結果、ヒートマップ出力モデルで、高精度な推定結果が得られた。

今後は開発中のAI技術で、撮影ノイズに対するロバスト性の向上を図り、プラントでの検証を進めることで、実用性の高いシステムに仕上げる。これらの開発を進め、産業保安のスマート化に貢献することを目指していく。

## Abstract

In recent years, there are concerns about the occurrences of explosions, fire and destructive accidents due to the age deterioration of plants. In addition, difficulty of conducting a proper maintenance is increasing by the retirement of skilled workers. For these reasons, smart industrial safety based on AI, IoT led by The Ministry of Economy, Trade and Industry, is invigorating activities not only acquiring safety and security but also strengthening the international competitiveness of plant companies

Konica Minolta is working on a research to accelerate detection and identification of gas leaks using AI, together with Kobe University. This is a research and development/demonstration project for the social implementation of artificial intelligence technology under the auspices of NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) with a five-year plan from 2018.

Combining AI with our unique gas visualization technology using infrared cameras, we have been developing a system that can more accurately identify the leak source and flow direction of gas. By using both real and simulated images based on gas-fluid simulations, we were able to train AI models efficiently. We examined two AI models and found that models that output heatmap yielded highly accurate estimation results.

Konica Minolta will improve the robustness of AI and verify it in actual plants to make the system highly practical and contribute to the industrial safety.

## 1 はじめに

ガス漏えい可視化システムの画像処理を更に高度化させるため、2018年度にNEDOにより研究開発テーマの委託事業採択を受け、AIを活用した技術開発を進めている。この技術開発では、配管等で隠れたガスの漏えい源と、画像からは容易に判断できない奥行き方向の流れを推定する。この技術により、ガス漏えい時に漏えい源に安全にアプローチでき、作業員の経験、人数を問わず、即時に適切な保全管理作業を実施できる。本稿では、現時点までのAI技術開発の概要と成果を説明する。

## 2 漏えい源及び奥行き方向の流れの推定

### 2.1 概要

AI技術開発においては、大量の教師データが必要であることから、ガスの実撮影画像と流体シミュレーションの両方を活用して効率的に教師データを作成し、AIモデルの学習に用いた。学習済みAIモデルを用いて実撮影画像のガス漏えい源の位置と奥行き方向の流れの推定を行い、精度を評価した。

### 2.2 実撮影画像の取得

流体シミュレーションによって生成するガス漏えい画像や、開発するAIの妥当性の検証、及び、実撮影画像のAIへの活用のために、Fig. 1のようなガス漏えい撮影実験系を構築した。10数m四方の屋外空間に、大型背景板装置、風向・風速が可変な送風装置、回転設置可能な模擬配管設備を備え、多様なパターンでの撮影を可能とした。

この実験系において100%メタンガス及び100%プロパンガスを用いて、流量、漏えい口径と風速、配管角度、漏えい位置、向きを複数種類変更して多様なパターンで撮影実験を実施し、AI検討で活用するため撮影データを取得した。



Fig. 1 Experimental imaging system for gas leak (left) and simulated piping equipment (right).

Experimental imaging system was constructed to verify the validity of both AI model and gas leak image generated by fluid simulation and collect the AI training data.

### 2.3 流体シミュレーションの開発

AIの学習プロセスでは、学習させたい内容を表現している大量のデータを準備する必要があるため、3次元流体シミュレーション技術を開発し、Fig. 2の右図のよう

なシミュレーション像を取得した。そして、シミュレーションにより得られた3次元ガス濃度分布データを、カメラの視点に応じた2次元ガス画像に変換する技術を開発し、シミュレーションにより得られたガス画像が実撮影によるガス画像と同じようなガス形状で同じように揺らぐかの確認を行い、Fig. 2及びFig. 3のように適切にシミュレーションが出来ていることを確認した。なお、Fig. 2は濃度を比較した画像であり、Fig. 3は参考文献<sup>1)</sup>のFig. 4に相当するガスの時間的な揺らぎ成分を抽出した画像である。

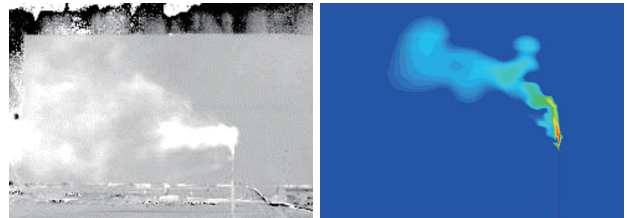


Fig. 2 Actual image of gas leak (left) and cross-sectional view of 3D simulation (right).

Image from the developed three-dimensional fluid simulation is shown on the right. The simulation has been successful as similar fluctuations shapes are observed compared with the actual image on the left.

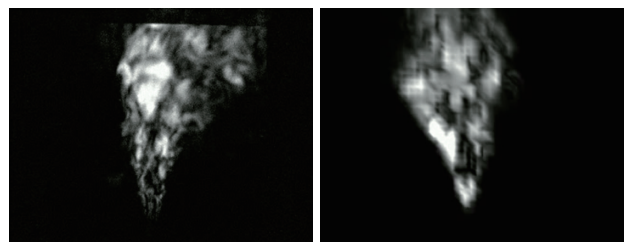


Fig. 3 Comparison of extracted images of gas fluctuation component for actual (left) and simulated (right) images.

By comparing the extracted images of gas fluctuation components, it was confirmed that the simulation was adequate.

AI検討用の学習データとして使用するために、ガス流量や風速、撮影距離を複数パターン変更した3次元流体シミュレーションを行い、それぞれ視点を変更して多数の2次元ガス像データを生成した。その作成例を、Fig. 4に図示する。

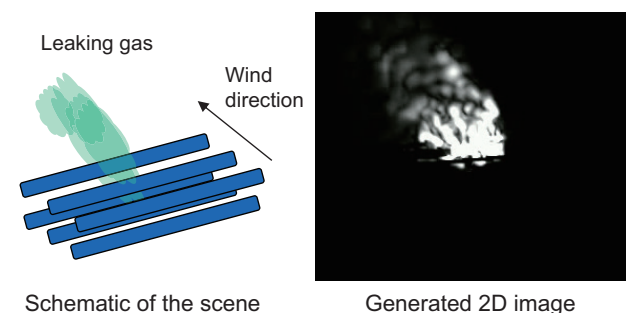


Fig. 4 Gas simulation image for training AI models.

Multiple 2D gas image data was generated by converting simulated 3D image into 2D image according to the viewpoints.

## 2.4 AIモデルの開発

実撮影によるガス画像と2.3章で作成したシミュレーションによるガス画像を学習データとして、Fig. 5に示すような入出力からなるAIモデルの開発を行った。AIモデルの入力は複数フレームからなるガス画像であり、出力はガス漏えい源の画像上での座標位置 (X, Y) と画像に対して奥行き方向の流速 (Z) と定義した。ここで流速の単位は本来m/secであるが、画像上の移動量との関係が撮影距離に依存するため、pix/secとした。

なお、出力については性能向上のため、当初検討していた直接数値を出力とするFig. 5のAIモデルに加えて、Fig. 7に示すヒートマップを出力するFig. 6に示すようなAIモデルも検討した。

Fig. 4のようにガス雲の一部が配管により隠れている環境条件で、推定精度を評価した。Table 1の結果から、ヒートマップ出力とすることでガス漏えい源の画像上での位置 (X, Y) の推定精度が大幅に高精度化できることを確認した。また、奥行き方向の流速 (Z) についても推定が可能であることを確認した。これは、ヒートマップにより数値ではなく空間情報を維持できること、またヒートマップに結合するためのデコーダ部に、遠くのレイヤー間でより多くの情報を共有できる構造を持たせたことが寄与していると考えている。

これにより、AIを活用することで隠れた漏えい源やガスの奥行き方向の流れが高精度で特定できる可能性を確認できた。

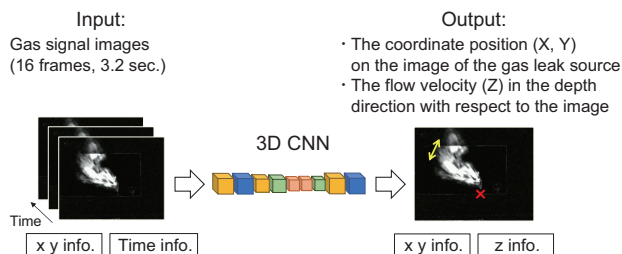


Fig. 5 AI model of numerical output values.

Input/output of the developed AI model is shown. The input is a gas image consisting of multiple frames. The AI model, which is a 3D convolutional neural network (3D CNN), outputs coordinate positions (X, Y) on the image of the gas leak source and the flow velocity in the depth direction (Z).

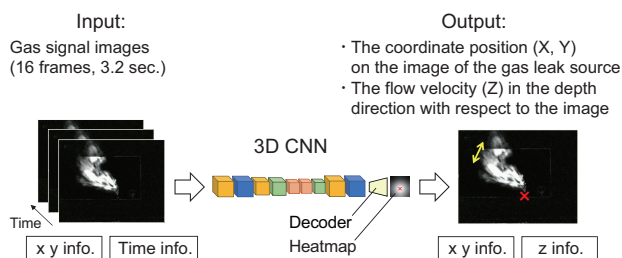


Fig. 6 AI model of heatmap output.

Input/output of developed AI model is shown. We worked on AI model for heatmap output to increase accuracy of inference. It shows probability distribution as a heatmap, and outputs the maximum value.

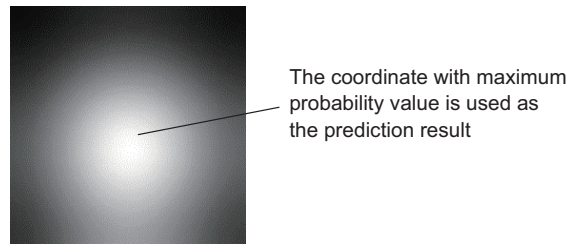


Fig. 7 Example of heatmap.

Probability of leak source is given to each coordinate. The coordinate that has maximum pixel value is inferred as a gas leak source position.

Table 1 Error evaluation of two AI models.

Accuracy of inferring coordinate positions (X, Y) of gas leak in the image is increased using heatmap output model. Flow velocity in the depth direction (Z) can also be inferred.

	Numerical output AI model	Heatmap output AI model
Position of gas leak source		
X mean error	10.39 pix	4.0 pix
Y mean error	7.35 pix	4.6 pix
Flow velocity in the depth direction		
Z mean error	89 pix/sec	14.8 pix/sec

## 2.5 今後の検討

開発中のAI技術は、複雑な背景が映りこんだ環境下での撮影や、カメラの振動ノイズ等に対するロバスト性の向上を図り、プラントでの検証を進めることで、実用性の高いシステムに仕上げることが目指し、開発を進めていく。また、NEDOの検討の中では、AIを活用したガス濃度やガス量の推定技術の開発も進めている。これにより、ガス漏えい時の漏えい場所の危険度や、ガスのエネルギーロスを把握できると考えている。

## 3 標準化に向けた取り組み

NEDOプロジェクトの取り組みでは、Fig. 8のようなゴールイメージを描き、属人的作業に頼らないプラント管理を目指している。その一環として、危険物保安技術協会と連携し、プラントの備蓄タンクの点検の標準化を目指した活動を進めている。危険物保安技術協会とは、消防法に基づき危険物等の保安の確保を図ることを目的とする認可法人で、公正・中立的な立場で、屋外タンク貯蔵所に係る技術的な審査、危険物等の貯蔵・取り扱い又は運搬の安全に関する試験、調査及び技術援助等を実施している。

プラントでガソリン等の可燃性液体を備蓄したタンクからの漏えいを想定した撮影実験については、安全性に配慮した撮影環境の手配、可燃性液体の調達等の課題から我々だけでは実施することが難しく、危険物保安技術協会の協力の元、実験を進めている。



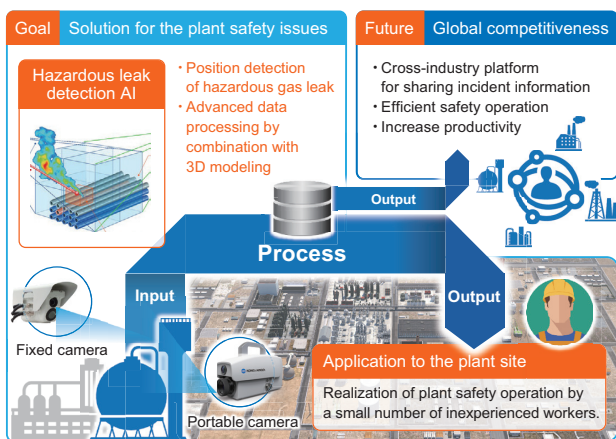


Fig. 8 NEDO Project Goal.

In NEDO project, we will contribute to the industrial safety by developing a system that maintains and manages plants at a high level, without stopping operation, with limited human and financial resources.

まずは基礎検討として、ガソリン、灯油、潤滑油が揮発し気化したガスの撮像実験を実施した。Fig. 9 はガソリン、Fig. 10 は灯油、Fig. 11 は潤滑油を43.9mの距離から撮影した画像である。

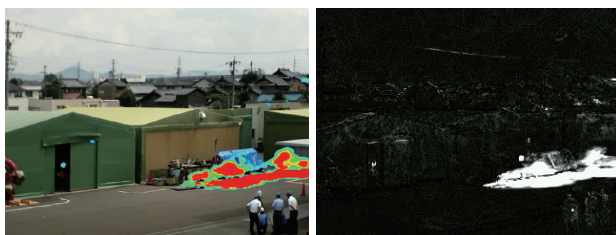


Fig. 9 Gasoline experiment.

Gasoline vaporizes significant amount of gas. Although its specific weight is heavier than air, it was raised up by the wind.

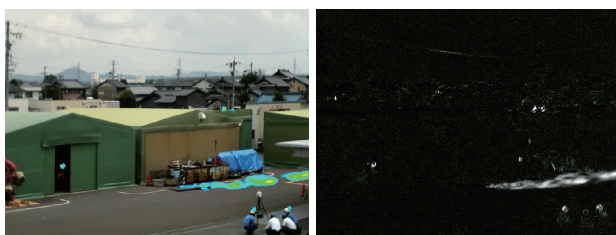


Fig. 10 Kerosene experiment.

Kerosene was captured clearly in the image although amount of vaporizing gas is less than gasoline. Its specific weight is heavier than gasoline and staying close to the ground was observed.



Fig. 11 Lubricant oil experiment.

We could not capture lubrication oil as a gas image as vaporization was not identified at least in the image.

ガソリン、灯油とも、気化したガスがはっきりと撮影され、気化量はガソリンが灯油よりも多いことが確認できた。潤滑油は少なくとも画像上では気化が認められずガスとして撮影できないことが分かった。また、気化したガソリン、灯油とも比重が空気よりかなり重いにもかかわらず、挙動の違い、すなわちガソリンは風で舞い上がり、灯油は地を這うことも確認できた。

例えば浮き屋根式タンクでは、正常時でもタンク周辺部から気化したガスが映ることが多い。しかし、それ以外の箇所からの漏れなど異常な状態を切り分けできる条件を明確にすることで、標準化された手順で異常を抽出し、プラントの安心安全に貢献したいと考えている。

## 4 おわりに

本稿では、NEDOにより採択を受けて我々が開発を進めているガス漏えい可視化システムを用いたガス漏えい源及び奥行方向の流れを推定するAI技術について述べた。これまでプラントの保全維持の課題に対して、作業員の五感や経験に頼っていた避難や保安全管理作業であったが、客観性、検知性により優れたガス漏えい可視化技術を導入することで、より迅速で適切な対応が可能になることが期待される。

また、開発した技術の標準化を進めることで、属人的作業に頼らないプラント管理が可能になると考えている。

開発中のAI技術について、プラントでの検証を通じ、ロバスト性を強化していくことで実用性の高いシステムに仕上げ、プラントが抱える諸課題の解決に貢献し、産業保安のスマート化の一助となることを目指す。

### ●参考文献

- 1) 森本隆史, 浅野基広, 都築斉一, 鈴木昭洋, “プラント保全のスマート化を実現するガス監視システムの開発”, Konica Minolta Tech. Rep., Vol.15, pp.12-16 (2018)

本発表の開発成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の結果得られたものです。