

複合監視装置による異常検知技術の開発

中央技術研究所 燃料研究所 精製プロセスグループ 後藤 治久



1. はじめに

製油所の運転現場においては、ガス検知器等の異常検出機器や巡回員が五感を駆使して点検することで異常を早期に発見し、トラブルの拡大を防止している。しかし、巡回員が常時現場に居る事は困難であり、異常の早期発見をより確実にこなうため、監視業務を機械化し人間の五感を代替できる監視技術の開発が望まれている。

2. 開発した監視装置

図1に開発した複合監視装置の写真を示す。本装置は、人間の五感のうち、視覚・聴覚・臭覚を代替して監視できることから複合監視装置と称している。本体の前面に光を通すカメラ窓、側面に音および臭気を通す音響窓、上面に電波を通すアンテナ窓を設けた。容器は、製油所で使用するために労働安全衛生法の規定に基づいた耐圧防爆構造である。これは全閉構造の容器に着火源となる電気機器を収納することにより、万一可燃性ガスが容器の内部に侵入して爆発を生じた場合においても、容器が爆発圧力に耐えかつ爆発による火炎が容器の外部の可燃性ガスに点火しないようにしたものである。¹⁾ このため容器は厚さ10mm程度の金属製になっており、容器内のマイクロフォンに外部の音が伝わらない。そこで、音は伝わるが火炎は通過しない音響窓を開発した。



図1 開発した複合監視装置

表1に複合監視装置の仕様を示す。複合監視装置には2つのタイプのカメラおよびマイクロフォンが内蔵可能であ

る。タイプ1は音による監視に、タイプ2は映像による監視に重点をおいている。タイプ1のマイクロフォンは周波数8kHzまでの音を録れるので、音で異常検出できる利用範囲が広い。タイプ2は、カメラの首振りができ、またズーム機能を強化した物である。水平方向の首振り角度102°は人間の視野に大よそ相当する。

表1 複合監視装置の仕様

		カメラタイプ1	カメラタイプ2
カメラ	ズーム	固定	42倍 (光学21倍、デジタル2倍)
	解像度	640×480ドット	640×480ドット
	カラーナイトビュー	>1ルクス	>0.09ルクス
	水平回転	固定	0～102°
	垂直回転	固定	-45～+8°
	マイク	有り(8kHz)	有り(3.4kHz)
	ガスセンサ	有り(オプション)	
	外寸	360W×200D×230H	
	重量	約13kg	
	防爆構造	Exd II BT3X	
	ユーティリティ	AC100V	

監視システムは図2に示すように、複合監視装置・防爆無線器・モニターPCからなり、無線通信環境を構築するための防爆無線器も開発した。この防爆無線器は、防爆容器に収納した無線機とアンテナをケーブルで接続することにより、通信し易い方向に自由にアンテナを設置することができる。²⁾ 製油所内は装置や配管等の構造物により無線通信の見通しが悪い場所が多いが、そのような場合でも電波が安定して届いている場所にアンテナを設置させることができる。アンテナには、無指向性(ダイポール)と指向性(平面)を用意した。通信距離は、指向性アンテナの場合、見通しが良い条件で約500mである。モニターPCに当社で開発した監視ソフトウェアをインストールすることにより、音や画像から異常を早期に検知できるようにした。

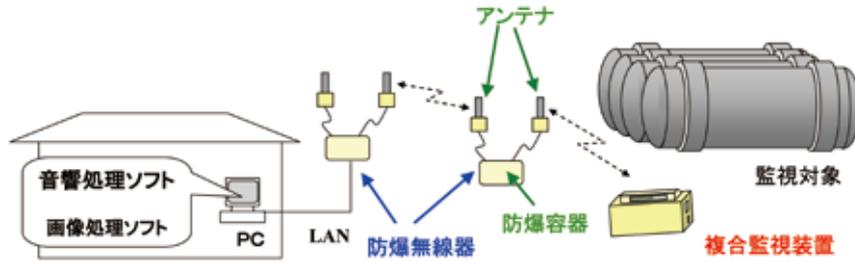


図2 監視システム構成

3. 異常検知技術の開発

製油所での可燃性ガスや油の漏洩は爆発につながる危険がある。そこで、音響処理により音を伴ったガス漏洩を、画像処理により白煙を伴った油漏洩を検知できる技術を開発した。

3.1 音によるガス漏洩検知

(1) 実験方法

音のトレンドデータから周波数スペクトルを計算し、このスペクトルパターンをニューラルネットワーク^(注)モデルにより正常音と異常音を判定した。図3に正常音と異常音の周波数スペクトルのイメージ図を示す。日常的な音は、高周波になるほど音圧が減少するパターン(f^{-1} ノイズ)である。製油所の大半の音もこのようなパターンである。一方、配管等からガスが漏洩した場合に発せられる音は周波数が高くなってもあまり減衰しないパターン(ホワイトノイズ)である。

注)ニューラルネットワークは脳の情報処理方式を模倣したものであり、神経細胞(ニューロン)をモデル化したものを多数つなげてネットワークを構成している。

ニューラルネットワークモデルによる周波数スペクトルのパターン分析では、正常音の判定結果が0に、漏洩音の判定結果が1と出力されるように学習させた。

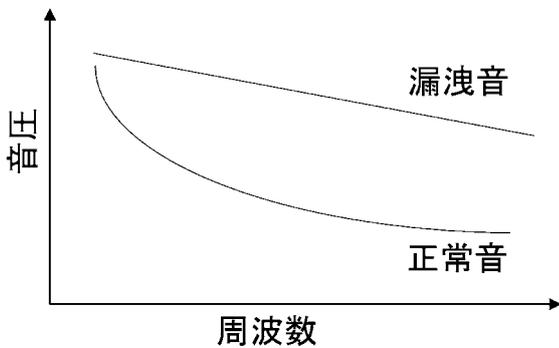


図3 音の周波数スペクトルの違い

図4に検知実験の構成を示す。実験装置は、複合監視装置・モニターPC・模擬ガス漏洩装置・スピーカーからなる。模擬ガス漏洩装置は直管に孔径φ1の孔を細工した物で

あり、バルブを開にすることでガスを漏洩させることができる。漏洩させるガスとして窒素ガスを使用し、窒素ガスボンベから模擬ガス漏洩装置に供給する圧力は減圧弁で調整した。製油所での監視を模擬するために、製油所で録音した音をスピーカーから出した。

ニューラルネットワークモデルの学習に使用するデータ数は一般に100個以上と言われる。正常音としての製油所の音を400個、異常音として製油所の音に漏洩を加えた音144個からニューラルネットワークモデルを学習した。

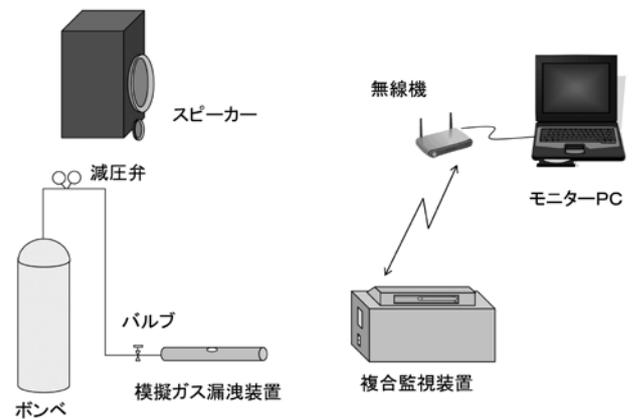


図4 模擬ガス漏洩検知実験の構成

(2) 実験結果

ここでは本手法による異常検知が、騒音計による測定より優れていることを示す。

図5(上)に模擬ガス漏洩装置への供給圧力0.9MPaでガスを漏洩させ、検知距離3mでの、複合監視装置の判定結果および騒音計の測定結果を示す。複合監視装置の判定結果は、ガス漏洩と共に正常判定の0から異常判定の1となり、漏洩が停止すると0に戻った。騒音計の測定では、製油所の音は約81dB(電車内の音程度)であり、漏洩時には約84dBまで大きくなり異常を感知できた。一方、模擬ガス漏洩装置への供給圧力を0.5MPaまで下げると、複合監視装置の判定結果は異常判定の1まで上がるが、騒音計では音の変化がほとんどなく異常が感知できなかった。

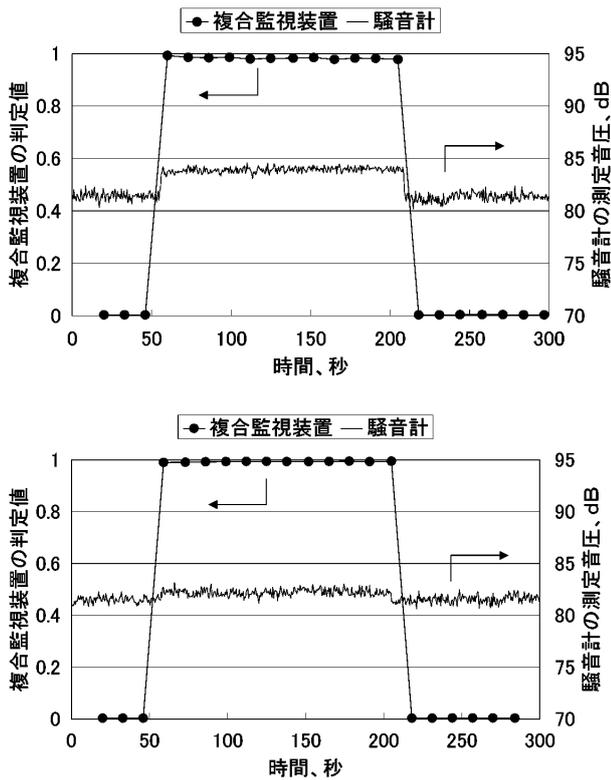


図5 複合監視装置と騒音計によるガス漏洩検知の比較
(上: 模擬ガス漏洩装置への供給圧力 0.9MPa、
下: 供給圧力 0.5MPa)

図6に模擬ガス漏洩装置へ供給する圧力に対する漏洩検知結果を示す。複合監視装置では漏洩圧力が0.9MPaから0.3MPaまで漏洩を検知でき、0.2MPaでは検知できなかった。これに対し、騒音計の測定では0.7MPa以上は測定音圧が背景音(スピーカーから再生した製油所音)より大きく漏洩を検知でき、0.5MPaでは検知できなかった。このことから、複合監視装置が騒音計と比較して広範囲の異常を確認できることがわかった。

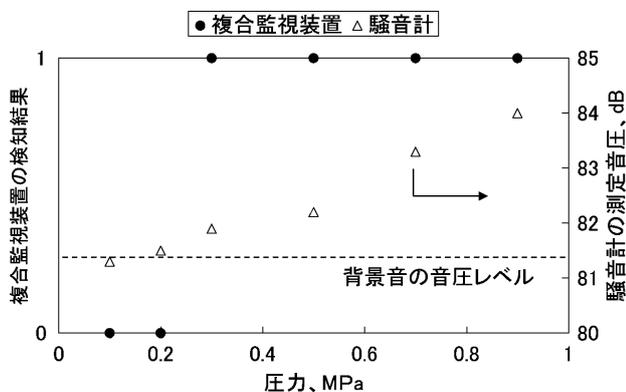


図6 模擬ガス漏洩装置への供給圧力に対する複合監視装置と騒音計の漏洩検知比較

3.2 画像処理による白煙発生検知

(1) 実験方法

図7に白煙検知手法の原理を示す。配管等からの漏洩による白煙は、同じ場所で発生し続けることに着目した。複合監視装置は1秒間に30画像を撮影しており、初めに撮影した画像から10画像後(約0.3秒)の画像との差を取ることで白煙画像を抽出した。更に、得られた二つの白煙画像の重なる部分の面積を計算した。これにより、画像中の希薄な白煙も検知できることを狙った。

白煙は、加温したウォーターバスに秤量したドライアイス片を投入して発生させた。発生させた白煙の状況を確認するために、レーザー光で透過した光量をモニターし、ここでは希薄な白煙を透過光の透過率80%以上と定義した。

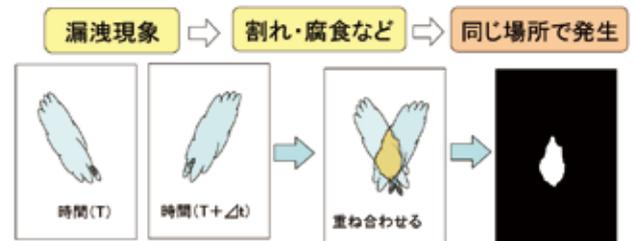


図7 白煙検知手法の原理

(2) 実験結果

図8に発生させた希薄な白煙画像(左)と白煙処理画像(右)を示す。白煙処理画像では上記の検知原理に基づき、白煙部分が白で表示された。この白い部分の面積の変化率を計算し、図9にその結果を示す。従来は画像差分と輝度改善を組み合わせた手法であり、希薄な白煙は検知できていなかった。これに対し、本手法では希薄な白煙が検知できるようになり、異常を早期に発見できる確率が高くなった。

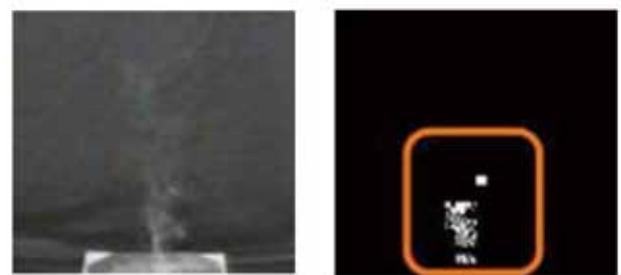


図8 希薄白煙画像(左)と白煙検知手法による処理画像(右)

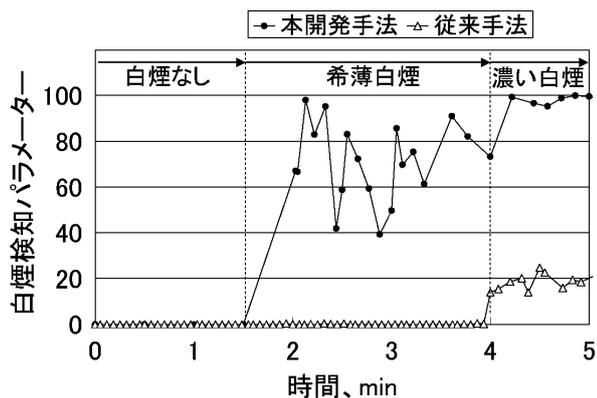


図9 本開発手法と従来手法による白煙検知の比較

4. まとめ

製油所の安全を確保するために、人間の視覚・聴覚・臭覚を代替できる複合監視装置を開発し、音によるガス漏洩と画像による白煙発生を検知できる技術を開発した。

尚、複合監視装置は、当社の水島製油所、麻里布製油所、中央研究所に設置している。今後も社内への設置数を増やし、安全性向上に寄与していく。

5. 参考文献

- 1) 社) 産業安全技術協会：防爆構造電気機械器具 型式検定ガイド
- 2) 特許第 4361034 号(JPEC、JX 日鉱日石エネルギー共願)