

報 文 1

複合監視装置による異常検知技術の開発 (第2報)

中央技術研究所 燃料研究所 MA 技術グループ 後藤 治久



1. はじめに

製油所では原油から液化石油ガス、ガソリン、ナフサ、灯油、軽油、重油等の留分を効率良く生産するために、24時間連続操業し、各種の石油製品を社会へ供給している。そのためには、石油精製設備、回転機器、配管設備、電気設備、計装制御機器等から構成される巨大なプラントともいえる製油所を安全かつ安定して稼働させる必要がある。製油所の運転現場においては、運転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、トラブルの未然防止を図っている。しかし、運転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。

前報(第55巻 第1号 2013年2月発行)では人間の視覚・聴覚・臭覚を代替できる無線通信可能な複合監視装置を開発し、音によるガス漏洩と可視画像による白煙発生を検知できる技術開発を報告した^{1) 2)}。

更に複合監視装置を軽量化し、更なる異常検知能力向上を図ったので本稿で報告する。

2. 複合監視装置の軽量化と性能向上³⁾

当社では、製油所の異常を早期に検知するための監視装置を開発しており、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。写真1にカメラ・マイク・無線アンテナ等を装置容器内に収納できるカメラ可動タイプ(型番PSM-02)、これと比較して軽量化を図ったカメラ固定タイプ(型番PSM-03)、更に赤外カメラを内蔵したタイプ(型番PSM-04)の外観を示す。PSM-02は前報で報告した装置であるが、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とした。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⁴⁾。

このため容器は厚さ10mm程度の金属製になっており、そのままでは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、発泡金属と一部が開口した薄板を組み合わせることで、音は伝わるが火炎は通過しない音響窓を開発した⁵⁾。



カメラ可動タイプ内蔵 (PSM02) カメラ固定タイプ内蔵 (PSM03) 赤外カメラ内蔵 (PSM04)

写真1 開発した複合監視装置

PSM-02の重量は単体で約13kg、三脚等と合わせると20kg近くになり重いことから、高所や長距離の移動は重労働であった。そこで、搭載するカメラ仕様を限定し、複合監視装置の軽量化を図るために容器の形状を見直した。従来のPSM02の容器形状が直方体であったのに対して、PSM-03は円筒形と直方体を組み合わせた形状とした。これにより、爆発した場合の圧力が容器内に均等に加わるようにし、容器の厚さもPSM-02よりも薄くすることが可能となり、その結果、装置重量が従来の13kgから9kgと軽量化に成功した。また、耐荷重10kg未満の三脚が使用できるようになったので、軽量の汎用品を利用することにより本体と三脚の重量が10kg程度となり、一人での運搬が容易となった。

また、表1にこれら一連の複合監視装置の仕様を示す。PSM-02は、2つのタイプのマイクロフォン付カメラを内蔵しており、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置いている。タイプ1のマイクロフォンは周波数8kHzまでの音が取れるので、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°はおおよそ人間の視野に相当する。PSM-03は、可視光カメラ・水素火炎可視化カメラのうちから一つを選んで搭載することが可能であり、PSM-04は赤外線カメラを搭載している。

表1 複合監視装置の仕様

型番		PSM-02		PSM-03		PSM-04
用途		製油所監視		製油所監視	水素ステーション監視	製油所監視
カメラ	カメラ種類	可視光カメラ (タイプ1)	可視光カメラ (タイプ2)	可視光カメラ	水素火災検知 カメラ (近赤外線)	赤外線カメラ
	画像解像度	640×480	640×480	2032×1920ドット	2032×1920ドット	320×240
	ナイトビュー	1ルクス<	0.09ルクス<	0.05ルクス<	0.05ルクス<	—
	ズーム	なし	42倍 (光学21倍、 デジタル2倍)	18倍 (光学18倍)	18倍 (光学18倍)	なし
	回転機能	なし	水平回転:0 ~102° 垂直回転: -45~+8°	なし	なし	なし
マイク	周波数帯域	~8kHz	300Hz~ 3.4kHz	300Hz~3.4kHz	なし	なし
ガスセンサ	対応ガス	メタン、LPG エタノール、 メタノール アンモニア	メタン、LPG エタノール、 メタノール アンモニア	メタン、LPG エタノール、メ タノール アンモニア	なし	なし
重量		13kg		9kg		
外形		320W×230H×200D		205W×205H×250D (アンテナ長:120mm)		
使用環境		0~40°C				

監視システムは図1に示すように、複合監視装置・防爆無線器・モニターPCから構成され、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⁶⁾。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く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自動で検知できるようにした。

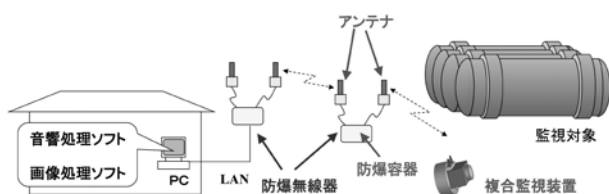


図1 監視システム構成

3. 更なる異常検知技術の向上

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。その検知技術として、前報では音響処理により音を伴ったガス漏洩の検知技術および画像処理により白煙を伴った油漏洩の検知技術を紹介した。今回は、複合監視装置に搭載したガスセンサにより早期にガス漏洩を検知する技術と赤外線カメラの使用による油蒸気の漏洩を検知する技術を開発したので紹介する。

3.1 ガスセンサによる早期のガス漏洩検知³⁾

(1) 実験方法

図2に、複合監視装置PSM-03に内蔵したガスセンサによるガス検知実験の装置構成を示す。密封された透明な樹脂チャンバー内にPSM-03を収納し、接触燃焼式ガスセンサの電圧出力トレンドをモニター用PCで測定した。

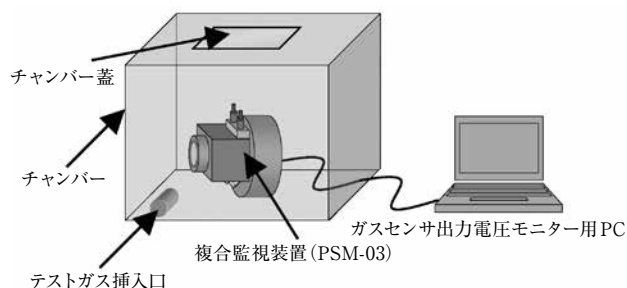


図2 ガスセンサ検知実験の装置構成

(2) 実験結果

図3に実験結果を示す。横軸は測定時間、縦軸はガスセンサからの出力電圧である。ガスセンサは検知したガス濃度が高くなるにつれて出力電圧が小さくなる物を使用した。本実験では、樹脂チャンバー内のメタンガス濃度が5,000ppmになるようにメタンガスを注入した。なお、メタンガスの爆発下限界濃度は5.0%(50,000ppm)であるので、このメタンガス濃度5,000ppmは爆発下限界の1/10と非常に薄い濃度である。

実験結果から複合監視装置内のガスセンサ前面に設置したファンを使用しない場合、チャンバー内にメタンガスを入れてもほとんどガスセンサの出力電圧は変化しなかった。これは、チャンバー内の空気は静止しており、複合監

視装置内にメタンガスが入っていかなかったためである。これに対し、ファンを使用することによって複合監視装置内にメタンガスが吸引されて濃度が増加することにより、ガスセンサの出力電圧が低下し、500秒ぐらいで出力電圧が0V近くまで低下した。その後、チャンバーの蓋を開けると、チャンバー内のガス濃度が低下するとともに出力電圧が徐々に高くなった。これらにより、チャンバー内のガス濃度を複合監視装置に内蔵したガスセンサでモニターできることがわかった。なお、ガスセンサからは所定の測定電圧以下になると警報を出すことができ、本実験ではこの設定を1Vとした。この電圧はガス濃度4,000ppmに相当する。以上のように、ガスセンサの前面にファンを設置する事で、ガス漏洩を早期に検知できる技術を開発した。

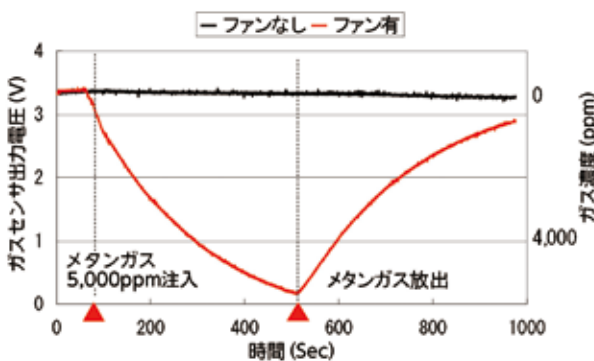


図3 ガス検知実験結果

3.2 赤外線カメラによる油蒸気発生検知

(1) 実験方法

図4に、赤外線カメラを搭載した複合監視装置 PSM-04 を使用し、油蒸気を検知する実験の装置構成を示す。油のサンプルとして製油所で生産された軽質ガソリン留分（沸点範囲：30℃～100℃）を使用した。100ml ビーカーにサンプルを 50ml 程度入れ、500ml ビーカーを湯煎として使用し、サンプルをドラフト内において 60℃程度に温めた。複合監視装置からの赤外画像は、製油所監視用に開発した複数画面を表示できるソフトウェアを使用してパーソナルコンピュータ内に保存した。保存された赤外画像について、前報で報告した白煙検知手法（図5）による画像解析を実施した。

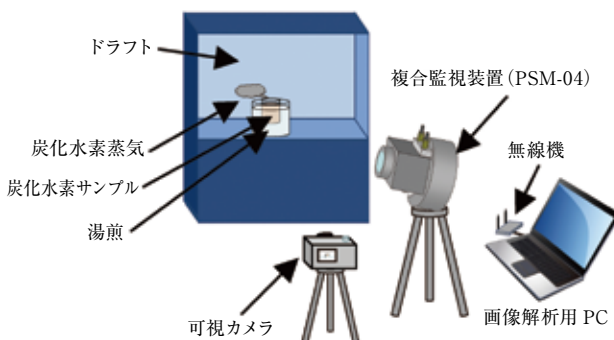


図4 ガスセンサ検知実験の装置構成



図5 白煙検知手法

(2) 実験結果

図6にビーカー上部から発生した油蒸気の赤外画像を示す。比較のために可視画像も示す。湯煎として使用した500ml ビーカーの開口部は包装用フィルムで覆い、水蒸気の映り込みを無くした。図6②の可視画像では油蒸気発生を捉えることができなかったが、図6①の赤外画像ではビーカー上部に油蒸気（薄緑色）の映像が撮影された。また、図6①の赤外画像では湯煎の前に赤外線を遮断する物体を置き、サンプルを入れたビーカー上部を撮影した。この赤外線画像（カラー画像）を白黒画像に変換し、図5で示した画像処理を実施した。図7に示すように、二値化^注した油蒸気の画像を抽出することができた。表2に図7中の二値化画像1と二値化画像2の白色部分の画素数を計測し、それぞれの画素数 S1 と S2 の比を白煙検知パラメータ r として計算した。白煙が発生していない時の白煙検知パラメータの値は0であるが、本結果では0.37となった。白煙検知パラメータのしきい値を設定することにより（例えば0.1）、油蒸気の発生を検知できる技術を開発した。
^注濃淡のある画像について、各画素の値がしきい値を上回っていれば白、下回っていれば黒の2階調に変換する処理



図6 軽質ガソリン蒸気の撮影結果



図7 赤外画像を白煙検知処理した結果

表2 白煙検知処理による検知パラメーター値

二値化画像1(画素数: S_1)	194
二値化画像2(画素数: S_2)	72
検知パラメータ: $r = S_2/S_1$	0.37

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・臭覚を代替した複合監視装置によって異常を自動で検知できる技術を開発した。

- ① 軽量化した複合監視装置 PSM-03 および赤外線カメラを搭載した PSM-04 を新たに開発した。
- ② 監視装置内のガスセンサ前面にファンを組み込むことにより、早期にガス漏洩を検知できる技術を開発した。
- ③ 複合監視装置 PSM-04 で監視した赤外画像を画像解析することにより、油蒸気の発生を検知できる技術を開発した。

今後も、異常検知技術をさらに高度化させ、製油所の安全性向上に寄与していく。

— 参考文献 —

- 1) 後藤治久 ;ENEOS Technical Review,55,1,14 (2013)
- 2) 後藤治久 ;配管技術 ,10,36 (2013)
- 3) 後藤治久 ;アロマティックス ,67, 秋季号 ,1 (2015)
- 4) 公益社団法人) 産業安全技術協会編 ;防爆構造電気機械器具 型式検定ガイド
- 5) 特許第 5271292 号 (JX エネルギー、IDEC 共願)
- 6) 特許第 4361034 号 (JPEC、JX エネルギー共願)