

報 文 3

水素ステーションの安全性向上に向けた 水素火炎検知技術開発

中央技術研究所 燃料研究所 MA 技術グループ ごとう はるひさ
後藤 治久



1. はじめに

燃料電池自動車は水素を燃料としており、車両からは水のみを排出するクリーンな乗用車である。水素ステーションは、この燃料電池自動車に水素ガスを供給する施設である。当社は、これまでに水素ステーションの実証事業を行い、技術面・運営面のノウハウを蓄積してきた。2014年12月には商用水素ステーションの1号店を開所し、また2014年度内に1号店を含め合計11カ所を開所する予定であり、今後も商用水素ステーションを展開していく計画である。

燃料電池自動車への水素ガスの供給圧力は70MPaであるが、万が一、高圧の水素ガスが漏洩し、静電気等で水素ガスが着火した場合、燃焼した水素火炎は無色透明で、肉眼で確認することは困難を伴う。また、一旦水素ガスが燃焼してしまうと水になってしまうため、ガスセンサでは漏洩が検知できなくなる。水素の火炎検知装置は、高圧ガス保安法の例示基準にて水素ステーションへの設置が義務付けられており、水素ステーションの安全装置の一つとして不可欠である。火炎検知装置にはいくつかの方式があるが、現在、指向性や火炎選択性に優れた紫外線式が用いられている。

一般にこの紫外線に感度のある火炎検知装置は単体の検出素子を使用している。単体素子での監視では、視野全体の光量だけを測定しているため、火炎発生は検知できるが位置をピンポイントで特定することはできない。一方、水素火炎は近赤外線でも発光しており、近赤外線まで感度を持たせた汎用のデジタルビデオカメラを火炎検知装置とすれば、この映像から火炎発生位置を特定できる。

本報では、新たに開発した近赤外線の波長帯域を使用して水素火炎を検知できる軽量型の複合監視装置について報告する。

2. 新規に開発した複合監視装置

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きた。本装置は人間の五感の内、視力・聴力・臭覚を代替できることから複合監視装置と称している¹⁾。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からなり、複合監視装置はデータを無線で通信することができるため電源さえあればどこでもすぐに監視できる。この装置容器は、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。これは着火源となる電気機器を全閉構造の容器に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²⁾。このため容器を厚くする必要があり、従来開発した複合監視装置(型番PSM-02)の重量は約13kgとなった。重量が重いことから、高所や長距離の移動は重労働であった。また、装置重量が10kgを超えているため、三脚には大型の物が必要であり、装置の移動は、二人がかりか、もしくは一人で2往復していた。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った。

軽量化のために容器の形状を見直した。従来の複合監視装置(PSM-02)の容器形状が直方体であったのに対して、新規の複合監視装置(PSM-03)では円筒形と直方体を組み合わせた形状とした(写真1)。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なり、容器厚さを従来よりも薄くできた。また、搭載するカメラも従来の回転機能を外して固定型に変更し小型な物にした。その結果、装置重量が従来の13kgから9kgと軽量になった。また、三脚の耐荷重も10kg未満となったので、持ち運びしやすい汎用品が使用できるようになった。更に、製油所監視用に開発したPSM-03の防爆性能では水素ステーションで使用できなかったため、新たに水素ステーションで使用できる防爆性能の複合監視装置(PSM-03H2)を開発した(表1)。

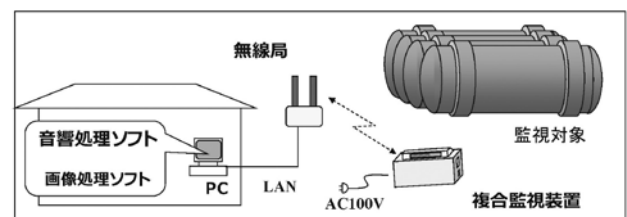


図1 監視システム構成



写真1 軽量化した複合監視装置

表1 当社の複合監視装置の仕様

型番	新規開発装置 (PSM-03)		従来装置 (PSM-02)
用途	水素火災検知	製油所監視用	
カメラ	画像解像度	2032×1920ドット	640×480
	ナイトビュー	0.05ルクス～	0.09ルクス～
	ズーム	18倍 (光学18倍)	42倍 (光学21倍、デジタル2倍)
	回転機能	なし	水平回転:0~102° 垂直回転:-45~+8°
マイク	周波数帯域	なし	300Hz~3.4kHz
ガスセンサ	対応ガス	なし	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	
重量	9kg		13kg
外形	205W × 205H × 250D (アンテナ長:120mm)		320W × 230H × 200D
使用環境	0~40℃		0~40℃
	45~85%		45~85%

3. 水素火災の可視化

当社では、水素ステーションでの水素漏洩や水素火災発生を早期に検知できる技術開発を実施してきた³⁾。新規に開発した複合監視装置による水素火災検知を検討するために、実際の水素ガスを燃焼させて水素火災を発生させる実験を行った。水(H₂O)や二酸化炭素(CO₂)等の異なる分子から構成されたガスが、高温になって分子振動が激しくなると、共鳴放射と呼ばれるガス特有の波長で発光する。水素の燃焼で高温の水蒸気が生成されると、OH基の振動に対応する930nm付近にピークのある近赤外線が放射される(図2)。汎用のネットワークカメラの撮像素子であるCMOSイメージセンサはおよそ1100nmの光波長まで感度がある。これに対し、人が感知できる可視光線はおよそ780nmまでの光であるため、ネットワークカメラではこの780nm以上の光を通さない赤外線カットフィルターを設けている。本装置では、この赤外線カットフィルターを外し、水素火災の可視化を図った。

写真2に実験室内において、一般の可視デジタルカメラと本装置で撮影した水素火災を示す。可視デジタルカメラでは水素火災はほとんど見えなかったが、本装置では明瞭に水素火炎を見ることができた。

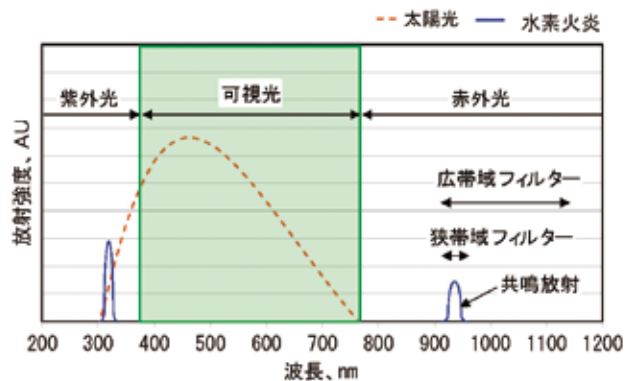


図2 太陽光と水素火炎の放射スペクトル、及び使用したバンドパスフィルターの透過波長帯域のイメージ図

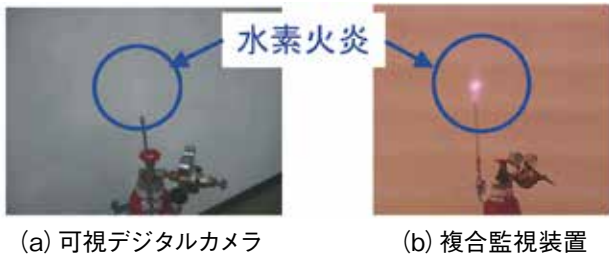


写真 2 水素火炎の撮影画像

4. 水素火炎可視化の改良

写真 3 に日中の屋外で本装置により水素火炎を撮影した画像を示す。背景の白系のスレートから太陽光が反射して、水素火炎の映像を確認できなくなることがわかった。太陽光の影響を少なくするために、太陽光は極力透過せず、水素火炎からの光を透過するバンドパスフィルターを設けることが考えられる。一方、バンドパスフィルターの透過波長帯域幅が狭いと、フィルターを透過する光量が少なくなり過ぎて、背景にある構造物の映像が見えなくなることが懸念された。そこで、図 2 に示した狭い帯域 (925 ~ 935nm) と比較的広い帯域 (930 ~ 1120nm) を透過する 2 種類のバンドパスフィルターで水素火炎を撮影し、映像を比較した。

写真 4 にそれぞれのバンドパスフィルターを通した水素火炎の映像を示す。写真 4 (a) より狭帯域のバンドパスフィルターを使用することで水素火炎の映像も改善され、背景の構造物も問題なく確認できることがわかった。また、本



写真 3 日中の屋外での水素火炎撮影画像

装置の映像を定期的に保存して常時監視すれば、ステーションの防犯にも寄与できると考えられる。

5. 水素火炎検知の機械化

水素ステーションに複合監視装置を設置しても、運転員が常に映像を監視して、異常を検知することは難しいと考えられる。そこで、本複合監視装置で得られた画像をパーソナルコンピュータで画像処理することにより、水素火炎発生を機械的に検知させることとした。

図 3 に水素火炎発生検知の原理を示す¹⁾。水素火炎は火炎周辺の空気が揺らぐことにより、火炎形状も時間変化する。その形状を監視画像の時間差分を取ることで抽出した（これを差分画像と呼ぶ）。更に、水素火炎は水素ガスが漏洩した場所を起点（同じ位置）として発生していることから、2 つ以上の時間差分画像を重ね合わせて、同じ位置で信号がある画素数を計測し、しきい値以上の場合に水素火炎が発生したと判定させた。

図 4 に水素火炎を検知したソフトウェア画面を示す。右上が本装置からの生画像であり、下の 2 画像が時間差分をとった後に 2 値化*した画像である。図中に水素火炎の映像を○で示した。同じ場所に信号があった画素数を計測することで、水素火炎発生を検知できた。

*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

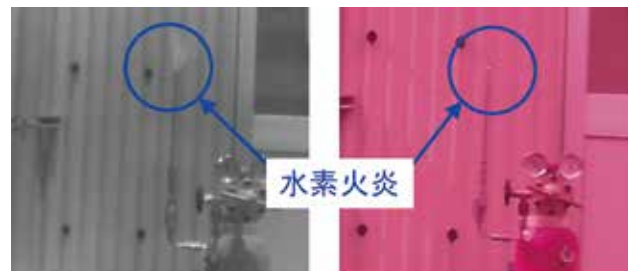


写真 4 バンドパスフィルターを通した水素火炎撮影画像の比較

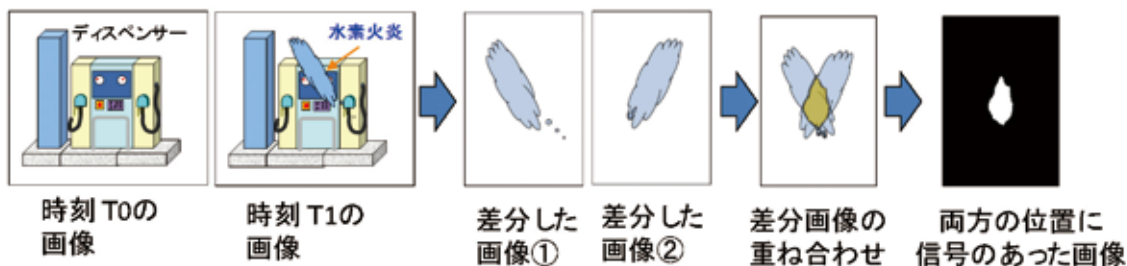


図 3 水素火炎発生検知の原理



図4 水素火炎発生検知ソフトウェア画面

6. 水素ステーションでの監視に向けた取り組み

本装置を水素ステーションに設置して運用した場合においても、本装置が正常に稼働しているかどうかを定期的にチェックする必要がある。安全面から水素ステーションで水素火炎を発生させることはできないので、水素火炎を模擬する装置を製作した。水蒸気の共鳴放射波長と同じ930nmに中心波長のある発光ダイオードを使用し、発光ダイオードの前面に樹脂カバーを設け、発光面積を増やした装置を模擬水素火炎とした。開発した模擬水素火炎装置を使用して、本監視システムの動作テストを実施した。図5にその結果を示す。模擬水素火炎装置を火炎が揺らぐようにゆっくりと手で動かすことにより、差分をとった画像により模擬水素火炎映像を抽出でき、水素発生と判定された。これにより簡便に水素ステーションで本監視システムの動作テストができる。



図5 模擬水素火炎装置による検知実験

7. まとめ

水素ステーションの安全性を向上するために開発した水素火炎検知システムは、従来より軽量小型安価な複合監視装置と監視モニター用PCから構成される。この複合監

視装置に搭載するカメラは赤外線カットフィルターを外し、OH基からの共鳴放射波長の光を透過する狭帯域のバンドパスフィルターを設けた。複合監視装置の映像から以下の画像処理を実施して水素火炎を機械的に検知できた。

- ①異なる時間の画像の差分をとって水素火炎映像を抽出する。
- ②複数の水素火炎映像を重ね合わせる。
- ③両方の位置で信号がある画素数を計測する。
- ④上記画素数がしきい値以上の場合に水素火炎発生と判定する。

今後は、水素ステーションへ展開していくために、実証化テストを実施する。

－ 引用文献 －

- 1) 後藤, “複合監視装置による異常検知技術の開発”, 配管技術, No.10, pp36-39 (2013)
- 2) 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
- 3) 特許第 4676867 (JX日鉱日石エネルギー)