

オイルリークモニタとそのセンシング

瀧本 英敏^{*1} 奥田 敦司^{*2}
 Takimoto Hidetoshi Okuda Atsushi

1. 緒言

近年、国土交通省の発表によると一級河川の水質事故の原因は油に起因するものが多く、その要因として一般家庭での暖房用や燃料油などを誤って下水道や農業用水路に流してしまう事故に始まり、大規模な貯油施設や工場での漏油事故、乗用車や燃料輸送用タンクローリーによる川への転落事故、等が挙げられている。

このような事故が起こると、水環境に重大な影響を及ぼす。環境保全に対する国民の意識は非常に高まっており、油漏れ事故は周辺に対する環境汚染だけでなく企業イメージ、企業価値の低下を招く状況となっている。そのため、市町村や企業自体も排出基準を独自に設定し管理するようになってきている。

また、工業用水を河川から取り込んでいる事業所でも、汚染された水により設備に損傷被害を受けるリスクを抱えている。

このようなリスクを回避するためにも、油漏れや油の混入を一刻でも早く検知できる装置が要求されようになった。

これまでの油漏れ検知装置は、河川や湖沼へ流される排水に油類が混入していないことを確認する「環境保護」を目的としていたが、燃料貯蔵設備やこれに付帯する配管設備の継ぎ手部などから

漏れた燃料を一刻でも早く検知し、二次的に発生する可能性のある火災や爆発事故を未然に防ぐための「安全」を目的とする要求も高まっている。

これらの状況に応えるべく、多種多様な方式の漏油検知装置が販売されている。本稿では各種の漏油検知方式の概要を示すとともに当社が開発・製造・販売し、各方面で広く採用されている光ファイバを利用したオイルリークモニタ (Oil Leak Monitor) を紹介する。図1に設置場所の例を示す。



図1 暮らしを見張る環境対策機器

2. 漏油検知センサ

油類や有害物の漏洩を防止するためには、設備の点検を頻繁に行い、万一の漏洩を迅速に察知す

*1: 制御システム事業部 副事業部長

*2: 制御システム事業部 製造部 生産管理グループ 次長

るために人手を使っでの 24 時間監視には限界があるため、その環境に適した手段が必要となる。

水面に浮かぶ油、水中に漂う油（オイル・ボール、混濁油、等）、地面・床に流れてくる油などを検出する代表的な方式として、次のようなものが挙げられる。

2.1 静電容量式

検知器には、複数の電極が取り付けられており、電極の先端が水面に接して浮いている。

検知器は、高周波発振回路、交流ブリッジ回路および定電圧電源回路で構成されていて、水面の電極間に油が流入すると電極間の比誘電率が変化するため交流ブリッジ回路のバランスが崩れ、これによって生じた電流変化を計測し静電容量として捉える。この静電容量値が所定の閾値を超えたとき「油あり＝油漏れ発生」と判別し、警報を出力する。

2.2 誘電率式

基本原理は、静電容量式と同じものと考えてよく、電極面積と距離が既知の値としてわかっているとき、電極間の静電容量を計測することにより電極間にある水なり油の持つ比誘電率を知ることができる。

水の比誘電率は、油などとは大きな差があり、比誘電率が所定の閾値以下（静電容量値の場合は、大きくなる）になったときに「油あり」と判別し、警報を出力する。

2.3 抵抗式

検知器（センサ制御部）、センサと終端器から構成されており、ドライ環境下において導電性を持つ液体の漏れを検知する。

センサは、平行に配置された 2 本の導体ケーブルの間に油を吸収する多孔質樹脂材を挟んだ形で形成されており、この電極間の抵抗を測定し監視

している。

導電性のある液体が、電極間を短絡すると抵抗が変化し、これを以って「液漏れ」の判別を行う。

油でも導電性の低い絶縁油の計測は難しい。また、不純物が混ざった導電性の高い水の検知を回避するために電極間に配置する多孔質樹脂材として目的の油に合わせた材質を選択する必要がある。

2.4 カメラ（画像）／レーザ

油類の多くは水より軽く、光の反射率は水より大きく、水に油が混入すると水面に油膜となって浮かぶ。水面に特定波長のレーザ光を照射し、水面からの反射光の違いを直接計測するレーザ方式と油膜の蛍光を CCD カメラで計測し画像処理する方式がある。

共に、水位変動、水面の波立ちおよび周囲の外乱光の影響に対応すべく改良・工夫が行われている。

2.5 光ファイバ（散乱光計測）

光ファイバの構成分子には微小な密度ムラがあり、入射された光が分子にあたるとレイリー散乱光（光が分子にぶつかったときに四方八方に散らばる現象）が生じ、光ファイバごとに反射強度や波長が異なる固有特性を持っている。

そして、光ファイバの途中に歪みを加えると、その位置だけ、反射光の波長にズレが生じる現象を利用して「油漏れ」を検知している。

油分を吸収する多孔質樹脂がコーティングされた光ファイバにおいて、コーティング樹脂が油分を吸収すると、その部位が膨張して光ファイバに歪みが与えられることから、この歪みによって発生する波長ズレの変化を計測して「油漏れ」を判別している。

なお、油分を吸湿した多孔質ポリマー樹脂を被った光ファイバは、その都度、交換する必要がある。

2.6 光ファイバ（漏れ光計測）

光ファイバは、入射された光を外部に漏らすことなく最小限の減衰で伝達することを目的としているが、ここでは、ファイバの表面に屈折率の異なる物質（ここでは油類などの液体）が付着すると光が漏れ出す現象を利用したのが、IHI 方式の OLM（Oil Leak Monitor）である。

3. 光学式漏油検知器（OLM）

OLM は、オイルショック以後に作られた石油の岩盤備蓄施設において地下水への影響を懸念して、施設近傍に井戸を設け、油が混入していないことを確認するため開発されたのが始まりである。

その後、IHI グループで製作される大型プラントでの利用に留まっていたが、2006 年「絶縁油の油漏れ監視器」として改良開発したのを機会に、一般に販売を開始したのが現在の製品群である。

水処理水槽、河川や湖沼などで水に浮かべるタイプ、自家発電設備および配管、変電設備、油圧機械、等の直下に置く無水タイプ（図 2）、検知対象となる油の種類に応じた形状を持つタイプなど進化しており、第 34 回優秀環境装置表彰において「日本産業機械工業会会長賞」を受賞している⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

微量でも、わずか 12 秒という高速検知が可能で、防爆仕様も含めた小型のセンサを提供している。

3.1 OLM の原理

光学式漏油検知器 OLM の鍵となる光ファイバの表面での光の動きについて図 3 により説明する。

光ファイバに入射された光は広がるため、斜めに進んで表面に到達する。一般に斜めに入射された光は、屈折率の異なる物質の境界で反射する光（反射光）と、進行方向を変えながら境界を通過する光（屈折光）とに分かれる。

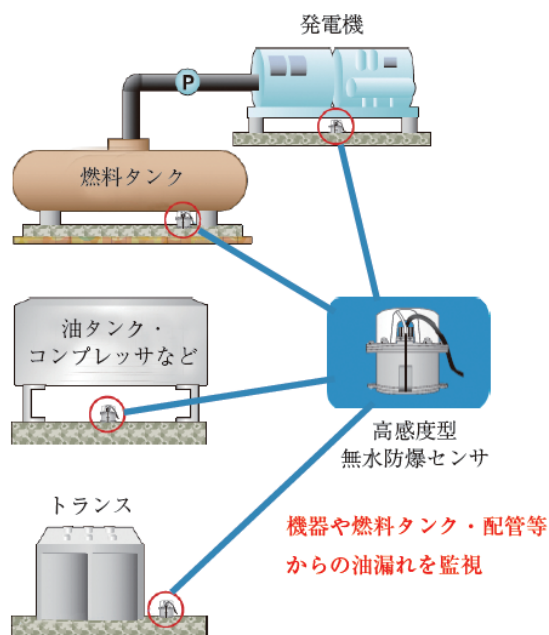


図 2 運用・設置イメージ

光が屈折率の高い物質から低い物質へ進むとき、ある角度より大きな角度で、つまり境界に並行に近く入射すると二つの物質の境界で全てが反射されるようになる。この全反射し始める限界の角度は臨界角度と呼ばれ、二つの物質の屈折率と光の波長の組合せで決まる角度である。

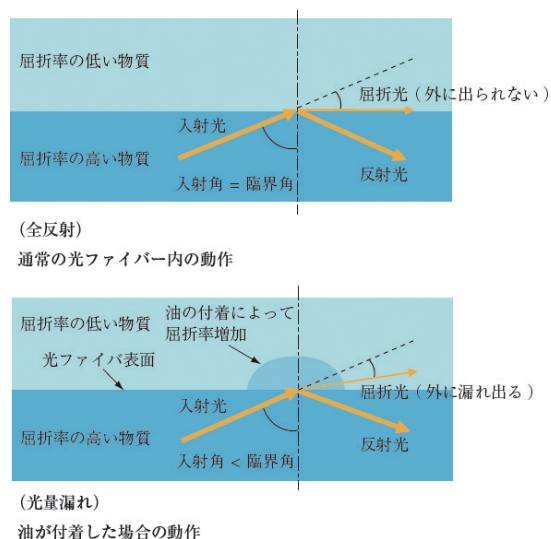


図 3 境界における光の動き -1

この場合、二つの物質とはファイバを構成するガラスやプラスチック（屈折率 1.7 ～ 1.4）とその外側の空気（1.0）となる。

ここで光ファイバの表面に何らかの液体が付着すると、空気より屈折率が高い物質が接触していることになる。そのため臨界角が小さくなり、今まではファイバの中を反射しながら進んでいた光が外に漏れ出るようになる。

その結果、入射させた光の強度に対して出口で受光する強度が低下する。この低下をキャッチすれば、液体がファイバに付着したこと、つまり油の漏れがあったことが検知できる。

OLM は、液体の屈折率が高くて漏れる光の変化量が大いほど、また液体が光ファイバに付着しやすく状態が安定しているほど、検知する感度が高くなる。

そこで、光ファイバの表面に特殊加工を施して信号強度を高くさせたことに独自性がある。

3.2 高感度型無水防爆センサ

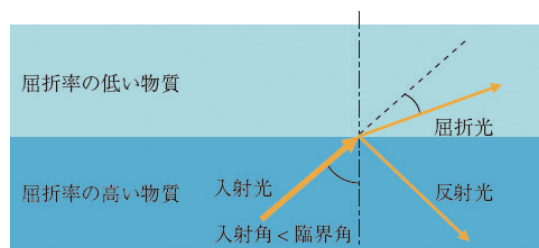
前記のような特徴を持つ OLM であるが、逆にいえば、屈折率が低い油や光ファイバに付着しにくい油を検知することは難しいという課題も持ち合わせていた。

実際、ガソリンは屈折率が低いために検知が困難で、代表的なジェット燃料や、ガソリン、灯油、軽油はファイバに対する付着性が低いために検知できなかった。

ちなみに水は屈折率がより低いのでさらに困難である。しかし、光ファイバを曲げたときに漏れ出す光を利用しようという発想が、この課題を解決させた。

光ファイバを曲げると、その曲がった表面に入る入射角が小さくなる。図 4 に示すように、この曲げたときの半径（屈曲半径）をより小さくして入射角を臨界角より小さくすると、光がファイバ外に漏れ出ていき、さらに小さくすると、漏れ出す光の量は

増えていく。つまり、屈曲半径の大小で漏れは変化していき、屈曲半径の大小で漏れ出す光の量、すなわち感度を増幅、制御できることになる。このファイバに液体が付着すると漏れがさらに増える点は、従来方式と同じ原理による。従来の方式において、屈折率の低い油では漏れ出す光の量が少なすぎて受光量の低下を検知できなかったが、ファイバの屈曲半径を小さくして感度を上げれば、漏れ出す光の量が増えて、その変化を検知できるようになった。



（入射角が小さいとき）

ケロシン燃料等の場合、ファイバからの光量漏れを多くする事で、検知可能になる

図 4 境界における光の動き -2

できてしまえば、原理は至ってシンプルであるが、受光強度の変化を敏感に検知できるようにセンサ形状の改良や、検知機会を増やすために複数の屈曲部を持たせるなどの工夫が加えられている。

現在、この高感度センサは無水環境下でのみの製品であるため無水防爆センサと称しているが（図 5）、水辺でも使用できる機種の構想を進めている。



図 5 高感度型無水防爆センサ

3.3 高感度無水防爆センサの応用

屈曲半径の異なるファイバを有する検知器を複数設置すると、屈折率の異なる油を同時に検知することができる。

つまり、各ファイバへ入射する光量を一定にして、ある量まで光が漏れ出したときに検知信号を出す仕組みにしておくと、屈折率が高い油は光の変化量が多いので屈曲半径が大きい（＝感度の低い）ファイバで検知され、屈折率が低い油は光の変化量が少ないので屈曲半径が小さい（＝感度の高い）ファイバで検知される。

ファイバの屈曲率は、検知したい油の屈折率に合わせて決めればよく、この複数種類の油（液体）を一度に検知できる製品の実用化に取り組んでいる。すでに、水（屈曲率＝1.33）、ジェット燃料（1.4）、潤滑油（1.45）などさまざまな屈折率の液体に対して実証データを蓄積しており、この技術は屈折率がわかっていれば、油に限らずさまざまな液体の検出が可能である。

この点に着目して、食品分野、化学加工品分野などへ適用範囲を拡大した新規センサの開発も検討している。

3.4 自己診断／遠隔監視機能

ファイバ表面に汚れ（検知対象とする油類を除く）が付着することによって光が微量ながら漏れ出す。

これによって検知用光ファイバの出口における受光量が減少するため、減少分を補正し受光量を一定にする機能を備えており、この補正量が所定値を超えたとき「センサ点検」、受光量が所定値以下になったとき「センサ断線」の警報を出力する機能を持っている。

さらに、図6に示すようにセンサを制御する小型監視器にはLAN機能もあり、広い監視エリアに点在するOLMをネットワーク化して運用状態

や漏油の有無を遠隔で集中監視できる。

制御システム事業部では、情報・通信・制御の専門技術に基づいて、さまざまな分野に対するソリューションの提案とシステム構築から運用に至るまでのライフサイクルサービスの提供を行っており、OLMセンサ単体の提供だけに限定せず、周辺設備と一体となったシステムなどを提供し、また、コンサルティング業務も行っている。

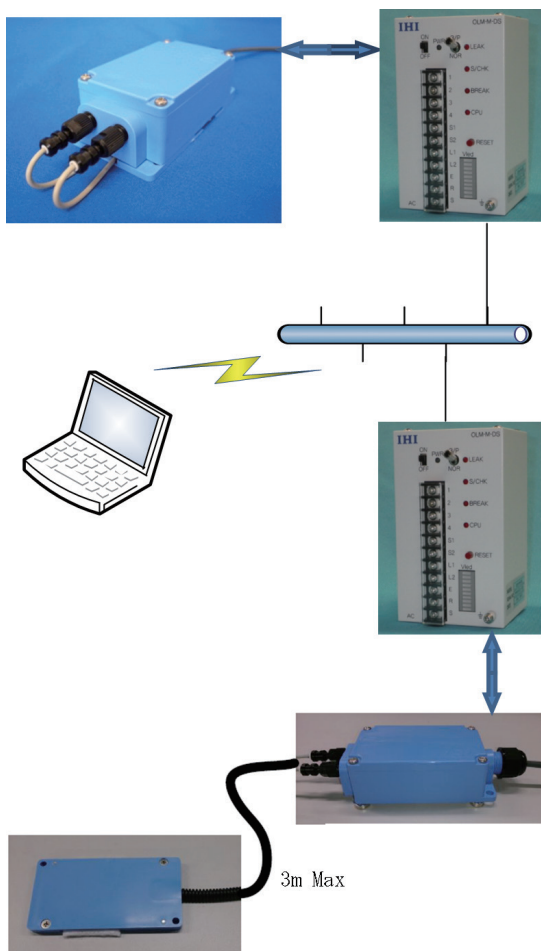


図6 ネットワーク化システム

おわりに

昨今、原発の代替エネルギーとして太陽光発電、風力発電、地熱発電などが謳われているが、これらの設備では油を使った機器が多く使われており、ここで油を外部に流失させる事故があってはならない。非常用発電システム、油圧機構を使った免震ビルなども同様である。また、改正消防法によるガソリンスタンドでの漏油常時監視の義務化など、OLMをはじめとした漏油検出器への要求は益々高くなることが想像される。

「地球環境を保護し、美しい未来をつくる」ことを目標に、これまでに培った技術に加えて柔軟な発想を以って、付加価値のある製品を創出し、社会に貢献していくつもりである。

参考文献

- (1) わずかな油漏れも見逃さない！！：IHI 技報、Vol.52、No.2、2012、pp22-25
- (2) 瀧本英敏：光学式漏油検知器、配管技術 739、Vol.55、No.7、pp52-56
- (3) 特願 2010-090485：光学式油検知器（超音波による汚れ付着防止）、特願 2010-179523：液体検知器及び液体識別システム、特願 2012-15898：風車用漏油検知器



制御システム事業部
副事業部長

瀧本 英敏

TEL. 042-523-8318

FAX. 042-523-8321



制御システム事業部 製造部
生産管理グループ
次長

奥田 敦司

TEL. 042-523-8318

FAX. 042-523-8321