

油膜センサ

金川 直樹 (かねかわ なおき)

増澤 栄一 (ますざわ えいいち)

金井 秀夫 (かない ひでお)

特集

① まえがき

河川の水質汚染事故のうち 70 %以上が油流出によるものと言われている。油の流出は、交通事故による事故車からの燃料・機械油の流出、工場などからの流出、さらには不法投棄によるものまでさまざまな形で発生する。水道水源の約 2/3 を河川に頼っている水事情を考慮すれば、その影響の大きさは容易に想像できる。油流出事故は、河川の近隣住民からの通報や、工場などからの流出報告などにより確認されるケースが多いが、夜間・休日の比較的発見が遅れやすいときに発生した油流出事故は被害が広がりやすい。浄水設備に入り込んでしまった油の除去には、膨大な人手と費用が必要になる。そのため、浄水施設では油が流入するのを極力避けること、あるいは入口近くでくい止めることが不可欠であり、特に流入初期の微量な油を検知できる装置が求められていた。

このような背景のもと、富士電機は浄水施設への油流入の早期発見を目的に「油膜センサ」(図 1)を開発した。油膜センサは、「偏光解析法」(特許取得済み)という手法で、高感度かつ高効率に油膜を検知することができる。

本稿では、この油膜センサの原理と検出感度、フィールドへの適用例、設置方法などを紹介する。

図 1 油膜センサの外観



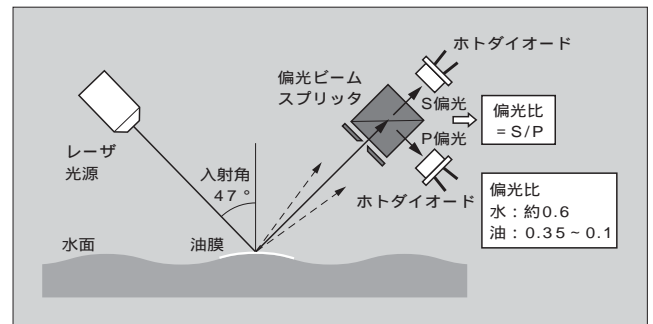
② 油膜センサの測定原理

2.1 偏光解析法による油膜検知⁽³⁾⁽⁴⁾

油膜を検知する方法として、油膜センサの開発にあたり新たに「偏光解析法」という手法を開発した。図 2 に偏光解析法による油膜センサの測定原理を示す。レーザー光を水面に対して斜めから照射する。反射した光は、特定の方位角で振動する偏った光(偏光)となる。この偏光のうち、水面に対して垂直振動成分である P 偏光成分と平行振動成分である S 偏光成分とを偏光ビームスプリッタで分離し、おのおのの光量を専用のフォトダイオードで計測する。S 偏光の光量を P 偏光の光量で除算したものを偏光比と呼ぶ。この偏光比は水と油とでは異なり、水は約 0.6、油類・ポリエチレンなどでは 0.35 ~ 0.1 程度であることから、油膜の有無を判断することができる。

この偏光解析法の大きな特長は、原理的には波立ちの影響を受けにくいという点にある。これは、波立ちの影響などにより反射光の光量が変化しても P 偏光成分と S 偏光成分の比率はほとんど変わらず、偏光比はほぼ一定となることによる。したがって、従来の水面にレーザー光を当ててその反射光の光強度を計測する手法のように、波立ちの影響により反射強度が変化することで感度が低下することがない。また、異物(枯葉、ごみ、新聞紙など)の偏光比は油類の偏光比(0.35 ~ 0.1)とは異なり、水の偏光比約 0.6 に対し 0.6 以上となる。実際に異物をセンサ下部に流し、

図 2 油膜センサの測定原理



金川 直樹

上下水道における電気・計装設備の設計・開発に従事。現在、富士電機システムズ(株)環境システム本部水処理統括部第一技術部。



増澤 栄一

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。現在、富士電機システムズ(株)環境システム本部水処理統括部首都圏技術部主任。



金井 秀夫

水質計(給水水質モニタ、水質安全モニタ、油膜センサ)の開発設計に従事。現在、富士電機システムズ(株)環境機器技術部。

その動作を確認している。表1にその結果を示す。これら異物の影響による誤信号も排除できることが分かる。これらの特長から、安定した油膜の検知が可能となっている。

2.2 油膜センサの出力と判定方法

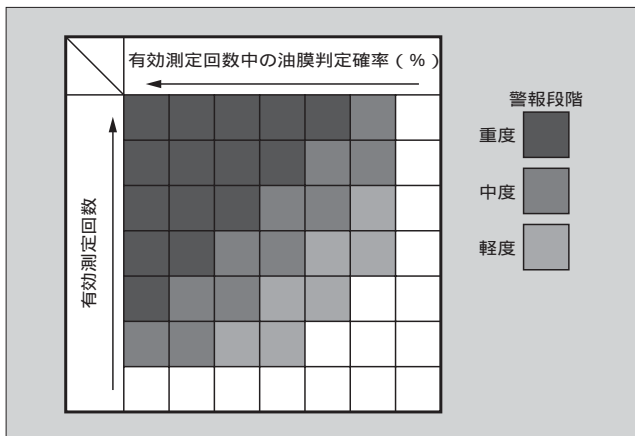
油膜センサは毎秒1回データをサンプリングし、得られたデータをセンサ内で信号処理したのち、随時油膜判定を行い、1分間で最大60個のデータを得ることができる。しかし、油膜センサは水面浮上方式であることから、異物の長期停滞あるいは風などを原因とする本体の揺らぎにより、決まった角度で光が反射せず反射光がホトダイオードに受光できない場合が考えられる。例えば、過去1分間のデータでも最大データ数である60サンプルを取得できない可能性があるということである。そのため、反射光を測定できた有効測定回数という尺度が必要になり、毎秒測定しているデータのうちの有効測定回数とその有効測定回数のうちの油膜判定データ数との解析結果から、最終的に油膜の有無を判定する。そのイメージを図3に示す。警報は接点にて出力し、油膜拡散の程度を推測できるよう、重度、中度、軽度の3段階の警報出力を行う。

出力信号は油警報のほか、反射光が一定時間以上サンプリングできないときに出力される測定不能、レーザ温度が

表1 異物の影響実験の結果

異物	誤動作
古紙	なし
枯葉, 水草	なし
古新聞紙	なし
広告紙	なし
発泡スチロール	なし
アルミはく	なし
白色の古ビニル	なし
透明のビニル (しわがあり古いもの)	なし
透明のビニル (新品)	油膜反応あり 流れることで誤動作なし (内部信号処理)

図3 油膜判定イメージ



コントロールできなくなったときに出力されるレーザ温度異常、またレーザ駆動ができないときに出力されるレーザ切れの3点がある。油膜の有無についての判断は接点出力によるが、参考として偏光比を随時出力するアナログ信号がある。

③ 油膜センサの構造

3.1 油膜センサの外観

油膜センサは先に述べた測定原理を実現するため、決まった角度(水面垂直方向に対して47度)の反射光を取り入れる構造としている。そのため、本体と水面との距離をほぼ一定にする必要がある。検討の結果、水上にセンサ本体を浮かべるフロート式構造とした(図1参照)。

4本の樹脂フロートで本体を水上に浮かべる形態をとっており、大きさはW835 x D835 x H601 (mm)となっている。また、中央のドームは日よけと融雪ヒータを兼ねている。屋根を傾斜させ、ヒータを内蔵させることにより、除雪効果を高めている。本体への積雪があると、雪の重みで水面と本体との距離が維持できなくなり、測定不能状態となることから、積雪量の多い地域ではヒータ容量を増やして対応している。レーザ光源および受光部は、本体下部に向けて設置されている。電子機器はドーム内部の別途設置された筐体(きょうたい)の中に光学系とともに設置されており、この筐体はフロート式であることから防水構造相当としている。

図4 実験用模擬水槽

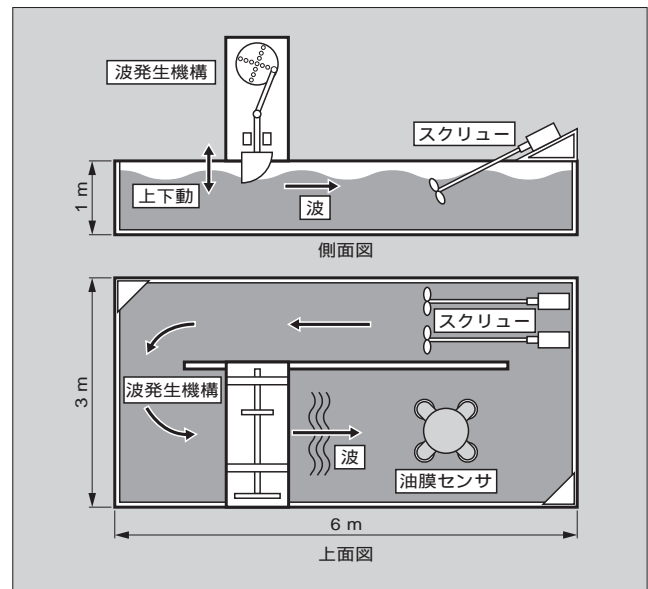


表2 波立ちの影響

波高値	3分間のデータ (10秒ごと)	有効測定回数	有効測定回数中の油判定確率	油膜判定
0 cm	18	15	100 %	
5 cm	18	14	100 %	
10 cm	18	11	100 %	

3.2 波立ちの検証

図4に示す河川を模擬した実験水槽を作成し、波立ちの影響を受けないかどうかの確認実験を行った。実験は水槽に油膜センサを浮かべ、波発生機構にて所定の波を発生させ測定に支障がないかどうかの確認を行った。波の高さは実測可能だが、水面上の油膜の膜厚は直接計測することが困難であることから、油膜の拡散面積を実測し、その実測値と滴下量から計算した。実験水槽に油膜センサを浮かべ、A重油を膜厚0.05 μm 相当となるようセンサ手前で滴下し、偏光比が油膜検知レベルになるか、および最終判定としての「油膜警報」を出力するかを観察した。その結果を表2に示す。波高値が高くなるにつれ、偏光比の測定に影響が出ていることが確認されるが、最終判定としての油膜警報出力には影響がないことを示している。油膜センサは沈砂池入口付近に設置することを想定している。波高値10cm程度ではその影響を受けないということは、実用に耐えることを示している。

なお、波高値0cmのときに3分間のデータ全18データが有効測定回数となっていないが、実験を屋外で行ったため風による影響が出たものと考えられる。

4 検出限界

油膜センサは、その測定原理から油類全般の検出が可能である。表3に油膜センサの主な検出可能油の種類と検出限界膜厚（滴下量と拡散面積からの計算値）を示す。表3の感度は対象となる油を単体で、静水面上に滴下し測定した場合のものである。A重油で0.05 μm 相当の膜厚の場合、目視では注意しないと確認しにくい。油膜センサは目視と同等、あるいはそれ以上の感度を持ったセンサであるといえる。表中、灯油のみ検出限界膜厚が0.2 μm となっているが、これは灯油が揮発し、形成された油膜が計算値よりも薄くなってしまい、測定できるレベルにするためには必要以上に滴下しなければならなかったためと推定される。

5 フィールドへの適用⁽⁵⁾

実フィールドへの適用については、設置環境により油膜センサの設置場所を吟味する必要がある。沈砂池、着水井などの土木構造、取水量、水の流速、屋外環境などにより油膜形成の可否や、発生箇所が取水設備ごとに異なること

表3 主な検出可能油とその感度

油の種類	感度(推定膜厚)
原油	0.05 μm
A重油	0.05 μm
灯油	0.2 μm
劣化絶縁油	0.05 μm
エンジンオイル	0.05 μm

による。油膜は水の流速が低下し、比較的流れの緩やかになる場所に発生しやすい傾向がある。したがって、流速が低下する場所へ設置することが望ましいと考えられる。通常は原水の入口付近から、若干離れた場所が適当と思われるが、先に述べたとおり、その設備に合わせた設置方法や場所の検討が必要になる。

そこで富士電機は、横浜市水道局と2001年10月から1年間にわたり油膜センサの効果的な設置方法に関する共同実験を行った。その結果、油膜センサ設置地点へオイルフェンスで油膜を誘導する方法が効果的な設置方法の一つであることを確認した。

5.1 設置方法の検討

油膜センサは水面上の1点にレーザを照射し、油膜の有無を判断している。そこで富士電機では、オイルフェンスを用いて流入した油膜をセンサ下部へ誘導できないかと考えた。センサのメンテナンスや、沈砂池の構造を踏まえた検討の結果、図5~7のような敷設形態とした。浮き子を油膜に見立て、浮き子がセンサ下部を通過することと、センサ下部での流速が測定に適当である0.1~0.3m/s程度であることを確認した。

5.2 実験結果

実験開始からの6か月間で3回の油膜検知を行った。い

図5 オイルフェンスを使用した設置例

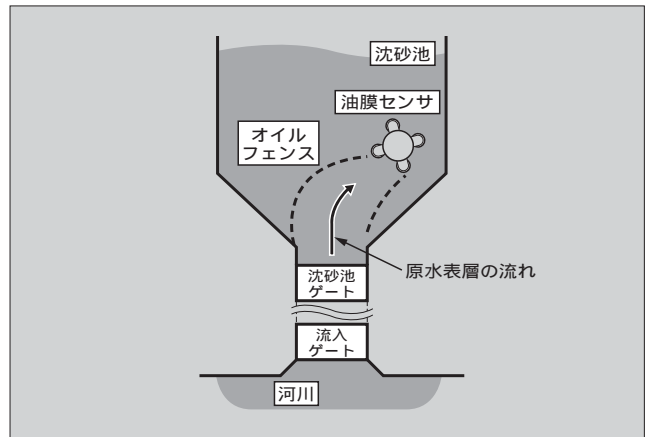


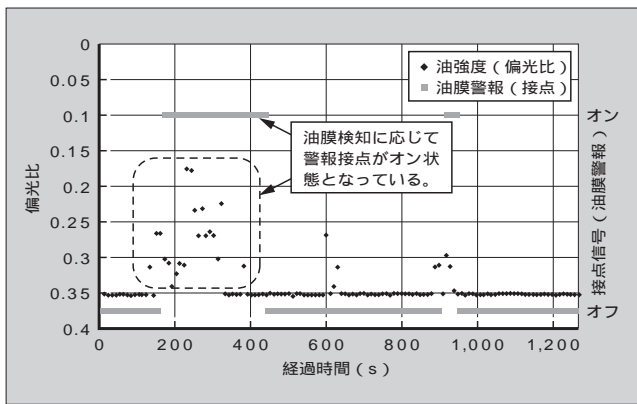
図6 設置場所の全景



図7 油膜センサ付近



図8 シリコンオイル(推定)流入時のトレンド



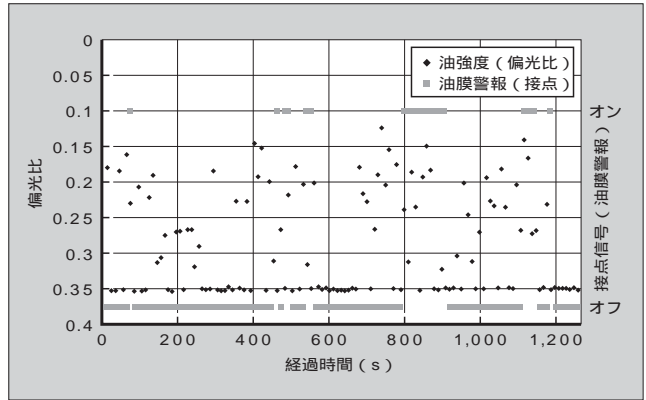
ずれも迅速な対応が取られたため大事には至らなかったが、そのうち1回は目視でも確認でき、シリコン系化合物が検出され、シリコン系オイルが混入していた可能性が確認された。その際のトレンドを図8に示す。

縦軸の偏光比は、0 ~ 0.35で示しているが、偏光比0.35以下はすべて油類の反応に相当する。また、偏光比0.35以上はすべて0.35として扱っており、油膜がない状態では通常0.35となっている。油膜の反応の結果、偏光比が0.35以下となりそれに応じて油膜警報信号が出力されていることが読み取れる。図8のトレンドから、比較的拡散しない状況で油膜が流入してきたと考えられる。そのほか2回分の油膜検知については目視での確認はできなかったが、臭気は確認された。成分分析による油は確認できなかったが、これは今回実験用に設置したサンプリング装置の場所や動作タイミングの影響が考えられる。また、実験終了直後(撤去作業直前)に取水口上流でタンクローリーが横転し油の流出事故が発生したが、3時間後に油膜センサにその反応が現れ、臭気も確認された。そのときのトレンドを図9に示す。この場合は、断続的に比較的長時間にわたり油膜が流入してきたと考えられる。

5.3 考察

1年間の共同実験の結果から、オイルフェンスを用いて

図9 タンクローリー事故発生時のトレンド



油膜を誘導する設置方法は効率的な監視(測定)ができる設置方法の一つであることが確認された。

またこれらの例のように、目視確認や臭気などにより明らかに一定量以上の油流入が確認できる場合は迅速な対応が取れる。しかし、河川では微量の油が流れてくることもある。ごく微量であれば浄水プロセスの中で除去できる場合もあり、重度・中度の警報を油検知、軽度の警報を要監視として取り扱われている例もある。警報レベルの設定については設置場所の水事情に合わせて考える必要があると思われる。

6 あとがき

現状の油膜センサは比較的水流の緩やかな場所、特に浄水設備内に設置されることを想定した構造となっている。そのため、水流が速く降雨などにより水位、水量が大きく変化する河川や、波が大きく、耐食を考慮しなければならない海洋にこのまま設置することはできない。

今後、センサ自身のフロート方法や外装素材、耐食性を検討することで、河川への設置や海洋も含めた船舶の燃料漏れ検知を目的とした適用、最近では廃油を公共下水へ不法投棄する事例も報告されている下水幹線や下水処理場の適用を図り、突発性の水質事故の監視に広く応用されることを期待している。

最後に、本稿への共同実験内容の記載をご快諾いただいた横浜市水道局殿に深く感謝する次第である。

参考文献

1. 日本水道協会編．突発水質汚染の監視対策指針 2002．2002, p.33.
2. 微量油分検知装置．特許第 3447478 号．2003-9-16 登録．
3. 平岡睦久ほか．偏光解析法による油膜センサの開発．第 50 回全国水道研究発表会講演集．1999, p.528.
4. 讃岐育孝ほか．河川及び取水口監視のための偏光解析型油膜センサ．EICA 学会誌．vol.5, no.1, 2000, p167.
5. 金川直樹ほか．油膜センサを用いた浄水場沈砂池における油流入の連続監視．EICA 学会誌．vol.7, no.2, 2002, p.187.

特集



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。