

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6587122号
(P6587122)

(45) 発行日 令和1年10月9日(2019.10.9)

(24) 登録日 令和1年9月20日(2019.9.20)

(51) Int. Cl.		F I		
GO 1 N 21/64	(2006.01)	GO 1 N	21/64	A
GO 1 N 11/00	(2006.01)	GO 1 N	21/64	B
		GO 1 N	11/00	A

請求項の数 19 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2015-114676 (P2015-114676)	(73) 特許権者	501204525
(22) 出願日	平成27年6月5日(2015.6.5)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
(65) 公開番号	特開2017-3303 (P2017-3303A)		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(43) 公開日	平成29年1月5日(2017.1.5)	(74) 代理人	100097113
審査請求日	平成30年5月23日(2018.5.23)		弁理士 堀 城之
		(74) 代理人	100162363
			弁理士 前島 幸彦
		(72) 発明者	篠野 雅彦
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人海上技術安全研究所内
		審査官	嶋田 行志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】油の性状検知方法及び油の性状検知装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

励起光を水上の一領域に照射し、前記一領域内に存在する油が前記励起光を吸収してから発する蛍光を検出することによって、前記油の性状を検知する油の性状検知方法であって、

前記励起光として、一方向に直線偏光した状態でパルス状に発振された光を用い、

前記励起光を前記油に照射することによって前記油が発した光である検出対象光中の前記蛍光における垂直な2方向の偏光成分の強度比としての蛍光偏光解消度の時間経過に基づいて、前記油の粘度を検知することを特徴とする油の性状検知方法。

【請求項 2】

前記油の温度を非接触で計測、あるいは前記一領域内における前記油の周囲の温度を計測し、検知された前記粘度と計測された前記温度に基づき、特定の基準温度における前記粘度を推定することを特徴とする請求項 1 に記載の油の性状検知方法。

【請求項 3】

前記蛍光偏光解消度の時間経過から前記油の種類を推定することを特徴とする請求項 1 に記載の油の性状検知方法。

【請求項 4】

前記蛍光偏光解消度の時間経過のデータを前記油の種類毎に予め取得し、実測された前記蛍光偏光解消度の時間経過と前記データとに基づいて前記種類を推定することを特徴とする請求項 3 に記載の油の性状検知方法。

10

20

【請求項 5】

前記油の温度を非接触で計測、あるいは前記一領域内における前記油の周囲の温度を計測し、実測された前記蛍光偏光解消度の時間経過、前記データ、及び前記温度に基づいて前記種類を推定することを特徴とする請求項 4 に記載の油の性状検知方法。

【請求項 6】

前記油は鉱物油であることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 までのいずれか 1 項に記載の油の性状検知方法。

【請求項 7】

前記 2 方向のうちの一方向は、前記励起光の偏光方向に対応することを特徴とする請求項 1 から請求項 6 までのいずれか 1 項に記載の油の性状検知方法。

10

【請求項 8】

前記励起光の波長を 250 nm から 450 nm の範囲内とすることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 までのいずれか 1 項に記載の油の性状検知方法。

【請求項 9】

励起光を水上の一領域に照射し、前記一領域内に存在する油が前記励起光を吸収してから発する蛍光を検出することによって、前記油の性状を検知する油の性状検知装置であって、

前記励起光として、一方向に直線偏光した状態でパルス状に発振された前記励起光を発する光源と、

前記油が前記励起光で照射された後で前記油が発した光である検出対象光において第 1 の方向に偏光した前記蛍光の成分である第 1 検出光の強度及びその時間経過を検出する第 1 光検出部と、

20

前記検出対象光において前記第 1 の方向と垂直な第 2 の方向に偏光した前記蛍光の成分である第 2 検出光の強度及びその時間経過を検出する第 2 光検出部と、

前記第 1 検出光と前記第 2 検出光の強度比としての蛍光偏光解消度の時間経過に基づいて前記油の粘度を検知する解析部と、

を具備することを特徴とする油の性状検知装置。

【請求項 10】

前記第 1 の方向、前記第 2 の方向の一方は前記励起光の偏光方向に対応することを特徴とする請求項 9 に記載の油の性状検知装置。

30

【請求項 11】

前記励起光の波長を 250 nm から 450 nm の範囲内とすることを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の油の性状検知装置。

【請求項 12】

前記検出対象光を、前記第 1 検出光と前記第 2 検出光とに分岐して出力する偏光ビームスプリッタを具備することを特徴とする請求項 9 から請求項 11 までのいずれか 1 項に記載の油の性状検知装置。

【請求項 13】

前記偏光ビームスプリッタと前記第 1 光検出部との間、前記偏光ビームスプリッタと前記第 2 光検出部との間にそれぞれ設けられ、前記蛍光の波長の光を透過させ前記励起光の波長の光を透過させないフィルタを具備することを特徴とする請求項 12 に記載の油の性状検知装置。

40

【請求項 14】

特定の油種における前記粘度と前記蛍光偏光解消度の時間経過について予め取得されたデータを記憶した記憶部を具備し、

前記解析部は、実測された前記蛍光偏光解消度の時間経過と前記データとを比較し、前記粘度を検知することを特徴とする請求項 9 から請求項 13 までのいずれか 1 項に記載の油の性状検知装置。

【請求項 15】

前記油の温度を非接触で計測する、又は前記一領域内における前記油の周囲の温度を計

50

測する温度計を具備し、

前記解析部は、検知された前記粘度と計測された前記温度に基づき、特定の基準温度における前記粘度を推定することを特徴とする請求項 9 から請求項 14 までのいずれか 1 項に記載の油の性状検知装置。

【請求項 16】

前記油の種類毎に予め得られた、前記第 1 検出光と前記第 2 検出光から算出された前記蛍光偏光解消度の時間経過のデータを記憶した記憶部を具備し、

前記解析部は、実測された前記蛍光偏光解消度の時間経過と前記データとに基づいて前記油の種類を推定することを特徴とする請求項 9 から請求項 13 までのいずれか 1 項に記載の油の性状検知装置。

10

【請求項 17】

前記油の温度を非接触で計測する、又は前記一領域内における前記油の周囲の温度を計測する温度計を具備し、

前記解析部は、実測された前記蛍光偏光解消度の時間経過、前記データ、及び前記温度に基づいて前記種類を推定することを特徴とする請求項 16 に記載の油の性状検知装置。

【請求項 18】

前記第 1 光検出部及び前記第 2 光検出部として、ストリークカメラが用いられたことを特徴とする請求項 9 から請求項 17 までのいずれか 1 項に記載の油の性状検知装置。

【請求項 19】

前記第 1 検出部によって検出された前記第 1 検出光の強度及びその時間経過、及び前記第 2 光検出部によって検出された前記第 2 検出光の強度及びその時間経過、

20

あるいは、

前記第 1 検出部によって検出された前記第 1 検出光と前記第 2 光検出部によって検出された前記第 2 検出光から算出された前記蛍光偏光解消度の時間経過、

を記憶する実測データ記憶部を具備することを特徴とする請求項 9 から請求項 13 までのいずれか 1 項に記載の油の性状検知装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一領域（探索の対象となる領域）に存在する油の性状（粘度等）を遠方から非接触で検知する油の性状検知方法、油の性状検知装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

例えば船舶等から流出した油（重油、軽油）は水上に浮遊する。こうした油が存在することを検知することは、船舶等の航行の安全上、あるいは環境管理上において重要である。特に、海上においては油を検知すべき範囲は極めて広くなるため、これを遠方から非接触で検出することが必要となる。このため、光を用いて水上の油を検出する技術が提案されている。

【0003】

特許文献 1 には、レーザー光で海上を走査し、油がこのレーザー光（励起光）を吸収してから発する蛍光を検出することにより、海上に浮遊する油を認識する技術が記載されている。ここで、油が発する蛍光を検出するにあたっては、水上や水中における油以外の物体（例えば浮遊生物）も同時に検出されるおそれがあるが、蛍光の波長はこれを発する物質に固有のものであるため、特定の波長の光を透過させるフィルタを用いることにより、油の発する蛍光のみを検出することによって、油を高感度で検知することができる。また、蛍光を発するのに必要な励起光の波長も、物質あるいは蛍光の波長によって異なるため、励起光となるレーザー光の波長を油の検出用に最適化することによって、特に油の検知に対する最適化をすることができる。

40

【0004】

特許文献 2 にも、同様に油からの蛍光を検出することによって油を検知する技術が記載

50

されている。この技術においては、励起光の照射と、励起光を非照射の、2回の撮像を行い、前者の画像データと、後者の撮像の画像データとを差分画像として比較することによって、油の漏洩を輝度の変化に基づいて検出している。

【0005】

また、上記の技術においては、油の発した蛍光を選別するための指針として蛍光の波長が用いられた。これに対し、特許文献3に記載の技術においては、波長だけでなく、油を検知するにあたり、蛍光の偏光も調べることによって、油と他の物質との識別能力を更に高め、被検査体からの油の漏洩を検出している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2000-275135号公報

【特許文献2】特開2011-185757号公報

【特許文献3】特開2007-101228号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上記の技術によって、海上に浮遊する油を高感度で検知することができる。しかしながら、上記の技術によって検知されるのは、検知の時点における水上の油の存在とその分布だけであった。これに対し、船舶等の航行の安全上、あるいは環境管理上においては、油の存在の有無だけでなく、例えばこの油の粘度や種類等（性状）の情報も必要である。しかしながら、上記のいずれの技術によっても、こうした油の性状を認識することは困難であった。また、こうした油の性状を、油と非接触で調べることも困難であった。

【0008】

すなわち、一領域中に存在する油を検知すると共にその性状を遠方から非接触で検知することは困難であった。

【0009】

本発明は、かかる問題点を鑑みてなされたものであり、一領域中に存在する油を検知すると共にその性状を遠方から非接触で検知することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、上記課題を解決すべく、以下に掲げる構成とした。

本発明の請求項1に係る油の性状検知方法は、励起光を水上の一領域に照射し、前記一領域内に存在する油が前記励起光を吸収してから発する蛍光を検出することによって、前記油の性状を検知する油の性状検知方法であって、前記励起光として、一方向に直線偏光した状態でパルス状に発振された光を用い、前記励起光を前記油に照射することによって前記油が発した光である検出対象光中の前記蛍光における垂直な2方向の偏光成分の強度比としての蛍光偏光解消度の時間経過に基づいて、前記油の粘度を検知することを特徴とする。

この発明においては、蛍光における垂直な2方向の偏光成分の強度比（蛍光偏光解消度の時間経過）に基づいて、一領域内に存在する油の粘度が検知される。ここで、この領域は、水上の一領域である。

本発明の請求項2に係る油の性状検知方法は、前記油の温度を非接触で計測、あるいは前記一領域内における前記油の周囲の温度を計測し、検知された前記粘度と計測された前記温度に基づき、特定の基準温度における前記粘度を推定することを特徴とする。

この発明においては、油又はその周囲の温度が計測され、推定された粘度と計測された温度により、基準温度における油の粘度が推定される。油の周囲の温度を計測するためには、非接触式だけでなく、接触式の温度計で温度を測定してもよい。

【0011】

本発明の請求項3に係る油の性状検知方法は、前記蛍光偏光解消度の時間経過から前記

10

20

30

40

50

油の種類を推定することを特徴とする。

この発明においては、上記の方法によって、流出した油の種類が推定される。

本発明の請求項 4 に係る油の性状検知方法は、前記蛍光偏光解消度の時間経過のデータを前記油の種類毎に予め取得し、実測された前記蛍光偏光解消度の時間経過と前記データとに基づいて前記種類を推定することを特徴とする。

この発明においては、上記の油の種類を推定において、油種毎に予め取得された蛍光偏光解消度の時間経過のデータが用いられる。

本発明の請求項 5 に係る油の性状検知方法は、前記油の温度を非接触で計測、あるいは前記一領域内における前記油の周囲の温度を計測し、実測された前記蛍光偏光解消度の時間経過、前記データ、及び前記温度に基づいて前記種類を推定することを特徴とする。

この発明においては、油又はその周囲の温度が計測され、油の種類を推定のためにこの情報も用いられる。油の周囲の温度を計測するためには、非接触式だけでなく、接触式の温度計で温度を測定してもよい。

本発明の請求項 6 に係る油の性状検知方法において、前記油は鉱物油であることを特徴とする。

この発明においては、流出した鉱物油に関する性状が認識される。

本発明の請求項 7 に係る油の性状検知方法において、前記 2 方向のうちの一方向は、前記励起光の偏光方向に対応することを特徴とする。

この発明においては、照射された励起光、あるいはその偏光方向が変わる場合には変わった後の偏光方向が前記の 2 方向のうちの一方向とされる。

本発明の請求項 8 に係る油の性状検知方法は、前記励起光の波長を 250 nm から 450 nm の範囲内とすることを特徴とする。

この発明においては、励起光の波長が 250 nm から 450 nm の範囲内、すなわち、励起光が可視光よりも紫外光側の光とされる。

【0012】

本発明の請求項 9 に係る油の性状検知装置は、励起光を水上の一領域に照射し、前記一領域内に存在する油が前記励起光を吸収してから発する蛍光を検出することによって、前記油の性状を検知する油の性状検知装置であって、前記励起光として、一方向に直線偏光した状態でパルス状に発振された前記励起光を発する光源と、前記油が前記励起光で照射された後で前記油が発した光である検出対象光において第 1 の方向に偏光した前記蛍光の成分である第 1 検出光の強度及びその時間経過を検出する第 1 光検出部と、前記検出対象光において前記第 1 の方向と垂直な第 2 の方向に偏光した前記蛍光の成分である第 2 検出光の強度及びその時間経過を検出する第 2 光検出部と、前記第 1 検出光と前記第 2 検出光の強度比としての蛍光偏光解消度の時間経過に基づいて前記油の粘度を検知する解析部とを具備することを特徴とする。

この発明においては、油が発した蛍光における異なる 2 方向の偏光成分を検出する第 1 光検出部、第 2 光検出部が用いられ、これらの出力の比率（蛍光偏光解消度）の時間経過に基づいて、水上の一領域内に存在する油の粘度が検知される。

本発明の請求項 10 に係る油の性状検知装置は、前記第 1 の方向、前記第 2 の方向の一方は前記励起光の偏光方向に対応することを特徴とする。

この発明においては、照射された励起光、あるいは励起光の弾性散乱光の偏光方向が励起光から変わる場合には弾性散乱光の偏光方向が前記の第 1 の方向、第 2 の方向のうちの一方向とされる。

【0013】

本発明の請求項 11 に係る油の性状検知装置は、前記励起光の波長を 250 nm から 450 nm の範囲内とすることを特徴とする。

この発明においては、励起光の波長が 250 nm から 450 nm の範囲内、すなわち、励起光が可視光よりも紫外光側の光とされる。

本発明の請求項 12 に係る油の性状検知装置は、前記検出対象光を、前記第 1 検出光と前記第 2 検出光とに分岐して出力する偏光ビームスプリッタを具備することを特徴とする

この発明においては、偏光ビームスプリッタによって、検出対象光から、第1検出光、第2検出光が分岐して取り出される。

本発明の請求項13に係る油の性状検知装置は、前記偏光ビームスプリッタと前記第1光検出部との間、前記偏光ビームスプリッタと前記第2光検出部との間にそれぞれ設けられ、前記蛍光の波長の光を透過させ前記励起光の波長の光を透過させないフィルタを具備することを特徴とする。

この発明においては、検出対象光のうち、弾性散乱光（励起光の波長の光）を透過させず蛍光のみを透過させるフィルタ（ロングパスフィルタ）が用いられる。

【0014】

本発明の請求項14に係る油の性状検知装置は、特定の油種における前記粘度と前記蛍光偏光解消度の時間経過について予め取得されたデータを記憶した記憶部を具備し、前記解析部は、実測された前記蛍光偏光解消度の時間経過と前記データとを比較し、前記粘度を検知することを特徴とする。

この発明においては、特定の油種における粘度と前記蛍光偏光解消度の時間経過についてのデータが記憶部に記憶される。油の粘度は、このデータを参照して解析部によって推定される。

本発明の請求項15に係る油の性状検知装置は、前記油の温度を非接触で計測する、又は前記一領域内における前記油の周囲の温度を計測する温度計を具備し、前記解析部は、検知された前記粘度と計測された前記温度に基づき、特定の基準温度における前記粘度を推定することを特徴とする。

この発明においては、油又はその周囲の温度が計測され、解析部は、推定された粘度と計測された温度により、基準温度における油の粘度を推定する。油の周囲の温度を計測するためには、非接触式だけでなく、接触式の温度計で温度を測定してもよい。

【0015】

本発明の請求項16に係る油の性状検知装置は、前記油の種類毎に予め得られた、前記第1検出光と前記第2検出光から算出された前記蛍光偏光解消度の時間経過のデータを記憶した記憶部を具備し、前記解析部は、実測された前記蛍光偏光解消度の時間経過と前記データとに基づいて前記油の種類を推定することを特徴とする。

この発明においては、解析部は、記憶部に記憶されたデータを用いて、油の種類を推定する。

本発明の請求項17に係る油の性状検知装置は、前記油の温度を非接触で計測する、又は前記一領域内における前記油の周囲の温度を計測する温度計を具備し、前記解析部は、実測された前記蛍光偏光解消度の時間経過、前記データ、及び前記温度に基づいて前記種類を推定することを特徴とする。

この発明においては、油又はその周囲の温度を計測する温度計が用いられ、これによって測定された温度に関する情報も、油の種類を推定のために用いられる。油の温度を計測するためには非接触式のものが用いられるが、油の周囲の温度を計測するためには、非接触式だけでなく、接触式の温度計を用いてもよい。

本発明の請求項18に係る油の性状検知装置は、前記第1光検出部及び前記第2光検出部として、ストリークカメラが用いられたことを特徴とする。

この発明においては、蛍光の撮像が可能なストリークカメラが第1光検出部、第2光検出部として用いられる。

本発明の請求項19に係る油の性状検知装置は、前記第1検出部によって検出された前記第1検出光の強度及びその時間経過、及び前記第2光検出部によって検出された前記第2検出光の強度及びその時間経過、あるいは、前記第1検出部によって検出された前記第1検出光と前記第2光検出部によって検出された前記第2検出光から算出された前記蛍光偏光解消度の時間経過、を記憶する実測データ記憶部を具備することを特徴とする。

この発明においては、解析部の代わりに、第1検出光の強度及びその時間経過と第2検出光の強度及びその時間経過、あるいは前記の蛍光偏光解消度の時間経過、を記憶する実

10

20

30

40

50

測データ記憶部が用いられる。

【発明の効果】

【0016】

本発明の油の性状検知方法、油の性状検知装置は以上のように構成されているので、一領域内に存在する油を検知すると共にその性状（粘度や油の種類）を遠方から非接触で検知することができる。この際、蛍光における垂直な2方向の偏光成分の強度比（蛍光偏光解消度）の時間経過に基づいて、この性状が検知されるために、単純な装置構成で性状を検知することができる。

この際、粘度を検知する場合には、油の温度を測定することによって、現在において測定された粘度だけでなく、一般的により有用である、標準温度における粘度を算出することもできる。水上に浮遊する油においては、その油種が予め判明している場合が多いため、この場合には、この油種における上記の強度比の時間経過のデータ、あるいは更にその温度依存性を予め得ておき、これを用いることによって、特に解析を精密かつ容易に行うことができる。

油の種類を検知する場合においても、同様に、油種毎に上記の強度比の時間経過のデータ、あるいは更にその温度依存性を予め得ておき、これを用いることによって、特に解析を精密かつ容易に行うことができる。

この際、油の温度を遠隔地点から直接測定してもよいが、油の温度を直接測定する代わりにその周囲の温度を直接測定してこれを油の温度と推定することができる。この場合には、温度測定が特に容易である。

また、上記の2方向のうちの一つを励起光あるいは弾性散乱光の偏光方向と一致させること、励起光の波長を250nmから450nmの範囲内とすること、によって特に水上の油の蛍光を検出しやすくなるため、水上における検知の精度を特に高めることができる。

また、偏光ビームスプリッタやロングパスフィルタを用いて、第1光検出部が検出すべき光（第1検出光）、第2光検出部が検出すべき光（第2検出光）を検出対象光から容易に取り出すことができる。

また、第1光検出部、第2光検出部としてストリークカメラを用いた場合には、油の撮像（2次元形状の画像データの取得）も行うことができる。

油の性状検知装置が解析部や記憶部を具備する場合には、油の粘度や種類の解析を装置内で行うことができる。一方、解析部や記憶部の代わりに実測データ記憶部を具備する場合には、装置全体を小型・軽量とすることができるため、装置の形態が容易となる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の実施の形態に係る油の性状検知装置の構成を示す図である。

【図2】本発明の実施の形態に係る油の性状検知装置において検出される蛍光の2方向の偏光成分の強度の時間経過を示す図である。

【図3】蛍光偏光解消度の短期的な時間経過の例を油の粘度毎に示す図である。

【図4】蛍光偏光解消度の短期的な時間経過の、より長期的な時間範囲における変動の一例について示す図である。

【図5】鉱物油における粘度の長期的な時間範囲内における変動を油種毎に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明を実施するための形態となる油の性状検知装置（油の性状検知方法）について説明する。この油の性状検知装置（油検知装置）1は、油の存在が探索されるべき領域（一領域）中の油を検出する。この領域は、例えば水上（海上）の領域である。この場合、油の周囲の物質は水（海水）である。この油検知装置においても、特許文献1～3に記載の技術と同様に、レーザー光を励起光として油から発せられた蛍光が検知される。また、特許文献3に記載の技術と同様に、蛍光の偏光に関する情報も利用される。しかしな

がら、蛍光の偏光に関する情報、特にその時間経過より、油の性状（粘度等）に関する情報を得ることができる。

【0019】

図1は、この油検知装置1の構成を示す図である。この油検知装置1においては、レーザー電源部11で駆動されるレーザー発振器（光源）10によって発せられる単色のレーザー光（励起光）100が、検知対象となる油（油層）Sあるいはその周囲の水に向かって発せられる。図1において、油Sは水の上に有るために、油Sの周囲は水となっている。

【0020】

レーザー発振器10はQスイッチ固体レーザーであり、レーザー光100の発振タイミングは、レーザー電源部11によるQスイッチのタイミングで制御され、レーザー光100は、パルス幅が1ns程度のパルスレーザー光である。その発振波長は、油Sの発する蛍光の励起光となりうる波長として適宜選択される。具体的には、油Sが発する可視光の蛍光の励起光としては、可視光よりも紫外光側とされた波長が選択される。この場合に発する油Sの発する蛍光を用いた場合、油Sの周囲の水の発する光との間のコントラストを高くすることができるため、油Sを検知する上では特に有効である。この点については、特許文献1等に記載の技術と同様である。こうしたレーザー光100の波長としては、250nmから450nmの範囲内であることが特に好ましい。この場合の下限250nmは、一般的なYAGレーザーの3倍波(355nm)よりも波長の短い4倍波(266nm)を使用する場合もあるところ、余裕を持たせて設定しているものである。

【0021】

また、ここで発せられるレーザー光100は直線偏光されており、その偏光方向は縦方向であるものとする。

【0022】

このレーザー光100が油Sに照射され、油Sを構成する油分子がこのレーザー光100を吸収し、その後でこの油分子は蛍光を発する。蛍光の波長は、レーザー光100の波長よりも長くなる。集光光学系20は、油Sが発する検出対象光200を受光して十分な強度となるように集光する。集光光学系20としては、レンズを用いた屈折光学系、鏡を用いた反射光学系等、後述するように検出される蛍光の偏光状態が維持されるようなものであれば、任意の構成のものを用いることができる。また、この油検知装置1と同時に例えば特許文献2に記載された技術における撮像装置を同時に使い、油Sにおける特定の箇所が発する蛍光を集光光学系20によって取り出すこともできる。また、油Sからは、油分子が発する蛍光だけではなく、入射したレーザー光100が油分子によって弾性散乱された弾性散乱光も発せられ、こうした弾性散乱光も検出対象光200の中に蛍光と共に混在している。ただし、この弾性散乱光の波長はレーザー光100の波長と等しい。このため、検出対象光200には蛍光と弾性散乱光とが含まれ、これらの波長は異なる。

【0023】

集光光学系20によって強度の高められた検出対象光200は、偏光ビームスプリッタ30に入射する。偏光ビームスプリッタ30は、特定の偏光方向の成分の光を透過させ、これと垂直な偏光方向の成分の光を垂直に反射させる。ここでは、レーザー光100の偏光方向（縦方向）と対応した偏光方向（第1の方向）が後者となるように設定される。このため、検出対象光200のうち、弾性散乱光は偏光ビームスプリッタ30によって垂直方向に反射され、これと垂直な方向（第2の方向）の偏光をもつ光成分は偏光ビームスプリッタ30を透過する。なお、弾性散乱光の偏光方向が、油Sから偏光ビームスプリッタ30に至るまでに変わる場合には、弾性散乱光が偏光ビームスプリッタ30で垂直に反射されるように、偏光ビームスプリッタ30は設定される。以下では、便宜上、偏光ビームスプリッタ30で反射された検出対象光200の成分をS波成分201、偏光ビームスプリッタ30を透過した検出対象光200の成分をP波成分202とする。弾性散乱光の成分はS波成分201のみに含まれP波成分202には含まれないのに対し、後述するように、一般的には蛍光の成分はどちらにも含まれる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 4 】

S波成分201は、ハーフミラー31で2分割される。分割されたうちの一方の成分（ハーフミラー31を透過した成分）は、モニター用光検出部41で検出される。分割されたうちの他方の成分（ハーフミラー31で反射された成分）は、特定の波長よりも長い波長の光を透過させるロングパスフィルタ（フィルタ）32を透過した第1検出光201Aとなり第1光検出部42で検出される。また、P波成分202も、前記と同様のロングパスフィルタ32を透過した第2検出光202Aとなり第2光検出部43で検出される。

【 0 0 2 5 】

モニター用光検出部41、第1光検出部42、第2光検出部43としては、パルス光を高感度で受光してこれに応じたパルス出力をすることができる光検出器として、例えば光電子増倍管が用いられる。また、前記の通り、油Sの発する蛍光の波長は、励起光となるレーザー光100の波長（弾性散乱光の波長）よりも長くなるため、ロングパスフィルタ32は、油の蛍光がこれを透過し弾性散乱光がこれを透過しないように設定される。

【 0 0 2 6 】

上記の構成により、モニター用光検出部41によって検出対象光200における弾性散乱光の強度をモニターすることができる。検出対象光200における蛍光のうち、弾性散乱光あるいはレーザー光100と同一の偏光方向をもつ成分である第1検出光201Aの強度を、第1光検出部42によってモニターすることができる。また、検出対象光200における蛍光のうち、弾性散乱光あるいはレーザー光100と垂直な偏光方向をもつ成分である第2検出光202Aの強度を、第2光検出部43によってモニターすることができる。なお、各光検出部で検出される光においては、各光検出部に至るまでの光路が異なるために、実際には、各検出部の検出出力に補正係数を掛けることによって、各々の光の強度が算出される。

【 0 0 2 7 】

モニター用光検出部41の出力（E信号）、第1光検出部42の出力（FS信号）、第2光検出部43の出力（FP信号）は、それぞれプリアンプ（図示せず）を介してオシロスコープ50で検出・表示することができる。この際、レーザー電源部11の発したQスイッチ信号（Q-SW信号）、あるいはモニター用検出部41の出力をトリガとして用いることができる。また、このようなレーザー発振器10（レーザー電源部11）、各光検出部、オシロスコープ50の制御は、解析・制御部60によって行われる。解析・制御部60は、例えばパーソナルコンピュータ等で構成される。

【 0 0 2 8 】

ここで、蛍光は、油Sにパルス状のレーザー光100が到着してから、油分子がこれを吸収した後に短い遅延時間の後に発せられる。この蛍光の寿命は、1～100ns程度であり、この時間内でパルス的に発せられる。このため、図1に示されるように、E信号、FS信号、FP信号は、いずれもレーザー光100に応じたパルス信号として検出されるが、油Sが発した蛍光に対応する成分であるFS信号、FP信号は、E信号から遅延する。また、E信号はレーザー光100自身を直接反映し、FS信号、FP信号として、例えばこれらをE信号の最大値で規格化した値を用いれば、レーザー光100の強度が安定しない場合でも、解析を行うことができる。

【 0 0 2 9 】

ここで、蛍光は油分子が発するが、一般的には、その偏光方向は吸収したレーザー光100と等しい。この場合には、蛍光においてレーザー光100と垂直な偏光方向をもつ成分は存在しないため、FP信号/FS信号の強度比は零となる。しかしながら、油分子が回転運動をし、かつ前記のように蛍光を発するまでの遅延時間が存在する場合には、油分子がレーザー光100を吸収してから蛍光を発するまでの間に油分子の向きが変わるため、偏光方向は、その分だけ回転する。これにより、FP信号が発生する。

【 0 0 3 0 】

蛍光強度の時間変化に対して、FS信号の時間変化 $F_s(t)$ 、FP信号の時間変化 $F_p(t)$ を、図2に模式的に示す。ここで、実線は蛍光の強度の絶対値の時間変化である

。前記の通り、 $F_s(t)$ は E 信号に対して遅延するが、上記の理由により、 $F_p(t)$ は $F_s(t)$ から更に遅延する。 $F_p(t)$ が大きくなることは、蛍光が発せられるまでの遅延時間の間に油分子が回転しやすいことを意味する。

【0031】

ここで、 $F_p(t) / F_s(t)$ を蛍光偏光解消度 D として定義することができる。 D が恒等的に 0 である場合は、油分子の回転運動が全くない場合に対応する。図 2 の特性より、 $F_p(t)$ は $F_s(t)$ から遅延して立ち上がるため、 D の時間変化は、図 3 に模式的に示されるとおりとなる。ここで、 $F_p(t)$ の絶対値は、回転する油分子の割合が大きな場合に大きくなるため、 D の絶対値も、回転する油分子の割合が大きな場合に大きくなる。すなわち、油 S において、油分子が回転しやすい場合には、 D は大きくなる。また、油分子が回転しやすい場合には、蛍光を発するまでの遅延時間の間に油分子が回転する回転角度が大きくなる。このため、 D の立ち上がりも速くなる。

【0032】

このため、蛍光偏光解消度 D の時間変化を模式的に示すと、図 3 のようになる。パターン A からパターン C に向かうに従って、油分子が回転しにくくなっている。油分子が回転しにくいことは、油 S の粘度が高いことを意味する。このため、解析・制御部（解析部）60 は、上記の強度比（蛍光偏光解消度 D ）の時間変化から、油 S の粘度を推定することができる。

【0033】

なお、蛍光偏光解消度 $D (F_p(t) / F_s(t))$ の代わりに、検出された蛍光における偏光した成分の割合を示す蛍光異方性 ($(F_s(t) - F_p(t)) / (F_s(t) + F_p(t))$) を用いても、蛍光異方性と蛍光偏光解消度 D とは 1 対 1 に対応するため、同様の解析が可能である。すなわち、この解析を行うにあたり、蛍光異方性を用いてもよい。

【0034】

ここで、粘度は、例えば、(1) 油分子の分子量が大きい、(2) 油分子の温度が低い、ことによって高くなる。ここで推定されるのは現在の温度における粘度であるが、実際に有用なデータとなる粘度は、ある定められた温度（基準温度）における粘度である。ここでは、現在の油 S の温度を知るために、油 S の温度を非接触で測定する温度計 80 が用いられる。温度計 80 は、例えば赤外センサを用いた放射温度計であり、油 S から離れた箇所から油 S の温度を非接触で測定する。あるいは、油 S の温度は水温と同等と推定することができるため、通常の接触式の温度計を温度計 80 として用い、これによって水温を油 S から離間した箇所で測定してもよい。解析・制御部（解析部）60 は、この測定された温度と上記のように推定された粘度を基にして、この油 S の基準温度における粘度を推定することができる。この際、記憶部 70 は、この推定（換算）に用いられる各種のデータを記憶し、解析・制御部（解析部）60 は、このデータを用いて上記の換算を行うことができる。

【0035】

また、図 3 においては、レーザー光 100 における 1 回のパルス出力直後の D の短いタイムスケール（数十 ns 程度）における時間変化が示されている。これに対して、この場合における D の最大値を、より長いタイムスケール（例えば日単位）で調べることにより、油 S に関する様々な情報を推定することができる。

【0036】

例えば、NITE（独立行政法人製品評価技術基盤機構）の HP（石油の風化：平成 27 年 5 月 15 日に検索）URL：http://www.nite.go.jp/nbric/industry/bioreme2009/knowledge/accident/accident_1.html（インターネット）に記載されるように、船舶から海上に流出した石油には、経時変化（風化）が生ずる。風化としては、具体的には、拡散、蒸発、溶解、分散、エマルジョン化等の現象がある。ここで、拡散、溶解、分散は、水上の油 S の広がり（2次元形状）に反映されるため、これらに関する情報は、例えば特許文献

2等に記載の技術を用いることによって油Sの広がり(2次元形状)を計測することによって得ることができる。一方、前記HPに記載されるように、油Sにおいて揮発成分が蒸発した場合には、揮発性の低い重い成分が残留するため、粘性が高くなる。また、水との間でエマルジョン化が発生した場合には、水を介した油分子同士の結合が高まるために、やはり油Sの粘性が高まる。このため、Dにおける図3の特性は、長期的には、時間経過(日毎の経過)に従って、図4に示されるように変化する。

【0037】

また、前記HPに記載されるように、揮発成分の蒸発は油の流出直後から発生してその後終息するのに対し、エマルジョン化は、流出からある程度の期間が経過してから発生する。このため、特に懸念される流出事故の対象となる原油、重油、軽油が流出した場合における粘性の長期的な時間経過は、模式的には図5に示される通りとなる。原油は、重油と軽油の中間的な特性を示すが、揮発成分が特に多く、かつエマルジョン化しやすいため、図5に示されるように、特に粘性の変化が激しい。

【0038】

このため、油の種類毎に図5の特性について予め取得されたデータを記憶部70が記憶しておけば、解析・制御部(解析部)60は、記憶部70を参照してこのデータと推定された粘度の時間経過の実測値とを比較し、油Sの種類を推定することができる。この際、図3~図5の特性を温度毎に測定したデータを記憶部70に記憶させれば、温度計80によって計測された温度を用いて、この推定の精度を更に高めることができる。

【0039】

このように、解析・制御部60は、各光検出部の出力における短いタイムスケールでの時間変化から油Sの粘度を推定し、長いタイムスケールでのこの粘度の時間変化から、油Sのより詳細な性状や種類を推定することができる。

【0040】

上記の検出対象である油Sは、水上に浮遊する限りにおいて、任意のものを対象とすることができるが、図5に示されるような、海上への漏洩事故が特に多い石油(原油)に代表される鉱物油に関するデータを記憶部70に記憶させることが特に好ましい。これによって、こうした事故に対する対応が特に容易となる。こうした場合には、油Sの種類は予め判明している場合が多く、その粘度が不明(不定)である場合が多い。これに対し、特定の油種毎に図3、図5、あるいは更に図4に対応するデータを予め取得し、これを記憶部70に記憶させれば、解析・制御部60は、このデータと実測データとを比較して、油Sの粘度やその状態をより精密に推定することができる。この場合には、記憶部70が記憶するデータ量も節約できるため、解析が容易であり、かつ装置の構成を単純化することができる。

【0041】

なお、実際には、油Sの温度あるいは水温は、気象等に応じて推定することができ、この場合においては、温度計80は不要である。また、例えば、オシロスコープ50の出力を記憶し、油検知装置を外部に取り出してから上記の解析を行うこともできる。この場合には、解析・制御部80(解析を行う解析部)や記憶部70も不要である。こうした場合には、これらの代わりに、オシロスコープ50の出力(第1光検出部42、第2光検出部43の実測された出力)を記憶する実測データ記憶部を設けることによって、解析を容易に行うことができる。この場合には、油検知装置自身を小型・軽量とすることができるため、特にこれを携帯型とすることもできる。こうした構成は、油検知装置を小型の船舶に搭載する上で特に有効である。

【0042】

また、上記の例では、第1光検出部42で検出されるのはレーザー光(励起光)100の偏光方向に対応する第1の方向に偏光された蛍光であり、第2光検出部43で検出されるのはこれと垂直な方向に偏光された蛍光であった。しかしながら、第1の方向が上記の偏光方向と厳密に等しくない場合でも、同様の解析が行えることは明らかである。ただし、上記のように第1の方向を上記の偏光方向と等しくすることにより、特に蛍光偏光解消

10

20

30

40

50

度Dの変化が顕著になるため、上記の構成が特に好ましい。

【0043】

また、上記の例では、第1検出光201A、第2検出光202Aを検出するために、集光光学系20と、第1光検出部42、第2光検出部43（共に光電子増倍管）等が用いられた。これらの代わりに、高感度かつ高時間分解能で微弱光の撮像をすることが可能なストリークカメラを用いることもできる。この場合には、レーザー光100を走査し、油Sの2次元形状を撮像することも可能である。

【0044】

また、上記の例では、油Sが水上（海上）に浮遊しているものとした。しかしながら、油がその周囲の物質と平面視において分離されて存在している限りにおいて、油が発する蛍光を検出することによって油をその周囲の物質から識別することができる。その上で、上記の構成により、油の性状を検知することができる。すなわち、上記の油の性状検知方法、油の性状検知装置は、水上の油だけでなく、地表に流出した油、あるいは装置（例えば油タンク）内に存在する油の性状を調べるためにも有効である。

【産業上の利用可能性】

【0045】

上記の油の性状検知方法、油の性状検知装置は、船舶の運航管理や海上の環境管理において特に有効である。ただし、船舶に限らず、航空機や気球等にこの油の性状検知装置を搭載し、海上に限らず、河川や湖沼等の環境管理においてもこれらを用いることができる。また、油を用いる装置の管理においても有効である。

【符号の説明】

【0046】

- 1 油検知装置（油の性状検知装置）
- 10 レーザー発振器（光源）
- 11 レーザー電源部
- 20 集光光学系
- 30 偏光ビームスプリッタ
- 31 ハーフミラー
- 32 ロングパスフィルタ（フィルタ）
- 41 モニター用光検出部
- 42 第1光検出部
- 43 第2光検出部
- 50 オシロスコープ
- 60 解析・制御部（解析部）
- 70 記憶部
- 80 温度計
- 100 レーザー光（励起光）
- 200 検出対象光
- 201 S波成分
- 201A 第1検出光
- 202 P波成分
- 202A 第2検出光
- S 油

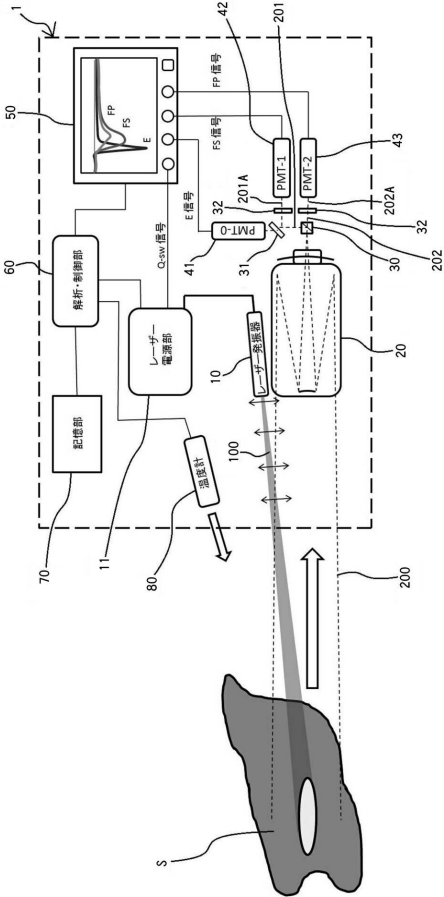
10

20

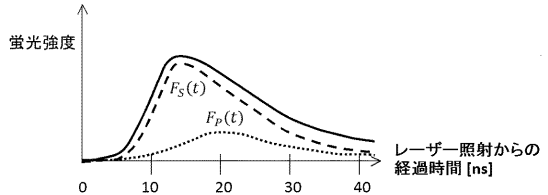
30

40

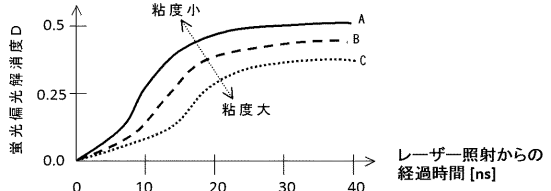
【図1】



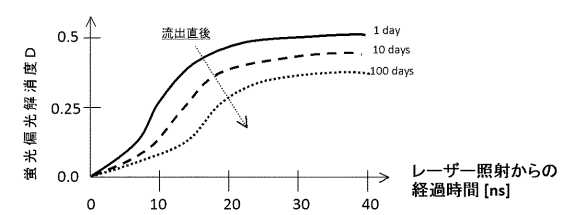
【図2】



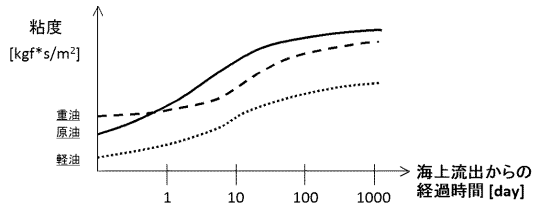
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2011-133370(JP,A)
米国特許出願公開第2009/0189074(US,A1)
特開平05-256780(JP,A)
特開2007-155603(JP,A)
特開2000-019103(JP,A)
米国特許出願公開第2003/0141459(US,A1)
特開昭60-164227(JP,A)
特開2003-194691(JP,A)
有害液体物質流出時の環境汚染モニタリングに関する研究,海上技術安全研究所報告,日本,2007年3月,第6巻第4号,pp.437-451,URL,http://www.nmri.go.jp/oldpages/main/publications/paper/pdf/21/06/04/PNM21060402_00.pdf

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G01N 21/62-21/83
G01N 11/00-11/16
JSTPlus/JST7580/JSTChina(JDreamIII)
Science Direct