

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2007 年 11 月 29 日 (29.11.2007)

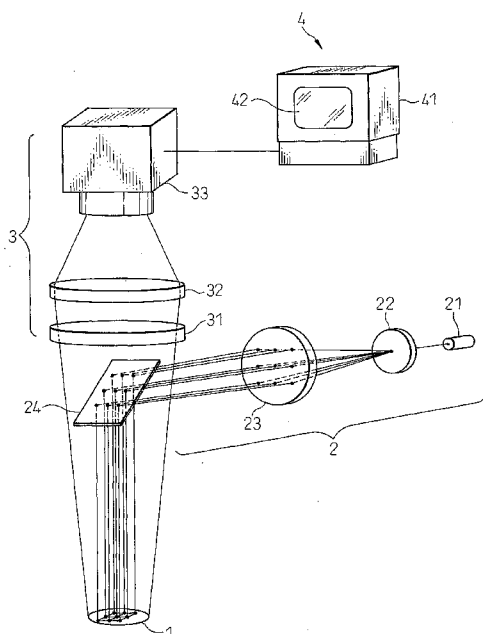
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2007/135804 A1

- (51) 国際特許分類:
G01P 5/18 (2006.01) G01N 21/64 (2006.01)
G01P 5/20 (2006.01) G01P 13/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/055588
- (22) 国際出願日: 2007 年 3 月 13 日 (13.03.2007)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2006-141636 2006 年 5 月 22 日 (22.05.2006) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人東京工業大学 (TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 田中真二 (TANAKA, Shinji) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 国立大学法人東京工業大学内 Tokyo (JP). 池田幸一郎 (IKEDA, Koichiro) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 国立大学法人東京工業大学内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 青木篤, 外 (AOKI, Atsushi et al.); 〒1058423 東京都港区虎ノ門三丁目 5 番 1 号 虎ノ門 37 森ビル青和特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: FLUID MEASUREMENT INSTRUMENT AND FLUID MEASUREMENT METHOD EMPLOYING LASER-INDUCED FLUORESCENCE METHOD

(54) 発明の名称: レーザ誘起蛍光法を用いた流体計測装置及び流体計測方法



(57) Abstract: A fluid measurement instrument employing laser-induced fluorescence method measures the characteristics of fluid based on fluorescence or phosphorescence generated by irradiating fluid, mixed with light emitting molecules emitting fluorescence or phosphorescence upon irradiation with a laser beam, with a laser beam, and comprises an irradiator (2) for irradiating a measurement field (1), where fluid as a measurement object flows, with a plurality of dot-like continuous laser beams, a photography device (3) for photographing fluorescence or phosphorescence generated in the measurement field through irradiation with a laser beam, and a device (4) for calculating the velocity of the fluid based on the length of a ray of fluorescent or phosphorescent light thus photographed, the flow direction of the fluid based on the direction of the ray of light, and the temperature of the fluid or the concentration of the light emitting molecules based on the intensity of fluorescence or phosphorescence at the starting point of the ray of light, respectively. An inexpensive and simple measurement instrument which can measure the characteristics of fluid even in a micro measurement field is thereby provided.



(57) 要約:

本発明のレーザ誘起蛍光法を用いた流体計測装置は、レーザ光が照射されると蛍光又は燐光を発生させる発光分子が混入された流体にレーザ光を照射して、発生した蛍光又は燐光に基づいて流体の特性を計測するものであり、計測対象の流体が流れる計測場 1 に複数のドット状の連続的なレーザ光を照射する照射装置 2 と、レーザ光の照射により計測場において発生した蛍光又は燐光を撮影する撮影装置 3 と、撮影された蛍光又は燐光の光跡の長さに基づいて流体の流速を、上記光跡の方向に基づいて流体の流れ方向を、上記光跡の起点における蛍光又は燐光の強度に基づいて流体の温度又は発光分子の濃度をそれぞれ算出する算出装置 4 とを具備する。これにより、微小な計測場においても流体の特性を計測することができる安価且つ簡単な計測装置が提供される。

明 細 書

レーザ誘起蛍光法を用いた流体計測装置及び流体計測方法

技術分野

本発明は、レーザ誘起蛍光法を用いた流体計測装置及び流体計測方法に関する。

背景技術

一般的な流速計測法として、粒子画像流速測定法 (Particle Imaging Velocimetry: P I V) が知られている。P I Vでは、微細なトレーサー粒子を混入させた流体の流れにシート状の照明が当てられ、照明が当てられたトレーサー粒子からの散乱光が複数回撮影される。個々のトレーサー粒子は各撮影間隔において局所的な流速に従って移動すると考えられるため、上述したように撮影された画像のうち連続する2時刻の画像から、個々の粒子の移動距離と撮影時間間隔とに基づいて流体の流速や流れ方向が推定される。

しかし、マイクロオーダーの微細な流路や複雑な形状の流路等を通る流体の特性を計測する場合、上記P I Vを用いると、トレーサー粒子が流路に詰まる可能性があると共に、流体中にトレーサー粒子を均一に分散させるのが困難となる。また、P I Vでは、一般に、撮影間隔の短い高速度カメラ或いはパルス間隔の短いダブルパルスレーザ等の高価な機材が必要であり、さらに撮影後の画像から流体の流速を算出するのに高度な画像処理が必要となる。

また、流速計測法としては、例えば特開平08-278251号公報に記載されているような、レーザ誘起蛍光法 (Laser Induced Fluorescence: L I F) が知られている。レーザ誘起蛍光法とは、

レーザ等の照射光によって発光分子を励起させ、発生した蛍光や燐光の強度等から物理量を計測する手法である。特開平 0 8 - 2 7 8 2 5 1 号公報に記載された流体計測装置では、線状の反射コーティングを複数施したシリンドリカルレンズを通過したパルス状の二つの縞状シート光を測定場に異なる角度で照射しており、このシート光に励起された測定分子により生じる蛍光及び燐光によって測定場に網の目又は格子状の明暗が形成される。そして、レーザ光の照射と同時に及びレーザ光の照射停止中に測定場に生じた蛍光及び燐光を撮影しており、撮影された網の目状の明暗のうち明部の蛍光強度から測定分子の濃度が、暗部の交差点の時間的移動の解析から測定分子の二次元的な流速及び移動方向が推定される。

この流体計測装置では、測定分子として例えばレーザ光が照射されると蛍光又は燐光を発生させる蛍光染料が用いられるため、トレーサ粒子を用いずに計測を行うことができる。また、この蛍光染料は測定対象の流体に分子レベルで溶解している。このため、マイクロオーダーの微細な流路等を流れる流体の特性を計測する場合であっても蛍光染料が流路に詰まることは無い。

ところが、特開平 0 8 - 2 7 8 2 5 1 号公報に記載された計測装置では、レーザ光の照射と同時に測定場において発生した蛍光又は燐光を撮影すると共にレーザ光の照射停止から所定時間後の蛍光又は燐光を撮影する必要がある、上記 P I V と同様に、パルスレーザやパルスレーザのパルスと撮影タイミングとを同調させる同調装置等の高価な機材が必要とされる。また測定分子の流速や流れ方向を求めるために撮影した 2 枚の画像に対して高度な画像処理が必要とされる。このため、この計測装置も高価なものとなってしまうと共に複雑な処理が必要となってしまう。

発明の開示

そこで、本発明は、上記問題に鑑みて、安価且つ簡単な流体計測装置及び流体計測方法を提供することを目的とする。

本発明は、上記課題を解決するための手段として、請求の範囲の各請求項に記載された流体計測装置又は流体計測方法を提供する。

本発明の第1の態様では、レーザ光が照射されると蛍光又は燐光を発生させる発光分子が混入された流体にレーザ光を照射して、発生した蛍光又は燐光に基づいて流体の特性を計測する、レーザ誘起蛍光法を用いた流体計測装置において、計測対象の流体が流れる計測場にレーザ光を照射する照射手段と、レーザ光の照射により上記計測場において発生した蛍光又は燐光を撮影する撮影手段と、該撮影手段によって撮影された蛍光又は燐光の光跡の長さに基づいて流体の流速を、上記光跡の方向に基づいて流体の流れ方向を、上記光跡の起点における蛍光又は燐光の強度に基づいて流体の温度又は発光分子の濃度をそれぞれ算出する算出手段とを具備し、上記照射手段は上記計測場に複数のドット状の連続的なレーザ光を照射する。

本態様によれば、計測場に複数のドット状のレーザ光が照射され、これに伴って各照射点に形成される蛍光又は燐光の光跡が撮影される。斯かる蛍光又は燐光の光跡は各照射点における計測対象の流体の速度ベクトルを示しているため、これら光跡に基づいて各照射点毎に計測対象の流体の特性、特に流体の流速、流れ方向、流体の温度又は発光分子の濃度を容易に算出することができ、全ての照射点についての特性に基づいて計測場全体について二次元的な特性を求めることができる。

そして、本態様によれば、計測場に照射するレーザ光としてパルス状のレーザ光ではなく連続的なレーザ光を用いることができるため、レーザ光の発生源として高価なパルスレーザを用いる必要がな

く、またパルスレーザのパルスと撮影タイミングとを同調させる同調装置も必要ない。さらに、従来では、撮影した2枚の画像から計測対象の流体の特性を算出するにあたって高度な画像処理が必要であったのに対して、本態様によれば、レーザ光の照射中の所定の時刻における蛍光又は燐光から、すなわち撮影した1枚の画像から計測対象の特性を算出することができるため、高度な画像処理が必要なくなる。

したがって、本態様によれば、安価且つ簡単な流体計測装置及び流体計測方法が提供される。

本発明の第2の態様では、上記照射手段は計測場にドットマトリクス状のレーザ光を照射する。

本態様によれば、計測場にドットマトリクス状のレーザ光が照射されるため、計測場に規則的に配列されていない複数のレーザ光が照射される場合に比べて、各照射点での特性に基づいて計測場全体について二次元的な特性を求めるのが容易になる。

本発明の第3の態様では、上記照射手段は、連続的なレーザ光を発生させるレーザと、該レーザ光を複数のレーザ光に変換する透過型回折格子とを具備する。

本態様によれば、計測場に照射する複数のレーザ光を一つのレーザ光から変換することができるため、流体計測装置を安価なものとすることができる。

本発明の第4の態様では、上記照射手段は、上記レーザによって発生せしめられたレーザ光を反射すると共に上記計測場において発生した蛍光又は燐光を透過させるミラーを具備し、上記レーザによって発生せしめられたレーザ光は上記ミラーに反射されて上記計測場に照射されると共に、上記計測場において発生した蛍光又は燐光は上記ミラーを透過して上記撮影手段によって撮影される。

本態様によれば、計測場に対するレーザ光の入射角度を垂直にすると共に計測場に対して垂直な方向から蛍光又は燐光の撮影ができる。このため、レーザ光を斜めに入射させたり蛍光又は燐光を斜めに撮影したりする場合に比べて計測精度を高いものとすることができる。

本発明の第5の態様では、上記照射手段は、上記計測場に照射される複数のレーザ光間の間隔を拡大又は縮小するレンズを具備する。

本態様によれば、レンズでレーザ光の照射点の間隔を容易に短くすることができるため、微小な計測場について計測を行うことができる。

本発明の第6の態様では、上記撮影手段はCCDカメラを具備する。

本発明の第7の態様では、レーザ光が照射されると蛍光又は燐光を発生させる発光分子が混入された流体にレーザ光を照射して、発生した蛍光又は燐光に基づいて流体の特性を計測する、レーザ誘起蛍光法を用いた流体計測方法において、計測対象の流体が流れる計測場にレーザ光を照射する照射工程と、レーザ光の照射により上記計測場において発生した蛍光又は燐光を撮影する撮影工程と、該撮影工程において撮影された蛍光又は燐光の光跡の長さに基づいて流体の流速を、上記光跡の方向に基づいて流体の流れ方向を、上記光跡の起点における蛍光又は燐光の強度に基づいて流体の温度又は発光分子の濃度をそれぞれ算出する算出工程とを具備し、上記照射工程では上記計測場に複数のドット状の連続的なレーザ光が照射される。

以下、添付図面と本発明の好適な実施形態の記載から、本発明を一層十分に理解できるであろう。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の流体計測装置の実施形態を示す図である。

図 2 は、計測場に照射されるレーザ光の照射点を示す図である。

図 3 は、計測場に形成される蛍光又は燐光の光跡を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。図 1 は、本発明の流体計測装置の実施形態を示している。図 1 に示したように、本実施形態の流体計測装置は、計測場 1 を流れる流体の特性、特に流体の流速、流れ方向及び流体内の蛍光染料の濃度を計測するものであり、計測場 1 を流れる計測対象の流体には特定の波長のレーザ光が照射されると蛍光又は燐光を発生させる蛍光染料（発光分子）が分子レベルで均一に溶解、混入せしめられている。蛍光染料としてはレーザ光が照射されると蛍光又は燐光を発生させれば如何なる物質をも利用可能であり、流体の物性、流体の流速等に応じて適宜選択される。

本実施形態の流体計測装置は、計測対象の流体が流れる計測場 1 にレーザ光を照射する照射装置 2 と、このレーザ光の照射によって計測場 1 に発生した蛍光又は燐光を撮影する撮影装置 3 と、撮影装置によって撮影された蛍光又は燐光に基づいて流体の特性を算出する算出装置 4 とを具備する。

照射装置 2 は、励起用レーザ 2 1 と、透過型直交回折格子 2 2 と、照射範囲調整用レンズ 2 3 と、ダイクロイックミラー 2 4 とを有する。励起用レーザ 2 1 は、計測対象の流体に溶解せしめられた蛍光染料の励起波長に対応した波長のレーザ光を出力するレーザであり、パルス状のレーザ光ではなく連続的なレーザ光を発生させる。

透過型直交回折格子 22 は、一本のレーザ光線を回折により複数本のレーザ光線に変換する直交格子となっている。また、照射範囲調整用レンズ 23 は、複数のレーザ光間の間隔を拡大又は縮小して、複数のレーザ光の照射範囲が計測場 1 の大きさに対応するように調整するのに用いられる。さらに、ダイクロイックミラー 24 は、特定波長域の光を反射させると共に他の波長域の光を透過させるミラーであり、本実施形態では励起用レーザ 21 によって発生せしめられたレーザ光を反射させると共に計測場 1 に発生した蛍光又は燐光を透過させる。

なお、照射装置 2 は、計測場 1 に対して複数のドット状の連続的なレーザ光を照射することができれば如何なる構成であってもよい。従って、上記実施形態では単一のレーザ光を回折格子によって複数のレーザ光に変換しているが、複数の励起用レーザを用いて各レーザ光を複数のレーザ光に変換せずに計測場 1 に照射させるようにしてもよいし、複数の励起用レーザと複数の回折格子とを用いて複数のレーザ光を計測場 1 に照射させるようにしてもよい。

また、上記実施形態において照射装置 2 は照射範囲調整用レンズ 23 とダイクロイックミラー 24 とを有しているが、これら照射範囲調整用レンズ 23 やダイクロイックミラー 24 を介さずに励起用レーザによって発生せしめられたレーザ光を直接、又は回折格子のみを介して計測場 1 に照射するようにしてもよい。

撮影装置 3 は、フィルタ 31 と、集光レンズ 32 と、CCD カメラ 33 とを有する。フィルタ 31 は、励起用レーザ 21 から出力されて計測場 1 に照射されるレーザ光等、計測場 1 に発生した蛍光又は燐光以外の光が CCD カメラ 33 に入らないようにこのような光を遮断するのに用いられる。集光レンズ 32 は、計測場 1 に発生した蛍光又は燐光全てが CCD カメラ 33 に捉えられるように蛍光又

は燐光を集光する。CCDカメラ33は、計測場1に発生した蛍光又は燐光をフィルタ31及び集光レンズ32を介して撮影するためのものである。このように、蛍光又は燐光を撮影するためのものとして本実施形態ではCCDカメラが用いられているが、蛍光又は燐光を撮影することができれば如何なるカメラが用いられてもよく、銀塩カメラ等を用いることができる。また、例えば計測場1が微小な領域である場合には発生する蛍光又は燐光の強度が低い場合が多く、よって冷却CCD等の感度の高いカメラが用いられる。

また、本実施形態では、算出装置4として表示装置42を有するコンピュータ41が用いられる。コンピュータ41は、撮影装置3によって撮影された計測場1の蛍光又は燐光に基づいて計測場1を流れる流体の流速、流れ方向、濃度等の特性を算出し、その結果が表示装置42によって表示される。

なお、上記実施形態では、撮影装置3によって撮影された計測場1の蛍光又は燐光に基づいて計測場1を流れる流体の特性を算出するのにコンピュータ41を用いているが、必ずしもこのようなコンピュータ41を用いる必要はなく、撮影装置3によって撮影された画像から流体の特性を算出することができれば如何なる手段を用いてもよい。例えば、操作者が撮影装置3によって撮影された画像から定規等を用いて直接流体の特性を算出してもよい。

次に、上述したような構成を有する流体計測装置による流体の特性の計測方法について説明する。

まず、励起用レーザ21から出力された一本のレーザ光線は直交格子の透過型直交回折格子22により複数本のレーザ光線に変換される。本実施形態では、励起用レーザ21から出力されたレーザ光は、透過型直交回折格子22により、レーザ光の照射点が図2に示したようにドットマトリクス状になるように、すなわちレーザ光の

照射点が計測場 1 上で縦横に等間隔で配列されたドットとなるように変換される。なお、図 2 は、計測場 1 に照射されるレーザ光の照射点 D を示す図であり、照射点 D 間の破線は単に照射点 D がドットマトリクス状に配列されることを分かり易くするために追加された補助線である（図 3 においても同様）。

このように透過型直交回折格子 2 2 によって変換された複数のレーザ光は、これらレーザ光の照射範囲が計測場 1 の大きさに合うように、照射範囲調整用レンズ 2 3 により拡大又は縮小される。照射範囲調整用レンズ 2 3 を通過したレーザ光は、ダイクロイックミラー 2 4 により反射せしめられて、計測場 1 に対して垂直に照射されるようになる。これにより、計測場 1 には、図 2 に示したようにドットマトリクス状に並んでレーザ光が照射されることとなる。

計測場 1 にレーザ光がこのように照射されると、計測場 1 において流れる流体に溶解している蛍光染料がレーザ光により励起されて蛍光又は燐光を発生させる。蛍光染料は流体の流れに沿って流れており、よってレーザ光の照射点において励起されて発光している蛍光染料は流体と共に流れてレーザ光の照射点から外れる。

蛍光染料は、レーザ光の照射点から外れた瞬間に発光が消失するわけではなく、レーザ光の照射点から外れても、蛍光染料の種類に応じてある程度の期間に亘って発光が持続する。このため、計測場 1 には図 3 に示したように、ドットマトリクス状に並んだ各レーザ照射点を起点とする蛍光又は燐光の光跡 F が形成される。

このようにして発生した蛍光又は燐光は、ダイクロイックミラー 2 4 及びフィルタ 3 1 を通過後、集光レンズ 3 2 で集光されて、CCD カメラ 3 3 で撮影される。CCD カメラ 3 3 はコンピュータ 4 1 と接続されており、撮影された画像データは、コンピュータ 4 1 に保存される。

コンピュータ 41 は、CCDカメラ 33 によって撮影された画像データに基づいて計測場 1 で流れる計測対象の流体中の蛍光染料の濃度、計測対象の流体の速度及び流れ方向等の特性を算出する。具体的には、流体の特性の算出は下記のようにして行われる。

すなわち、蛍光染料の濃度と蛍光又は燐光強度とは比例すると共に蛍光染料の濃度が高いほど蛍光又は燐光の強度が高いことから、計測場 1 に形成された光跡 F の起点 O における蛍光又は燐光の強度から蛍光染料の濃度を決定することができる。ただし、蛍光染料の種類に応じて蛍光染料分子当たりの蛍光又は燐光の強度が異なることから、蛍光染料の濃度と蛍光又は燐光の強度との関係を予め求めておく必要がある。

また、レーザ光の各照射点において撮影された蛍光又は燐光の光跡 F は、レーザ光の各照射点を起点とした計測対象の流体の速度ベクトルを示していると考えられる。すなわち、レーザ光の各照射点から外れた蛍光染料は、上述したように、レーザ光の照射点から外れてから上記発光寿命に対応する時間に亘って発光が持続する。そして、蛍光又は燐光の起点 O からの光跡 F はこの発光寿命に対応する時間の間における計測対象の流体の移動量及び移動方向を示している。

このため、蛍光又は燐光の光跡 F の長さはその照射点における計測対象の流体の流速を表しており、光跡の起点 O から延びる光跡 F の方向はその照射点における計測対象の流体の流れ方向を表している。なお、蛍光又は燐光の光跡 F の長さに基づいて計測対象の流体の流速を算出する場合には、レーザ光を照射した場合の蛍光染料の発光寿命を予め求めておいて撮影された蛍光又は燐光の光跡 F の長さを発光寿命で除算して流速を算出するか、或いは光跡の長さと流速との関係を予め求めておいて撮影された蛍光又は燐光の光跡 F の

長さに基づいて流速を算出することが必要とされる。

このようにして各照射点における流体中の蛍光染料の濃度、流体の流速、流れ方向がコンピュータ 4 1 において算出され、それら算出結果が表示装置 4 2 に表示される。

なお、本実施形態では、蛍光染料の種類は計測場 1 を流れる流体の流速に応じて適宜選択され、例えば流体の流速が遅い場合には発光寿命の長い蛍光染料が用いられ、流体の流速が速い場合には発光寿命の短い蛍光染料が用いられる。また、励起用レーザ 2 1 は、選択された蛍光染料に応じて、レーザの波長が蛍光染料の励起波長に対応するように選択される。さらに、温度に対する蛍光又は燐光の強度特性が異なる 2 種類の蛍光染料を用いれば計測対象の流体の温度を計測することができる。

また、計測対象の流体の流速及び流れ方向の計測精度は、CCD カメラ 3 3 の画素数と流速に応じた発光寿命を有する蛍光染料とを適切に選択することにより、PIV と同程度に確保することができる。

上述したように、本実施形態における流体計測装置によれば、計測場 1 にドットマトリクス状のレーザ光を照射して、計測場 1 に生じたドットマトリクス状に並んだ蛍光又は燐光の光跡を CCD カメラ 8 で撮影することとしている。これにより、各照射点毎に、計測対象の流体中の蛍光染料の濃度、計測対象の流体の流速、計測対象の流体の流れ方向を計測することができる。そしてこれら各照射点における濃度、流速、流れ方向等に基づいて、計測場 1 全体について、蛍光染料の濃度、流体の流速、流れ方向を二次元的に求めることができるようになる。

また、本実施形態の流体計測装置によれば、ドットマトリクス状のレーザ光を照射範囲調整用レンズ 2 3 で拡大又は縮小することが

できるため、メートルオーダーの流れ場からマイクロオーダーの流れ場まで、幅広いスケールの流れ場に対応することができる。特に、本実施形態の流体計測装置によれば、マイクロオーダーの微小な流れ場（例えば、血管等の細い管路内の流体の流れ）等についても流体の特性を計測することができる。

すなわち、従来の P I V では、微細な流路や複雑な形状の流路等では、使用されるトレーサー粒子の粒径が流路に対して比較的大きいことにより、トレーサー粒子が詰まる等の問題が生じるため、微小な流れ場においては特性の計測が困難であった。また、トレーサー粒子を用いずに蛍光染料を用いたとしても、例えば特許文献 1 に記載されているような流体計測装置によって微小な流れ場における流体の特性を計測しようとする、シリンドリカルレンズに施した反射コーティングの間隔を狭くする必要がある。しかしながら、反射コーティングの間隔を狭くすると、シリンドリカルレンズを通った光が回折して広がってしまい、計測場に微小な間隔の格子状のレーザ光を照射することができなくなってしまう。このため、このような流体計測装置では、微小な計測場について流体の特性を計測することができない。

これに対して、本実施形態の流体計測装置によれば、P I V で用いられるようなトレーサー粒子を使用せずに計測対象の流体に蛍光染料を分子レベルで溶解させているため、微小な流れ場について計測を行う場合であっても蛍光染料が詰まってしまうことがなくなる。また、照射範囲調整用レンズ 2 3 でドットマトリクス状レーザ光の照射点の間隔を容易に短くすることができるため、微小な計測場について計測を行うことができる。

また、例えば特許文献 1 に記載の流体計測装置では、測定場に対して斜め又は横方向からレーザ光を照射する必要がある。このため

、この流体計測装置では、光の照射できる方向が計測場に対して垂直な方向からのみに制限されている測定場においては計測を行うことができない。これに対して、本実施形態の流体計測装置によれば、計測場に対して垂直にレーザ光を入射させることができるため、上記照射方向が計測場に対して垂直な方向からのみに制限されている計測場、すなわち斜め又は横方向からではレーザ光を計測場近傍の流体に照射することができないような計測場においても計測を行うことができる。

さらに、本実施形態の流体計測装置によれば、従来の流体計測装置に比べて極めて安価な機材を用いて簡単に流体の特性を二次元的に計測することができるようになる。

すなわち、従来の流体計測装置では、励起用レーザとしてパルス間隔の短いパルスレーザが必要とされると共に、撮影間隔の短い高速度カメラやパルスレーザのパルスと撮影タイミングとを同調させる同調装置が必要とされていた。例えば P I V では、短い時間間隔でトレーサ粒子の位置を撮影する必要があるため高速度カメラが必要とされ、またこれに合わせて計測場に短い時間間隔でレーザを照射しなければならないことからパルスレーザ及び同調装置が必要とされていた。また、また引用文献 1 に記載の流体計測装置でも計測場へのレーザ照射停止からの時間経過に伴って燐光の様子を撮影しなければならない、高速度カメラが必要とされ、またレーザ照射停止から所定時間間隔で撮影を行うために同調装置が必要とされると考えられる。また、一定間隔でレーザ照射停止が必要なことからパルスレーザが必要とされる。

これに対して、本実施形態の流体計測装置によれば、励起用レーザ 2 1 としてパルスレーザを用いる必要はなく、連続的なレーザ光を発生させるレーザを用いることができる。このため、励起用レー

ザ 2 1 として半導体レーザ等、安価なレーザを用いることができる。また、本実施形態の流体計測装置によれば、短い時間間隔で2回の撮影をする必要はなく、1回の撮影のみでよい。そのため、撮影機材として撮影間隔の短い高速度カメラを用いる必要がない。このため、安価な撮影機材を用いることができる。さらに、本実施形態の流体計測装置によれば、パルスレーザのパルスと撮影タイミングとを同調させる必要がないため、同調装置も不要である。従って、本実施形態の流体計測装置によれば、安価な機材で流体の特性を計測することができるようになる。

また、従来の流体計測装置では、撮影した2枚の画像から計測対象の流体の流速、流れ方向を算出するにあたって高度な画像処理が必要であった。例えば、PIVでは、2枚の画像について各トレーサ粒子の移動を追う必要があり、また特許文献1に記載の装置では2枚の画像間で暗部の交差点の時間的移動を解析する必要がある。これに対して本実施形態の流体計測装置によれば、1枚の画像について光跡の長さ、方向等のみを計測すればよく、高度な画像処理が必要なくなる。これにより、二次元的な流体の特性を簡単に計測することができるようになる。

なお、上記実施形態では、計測場にドットマトリクス状のレーザ光を照射することとしている。しかしながら、照射するレーザ光は、計測場を二次元的に計測するために複数である必要はあるが、ドットマトリクス状でなくてもよい。ただし、レーザ光がドットマトリクス状に配列されていれば計測場における流体全体の流れの解析が容易になるため、ドットマトリクス状であることが好ましい。

また、本実施形態の流体計測装置は、特に微小な流れ場における流体の特性を計測するのに用いられる。例えば、血管等の細い管路内を流れる流体の特性を計測する場合や、流体潤滑している摺動部

の潤滑膜内における流体の特性を計測する場合等に用いられる。

なお、本明細書では、「蛍光」という用語は、励起のための電磁波を止めるとすぐに発光が消失する発光寿命が短いものを意味し、

「燐光」という用語は励起のための電磁波を止めても発光が持続する励起寿命が長いものを意味する。より詳細には、「蛍光」は発光過程の始状態と終状態のスピン多重度が同じものをいい、「燐光」は発光過程の始状態と終状態とのスピン多重度が異なるものを意味する。

なお、本発明について特定の実施形態に基づいて詳述しているが、当業者であれば本発明の請求の範囲及び思想から逸脱することなく、様々な変更、修正等が可能である。

請 求 の 範 囲

1. レーザ光が照射されると蛍光又は燐光を発生させる発光分子が混入された流体にレーザ光を照射して、発生した蛍光又は燐光に基づいて流体の特性を計測する、レーザ誘起蛍光法を用いた流体計測装置において、

計測対象の流体が流れる計測場にレーザ光を照射する照射装置と、レーザ光の照射により上記計測場において発生した蛍光又は燐光を撮影する撮影装置と、該撮影手段によって撮影された蛍光又は燐光の光跡の長さに基づいて流体の流速を、上記光跡の方向に基づいて流体の流れ方向を、上記光跡の起点における蛍光又は燐光の強度に基づいて流体の温度又は発光分子の濃度をそれぞれ算出する算出装置とを具備し、

上記照射装置は上記計測場に複数のドット状の連続的なレーザ光を照射する、流体計測装置。

2. 上記照射装置は計測場にドットマトリクス状のレーザ光を照射する、請求項1に記載の流体計測装置。

3. 上記照射装置は、連続的なレーザ光を発生させるレーザと、該レーザ光を複数のレーザ光に変換する透過型回折格子とを具備する、請求項1又は2に記載の流体計測装置。

4. 上記照射装置は、上記レーザによって発生せしめられたレーザ光を反射すると共に上記計測場において発生した蛍光又は燐光を透過させるミラーを具備し、上記レーザによって発生せしめられたレーザ光は上記ミラーに反射されて上記計測場に照射されると共に、上記計測場において発生した蛍光又は燐光は上記ミラーを透過して上記撮影装置によって撮影される、請求項3に記載の流体計測装置。

5. 上記照射装置は、上記計測場に照射される複数のレーザ光間の間隔を拡大又は縮小するレンズを具備する、請求項1～4のいずれか1項に記載の流体計測装置。

6. 上記撮影装置はCCDカメラを具備する、請求項1～5のいずれか1項に記載の流体計測装置。

7. レーザ光が照射されると蛍光又は燐光を発生させる発光分子が混入された流体にレーザ光を照射して、発生した蛍光又は燐光に基づいて流体の特性を計測する、レーザ誘起蛍光法を用いた流体計測方法において、

計測対象の流体が流れる計測場にレーザ光を照射する照射工程と、レーザ光の照射により上記計測場において発生した蛍光又は燐光を撮影する撮影工程と、該撮影工程において撮影された蛍光又は燐光の光跡の長さに基づいて流体の流速を、上記光跡の方向に基づいて流体の流れ方向を、上記光跡の起点における蛍光又は燐光の強度に基づいて流体の温度又は発光分子の濃度をそれぞれ算出する算出工程とを具備し、

上記照射工程では上記計測場に複数のドット状の連続的なレーザ光が照射される、流体計測方法。

Fig.1

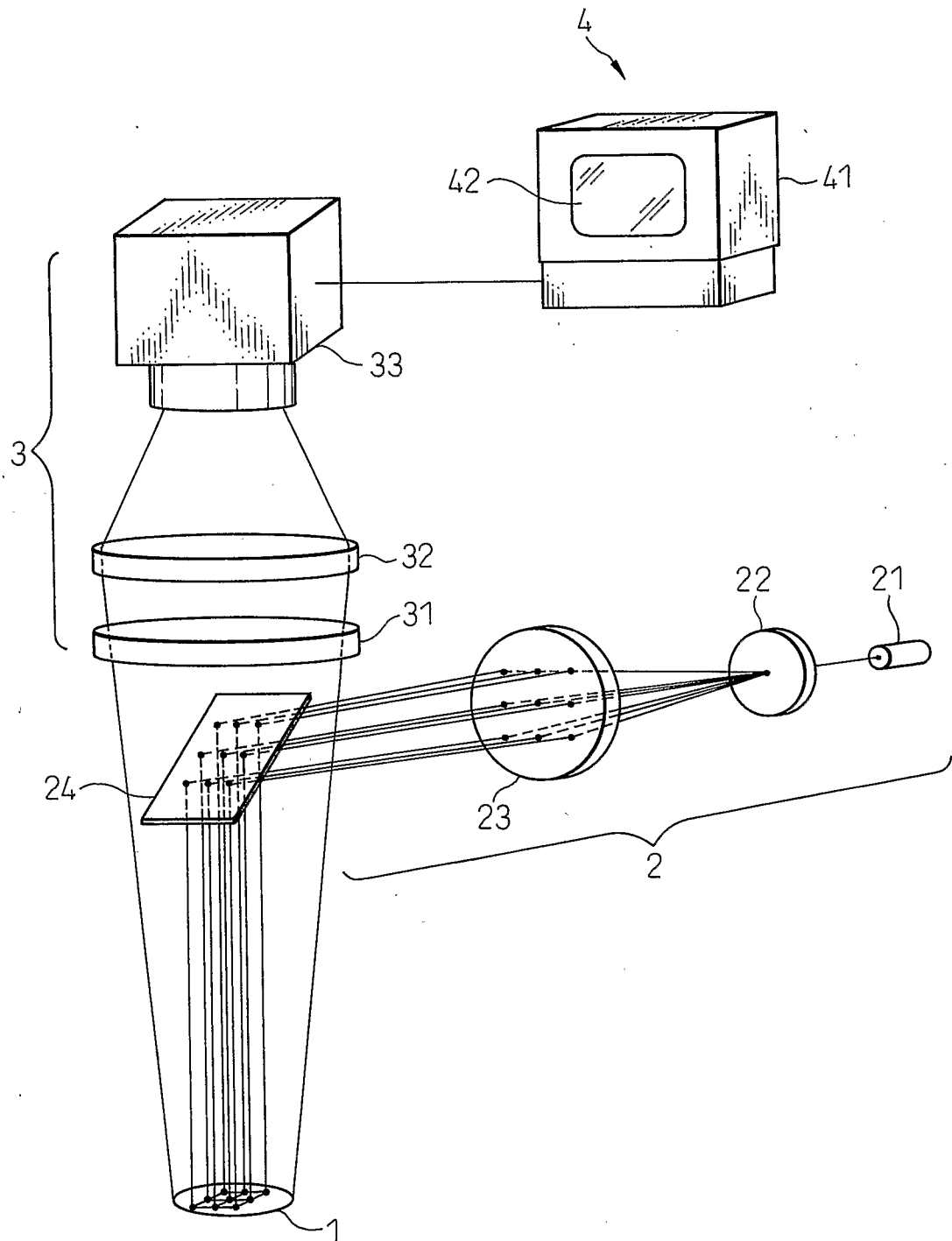


Fig.2

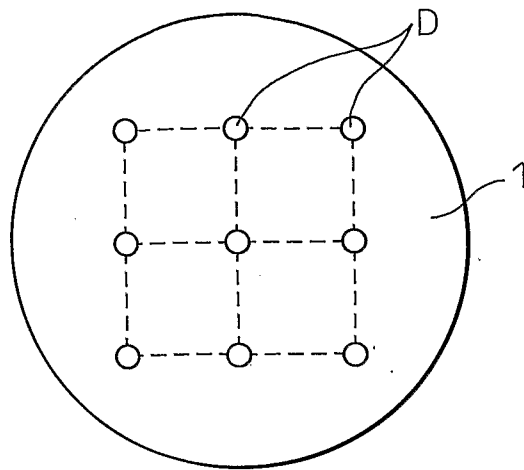
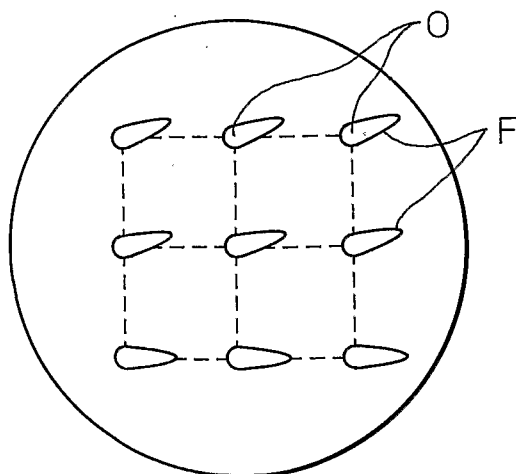


Fig.3



符号の説明

- 1 … 計測場
- 2 … 照射装置
- 3 … 撮影装置
- 4 … 計測装置
- 2 1 … 励起用レーザー
- 2 2 … 透過型直交回折格子
- 2 3 … 照射範囲調整用レンズ
- 2 4 … ダイクロイックミラー
- 3 1 … フィルタ
- 3 2 … 集光レンズ
- 3 3 … CCDカメラ
- 4 1 … コンピュータ
- 4 2 … 表示装置

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/055588

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01P5/18(2006.01)i, G01P5/20(2006.01)i, G01N21/64(2006.01)i, G01P13/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01P5/18, G01P5/20, G01N21/64, G01P13/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 8-278251 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 22 October, 1996 (22.10.96), Full text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2004-177312 A (Japan Science and Technology Agency), 24 June, 2004 (24.06.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2001-194379 A (NOK Corp.), 19 July, 2001 (19.07.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 May, 2007 (07.05.07)

Date of mailing of the international search report
15 May, 2007 (15.05.07)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/055588

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	The Visualization Society of Japan, PIV Handbook, first edition, 20 July, 2002 (20.07.02), pages 229 to 236	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01P5/18(2006.01)i, G01P5/20(2006.01)i, G01N21/64(2006.01)i, G01P13/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01P5/18, G01P5/20, G01N21/64, G01P13/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 7 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 7 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 7 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 8-278251 A（三菱重工業株式会社）1996. 10. 22, 全文全図（ファミリー無）	1-7
A	JP 2004-177312 A（独立行政法人科学技術振興機構）2004. 06. 24, 全文全図（ファミリー無）	1-7
A	JP 2001-194379 A（エヌオーケー株式会社）2001. 07. 19, 全文全図（ファミリー無）	1-7

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 7 . 0 5 . 2 0 0 7

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 5 . 2 0 0 7

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

森口 正治

2 F

9 4 0 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 1 6

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	社団法人可視化情報学会, P I Vハンドブック, 第1版, 2002. 07. 20, 229～236 頁	1-7