(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3722533号
(P3722533)
(45)発行日　平成17年11月30日(2005.11.30)　(24)登録日　平成17年9月22日(2005.9.22)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
G01B 11/00	G01B	11/00	G
G01B 11/16	G01B	11/16	G
G01D 21/00	G01D	21/00	M

請求項の数 5　(全 9 頁)

(21)出願番号　特願平8-9955
(22)出願日　平成8年1月24日(1996.1.24)
(65)公開番号　特開平8-247716
(43)公開日　平成8年9月27日(1996.9.27)
審査請求日　平成15年1月22日(2003.1.22)
(31)優先権主張番号　389,222
(32)優先日　平成7年2月15日(1995.2.15)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　399117121
アジレント・テクノロジーズ・インク
AGILENT TECHNOLOGIES, INC.
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト　ページ・ミル・ロード　３９５
３９５ Page Mill Road
Palo Alto, California U.S.A.
(74)代理人　100105913
弁理士　加藤　公久
(72)発明者　ウエイン・ヴィクター・ソリン
アメリカ合衆国カリフォルニア州マウンテン　ビュー、ケンブリッジ　レーン　３５７９

最終頁に続く

(54)【発明の名称】距離測定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

光ファイバ上のマーカ間の距離を測定する装置において、

前記光ファイバに設けられた複数のマーカにして、第１の端部から前記ファイバを伝搬する光信号の一部を反射するようにして、前記光ファイバの前記第１の端部から所定の距離に導入される複数のマーカと、

前記光信号を発生し、且つ該光信号を前記光ファイバの前記第１の端部に入れる手段と、

前記マーカから反射された光を集める手段と、

前記集められた光を含む第１の信号と、可変時間だけ遅延された前記集められた光を含む第２の信号とのコヒーレント和を、前記可変時間遅延の関数として測定し、前記コヒーレント和の強度の各ピークが前記マーカの特定の対によって生成される反射に対応し前記マーカ間の距離を提供するように前記マーカが構成される自己相関手段と、

を備えることを特徴とする装置。

【請求項２】

前記マーカの２つは同じ所定の波長の光を反射し、前記マーカの残りは前記所定の波長の光を反射しないようにされることを特徴とする請求項１に記載の装置。

【請求項３】

前記光ファイバ上の近接するマーカ間の距離は、互いに相違するよう構成されることを特徴とする請求項１に記載の装置。

【請求項４】
前記マーカの少なくとも一つによって反射された光の光量は、他の前記マーカによって反射された光の光量と互いに相違するように構成されることを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項５】
前記自己相関手段は、更に、前記集められた光からの光信号のシーケンスを発生する遅延手段を有し、前記発生した光信号がそれぞれ前記シーケンス内の前に発生した光信号に対して時間的にずれ、前記第１の信号が光信号の前記シーケンスを含むことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、距離の測定に関する。さらに具体的には、光ファイバなどの内部の光反射マーカ間の距離を測定する改善された方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
光ファイバ上のマーカ間の距離を測定することが有利となる場合は多数ある。例えば、遠隔温度検知では、マーカ間の距離は、マーカ間のファイバ部分の平均温度によって変化する。したがって、マーカ間の距離を測定することにより、マーカを接続するファイバ付近の環境の平均温度を推定できる。
【０００３】
同様に、マーカ間の距離は、ファイバにひずみをかけた場合に変化する。これは、光ファイバを取り付ける構造の変形を測定する手段を提供する。橋、建築物の骨組、ダムおよびトンネルなどの構造に光ファイバ・センサ・アレイを組み込むことによって、構造の寿命を通じて、材料のひずみを監視できる。
【０００４】
低コヒーレンス干渉計法は、このような種類の距離測定にとって魅力的な技法である。低コヒーレンス干渉計法は、従来の単一周波数（すなわち長コヒーレンス長）干渉計法の精度を維持しながら、長コヒーレンス長信号に関する多数の限界および問題を克服している。特に、絶対長や時間遅延を測定できる。これは、遅延の変化のみを測定できる固定周波数コヒーレンス干渉計法と対照的である。また、検知信号のコヒーレンス長が短いために、望ましくない時間によって変化する偶発的なシステム反射による干渉が除去される。低コヒーレンス干渉計法の他の利点は、比較的複雑な時間多重技法や周波数多重技法の使用を必要とせずに、多数のセンサを単一の光信号上にコヒーレンス多重化できることである。
【０００５】
低コヒーレンス干渉計は、基準光信号と、同じ光源からの光がマーカの配置されたファイバを反射されて戻る際に発生する光信号との干渉を検出することによって動作する。この２つの信号は、基準経路の光路長が、反射された光信号の光路長と同じ場合にコヒーレント干渉する。この干渉は、通常、基準光路長を変化させ、両方の経路からの光によって照明されるフォトダイオードの出力における干渉が最大となる光路長を観測することによって検出される。基準光路長は、光路の一部であるミラーを移動させることによって変化させる場合が多い。
【０００６】
従来の低コヒーレンス干渉計法は、非常に正確に距離を測定できるが、測定できる距離の範囲は、前述のミラーが移動できる度合によって制限される。光センサ・アレイでは、１メートル毎に部分反射マーカを有する、長さ数メートルのファイバからなるセンサ・アレイが観測される。したがって、従来の低コヒーレンス干渉計システムでは、基準光路長を数メートルにわたって変化させる必要がある。そのようなシステムは、光路長が数メートルにわたって変化する基準経路を構成することが困難であるので、実際的ではない。

【０００７】
従来の低コヒーレンス干渉計法の他の問題は、どのマーカを測定しているかを決定することである。１組のマーカがファイバに沿って等間隔で配置されている場合、低コヒーレンス干渉計の出力は、個々のマーカ間の距離だけ分離した１組のピークになる。ピークはこの配置では識別できないので、マーカのうち少なくとも１つのマーカの絶対位置が周知でない限り、特定のピークを所与のマーカに割り当てる方法はない。ファイバが構造に内蔵されている場合には、検知アレイを検出サイトに接続するファイバの量が未知である場合が多いので、第１のマーカに対する絶対距離を知ることはできない。原理上、第１のマーカの位置は、ピークが検出されるまで、基準アームに各種の遅延を挿入することによって決定できる。しかしながら、このプロセスは、時間がかかり、したがって高価である。

【０００８】
【発明が解決しようとする課題】
一般に、本発明の目的は、光ファイバなどのマーカ間の距離を測定する改善された装置および方法を提供することである。

【０００９】
本発明の他の目的は、最も遠いマーカまでの距離に等しい基準経路を必要としない装置を提供することである。

【００１０】
本発明の他の目的は、各種のマーカの発生する信号を検出器において互いに識別できる装置および方法を提供することである。

【００１１】
本発明の上記その他の目的は、当業者には、以下の詳細な本発明の説明および添付の図面から明らかとなろう。

【００１２】
【課題を解決するための手段】
本発明は、構造を特徴づける寸法の変化を測定する装置および方法である。この装置は、光ファイバに沿って配置された複数の反射マーカの間の光路長を測定することによって動作する。光ファイバは、問題の寸法が変化すると、マーカのうち少なくとも２つのマーカの間の光ファイバの一部が変化するように、構造に取り付けられる。ファイバは、低コヒーレンス光によって照明される。各マーカは、ファイバの第１の端部からファイバを伝搬する光信号の一部を反射する。マーカは、第１の端部から所定の距離のところにある。マーカから反射された光は、集められ、集められた光からなる第１の信号と、可変時間遅延によって遅延した、集められた光からなる第２の信号とのコヒーレント合計を測定する光自己相関器に導入される。コヒーレント合計は、該可変時間遅延の関数として測定される。本発明の各種の実施例では、特定のマーカを識別する各種の方法を使用する。例えば、各対のマーカが固有波長の光を反射するようにマーカを構成できる。第２の実施例では、各対のマーカの間の距離を使用して、マーカの対を識別する。第３の実施例では、各マーカの反射率を使用して、マーカを識別する。

【００１３】
【実施例】
光ファイバ２２内に分配された複数の反射マーカ間の距離を測定する実験的な配置の概略図である図１を参照すると、本発明をより容易に理解できる。模範的なマーカが１１から１５のところに示されている。マーカを作製する方法について、以下により詳細に説明する。

【００１４】
光ファイバ２２は、光源２０からの低コヒーレンス光によって照明される。光源２０からの光は、小さいコヒーレント光パルスの連続的な流れであると考えられる。各パルスは、数十ミクロンのコヒーレンス距離を有する。各マーカは、各パルスの一部を反射してファイバ２２に戻し、カプラ２１を通して自己相関器３０に送る。光源２０からの各パルスに対応する光信号は、各マーカにおけるパルスの反射を表すパルスの列である。

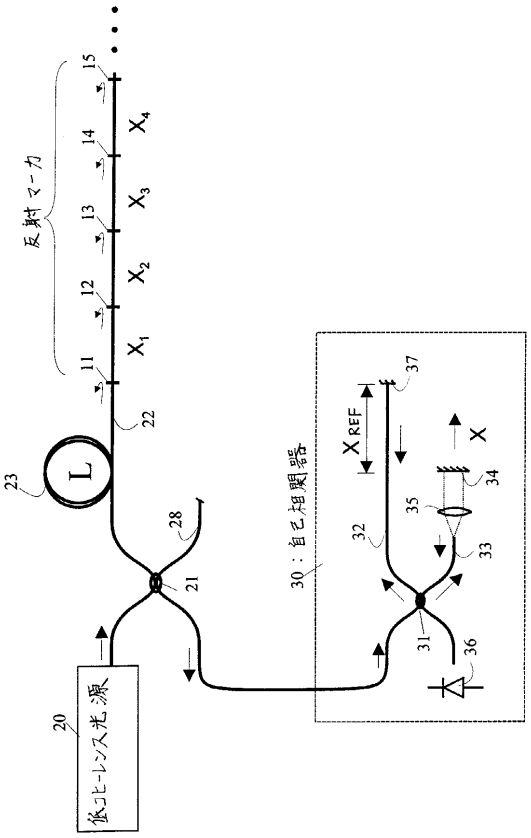
【００１５】
自己相関器３０に入る光は、２つの信号を発生するカプラ３１によって分割される。第１の信号は、ファイバ３２に進み、ミラー３７によって反射されてカプラ３１に戻る。他方の信号は、ファイバ３３に進み、移動ミラー３４によってカプラ３１に戻る。レンズ３５を使用して、その光を光ファイバ３３内に戻す。２つの光路からの光は、カプラ３１内で再結合し、フォトダイオード３６に当てられる。
【００１６】
特定のパルス列の各パルスは、列内の他の各パルスと可干渉であり、他のすべての列からの光と非干渉であることに留意すべきである。したがって、同じ列の２つのパルスからの光がカプラ３１内にある場合、光はコヒーレント干渉する。ただし、異なる列からの光信号はコヒーレント干渉しない。
【００１７】
この議論では、マーカ１１と１２の間の距離をX_1、マーカ１２と１３の間の距離をX_2などのように表示する。マーカ１１において反射された光がファイバ３２上のカプラ３１に再入し、同時にマーカ１２において反射された光がファイバ３３を介してカプラ３１に再入する場合を考える。これは、ファイバ３２と３３に基づいたアーム間の光路の差がX_1に等しい場合に起こる。同様に、距離の差がX_2に等しい場合、ファイバ３２上を伝搬してきた反射マーカ１２において反射された光が、カプラ３１において、ファイバ３３上を伝搬してきたマーカ１３からの光と重なり合う場合、光干渉における他の最大値がフォトダイオード３６に現れる。
【００１８】
以下の議論を簡単にするために、ファイバ２２上の連続したマーカ間の距離が増大する、すなわち、$X_i < X_{i+1}$であると仮定する。次いで、フォトダイオード３６における光の干渉をミラー３４の変位に対してプロットすると、図２に示すグラフと同様なグラフが得られる。マーカの連続した各対の間の距離に対応する信号は、マーカの連続した各対の間の距離が明確である限り、互いに分離することに留意する必要がある。また、必要な基準ファイバの量は、最小マーカ間距離に等しく、かつミラー３４の移動の範囲は、最小マーカ間距離と最大マーカ間距離の間の距離にちょうど等しくなければならないことにも留意する必要がある。また、これらの距離は、マーカ・アレイと自己相関器３０の間の距離２３に無関係であることにも留意する必要がある。
【００１９】
各干渉信号の幅は、光源のコヒーレント長にほぼ等しく、一般に数十ミクロン程度である。干渉信号の位置は、マーカの各対の間の絶対光路長の直接の測定値である。これらの干渉信号の強さは、隣接した反射サイトからの反射率の積によって決まる。走査範囲は、干渉信号の幅よりもはるかに大きいので、信号の重なり合いの可能性は小さい。干渉信号が短時間に重なり合うと、一般に等しくないそれらの振幅を追跡し続けることによって干渉信号が分離した際にそれらを識別できる。
【００２０】
本発明による装置の基本的な動作について説明したが、次に、検知アレイを製造するためにマーカをファイバ２２内に導入する方法をより詳細に説明する。部分反射境界をファイバ２２に導入する１つの方法は、ファイバを切断し、次いで従来のケーブル結合を使用して、その両端を接合することである。これにより、入射光の10^{-3}を反射するマーカが得られる。そのようなマーカは適切に機能するが、マーカを生成する費用が高い。
【００２１】
本発明の好ましい実施例では、マーカは、ファイバ・コア内に部分反射格子を作成することによって生成される。これは、２つのエキシマ・レーザ・ビームを十分な強度でファイバ・コアに照射して、コア内に所定の距離にわたって一定の間隔で損傷を生成することによって行うことができる。損傷の周期性は、ビームの角度およびレーザの波長によって決定される。これらのマーカは、主として、その波長が「格子」のうねの間隔の１／２である光を反射する。したがって、マーカは、特定の波長のみを反射する。

【００２２】
前述の議論から、当業者には、光源２０のスペクトル幅がすべてのマーカ格子の反射波長をカバーするのに十分であれば、マーカの色感度を使用して、各種のマーカを分類できることが明らかであろう。そのようなシステムでは、マーカは、対として組織される。マーカの各対は、同じ波長を反射するように作成される。フォトダイオード３６の代わりに、被測定光の波長を選択するためのフィルタまたは格子を含む光検出器が使用されることもある。
【００２３】
通常、ファイバ２８を伝搬する光は消滅する。このファイバは、単にカプラ２１の釣り合いを取るために備えられている。しかしながら、当業者には、前述の議論から、ファイバ２８上のマーカとファイバ２２上のマーカとを識別できるのであれば、第２のセンサ・アレイをファイバ２８に取り付けることができることが明らかであろう。そのようなマーカの識別は、ファイバ２２上のマーカを参照して、前述の手段のいずれかによって行うことができる。
【００２４】
前述の本発明の実施例では、マーカの各対について十分厳密に整合したマーカ間の間隔を使用して、比較的小さいミラーの移動によりすべてのマーカを検出できるようにしている。本発明の前述の実施例では、ミラーの移動は、最小マーカ間隔と最大マーカ間隔の間の差に等しくなければならなかった。この限界を克服する本発明の実施例が、図３の３００に示されている。
【００２５】
３００に示される配置では、自己相関器３１０が、図１に示した固定された基準アームの代わりに、再循環遅延３１２を使用している。再循環遅延回路は、入力光信号を受信し、そこから遅延光信号のシーケンスを発生させる装置であると定義される。各発生した光信号は、シーケンス内に前に発生した光信号と同期して配置される。発生した光信号は、入力光信号と同じコヒーレンス特性を有する。再循環遅延が移動ミラー３１４によって提供される可変遅延よりも小さければ、移動ミラーのカバーする範囲内に光遅延を有する基準信号の同じ信号が少なくとも１つあるので、マーカ間隔X_jの範囲は、ミラーの移動よりも小さくなくてもよい。
【００２６】
再循環遅延は、ファブリ・ペロー空洞を使用して構成できる。ファブリ・ペロー空洞は、２つの部分反射鏡３６３および３６４から構成され、これらの鏡は、装置２２と同じ分散特性を有することが好ましい光学材料３６７の領域の両端と同軸である。カプラ３１６からの光は、ミラー３６３と３６４の間をはね返りながら進む光の一部を通過させるミラー３６３上に描画される。光パルスがミラーの１つに当たるたびに光の一部が逃げる。ファイバ３６６内に逃げ込む光は、干渉計の基準ビームを形成する。光アイソレータ３６７および３６８は、空洞からの光がカプラ３１６に再入しないように、空洞を遮断する。ミラー３６３および３６４の反射率は、カプラ３２２に到達する光パルスの有効な個数が最大となるように設定される。
【００２７】
図３に示される本発明の実施例では、平衡検出器法を使用している。干渉計の可変遅延アームの時間遅延がマーカからの反射光の時間遅延と整合している場合、所定の周波数でビート信号を生成するコヒーレント干渉が発生する。ビート周波数での光信号のパワーは、２つのフォトダイオード３２７と３２８および加算器３３３から構成される平衡検出器３３２によって検出される。平衡検出器は、入射光信号上の強度雑音を除去する。次いで、控除された出力は、干渉信号の強度を検出するために電子的に処理される。例えば、控除された出力のパワー・スペクトルは、スペクトラム・アナライザ３２９によって測定できる。
【００２８】
前述の説明と添付の図面から、当業者には、本発明の各種の変更が明らかとなろう。

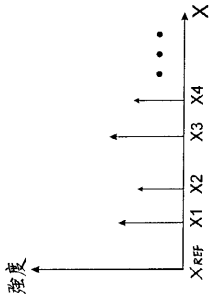
【００２９】
以上、本発明の実施例について詳述したが、以下、本発明の各実施態様の例を示す。
[実施態様１]
光ファイバ（２２）上のマーカ間の距離を測定する装置（３００）において、
前記光ファイバ（２２）の第１の端部から所定も距離に導入され、該第１の端部から前記ファイバを伝搬する光信号の一部を反射する、前記光ファイバ（２２）に設けられた複数のマーカ（１１－１５）と、
前記光信号を発生し、かつ該光信号を前記光ファイバ（２２）の前記第１の端部に入れる手段（２０）と、
前記マーカ（１１－１５）から反射された光を集める手段（２１）と、
前記集められた光からなる第１の信号と、可変時間遅延だけ遅延された前記集められた光からなる第２の信号とのコヒーレント合計を、前記可変時間遅延の関数として測定する光自己相関手段（３０、３１０）と、
を含む装置。
[実施態様２]
前記マーカ（１１－１５）のうちの２つのマーカが所定の波長の光を反射し、残りの前記マーカ（１１－１５）が前記所定の波長の光を反射しないことを特徴とする、実施態様１に記載の装置（３００）。
[実施態様３]
前記光ファイバ（２２）上の前記隣接するマーカ（１１－１５）の各対の間の距離が、前記光ファイバ（２２）上の他の隣接するマーカ（１１－１５）の各対の間の距離と異なることを特徴とする、実施態様１に記載の装置（３００）。
[実施態様４]
前記マーカ（１１－１５）のうちの少なくとも一つによって反射された光の量が、他の前記マーカ（１１－１５）によって反射された光の量と異なることを特徴とする、実施態様１に記載の装置（３００）。
[実施態様５]
さらに、前記自己相関手段（３０、３１０）が前記集められた光からの光信号のシーケンスを発生する遅延手段（３１２）を含み、前記発生した光信号がそれぞれ、前記シーケンス内の前に発生した光信号に対して時間的にずれ、前記第１の信号が光信号の前記シーケンスを含むことを特徴とする、実施態様１に記載の装置（３００）。
[実施態様６]
構造を特徴づける寸法の変化を測定する方法において、
前記構造に光ファイバ（２２）を取り付けるステップであって、前記光ファイバ（２２）がその上に複数のマーカ（１１－１５）を有し、各前記マーカ（１１－１５）が、光ファイバ（２２）の第１の端部から該ファイバを伝搬する光信号の一部を反射し、該マーカ（１１－１５）は、前記第１の端部からの所定の距離のところに導入され、前記光ファイバ（２２）が、前記寸法の変化により前記光ファイバ（２２）の一部の長さが変化するように前記構造に取り付けられるステップと、
前記光信号を発生させ、かつ該光信号を前記光ファイバ（２２）の前記第１の端部に入れるステップと、
前記マーカ（１１－１５）から反射された光を集めるステップと、
前記集められた光からなる第１の信号と、可変時間遅延によって遅延した前記集められた光からなる第２の信号とのコヒーレント合計を、前記可変時間遅延の関数として測定するステップと、
を含む方法。
[実施態様７]
前記マーカ（１１－１５）のうちの２つのマーカが所定の波長の光を反射し、残りの前記マーカ（１１－１５）が前記所定の波長の光を反射しないことを特徴とする、実施態様６に記載の方法。

[実施態様８]
前記光ファイバ（２２）上の前記隣接したマーカ（１１－１５）の各対の間の距離が、前記光ファイバ（２２）上の他の隣接したマーカ（１１－１５）の各対の間の距離と異なることを特徴とする、実施態様６に記載の方法。
[実施態様９]
前記マーカ（１１－１５）のうちの少なくとも１つによって反射された光の量が、他の前記マーカ（１１－１５）によって反射された光の量と異なることを特徴とする、実施態様６に記載の方法。
[実施態様１０]
前記コヒーレント合計が、前記集められた光からの光信号のシーケンスを発生させる遅延手段（３１２）を含む光自己相関器（３０、３１０）を使って測定され、前記発生した光信号がそれぞれ、前記シーケンス内の前に発生した光信号に対して時間的にずれ、前記第１の信号が光信号の前記シーケンスを含むことを特徴とする、実施態様６に記載の方法。
[実施態様１１]
前記遅延手段がファブリ・ペロー空洞（３６７）を含む、実施態様１０に記載の方法。
【００３０】
【発明の効果】
以上説明したように、本発明を用いることにより、最も遠いマーカまでの距離に等しい基準経路を必要とせずに、光ファイバなどのマーカ間の距離を測定することができる。
【図面の簡単な説明】
【図１】複数の反射マーカ間の距離を測定する本発明による実験的な配置の概略図である。
【図２】図１に示した自己相関器からの期待される光強度を示す図である。
【図３】再循環光遅延を使用する本発明による実験的な配置の概略図である。
【符号の説明】
１１、１２、１３、１４、１５：マーカ
２０：光源
２１、３１：カプラ
２２、２８、３２、３３：光ファイバ
３０：自己相関器
３４：移動ミラー
３５：レンズ
３６：フォトダイオード
３７：ミラー

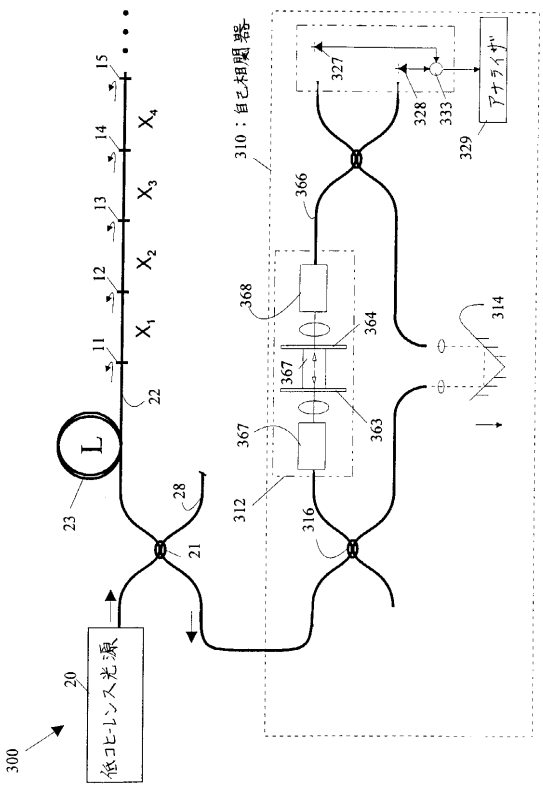
【図１】


反射マーカ
低コヒーレンス光源
30：自己相関器
X REF
X

【図２】


強度
X
X1
X2
X3
X4
XREF

【図３】


低コヒーレンス光源
310：自己相関器
アナライザ

フロントページの続き

(72)発明者　ダグラス・マイケル・バーニー
アメリカ合衆国カリフォルニア州ロス　アルトス、クリントン　ロード　８９７

審査官　山下　雅人

(56)参考文献　特開平０６－２４１９２９（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－２７９８３２（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－０８６５１０（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２７３０８１（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２６４２１５（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２３５６１７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
G01B 9/00 - 11/30
G08C 15/00
G01L 1/00
G01K 11/12
G01D 5/26
G01D 21/00