

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004年12月9日 (09.12.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/106971 A1

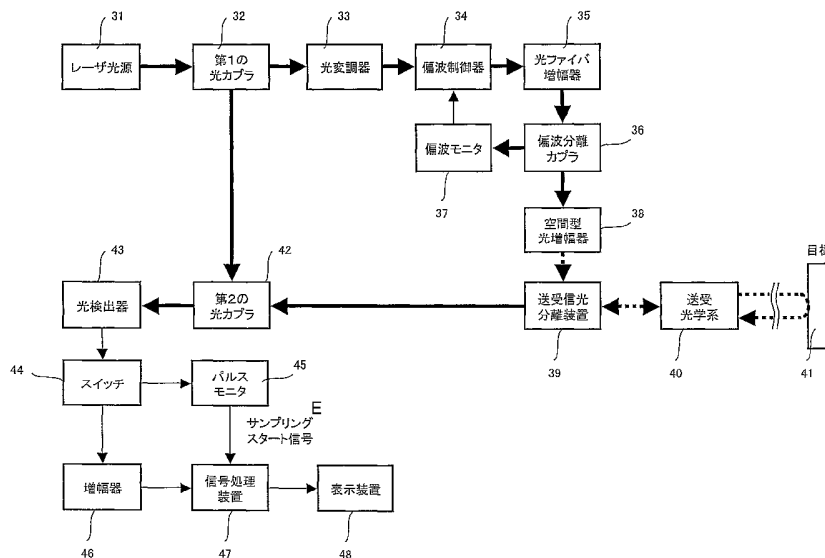
- (51) 国際特許分類7: G01S 17/88, 7/48, G02F 1/39
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/006874
- (22) 国際出願日: 2003年5月30日 (30.05.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).

- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 柳澤 隆行 (YANAGISAWA, Takayuki) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 山本 修平 (YAMAMOTO, Syuhei) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 平野 嘉仁 (HIRANO, Yoshihito) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 亀山 俊平 (KAMEYAMA, Shumpei) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 安藤 俊行 (ANDO, Toshiyuki) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: COHERENT LASER RADAR

(54) 発明の名称: コヒーレントレーザレーダ装置



- 31...LASER LIGHT SOURCE
- 32...FIRST PHOTOCOUPLER
- 33...OPTICAL MODULATOR
- 34...POLARIZATION CONTROLLER
- 35...OPTICAL FIBER AMPLIFIER
- 36...POLARIZATION SEPARATION COUPLER
- 37...POLARIZATION MONITOR
- 38...SPATIAL OPTICAL AMPLIFIER
- 39...TRANSMITTING/RECEIVING LIGHT SEPARATOR
- 40...TRANSMITTING/RECEIVING OPTICAL SYSTEM
- 41...TARGET
- 42...SECOND PHOTOCOUPLER
- 43...PHOTODETECTOR
- 44...SWITCH
- 45...PULSE MONITOR
- 46...AMPLIFIER
- 47...SIGNAL PROCESSOR
- 48...DISPLAY
- E...SAMPLING START SIGNAL

(57) Abstract: A coherent laser radar realizing high reliability and high output transmission light comprising a first photocopler for branching a laser light from a light source into a local light and a transmission light, an optical modulator for modulating a transmission light, a spatial optical amplifier for amplifying a modulated transmission light, a transmitting/receiving optical system for irradiating a target with an amplified transmission light and receiving a scattering light from the target, a transmitting/receiving light separator, a second photocopler for mixing a local light and a separated receiving light, a photodetector for heterodyne detecting the mixture light, a beat signal amplifier for amplifying a detection signal, a signal processor for processing an amplified signal, and a display for displaying

the results of processing, wherein the first and second photocoplers and the optical modulator comprise a polarization maintaining optical element, respectively, and each optical path from the laser light source through the first photocopler to the spatial optical amplifier, from the transmitting/receiving light separator through the second photocopler to the photodetector, and from the first

[続葉有]

WO 2004/106971 A1



- (74) 代理人: 曾我 道照, 外(SOGA, Michiteru et al.); 〒 添付公開書類:
100-0005 東京都千代田区丸の内三丁目1番1号国 ー 国際調査報告書
際ビルディング 8階 曾我特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): JP, US.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR). 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。

photocoupler to the second photocoupler is connected through a polarization maintaining single mode optical fiber.

(57) 要約: 高信頼性と送信光の高出力化を実現するコヒーレントレーザレーダ装置を得る事を目的とし、光源からのレーザ光をローカル光と送信光に分岐する第1の光カプラ、送信光を変調する光変調器、変調された送信光を増幅する空間型光増幅器、増幅された送信光を目標に照射し、目標からの散乱光を受光する送受光学系、送信光と受信光を分離する送受信光分離装置、ローカル光と分離された受信光を混合する第2の光カプラ、混合光をヘテロダイン検波する光検出器、検波信号を増幅するピート信号増幅器、増幅された信号を処理する信号処理装置、その結果を表示する表示装置を備え、第1と第2の光カプラ及び光変調器を偏波保存型光学素子で構成し、レーザ光源から第1の光カプラを経て空間型光増幅器まで、送受信光分離装置から第2の光カプラを経て光検出器まで、第1の光カプラから第2の光カプラまでの各光路を偏波保存型シングルモード光ファイバで接続する。

明 細 書

コヒーレントレーザレーダ装置

5

技術分野

この発明は、コヒーレントレーザレーダ装置に関するものであり、特に、目標の距離、速度、密度分布、速度分布などの物理情報を測定することを目的とし、光学部品を光ファイバで接続した光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置に関するものである。

10

背景技術

レーザレーダ (Laser Radar) は、遠隔より目標 (大気、大気中の微粒子やエアロゾル、建築物等) にレーザ光を照射し、その反射光 (散乱光) を受信することにより、大気中の微粒子、分子の分布、風速、建築物までの距離など、様々な情報

15

を遠隔より測定することが可能である。

レーザレーダは、野外で使用される場合が多く、高い信頼性が要求される。また、遠方まで高精度に測定するため、大きな出力と回折限界のビーム品質が要求される。また、風速や被測定物の速度を検出するコヒーレントレーザレーダ (Coherent Laser Radar) では、散乱光のわずかなドップラー周波数シフトを検出するため、送信光に単一周波数が要求されるとともに、高い速度分解能を得るために、長いパルス幅が要求される。さらに、野外で使用する場合、人間の目に対する安全性が要求される。波長 $1.4 \mu\text{m}$ 以上の波長を有するレーザ光はアイセーフ波長と呼ばれ、目に対する許容度が大きい。従って、波長 $1.4 \mu\text{m}$ 以上のレーザ光を用いることにより、大きな出力と目に対する安全性を両立させることが

20

25

可能となる。

例えば、Optics Letters, Vol. 26, No. 16, p1262-1264 (2001年) に示された従来の空間共振器型コヒーレントレーザレーダ装置では、波長 $1.54 \mu\text{m}$ で発振する Er、Yb : Glass レーザ媒質と、ミラー等の光学部品を用いてレーザ共振器を空間に配置した空間型レーザ共振器が用いられてきた。

また、単一周波数化をはかるため、ローカル光を共振器内に注入して、ローカル光と同じ波長でレーザ発振を発生させるインジェクションシーディング法と、レーザ共振器の縦モードとローカル光の波長を一致させるための共振器長制御が用いられてきた。

5 さらに、長いパルス幅を得るために、長い共振器長（2 m）の空間型レーザ共振器が用いられてきた。

しかし、波長1.4 μm 以上で発振するレーザ媒質は、一般に利得が小さいため、高効率にレーザ光を発生する事が困難であった。また、空間型レーザ共振器では、ミラー等の光学部品に高い設置精度が要求されるが、野外で使用されることが多いレーザレーダ装置では、温度変化や振動、衝撃により、容易にアライメントずれが発生し、レーザ共振器内の損失が増加する。その結果、送信光の出力が変動するという問題があった。このアライメントずれの影響は、一般に、レーザ媒質の利得が小さいほど、また、共振器が長くなるほど顕著になる。

さらに、単一周波数の送信光を得るには共振器長を制御する必要があるため、15 制御が不安定になると単一周波数出力が得られなくなるという問題があった。さらに、共振器長制御は、機械的に共振器内部の光学部品を動かす事により実現するため、動作時のアライメントずれによる出力低下が発生するという問題があった。このため、従来の空間共振器型コヒーレントレーザレーダ装置では、高い信頼性を得る事が困難であった。

20 このような問題を解決する手段として、例えば 11th Coherent Laser Radar Conference (Malvern, Worcestershire, UK, July 2001) の Proceedings (p.144-146) には、図8に示すような、送信光源に光ファイバ増幅器を用いた従来の光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置が示されている。

25 図8に示す光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置は、単一波長で発振したレーザ光を光ファイバ出力するレーザ光源1、光ファイバ型の第1の光コプラ2、光変調器3、光ファイバ増幅器4、送受信光分離装置5、送受光学系6、光ファイバ型の第2のコプラ7、光受信器8、信号処理器9、第1の偏波制御器10、第2の偏波制御器11を備えている。

ここで、前記送受信光分離装置5は、図9に示すように、第1の結合光学系2

1、偏光子 22、1/4波長板 23、第2の結合光学系 24で構成されている。

図8に示す光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置において、レーザ光源1から光変調器3を経た送受信分離装置5までの光学部品、第1の光カップラ2から第2の偏波制御器11を経た第2の光カップラ7までの光学部品、および、送受信分離装置5から第2の光カップラ7までの光学部品は、インラインファイバ型の光学部品であり、それぞれシングルモード光ファイバ(SMF)により結合されている。

次に、従来の光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置の動作について説明する。単一波長(周波数 f_0)で発振するレーザ光源1からのレーザ光は、第1の光カップラ2により2分岐され、一方はローカル光に用いられ、他方は送信光として第1の光カップラ2及び第1の偏波制御器10を経て光変調器3により変調される。

ここで、光変調器3は、パルス駆動された音響光学(AO)素子であり、前記レーザ光の光周波数を周波数 f_1 だけ周波数シフトし、かつ、パルス状にレーザ光を変調して出力する。前記パルス化されたレーザ光は、光ファイバ増幅器4で増幅された後、送受信光分離装置5を介して、送受光学系6により目標に向けて照射される。

目標に照射された送信光は、目標の速度に応じたドップラーシフト(ドップラー周波数 f_d)を受けて散乱されて受信光となる。受信光は、送受光学系6を介して送受信光分離装置5において送信光と分離され、第2の光カップラ7において前記ローカル光と合波される。

前記受信光とローカル光との混合光は、光受信器8においてヘテロダイン検波され、ローカル光と受信光との周波数差($f_1 + f_d$)の周波数を持つビート信号が出力される。前記ビート信号は、信号処理器9において信号処理され、受信光の受信強度、ラウンドトリップ時間、および、ドップラー周波数から、目標までの距離、速度、密度分布、速度分布といった物理情報が測定される。

送受信光分離装置5では、偏光を用いて送信光と受信光との分離を行っている。図9に示すように、光ファイバ増幅器4からのパルスレーザ光は、送信光に用いられ、第1の結合光学系21により、略平行ビームとして偏光子22に入射さ

れる。偏光子 22 は紙面に対して平行な偏光成分を透過し、紙面に対して垂直な偏光成分を反射するように設定されている。偏光子 22 で反射された送信光は、紙面に対して垂直な直線偏光となる。

さらに、1/4波長板 23 を透過する事により円偏光に変換された後、送受光学系 6 に送られる。目標の散乱による偏波変動が無いものとする、送受光学系 6 からの受信光は円偏光であり、1/4波長板 23 を透過する事により、紙面に対して平行な直線偏光に変換される。直線偏光に変換された受信光は偏光子 22 を透過し、第 2 の結合光学系 24 を介して、第 2 の光カプラ 7 に至る光ファイバに結合される。

10 送信光の送受信光分離装置 5 における透過損失を最小にするためには、光ファイバ増幅器 4 からの送信光を紙面に対して垂直な直線偏光とする必要がある。このため、第 1 の偏波制御器 10 により、光ファイバ増幅器 4 からの送信光は紙面に対して垂直な直線偏光となるように調整される。

また、光ヘテロダイン検波において、検波効率を最大にするためには、ローカル光と受信光の偏波面を一致させる必要がある。このため、第 2 の偏波制御器 11 により、ローカル光の偏波面を受信光の偏波面に略一致するように調整される。

前記のように、従来の光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置では、送受信光分離装置 5、および、送受光学系 6 を除いた全てを光ファイバで構成しているため、温度変化や振動、衝撃に強く、高い信頼性を有する。

20 図 8 に示した従来の光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置では、送信光の高出力化のため、シングルモード光ファイバを用いた光ファイバ増幅器 4 を用いている。シングルモード光ファイバは、直径数 μm ~ 十数 μm の小さなコアの中を光が伝搬するが、送信光の出力を大きくした場合、コア内のパワー密度が大きくなり、ブリルアン散乱やラマン散乱等の非線形効果が発生する。また、光ファイバ内や光ファイバ端面、インライン型光部品内の光学部品等に損傷が発生する。このため、送信光の出力パワーが制限される。

この発明は、前記のような問題点を解決することを課題としてなされたものであり、高い信頼性と送信光の高出力化を実現したコヒーレントレーザレーダ装置

を得る事を目的とする。

発明の開示

この発明に係るコヒーレントレーザレーダ装置は、直線偏光したレーザ光を発振するレーザ光源と、前記レーザ光源からのレーザ光をローカル光と送信光とに二分岐する偏波保存型の光学素子である第1の光カップラと、前記第1の光カップラから分岐された送信光を変調する偏波保存型の光学素子である光変調器と、前記光変調器から出力された送信光を空間伝搬により増幅する空間型光増幅器と、前記空間型光増幅器により増幅された送信光を目標に向けて照射すると共に、前記目標からの散乱光を受光する送受光学系と、前記空間型光増幅器により増幅された送信光と前記目標から散乱された受信光とを分離する送受信光分離装置と、前記第1の光カップラより分岐されたローカル光と前記送受信光分離装置より分離された受信光とを混合する偏波保存型の光学素子である第2の光カップラと、前記第2の光カップラからの混合光をヘテロダイン検波して受信光のビート信号を出力する光検出器と、前記光検出器より出力されたビート信号を増幅するビート信号増幅器と、前記ビート信号増幅器により増幅された信号を信号処理する信号処理装置と、前記信号処理装置で信号処理された結果を表示する表示装置とを備え、前記レーザ光源から前記第1の光カップラを経て前記空間型光増幅器までの光路、前記送受信光分離装置から第2の光カップラを経て光検出器までの光路、および、前記第1の光カップラから前記第2の光カップラまでの光路を、偏波保存型シングルモード光ファイバで接続したことを特徴とする。

図面の簡単な説明

図1は、この発明の実施の形態1による光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置の構成を示すブロック図、

図2は、送受信光分離装置の構成を示すブロック図、

図3は、この発明の実施の形態2に係るOPAを用いた空間型光増幅器の構成を示すブロック図である。

図4は、非線形材料としてMgPPLNを用いた時の励起光から送信光へのパ

ワーの変換効率と非線形材料の結晶長の関係を示す図、

図5は、この発明の実施の形態3に係るもので、送信光と励起光のパルス幅を同じ程度にした場合に、パルスジッタによる励起光のタイミングのずれにより、送信光の増幅率が低下または全く増幅されない場合の説明図、

5 図6は、この発明の実施の形態3に係るもので、送信光のパルス幅を励起光のパルス幅よりも長くして、増幅率の劣化を抑制する例を示した図、

図7は、この発明の実施の形態4に係るもので、送信光のパルス幅を励起光のパルス幅よりも短くして、増幅率の劣化を抑制する例を示した図、

10 図8は、従来の光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置の構成を示すブロック図、

図9は、図8の送受信光分離装置の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、この発明の各実施の形態について図面を参照して説明する。

15 実施の形態1.

図1は、この発明の実施の形態1による光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置の構成を示すブロック図である。図1に示す光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置は、直線偏光したレーザ光を発振するレーザ光源31、レーザ光源31からのレーザ光をローカル光と送信光とに2分割する第1の光カップラ32、
20 第1の光カップラ32からの送信光を変調する光変調器33、光変調器33から出力された送信光の偏光を偏波モニタ出力に基づいて調整する偏波制御器34、偏波制御器34より出力された送信光を増幅する光ファイバ増幅器35、光ファイバ増幅器35より出力された送信光を直交した二つの直線偏光成分に分離する偏波分離カップラ36、偏波分離カップラ36の一方の出力をモニタし偏波モニタ出力を前記偏波制御器34に出力する偏波モニタ37、偏波分離カップラ36の他の一方の出力を増幅する空間型光増幅器38を備える。

また、この光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置は、送信光と受信光を分離する送受信光分離装置39、送信光を目標41に向けて照射し、目標41からの散乱光を受光する送受光学系40、第1のカップラ32より分割されたローカ

ル光と受信光とを混合する第2の光カップラ42、第2の光カップラ42からの混合光をヘテロダイン検波してビート信号を出力する光検出器43、光検出器43の出力を送受信光学系の内部散乱が発生している時間と目標からの散乱光を受信している時間とで切り替えるスイッチ44、スイッチ44を介して得られた内部散乱によるビート信号をモニタするパルスモニタ45、スイッチ44を介して得られた受信光のビート信号を増幅する増幅器46、増幅器46により増幅された受信光のビート信号を信号処理する信号処理装置47、信号処理装置47により得られた処理結果を表示する表示装置48を備える。

ここで、前記送受信光分離装置39は、図2に示すように、偏光子71、1/4波長板72、結合光学系73により構成される。

また、図1において、光変調器33-偏波制御器34-光ファイバ増幅器35は、シングルモード光ファイバ(SMF)で接続され、レーザ光源31-第1の光カップラ32-光変調器33、光ファイバ増幅器35-偏波分離カップラ36-偏波モニタ37-空間型光増幅器38、送受信光分離装置39-第2の光カップラ42-検出器43、および、第1の光カップラ32-第2の光カップラ42は、それぞれ偏波保存型のシングルモード光ファイバ(PDF)で接続されている。また、第1の光カップラ32、光変調器33、偏波分離カップラ36、および、第2の光カップラ42は、偏波保存型の光学素子である。

次に動作について説明する。レーザ光源31から出力された直線偏光のレーザ光は、第1の光カップラ32により、送信光とヘテロダイン検波用のローカル光に2分岐される。光変調器33は、第1の光カップラ32により分岐された送信光を変調する。ここで、光変調器33は、例えば、パルス駆動される音響光学(AO)素子であり、前記送信光の光周波数を周波数 f_1 だけ周波数シフトし、かつ、パルス状にレーザ光を変調して出力する。

光変調器33によりパルス状に変調された送信光は、偏波制御器34により偏光状態が調整されて、光ファイバ増幅器35に入射される。そして、光ファイバ増幅器35で増幅された送信光は、偏波分離カップラ36を介して空間型光増幅器38に入射される。ここで、空間型光増幅器38および送受信光分離装置39では、送信光に直線偏光が要求される。

光ファイバ増幅器 35 は、通常、偏波を保持しない SMF で構成される。従って、光ファイバ増幅器 35 から出力される送信光の偏波状態が変動する。偏光状態を保存する PDF を用いた光ファイバ増幅器を用いれば、偏波状態の変動は抑制されるが、一般に、PDF を用いた光ファイバ増幅器は高価である。

- 5 そこで、光ファイバ増幅器 35 から出力された送信光を、偏波分離カップラ 38 により、直交した二つの偏光成分に分離し、一方の出力パワーを偏波モニタ 37 でモニタして、偏波モニタ 37 側に分岐される送信光が最小となるように、偏波制御器 34 で偏波の制御を行う。

- 10 これにより、光ファイバ増幅器 35 から出力される送信光は、偏波カップラ 36 の空間型光増幅器 38 側に分岐される直線偏光に調整され、ほぼ全てのパワーが空間型光増幅器 38 へ出射される。

- 15 空間型光増幅器 38 では、光ファイバから出力された送信光を略平行光にして空間に出射した後、増幅を行う。ここで、送信光を空間に出射して増幅を行うため、光ファイバ内のパワー密度に依存せずに増幅を行うことができ、任意のパワーに増幅を行うことが可能である。

- 20 空間型光増幅器 38 において、送信光は単一周波数であるため、単一周波数増幅が可能な方法を用いる必要がある。単一周波数増幅を行う方法としては、OPA (Optical Parametric Amplification) や、固体レーザー媒質を用いた直接増幅を用いることが可能である。固体レーザー媒質を用いた直接増幅では、単一周波数の増幅が得やすいが、波長 $1.4 \mu\text{m}$ 以上で利得を持つ固体レーザー媒質は、一般に、利得が小さく、大きな増幅率を得る事は困難であるため、OPA を用いる事が望ましい。

- 25 空間型光増幅器 38 で増幅された送信光は、送受信光分離装置 39 を介して送受信光学系 40 により目標に照射される。送受信光分離装置 39 では、偏光を用いて送信光と受信光の分離を行っている。

図 2 において、空間型光増幅器 38 により増幅された送信光は、空間を伝搬して、偏光子 71 に入射される。偏光子 71 は紙面に対して平行な偏光成分を透過し、紙面に対して垂直な偏光成分を反射するように設定されている。偏光子 71 で反射された送信光は、紙面に対して垂直な直線偏光となる。さらに、 $1/4$ 波

長板 7 2 は、結晶軸が送信光の偏光方向に対して 45° をなすように配置され、
1/4 波長板 7 2 を透過する事により円偏光に変換された後、送受光学系 4 0 に
送られる。

5 目標 4 1 にて散乱された受信光は、目標の速度に応じたドップラーシフト（ド
ップラー周波数 f_d ）を受け、送受光学系 4 0 により受信される。目標 4 1 の散
乱による偏波変動が無いものとする、送受光学系 4 0 からの受信光は円偏光で
あり、1/4 波長板 7 2 を透過する事により、紙面に対して平行な直線偏光に変
換される。直線偏光に変換された受信光は偏光子 7 1 を透過し、結合光学系 7 3
を介して第 2 の光カップラ 4 2 に至る光ファイバに結合される。

10 受信光は、第 2 の光カップラ 4 2 において、前記第 1 の光カップラ 3 2 により分岐
されたローカル光と合波される。前記受信光とローカル光の混合光は、光検出器
4 3 においてヘテロダイン検波され、ローカル光と受信光の周波数差の周波数を
持つビート信号が出力される。

15 ここで、光検出器 4 3 には、目標からの受信光の他に、送受信光分離装置 3 9
内、および、送受光学系 4 0 内の光学部品からの内部散乱光が入射する。内部散
乱光は受信光に比べて強度が大きいため、内部散乱光のビート信号がそのまま、
増幅器 4 6、および、信号処理装置 4 7 に入射すると、電気回路で制限される飽
和が発生し、飽和が緩和されるまでの緩和時間内は、受信光のビート信号を受信
20 する事ができなくなり、近距離の測定が困難となる。また、飽和が発生しないよ
うに電気回路の調整を行った場合、信号処理装置 4 7 でビート信号を取り込む際
において大きなダイナミックレンジが要求され、信号処理装置 4 7 が複雑で高価
なものとなる。

25 そこで、スイッチ 4 4 により、内部散乱光のビート信号と、受信信号によるビ
ート信号とを時間的に分離し、受信光のビート信号のみを増幅器 4 6 で増幅し、
信号処理装置 4 7 のダイナミックレンジに合うように調整する。スイッチ 4 4 で
分けられた内部散乱光のビート信号は、パルスモニタ 4 5 に入力される。内部散
乱光は送信光が出力された時間に観測されるので、信号処理装置 4 7 における A
/D 変換を開始するサンプリングスタート信号として用いる。これにより、空間
型光増幅器 3 8 におけるパルスジッタや、その他の光学素子による動作遅れ等の

影響を排除し、送信光が出力された時間を正確に検出する事が可能である。

信号処理装置 4 7 は、パルスモニタ 4 5 より得られるサンプリングスタート信号により、受信光のビート信号の A/D サンプリングを開始する。A/D サンプリングされたビート信号は、信号処理装置 4 7 で信号処理され、受信光の受信強度、ラウンドトリップ時間、および、ドップラー周波数から、目標までの距離、速度、密度分布、速度分布といった物理情報を抽出し、表示装置 4 8 により表示される。

従って、実施の形態 1 に係る光ファイバ型コヒーレントレーザレーダ装置では、送信光の出力パワーを空間型光増幅器 3 8 で任意に増幅できるので、光ファイバ内の非線形効果や光学部品の損傷により出力が制限されない、高い出力を実現する事が可能である。

また、内部散乱光のビート信号をスイッチ 4 4 で分離し、パルスモニタ 4 5 で検出するので、増幅器 4 6 や信号処理装置 4 7 において電気回路の飽和を防ぐ事ができる。これにより、内部散乱光が終了した直後から観測を行う事ができ、近距離の測定が可能である。

また、偏波分離カップラ 3 6、偏波モニタ 3 7、および、偏波制御器 3 4 により、光ファイバ増幅器 3 5 による偏波変動を抑制するので、SMF を用いた光ファイバ増幅器を用いることができ、廉価に装置を構成する事ができるとともに、空間型光増幅器 3 8 に要求される利得が低減され、安定した送信光出力を得る事ができる。

ここで、空間型光増幅器 3 8、送受信光分離装置 3 9、送受光学系 4 0 からなる光学系部と、それ以外の光学部品からなる本体とに分けて構成し、偏波分離カップラ 3 6 から空間型光増幅器 3 8、および、送受信光分離装置 3 9 から第 2 の光カップラ 4 2 を、任意の長さの光ファイバで接続しても良い。このように構成すれば、光学系のみを屋外に配置し、本体を環境条件に優れた室内に置くなど、設置の自由度を大きくする事ができる。

なお、空間型光増幅器 3 8 に入射する送信光を増幅するため、偏波制御器 3 4、光ファイバ増幅器 3 5、偏波分離カップラ 3 6、偏波モニタ 3 7 を用いたが、空間型光増幅器 3 8 の利得が十分大きければ、光変調器 3 3 から空間型光増幅器 3

8を直接PDFで接続しても良い。このように配置すれば、光ファイバ内のパワー密度が低減され、さらに非線形効果や損傷を抑制できるとともに、構成部品が低減されるため廉価に装置を構成する事ができる。

5 実施の形態2.

図3は、この発明の実施の形態2によるOPA (Optical Parametric Amplification) を用いた空間型光増幅器38の構成を示すブロック図である。図3に示すように、空間型光増幅器38は、コリメート光学系61、パルス状の励起光を出力する励起光源62、送信光と励起光とを合波するダイクロイックミラー63、
10、非線形効果により励起光のパワーを送信光のパワーに変換する第1の非線形材料64、OPAで発生したアイドラ光を反射し、送信光と励起光を透過する第1の分離ミラー65、非線形効果により励起光のパワーを送信光のパワーに変換する第2の非線形材料66、アイドラ光と励起光を反射し、送信光のみを透過する第2の分離ミラー67で構成されている。

15 OPAは、非線形材料の非線形効果を利用して、波長の短い励起光のパワーを波長の長い二つの波長（信号光、アイドラ光）に移譲することにより、信号光を増幅する方法である。この時、信号光として送信光を入射すれば、送信光が増幅され、アイドラ光が発生する。励起光波長、信号光波長、アイドラ光波長をそれぞれ λ_p 、 λ_s 、 λ_i とすると、エネルギー保存則より以下の関係が成り立つ。

$$20 \quad 1/\lambda_p = 1/\lambda_s + 1/\lambda_i$$

例えば、 $\lambda_s = 1.54 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_p = 1.03 \mu\text{m}$ のとき、 $\lambda_i = 3.11 \mu\text{m}$ となる。

さらに、信号光が増幅されるには、非線形材料の中で信号光、励起光、アイドラ光の伝搬速度が同じになる条件（位相整合条件）を満たす必要がある。具体的
25 には、3つの波長を感じる屈折率が同じになるようにする必要がある。1.5 μm 帯の信号光を増幅する場合、非線形材料としては、LiNbO₃ (LN) やKTPの単結晶の他、LiNbO₃ やKTPの軸方位を周期的に反転させたPPLN (Periodic Poled LN)、PPKTP (Periodic Poled KTP)、さらに、PPLNにマグネシウム (Mg) をドーブしたMgPPLNが用いられる。

単結晶の場合、非線形材料への入射角度（位相整合角）と温度により位相整合の調整を行い、PPLN、MgPPLN、PPKTPでは、反転周期と温度により位相整合の調整を行う。軸方位を周期的に反転させた非線形材料を用いたOPAでは、結晶へのレーザ光の入射角度に対する許容度が大きく、安定性の高いOPAが可能である。さらに、PPLNは非線形効果が大きい。

しかし、一般的なPPLNは、光による損傷（フォトリフラクティブダメージ）に弱く、損傷を防ぐため温度を高温に保つ必要がある。MgPPLNは、非線形効果はPPLNと同等であり、さらに、光による損傷に強く、常温によるOPAが可能であるため、非線形材料として、MgPPLNを用いる事が望ましい。

また、励起光源62として用いるレーザ装置には、Nd:YAG、Nd:YLF、Nd:YVO₄、Yb:YAGなどの1 μ m帯の波長で発振するレーザ媒質をQスイッチ動作させることにより実現可能である。これらのレーザ媒質は、Er、Yb:Glassなどの1.4 μ m以上で発振するレーザ媒質に比べて利得が高く、高効率に励起光を発生させる事ができる。また、利得が高いため、アライメントずれ等で発生する共振器損失増加の影響が小さく、高い信頼性を実現する事ができる。

次に動作について説明する。コリメート光学系61より略平行光として出力された送信光は、ダイクロイックミラー63により、励起光源62より出力された励起光と合波され、第1の非線形材料64に入射される。第1の非線形材料64では、励起光のパワーが送信光に移譲し、送信光が増幅され、アイドラ光が発生する。第1の非線形材料64を出力された送信光、励起光は、第1の分離ミラー65でアイドラ光と分離されて、第2の非線形材料66に入射する。送信光は、第2の非線形材料66でさらに増幅されて出力される。第2の非線形材料66を出射した送信光は、第2の分離ミラー67により、励起光、および、アイドラ光と分離されて、送受信光分離装置39に出射される。

ここで、図4に、非線形材料としてMgPPLNを用いた時の、励起光から送信光へのパワーの変換効率と、非線形材料の結晶長の関係を示す。実線は一つのMgPPLNで結晶長を変えた場合の変換効率、破線は1個目の非線形材料において最大の変換効率を得られる長さでアイドラ光を除去した後、再度、非線形材

料に入射した場合の変換効率を示す。

非線形材料が1個の場合、結晶長を長くすると、送信光とアイドラ光が再び励起光波長に変換される逆変換が発生し、送信光のパワーは低下する。一方、途中でアイドラ光を除去し、再度、非線形結晶に入射すると、逆変換が抑制され、高い変換効率を得られる。なお、前記の構成では、非線形材料が2個の場合を示したが、3個以上を配置して、それぞれの非線形材料の間に、アイドラ光を除去する分離ミラーを入れても良い。なお、第1の分離ミラー65、および、第2の分離ミラー67は、透過特性と反射特性が反対のものを用いても同様の効果が得られることは明かである。

10 このような複数個の非線形材料を用いて途中でアイドラ光を除去するOPA構成では、送信光とアイドラ光の、励起光への逆変換を抑制できるので、送信光の増幅率が高い空間型光増幅器を得る事ができる。

ここで、送信光が単一周波数で、励起光が単一周波数でない（波長 λ_{p_1} 、 λ_{p_2} 、...）の場合、エネルギー保存則より、 $1/\lambda_{p_1} = 1/\lambda_s + 1/\lambda_{i_1}$ 、 $1/\lambda_{p_2} = 1/\lambda_s + 1/\lambda_{i_2}$...の関係が成立し、複数波長のアイドラ光が発生する。この時、例えば $1/\lambda_{p_1} = 1/\lambda_{s'} + 1/\lambda_{i_2}$ を満たす波長が位相整合条件を満足すると、波長 $\lambda_{s'}$ の信号光が発生する。同様の組合せは多数存在するため、送信光に波長の異なる信号光が重畳されてしまう。波長の異なる信号光が発生した場合、送信光の増幅率が低下するとともに、送信光と波長が近い信号光は、光検出器におけるヘテロダイン検波の際に雑音が発生させ、装置の特性を劣化させる。従って、励起光源62を単一周波数化することが望ましい。

25 励起光源62を単一周波数化するには、インジェクションシーディング法と共振器長制御を用いてローカル光とレーザ発振波長を一致させる方法や、共振器内にエタロンを設置し発振波長を制限する方法などがある。OPAの励起光源の場合、ローカル光と波長を一致させる必要は無く、単一周波数発振が得られれば良い事から、装置構成の単純なエタロンを用いることで実現可能である。

このように、励起光源を単一周波数化すれば、送信光の増幅率を向上させるとともに、光検出器におけるヘテロダイン検波の際に雑音が発生させず、信頼性の高い空間型光増幅器を構成する事ができる。

実施の形態 3.

OPAでは、励起光、および、送信光が共にパルスであり、図5に示すように、結晶内で励起光(図5(b)参照)と送信光(図5(a)参照)が時間的に重なっている場合のみ、送信光は増幅される(図5(c)参照)。送信光は、CW出力のレーザ光源を光変調器によりパルス化しているため、パルスのタイミングのばらつき(パルスジッタ)は電気回路の特性による。一方、励起光源に固体レーザを使用し、Qスイッチ動作を行った場合、温度環境や励起状態の変化などにより、送信光に比べて大きなパルスジッタが発生する。従って、送信光と励起光のパルス幅を同じ程度にすると、パルスジッタによる励起光のタイミングのずれにより増幅率が低下、または、全く増幅されない場合が発生する。

この実施の形態3では、このような問題を解決する方法について述べる。図6は、この発明の実施の形態3による、送信光と励起光のパルス幅の関係を示した図である。図6(a)は送信光のパルス時間波形、図6(b)は励起光のパルス時間波形を示している。送信光のパルス幅は、励起光のパルスジッタと同等か、または、パルスジッタに比べて広くなっており、励起光にパルスジッタが発生した場合でも、励起光は送信光と時間的な重なりが存在する。

このように構成すれば、励起光にパルスジッタが発生した場合でも、増幅率の劣化が抑制され、効率の高い空間型光増幅器を構成することができる。

なお、空間型光増幅器において増幅された送信光のパルス形状は、主に、励起光のパルス形状で決まるため、送信光に励起光のパルスジッタが発生することになる。このパルスジッタは、実施の形態1で示したように、図1においてパルスモニタ45より得られるサンプリングスタート信号により、受信光のビート信号のA/Dサンプリングを開始するようにすれば、パルスジッタによる計測誤差は発生しない。

25

実施の形態 4.

前記実施の形態3においては、送信光のパルス幅を励起光のパルス幅に比べて長く設定しているが、図7に示すように、励起光(図7(b)参照)のパルス幅を送信光(図7(a)参照)のパルス幅に比べて長く設定して、増幅後の送信光

(図7(c)参照)を得ても良い。

- このように設定すれば、送信光のパルス形状は、主に、空間型光増幅器入射前の送信光のパルス形状で決まる。コヒーレントライダの空間分解能は送信光のパルス幅に比例し、風速測定精度はパルス幅の逆数に比例するため、空間分解能が
- 5 要求される測定では送信光のパルス幅を短く、風速測定精度が要求される測定では送信光のパルス幅を長くするなど、コリメート光学系61からの送信光のパルス幅を可変にしてさまざまな要求に応じた測定が可能となる。

産業上の利用の可能性

- 10 以上のように、この発明によれば、高い信頼性と送信光の高出力化を実現したコヒーレントレーザレーダ装置を得ることができる。

請 求 の 範 囲

1. 直線偏光したレーザ光を発振するレーザ光源と、
前記レーザ光源からのレーザ光をローカル光と送信光とに二分岐する偏波保存型の光学素子である第1の光カップラと、
5 前記第1の光カップラから分岐された送信光を変調する偏波保存型の光学素子である光変調器と、
前記光変調器から出力された送信光を空間伝搬により増幅する空間型光増幅器と、
10 前記空間型光増幅器により増幅された送信光を目標に向けて照射すると共に、
前記目標からの散乱光を受光する送受光学系と、
前記空間型光増幅器により増幅された送信光と前記目標から散乱された受信光とを分離する送受信光分離装置と、
前記第1の光カップラより分岐されたローカル光と前記送受信光分離装置より分離された受信光とを混合する偏波保存型の光学素子である第2の光カップラと、
15 前記第2の光カップラからの混合光をヘテロダイン検波して受信光のビート信号を出力する光検出器と、
前記光検出器より出力されたビート信号を増幅するビート信号増幅器と、
前記ビート信号増幅器により増幅された信号を信号処理する信号処理装置と、
20 前記信号処理装置で信号処理された結果を表示する表示装置と
を備え、
前記レーザ光源から前記第1の光カップラを経て前記空間型光増幅器までの光路、前記送受信光分離装置から第2の光カップラを経て光検出器までの光路、および、
前記第1の光カップラから前記第2の光カップラまでの光路を、偏波保存型シングル
25 モード光ファイバで接続した
ことを特徴とするコヒーレントレーザレーダ装置。
2. 請求項1に記載のコヒーレントレーザレーダ装置において、
前記光変調器から出力された送信光の偏光を偏波モニタ出力が最小となるよう

に調整する偏波制御器と、

前記偏波制御器から出力された送信光を増幅する光ファイバ増幅器と、

前記光ファイバ増幅器により増幅された送信光を直交した二つの直線偏光成分に分離する偏波分離カップラと、

- 5 前記偏波分離カップラで分離された一方の偏光成分をモニタして前記偏波制御器に偏波モニタ出力を送出する偏波モニタと

をさらに備え、

前記空間型光増幅器は、前記偏波分離カップラで分離された他方の偏光成分を、送信光として空間伝搬により増幅し、

- 10 前記第1の光カップラから前記空間型光増幅器までの光路中の前記光変調器から前記偏波制御器を経て前記光ファイバ増幅器までの光路をシングルモード光ファイバで接続した

ことを特徴とするコヒーレントレーザレーダ装置。

- 15 3. 請求項1に記載のコヒーレントレーザレーダ装置において、

前記光検出器の出力を、前記送受光学系の内部散乱が発生している時間と目標からの散乱光を受信している時間とで切り替えるスイッチと、

前記スイッチを介して得られた内部散乱による信号をモニタしスタート信号を出力するパルスモニタと

- 20 をさらに備え、

前記ビート信号増幅器は、前記スイッチを介して得られた受信光のビート信号を増幅し、

前記信号処理装置は、前記ビート信号増幅器により増幅されたビート信号の取り込みを、前記パルスモニタより得られたスタート信号に基づいて開始する

- 25 ことを特徴とするコヒーレントレーザレーダ装置。

4. 請求項1に記載のコヒーレントレーザレーダ装置において、

前記光変調器から出力された送信光の偏光を偏波モニタ出力が最小となるように調整する偏波制御器と、

前記偏波制御器から出力された送信光を増幅する光ファイバ増幅器と、
前記光ファイバ増幅器により増幅された送信光を直交した二つの直線偏光成分に分離する偏波分離カップラと、

前記偏波分離カップラで分離された一方の偏光成分をモニタして前記偏波制御器
5 に偏波モニタ出力を送出する偏波モニタと
をさらに備え、

前記空間型光増幅器は、前記偏波分離カップラで分離された他方の偏光成分を、
送信光として空間伝搬により増幅し、

前記第1の光カップラから前記空間型光増幅器までの光路中の前記光変調器から
10 前記偏波制御器を経て前記光ファイバ増幅器までの光路をシングルモード光ファイバで接続すると共に、

前記光検出器の出力を、前記送受光学系の内部散乱が発生している時間と目標からの散乱光を受信している時間とで切り替えるスイッチと、

前記スイッチを介して得られた内部散乱による信号をモニタしスタート信号を
15 出力するパルスモニタと
をさらに備え、

前記ビート信号増幅器は、前記スイッチを介して得られた受信光のビート信号を増幅し、

前記信号処理装置は、前記ビート信号増幅器により増幅されたビート信号の取り込みを、前記パルスモニタより得られたスタート信号に基づいて開始することを特徴とするコヒーレントレーザレーダ装置。

5. 請求項1ないし4のいずれか1項に記載のコヒーレントレーザレーダ装置において、

25 前記空間型光増幅器は、
前記偏波保存型シングルモードファイバより出力される送信光をコリメートするコリメート光学系と、

パルス状の励起光を出力する励起光源と、

前記コリメート光学系より出力された送信光と前記励起光源より出力された励

起光とを合波するダイクロイックミラーと、

前記ダイクロイックミラーにより合波された送信光と励起光との入射を受けて、励起光のパワーを送信光のパワーに変換して送信光を増幅する Optical Parametric Amplification (OPA) 機能を有する非線型材料と

5 を備えたことを特徴とするコヒーレントレーザレーダ装置。

6. 請求項5に記載のコヒーレントレーザレーダ装置において、

前記空間型光増幅器は、前記非線型材料として、二個以上の非線型材料を有すると共に、それぞれの非線型材料の間でアイドラ光を除去する分離ミラーをさら

10 に備えた

ことを特徴とするコヒーレントレーザレーダ装置。

7. 請求項5に記載のコヒーレントレーザレーダ装置において、

前記非線型材料として、マグネシウム添加の Periodic Poled LiNbO₃ (Mg PPLN) を用いた

15

ことを特徴とするコヒーレントレーザレーダ装置。

8. 請求項5に記載のコヒーレントレーザレーダ装置において、

前記コリメート光学系からの送信光のパルス幅を、前記励起光源からの励起光

20

のパルス幅よりも長くした

ことを特徴とするコヒーレントレーザレーダ装置。

9. 請求項5に記載のコヒーレントレーザレーダ装置において、

前記コリメート光学系からの送信光のパルス幅を、前記励起光源からの励起光

25

のパルス幅よりも短くした

ことを特徴とするコヒーレントレーザレーダ装置。

10. 請求項9に記載のコヒーレントレーザレーダ装置において、

前記コリメート光学系からの送信光のパルス幅を可変とした

ことを特徴とするコヒーレントレーザレーダ装置。

図1

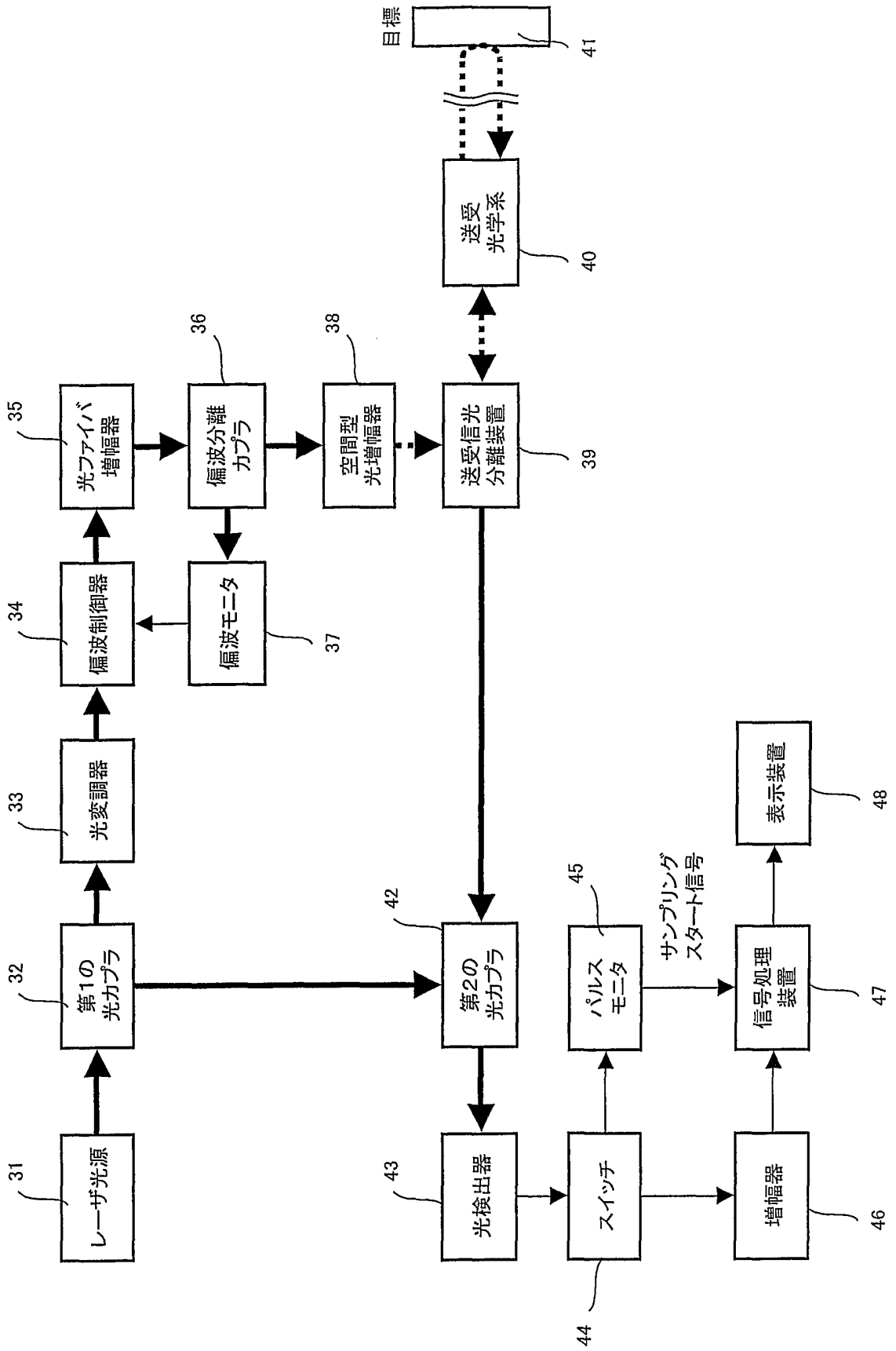


図 2

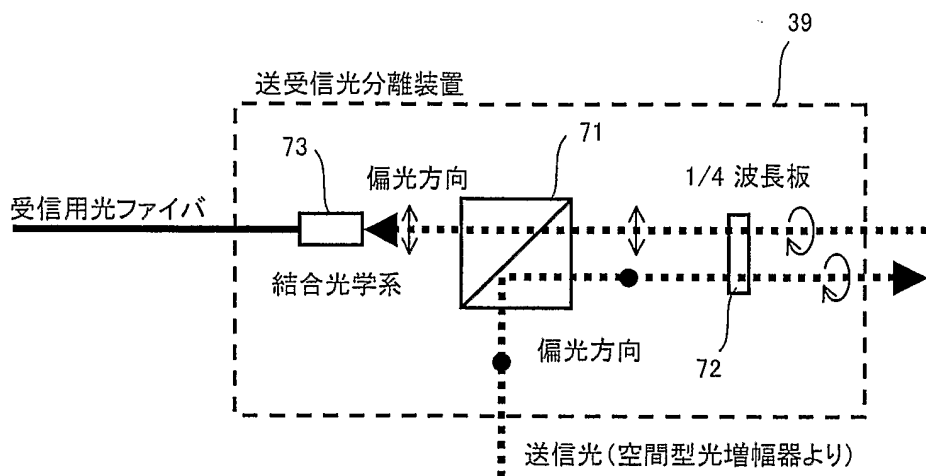


図3

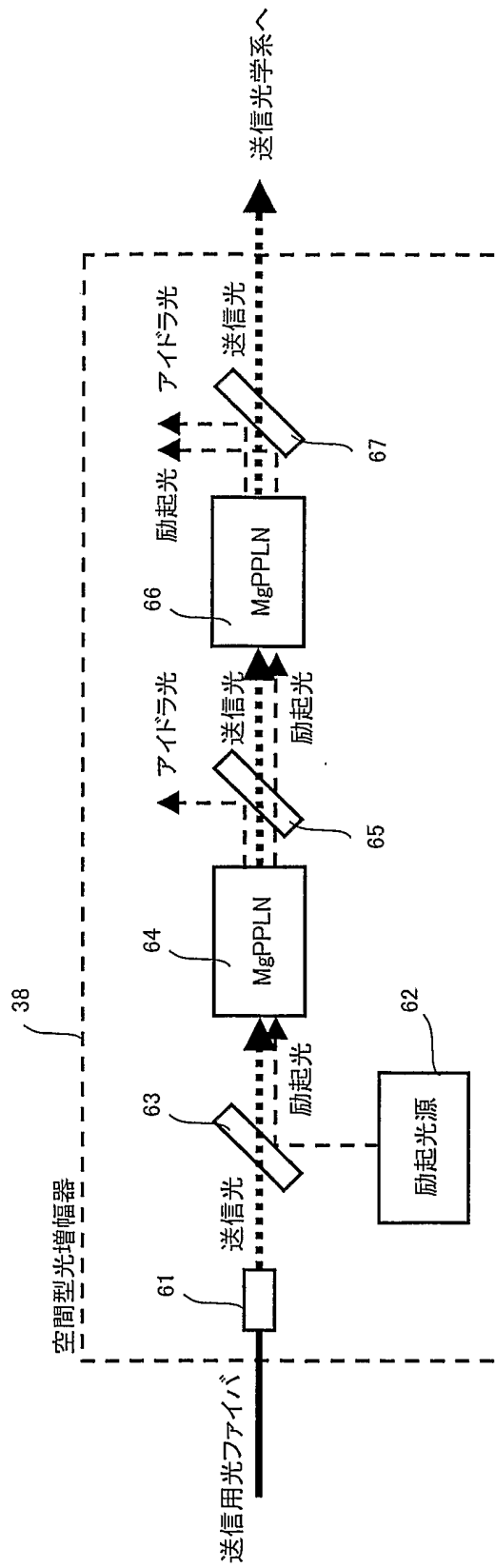


図 4

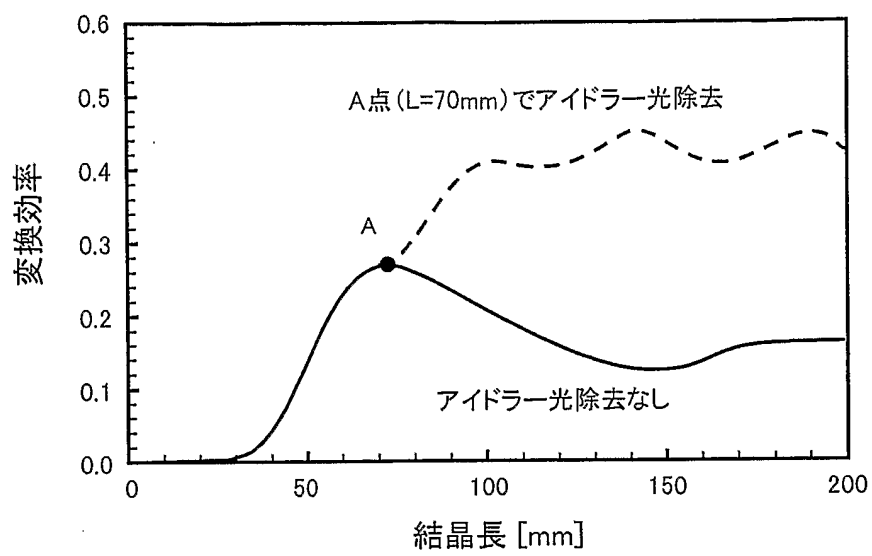


図 5

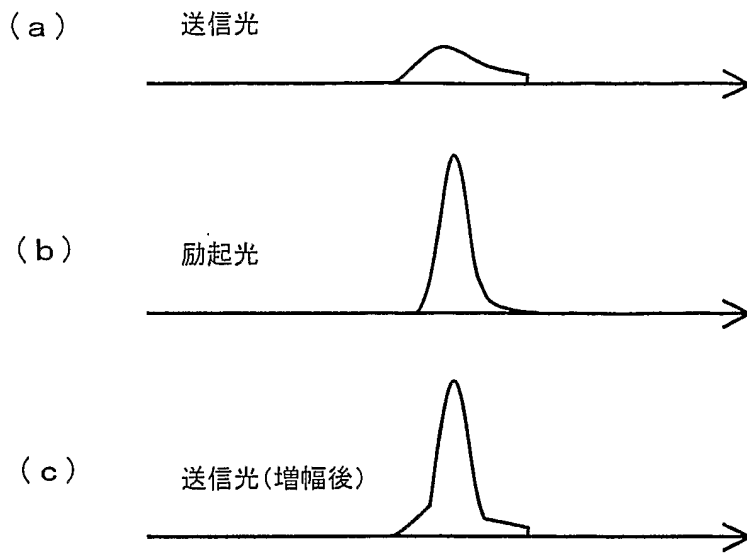


図 6

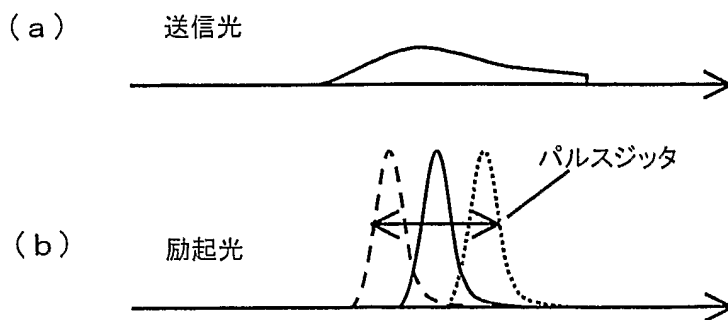


図 7

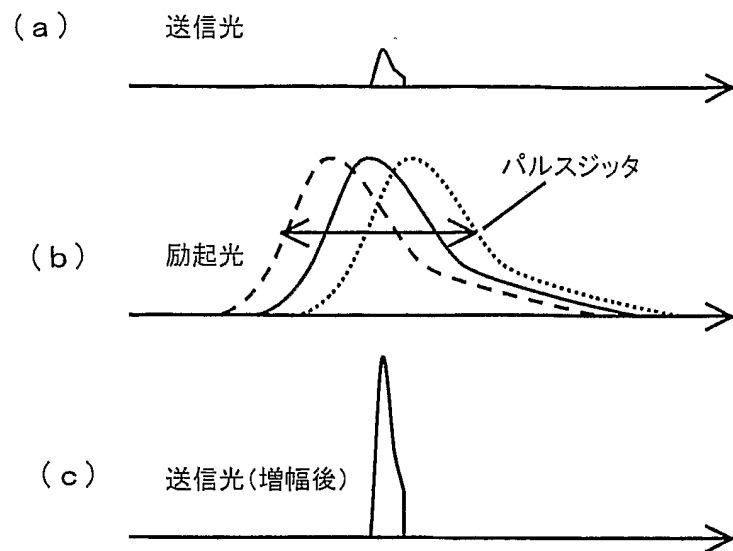


図 8

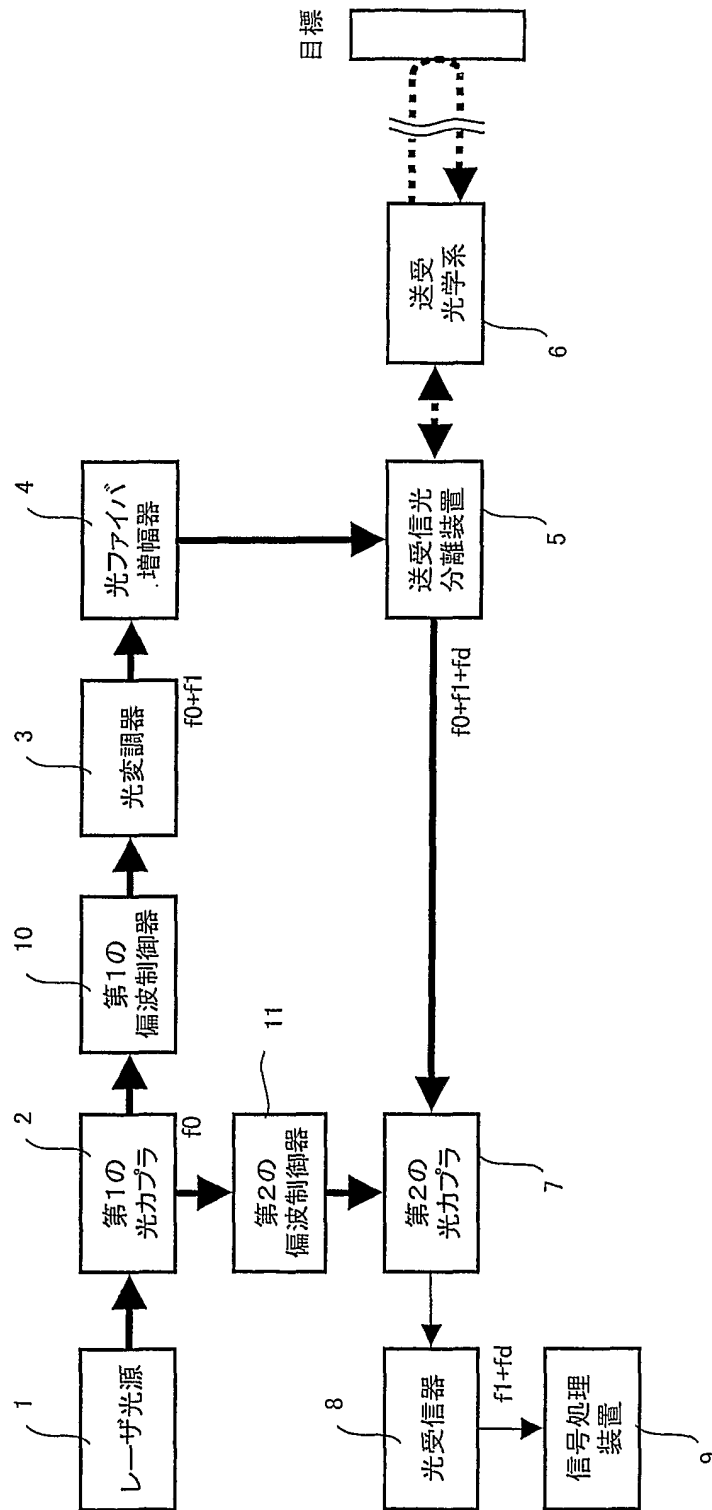
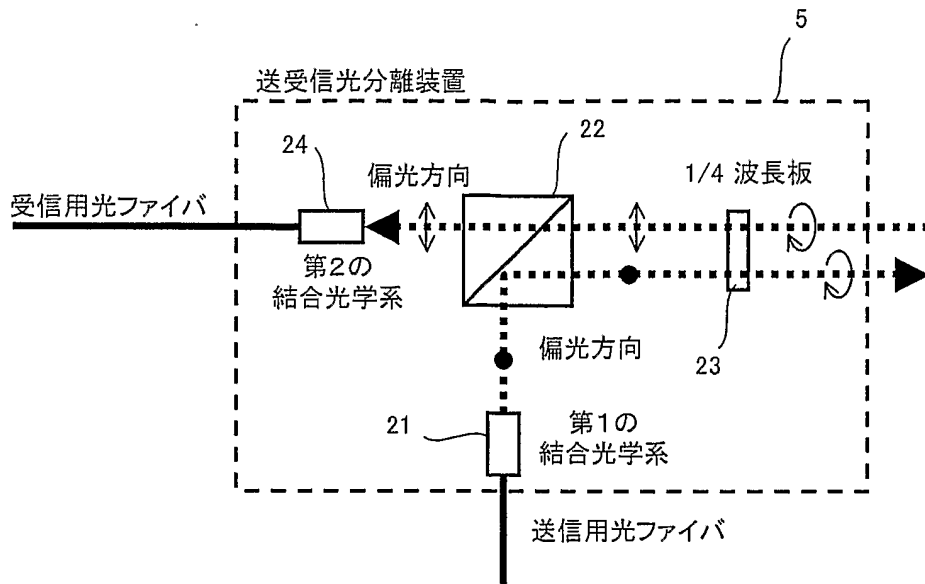


図 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/06874

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G01S17/88, G01S7/48, G02F1/39

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)
Int.Cl⁷ G01S17/88, G01S7/48, G02F1/39

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

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	WO 99/21394 A1 (FLIGHT SAFETY TECHNOLOGIES, INC.), 29 April, 1999 (29.04.99), Full text; all drawings & US 6034760 A1 & EP 1040726 A & JP 2001-521161 A	1-10
A	WO 01/20733 A1 (Nikon Corp.), 22 March, 2001 (22.03.01), Full text; all drawings & JP 2001-85306 A & JP 2001-85307 A & JP 2001-156388 A & JP 2002-50815 A & AU 6865300 A	1-10
A	JP 2000-31903 A (Hitachi, Ltd.), 28 January, 2000 (28.01.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-10

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 20 June, 2003 (20.06.03)	Date of mailing of the international search report 08 July, 2003 (08.07.03)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

IntCl⁷ G01S 17/88, G01S 7/48, G02F 1/39

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 (IPC))

IntCl⁷ G01S 17/88, G01S 7/48, G02F 1/39

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 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用了電子データベース (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	WO 99/21394 A1 (FLIGHT SAFETY TECHNOLOGIES, INC.), 1999. 04. 29 全文, 全図 & US 6034760 A1 & EP 1040726 A & JP 2001-521161 A	1-10
A	WO 01/20733 A1 (株式会社ニコン) 2001. 03. 22, 全文, 全図 & JP 2001-85306 A & JP 2001-85307 A & JP 2001-156388 A & JP 2002-50815 A & AU 6865300 A	1-10

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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 20. 06. 03

国際調査報告の発送日 08.07.03

国際調査機関の名称及びあて先
 日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 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)
 宮川 哲伸
 2S 9208
 電話番号 03-3581-1101 内線 3256

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	JP 2000-31903 A (株式会社日立製作所) 2000.01.28, 全文, 全図 (ファミリー無し)	1-10