(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3631751号
(P3631751)
(45)発行日　平成17年3月23日(2005.3.23)　(24)登録日　平成16年12月24日(2004.12.24)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
H04B 10/08	H04B	9/00	K
H04B 10/02	H04B	9/00	W
H04B 10/28			

請求項の数 22　(全 28 頁)

(21)出願番号	特願平6-507238
(86)(22)出願日	平成5年8月19日(1993.8.19)
(65)公表番号	特表平7-505036
(43)公表日	平成7年6月1日(1995.6.1)
(86)国際出願番号	PCT/US1993/007813
(87)国際公開番号	WO1994/006224
(87)国際公開日	平成6年3月17日(1994.3.17)
審査請求日	平成9年10月23日(1997.10.23)
審判番号	不服2002-9526(P2002-9526/J1)
審判請求日	平成14年5月27日(2002.5.27)
(31)優先権主張番号	940,618
(32)優先日	平成4年9月4日(1992.9.4)
(33)優先権主張国	米国(US)

(73)特許権者　592114769
マクダネル　ダグラス　コーポレイション
MCDONNELL DOUGLAS CORPORATION
アメリカ合衆国，カリフォルニア州，　９０８４６－０００１　ロングビーチ，レイクウッド　ブールバート　３８５５
(74)代理人　100064285
弁理士　佐藤　一雄
(74)代理人　100077609
弁理士　玉真　正美
(74)代理人　100088889
弁理士　橘谷　英俊

最終頁に続く

(54)【発明の名称】サニャック干渉計を用いた保安通信システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

第１アーム、第２アーム、第３アームおよび第４アームを有する第１光ファイバビームスプリッタと、

前記第１アームへの第１光ビームを発生する第１光源であって、前記第１光ビームが前記第１光ファイバビームスプリッタによって前記第３および第４アーム上の第２および第３光ビームに夫々分割される第１光源と、

前記第３アームを前記第４アームに接続する第１光パスであって、前記第２および第３光ビームを前記第３および第４アームから前記第４および第３アームに夫々導くとともに、中心を有する第１光パスと、

前記第１光パス内でその中心から離れて設けられ、前記第２および第３光ビームを位相変調するために使用する第１情報信号を受けるための第１入力を有し、これにより前記第２および第３光ビームの前記第１光ファイバビームスプリッタへの戻り時に、前記第２および第３光ビームが、前記第１情報信号と共に変化する振幅を有しかつ前記第２アームに導入される振幅変調された第４光ビームに合成されるように構成された第１光位相変調器と、

前記第２または第３光ビームが前記第１光位相変調器から前記中心に伝播するに要する最短時間の少なくとも２倍の時間の間隔を置いてバーストとして前記第１情報信号を前記第１光位相変調器の入力に与えるデータフォーマッタと、

前記第２アームからの前記第４光ビームを受けてそれから前記第１情報信号を表わす第１

出力信号を発生する第１検出器と、
前記第１検出器からの前記第１情報信号を表わす前記出力信号を受けそしてそこから前記第１情報信号を抽出するデータリフォーマッタと、
を備えていることを特徴とする通信システム。
【請求項２】
前記第１光源と前記第１アームの間に配置されて前記第１光ビームの偏光をスクランブルする偏光スクランブラを更に含む請求項１記載の通信システム。
【請求項３】
前記第１光パス内に配置されて前記第２および第３光ビームの偏光をスクランブルする偏光スクランブラを更に含む請求項１記載の通信システム。
【請求項４】
前記第３光ビームへの位相変調された第１情報信号の前記バーストが前記第１光ファイバビームスプリッタに達する前に、前記第２光ビームへの位相変調された第１情報信号の前記バーストは前記第１情報信号の各バーストが前記検出器から２回出力されるように前記第１光ファイバビームスプリッタに入りそしてそれを通過し、
前記データリフォーマッタは、前記第１情報信号間を比較してエラーを求めそしてこのエラーから照合済みの出力第１情報信号を発生する手段を含む請求項１記載の通信システム。
【請求項５】
前記データリフォーマッタは比較中に予定数のエラーがあったときアラーム信号を発生する手段を含む請求項４記載の通信システム。
【請求項６】
前記第１光ファイバビームスプリッタと前記第１光位相変調器との間で前記第１光位相変調器に隣接して前記第１光パス内に配置されてそこからの前記第３光ビームの一部を分割する第１光カプラと、
前記第１光カプラに接続して前記第３光ビームの前記一部を受けそして前記一部の強度が予定レベルより低いときアラーム出力を発生する第１強度モニタ手段と、
前記第１光ファイバビームスプリッタと前記中心との間の前記第１光パス内の、前記第１光カプラと前記中心との距離と同様の距離だけ前記中心から離れた位置に配置されてそこからの前記第２光ビームの一部を分離する第２光カプラと、
前記第２光カプラに接続して前記第２光ビームの前記一部を受け、前記第２光ビームの一部の強度が予定レベルにより低いときアラーム出力を発生する第２強度モニタ手段と、
を更に含む請求項１記載の通信システム。
【請求項７】
前記第１強度モニタ手段は第１強度出力を有し、前記第２強度モニタ手段は第２強度出力を有し、
前記第１および第２強度モニタ手段からの前記第１および第２強度出力を受けて前記第１および第２強度出力が予定レベルより高い相対変化を有するときアラーム出力を発生する強度比較手段
を更に含む請求項６記載の通信システム。
【請求項８】
前記第１光パス内に配置されたパス長変更装置を更に含む請求項１記載の通信システム。
【請求項９】
前記パス長変更装置は前記中心近辺に配置され、圧電シリンダおよびこのシリンダに巻かれた光ファイバを含むランダムパス長発生器を含む請求項８記載の通信システム。
【請求項１０】
前記パス長変更装置は前記ランダムパス長発生器に接続すると共に前記第１光位相変調器に接続して第１情報信号がパス長の変化中に失われないよう第１情報信号の伝送とパス長変化とを関連づける制御手段を含む請求項９記載の通信システム。
【請求項１１】

前記パス長変更装置は
前記第１光パス内の少なくとも１個の光スイッチと、
前記光スイッチが前記第１光パスへの少なくとも一つの光ファイバ長さを加えそして除去することが出来るように前記光スイッチに接続する少なくとも一つの長さの光ファイバを含む請求項８記載の通信システム。
【請求項１２】
低周波出力信号を発生すると共に低周波出力信号を前記第１光位相変調器に送り、これによって前記第１光位相変調器が、前記振幅変調された第４光ビームに現れる前記低周波出力信号を、前記第２および第３光ビームに印加するように構成された信号発生器と、
前記第１情報信号を表わす前記出力信号を受けそしてそこから前記低周波出力信号を抽出するフィルタ手段と、
前記信号発生器と前記フィルタ手段からの前記低周波出力信号に接続されて、前記第４光ビーム内のパワーレベルが予定量を越えて変化するときそこからアラーム信号を発生する同期復調器手段と、
を更に含む請求項１記載の通信システム。
【請求項１３】
第５アーム、第６アーム、第７アームおよび第８アームを有する第２光ファイバビームスプリッタと、
前記第１光ビームとは異る中心波長の第５光ビームを前記第５アーム内に発生し、この第５光ビームが前記第２光ファイバビームスプリッタにより前記第６および第７アームに入る第７および第８光ビームに各々分けられるように構成された第２光源と、
前記第６アームを、前記第１光パスの中心と前記第１光ファイバビームスプリッタとの間の前記第１光パスに接続する第１波長分割多重伝送ビームスプリッタと、
前記第７アームを、前記第１光位相変調器と前記第１光ファイバビームスプリッタの間の前記第１光パスに接続する第２波長分割多重伝送ビームスプリッタと、
前記第１波長分割多重伝送ビームスプリッタと前記第１光ファイバビームスプリッタの間の前記第１光パスに接続する第３波長分割多重化ビームスプリッタと、
前記第２波長分割多重伝送ビームスプリッタと第１光ファイバビームスプリッタとの間で前記第１光パスに接続されると共に前記第３波長分割多重化ビームスプリッタと接続される第４波長分割多重伝送ビームスプリッタであって、前記第２光ファイバビームスプリッタ、前記第１、第２、第３および第４波長分割多重伝送ビームスプリッタと前記第１光パスの接続部分とで、前記第３および第４波長分割多重伝送ビームスプリッタの間に配置される第２中心を有する第２光パスを形成し、この第２光パスが前記第６および第７アームからの第６および第７光ビームを前記第７および第６アームに夫々接続するように構成された第４波長分割多重伝送ビームスプリッタと、
前記第２光パス内で前記第２中心から離れて配置され、前記第６および第７光ビームを位相変調するために用いる第２情報信号を受けるための入力を有し、これにより前記第６および第７光ビームの前記第２光ファイバビームスプリッタへの戻り時に、前記第６および第７光ビームが、前記第２情報信号と共に変化する振幅を有しかつ前記第８アームに導入される振幅変調された第８光ビームに合成するように構成される第２光位相変調器と、
前記第８アームからの第８光ビームを受けてそれから前記第２情報信号を表わす第２出力信号を発生する第２検出器、
を更に含む請求項１記載の通信システム。
【請求項１４】
前記第１光パスは、対向する第１および第２の辺を有し、前記通信システムは
前記第１の辺に面する第１サニャック干渉計型分布光ファイバセンサと、
前記第２辺に面する第２サニャック干渉計型分布光ファイバセンサと、
前記第１および第２サニャック干渉計型分布光ファイバセンサに接続して前記第１の辺と第２の辺の間に生じる任意の周波数依存性環境効果の大きさと位置を計算する信号プロセッサと、

を更に含む請求項13記載の通信システム。
【請求項１５】
前記第１光ファイバビームスプリッタの前記第２および第３アームの一方内に配置される第１の比較的低周波の位相シフタと、前記第２光ファイバビームスプリッタの前記第５および第６アームの一方内に配置される第２の比較的低周波の位相シフタと、
を更に含む請求項14記載の通信システム。
【請求項１６】
比較的に低周波の出力を発生し前記第１の比較的低周波の位相シフタを駆動する第１発振器と、比較的低周波の出力を発生し前記第２の比較的低周波の位相シフタを駆動する第２発振器と、
を含み、前記信号プロセッサは
前記第１発振器からの前記比較的低周波の出力と前記第１検出器からの前記第１出力信号を受けて前記第１出力信号からセンサ情報を復調する第１同期復調器と、
前記第２発振器からの前記比較的低周波の出力と前記第２検出器からの前記第２出力信号を受けて前記第２出力信号からセンサ情報を復調する第２同期復調器と、
を含む請求項15記載の通信システム。
【請求項１７】
前記第１および第２検出器は
前記第１および第２情報信号を各々検出する検出部分と、
前記第１および第２光パスの共通部分に沿った環境効果を検出する検出部分と、
を含む請求項14記載の通信システム。
【請求項１８】
侵入者アラームサブシステムを更に含み、この侵入者アラームサブシステムは
各々が第３および第４センサアームの少なくとも一部分を含み、前記第３および第４センサアームの少なくとも一部分にわたり、相反する方向からの侵入を表わす環境効果を検出するために相反する方向に向かって配置される第１および第２サニャック干渉計型分布光ファイバセンサ
を含む請求項１記載の通信システム。
【請求項１９】
前記第１光パスは、対向する第１および第２の辺を有し、前記第１サニャック干渉計型分布光ファイバセンサは
少なくとも第１、第２、第３および第４センサアームを有する第１センサ中央ビームスプリッタと、
第１センサ光ビームを前記第１センサアームに供給する第１センサ光源であって、前記第１センサ光ビームは前記第１センサ中央ビームスプリッタにより夫々前記第２および第３センサアームを通る第２および第３センサ光ビームに分割されるように構成されている第１センサ光源と、
前記第２および第３センサアームからの前記第２および第３センサ光ビームを前記第１光パスに対し、その前記第１の側で結合させて前記侵入アラームサブシステムにより安全を保証されるべき前記第１光パスの少なくとも予定の部分を通すようにする第１手段と、
前記第２および第３センサ光ビームを前記第１光パスに対してその前記第２の側で結合させる第２手段であって、前記第２および第３光ビームは前記第１センサ中央ビームスプリッタにおいて再合成されて前記第４センサアーム上の第４センサ光ビームを形成するように構成された第２手段と、
前記第４センサアームからの前記第４光ビームを受けてそこから、前記侵入アラームサブシステムにより安全を保証されるべき前記第１光パスの前記予定の部分における妨害の位置と量を示す強度を有する第１センサ出力を発生する第１検出器と、
を更に含み、前記第２サニャック干渉計型分布光ファイバセンサは
少なくとも第５、第６、第７および第８センサアームを有する第２センサ中央ビームスプリッタと、

第５センサ光ビームを前記第５センサアームに供給する第２センサ光源であって、前記第５センサ光ビームは前記第２センサ中央ビームスプリッタにより前記第６および第７センサアームを夫々通る第６および第７光ビームに分割されるように構成される第２センサ光源と、
前記第６および第７センサアームからの前記第６および第７センサ光ビームを前記第１光パスに対し、その上記第２の側で結合して前記侵入アラームサブシステムにより安全を保証されるべき前記第１光パスの少なくとも予定の部分を通るようにする第３手段と、
前記第６および第７センサ光ビームを前記第１光パスに対しその前記第１の側で結合する第４手段であって前記第６および第７光ビームは前記第２センサ中央ビームスプリッタで再合成されて前記第８センサアーム上の第８センサ光ビームを形成する第４手段と、
前記第８センサアームからの前記第８光ビームを受けてそこから、前記侵入アラームサブシステムにより安全を保証されるべき前記第１光パスの前記予定の部分における妨害の位置と量を表わす強度を有する第２センサ出力を発生する第２検出器と、
前記第１および第２センサ出力に接続してそこから前記侵入アラームサブシステムにより安全を保証される前記第１光パス内の妨害の位置と大きさを示す位置出力および振幅出力を発生する信号プロセッサと、
を含む請求項18記載の通信システム。
【請求項２０】
前記第１および第２センサ光源の夫々はそれに関連する強度維持手段を含む、請求項19記載の通信システム。
【請求項２１】
干渉出力を発生するサニャック干渉計であって、
サニャックループと、
前記サニャックループの相反する方向に伝播する光ビームを発生する光源と、
前記サニャックループ内で前記光源から離れて配置されて、情報が前記干渉出力に生じるように前記相反する方向に伝播する光ビームに前記情報を乗せるための光位相変調器と、
第１情報信号を積分し、この積分された信号を、前記情報として前記相反する方向に伝播する光ビームに乗せるために前記光位相変調器に供給するデータフォーマッタと、
前記干渉出力を受けて前記情報が前記システムにより微分された結果として前記第１情報信号を表わす出力信号を発生する出力光検出器と、
を含むサニャック干渉計を含む通信システム。
【請求項２２】
前記第１情報信号を鋸歯状パルスの形で前記光位相変調器の入力に入力されるデータフォーマッタを更に含み、前記第１情報信号が前記システムにより方形波パルスへと微分されて前記出力光検出器においてディジタル形式で前記第１情報信号を発生する請求項21記載の通信システム。
【発明の詳細な説明】
技術分野
本発明は保安通信の分野および有価データの保護に関する。詳細には本発明はポイント・ツー・ポイント通信リンクに適用される保安光ファイバ通信システムおよび保安通信ネットワークのサポートを含む。
背景技術
現在、全体の通信システムが物理的には安全でない電子的な伝送中データの安全を保証するために暗号技術が用いられている。これら技術は安全を保証するためにしばしば複雑なキーとキーホルダを含んでおり、これがこの形式のシステムの全体としての運用コストを上昇させている。使用可能な暗号ユニットのほとんどの安全性は速度において制限されており最大データスループットは約50×10^{6}ビット／秒（50MBPS（Mega Bit Per Second））で走行する。この制限は暗号技術で要求されるコンピュータのオーバーヘッドによるものである。これら問題のいくつかを回避するためにヒューズエアクラフト社（Hughes Aircraft Co.）はガード（guard）モードを与えられる保護にもとづく安全光ファイバ通信シス

テムを開発している。このガードモードは比較的光エネルギーの少いデータ搬送モードを保護する大量の光エネルギーを搬送する。侵入が企てられると、ガードモードから光が漏れ、アラームがトリップしそしてシステムが停止される。このヒューズシステムはアラームおよびデータ搬送モードの完全性を維持するために高価な特殊な光ファイバを使用する。その動作速度は現在最長1.5Kmについて13MBPSに制限されている。また、モードの完全性に付随する困難性により、ヒューズシステムはコネクタを用いなければならないところで使用するのは極めて困難である。

ごく最近、サニャック（Sagnac）干渉計がファラデー回転を用いるデータ通信をサポートするための手段として提案されている（疑似－往復光ファイバファラデー回転センサ（A Pseudo－Reciprocal Fiber－Optic Faraday Rotation Sonsor）：電流測定およびデータ通信（Current Measurements and Data Communication Applications）、P.アカバン　ライラバディ（P.Akhavan Leilabady）、A.P.ウェイト（A.P.Wayte）、M.バーウィック（M.Berwick）、J.D.C.ジョーンズ（J.D.C.Jones）、D.A.ジャックソン（D.A.Jacksen）；オプチャックスコムニケーションズ（Optics Communications）、Vol.59,No.3,ページ173－176、1986年９月１日）。このシステムは複屈折効果を低下させるために単一モードのより線形光ファイバを用いる。しかしながら、これは磁界を発生するためのトロイダル電流に依存しており、1MBPSより低い非常に低速で動作するものと考えられる。またこのシステムは、その主目的の一つが磁界に生じるファラデー効果を介して電流を測定することであるから、遊離磁界により誘導されるノイズに敏感である。

安全な通信リンクはビジネス用および政府用として高速で動作する必要がある。銀行は電子的手段により、通常はコンピュータ間で多額の金額を転送する。銀行は資金の受取人の変更、送金金額の変更、あるいはどこの誰かに送金した者の領収書の取得のためのデータの流れを、誰かが妨害できないようにする手段を必要とする。法律家、会計士および安全保障のブローカーは彼等の会社の合併、取得、株の買上げおよび投資において、公告前に第三者により情報が取得できないようにするため絶対的な安全保障を必要とする。すなわち、そのような情報の悪意のある個人による取得は幸運を得たり失ったり、法律家、会計士または株仲買人に対する責任問題が生じるからである。多くのビジネスには、権利のない者によるアクセスが破産を生じさせうるような電子的に転送されなければならない財務データ、コスト、将来の製品についてのデータのような所有権情報がある。政府の人間以外の、いたとしてもごく僅かな人がこれまで使用可能な低速のコンピュータ型の専用安全通信システムを有することができるにすぎない。それ故、暗号化を用いることなく高速データ転送を行うために現存の光ファイバケーブルを用いることのできる経済的な保安データ通信システムの必要性がある。

発明の要約

ここに開示する通信システムは干渉出力を発生するサニャック（Sagnac）干渉計を含み、そして、サニャックループと、このサニャックループで相反する方向に伝播する光ビームを発生する光源と、この光源から離れて上記サニャックループ内にあって情報が上記干渉計出力に生じるように上記相反する方向に伝播する光ビーム上にその情報を与えるための光位相変調器と、上記干渉出力を受けてそれから上記情報を示す出力信号を発生するように接続した出力光検出器とを有する。

発明の開示

本発明は、非保安通信用に一般に用いられる現存する非保護ファイバケーブルと共に使用できる、高速でのデータ信号伝送用の経済的な保安光ファイバ通信システムである。どの点からみても事実上、本発明の通信システムにデータが置かれると、権利を有するユーザによる以外はそれを抽出することができず、誰も通信されたデータを違法に変造することができない。本発明の通信システムはサニャック干渉計に基づくものであり、保安通信はサニャックループの脚（legs）で行われる。その基本システムは送信部分と受信部分を含む。受信部分は好適にはスペクトル的に広帯域の光ビームを発生する光源を含む。偏光を保持する光ファイバをサニャックループに用いなければ、その光ビームは光ビーム内の偏光の変化に関連した問題を防ぐために、中央ビームスプリッタに送られる前に、スクラン

ブルした偏光を有する。このスクランブルされた光ビームは中央ビームスプリッタによりサニャックループで相反する方向に伝播する二つのビームに分けられるのであり、便宜上、それらは時計方向（cw）および反時計方向（ccw）とする。
このシステムの送信部分はループの中心からオフセットした位相変調器を有し、このループの中心は中央ビームスプリッタから両脚上で光学的に等距離となるループ上の点として定義される。通信されるべき入力データストリームは伝送に適したフォーマットでこの位相変調器に入力されるが、暗号化の必要性はない。この位相変調器は、相反する方向に伝播するビームに、入力データを含む位相シフトを導入する。これら二つのビームはサニャックループの残りの部分を通りそして中央ビームスプリッタで一つのビームに合成されて検出器に送られる。
これら二つのビームを合成するとき、それらは互いに干渉する。これらビームが中央ビームスプリッタに達したとき180°の位相差を有しているとすれば、それらのすべての光は出力検出器に向けられ、そして同相であればすべての光は光源に戻される。これは検出器で検出された位相差を光信号の振幅変調に変換して入力データストリームを表わす電気的出力信号を発生する。サニャック保安光ファイバ通信システムでの伝送用に入力データをフォーマット化するために多くの方法が採用できる。データはシステムに“バースト”として入れてもよく、サニャック干渉計自体の微分特性を用いてもよく、あるいは種々の時間そしてまたは周波数多重方法を用いてもよい。
このシステムはいくつかの本質的な保安特性を有する。光源は連続的にオンとなるからこのシステムから光を取り出そうとする侵入者は欠陥リンクのようなものを見ることになる。情報は振幅でなく位相として搬送されるから、信号は光ビームの周波数に乗ることになる。これは、非常に少数の光子を確実に取り出すようにタップを構成することと相俟って、システムと同じ物理的長さ（数ナノメータ以内まで）を有する干渉計がキャリア周波数を検出可能なレベルまで落とすように構成されなければならないことを意味している。パス長を数ミリメートルから数キロメートルまで変化させることができ、かつそれを１ミリ秒より短いインターバルで行うようなランダムパス長発生器をループ内に設けることのようなことをますます困難にする、基本システムの変形例がある。基本システムに組込むことのできる他の保護特性は、侵入をより困難にする光ファイバ検出アラーム、コヒーレント検出法を用いるアラーム、並びに潜在的侵入者の位置検出を可能にし、あるいは発光ダイオードまたはファイバレーザのような低コヒーレント光源の使用を可能にする分散アラームシステムを含む。さらに複雑な問題は、１次まではサニャック保安光ファイバ通信システムで打消すことができるが、いくつかの有望な干渉タップに直接結合しうる環境効果である。また、サニャックループの脚が一定順序で配置されず両方の脚のタッピングをより困難にするようにサニャックループを構成することができる。
本発明の保安通信システムの保安特性はかなりのものであるがサニャックループ形の保安光ファイバ通信システムは市販の光ケーブルを用いて非常に長距離にわたり動作することができ、そして銀行の支店と銀行の財務コンピュータとの間のような、局所的な複合体内でのビルディング間通信用として経済的に構成しうる。
それ故、本発明の目的は現存する光ケーブル網を用いることのできる高度な保安通信システムを提供することである。
本発明の他の目的は高速（毎秒数ギガビット）並びに低および中間通信速度で動作する保安通信システムを提供することである。
他の目的は磁気的効果により生じるノイズに対して抵抗の高い保安通信システムを提供することである。
他の目的はディジタルデータおよびアナログデータ用の保安通信システムを提供することである。
本発明の他の目的は光ファイバ通信システムに対する侵入の検出を可能にすることである。
他の目的は光ファイバ通信システム上の侵入の位置の決定を可能にすることである。
他の目的は物理的に保安処理を行うべき中継器を必要とせずに非常に長距離にわたる経済

的な保安通信を提供することである。
他の目的は保安光ファイバネットワークを提供することである。
本発明のこれらおよび他の目的および利点は図面を含む以下の詳細な明細書により当業者には明らかとなるものである。

【図面の簡単な説明】

図１はサニャック干渉計形保安光ファイバ通信システムの構成図である。
図2A、2B、2Cおよび2Dは高速伝送用に図１のサニャック干渉計システムにデータをバーストとして入れる効果を示すタイミング図である。
図3A、3Bおよび3Cは図１のシステムを駆動するために使用でき、サニャック干渉計の微分作用により方形波出力を生じる、種々の鋸歯状入力波形を示す図である。
図４は保安性を高めるためサニャックループにランダムパス長発生器を用いた図１と同様の変更された保安通信システムの構成図である。
図５はサニャックループ内の光レベルをモニタし保安性を向上させるために位相変調器の前に二重アラームタップを備えた、図１のサニャック保安通信システムの構成図である。
図６は保安性を向上するために光レベル比検出手段を備えた単一タップアラームシステムをもつ、図１のサニャック保安通信システムの構成図である。
図７は保安性の改善のためにサニャックループを循環する光源スペクトルの部分をモニタするための一連のスペクトルタップを有する、図１のサニャック保安通信システムの構成図である。
図８はサニャックループを循環する光のスペクトル成分をモニターするために電荷結合装置アレイとの組合わせにおいて分散タップを有する、図１のサニャック保安通信システムの構成図である。
図９は保安性の向上のためにコヒーレントアラームシステムを有する、図１のサニャック保安通信システムの構成図である。
図10は２本の光ファイバにわたり完全二重動作を可能にする本発明のサニャック保安通信システムの波長分割多重伝送形式の構成図である。
図11は保安中継器を必要とせずに通信距離を伸ばすためにイン－ライン光増幅器を用いるサニャック保安通信システムの構成図である。
図12は単一光ファイバループでサポートされるサニャック保安光ファイバ通信システムの構成図である。
図13Aは通信システムを保安とする際に有効な基本波長分割多重伝送サニャック分布センサの構成図である。
図13Bは図13Aのシステムについてのレスポンス対位置のグラフである。
図14は感度最適化のために受動バイアスを与える３×３カプラを用いる変更された波長分割多重伝送サニャック分布センサの構成図である。
図15は長距離の通信用の光増幅器を備えた、図１のシステムのサニャックループと組合された図14の変更された波長分割多重伝送サニャック分布センサの構成図である。
図16は保安完全二重ファイバ通信システムを形成するために図14のシステムを用いる他の構成の構成図である。
図17は図16の保安完全二重光ファイバ通信システム用のサポート電子回路、通信リンクおよびインターフェースのブロック図である。
図18はアラームをサポートするために、最適化された音響的な感度をもつファイバコーティングを備えた波長分割多重伝送サニャック分布センサを用いる完全二重保安通信システムの構成図である。
図19は保安リンクに沿って同一個所でファイバに生じる環境効果に対する感度を最適にするために波長分割多重伝送サニャック分布センサを備えたオフセット光ファイバコイルを用いる完全二重保安光ファイバ通信システムの構成図である。
図20はサニャック保安光ファイバ通信システムをサポートする受動的にバイアスされた波長分割多重伝送サニャック分散アラームの構成図である。
図21はサニャックループ内の発振位相変調器により与えられるダイナミックバイアスを用

いる基本波長分割多重伝送サニャック分布センサの構成図である。
図22はサニャック保安光ファイバ通信システム用のアラームシステムとして作用するための動的にバイアスされた波長分割多重伝送サニャック分布センサの実施例の構成を示す図である。

本発明の最良の実施態様

参照数字を用いて詳細に図面をみるに、図１の30はサニャック干渉計にもとづく基本的な保安光ファイバ通信システムを示す。システム30は受信部分32と送信部分34を有する。受信部分32は発光ダイオード、ファイバレーザまたはレーザダイオードのような広いスペクトル範囲の光ビーム38を発生する光源36を含む。光ビーム38は適当な偏光状態を有する。光ビーム38内の偏光の変化に伴う問題を避けるために、このビームは、中央ビームスプリッタ44の一方のアーム42内に置かれた偏光スクランブラ40を通される。このスクランブラすなわち減極器40は、システム30が低コストの従来の電磁波の単一モード光ファイバで構成しうるように、ビーム38の偏光をスクランブルする。システム30に偏光保存形のファイバを用いる場合には偏光スクランブラ40は不要である。
偏光スクランブラ40は偏光保存複屈折ファイバからなる２個の長さの光ファイバ部分48と50からなるライオット（Lyot）減極器でよい。断面が楕円以外の偏光保存複屈折があるが、断面が楕円形の偏光保存複屈折ファイバを用いる場合にはその長軸をライオット減極器を形成するため互いに45°でスライスする。例えば、光源36が半値スペクトル幅が40nmで1.3ミクロンの波長で動作する発光ダイオードであり、且つフジクラ（Fujikura）偏光保存複屈折ファイバが用いられる場合には、数％以内への偏光スクランブル用のファイバ部分40と50の長さは夫々0.5mおよび1mである。一般にシステム30全体に偏光保存ファイバを用いるよりは、そのようなファイバ減極器40を製造して用いる方がはるかに経済的である。
スクランブルされたビーム46は、中央ビームスプリッタ44により時計方向ビーム52と反時計方向ビーム54に分割され、光ファイバサニャックループ56を逆方向に伝播する。
システム30の送信部分34は、ループ56の中心60から距離62だけオフセットした位相変調器58を含む。位相変調器58は集中光または電気－光移相器でよい。集中光移相器は小型低電力で非常な高速動作を行うが、電気－光移相器はより低コストである。入力データストリーム64は位相変調器58に入る。この入力データストリーム64が位相変調器58に対し適正な形でなければ、データストリーム64は位相変調器データフォーマッタ66を通されて適正な形の位相変調器入力信号67に変換される。位相変調器58はビーム52と54を受けてそれに移相を導入して夫々ビーム52と54から移相されたビーム68と70をつくる。入力データストリーム64からの情報は２本のビーム68と70間の位相シフトの範囲で送られる。ビーム70は他の偏光スクランブラ71を通る。このスクランブラは位相変調器58により誘導された偏光を除去しそしてカーヒル（Cahill）他の米国特許第4,712,306号に示されるような磁気的な結合効果を減らすために用いられる。偏光スクランブラを位相変調器58の両側に配置してもよい。ビーム68と70はサニャックループ56の残部を通りそして中央ビームスプリッタ44でビーム72に合成される。このビーム72はビームスプリッタ44の他方のアーム74を通り検出器76に伝送される。
光ビーム68と70がサニャックループ56を循環して中央ビームスプリッタ44に戻ったとき、それらは互いに干渉する。これらビーム70と68が同相であれば中央ビームスプリッタ44で再び合成され、そのすべてが光源36に向けられる。ビーム68と70が180°の位相のずれを有していればそれらビーム内の光のすべては出力検出器76に向けられる。このように、相反する方向に伝播する光ビーム68と70への位相変調された入力は、検出器76に入る光ビーム72で振幅変調に変換される。少量の振幅変調光がシステム30に反対して戻されて保安性を低下させる。これを避けるために、ファイバアーム42と74の、夫々光源36と検出器76で終端する端部80と82は無反射コーティングまたは角度つき表面のような技術を用いて反射による戻りを最少にすることができる。
あるいは、アーム42と74のファイバの長さをほぼ整合することができる。効果的マッチングについての目安は、ミスマッチの場合には逆特性伝送周波数に比較して小さい光学的な

遅延を有するということである。例えば、システム30が100メガバイト／秒の速で伝送しているとすれば各バイトのファイバを通る有効光学パス長は約2mとなる。アーム42と74内のファイバの二つの長さにおけるミスマッチはこれの数分の１より大きくはなく、すなわち良好な信号抑圧には10cmが適当となりうる。また、非保安データ伝送が実施されないようにする方法については、光源36と検出器76で終端するファイバ42と74の端部80と82はほぼ同一の反射レベルを有しなければならない。

光ビーム72が検出器76に当った後に、検出器76は電気出力90を発生し、この出力は入力データストリーム64をマッチングするために出力データストリーム94を再構成するデータリフォーマッタ92に入る。

データストリーム64をサニャック保安光ファイバ通信システム30に入れるための方法は多数存在する。図2A、2B、2C、2Dはシステム30へのデータの“バースト”挿入にもとづく一つの方法を示す。この場合、図2Aに示すように入力シリアルデータストリーム64を、データフォーマッタ66により入力67へのデータパケットに分割する。これらパケットは、パケット96が（Ln）/Cより短い時間内に位相変調器58に伝送されるように長さ方向に配列される。ここでＬは図１に示されるように、位相変調器58とサニャックループ56の中心60との間のファイバの長さ62の２倍であり、Ｃは真空中の光の速度であり、ｎはループ56に用いられる光ファイバの屈折率である。システム30の動作について位相変調器58はサニャックループ56の中心60からオフセットされていなければならない。そうでないとＬは０になりデータを入れる時間スロットがなくなってしまう。相反する方向に伝播するビーム52と54は同時に位相変調器58を通るから、データは光ビーム68と70に同相で入る。このように図2Aに示すように“バースト”データ法は第１データバーストパケット96を０から（Ln）/Cのように（Ln）/Cより短い時間インターバル内に入れ、次に次の（Ln）/Cから２（（Ln）/C）の時間インターバルにおいて位相変調器58をオフにし、時間インターバル２（（Ln）/C）から３（（Ln）/C）に第２パケット98を入れ、時間インターバル３（（Ln）/C）から４（（Ln）/C）に変調器58をオフにし、時間インターバル４（（Ln）/C）から５（（Ln）/C）で第３パケット100を入れ、以下同様にすることを含んでいる。時計方向（CW）および反時計方向（CCW）に変調された光ビーム68と70は位相変調器58を通った後に、（Ln）/Cだけ異なる時刻に中央ビームスプリッタ44に入る。図2Bと図2Cはこの時間インターバルだけオフセットしているビーム68と72を示す。この時間差により、２本のビーム68と70が中央ビームスプリッタ44で再合成されるとき、その出力データは図2Dに示すように２回くり返される。これら２個のデータ“バースト”は、位相データがまず一方のビーム68にそして次に他方のビーム70に乗るから互いに180°の位相のずれを有する。バーストデータのフォーマットをつくる出力データフォーマッタ92の作用は、これらバーストの内の一方または他方をはぎ取りそしてそれをシリアル出力データストリームへと再変換することである。このデータのフォーマット技術に関連して、位相変調器58がループ56にデータを置くために入力データストリームの速度の少くとも２倍の速度で動作しなければならず、一つのバーストにされうるビット数がオフレット長Ｌによりきまるという欠点がある。この“バースト”データ技術は非常に高いデータ速度を可能にするという利点があり、その理由は集中光変調器は市販されていること、3GBPSで動作することおよび25GBPSを越えるところまでは実験により確められていることによる。このバースト法を用いることにより、取り付けを容易にするために必要なオフセットコイル（位相変調器58と中心60との間のサニャックループ56内の光ファイバ）の格別の長さによる制限のため12.5GBPSに近いスループット速度が可能となる。この方法の他の潜在的な利点は、各“バースト”が２回送られるためにデータの他方のコピー102をエラーチェック回路104に送ることが出来るということであり、この回路が最終出力106そしてまたはアラーム信号108をつくる前に、性能を向上するために二つのデータストリーム94と102を比較する。

また、連続データ伝送のためにこのサニャック保安光ファイバ通信システム30のフォーマット化およびデフォーマット化することが可能である。これはサニャック干渉計の本質的な微分特性を用いて行うことが出来る。特に、入力方形波データバイトを図3Aに示すと同様の鋸歯状波形に積分しうる。各サイクル周期後に積分器を０にリセットして駆動回路の

必要とするダイナミックレンジを制限する。オフセット時間（Ln）/Cがデータストリームの特性サイクル時間と比較して小さいとすれば、サニャック干渉計の作用はその波形を微分しそして出力検出器76で方形波を再構成することとなる。ここにはトレードオフがある。オフセット時間が特性データサイクル時間に近づくとすると、出力データの立上りおよび立下り時間における鋭さの低下した大振幅の信号が得られる。出力データの鋭い立上りおよび立下りにより生じるスパイクは濾波により除去出来る。また、方形波出力を生じる、図3Bと図3Cに示すもののような他の鋸歯状波形をもつようにデータフォーマッタ66を構成することも出来る。原理的にサニャック保安光ファイバ通信システム30では任意の波形を積分しそして次に微分により再構成することが出来る。そのようなシステム30はディジタルフォーマットへのそしてそれからの電子的な変換を用いずに実時間でアナログ信号の伝送能力を有する。

図１に示すこの基本システム30はいくつかの保安特性を有する。光源36は連続的にオンとなっているから、システム30から光を引き出そうとする侵入は欠陥リンクで見られるようなものを見ることになる。情報が振幅ではなく位相に含まれるから、信号は光ビームの周波数に乗っている。これは、侵入がキャリア周波数を検出可能なレベルまで落すための干渉計をつくらなくてはならないことを意味する。侵入に対し、この増大する困難性を与えるいくつかの方法を次の実施例について述べる。

基本システム30に容易に組込むことの出来る保護特性は、侵入がシステム光源を用いて干渉タップをつくるときに、大きなパス長マッチングの問題を生じさせる、発光ダイオードまたはファイバレーザーのような低コヒーレント光源の使用を含んでいる。更に複雑な問題は環境効果であって、それら環境効果は１次まではサニャック保安光ファイバ通信システム30について打消されるがいくつかの保護干渉タップには直接に結合しうる。また、ループ56の二つの脚100と112を一緒に置かないように、ループ56を構成することが出来る。すなわちそれらが谷の両側または都市の異なる部分におけるケーブル中につくることが出来る。この基本システム30の第三の容易に達成しうる保安特性はスループットエラーについてデータをモニターすることおよびエラーレートが高くなったら自動的にシステム30を停止することを含む。基本システム30の第四の容易に達成しうる保安特性は光源36をオフにし、誰かがシステム30に光を注入しているかどうかを見るために検出器76を用いることを含む。

基本システム30のこれら保安特性は夫々かなりのものであるが、サニャックループ形の保安光ファイバ通信システムは保安度を実質的に向上しうる特性の統合を容易に行うことが出来る。図４の変更されたシステム120はサニャックループ56の中心60の近くに置かれたランダムパス長発生器122の使用を示す。相反する方向に伝播する光ビーム52と70はほぼ同時にランダムパス長発生器122を通るので、データフローはループ56の中心60からランダムパス長発生器122の任意のオフセットを通るように光をとり出す時間期間においてのみ中断される。データフローが充分な時間オフとしうる場合にはランダムパス長発生器122はループ56のどこに置いてもよい。しかしながら好適な位置は中心60である。ランダムパス長を発生する代表的な装置は、ディビス他による米国特許第4,002,896号に示されるように光ファイバの多数巻回126が巻きつけられた圧電性シリンダ124である。パス長制御装置127からこのシリンダ124に異なった電圧を加えることにより圧電シリンダ124の直径とその巻回126のファイバの長さが変化する。パス長制御装置127は周期的にランダムパス長をリセットすることが出来る。例えば前記のバーストデータフォーマットシナリオについてはランダムパス長発生器122はデータフォーマッタ66とパス長制御装置127の間の通信を介してバースト間でリセットしうる。光スイッチ128を用いて中心60の両側またはランダムパス長発生器122の代りに整合したパス長（ファイバコイル129で示す）を加算または減算してもよい。これら変更はサニャック保安光ファイバ通信システム120の性能に僅かの効果しか与えない、あるいは全く無効果を与えることなく容易に行うことが出来るが、それらは或る種の侵入タップには破壊的な効果を有する。

保安性を向上させる他の方法はサニャックループ56を通り伝播する光をモニターする検出器を加えるものである。光のレベルが予定の許容範囲を越えて上下するとすれば、このシ

ステムは停止しアラームのトリガーを行うことが出来る。図５は二重タップアラーム回路を用いるサニャック保安光ファイバ通信システム130を示す。システム130において、時計方向に伝播する光ビーム52の一部がファイバビームスプリッタ132により分けられ光ビーム134になる。ファイバビームスプリッタ132の構成により、光ビーム134のエネルギー量は光ビーム52のエネルギーの数％から数分の１となる。光ビーム134は検出器136に向けられ、検出器136が光ビーム134の強度に比例した信号138を出力する。信号138が予定のリミットを越えるかあるいはそれより下がるとすれば、制御装置140がシステム130を停止するための信号142を発生するか、あるいはアラーム144を作動させる。ビームスプリッタ146は光ビーム54の一部を同様にして光ビーム148へと分割する。ビーム148は検出器150によりモニターされ、この検出器が予定の限界間となる信号152を制御装置154に与え、あるいは制御装置154はシステム130を停止しそしてまたはアラーム156を作動する。ビーム52と54は共にモニターされるから、光ファイバループ56を循環するその光の強度の比をモニターすることも可能である。特に、検出器136と150の出力138と152は比検出回路158に送られて、その予定の限界内の出力160を、制御装置162によりモニターすることが出来、あるいは制御装置162はシステム130を信号163により停止させそしてまたはアラーム164を作動させる。

図６は単一のタップにもとづくアラーム付きの基本的なサニャック保安光ファイバ通信システム170を示す。システム170において単一のファイバビームスプリッタ172を用いた光ビーム52と70の一部をタップする。タップされる光ビーム52の部分、すなわちビーム174はアラーム検出器136に向けられる。検出器136は光ビーム174の強度に比例する信号138を出力する。信号138が上記予定の限界より大きいかあるいは小さいならば、システム170は制御装置140からの信号142により停止され、そしてまたはアラーム176がトリガーされる。同様に、光ビーム70の一部がファイバビームスプリッタ172によりタップされ、そして光ビーム178としてアラーム検出器150に送られるのであり、この検出器が光ビーム178の強度に比例する信号152を発生する。信号152が予定の限界の外側となると、制御装置154がシステム170を停止させる信号を発生し、そしてまたはアラーム176をトリガーする。検出器136と150の信号出力138と152も比検出器回路158に向けられる。前と同様に、比回路158は制御装置162でモニターされるべき比信号160を発生する。比信号160が予定限界外であれば、制御装置162によりシステム170は停止し、そしてまたはアラーム176がトリガーされる。図５および６に関連して説明したアラームされたシステム130と170はデータの遮断を可能にすると共に、検出されずかつ許可されていない、タップを行う侵入の困難度を増大させるものである。図５の二重タップ構成は、位相変調器58およびタップ点の背後のサニャックループ56内の他のエレメントにより生じうる損失の変動には無関係であるという利点を有する。欠点はこの方法が２個の別々のタップ132と146を用いるということである。図６の構成は単一タップ172を用いるという利点を有し、その欠点はこのアラーム法が位相変調器58のスループットの振幅変化を受けるということである。1992年の技術レベルでは、二重タップ法がトリガートレランスを維持出来ることによりすぐれた性能を与えるものとされていたが、技術の進歩により、単一タップ法が好ましい。

予定の限界を越えあるいはそれを下まわることによりアラームがトリガーされると、システム130または170は種々の方法で停止出来る。最も簡単な方法は、データ入力64をオフとすることで位相変調器58を停止させることである。他の方法としては、受信部分32を警戒態勢とし、そしてそのアラーム180をトリガーするために用いることの出来る所定の警報信号を位相変調器58に入れるようにする。

図５および６に関連して述べる侵入およびアラーム装置はシステム170に光を注入する侵入に対する保護のために非常に広いスペクトル範囲を有するタップを含んでいる。図７に示す他の方法はアラーム手段191を複数のスペクトルバンドに分割することにより、安全に対する脅威を表わす波長範囲をモニターするアラーム手段191を備えたシステム190を用いるものである。この方法は問題のスペクトルバンドについての検出器のレスポンスを最適化し、光源36が光を放出しない暗領域を非常に高感度でモニターしうるようにし、そして許可されていないタップによる光の損失の検出を妨害しようとするために侵入により注

入された光により生じる、光源136の放出バンド内のスペクトルプロファイルの変化に対する感度を上げるものである。そのような向上した保護の欠点は、夫々が問題のスペクトルの或領域をカバーするように設計された多重アラームシステムに関連した付加的な困難性とコストである。図７において、図５のシステム130について述べたと同様に構成された一連の二重タップアラームを有するアラーム手段191が示されている。しかしながらシステム190では夫々の二重タップのセットが特定のスペクトル領域に割当てられている。特に、タップ192と194は約波長λ_1に中心をもつ波長バンドにわたり動作するように設計されている。タップ192でタップされた光ビーム196はアラーム検出器198に向けられ、そしてこれが光ビーム196の強度に比例した信号200を発生する。システム130におけるごとく、信号200が予定の限界の外であれば、システム190は停止しそしてまたはアラームがトリガーされる。同様に、タップ194で発生した光ビーム202はアラーム検出器204に向けられる。検出器204は光ビーム202の強度に比例する信号206を発生する。信号206が予定の限界外であれば、システム190は停止しそしてまたはアラームが作動される。検出器198と204からの出力信号200と206も比回路208に送られてアラーム信号210を出力する。システム130におけるように、信号210が予定の限界外であれば、システム190は停止しそしてまたはアラームがトリガーされる。同様の二重タップアラームを中心波長λ_2,λ_3,…, λ_nの波長バンドにわたり動作するようにセットするのであり、図では波長λ_nについての二重タップアラーム210を示してある。全く同様に同様の多スペクトル比アラームシステムが図６のシステム170について用いられたと同じ単一タップ構成を用いてセットしうる。

図８は他の広域スペクトル範囲アラームシステム220の実施例を示す。サニャック保安光ファイバ通信システム220内で相反する方向に伝播する光ビーム52と54は分散タップ222と224によりタップされる。これらタップ222と224はファイバ格子、ファイバビームスプリッタと従来の分散エレメントの組合せ（ホログラフ格子およびプリズムのごときもの）、または他の分散エレメントでよい。分散した光ビーム226と228は多数のイン－ライン検出器からなる電荷結合装置（CCD）アレイ230と232に結像される。アレイ230と232からの出力信号238と240はこのときモニターされ、そして図５と図７に各々示すシステム130と190におけるように予定の限界に対してチェック出来る。これら限界を越えていれば、システム220は停止しそしてまたはアラームがトリガーされうる。これら出力信号238,240は比検出回路242に送られ、その回路の出力信号244が予定の限界に対しチェックされるようにすることが出来る。これら限界を越えればシステム220が停止し、そしてまたはアラームがトリガーされて安全性を保存する。システム220の安全アラーム法の利点はサニャックループ56を循環するスペクトルプロファイルを変化させる侵入が直ちに検出出来ることである。

一般にこれらサニャック保安光ファイバ通信システムをサポートするために用いられる従来の通信ファイバは比較的減衰の少い特定のスペクトル通過域を有し、ファイバ自体の作用がその通過域の外の波長を濾波し大きく減衰させる傾向をもつものである。また、図５乃至図８のアラームおよび同様のアラームシステムが、脅威に対し通信システムの安全を保つに充分なスペクトル範囲を有するようにする濾波手段をサニャックループ56に、好ましくは位相変調器に隣接して付加することも出来る。

アラームを備えたサニャック保安光ファイバ通信システムへの侵入防止する他の方法は、図９に示すようなコヒーレントアラーム手段を備えたシステム250を設けるものである。システム250において、この技術は位相変調器58または同じ目的でサニャックループ56に置かれた他の位相変調器252により、相反する方向に伝播する光ビーム52と54に加えられた位相情報をモニターするものである。コヒーレントで混合された光ビーム68と70の期待される信号レベルが予定の限界を越えて変化したことが出力検出器76で検出されると、システム250は停止し、そしてまたはアラームがトリガーされる。検出器76の出力はデータリフォーマッタ92と信号測定アラーム制御装置254に送られる。この信号測定アラーム制御装置254は予定の限界を越えたかどうかを決定するものであり、その出力256はシステム250の停止そしてまたはアラームの作動に用いられる。

アラーム制御装置254はいろいろの構成としうる。一つの構成は単にデータ自体を見てピ

ークーピーク信号レベルまたはビットエラーレートの測定を行うものである。他の構成は正弦波でよい比較的低周波の信号を位相変調器58に加えそれをデータ搬送信号に重畳させあるいは別の位相変調器252にそれを加えるものである。この低周波信号はその後制御装置254で濾波され、そしてアラーム信号として作用させるべく監視しうる。変調器252は送信部分34に置かれているが、サニャックループ56の中心60から充分オフセットしていればどこにでも置くことが出来る。特に、受信部分32に置いてもよい。位相変調器252は、出力256のレベル変化を監視するために用いられる同期復調器260をサポートするためにも使用出来る低い固定周波数をもつ発振器258により駆動しうる。この同期復調器260は、アラーム信号262を発生するために、発振器が位相変調器および同期復調器を駆動する固定周波数に関する最低次から数個の調波における総合的なパワーを監視するために使用出来る。

上記のような完全二重サニャック保安光ファイバ通信システムについては、相反する方向に向いかつ付加的なファイバ対を用いる本質的に二重のシステムが必要である。波長分割多重伝送技術が図10のシステム270で示すように用いられるとすれば、２本の光ファイバのみが必要である。ここでは一方のサニャックループ272は中央ビームスプリッタ274、ファイバ276、ビームスプリッタ278、共通ファイバ280、ビームスプリッタ282、ファイバ284、位相変調器286、減極器288、ファイバ290、ビームスプリッタ292、共通ファイバ294、ビームスプリッタ296、およびファイバ298からなる。他方のサニャックループ300は中央ビームスプリッタ302、ファイバ304、ビームスプリッタ292、共通ファイバ294、ビームスプリッタ296、ファイバ306、減極器308、位相変調器310、ファイバ312、ビームスプリッタ278、共通ファイバ280、ビームスプリッタ282およびファイバ312を含む。第１のサニャックループ272は1.3ミクロンの波長λ_1で動作し、第２サニャックループ300は1.5ミクロンの波長λ_2で動作する。ビームスプリッタ278,282,292,296は波長分割多重伝送型であり、サニャックループ272と300が独立的に動作するようにそれらループをスペクトル的に分離するために用いられる。例えば波長λ_1が1.3ミクロンであり波長λ_2が1.5ミクロンであるとすると、波長分割多重伝送エレメントは、1.3ミクロンの光がクロスカップリングを伴わずに通過し、1.5ミクロンの光がほぼ完全にクロスカップリングするように設計されたファイバビームスプリッタでよい。このようにビームスプリッタ278,282,292,296については一つの形式の波長分割多重伝送ビームスプリッタのみしか必要としない。

システム130,170,190または220の内の二つと同様に構成しうるシステム270は夫々中心周波数λ_1とλ_2をもつ光を発生する光源314と316を有する。夫々は、減極器318と320により中央ビームスプリッタ274と302に夫々スクランブルされる偏光を有する光を発生する。復路において中央ビームスプリッタ274と302で混合された後に、光は夫々検出器326と328により電気的出力信号322と324に変換される。

市販の要素の現在の状態は中継器を用いずに約50kmの距離について上記のサニャック保安光ファイバ通信システムを動作させうる程度となっている。ファイバ増幅器の開発に伴って、安全を保持するすべて光学的な中継器を用いるより長距離のリンクを考えることが出来る。図１のシステム30の通信距離を長くするように変更したものであるそのようなシステム330を図11に示す。ここでは、すべての光増幅器サブシステム332と334は送信部分34と受信部分32の間に配置される。サブシステム332と334はデータを抽出せずに光学的に増幅を行うため安全なものである。脚部110内の増幅器332は、ポンプレーザ338に駆動電流を供給するポンプレーザドライバ336を含む。ポンプレーザ338からの光339は、波長分割多重伝送エレメント342を介してファイバ増幅器340に結合される。ファイバ増幅器340は相反する方向に伝播する光ビーム46と70のパワーを増大させる。光ビーム46と70のパワーはファイバ増幅器340を通過した後に、検出器348と350に夫々組合わされたファイバタップ344と346により監視される。検出器348と350の出力352と346は、ポンプレーザドライバ336に送られ、そしてポンプレーザ338の出力を制御することにより、ファイバ増幅器340の動作を安定化するために用いられる。サブシステム334のポンプレーザドライバ356、ポンプレーザ358、多重伝送エレメント360、タップ362と364、および検出器366と368は、脚部112内の増幅器370をサポートするものであり、この増幅器370は相反する方向に伝播す

るビーム54と68のパワーをブーストするように動作する。二重の増幅器ではなく単一の増幅器を用いてサニャックループ56を動作させることが出来る。しかしながら二重増幅器は、特に同一のポンプレーザを用いてサニャックループ56の脚部110と112内の整合した増幅器群を駆動するとき、システム330の総合的性能を改善するものである。図10に示すシステム380のような波長分割多重伝送リンクについては夫々の波長バンドをカバーするためには２対の増幅器が必要である。

また、一つのサニャック保安光ファイバ通信システムを、単一の光ファイバ相互接続ループによりサポートされる一つのネットワークへと拡張することも出来る。図12において３ネットワークノードの場合について示されたシステム380は、３個の同様の送信／受信ステーション382,384,386を含む。各ステーション382,384または386は、光源383,390または392、ファイバスクランブラ394,396または398、中央ビームスプリッタ400,402または404、光スイッチ406と408、410と412または414と416、位相変調器418,420または422、出力検出器424,426または428、およびループ偏光スクランブラ430,432または434を含む。このネットワークシステム380の動作の一例として図12は、送信／受信ステーション382から伸びるサニャックループ436が動作する場合の動作態様を示している。この態様において、サニャックループ436を通り相反する方向に伝播する光ビーム438と440用のファイバパスは太線で、光スイッチ406,408,410,412,414,416により遮断されるパスは点線で示されている。この態様において、ステーション384と386はそれらの位相変調器420と422を介してステーション382に秘密に送信することが出来る。ステーション382が秘密に送信する場合にはそのスイッチ406と408はその位相変調器418がループ436内となるように切換えられ、そしてステーション384または386は、その光源390または392、検出器426または428および中央ビームスプリッタ420または404がループ436内となり、その位相変調器420または422が切離されるようにそのスイッチ410と412または414と416を構成することにより秘密に受信を行うことが出来る。一時にただ一つのステーションのみが受信を行うことが出来るが、他の二つのステーションは、受信部分側でそれらの送信を分離する手段を設ければ送信を行うことが出来る。位相変調器420または422はステーション382と通信を行うのであれば中心ビームスプリッタ400からループ436の正確な中心442には配置出来ない。しかしながら、受信データパルスの相対的時間を知ることにより、受信ステーションは送信ステーションの位置を識別することが出来る。このようにしてネットワークシステム380は高レベルのデータ保安および完全性を達成することが出来る。

ネットワークプロトコルを扱うには多くの方法がある。例としては、与えられた時間スロットで各ステーションを動作させるもの、あるいはトークンを波長分割多重伝送された非保安信号を介してループ436に沿って通すようなトークン通過法を含む。上記の例はサニャック干渉計型保安光ファイバ通信システムの実施および侵入を検知するアラームの付加による保安性の向上を示すものである。そのような基本的システムを完全二重のネットワーク化されたシステムに構成する方法についての例も示してある。しかしながら、いくかつの場合には潜在的な侵入の位置を知ることが望ましい。これは次に述べる波長分割多重伝送サニャック分布検出法を用いて行うことが出来る。

1987年にダキン（Dakin）（Proceedings of SPIE,vol.838,p,325,1987）はサニャックおよびマッハーツェンダ（Mach－Zehnder）干渉計の組合せにもとづく分布光ファイバセンサを記述している。サニャックセンサはR.F.カーヒル（Cahill）およびE.アド（Udd）の1983年３月１日付米国特許第4375680号およびE.アドの“Fiber－Optic Acoustic Sensor Based onthe Sagnac Interferometer,Proceedings of SPIE,vol.415,p.90,1983"に示されるように位置依存レスポンスをもつように配置される。周波数依存型の環境効果に対するサニャック干渉計レスポンスの出力をマッハーツェンダ干渉計（E.アド編、A.ダンドリッジ（Dandr－idge）、The Mach－Zehnder and Michelson Interferom－eter in Fiber Optic Sensors:A Introduction for Engineers and Scientists,Wiley,1991参照のこと）の直接レスポンスを組合せそしてその結果を正規化することにより、周波数依存型環境効果の位置と位置ぎめが決定出来る。

ダキンの提案する方法に関連した大きな問題の一つはマッハーツェンダ干渉計とサニャッ

ク干渉計の最適性能を得るための光源の要件が全く相反することである。詳細に述べると、高性能マッハーツェンダ干渉計は、しばしば帰還に対し非常に感度の高い長いコヒーレント長をもつ光源を用い、サニャック干渉計は低コヒーレント長光源で高い性能を示す。波長分割多重伝送技術とアイソレータを用いてダキンの分布センサを再設計することによりこれら問題を小さくすることは可能であるが、E.アドの米国特許第4898468号、同第4976507号および同第5046848号に示されるサニャック干渉計のみにもとづく分布センサを設計することも出来る。ここに述べる方法は分布センサを形成するために別々の波長で互いに関連して動作する二重サニャック干渉計を用いる。この方法は前述のサニャック保安光ファイバ通信システムを実施するため並びに通常の光ファイバ通信ラインの保安を行うためのアラームの形成に非常に適したものである。

図13Aは同一長さの光ファイバ500を保護する２個のセンサ496と498を有する基本的波長分割多重化サニャック分布センサ494を示す。中心波長λ_1で動作する光源501からの光はファイバ端部503に結合されて光ビーム501を形成する。光源501は発光ダイオードのような広いスペクトルを有する光源でよい。光ビーム505はファイバ端部503に入った後に、そのビームのスペクトルパワーを多数の偏光状態にわたり分布させるように作用する偏光スクランブラ507を通る。偏光スクランブルを受けた光ビーム508は中央ビームスプリッタ509に入り、そこで時計方向に伝播する光ビーム511と反時計方向に伝播する光ビーム513に分けられる。時計方向の光ビーム511はサニャックループ514を循環し、波長λ_1が、サニャックループ514内の磁気的に誘導されるノイズの効果を減少させる偏光スクランブラ519に通るように設計された波長分割多重伝送エレメント515および517と、波長λ_1が、カップラ509にもどる前に通すように設計された波長分割多重伝送エレメント521および523とを通る。反時計方向光ビーム513はサニャックループ514を循環した後、これらエレメントを逆方向に通る。時計方向の光ビーム511と反時計方向の光ビーム513は互いに中央ビームスプリッタ509において干渉し合う。光ビーム511と513が互いに同相であればすべての光は光源501に向かう。ビーム511と513が180°の位相差を有する場合にはすべての光は検出器525に向けられる。

周波数依存型の環境効果527が光ファイバ514の部分528に作用するときには、光ファイバ529のその部分528に局所的に光路長変調を誘導する。その結果としての発振の振幅は、環境効果の強さとそれに対するファイバ529のレスポンスによりきまる。環境的に導入される発振に対するサニャックセンサ496のレスポンスはセンサ496の、サニャックループ514上の周波数依存性環境効果527の位置によりきまる。効果527がサニャックループ514のほぼ中央で生じるとすれば、時計方向光ビーム511と反時計方向光ビーム513はほぼ同時にビームスプリッタ509に入り、そしてこれら２つのビーム間に導入される位相差は０に非常に近いものとなる。周波数依存性環境効果527が中央ビームスプリッタ509に向って動くとき、時計方向光ビーム511と反時計方向の光ビーム513の間の到達時間の差は増大する。環境効果527の周波数がサニャックループの特性周波数Ｆ（C,Ln）と比較して小さければ、検出器525に入る信号の振幅は効果527の振幅に比例して増大しそして、その位置が中央ビームスプリッタ509からサニャックループ514の中央に向かって動くときそれに比例して減少する。但しＣは真空中の光速、Ｌはループの長さ、ｎはループ内のファイバの屈折率であり、Ｆはこれらの関数であることを示している。

振幅と周波数が一定の環境効果については、センサ496の位置依存型レスポンスをサニャックループ514の上側のファイバ部分529について図13Bのグラフに実線で示す。サニャックループ514の下側の部分について発生される信号は同じであるがその出力位相は180°変化する。

第２のサニャック干渉計センサ498は同様に構成され同様に作用する。光源531は波長λ_2の光をファイバ端部532に結合させて光ビーム533を形成する。ビーム533の残りの偏光は偏光スクランブラ535により除去される。光ビーム533は次に中央ビームスプリッタ537により相反する方向の光ビーム539と541に分けられて第２のサニャックループ542を通る。時計方向の光ビーム539は波長分割多重伝送エレメント521により下側のファイバ部分530にクロスカップリングする。そして次に波長分割多重伝送エレメント523によりクロスカ

ップリングされ、偏光スクランブラ545を通り、波長分割多重伝送エレメント515により上側のファイバ部分529にクロスカップリングされ、そして波長分割多重伝送エレメント517により中央ビームスプリッタ537へとクロスカップリングによりもどされる。反時計方向の光ビーム541は中央ビームスプリッタ537にもどる前に、エレメント517,529,515,545,523,530および521を通る。光ビーム539と541は中央ビームスプリッタ537にもどって干渉し合い、結果として得られる振幅変調された信号が出力検出器549に送られる。

図13Bのグラフの点線は位置に対する、振幅と周波数の一定な環境効果に対するセンサ498のサニャックループ542の上側ファイバ部分529のレスポンスを示す。周波数依存性の環境効果527の結果としての出力検出器525と549からの信号出力551と553は、信号プロセッサ555に送られる。これら二つの信号の和を用いて周波数依存性環境効果527の振幅出力557を形成し、そして出力551と553の比を用いて周波数依存性環境効果527の位置を示す出力559を発生する。光源501と531がシステム494に余分のノイズを加えないようにするためにこれらは、光ビーム505と533を監視し、そして光源501と531の駆動電流を調整するための帰還回路561と563を有するドライバを用いて安定化される。システム494のサニャックループ514または542を相反する方向に通る光ビーム511と513または539と541は、ほぼ同一のパスを通り、そして中央カプラ509または531に入る時点ではほぼ同相である。小振幅低周波信号の場合、それにより環境効果の周波数の主に２次以上の偶調波である信号が発生する。この現象は光ファイバジャイロについて行われた作業に関連して周知であるが、例えばE.アド著、E.アド編、Fiber Optic Sensors Based on the Sagnac Interfero－meter and Passive Ring Resonator,in Fiber Optic Sensors:An Introduction for Engineers and Scienti－sts,Wiley,New York,1991を参照され度い。

高次の調波を復調することなく直接に低振幅信号を抽出するためにはサニャック干渉計を“バイアス”する必要がある。これは３×３（またはそれより高次の）カプラを用いる受動バイアス法またはサニャックループに発振する位相変調器を置くダイナミックバイアス法を用いて行うことが出来る。これらの方法は共に保安光ファイバ通信システムをサポートするために使用出来る波長分割多重伝送サニャック分布センサをつくることに使用出来る。

キエルクラカネス（Kjell Krakanes）およびキエルブロテカー（Kjell Blotekjar）（Optics Letters,vol.14,p.1152,1989）は、３×３カプラを用いるサニャック音響センサシステムをバイアスする能力を示している。図14の分布サニャック音響センサ594は波長分割多重伝送サニャックセンサをつくるためにセンサ494の代りに３×３カプラを用いる方法を示している。センサシステム494と同様にセンサシステム594は共通の光ファイバ600について異なった方向から検知する一対のセンサ596と598を有している。中心波長λ_1で動作する光源601が光をファイバ端部603に結合させる。その結果とての光ビーム605はそれを減極する偏光スクランブラ607を通る。光ビーム605はその後３×３カプラ609に入り、そこで３本の光ビーム、すなわち時計方向に伝播する光ビーム611、反時計方向に伝播する光ビーム613および光ビーム615に分けられる。ビーム615はシステム594への反射を避けるための光終端部618を含むファイバ端部617に入り失われる。例えば終端部618はファイバ端部617をつぶしてそこを屈折率整合セメントで覆うことにより構成してもよい（他の例についてはE.アドおよびR.E.ワゴナ（Wagoner）、Method of Terminating an Optical Fiber、米国特許第4834493号、1989年５月30日、を参照され度い）。光ビーム611は波長分割多重伝送エレメント620と621および偏光スクランブラ623を通ってセンサ596のサニャックループ619をめぐり、波長分割多重伝送エレメント625と627を介して３×３カプラ609にもどる。反時計方向のビーム613は３×３カプラ609にもどる前にエレメント627,625,623,621および620を通って反対方向にサニャックループ619を循環する。これら逆方向の光ビーム611と613が３×３カプラ609にもどるとき、それらは互いに干渉し合い、そしてそれらの相対位相により、検出器629、検出器631または光源601に向けられる。その理由は等パワー分割型の３×３カプラは入力信号を位相120°だけシフトする特性を有するからである。サニャックループ619の上側のファイバ脚部634に加えられる周波数依存性環境信号633については、検出器629と631および光源601に向かう、互いに120°位相のずれた対

応する振幅変調された信号635,636,637を生じる（２×２カプラについての場合の180°の位相ずれとは対象的）。この結果、周波数依存性の環境効果633により導入される信号635,636,637は、検出器629と631からの出力638と639が信号プロセッサ640に送られるとき重要な１次調波成分を有することになる。

波長λ_2で動作する光源641によりサポートされるサニャック干渉計センサ598についての状況は相似的である。光はファイバ端部643に結合され、結果としての光ビーム645が偏光スクランブラ647を通る。ビーム645は次に３×３カプラ649によりビーム651,653,655に分けられる。ビーム651は反射を落すに最適化されているファイバ端部656を出て失われる。時計方向のビーム655は、センサ598のサニャックループ658を横切って波長分割多重伝送エレメント625と627でクロスカップリングされて偏光スクランブラ657に入り、そして波長分割多重伝送エレメント621と620により３×３中央カプラ649に向けてクロスカップリングされる。反時計方向のビーム653は３×３カプラ649にもどる前にサニャックループ658を逆方向に横切る。光ビーム653と655は干渉し、そして互いに120°位相のずれた出力信号659と660が出力検出器661と662に向けられる。検出器661と662の出力671と673は信号プロセッサ640に向けられ、このプロセッサが夫々波長λ_1とλ_2で独立して動作する２個のサニャック干渉計596と598からの信号の和と比を用いて環境信号の振幅出力信号675と位置出力信号677を計算する。光源601と641がセンサシステム594にノイズを与えないようにするために閉ループ光源ドライバ679と681を用いることが出来る。

図15は保安通信システム685の安全度を高めるためにどのようにしてサニャック保安通信システム（例えば図１のシステム30）とサニャック分布センサシステム（例えば図14のシステム564）を組合わせるかを示している。システム685において、光源36,601および641はシステム30と564が互いに独立して動作するように異なる中心波長λ_3,λ_1およびλ_2をもつように選ばれる。センサ596は波長分割多重伝送ファイバビームスプリッタ687,689,691および693によりシステム30のサニャックループ56に結合される。波長分割多重伝送ファイバビームスプリッタ620,621,625,627,687,689,691および693は、非常に周波数感度を高く構成出来るから、位相変調器58で加えられるデータが侵入アラームセンサ596または598の検出器627,631,661または662に生じる危険性はほぼない。

図16は保安完全二重通信システム700について３×３カプラを用いる波長分割多重伝送サニャック分布センサの適用を示す。波長λ_3で動作するほとんどすべての形式の光ファイバ通信システムの部分でありうる送信部分701は光コード化データストリーム702をファイバ703の端部に結合するために用いられる。その結果としてのデータを含む光ビーム705は波長λ_3にほぼ中心を有する光を通すように設計された波長分割多重伝送エレメント709を通りファイバ707を伝播する。同様に光ビーム705は波長分割多重伝送エレメント711,713,715を次に通る。光ビーム705は次に受信部分717に入り、それが含むデータが出力718として抽出される。逆の方向において送信部分719は、第２の入力データストリーム720をほぼ波長λ_3に中心をもつ光コード化信号に変換する（一般にこれは波長分割多重伝送エレメントにより通される他の波長でもよい）。第２入力720はファイバ端部721に結合される。その結果の光ビーム723はファイバ725を伝播し、そして波長λ_3に近いスペクトル出力を有する光ビームを通すように設計された波長分割多重伝送エレメント727,729,731,733を通る。光ビーム723は次に受信部分734に入り、この受信部分がデータストリームを表わす出力735を発生する。

潜在的な侵入の存在およびその位置を検出するために波長分割多重伝送サニャック干渉計分布センサシステム736を使用することにより完全二重システム700の部分737の安全を保証出来る。システム736のセンサ738について光源739は中心波長がほぼλ_2の光を放出し、これがファイバ端部741に結合される。その結果としての光ビーム743は偏光スクランブラ745を通り、３×３カプラ747により３本のビームに分けられる。その内の１本のビーム749は、反射を最少にするように設計されたファイバ端部751を出て失われる。時計方向のビーム753は波長分割多重伝送エレメント709でクロスカップリングされ、波長λ_2を通過させるように設計されそして中心波長が約λ_2の光をクロスカップリングするように設計された波長分割多重伝送エレメント713により光ファイバ707からクロスカップリングされ

る波長分割多重伝送エレメント711を通りその光ファイバ707に沿って伝播する。次に光ビーム753は偏光スクランブラ757を通りそして波長分割多重伝送エレメント729により光ファイバ725にクロスカップリングされる。次にそれは中心波長が約λ_2の光を通すように設計された波長分割多重伝送ユニット731を通り、そして波長分割多重伝送エレメント733により中央カプラ747へとクロスカップリングされる。反時計方向のビーム755は波長λ_2に関連するサニャックループを、エレメント733,731,729,757,713,711および709を通り中央カプラ747へと逆に伝播する。２本のビーム753と755はカプラ747で互いに干渉し、そしてその結果の振幅変調された信号が検出器759と761に向けられる。前述したようにこれら信号は約120°の位相差を有する。

システム736の第２のサニャック干渉計762はほぼ中心波長λ_1で動作する光源763によりサポートされる。光源763からの光はファイバ端部764に結合されて光ビーム765となる。ビーム765は偏光スクランブラ767を通り、そして３×３カプラ769により３本のビーム771,773,775に分けられる。光ビーム771は反射が最少となるように終端されるファイバ端部777を介してその３×３カプラから出る。反時計方向のビーム773は約λ_1に中心波長をもつ光をクロスカップリングするように設計された波長分割多重伝送エレメント715により光ファイバ707にクロスカップリングする。ビーム773は波長分割多重伝送エレメント713を通り、そして波長分割多重伝送化エレメント711によりファイバ707から出るようにクロスカップリングされる。次にそれは偏光スクランブラ779を通りそして波長分割多重伝送エレメント731によりファイバ725にクロスカップリングする。ビーム773は次に波長分割多重伝送エレメント729を通り、中央の３×３カプラ769にもどるように、波長分割多重伝送エレメント727によりクロスカップリングされる。時計方向のビーム775はエレメント727,729,731,779,711,713および715を通り、中央の３×３カプラ769にもどるように逆方向に、波長λ_1に関連するサニャックループ780を循環する。ビーム773と775は混合し干渉して環境的に導入された周波数依存性信号を検出器781と783に運ぶ振幅変調された光ビームとなる。

図17は、図16の保安完全二重光ファイバ通信システムをサポートするために用いられる信号処理電子回路のブロック図である。検出器761と759の出力785と787は、波長λ_2で動作するサニャック干渉計の動作をサポートするために用いられる復調システム789に送られる。復調器789の出力は電気的または光ファイバでよい通信リンク791を介して中央信号プロセッサ793に入る。同様に検出器781と783の出力795と797は波長λ_1で動作するサニャック干渉計をサポートする復調器799に送られる。復調器799の出力は通信リンク801上の中央プロセッサ793に送られる。プロセッサ793は復調された信号と位置出力805を加算しその比をとることにより振幅出力803を計算する。

多くの場合、例えば図16に示すように完全二重保安光ファイバシステムの両方のファイバを同一ケーブル内に置くことが望ましい。そのシステムが完全に対称形であればケーブル上の周波数依存性の環境効果に対するサニャックループの感度は１次まで打消される。個々にあるいは組合せで使用しうる対称性を除くための方法は多数ある。図18はファイバをコーティングすることにより対称性を除去するシステム900を示す。この場合、ファイバ901は例えばその音響感度を向上するためのコーティングとして使用しうる製品であるハイトレル（Hytrel）のような材料でコーティングされ、それと平行のファイバ903は音響効果に対し不感とされている。金属コーティングを施すことは光ファイバを音響的に不感化する一つの方法である。音波が２本の別々にコーティングされたファイバ901と903を含むケーブルの直径と比較して大きな波長でそのケーブルに当ると、サニャック干渉計738と762が１次まで検出できるような異なる光パス長レスポンスが生じる。

他の方法は図19に示すシステム1000である。オフセットされたファイバ1001と1003はサニャックループ1005と1007に置かれており、それ故もし２本のファイバ1009と1011が同一の光ファイバケーブル1013内に置かれるとすれば夫々から逆方向に伝播するビームは（Ln）/Cの時間差をもって位置1015に達する。但し、Ｌはオフセットコイル1001または1003の長さである。このように、もし周波数依存性の環境効果がファイバ1009と1011を含むケーブル1013の位置1015に達すると、それらの到達時刻の差により逆方向のビーム間に正味の位

相差が生じる。一般に、長さの異なるコイルは２個のサニャックループ1005と1007の相対感度を変化させるがファイバオフセットコイル1001と1003の長さは等しくある必要はない。

また、受動的にバイアスされる波長分割多重伝送サニャック分布センサを図20のシステム1100に示すようなサニャック保安光ファイバ通信システムと組合せて実施することも出来る。これは図14について述べたと同様にアラームとして波長分割多重化サニャック分布センサを組込むことである。位相変調器1101と1103は図10について述べたように波長分割多重伝送サニャックループの相反する方向に伝播する光ビームにデータの安全を保証した形で乗せるために用いられる。これらビームが中央カプラ1105と1107で再合成されるとき、結果として生じる振幅変調された信号が検出器1109,1111,1113,1115に向けられる。これら信号はサニャック保安光ファイバ通信システムからの出力データストリーム並びに潜在的な侵入の存在を知らせるために使用可能な信号を含む。一般にデータ通信信号は環境的に導入される信号と比較すると非常に高い周波数となっている。典型例としてはデータは、300MBPSで伝送され、アラームシステムは50－5000Hzの範囲の音響特徴を検出する。これら信号の分離はいろいろの方法で行うことが出来る。一つの方法は出力脚部の夫々に２個の検出器を用いるものである。例えば検出器1111に向かう振幅変調された光ビームは２個の別々の検出器部分に分けられる。一方の検出器部分は50－5000Hzの範囲の周波数に対して最大感度となるようにされ、そしてその出力1117が妨害を示す出力位置1121と振幅出力1123を決定するために用いられる信号プロセッサ1119に向けられる。検出器1111を形成する第２の検出器部分は前の例では300MBPSの高い伝送速度に対して最大感度とされる。その出力1125はサニャック保安光ファイバ通信システムの出力データフォーマッタに向けられる。光源1127によりサポートされるサニャック干渉計の第２の検出器1109は同様にして、二重検出器部分およびアラーム信号およびデータ出力1129と1131と共に構成される光源1133によりサポートされる第２サニャック干渉計は同様に動作する。

２個の別々の検出器部分を使用することに代えて単一の検出器を用い、高周波データを電子的フィルタにより低周波のアラーム信号から分離してもよい。この方法は広い周波数範囲をカバーしなければならない検出器の強制的使用と出力検出器の最適感度との妥協という潜在的な欠点がある。３×３カプラの他の特徴は、出力データのエラーチェックを行うためあるいは夫々に関連して出力検出器1109と1111、1113と1115を用いることによる信号対雑音比を改善するために使用しうる２本の別々のデータパスが使用しうるということである。

波長分割多重伝送サニャック分布センサの受動的バイアスに加えて、光ファイバジャイロに関連して使用されるようなダイナミックバイアス技術を使用することが出来る。図21はこの形式の波長分割多重伝送サニャック分布センサ1200を示す。中心波長λ_1で動作する光源1201は光源ドライバ1203で安定化されてファイバ端部1205に光を結合する。その結果の光ビーム1207は偏光スクランブラ1209を通りそして中央カプラ1211によりサニャックループ1216を相反する方向に伝播する光ビーム1213と1215に分けられる。時計方向のビーム1213は中心波長λ_1の光を偏光スクランブラ1221に通すようになった波長分割多重伝送エレメント1217と1219を通る。光ビーム1213は、次に波長分割多重伝送エレメント1223と1225を通って位相変調器1227に到り、そして中央カプラ1211にもどる。反時計方向のビーム1215は中央カプラ1211にもどる前に、エレメント1227,1225,1223、1221,1219および1217を介してサニャックループ1216を通る。位相変調器1227は正弦波出力1231を出す発振幅1229により駆動されて相反する方向のビーム1213と1215の間に発振性の非往復位相シフトを導入する。発振器1229は同期復調器1235にもその正弦波信号を出力1233として与える。サニャックループ1216に作用する周波数依存性の環境的効果がない場合には２本の相反する方向のビーム1213と1211は混合して振幅変調された信号1237を発生し、それが出力検出器1239に向けられる。この信号は位相変調器1227に加えられた正弦波ドライブ信号1231の２次以上の偶調波を主として含む。周波数依存性環境信号がサニャックループ1216に当ると、この振幅変調された信号1237は位相変調器1227のドライブ信号1231の１次調波を含むことになる。この１次（およびそれ以上の奇）調波の振幅は環境効果とその位置の振幅に比

例し、そして結果としての検出器1239の電気信号出力1241は正弦波発振器1229のドライブ周波数で周期的に復調される。同期復調器1235の出力1243は信号プロセッサ1245に送られる。第２のサニャックループ1246は中心波長λ_2で動作する光源1247によりサポートされ、その出力は光源ドライバ回路1249により安定化される。光源1247は光をファイバ端部1251に結合する。結果としてのビーム1253は偏光スクランブラ1255を通り、そして中央カプラ1257により、相反する方向のビーム1259と1261に分けられる。反時計方向のビーム1259は波長分割多重伝送エレメント1219と1217により偏光スクランブラ1263へとクロスカップリングされる。次にこれは波長分割多重伝送エレメント1225と1223により位相変調器1265へとクロスカップリングされそして中央カプラ1257にもどる。時計方向のビーム1261は中央カプラ1257にもどる前にエレメント1265,1223,1225,1263,1217および1219を介してサニャックループ1246を通る。発振器1267が正弦波出力1269を位相変調器1265に供給する。位相変調器1265の作用は復調のために、相反する方向のビーム1259と1261間に正弦波的に変化する位相シフトを導入するために用いられる。２本のビーム1259と1261がサニャックループ1246を循環した後再合成されると、それらは互いに干渉しそしてそれにより生じる振幅変調された信号1271が出力検出器1273に向けられる。検出器1273の出力1275は、同期復調器1277に向けられ、そしてこの復調器は復調のための発振器1267からの正弦波ドライブ信号1279を受ける。その結果の出力1281は信号プロセッサ1245に向けられ、これが入力1243と1281を用いて環境効果の位置出力1283と振幅出力1285を発生する。

波長分割多重伝送サニャック分布センサをつくるためにダイナミックバイアスを用いるこの技術は受動バイアスを用いる３×３カプラ法に関連して述べたすべての実施例に同様に適用出来る（図13について述べた基本システムは同様にして受動バイアス法に関連して述べた実施例に適用出来る）。例えば図22はサニャック保安光ファイバ通信システムと組合せたダイナミックバイアスを用いる波長分割多重伝送サニャック分布センサを備えたシステム1290を示す。システム1290では中心波長λ_1で動作する光源1301は、保安データ伝送をサポートする位相変調器1303と、システム1290用のアラームをサポートするために用いられる波長分割多重伝送サニャック分布センサのサポートのための第２位相変調器1305とを用いるサニャック干渉計1302をサポートするために用いられる。波長λ_1で動作するサグナックループ1304からの振幅変調された信号は出力検出器1307に向けられる。この検出器1307は、保安データ速度とアラーム位相変調器の動作周波数における感度を最大とするようになった２個の検出器で構成出来る。アラーム検出に対して最適化された検出器1307の出力1309は同期復調器1311に向けられ、そして図21について述べたと同様にして処理される。検出器1307の出力1313は上記のサニャック保安光ファイバ通信システムに関連して述べたと同様にしてデータストリームを再構成するために用いられる。また、検出器1307を１個の検出器を用い信号1309と1313を電子的なフィルタで発生するようにして構成してもよい。第２のサニャックループ1314は、中心波長λ_2で動作する光源1315でサポートされる。データは位相変調器1317を介して安全に伝送され、そしてアラーム信号は位相変調器1319を介してサポートされる。同期復調器1321と1311からの出力信号1323と1325は出力信号プロセッサ1327に送られる。これら信号を伝送するための物理的な接続は別々のラインによってもよく、あるいはその出力を保安データ伝送リンクを介して送ってもよい。この保安ライン上の周波数依存性環境効果1328の位置と振幅はこの通信リンクの一端とその他端に安全に送られる情報とにより決定出来る。位相変調器1303にアラーム信号を乗せそして第２位相変調器1305を除去することが出来る。しかしながら、別々の変調器1303と1305は、発振器1329と同期復調器1311がサポート用電子的要件を簡単にする二重変調器法と結合されうるから、有利である。

以上、すべての目的およびその利点を満足する新規なサニャック保安光ファイバ通信システム、サポートアラームおよび分布センサを示し説明した。本発明の多くの変形、変更、変化、使用および応用は以上の説明および添付図面を考慮すれば当業者には明らかである。本発明の精神と範囲を逸脱しないすべてのそのような変形、変更、変化および他の使用および応用は請求の範囲によってのみ限定される本発明に含まれるものである。

【図１】

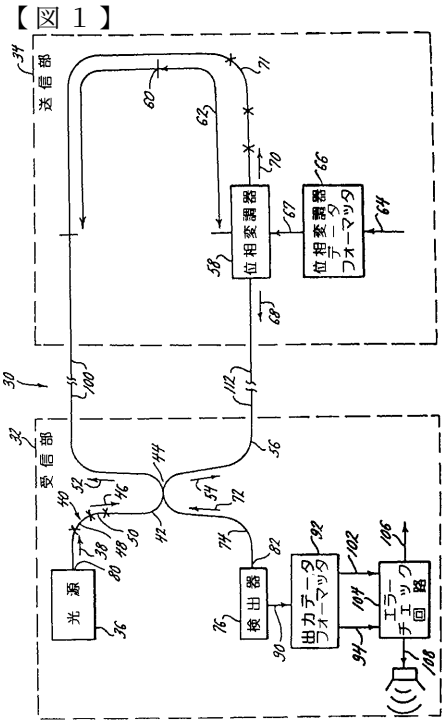


FIG. 1

【図２】

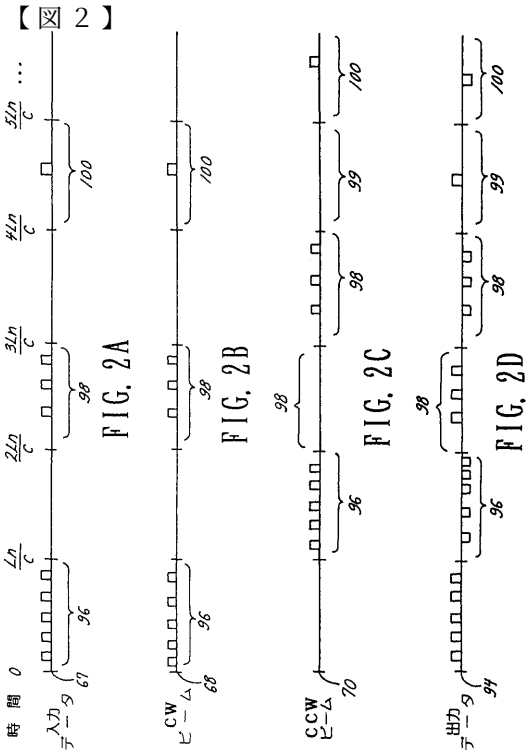


FIG. 2A

FIG. 2B

FIG. 2C

FIG. 2D

【図３】

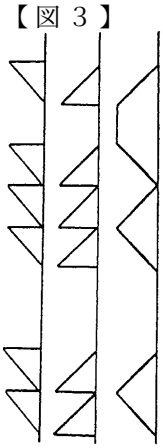


FIG. 3A

FIG. 3B

FIG. 3C

【図４】

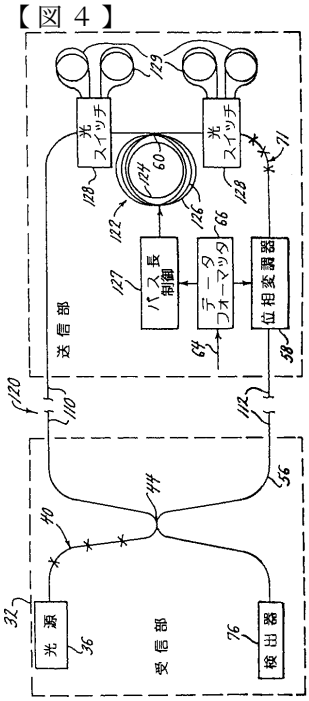


FIG. 4

【図５】

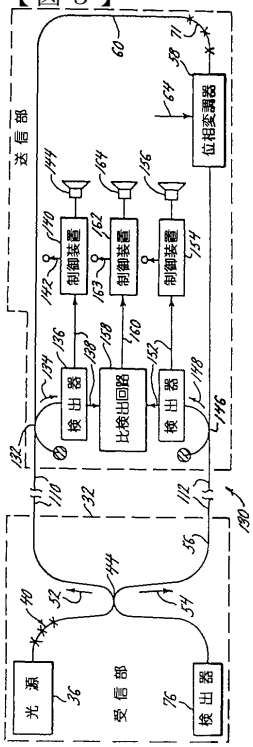


FIG. 5

【図６】

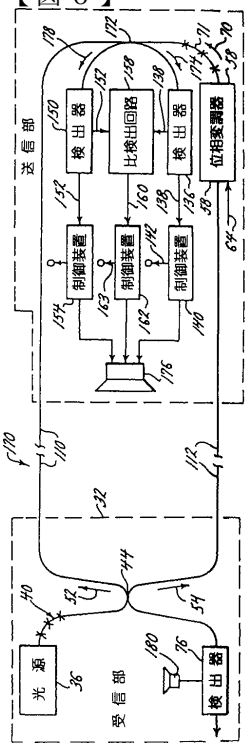


FIG. 6

【図７】

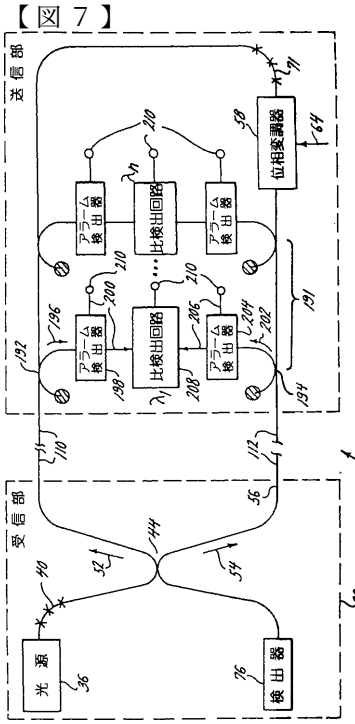


FIG. 7

【図１３Ｂ】

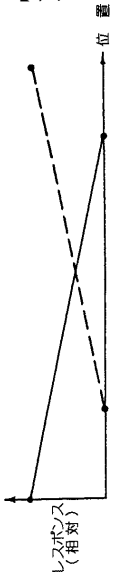


FIG. 13B

【図８】

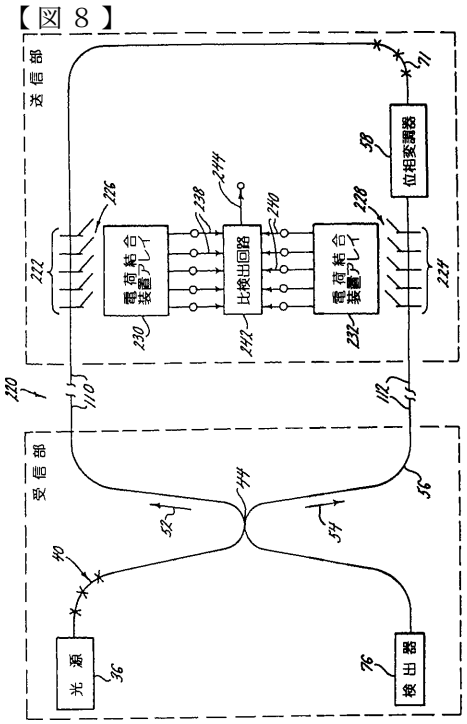


FIG. 8

【図９】

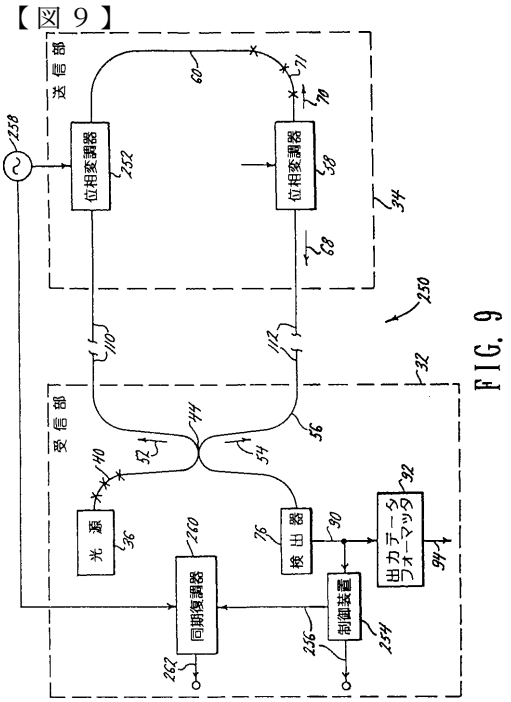


FIG. 9

【図１０】

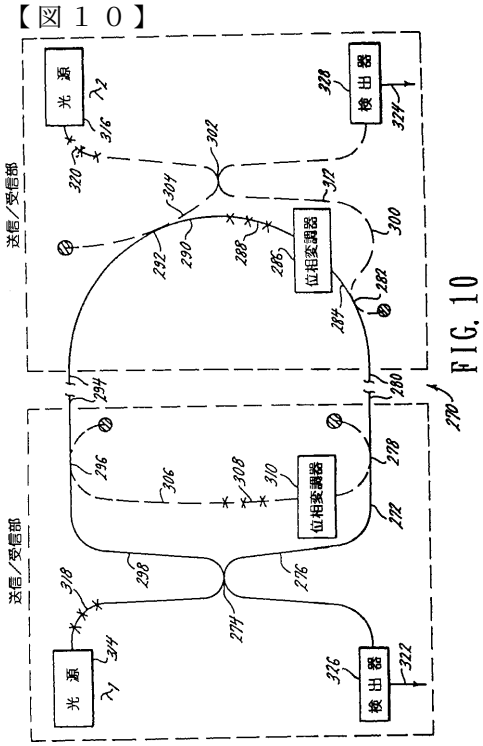


FIG. 10

【図１１】

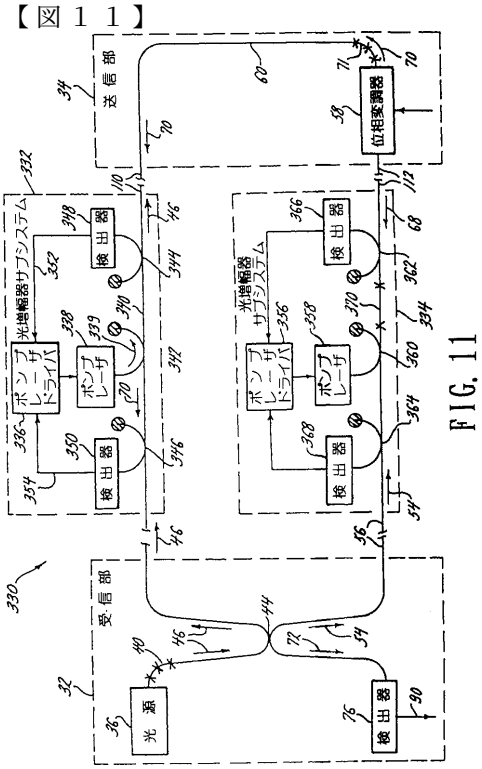


FIG. 11

【図１２Ａ】

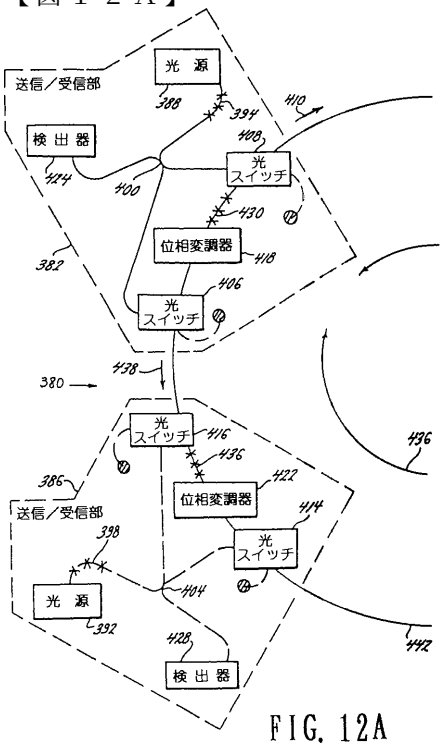


FIG. 12A

【図１２Ｂ】

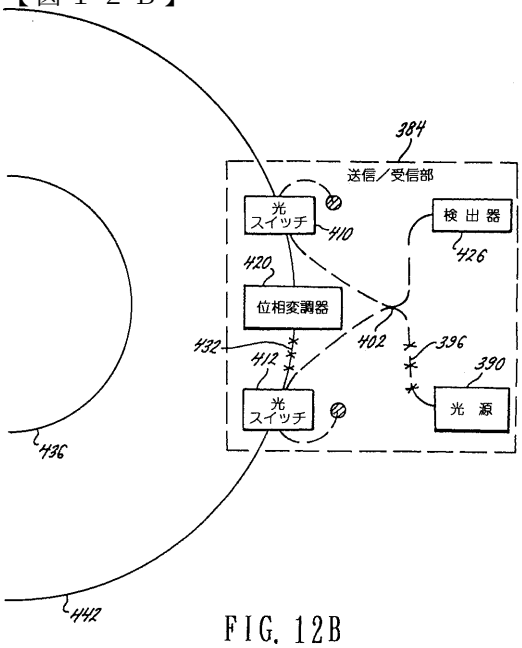


FIG. 12B

【図１３Ａ】

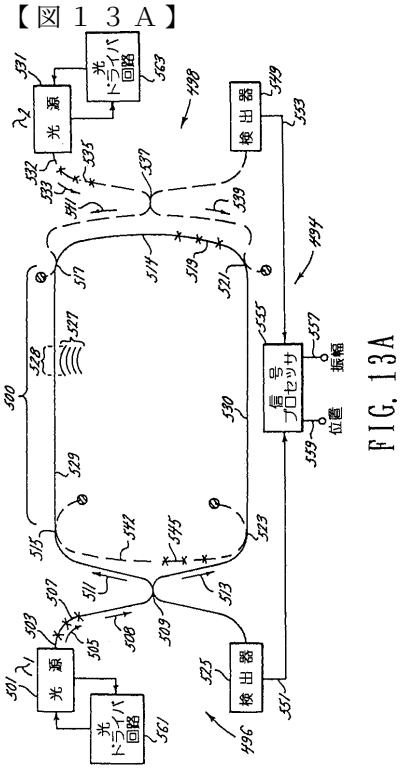


FIG. 13A

【図１７】

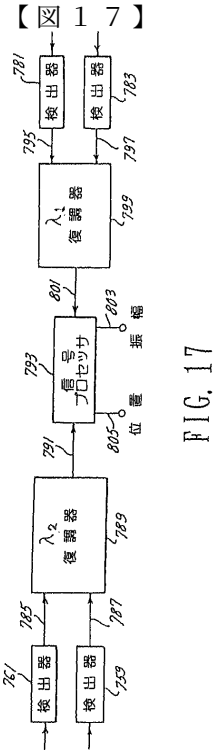


FIG. 17

【図１４】

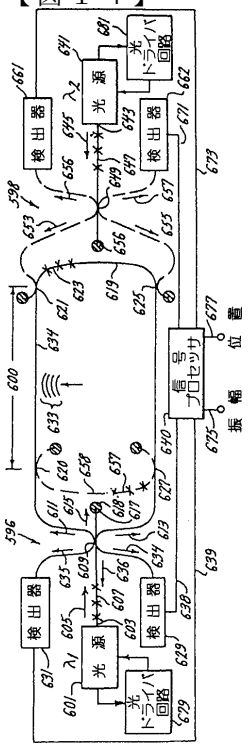


FIG. 14

【図１５】

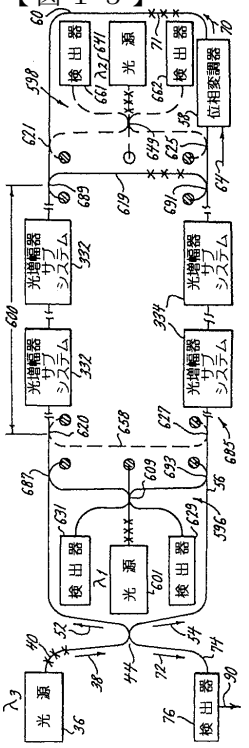


FIG. 15

【図１６】

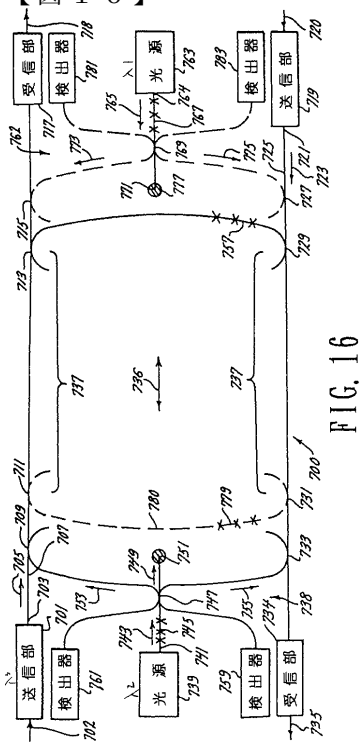


FIG. 16

【図１８】

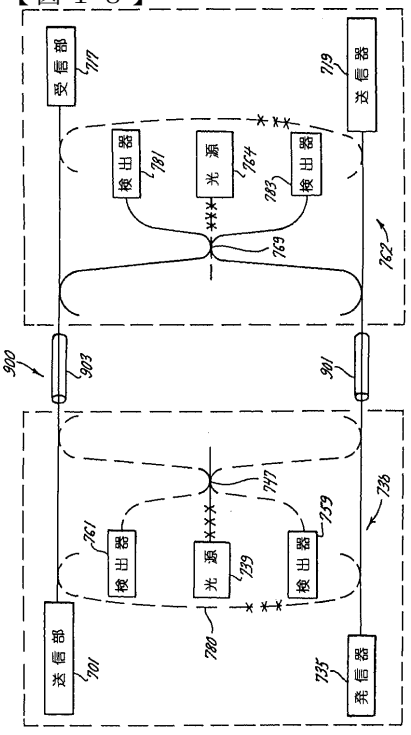


FIG. 18

【図１９】

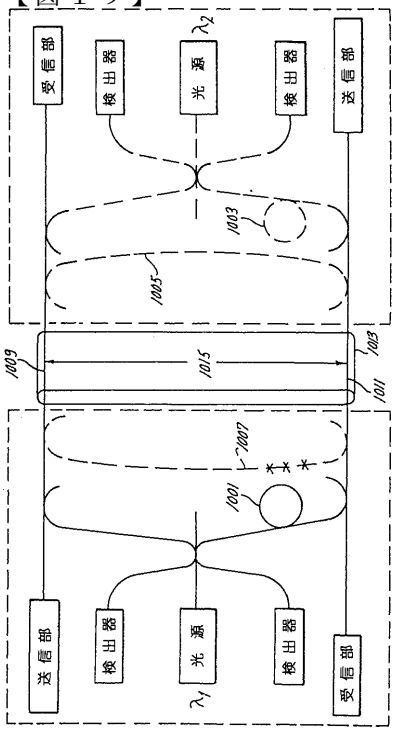


FIG. 19

【図２０】

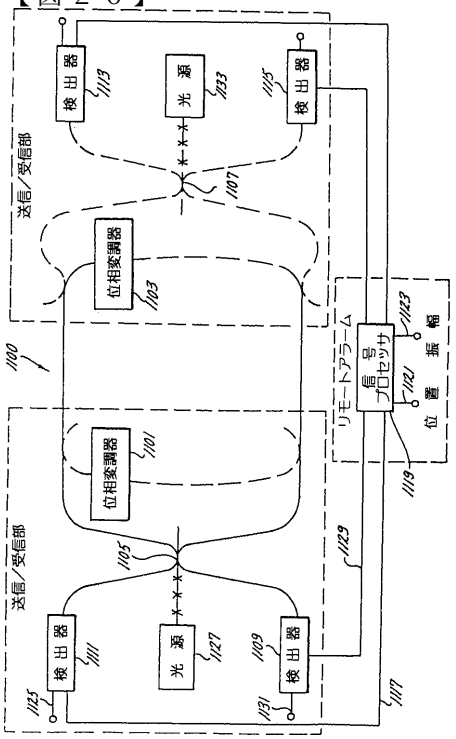


FIG. 20

【図２１】

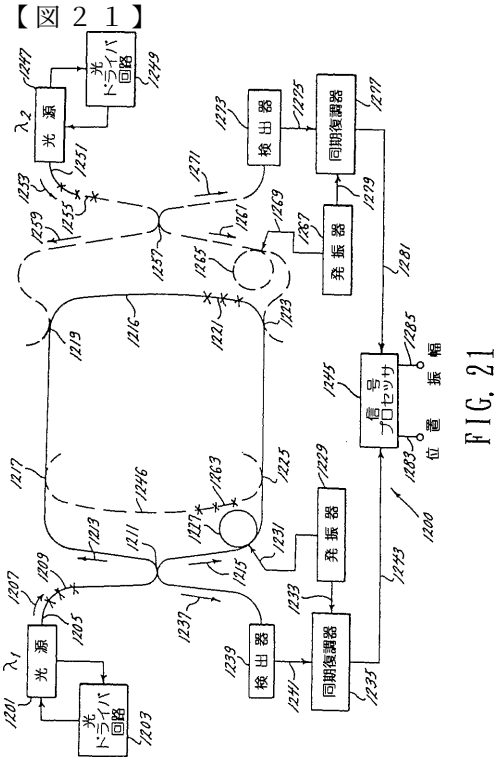


FIG. 21

【図２２】

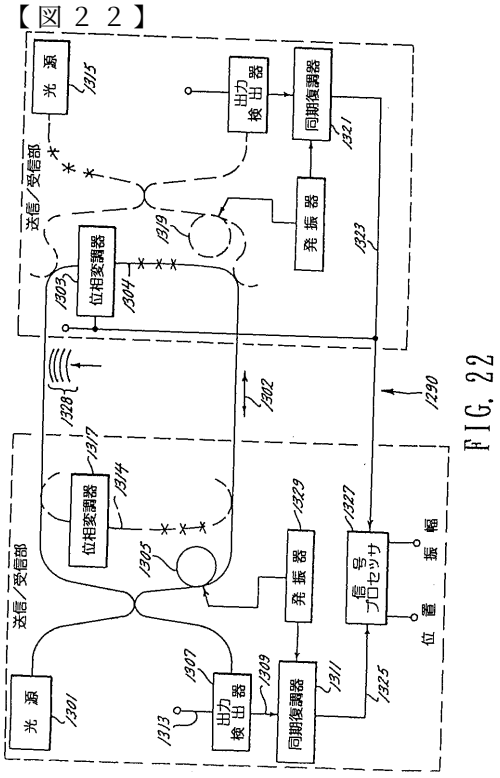


FIG. 22

フロントページの続き

(72)発明者 アッド，エリック
アメリカ合衆国カリフォルニア州、ハンチントン、ビーチ、トロピカーナ、レイン、１４３１１

合議体
審判長 西川 正俊
審判官 山中 実
審判官 橋本 正弘

(56)参考文献 特開平３－２３９９１１（ＪＰ，Ａ）
特開平２－７１６２８（ＪＰ，Ａ）
特開平４－１７５０３３（ＪＰ，Ａ）
特開平１－１１３７２１（ＪＰ，Ａ）
特表平５－５０８７０７（ＪＰ，Ａ）
特開昭６４－５１７３４（ＪＰ，Ａ）
米国特許第５０４６８４８（ＵＳ，Ａ）
E.Udd, “Fiber-optic accostic senser based the Sagnac interometer”,1983,Proceedings of SPIE,Vol.425,P.90-95

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H04B 10/00
G01C 19/00
G02F 2/00