(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 3 月 20 日(20.03.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/041852 A1

(51) 国際特許分類:
G01S 17/95 (2006.01) *G01W 1/00* (2006.01)
G01P 5/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/063692

(22) 国際出願日: 2013 年 5 月 16 日(16.05.2013)

(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 2012-202888 2012 年 9 月 14 日(14.09.2012) JP

(71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 小竹 論季(KOTAKE, Nobuki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 亀山 俊平(KAMEYAMA, Shumpei); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 今城 勝治(IMAKI, Masaharu); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 田澤 英昭, 外(TAZAWA, Hideaki et al.); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目１２番４号 赤坂山王センタービル５階 Tokyo (JP).

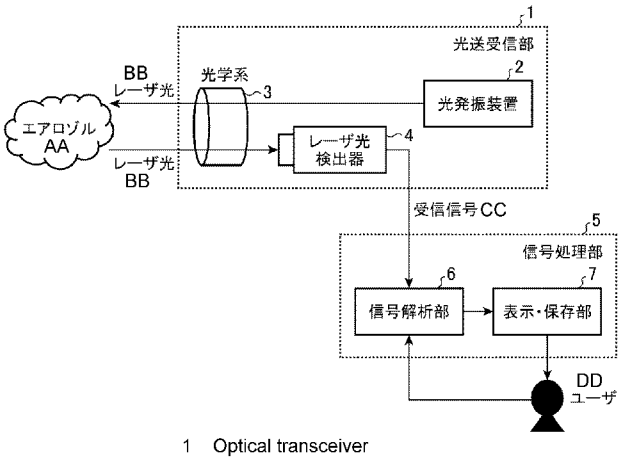
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) **Title**: LASER RADAR DEVICE AND METHOD FOR DETECTING SPEED OF MEASURED OBJECT

(54) 発明の名称 : レーザーレーダ装置及び測定対象物の速度算出方法



1 Optical transceiver
2 Optical oscillating device
3 Optical system
4 Laser light detector
5 Signal processing unit
6 Signal analyzing unit
7 Display/storage unit
AA Aerosol
BB Laser light
CC Reception signal
DD User

(57) **Abstract**: A speed detection unit (16) selects a speed calculation method corresponding to an SNR peak value detected by a peak SNR detection unit (15) from a plurality of speed calculation methods for calculating the speed (wind speed) of an aerosol, and calculates the speed (wind speed) of the aerosol in accordance with the selected speed calculation method. By this configuration, the effect is obtained whereby the speed (wind speed) of an aerosol can be calculated with high precision in a short time.

(57) 要約: 速度算出部１６が、エアロゾルの速度（風速）を算出する複数の速度算出手法の中から、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されＳＮＲのピーク値に対応する速度算出手法を選択し、その速度算出手法にしたがってエアロゾルの速度（風速）を算出する。これにより、エアロゾルの速度（風速）を短時間で高精度に算出することができる効果を奏する。

WO 2014/041852 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： レーザーレーダ装置及び測定対象物の速度算出方法

技術分野

[0001] この発明は、例えば、風速を測定するレーザーレーダ装置及び測定対象物の速度算出方法に関するものである。

背景技術

[0002] 遠隔点に存在する物体の位置を計測する装置として、レーダ装置が知られている。

レーダ装置は、例えば、電磁波や音波などの波動を空間に放射して、測定対象となる物体に反射されて戻ってきた波動を受信し、その波動の受信信号を解析することで、レーダ装置から物体までの距離や角度を計測する装置である。

[0003] レーダ装置の中でも、大気中に浮遊している微小な液体又は固体の粒子（以降、「エアロゾル」と称する）を測定対象として、エアロゾルに反射されて戻ってきた波動の位相回転量からエアロゾルの動く速度（風の速度）を算出する気象レーダ装置が特に知られている。

また、気象レーダ装置の中でも、特に、電磁波としてレーザ光を用いるレーザーレーダ装置では、放射するビームの広がりが極めて小さいため、高い角度分解能で物体を観測することが可能であり、風向風速レーダ装置として使用されている（例えば、非特許文献１を参照）。

[0004] 従来のレーザーレーダ装置では、レーザ光を大気中に放射したのち、大気中に存在しているエアロゾルに反射されて戻ってきたレーザ光（エアロゾルの移動に伴って、その移動速度に応じたドップラー周波数シフトを受けているレーザ光）を受信し、そのレーザ光とローカル光のヘテロダイン検波を行うことで、エアロゾルの移動速度（風速）に相当するドップラ信号を検出するようにしている。

[0005] ここで、図１４は従来のレーザーレーダ装置による測定の概念を示す説明

図である。

レーザーレーダ装置では、各高度における大気中のエアロゾルに反射されて戻ってきたレーザ光（反射光）を時間毎に区切る処理が行われる。一般的に、各時間の反射光は「レンジビン」と呼ばれる。

レーザーレーダ装置は、各々のレンジビン毎に、微小間隔でのコヒーレント積算を実施して、レンジビン内でフーリエ変換を実施する。

[0006] その後、レーザーレーダ装置は、信号対雑音比（以降、ＳＮＲ（Ｓｉｇｎａｌ ｔｏ Ｎｏｉｓｅ Ｒａｔｉｏ）と称する）を高めるために、図１５に示すように、各々のレンジビン毎に、Ｎ回のパルスのインコヒーレント積算を行う。

一般的に、Ｎ回のインコヒーレント積算が行われた場合、ＳＮＲが√Ｎ倍向上することが知られている（例えば、特許文献１を参照）。

[0007] ここで、図１６は受信スペクトルから導出される風速と風速幅の概念を示す説明図である。

図１６では、ガウシアンビームが放射された場合に取得される風速のスペクトルを表しており、当該スペクトルのピークをドップラ速度（風速）として定義している。

[0008] このドップラ速度を算出する手法として、ＳＮＲのピーク値に対応する周波数からドップラ速度を算出するピーク検出法のほか、ＳＮＲにおける１以上のピーク値の重心を算出し、その重心に対応する周波数からドップラ速度を算出する重心演算法がある（例えば、非特許文献１を参照）。

また、予め用意されている受信スペクトルの波形モデルのパラメータを可変して、受信信号のスペクトルとの相関が最も高いパラメータを探索し、そのパラメータを用いて測定対象物の速度を算出する最尤推定法がある（例えば、特許文献２を参照）。

[0009] ここで、図１７はピーク検出法及び重心演算法による風速測定のメリットとデメリットを説明する説明図である。

サンプリング周波数をｆｓ、データ点数をｐとすると、周波数分解能Δｆ

はｆｓ／ｐで与えられる。

ピーク検出法で風速測定が行われる場合には、サンプリング周波数ｆｓが十分でないと、図１７（ａ）に示すように、ＳＮＲのピークを正確に検出することができない場合がある。そのため、ピーク検出法で得られる風速は、真値に対して誤差を有していることがある。

これに対して、重心演算法で風速測定が行われる場合、図１７（ａ）に示すように、周波数分解能以上の風速測定が可能になる。

[0010] ただし、図１７（ｂ）に示すように、クラッタが存在して、雨などによる雑音が受信信号に混入している場合や、統計的な揺らぎがある場合には、クラッタ成分を重心演算に加えてしまうため、重心演算法で得られる風速には大きな誤差が含まれてしまう。このような場合には、ピーク検出法の方が真の風速に近い値を取得することができる。なお、図１７（ａ），（ｂ）の差異は、取得される風速幅によって区別が可能である。

[0011] 上記の最尤推定法では、受信信号のスペクトルとの相関が最も高い波形モデルのパラメータを反復計算で求めるため、高精度な風速が求められるメリットがある。

また、風速測定のための所望ＳＮＲは、ピーク検出法よりも緩和させることができる効果がある（例えば、非特許文献２を参照）。

また、同一レンジビン内に複数の風が混入している場合、それぞれの風速を測定することができるメリットがある（例えば、特許文献２を参照）。図１８は最尤推定法を用いた複数の風の風速測定を説明する説明図である。

ただし、反復計算を行う必要があるため、その計算速度は、ピーク検出法及び重心演算法よりも遅く、風速測定レートが遅くなるデメリットがある。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1：特開２００６－２８４２６０号公報

特許文献2：特開２０１０－２７１０５８号公報

非特許文献

[0013] 非特許文献1：深尾昌一郎，浜津享助著「気象と大気のレーダーリモートセンシング」，京都大学学術出版会，2005年3月30日、p.112-113，ISBN 4-87698-653-3

非特許文献2：Kameyama et al.，“Performance of Discrete-Fourier-Transform-Based Velocity Estimators for a Wind-Sensing Coherent Doppler Lidar System in the Kolmogorov Turbulence Regime”，IEEE，VOL. 47，NO. 10，2009.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0014] 従来のレーザーレーダ装置は以上のように構成されているので、ピーク検出法、重心演算法や最尤推定法などの算出手法にしたがってドップラ速度（風速）を算出することができる。しかし、例えば、クラッタの存在の有無など、大気中のエアロゾルの形態を考慮して、適正な算出手法を選択するものではなく、予め用意されている単一の算出手法にしたがってドップラ速度（風速）を算出するものである。このため、大気中のエアロゾルの形態によっては、ドップラ速度（風速）の算出精度が低下することがある。また、ドップラ速度（風速）の算出処理に長時間を要してしまうことがある課題があった。

[0015] この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、測定対象物の速度を短時間で高精度に算出することができるレーザーレーダ装置及び測定対象物の速度算出方法を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0016] この発明に係るレーザーレーダ装置は、レーザ光を大気中に放射して、大気中に存在している測定対象物に反射して戻ってくるレーザ光を受信し、そのレーザ光の受信信号を出力するレーザ光送受信手段と、レーザ光送受信手段から出力された受信信号をコヒーレント積算するコヒーレント積算手段と、コヒーレント積算手段によりコヒーレント積算された受信信号をフーリエ変換し、フーリエ変換後の受信信号をインコヒーレント積算して、その受信

信号のスペクトルを算出するスペクトル算出手段と、スペクトル算出手段により算出された受信信号のスペクトルと雑音信号のスペクトルから信号対雑音比を算出する信号対雑音比算出手段と、信号対雑音比算出手段により算出された信号対雑音比のピーク値を検出するピーク値検出手段とを設け、速度算出手段が、測定対象物の速度を算出する複数の速度算出手法の中から、ピーク値検出手段により検出された信号対雑音比のピーク値に対応する速度算出手法を選択し、その速度算出手法にしたがって測定対象物の速度を算出するようにしたものである。

発明の効果

[0017] この発明によれば、速度算出手段が、測定対象物の速度を算出する複数の速度算出手法の中から、ピーク値検出手段により検出された信号対雑音比のピーク値に対応する速度算出手法を選択し、その速度算出手法にしたがって測定対象物の速度を算出するように構成したので、測定対象物の速度を短時間で高精度に算出することができる効果がある。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]この発明の実施の形態１によるレーザーレーダ装置を示す構成図である。

[図2]この発明の実施の形態１によるレーザーレーダ装置の信号解析部６を示す構成図である。

[図3]この発明の実施の形態１によるレーザーレーダ装置の信号解析部６の処理内容（測定対象物の速度算出方法）を示すフローチャートである。

[図4]信号解析部６内の速度算出部１６を示す構成図である。

[図5]速度の算出精度より速度の算出レートを優先する場合の速度算出部１６の処理内容を示すフローチャートである。

[図6]速度の算出レートより速度の算出精度を優先する場合の速度算出部１６の処理内容を示すフローチャートである。

[図7]この発明の実施の形態２によるレーザーレーダ装置の信号解析部６を示す構成図である。

[図8]信号解析部６内の速度算出部１７を示す構成図である。

[図9]速度の算出精度より速度の算出レートを優先する場合の速度算出部１７の処理内容の一部を示すフローチャートである。

[図10]速度の算出レートより速度の算出精度を優先する場合の速度算出部１７の処理内容の一部を示すフローチャートである。

[図11]ＳＮＲ判定部３１におけるＳＮＲ判定を示す説明図である。

[図12]この発明の実施の形態３によるレーザーレーダ装置の信号解析部６を示す構成図である。

[図13]この発明の実施の形態３によるレーザーレーダ装置の信号解析部６の処理内容（測定対象物の速度算出方法）を示すフローチャートである。

[図14]従来のレーザーレーダ装置による測定の概念を示す説明図である。

[図15]レーザーレーダ装置によりドップラ速度が測定される信号処理の内容を示す説明図である。

[図16]受信スペクトルから導出される風速と風速幅の概念を示す説明図である。

[図17]ピーク検出法及び重心演算法による風速測定のメリットとデメリットを説明する説明図である。

[図18]最尤推定法を用いた複数の風の風速測定を説明する説明図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

実施の形態１．

図１はこの発明の実施の形態１によるレーザーレーダ装置を示す構成図である。

図１において、光送受信部１は光発振装置２、光学系３及びレーザ光検出器４から構成されており、レーザ光を大気中に放射して、大気中に存在しているエアロゾル（測定対象物）に反射して戻ってくるレーザ光を受信し、そのレーザ光の受信信号を信号処理部５に出力する処理を実施する。なお、光

送受信部１はレーザ光送受信手段を構成している。

ただし、電磁波であるレーザ光を大気中に放射して、エアロゾルに反射して戻ってくるレーザ光を受信することができればよく、図１に示す構成の光送受信部１に限るものではない。したがって、例えば、特許文献１に開示されている構成の光送受信部１であってもよい。

[0020] 光送受信部１の光発振装置２はレーザ光を発振する光源である。

光送受信部１の光学系３は１以上のレンズなどから構成されており、エアロゾルに反射して戻ってくるレーザ光をレーザ光検出器４に集光させる光学部材である。

光送受信部１のレーザ光検出器４は光学系３により集光されたレーザ光を受光して、そのレーザ光の波形を電気信号に変換し、その電気信号を受信信号として信号処理部５に出力する処理を実施する。

[0021] 信号処理部５は信号解析部６及び表示・保存部７から構成されており、光送受信部１から出力された受信信号を解析して、エアロゾルの速度（風速）を算出し、その算出結果である風速を表示する処理を実施する。

信号処理部５の信号解析部６は例えばＣＰＵを実装している半導体集積回路、あるいは、ワンチップマイコンなどから構成されており、光送受信部１から出力された受信信号を解析して、エアロゾルの速度（風速）を算出する処理を実施する。

[0022] ここでは、信号解析部６における個々の構成要素が専用のハードウェアで構成されているものを想定しているが（図２を参照）、信号解析部６がコンピュータで構成されていてもよい。

信号解析部６がコンピュータで構成されている場合、信号解析部６の構成要素である雑音信号保存装置１３をコンピュータのメモリ上に構成するとともに、信号解析部６の構成要素であるコヒーレント積算処理部１１、スペクトル算出部１２、ＳＮＲ算出部１４、ピークＳＮＲ検出部１５及び速度算出部１６の処理内容が記述されているプログラムをコンピュータのメモリに格納し、当該コンピュータのＣＰＵが当該メモリに格納されているプログラム

を実行するようにすればよい。

[0023] 信号処理部５の表示・保存部７は例えばＲＡＭやハードディスクなどの記憶装置と、液晶ディスプレイなどの表示装置とから構成されており、信号解析部６により算出されたエアロゾルの速度（風速）を表示するとともに、そのエアロゾルの速度（風速）を保存する処理を実施する。

[0024] 図２はこの発明の実施の形態１によるレーザーレーダ装置の信号解析部６を示す構成図である。

図２において、コヒーレント積算処理部１１は光送受信部１から出力された受信信号をコヒーレント積算し、コヒーレント積算後の受信信号をスペクトル算出部１２に出力する処理を実施する。なお、コヒーレント積算処理部１１はコヒーレント積算手段を構成している。

スペクトル算出部１２はコヒーレント積算処理部１１によりコヒーレント積算された受信信号をフーリエ変換し、フーリエ変換後の受信信号をインコヒーレント積算して、その受信信号のスペクトルを算出する処理を実施する。なお、スペクトル算出部１２はスペクトル算出手段を構成している。

[0025] 雑音信号保存装置１３は予め雑音信号（信号が混ざっていない雑音のみの信号：ノイズ信号）のスペクトルを記憶している装置である。なお、雑音信号のスペクトルは事前に取得されたものであればよく、例えば、リアルタイムに取得した雑音信号をコヒーレント積算してフーリエ変換し、フーリエ変換後の雑音信号をインコヒーレント積算することで算出されたものでもよい。

ＳＮＲ算出部１４はスペクトル算出部１２により算出された受信信号のスペクトルを雑音信号保存装置１３により記憶されている雑音信号のスペクトルで除算することで、信号対雑音比であるＳＮＲ（Ｓｉｇｎａｌ　ｔｏ　Ｎｏｉｓｅ　Ｒａｔｉｏ）を算出する処理を実施する。

なお、雑音信号保存装置１３及びＳＮＲ算出部１４から信号対雑音比算出手段が構成されている。

[0026] ピークＳＮＲ検出部１５はＳＮＲ算出部１４により算出されたＳＮＲのピ

ーク値を検出する処理を実施する。なお、ピークＳＮＲ検出部１５はピーク値検出手段を構成している。

速度算出部１６はエアロゾルの速度（風速）を算出する複数の速度算出手法（例えば、ピーク検出法、重心演算法、最尤推定法）の中から、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたＳＮＲのピーク値に対応する速度算出手法を選択し、その速度算出手法にしたがってエアロゾルの速度（風速）を算出する処理を実施する。なお、速度算出部１６は速度算出手段を構成している。

図３はこの発明の実施の形態１によるレーザーレーダ装置の信号解析部６の処理内容（測定対象物の速度算出方法）を示すフローチャートである。

[0027] 図４は信号解析部６内の速度算出部１６を示す構成図である。

図４において、ＳＮＲ判定部２１はユーザから速度の算出精度より速度の算出レートを優先する指示を受けている場合、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたＳＮＲのピーク値（以下、「ピークＳＮＲ」と称する）が基準ピーク値P_{REF}より高ければ（ピークＳＮＲ＞P_{REF}）、速度算出手法として「ピーク検出法」を選択し、そのピークＳＮＲが基準ピーク値P_{REF}より低ければ（ピークＳＮＲ≦P_{REF}）、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する処理を実施する。

また、ＳＮＲ判定部２１はユーザから速度の算出レートより速度の算出精度を優先する指示を受けている場合、そのピークＳＮＲが基準ピーク値P_{REF}より高ければ（ピークＳＮＲ＞P_{REF}）、速度算出手法として「重心演算法」を選択し、そのピークＳＮＲが基準ピーク値P_{REF}より低ければ（ピークＳＮＲ≦P_{REF}）、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する処理を実施する。

[0028] ピーク検出処理部２２はＳＮＲ判定部２１により速度算出手法として「ピーク検出法」が選択された場合、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲに対応する周波数からエアロゾルの速度（風速）を算出する処理を実施する。

重心演算処理部２３はＳＮＲ判定部２１により速度算出手法として「重心演算法」が選択された場合、ピークＳＮＲ検出部１５により検出された１以上のピークＳＮＲの重心を算出し、その重心に対応する周波数からエアロゾルの速度（風速）を算出する処理を実施する。

最尤推定処理部２４は予め用意されている受信スペクトルの波形モデルのパラメータを可変して、スペクトル算出部１２により算出された受信信号のスペクトルとの相関が最も高いパラメータを探索し、そのパラメータを用いてエアロゾルの速度（風速）を算出する処理を実施する。

[0029] 図５は速度の算出精度より速度の算出レートを優先する場合の速度算出部１６の処理内容を示すフローチャートである。

図６は速度の算出レートより速度の算出精度を優先する場合の速度算出部１６の処理内容を示すフローチャートである。

[0030] 次に動作について説明する。

まず、光送受信部１の光発振装置２がレーザ光を発振すると、そのレーザ光は、光学系３を通じて大気中に放射される。

大気中に放射されたレーザ光は、大気中に存在しているエアロゾルに反射され、反射された一部のレーザ光は、光送受信部１の光学系３によって集光される。

光送受信部１のレーザ光検出器４は、光学系３により集光されたレーザ光を受光して、そのレーザ光の波形を電気信号に変換し、その電気信号を受信信号として信号処理部５に出力する。

[0031] 信号処理部５の信号解析部６は、光送受信部１から受信信号を受けると、その受信信号を解析して、エアロゾルの速度（風速）を算出し、その算出結果である風速を表示・保存部７に表示する。

以下、信号解析部６の処理内容を具体的に説明する。

[0032] 信号解析部６のコヒーレント積算処理部１１は、光送受信部１から受信信号を受けると、図１４に示すように、各々のレンジビンｉ（ｉ＝１，２，・・・，Ｍ）毎に、その受信信号をコヒーレント積算し、コヒーレント積算後

の受信信号をスペクトル算出部１２に出力する（図３のステップＳＴ１）。

例えば、レーザーレーダ装置からエアロゾルまでの距離が１Ｋｍであって、１つのレンジビンの距離幅が１００ｍであるとすれば、レンジビン数Ｍは１０になる。

ただし、レンジビン数Ｍはユーザが決定するようにしてもよく、例えば、レーザーレーダ装置からエアロゾルまでの距離が１Ｋｍであるとき、ユーザがレンジビン数Ｍを２０に決定すると、１つのレンジビンの距離幅が５０ｍになる。

[0033] スペクトル算出部１２は、コヒーレント積算処理部１１からコヒーレント積算後の受信信号を受けると、各々のレンジビンｉ毎に、コヒーレント積算後の受信信号をフーリエ変換する。

そして、スペクトル算出部１２は、各々のレンジビンｉ毎に、事前に設定されている積分回数Ｎだけ、フーリエ変換後の受信信号をインコヒーレント積算することで（図１５を参照）、その受信信号のスペクトルSPC_iを算出する（ステップＳＴ２）。

[0034] ＳＮＲ算出部１４は、スペクトル算出部１２が受信信号のスペクトルSPC_iを算出すると、各々のレンジビンｉ毎に、その受信信号のスペクトルSPC_iを雑音信号保存装置１３により記憶されている雑音信号のスペクトルで除算することで、信号対雑音比であるＳＮＲを算出する（ステップＳＴ３）。

ピークＳＮＲ検出部１５は、ＳＮＲ算出部１４がＳＮＲを算出すると、各々のレンジビンｉ毎に、ＳＮＲのピーク値であるピークＳＮＲを検出する（ステップＳＴ４）。

[0035] 速度算出部１６は、ピークＳＮＲ検出部１５がピークＳＮＲを検出すると、エアロゾルの速度（風速）を算出する複数の速度算出手法（例えば、ピーク検出法、重心演算法、最尤推定法）の中から、各々のレンジビンｉ毎に、そのピークＳＮＲに対応する速度算出手法を選択し（ステップＳＴ５）、その速度算出手法にしたがってエアロゾルの速度（風速）を算出する（ステップＳＴ６）。

以下、速度算出部１６の処理内容を具体的に説明する。

[0036] 速度算出部１６は、ユーザから速度の算出精度より速度の算出レートを優先する指示を受けている場合、図５に示す処理を実施することで、エアロゾルの速度（風速）を算出する。

一方、ユーザから速度の算出レートより速度の算出精度を優先する指示を受けている場合、図６に示す処理を実施することで、エアロゾルの速度（風速）を算出する。

[0037] 最初に、ユーザから速度の算出精度より速度の算出レートを優先する指示を受けている場合の処理内容を説明する。

速度算出部１６のＳＮＲ判定部２１は、ユーザから速度の算出精度より速度の算出レートを優先する指示を受けている場合、各々のレンジビンｉ毎に、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲと基準ピーク値P_{REF}を比較する（図５のステップＳＴ１１）。

ＳＮＲ判定部２１は、そのピークＳＮＲが基準ピーク値P_{REF}より高ければ（ピークＳＮＲ＞P_{REF}）、受信信号のＳＮＲは十分に高く、速度算出手法として「最尤推定法」を選択しなくても、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができるため、速度算出手法として、最尤推定法より計算時間が短い「ピーク検出法」を選択する（ステップＳＴ１２）。

[0038] 一方、そのピークＳＮＲが基準ピーク値P_{REF}より低ければ（ピークＳＮＲ≦P_{REF}）、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する（ステップＳＴ１３）。即ち、速度の算出レートを優先する場合でも、ピークＳＮＲが低い状況下では、速度算出手法として「ピーク検出法」を選択すると、高精度に風速を算出することができなくなることがあるため、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する。

[0039] ピーク検出処理部２２は、ＳＮＲ判定部２１が当該レンジビンｉの速度算出手法として「ピーク検出法」を選択すると、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲに対応する周波数f_dから、エアロゾルの速度である風速v_dを算出する（ステップＳＴ１４）。

$$v_d = f_d \lambda \qquad (1)$$

式（１）において、λは波長である。

[0040] 最尤推定処理部２４は、ＳＮＲ判定部２１が当該レンジビンｉの速度算出手法として「最尤推定法」を選択すると、予め用意されている受信スペクトルの波形モデルのパラメータを可変して、スペクトル算出部１２により算出された受信信号のスペクトルとの相関が最も高いパラメータを探索する。

例えば、レーザ光の送信波形が正規分布をとっており、レーザ光の受信波形も正規分布をとっているものとすれば、振幅がＡ、平均ドップラ速度がμ_d、風速幅がσ_dであれば、受信信号のスペクトルのモデルは、下記の式（２）で表される。

$$p(f, A, \mu_d, \sigma_d) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma_d} \exp\left\{ -\frac{(f-\mu_d)^2}{2\sigma_d^2} \right\} \qquad (2)$$

[0041] 式（２）において、モデルのパラメータである振幅Ａ、平均ドップラ速度μ_d、風速幅σ_dを可変として、下記の式（３）に示す最小二乗誤差Ｌ（尤度に相当）を算出する。

$$L = \sum \{S(f) - p(f, A, \mu_d, \sigma_d)\}^2 \qquad (3)$$

式（３）において、最小二乗誤差Ｌが最小になるときのパラメータ（振幅Ａ、平均ドップラ速度μ_d、風速幅σ_d）が、最も受信信号を模擬できているパラメータとなる。

[0042] ここで、風速幅σ_d及び平均ドップラ速度μ_dの値域は、以下の通りである。

$1/\omega \leqq \sigma_d \leqq K \times (1/\omega)$

ωは送信パルス幅、Ｋはレンジビン内に含まれると想定される風量の個数を表している。

$0 < \mu_d \leqq f_w$

f_wは想定される風速によって決定されるドップラ周波数であり、その設置・計測環境に応じてユーザにより決定される。

[0043] 最尤推定処理部２４は、最も受信信号を模擬できているパラメータ（振幅Ａ、平均ドップラ速度μ_d、風速幅σ_d）を特定すると、その平均ドップラ速度μ_dに対応する周波数を周波数f_dとして、上記の式（１）に代入することで、エアロゾルの速度である風速v_dを算出する（ステップＳＴ１５）。

ここでは、振幅Ａも可変する例を示しているが、クラッタが存在していないと思われる場合（例えば、快晴時など）、例えば、受信信号の最大スペクトルで受信信号のスペクトルSPC_iを正規化し、正規化後のスペクトルSPC_iに対して最尤推定を行うことで、計算機コストを低減するようにしてもよい。

[0044] 次に、ユーザから速度の算出レートより速度の算出精度を優先する指示を受けている場合の処理内容を説明する。

速度算出部１６のＳＮＲ判定部２１は、ユーザから速度の算出レートより速度の算出精度を優先する指示を受けている場合、各々のレンジビンｉ毎に、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲと基準ピーク値P_{REF}を比較する（図６のステップＳＴ２１）。

ＳＮＲ判定部２１は、そのピークＳＮＲが基準ピーク値P_{REF}より高ければ（ピークＳＮＲ＞P_{REF}）、受信信号のＳＮＲは十分に高く、速度算出手法として「最尤推定法」を選択しなくても、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができるため、速度算出手法として、最尤推定法より計算時間が短い「重心演算法」を選択する（ステップＳＴ２２）。

[0045] 一方、そのピークＳＮＲが基準ピーク値P_{REF}より低ければ（ピークＳＮＲ≦P_{REF}）、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する（ステップＳＴ２３）。即ち、速度の算出レートを優先する場合でも、ピークＳＮＲが低い状況下では、速度算出手法として「最尤推定法」を選択すると、高精度に風速を算出することができなくなることがあるため、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する。

[0046] 重心演算処理部２３は、ＳＮＲ判定部２１が当該レンジビンｉの速度算出手法として「重心演算法」を選択すると、ピークＳＮＲ検出部１５により検出された１以上のピークＳＮＲの重心を算出する（図１７（ｂ）の例では、ピークＳＮＲ検出部１５により風成分のピークＳＮＲと、クラッタ成分のピークＳＮＲとが算出されるので、２つのピークＳＮＲの重心を算出する）。

[0047] 重心演算処理部２３は、１以上のピークＳＮＲの重心を算出すると、その重心に対応する周波数を周波数f_dとして、上記の式（１）に代入することで、エアロゾルの速度である風速v_dを算出する（ステップＳＴ２４）。

なお、重心に対応する周波数f_dは、下記の式（４）のように表される。

$$f_d = \frac{\int S(f) f}{\int S(f)} \qquad (4)$$

式（４）において、Ｓ（ｆ）は受信信号のスペクトルSPC_i、ｆは当該スペクトルSPC_iに対応する周波数であり、スペクトルSPC_iに対して周波数ｆで重みをかけている。

[0048] 最尤推定処理部２４は、ＳＮＲ判定部２１が当該レンジビンｉの速度算出手法として「最尤推定法」を選択すると、速度の算出レートを優先する場合と同様に、エアロゾルの速度である風速v_dを算出する（ステップＳＴ２５）。

[0049] 以上で明らかなように、この実施の形態１によれば、速度算出部１６が、エアロゾルの速度（風速）を算出する複数の速度算出手法の中から、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲに対応する速度算出手法を選択し、その速度算出手法にしたがってエアロゾルの速度（風速）を算出するように構成したので、エアロゾルの速度（風速）を短時間で高精度に算出することができる効果を奏する。

[0050] 即ち、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲが高く、速度算出手法として「最尤推定法」を選択しなくても、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができる状況下では、処理時間が短い「ピーク

検出法」又は「重心演算法」が速度算出手法として選択されるので、エアロゾルの速度（風速）を短時間で高精度に算出することができる。

一方、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲが低く、速度算出手法として「最尤推定法」を選択しなければ、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができない状況下では、速度算出手法として「最尤推定法」が選択されるので、ピークＳＮＲが低くても、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができる。

[0051] なお、この実施の形態１では、ユーザから速度の算出精度より速度の算出レートを優先する指示を受ける場合と、ユーザから速度の算出レートより速度の算出精度を優先する指示を受ける場合について示したが、ユーザから他の指示（例えば、距離分解能を優先するなどの指示）を受けて、速度算出手法を選択するようにしてもよい。

[0052] 実施の形態２．

図７はこの発明の実施の形態２によるレーザーレーダ装置の信号解析部６を示す構成図であり、図において、図２と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

速度算出部１７はスペクトル算出部１２により算出された受信信号のスペクトルSPC_iからエアロゾルの速度幅である風速幅S_wを算出し、エアロゾルの速度（風速）を算出する複数の速度算出手法（例えば、ピーク検出法、重心演算法、最尤推定法）の中から、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲ及び風速幅S_wに対応する速度算出手法を選択し、その速度算出手法にしたがってエアロゾルの速度（風速）を算出する処理を実施する。なお、速度算出部１７は速度算出手段を構成している。

[0053] 図８は信号解析部６内の速度算出部１７を示す構成図であり、図において、図４と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

ＳＮＲ判定部３１は予め基準ピーク値として、閾値T_{SNR1}が設定されている他に、閾値T_{SNR2}が設定されており（$T_{SNR1} > T_{SNR2}$）、ユーザから速度の算出精度より速度の算出レートを優先する指示を受けている場合、ピー

クＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲが閾値T_{SNR2}より高く、閾値T_{SNR1}より低ければ（T_{SNR2}＜ピークＳＮＲ≦T_{SNR1}）、速度算出手法として「重心演算法」を選択し、そのピークＳＮＲが閾値T_{SNR2}より低ければ（ピークＳＮＲ≦T_{SNR2}）、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する処理を実施する。

また、ＳＮＲ判定部３１はユーザから速度の算出レートより速度の算出精度を優先する指示を受けている場合、そのピークＳＮＲが閾値T_{SNR1}より低ければ（ピークＳＮＲ≦T_{SNR1}）、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する処理を実施する。

[0054] 速度幅判定部３２はスペクトル算出部１２により算出された受信信号のスペクトルSPC_iから風速幅S_wを算出する処理を実施する。

また、速度幅判定部３２は予め基準速度幅として、閾値Tw_{max}が設定されている他に、閾値Tw_{min}が設定されており（Tw_{max}＞Tw_{min}）、ユーザから速度の算出精度より速度の算出レートを優先する指示を受けている場合、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲが閾値T_{SNR1}より高いとき、その風速幅S_wが閾値Tw_{max}より広ければ（S_w＞Tw_{max}）、速度算出手法として「ピーク検出法」を選択し、その風速幅S_wが閾値Tw_{max}より狭ければ（Tw_{min}≦S_w≦Tw_{max}）、速度算出手法として「重心演算法」を選択する処理を実施する。

また、速度幅判定部３２はユーザから速度の算出レートより速度の算出精度を優先する指示を受けている場合、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲが閾値T_{SNR1}より高いとき、その風速幅S_wが閾値Tw_{max}より広ければ（S_w＞Tw_{max}）、速度算出手法として「最尤推定法」を選択し、その風速幅S_wが閾値Tw_{max}より狭ければ（Tw_{min}≦S_w≦Tw_{max}）、速度算出手法として「重心演算法」を選択する処理を実施する。

[0055] なお、ＳＮＲ判定部３１における閾値T_{SNR1}，T_{SNR2}や、速度幅判定部３２における閾値Tw_{max}，Tw_{min}については、例えば、ユーザが事前に決定するようにしてもよいし、上記の非特許文献２に開示されているモデル計算

に基づく値を用いるようにしてもよい。

図９は速度の算出精度より速度の算出レートを優先する場合の速度算出部１７の処理内容の一部を示すフローチャートである。

図１０は速度の算出レートより速度の算出精度を優先する場合の速度算出部１７の処理内容の一部を示すフローチャートである。

[0056] 次に動作について説明する。

まず、光送受信部１の光発振装置２がレーザ光を発振すると、そのレーザ光は、光学系３を通じて大気中に放射される。

大気中に放射されたレーザ光は、大気中に存在しているエアロゾルに反射され、反射された一部のレーザ光は、光送受信部１の光学系３によって集光される。

光送受信部１のレーザ光検出器４は、光学系３により集光されたレーザ光を受光して、そのレーザ光の波形を電気信号に変換し、その電気信号を受信信号として信号処理部５に出力する。

[0057] 信号処理部５の信号解析部６は、光送受信部１から受信信号を受けると、その受信信号を解析して、エアロゾルの速度（風速）を算出し、その算出結果である風速を表示・保存部７に表示する。

以下、信号解析部６の処理内容を具体的に説明する。

[0058] 信号解析部６のコヒーレント積算処理部１１は、光送受信部１から受信信号を受けると、上記実施の形態１と同様に、各々のレンジビンｉ（ｉ＝１，２，・・・，Ｍ）毎に、その受信信号をコヒーレント積算し、コヒーレント積算後の受信信号をスペクトル算出部１２に出力する（図１４を参照）。

スペクトル算出部１２は、コヒーレント積算処理部１１からコヒーレント積算後の受信信号を受けると、上記実施の形態１と同様に、各々のレンジビンｉ毎に、コヒーレント積算後の受信信号をフーリエ変換する。

そして、スペクトル算出部１２は、各々のレンジビンｉ毎に、事前に設定されている積分回数Ｎだけ、フーリエ変換後の受信信号をインコヒーレント積算することで（図１５を参照）、その受信信号のスペクトル$ＳＰＣ_i$を算出

する。

[0059] ＳＮＲ算出部１４は、スペクトル算出部１２が受信信号のスペクトルＳＰＣ$_i$を算出すると、上記実施の形態１と同様に、各々のレンジビンｉ毎に、その受信信号のスペクトルＳＰＣ$_i$を雑音信号保存装置１３により記憶されている雑音信号のスペクトルで除算することで、信号対雑音比であるＳＮＲを算出する。

ピークＳＮＲ検出部１５は、ＳＮＲ算出部１４がＳＮＲを算出すると、上記実施の形態１と同様に、各々のレンジビンｉ毎に、ＳＮＲのピーク値であるピークＳＮＲを検出する。

[0060] 速度算出部１７は、スペクトル算出部１２が受信信号のスペクトルＳＰＣ$_i$を算出し、ピークＳＮＲ検出部１５がピークＳＮＲを検出すると、各々のレンジビンｉ毎に、その受信信号のスペクトルＳＰＣ$_i$からエアロゾルの速度幅である風速幅Ｓ$_w$を算出する。

速度算出部１７は、風速幅Ｓ$_w$を算出すると、エアロゾルの速度（風速）を算出する複数の速度算出手法（例えば、ピーク検出法、重心演算法、最尤推定法）の中から、各々のレンジビンｉ毎に、ピークＳＮＲ及び風速幅Ｓ$_w$に対応する速度算出手法を選択し、その速度算出手法にしたがってエアロゾルの速度（風速）を算出する。

以下、速度算出部１７の処理内容を具体的に説明する。

[0061] 速度算出部１７は、ユーザから速度の算出精度より速度の算出レートを優先する指示を受けている場合、図９に示す処理を実施することで、エアロゾルの速度（風速）を算出する。

一方、ユーザから速度の算出レートより速度の算出精度を優先する指示を受けている場合、図１０に示す処理を実施することで、エアロゾルの速度（風速）を算出する。

[0062] 最初に、ユーザから速度の算出精度より速度の算出レートを優先する指示を受けている場合の処理内容を説明する。

速度算出部１７のＳＮＲ判定部３１は、ユーザから速度の算出精度より速

度の算出レートを優先する指示を受けている場合、各々のレンジビンｉ毎に、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲと閾値T_{SNR1}を比較する（図９のステップＳＴ３１）。

ここで、図１１はＳＮＲ判定部３１におけるＳＮＲ判定を示す説明図である。

[0063] ＳＮＲ判定部３１は、そのピークＳＮＲが閾値T_{SNR1}より高い場合（ピークＳＮＲ＞T_{SNR1}）、図１１に示すように、受信信号のＳＮＲは十分に高く、速度算出手法として「最尤推定法」を選択しなくても、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができるため、最尤推定法より計算時間が短い「ピーク検出法」又は「重心演算法」の選択を速度幅判定部３２に指示する。

[0064] ＳＮＲ判定部３１は、そのピークＳＮＲが閾値T_{SNR1}より低い場合（ピークＳＮＲ≦T_{SNR1}）、そのピークＳＮＲと閾値T_{SNR2}を比較する（ステップＳＴ３２）。

ＳＮＲ判定部３１は、そのピークＳＮＲが閾値T_{SNR2}より高い場合（T_{SNR2}＜ピークＳＮＲ≦T_{SNR1}）、図１１に示すように、受信信号のＳＮＲは中程度であり、速度算出手法として「最尤推定法」を選択しなくても、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができるが、速度算出手法として「ピーク検出法」を選択すると、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができない可能性があるため、速度算出手法として「重心演算法」を選択する（ステップＳＴ３３）。

[0065] 一方、そのピークＳＮＲが閾値T_{SNR2}より低い場合（ピークＳＮＲ≦T_{SNR2}）、図１１に示すように、受信信号のＳＮＲは低く、速度算出手法として、計算精度が高い「最尤推定法」を選択しなければ、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができない可能性があるため、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する（ステップＳＴ３４）。

[0066] 速度幅判定部３２は、ＳＮＲ判定部３１から「ピーク検出法」又は「重心演算法」の選択指示を受けると、下記の式（５）に示すように、各々のレン

ジビンｉ毎に、スペクトル算出部１２により算出された受信信号のスペクトルＳＰＣ$_i$から風速幅Ｓ$_w$を算出する（ステップＳＴ３５）。式（５）は、例えば、非特許文献１に開示されている。

$$S_w = \frac{\int S(f) f^2 df}{\int S(f) df} \qquad (5)$$

式（５）において、Ｓ（ｆ）は受信信号のスペクトルＳＰＣ$_i$であり、ｆが当該スペクトルＳＰＣ$_i$に対応する周波数である。

なお、高ＳＮＲの場合には、ピーク値に対する半値落ちした点の幅を用いて風速幅Ｓ$_w$を導出するようにしてもよい。この場合には、少ない計算量で導出することが可能になる。

[0067] 速度幅判定部３２は、風速幅Ｓ$_w$を算出すると、その風速幅Ｓ$_w$と閾値Ｔｗ$_{max}$を比較する（ステップＳＴ３６）。

速度幅判定部３２は、その風速幅Ｓ$_w$が閾値Ｔｗ$_{max}$より広ければ（Ｓ$_w$＞Ｔｗ$_{max}$）、速度算出手法として「ピーク検出法」を選択する（ステップＳＴ３７）。

速度幅判定部３２は、その風速幅Ｓ$_w$が閾値Ｔｗ$_{max}$より狭ければ（Ｓ$_w$≦Ｔｗ$_{max}$）、その風速幅Ｓ$_w$と閾値Ｔｗ$_{min}$を比較する（ステップＳＴ３８）。

速度幅判定部３２は、その風速幅Ｓ$_w$が閾値Ｔｗ$_{max}$より狭いが、閾値Ｔｗ$_{min}$より広ければ（Ｔｗ$_{min}$≦Ｓ$_w$≦Ｔｗ$_{max}$）、速度算出手法として「重心演算法」を選択する（ステップＳＴ３９）。

その風速幅Ｓ$_w$が閾値Ｔｗ$_{min}$より狭ければ（Ｓ$_w$＜Ｔｗ$_{min}$）、どの速度算出手法を選択しても、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができる可能性が低いため、速度算出手法を選択せずに、エアロゾルの速度（風速）を算出する処理を終了する（ステップＳＴ４０）。

[0068] ここで、速度幅判定部３２における閾値Ｔｗ$_{max}$，Ｔｗ$_{min}$については、上述したように、ユーザが事前に決定するようにしてもよいが、送信パルス幅がωであれば、理想的な受信信号のスペクトルＳＰＣ$_i$は１／ωになるため、

閾値Tw_{max}，Tw_{min}は、１／ωを基準にして設定するようにしてもよい。

例えば、２種類以上の風が混入している場合、Tw_{max}＝２／ω以上の風速幅S_wとなる一方、風速幅S_wが２／ω以下であれば、エアロゾルからの反射光ではなく、クラッタであると判断することができる。

このように閾値Tw_{max}，Tw_{min}が設定された場合、クラッタが存在している状況下では、速度算出手法として、クラッタの存在が算出精度に大きく影響しない「ピーク検出法」が選択され、クラッタが存在していない状況下では、ピーク検出法より算出精度が高い「重心演算法」が選択されるようになる。

[0069] ピーク検出処理部２２は、速度幅判定部３２が当該レンジビンｉの速度算出手法として「ピーク検出法」を選択すると、上記実施の形態１と同様に、エアロゾルの速度である風速v_dを算出する。

重心演算処理部２３は、ＳＮＲ判定部３１又は速度幅判定部３２が当該レンジビンｉの速度算出手法として「重心演算法」を選択すると、上記実施の形態１と同様に、エアロゾルの速度である風速v_dを算出する。

最尤推定処理部２４は、ＳＮＲ判定部３１が当該レンジビンｉの速度算出手法として「最尤推定法」を選択すると、上記実施の形態１と同様に、エアロゾルの速度である風速v_dを算出する。

[0070] 次に、ユーザから速度の算出レートより速度の算出精度を優先する指示を受けている場合の処理内容を説明する。

速度算出部１７のＳＮＲ判定部３１は、ユーザから速度の算出レートより速度の算出精度を優先する指示を受けている場合、各々のレンジビンｉ毎に、ピークＳＮＲ検出部１５により検出されたピークＳＮＲと閾値T_{SNR1}を比較する（図１０のステップＳＴ５１）。

ＳＮＲ判定部３１は、そのピークＳＮＲが閾値T_{SNR1}より低い場合（ピークＳＮＲ≦T_{SNR1}）、計算精度が高い「最尤推定法」を選択しなければ、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができない可能性があるため、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する（ステップＳＴ５２）。

一方、そのピークＳＮＲが閾値T_{SNR1}より高い場合（ピークＳＮＲ＞T_{SNR1}）、「重心演算法」又は「最尤推定法」の選択を速度幅判定部３２に指示する。

[0071] 速度幅判定部３２は、ＳＮＲ判定部３１から「重心演算法」又は「最尤推定法」の選択指示を受けると、速度の算出レートを優先する場合と同様に、各々のレンジビンｉ毎に、スペクトル算出部１２により算出された受信信号のスペクトルSPC_iから風速幅S_wを算出する（ステップＳＴ５３）。

速度幅判定部３２は、風速幅S_wを算出すると、その風速幅S_wと閾値Tw_{max}を比較する（ステップＳＴ５４）。

[0072] 速度幅判定部３２は、その風速幅S_wが閾値Tw_{max}より広ければ（S_w＞Tw_{max}）、計算精度が高い「最尤推定法」を選択しなければ、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができない可能性があるため、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する（ステップＳＴ５５）。

速度幅判定部３２は、その風速幅S_wが閾値Tw_{max}より狭ければ（$S_w \leqq Tw_{max}$）、その風速幅S_wと閾値Tw_{min}を比較する（ステップＳＴ５６）。

[0073] 速度幅判定部３２は、その風速幅S_wが閾値Tw_{max}より狭いが、閾値Tw_{min}より広ければ（$Tw_{min} \leqq S_w \leqq Tw_{max}$）、速度算出手法として「最尤推定法」を選択しなくても、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができるため、最尤推定法より計算時間が短い「重心演算法」を選択する（ステップＳＴ５７）。

その風速幅S_wが閾値Tw_{min}より狭ければ（S_w＜Tw_{min}）、どの速度算出手法を選択しても、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができる可能性が低いため、速度算出手法を選択せずに、エアロゾルの速度（風速）を算出する処理を終了する（ステップＳＴ５８）。

[0074] 重心演算処理部２３は、速度幅判定部３２が当該レンジビンｉの速度算出手法として「重心演算法」を選択すると、上記実施の形態１と同様に、エアロゾルの速度である風速v_dを算出する。

最尤推定処理部２４は、ＳＮＲ判定部３１又は速度幅判定部３２が当該レ

ンジビンｉの速度算出手法として「最尤推定法」を選択すると、上記実施の形態１と同様に、エアロゾルの速度である風速v_dを算出する。

[0075] 以上で明らかなように、この実施の形態２によれば、速度算出部１７が、受信信号のスペクトルSPC_iからエアロゾルの速度幅である風速幅S_wを算出し、エアロゾルの速度（風速）を算出する複数の速度算出手法（例えば、ピーク検出法、重心演算法、最尤推定法）の中から、各々のレンジビンｉ毎に、ピークＳＮＲ及び風速幅S_wに対応する速度算出手法を選択し、その速度算出手法にしたがってエアロゾルの速度（風速）を算出するように構成したので、上記実施の形態１よりも更に厳密に最適な速度算出手法を選択することができる効果を奏する。

[0076] 実施の形態３．

上記実施の形態１，２では、ピークＳＮＲが低い場合、速度算出手法として「最尤推定法」を選択する例を示したが、速度算出手法として「最尤推定法」を選択しても、ＳＮＲが所望のＳＮＲに満たない場合、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができない。

そこで、この実施の形態３では、ＳＮＲが所望のＳＮＲに満たない場合でも、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができるようにしている。

即ち、この実施の形態３では、ＳＮＲが所望のＳＮＲに満たない場合、スペクトル算出部１２におけるインコヒーレント積算の積算回数を増やして、風速算出精度を高めるようにしている。

[0077] 図１２はこの発明の実施の形態３によるレーザーレーダ装置の信号解析部６を示す構成図であり、図において、図７と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

積算回数設定部１８はＳＮＲ算出部１４により算出されたＳＮＲに応じて、スペクトル算出部１２におけるインコヒーレント積算の積算回数Ｎを設定する処理を実施する。なお、積算回数設定部１８は積算回数設定手段を構成している。

図１３はこの発明の実施の形態３によるレーザーレーダ装置の信号解析部６の処理内容（測定対象物の速度算出方法）を示すフローチャートである。

[0078] 上記実施の形態１，２では、スペクトル算出部１２が、各々のレンジビンｉ毎に、事前に設定されている積分回数Ｎだけ、フーリエ変換後の受信信号をインコヒーレント積算することで、その受信信号のスペクトルSPC_iを算出するようにしているが、この実施の形態３では、スペクトル算出部１２が、積算回数設定部１８により設定された積分回数Ｎだけ、フーリエ変換後の受信信号をインコヒーレント積算することで、その受信信号のスペクトルSPC_iを算出するようにしている点で相違している。

以下、積算回数設定部１８及びスペクトル算出部１２の処理内容を具体的に説明する。

ただし、積算回数設定部１８及びスペクトル算出部１２以外は、上記実施の形態１，２と同様であるため、詳細な説明は省略する。

[0079] スペクトル算出部１２は、コヒーレント積算処理部１１からコヒーレント積算後の受信信号を受けると、上記実施の形態１，２と同様に、各々のレンジビンｉ毎に、コヒーレント積算後の受信信号をフーリエ変換する。

スペクトル算出部１２が初めて受信信号のスペクトルSPC_iを算出する段階では、ＳＮＲ算出部１４によりＳＮＲが算出されておらず、積算回数設定部１８が積分回数Ｎを設定することができないので、スペクトル算出部１２は、各々のレンジビンｉ毎に、事前に設定されている積分回数Ｎだけ、フーリエ変換後の受信信号をインコヒーレント積算することで（図１５を参照）、その受信信号のスペクトルSPC_iを算出する（図１３のステップＳＴ２）。

[0080] ＳＮＲ算出部１４は、スペクトル算出部１２が受信信号のスペクトルSPC_iを算出すると、上記実施の形態１，２と同様に、各々のレンジビンｉ毎に、その受信信号のスペクトルSPC_iを雑音信号保存装置１３により記憶されている雑音信号のスペクトルで除算することで、信号対雑音比であるＳＮＲを算出する（ステップＳＴ３）。

[0081] 積算回数設定部１８は、ＳＮＲ算出部１４がＳＮＲを算出すると、そのＳＮＲが所望の算出精度を満たすために必要な閾値T_{SNR3}（例えば、T_{SNR3}＜T_{SNR2}＜T_{SNR1}）より低い場合（ステップＳＴ６１）、スペクトル算出部１２に事前に設定されている積分回数Ｎを更新する（ステップＳＴ６２）。

即ち、積算回数設定部１８は、ＳＮＲ算出部１４により算出されたＳＮＲが閾値T_{SNR3}より低い場合（ＳＮＲ＜T_{SNR3}）、そのＳＮＲに応じて、スペクトル算出部１２におけるインコヒーレント積算の積算回数Ｎを設定する。

[0082] 具体的には、積算回数設定部１８が、ＳＮＲに対応する積算回数Ｎが記述されているテーブルを事前に用意しておき、そのテーブルを参照して、ＳＮＲ算出部１４により算出されたＳＮＲに対応する積算回数Ｎを読み出し、スペクトル算出部１２におけるインコヒーレント積算の積算回数を当該積算回数Ｎに更新する。

あるいは、積算回数設定部１８が、例えば、下記の式（６）に示す演算を実施することで、積算回数Ｎを更新するようにしてもよい。ただし、式（６）の演算は一例であり、他の演算を実施するようにしてもよい。

$$N = N + (T_{SNR1} / SNR)^2 \qquad (6)$$

また、速度の算出精度を優先する場合には、ユーザによって定義される所望の風速算出レート以下の処理時間＋積算回数で決定されるデータ取得時間の中で、最も高い風速算出精度が期待される積算回数Ｎに更新するようにしてもよい。

[0083] スペクトル算出部１２は、積算回数設定部１８がインコヒーレント積算の積算回数Ｎを更新すると、各々のレンジビンｉ毎に、更新後の積分回数Ｎだけ、フーリエ変換後の受信信号をインコヒーレント積算することで、再度、その受信信号のスペクトルSPC_iを算出する（ステップＳＴ２）。

ＳＮＲ算出部１４は、スペクトル算出部１２が、再度、受信信号のスペクトルSPC_iを算出すると、上記実施の形態１，２と同様に、各々のレンジビンｉ毎に、その受信信号のスペクトルSPC_iを雑音信号保存装置１３により記憶されている雑音信号のスペクトルで除算することで、信号対雑音比であ

るＳＮＲを算出する（ステップＳＴ３）。

[0084] ピークＳＮＲ検出部１５は、ＳＮＲ算出部１４により算出されたＳＮＲが閾値T_{SNR3}より高くなると（ＳＮＲ≧T_{SNR3}）、上記実施の形態１，２と同様に、各々のレンジビンｉ毎に、ＳＮＲのピーク値であるピークＳＮＲを検出する（ステップＳＴ４）。

速度算出部１７は、スペクトル算出部１２が受信信号のスペクトルSPC_iを算出し、ピークＳＮＲ検出部１５がピークＳＮＲを検出すると、上記実施の形態２と同様に、各々のレンジビンｉ毎に、その受信信号のスペクトルSPC_iからエアロゾルの速度幅である風速幅S_wを算出する。

速度算出部１７は、風速幅S_wを算出すると、エアロゾルの速度（風速）を算出する複数の速度算出手法（例えば、ピーク検出法、重心演算法、最尤推定法）の中から、各々のレンジビンｉ毎に、ピークＳＮＲ及び風速幅S_wに対応する速度算出手法を選択し（ステップＳＴ５）、その速度算出手法にしたがってエアロゾルの速度（風速）を算出する（ステップＳＴ５）。

[0085] 以上で明らかなように、この実施の形態３によれば、積算回数設定部１８が、ＳＮＲ算出部１４により算出されたＳＮＲに応じて、スペクトル算出部１２におけるインコヒーレント積算の積算回数Ｎを設定するように構成したので、ＳＮＲが所望のＳＮＲに満たない場合でも、高精度にエアロゾルの速度（風速）を算出することができる効果を奏する。

これにより、風速の測定が安定して行われるようになるが、全てのレンジビンにおける風速の算出精度を均一化させて、データのばらつきを一定化させることも可能になる。

したがって、例えば、突風や乱気流の検知を、統計量を用いたマッチングによって行う場合、常に一定のＳＮＲであれば、マッチング処理に費やす処理時間を削減することができるとともに、当該統計量の不足や不安定性によって発生する誤検知を低減することができる。

[0086] なお、この実施の形態３では、積算回数設定部１８が、ＳＮＲ算出部１４により算出されたＳＮＲに応じて、スペクトル算出部１２におけるインコヒ

ーレント積算の積算回数Ｎを設定するものを示したが、コヒーレント積算処理部１１におけるコヒーレント積算の積算回数を設定し、コヒーレント積算処理部１１が、積算回数設定部１８により設定された積算回数だけ、受信信号をコヒーレント積算するようにしてもよい。

[0087] また、この実施の形態３では、ＳＮＲ算出部１４がＳＮＲを算出した段階で、積算回数設定部１８が、そのＳＮＲが閾値T_{SNR3}より低くければ、そのＳＮＲに応じて、スペクトル算出部１２におけるインコヒーレント積算の積算回数Ｎを設定するものを示したが、積算回数設定部１８が積算回数Ｎを設定するタイミングは、ＳＮＲ算出部１４がＳＮＲを算出した段階に限るものではない。例えば、速度算出部１７が速度算出手法を選択した段階や、エアロゾルの速度（風速）を算出した段階で、積算回数設定部１８が積算回数Ｎを設定するようにしてもよい。

[0088] なお、本願発明はその発明の範囲内において、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

産業上の利用可能性

[0089] この発明に係るレーザーレーダ装置は、速度算出手段が、測定対象物の速度を算出する複数の速度算出手法の中から、ピーク値検出手段により検出された信号対雑音比のピーク値に対応する速度算出手法を選択し、その速度算出手法にしたがって測定対象物の速度を算出するように構成し、測定対象物の速度を短時間で高精度に算出することができるので、気象レーダ装置や風向風速レーダ装置として用いるのに適している。

符号の説明

[0090] １ 光送受信部（レーザ光送受信手段）、２ 光発振装置、３ 光学系、４ レーザ光検出器、５ 信号処理部、６ 信号解析部、７ 表示・保存部、１１ コヒーレント積算処理部（コヒーレント積算手段）、１２ スペクトル算出部（スペクトル算出手段）、１３ 雑音信号保存装置（信号対雑音比算出手段）、１４ ＳＮＲ算出部（信号対雑音比算出手段）、１５ ピー

クＳＮＲ検出部（ピーク値検出手段）、１６，１７　速度算出部（速度算出手段）、１８　積算回数設定部（積算回数設定手段）、２１　ＳＮＲ判定部、２２　ピーク検出処理部、２３　重心演算処理部、２４　最尤推定処理部、３１　ＳＮＲ判定部、３２　速度幅判定部。

請求の範囲

[請求項1] レーザ光を大気中に放射して、大気中に存在している測定対象物に反射して戻ってくるレーザ光を受信し、上記レーザ光の受信信号を出力するレーザ光送受信手段と、

上記レーザ光送受信手段から出力された受信信号をコヒーレント積算するコヒーレント積算手段と、

上記コヒーレント積算手段によりコヒーレント積算された受信信号をフーリエ変換し、フーリエ変換後の受信信号をインコヒーレント積算して、上記受信信号のスペクトルを算出するスペクトル算出手段と、

上記スペクトル算出手段により算出された受信信号のスペクトルと雑音信号のスペクトルから信号対雑音比を算出する信号対雑音比算出手段と、

上記信号対雑音比算出手段により算出された信号対雑音比のピーク値を検出するピーク値検出手段と、

測定対象物の速度を算出する複数の速度算出手法の中から、上記ピーク値検出手段により検出された信号対雑音比のピーク値に対応する速度算出手法を選択し、上記速度算出手法にしたがって測定対象物の速度を算出する速度算出手段と

を備えたレーザーレーダ装置。

[請求項2] 速度算出手段は、速度の算出精度より速度の算出レートを優先する場合、ピーク値検出手段により検出された信号対雑音比のピーク値が基準ピーク値より高ければ、速度算出手法として、上記信号対雑音比のピーク値に対応する周波数から測定対象物の速度を算出するピーク検出法を選択し、上記ピーク値が上記基準ピーク値より低ければ、速度算出手法として、予め用意されている受信スペクトルの波形モデルのパラメータを可変して、受信信号のスペクトルとの相関が最も高いパラメータを探索し、上記パラメータを用いて測定対象物の速度を算

出する最尤推定法を選択し、

速度の算出レートより速度の算出精度より優先する場合、上記ピーク値が上記基準ピーク値より高ければ、速度算出手法として、上記信号対雑音比における１以上のピーク値の重心を算出し、上記重心に対応する周波数から測定対象物の速度を算出する重心演算法を選択し、上記ピーク値が上記基準ピーク値より低ければ、速度算出手法として、上記最尤推定法を選択する

ことを特徴とする請求項１記載のレーザーレーダ装置。

［請求項3］ 速度算出手段は、スペクトル算出手段により算出された受信信号のスペクトルから測定対象物の速度幅を算出し、

測定対象物の速度を算出する複数の速度算出手法の中から、ピーク値検出手段により検出された信号対雑音比のピーク値及び上記速度幅に対応する速度算出手法を選択し、上記速度算出手法にしたがって測定対象物の速度を算出する

ことを特徴とする請求項１記載のレーザーレーダ装置。

［請求項4］ 速度算出手段は、速度の算出精度より速度の算出レートを優先する場合、ピーク値検出手段により検出された信号対雑音比のピーク値が基準ピーク値より高く、測定対象物の速度幅が基準速度幅より広ければ、速度算出手法として、上記信号対雑音比のピーク値に対応する周波数から測定対象物の速度を算出するピーク検出法を選択し、上記ピーク値が上記基準ピーク値より高く、測定対象物の速度幅が上記基準速度幅より狭ければ、速度算出手法として、上記信号対雑音比における１以上のピーク値の重心を算出し、上記重心に対応する周波数から測定対象物の速度を算出する重心演算法を選択し、上記ピーク値が上記基準ピーク値より低ければ、速度算出手法として、予め用意されている受信スペクトルの波形モデルのパラメータを可変して、受信信号のスペクトルとの相関が最も高いパラメータを探索し、上記パラメータを用いて測定対象物の速度を算出する最尤推定法を選択し、

速度の算出レートより速度の算出精度より優先する場合、上記ピーク値が上記基準ピーク値より高く、測定対象物の速度幅が上記基準速度幅より狭ければ、速度算出手法として、上記重心演算法を選択し、上記ピーク値が上記基準ピーク値より高く、測定対象物の速度幅が上記基準速度幅より広い場合、あるいは、上記ピーク値が上記基準ピーク値より低い場合、速度算出手法として、上記最尤推定法を選択する

ことを特徴とする請求項３記載のレーザーレーダ装置。

［請求項5］ 信号対雑音比算出手段により算出された信号対雑音比に応じてインコヒーレント積算の積算回数を設定する積算回数設定手段を設け、

スペクトル算出手段は、上記積算回数設定手段により設定された積算回数だけ、フーリエ変換後の受信信号をインコヒーレント積算して、上記受信信号のスペクトルを算出する

ことを特徴とする請求項１記載のレーザーレーダ装置。

［請求項6］ レーザ光送受信手段が、レーザ光を大気中に放射して、大気中に存在している測定対象物に反射して戻ってくるレーザ光を受信し、上記レーザ光の受信信号を出力するレーザ光送受信処理ステップと、

コヒーレント積算手段が、上記レーザ光送受信処理ステップで出力された受信信号をコヒーレント積算するコヒーレント積算処理ステップと、

スペクトル算出手段が、上記コヒーレント積算処理ステップでコヒーレント積算された受信信号をフーリエ変換し、フーリエ変換後の受信信号をインコヒーレント積算して、上記受信信号のスペクトルを算出するスペクトル算出処理ステップと、

信号対雑音比算出手段が、上記スペクトル算出処理ステップで算出された受信信号のスペクトルと雑音信号のスペクトルから信号対雑音比を算出する信号対雑音比算出処理ステップと、

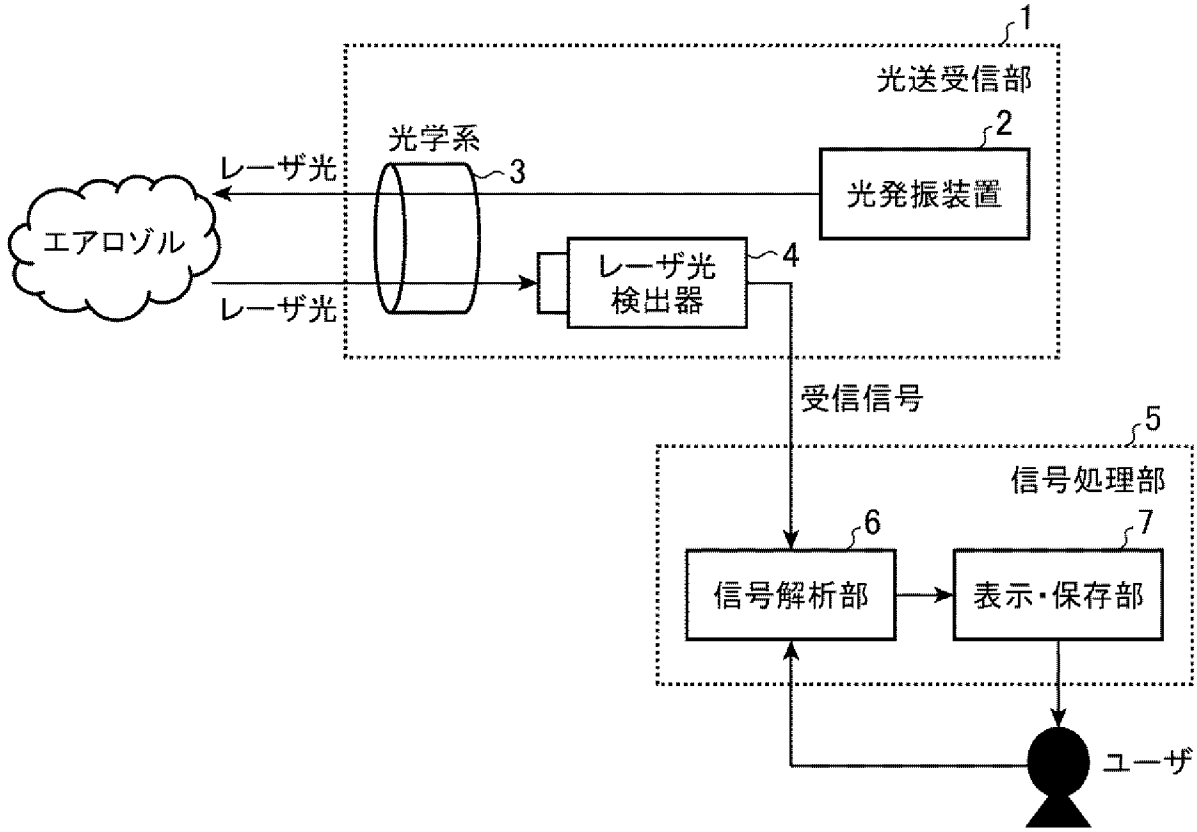
ピーク値検出手段が、上記信号対雑音比算出処理ステップで算出された信号対雑音比のピーク値を検出するピーク値検出処理ステップと

、

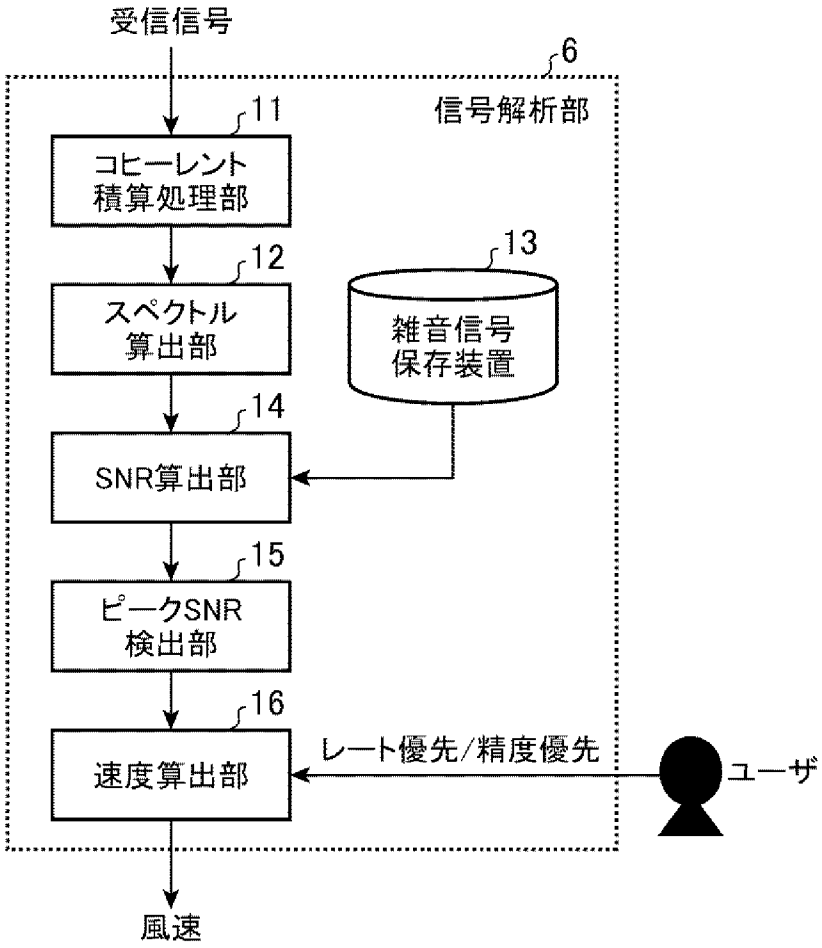
速度算出手段が、測定対象物の速度を算出する複数の速度算出手法の中から、上記ピーク値検出処理ステップで検出された信号対雑音比のピーク値に対応する速度算出手法を選択し、上記速度算出手法にしたがって測定対象物の速度を算出する速度算出処理ステップと

を備えた測定対象物の速度算出方法。

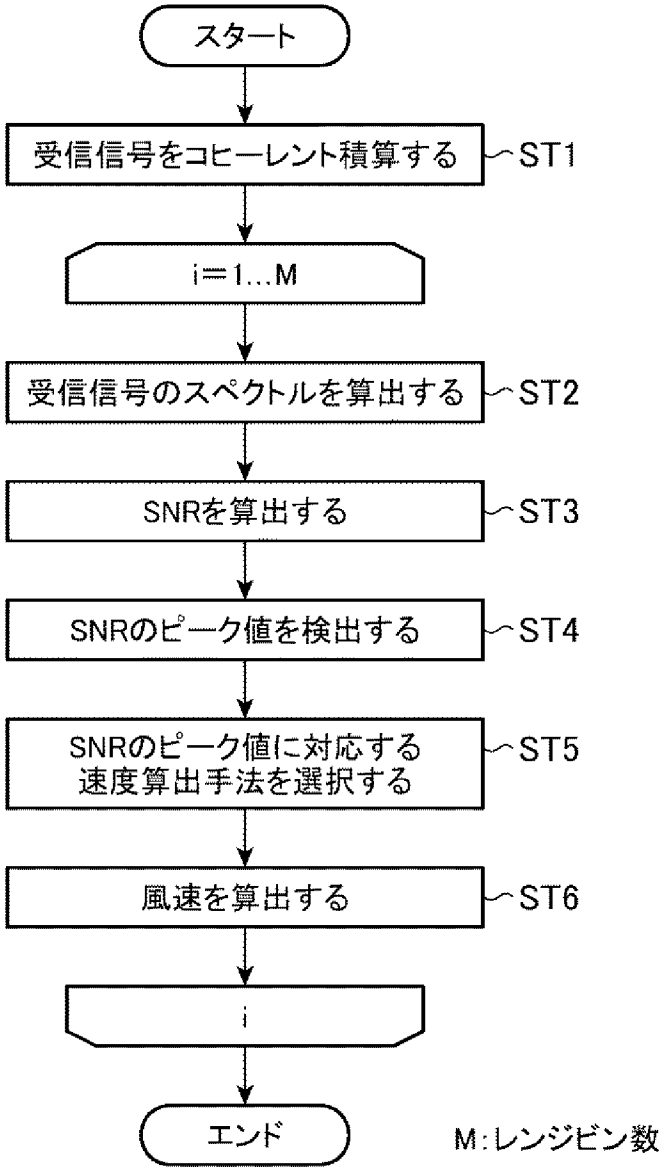
[図1]


1
光送受信部
2
光発振装置
光学系
3
レーザ光
エアロゾル
レーザ光
レーザ光
検出器
4
受信信号
5
信号処理部
6
信号解析部
7
表示・保存部
ユーザ

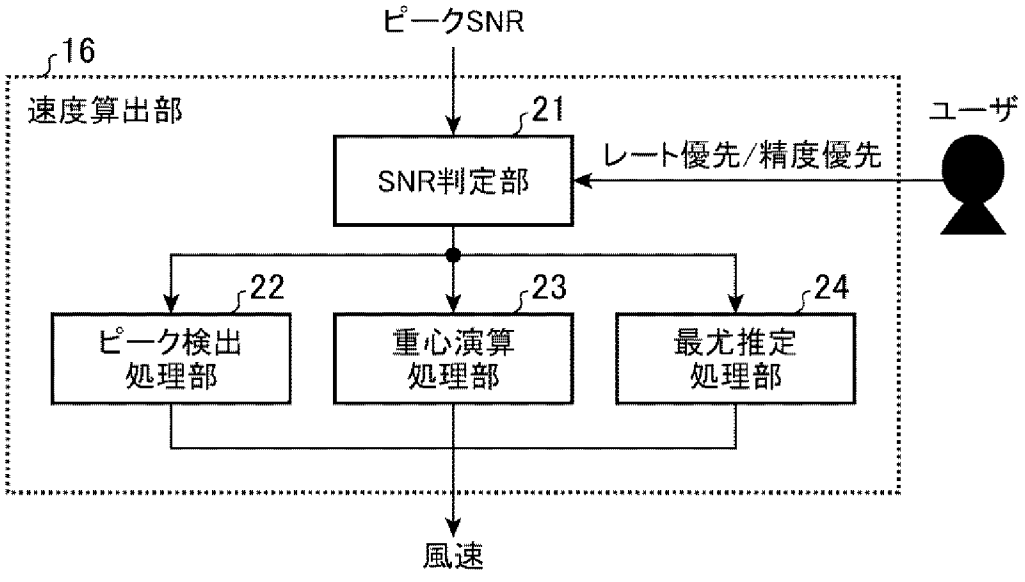
[図2]


受信信号
6
信号解析部
11
コヒーレント
積算処理部
12
スペクトル
算出部
13
雑音信号
保存装置
14
SNR算出部
15
ピークSNR
検出部
16
速度算出部
レート優先/精度優先
ユーザ
風速

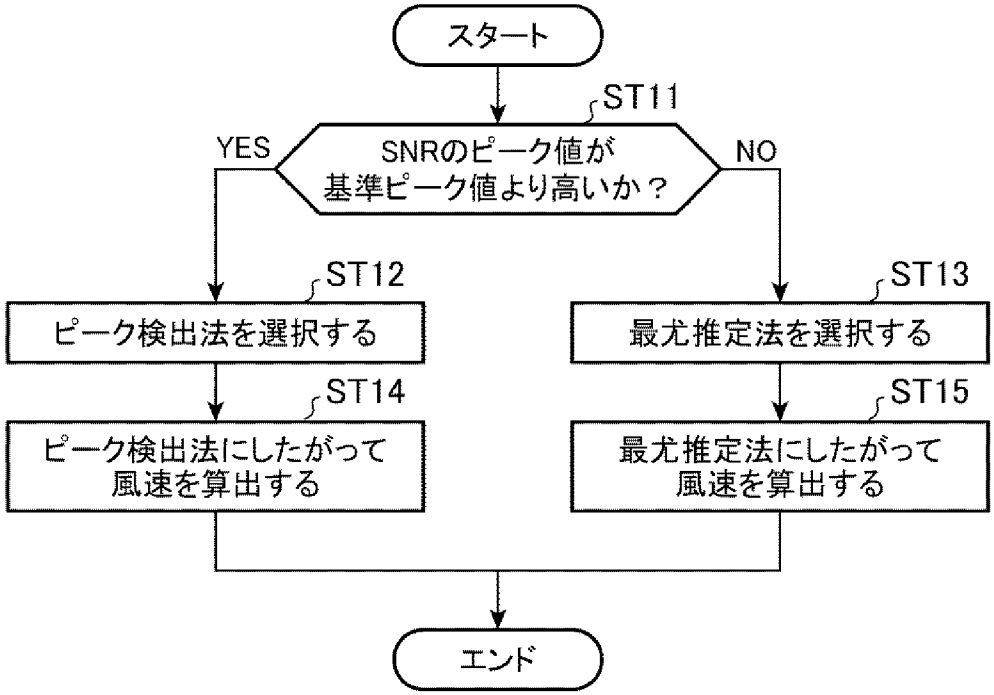
[図3]


スタート
受信信号をコヒーレント積算する
ST1
i=1...M
受信信号のスペクトルを算出する
ST2
SNRを算出する
ST3
SNRのピーク値を検出する
ST4
SNRのピーク値に対応する
速度算出手法を選択する
ST5
風速を算出する
ST6
i
エンド
M:レンジビン数

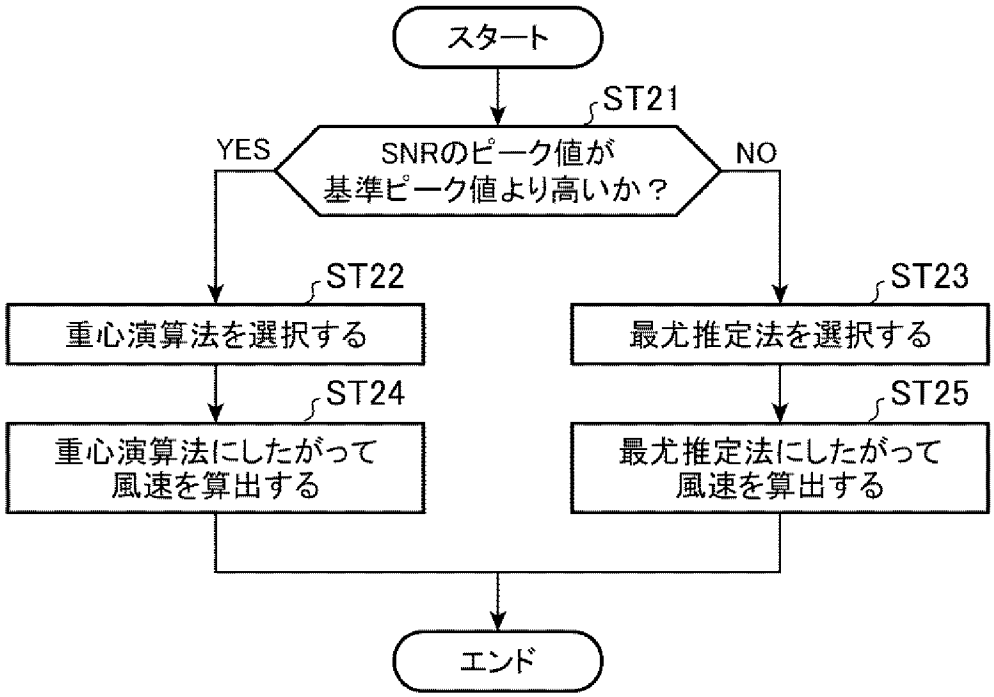
[図4]


ピークSNR
16
速度算出部
21
SNR判定部
レート優先/精度優先
ユーザ
22
ピーク検出
処理部
23
重心演算
処理部
24
最尤推定
処理部
風速

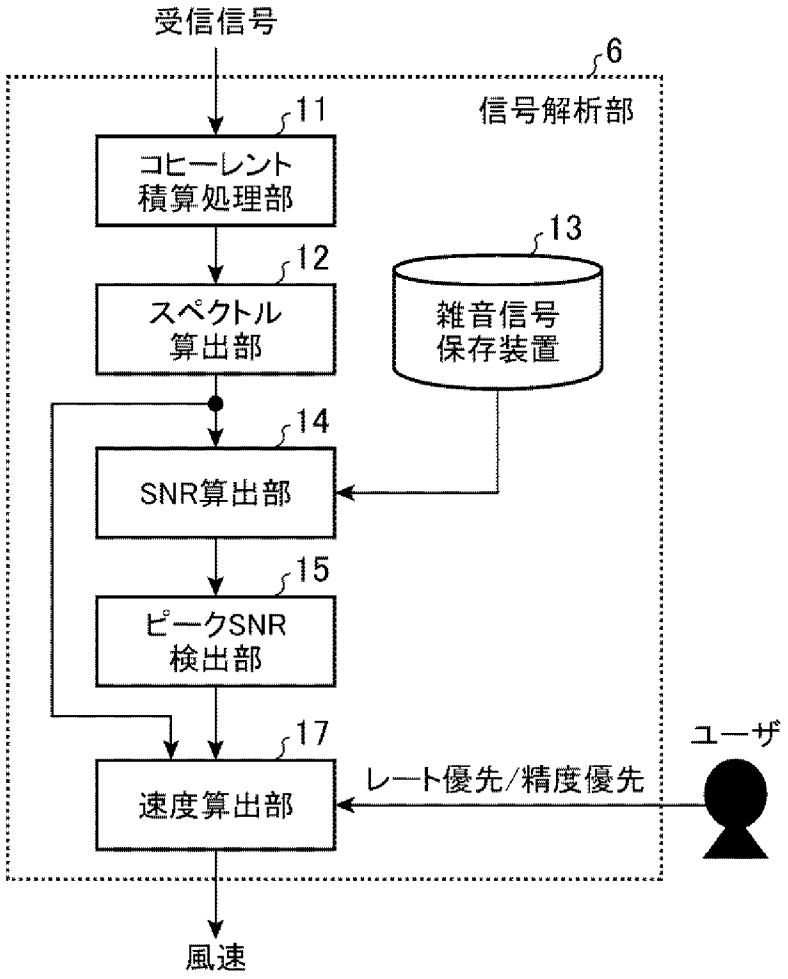
[図5]


スタート
ST11
YES
SNRのピーク値が
基準ピーク値より高いか？
NO
ST12
ピーク検出法を選択する
ST13
最尤推定法を選択する
ST14
ピーク検出法にしたがって
風速を算出する
ST15
最尤推定法にしたがって
風速を算出する
エンド

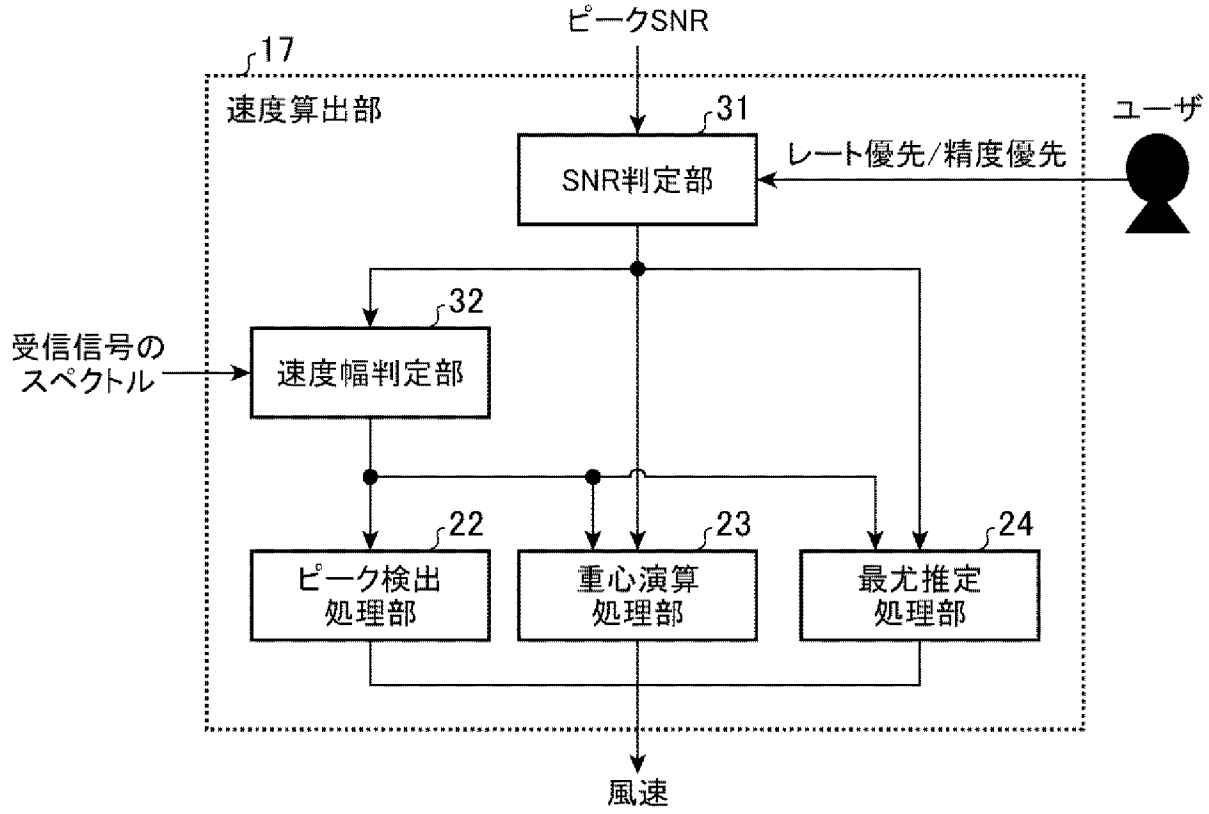
[図6]


スタート
ST21
YES
SNRのピーク値が
基準ピーク値より高いか？
NO
ST22
重心演算法を選択する
ST23
最尤推定法を選択する
ST24
重心演算法にしたがって
風速を算出する
ST25
最尤推定法にしたがって
風速を算出する
エンド

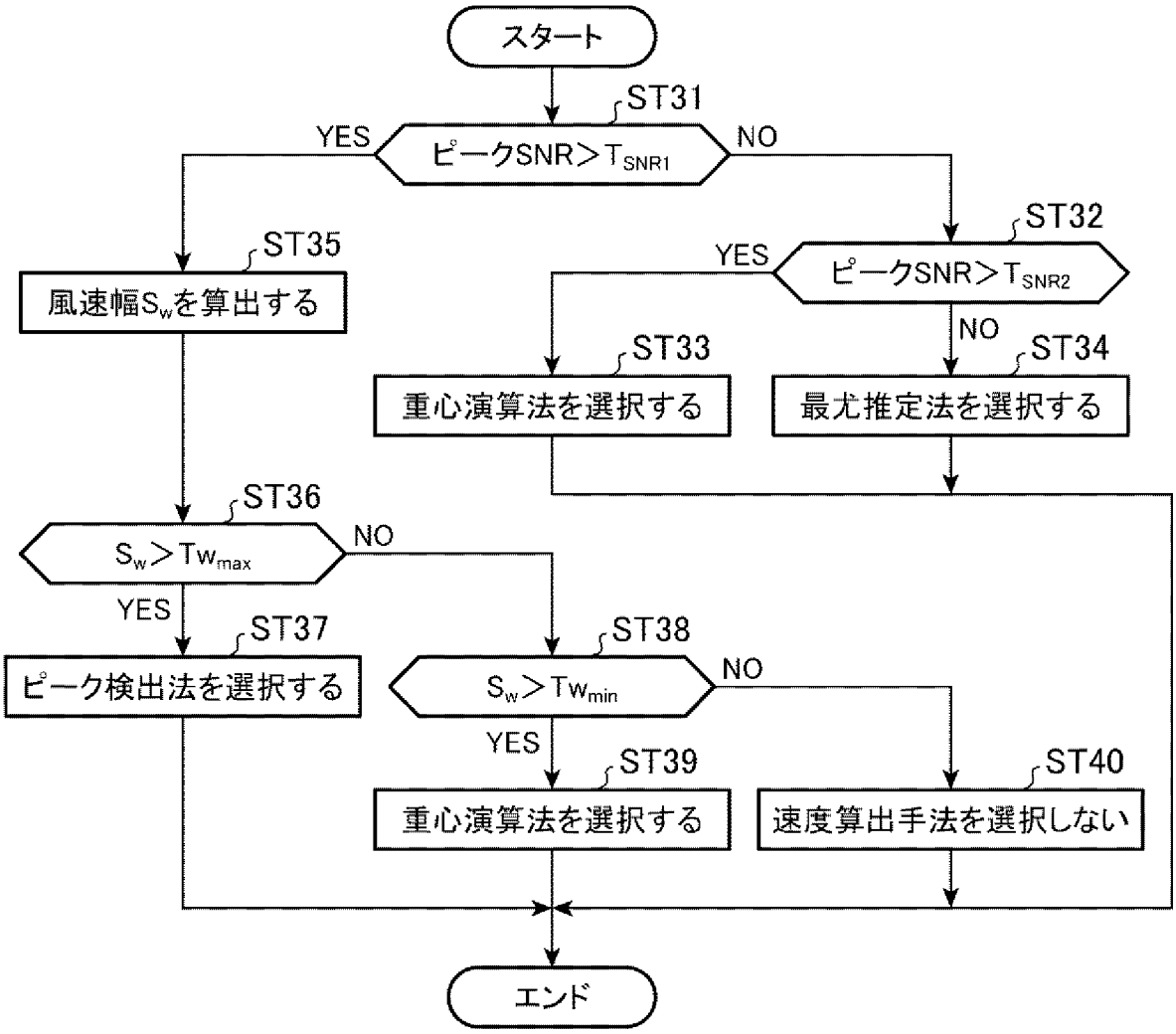
[図7]


受信信号
6
信号解析部
11
コヒーレント
積算処理部
12
スペクトル
算出部
13
雑音信号
保存装置
14
SNR算出部
15
ピークSNR
検出部
17
速度算出部
レート優先/精度優先
ユーザ
風速

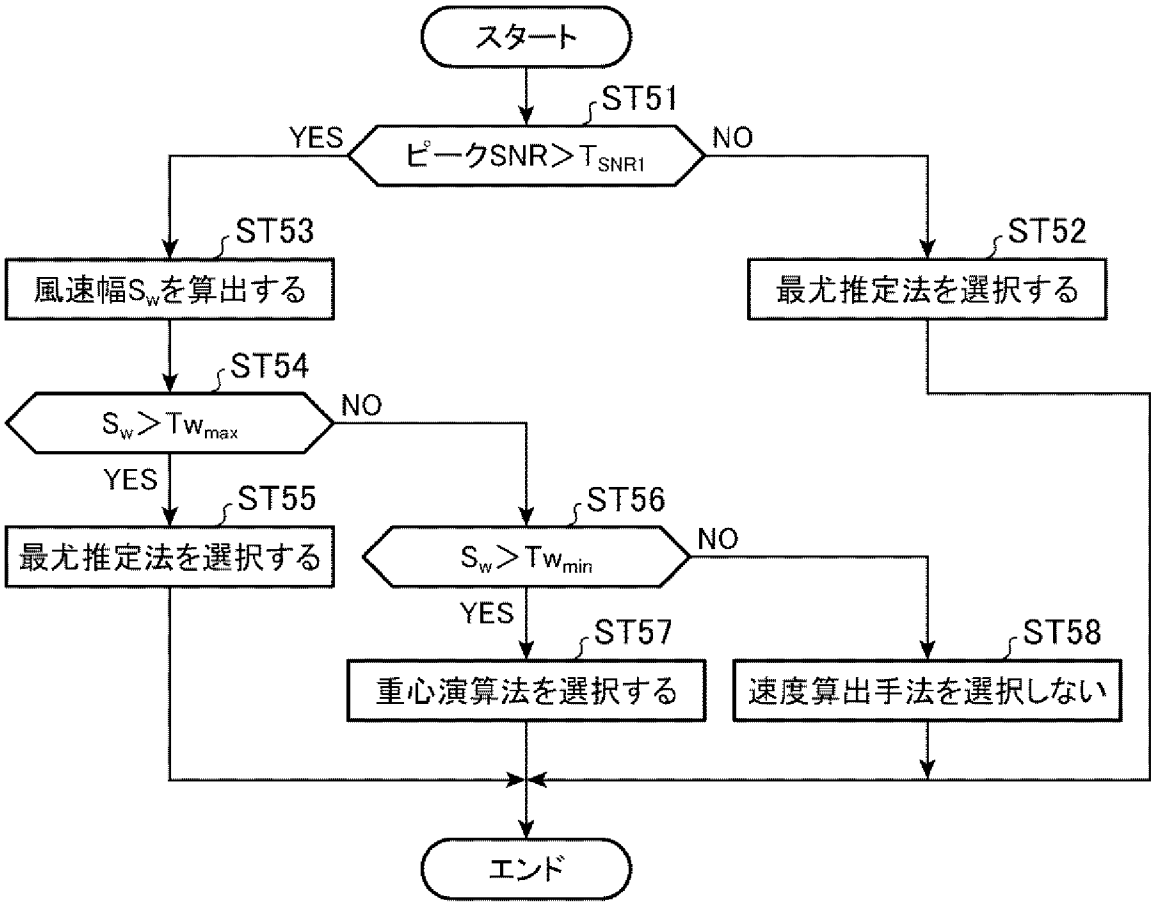
[図8]


ピークSNR
17
速度算出部
31
SNR判定部
レート優先/精度優先
ユーザ
32
受信信号の
スペクトル
速度幅判定部
22
ピーク検出
処理部
23
重心演算
処理部
24
最尤推定
処理部
風速

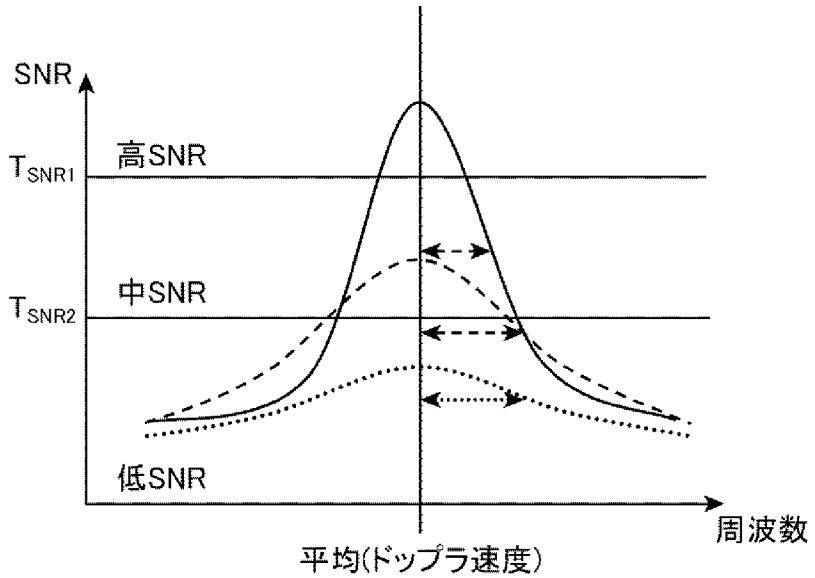
[図9]


スタート
ST31
YES
ピークSNR＞T_{SNR1}
NO
ST32
YES
ピークSNR＞T_{SNR2}
NO
ST33
重心演算法を選択する
ST34
最尤推定法を選択する
ST35
風速幅S_wを算出する
ST36
S_w＞Tw_{max}
NO
YES
ST37
ピーク検出法を選択する
ST38
S_w＞Tw_{min}
NO
YES
ST39
重心演算法を選択する
ST40
速度算出手法を選択しない
エンド

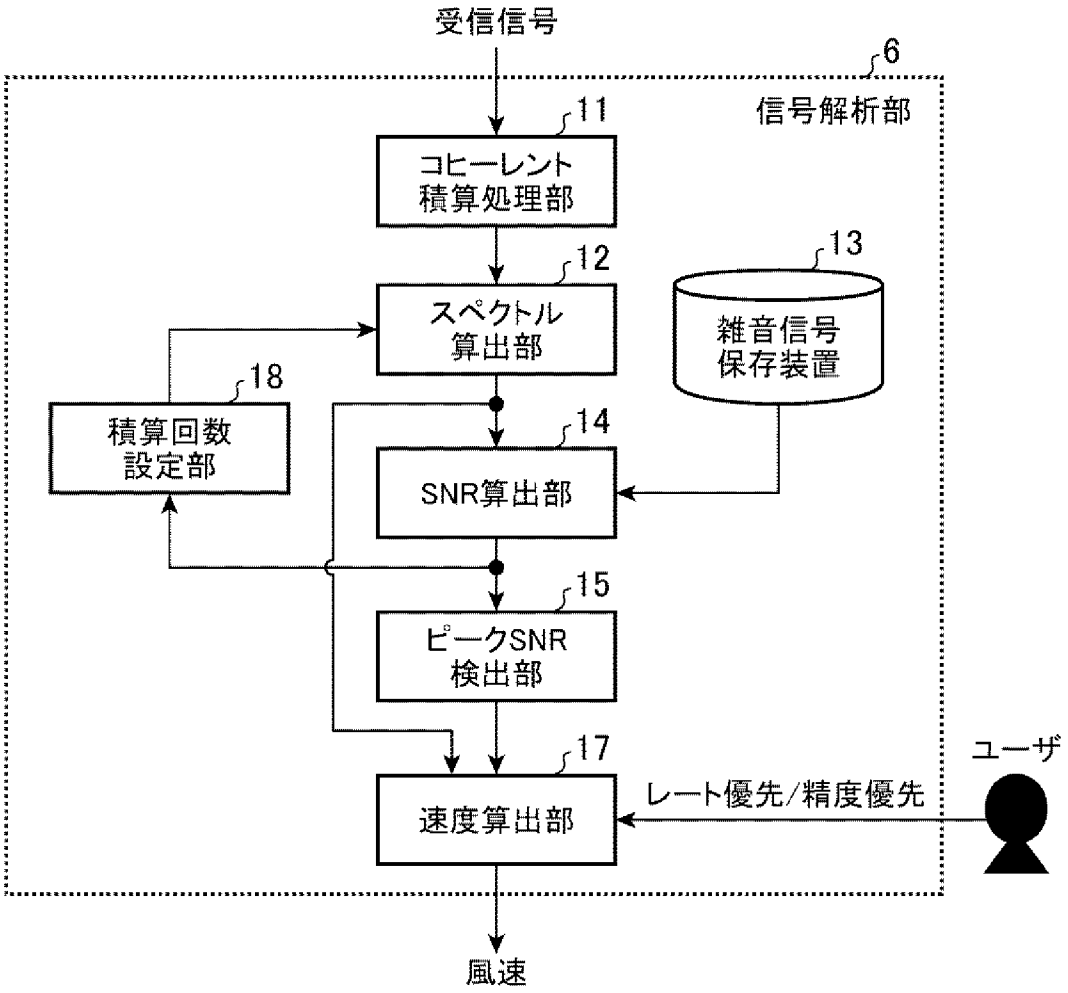
[図10]


スタート
ST51
YES
ピークSNR＞T_{SNR1}
NO
ST53
風速幅S_wを算出する
ST52
最尤推定法を選択する
ST54
S_w＞Tw_{max}
NO
YES
ST55
最尤推定法を選択する
ST56
S_w＞Tw_{min}
NO
YES
ST57
重心演算法を選択する
ST58
速度算出手法を選択しない
エンド

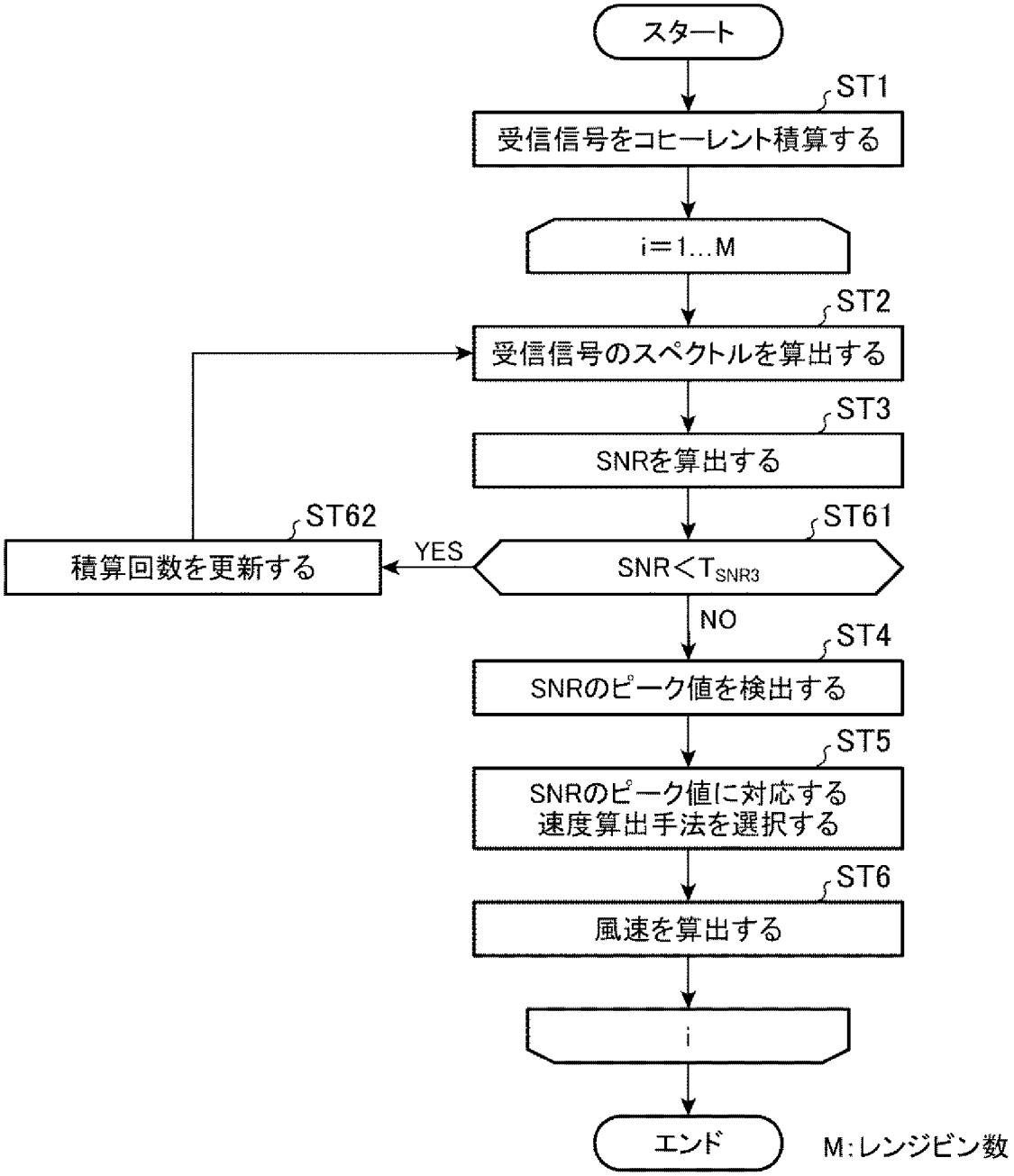
[図11]


SNR
T_{SNR1}
高SNR
T_{SNR2}
中SNR
低SNR
周波数
平均(ドップラ速度)

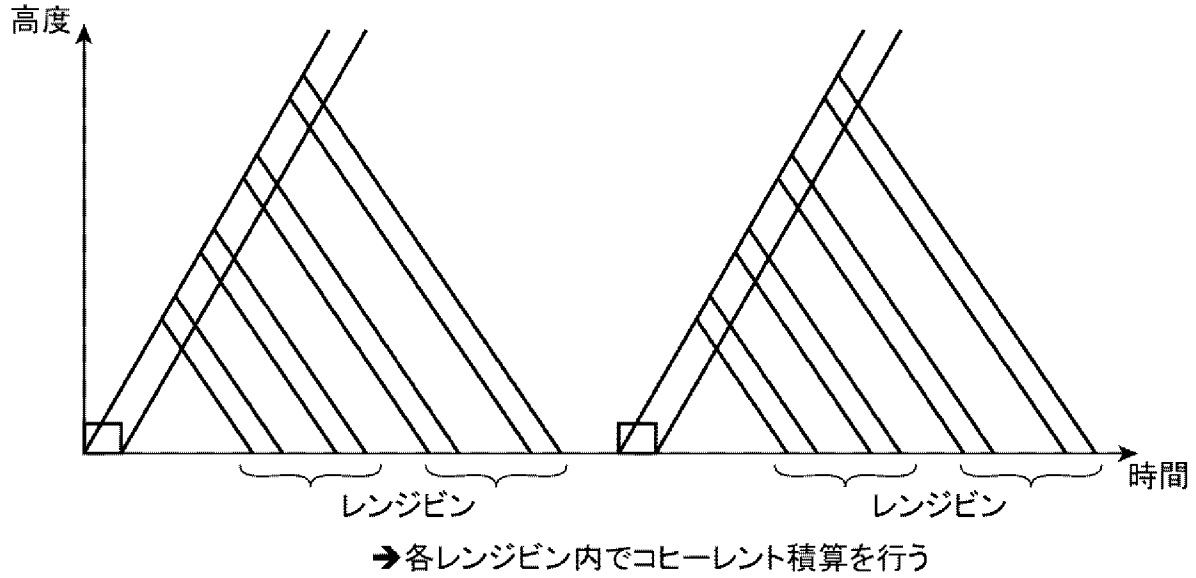
[図12]


受信信号
6
信号解析部
11
コヒーレント
積算処理部
12
スペクトル
算出部
13
雑音信号
保存装置
18
積算回数
設定部
14
SNR算出部
15
ピークSNR
検出部
17
速度算出部
レート優先/精度優先
ユーザ
風速

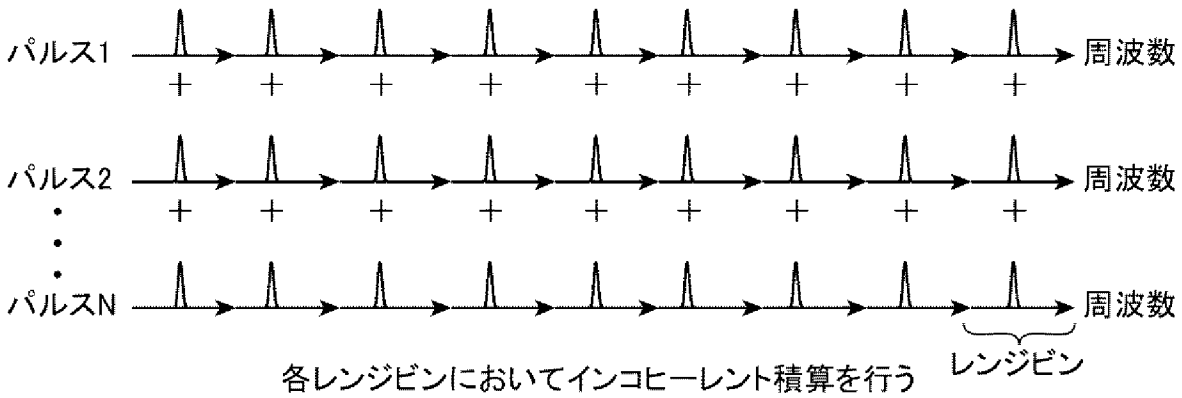
[図13]


スタート
ST1
受信信号をコヒーレント積算する
i=1…M
ST2
受信信号のスペクトルを算出する
ST3
SNRを算出する
ST61
SNR＜T_{SNR3}
YES
ST62
積算回数を更新する
NO
ST4
SNRのピーク値を検出する
ST5
SNRのピーク値に対応する
速度算出手法を選択する
ST6
風速を算出する
i
エンド
M:レンジビン数

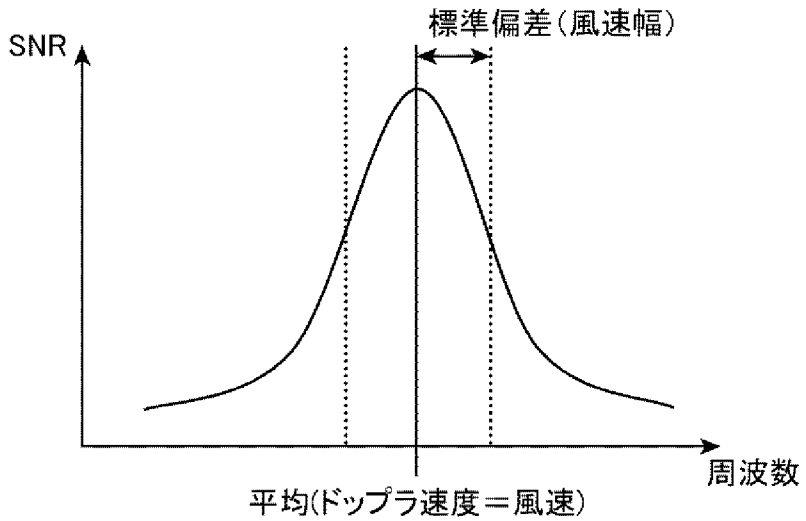
[図14]


高度
時間
レンジビン
レンジビン
➔各レンジビン内でコヒーレント積算を行う

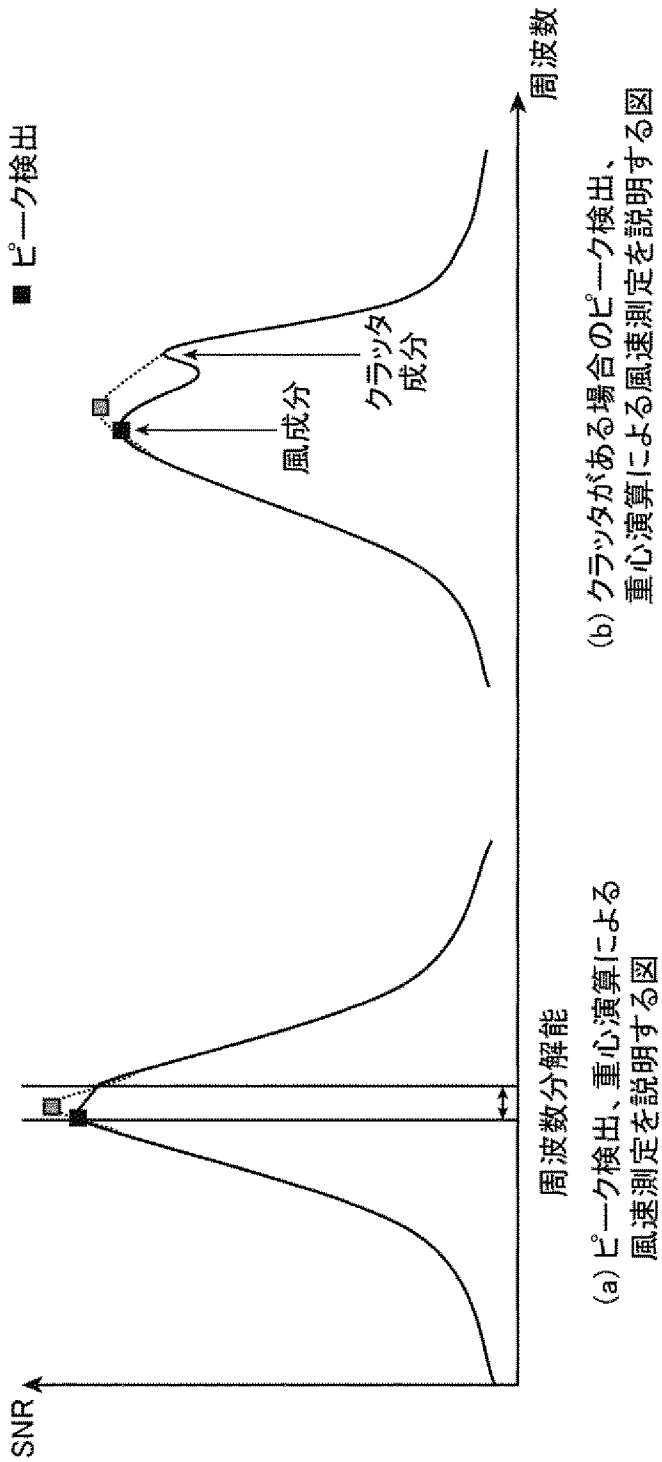
[図15]


パルス1
パルス2
パルスN
周波数
周波数
周波数
各レンジビンにおいてインコヒーレント積算を行う
レンジビン

[図16]


SNR
標準偏差(風速幅)
周波数
平均(ドップラ速度＝風速)

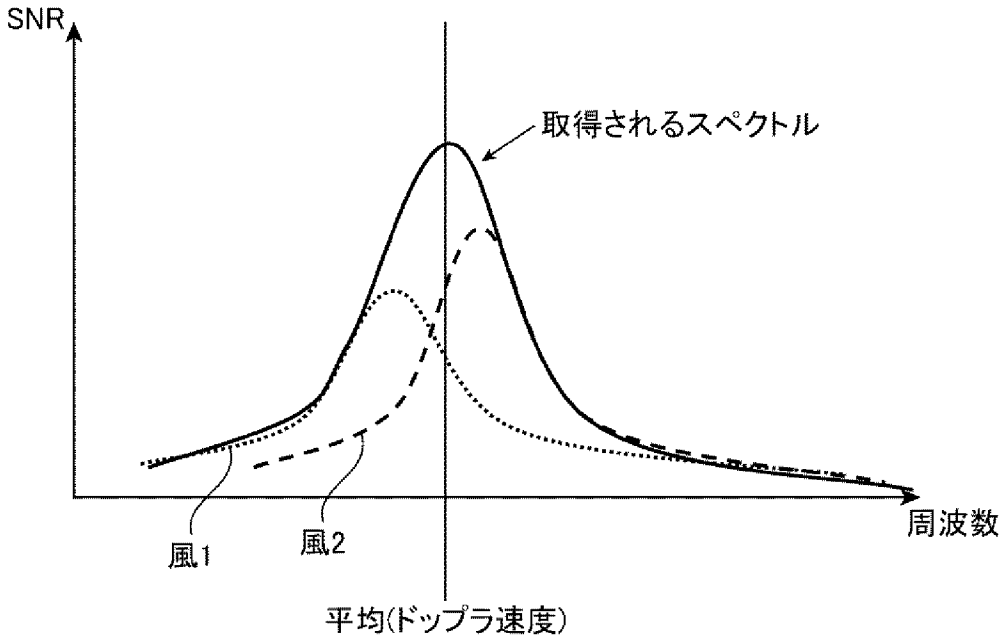
[図17]



(a) ピーク検出、重心演算による風速測定を説明する図

(b) クラッタがある場合のピーク検出、重心演算による風速測定を説明する図

[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/063692

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01S17/95(2006.01)i, *G01P5/00*(2006.01)i, *G01W1/00*(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)
G01S13/00-17/95, G01P5/00-5/22, G01W1/00-1/18

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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.
Y A	JP 2006-284260 A (Mitsubishi Electric Corp.), 19 October 2006 (19.10.2006), paragraphs [0009] to [0016]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1,3,5,6 2,4
Y A	JP 3-252581 A (Mitsubishi Electric Corp.), 11 November 1991 (11.11.1991), page 2, lower right column, line 9 to page 3, upper left column, line 16; fig. 1 & US 5132688 A column 3, line 29 to column 4, line 23; fig. 2	1,3,5,6 2,4
Y A	JP 2008-51541 A (Mitsubishi Electric Corp.), 06 March 2008 (06.03.2008), paragraph [0015] (Family: none)	1,3,5,6 2,4

☒ 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 30 July, 2013 (30.07.13)	Date of mailing of the international search report 13 August, 2013 (13.08.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/063692

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2010-271058 A (Mitsubishi Electric Corp.), 02 December 2010 (02.12.2010), paragraph [0031] (Family: none)	1,3,5,6 2,4
Y A	JP 8-184666 A (Omron Corp.), 16 July 1996 (16.07.1996), paragraph [0038] (Family: none)	1,3,5,6 2,4

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／０６３６９２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01S17/95(2006.01)i, G01P5/00(2006.01)i, G01W1/00(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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01S13/00-17/95, G01P5/00-5/22, G01W1/00-1/18

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	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３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	関連する請求項の番号
Y A	JP 2006-284260 A（三菱電機株式会社）2006.10.19, 【０００９】－【００１６】、【図１】－【図３】（ファミリーなし）	1,3,5,6 2,4
Y A	JP 3-252581 A（三菱電機株式会社）1991.11.11, 第２ページ右下欄第９行－第３ページ左上欄第１６行、第１図 & US 5132688 A, column 3 line 29-column 4 line 23, Fig.2	1,3,5,6 2,4
Y A	JP 2008-51541 A（三菱電機株式会社）2008.03.06, 【００１５】（ファミリーなし）	1,3,5,6 2,4

☑　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	国際調査報告の発送日
３０．０７．２０１３	１３．０８．２０１３

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）　２Ｓ　４００１
三田村　陽平
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５８

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	関連する請求項の番号
Y A	JP 2010-271058 A (三菱電機株式会社) 2010.12.02, 【００３１】(ファミリーなし)	1,3,5,6 2,4
Y A	JP 8-184666 A (オムロン株式会社) 1996.07.16, 【００３８】(ファミリーなし)	1,3,5,6 2,4