

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公 開 特 許 公 報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2008-14939
(P2008-14939A)

(43) 公開日 平成20年1月24日(2008.1.24)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 W 1/12 (2006.01)	GO 1 W 1/12 B	2 GO 6 5
GO 1 J 1/02 (2006.01)	GO 1 J 1/02 U	
GO 1 J 1/42 (2006.01)	GO 1 J 1/42 J	
GO 1 J 1/04 (2006.01)	GO 1 J 1/04 B	
GO 1 J 1/06 (2006.01)	GO 1 J 1/06 A	
審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 21 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2007-151865 (P2007-151865)	(71) 出願人	390030395
(22) 出願日	平成19年6月7日 (2007.6.7)		英弘精機株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2006-159088 (P2006-159088)		東京都渋谷区笹塚二丁目1番6号
(32) 優先日	平成18年6月7日 (2006.6.7)	(71) 出願人	506195675
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		高村 民雄
			千葉県千葉市緑区あすみが丘7-29-13
		(74) 代理人	100079108
			弁理士 稲葉 良幸
		(74) 代理人	100093861
			弁理士 大賀 真司
		(74) 代理人	100109346
			弁理士 大貫 敏史
		最終頁に続く	

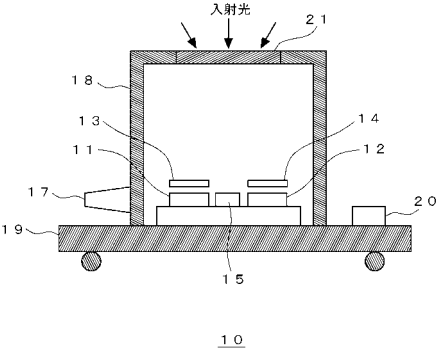
(54) 【発明の名称】 日射計測システム、日射計測用のプログラム

(57) 【要約】

【課題】簡素な構成の装置構成を用いて日射に関連する計測を行うことを可能とする技術を提供すること。

【解決手段】本発明の可視域日射計測システムは、可視光範囲における受光感度が高い第1及び第2の受光器と、前記第1の受光器の受光面の上側に配置され、前記可視光範囲の下限側の第1の値を超える波長の光を通過させる第1の光学フィルターと、前記第2の受光器の受光面の上側に配置され、前記可視光範囲の上限側の第2の値を超える波長の光を通過させる第2の光学フィルターと、を含む日射センサーと、前記第2の受光器の出力値に対して前記第1の受光器と前記第2の受光器との感度差を補正する係数を乗算し、当該乗算結果を前記第1の受光器の出力値から減算する演算手段と、を備えることを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

可視光範囲における受光感度が高い第 1 及び第 2 の受光器と、前記第 1 の受光器の受光面の上方に配置され、前記可視光範囲の下限側の第 1 の値を超える波長の光を通過させる第 1 の光学フィルターと、前記第 2 の受光器の受光面の上方に配置され、前記可視光範囲の上限側の第 2 の値を超える波長の光を通過させる第 2 の光学フィルターと、を含む日射センサーと、

前記第 2 の受光器の出力値に対して前記第 1 の受光器と前記第 2 の受光器との感度差を補正する係数を乗算し、当該乗算結果を前記第 1 の受光器の出力値から減算する演算手段と、

10

を備えることを特徴とする日射計測システム。

【請求項 2】

回動自在に構成された所定幅の半円状の帯体と、前記帯体を一定の速度で回転させる制御手段と、を含むシャドーバンド装置を更に備え、

前記日射センサーが前記シャドーバンド装置の前記帯体の半円の中心に設置される、請求項 1 に記載の日射計測システム。

【請求項 3】

前記日射センサーは、近赤外範囲における受光感度が高い第 3 の受光器を更に含み、

前記演算手段は、前記第 2 の受光器の出力値に対して前記第 1 の受光器と前記第 2 の受光器との感度差を補正する係数を乗算し、当該乗算結果を前記第 1 の受光器の出力値から減算し、当該減算結果に対して第 1 の感度常数を乗算し、かつ当該乗算結果と、前記第 3 の受光器の出力値に対して第 2 の感度常数を乗算した結果とを加算する、

20

請求項 1 又は 2 のいずれかに記載の日射計測システム。

【請求項 4】

可視光範囲における受光感度が高い第 1 及び第 2 の受光器と、前記第 1 の受光器の受光面の上方に配置され、前記可視光範囲の下限側の第 1 の値を超える波長の光を通過させる第 1 の光学フィルターと、前記第 2 の受光器の受光面の上方に配置され、前記可視光範囲の上限側の第 2 の値を超える波長の光を通過させる第 2 の光学フィルターと、を含む日射センサーと、

回動自在に構成された所定幅の半円状の帯体と、前記帯体を回転させる駆動手段と、を含むシャドーバンド装置と、

30

を備え、

前記日射センサーが前記シャドーバンド装置の前記帯体の半円の中心に設置される、ことを特徴とする日射計測システム。

【請求項 5】

少なくとも演算手段及び記憶手段を含むコンピュータに、請求項 4 に記載の日射計測システムから出力される前記第 1 及び第 2 の受光器の各出力値を用いた情報処理を行わせるためのプログラムであって、

前記演算手段に、

(a) 前記第 1 及び前記第 2 の受光器の各出力値を前記記憶手段に格納するステップ、

40

(b) 前記第 2 の受光器の出力値に対して前記第 1 の受光器と前記第 2 の受光器との感度差を補正する係数を乗算し、当該乗算結果を前記第 1 の受光器の出力値から減算するステップ、

を実行させることを特徴とする、日射計測用のプログラム。

【請求項 6】

前記演算手段に、

(c) 前記ステップ (b) の演算結果に対し、所定の感度常数を乗算するステップ、を更に実行させることを特徴とする、請求項 5 に記載の日射計測用のプログラム

【請求項 7】

前記演算手段に、

50

(d) 前記第 1 及び第 2 の受光器の少なくとも一方の出力値の差分を算出するステップ

(e) 前記ステップ (d) で算出した前記差分に基づいて、太陽光が遮蔽される際の前記帯体の回転角度を求め、当該回転角度に基づいて太陽高度角 h を算出し、可視直達日射量を求めるステップ、

を更に実行させることを特徴とする、請求項 5 又は 6 の何れかに記載の日射計測用のプログラム。

【請求項 8】

前記ステップ (e) は、前記差分の極大値と極小値の間に挟まれた中間点に対応する前記回転角度を前記太陽光が遮蔽される際の前記帯体の回転角度とする、

10

ことを特徴とする、請求項 7 に記載の日射計測用のプログラム。

【請求項 9】

少なくとも演算手段及び記憶手段を含むコンピュータに、請求項 4 に記載の日射計測システムから出力される前記第 1 及び第 2 の受光器の各出力値を用いた情報処理を行わせるためのプログラムであって、

前記演算手段に、

(a) 前記シャドーバンド装置の前記帯体が回転した際に得られた前記第 1 の受光器及び前記第 2 の受光器の各々の出力値を前記記憶手段に格納するステップ、

(b) 前記第 2 の受光器の出力値に対して前記第 1 の受光器と前記第 2 の受光器との感度差を補正する係数を乗算し、当該乗算結果を前記第 1 の受光器の出力値から減算し、当該減算結果に対して所定の感度常数を乗算するステップ、

20

(c) 前記ステップ (b) の演算結果を、太陽高度角 h の正弦 $\sin(h)$ で除算するステップ、

の各々を実行させることによって可視直達日射量を計測する、日射計測用のプログラム

【請求項 10】

前記演算手段に、

(d) 前記可視直達日射量 $F_{vis}(D)$ は、既知量である地球太陽間距離 R 、大気外における波長 λ における放射量 (既知量) I 。および大気路程 m に対して下記計算式によって表され、

30

【数 5】

$$F_{vis}(D) = \frac{1}{R^2} \int_{395}^{695} I_{0\lambda} \times \exp(-m\tau_{\lambda}) d\lambda \quad \cdots(5)$$

大気の光学的厚さ τ は、下記計算式によって表され、

【数 6】

$$\tau_{\lambda} = \tau_{r\lambda} + \tau_{o\lambda} + \tau_{a\lambda} + \tau_{w\lambda} \quad \cdots(6)$$

40

空気分子の散乱による光学的厚さ τ_r および、オゾンの吸収による光学的厚さ τ_o の各々は既知量として扱い、水蒸気に起因する光学的厚さ τ_w は無視できる量として扱うことができ、 τ_a は、エアロゾルの光学的厚さの波長依存性 $\tau_{a\lambda}$ と光学的厚さ τ_a との関係式として下記のように表され、

【数 7】

$$\tau_{a\lambda} = \beta \left(\frac{\lambda}{0.5} \right)^{-\alpha} \quad \dots(7)$$

前記(5)式における の項に、 $\tau_{a\lambda}$ 、 $\tau_{s\lambda}$ 、及び前記(7)式によって表された $\tau_{a\lambda}$ のそれぞれを代入することにより、前記可視直達日射量 $F_{vis}(D)$ が前記 および前記 の2変数の関数として表されることに基づいて、

前記可視直達日射量 $F_{vis}(D)$ の計測値に対して、前記 および前記 を可変に設定しながら最小二乗法による演算を行うことにより、前記可視直達日射量に対する前記光学の厚さ の値を算出するステップ、

を更に実行させる、請求項10に記載の日射計測用のプログラム。

【請求項11】

前記演算手段に、

(e)前記ステップ(d)で算出された前記光学の厚さ を用い、前記(7)式に基づいて各波長における $\tau_{a\lambda}$ を算出させるステップ、

(f)前記ステップ(e)で算出された前記各波長における $\tau_{a\lambda}$ を用い、前記(6)式に基づいて各波長における $\tau_{s\lambda}$ を算出するステップ、

(g)前記ステップ(f)において算出された $\tau_{s\lambda}$ を用い、分光日射量 $I_{\lambda} = (1 - \tau_{s\lambda} / R^2) \times I_0 \cdot \exp(-\tau_{s\lambda} \cdot m)$ を算出するステップ、

を更に実行させる、請求項10に記載の日射計測用のプログラム。

【請求項12】

(h)前記ステップ(g)における分光日射量 I_{λ} と比視感度 $V(\lambda)$ との積を可視光範囲において積分し、当該積分結果に所定の常数 K_m を乗じることによって照度を算出するステップ、

を更に実行させる、請求項11に記載の日射計測用のプログラム。

【請求項13】

(i)前記ステップ(g)における分光日射量 I_{λ} と、 $1/hc$ (ただし、 h はプランク定数、 c は光速)との積を可視光範囲において積分することによって光子数を算出するステップ、

を更に実行させる、請求項11に記載の日射計測用のプログラム。

【請求項14】

可視光範囲における受光感度が高い第1及び第2の受光器と、前記第1の受光器の受光面の上方に配置され、前記可視光範囲の下限側の第1の値を超える波長の光を通過させる第1の光学フィルターと、前記第2の受光器の受光面の上方に配置され、前記可視光範囲の上限側の第2の値を超える波長の光を通過させる第2の光学フィルターと、近赤外範囲における受光感度が高い第3の受光器と、を含む日射センサーと、

回動自在に構成された所定幅の半円状の帯体と、前記帯体を回転させる駆動手段と、を含むシャドーバンド装置と、

を備え、

前記日射センサーが前記シャドーバンド装置の前記帯体の半円の中心に設置される、ことを特徴とする日射計測システム。

【請求項15】

少なくとも演算手段及び記憶手段を含むコンピュータに、請求項14に記載の日射計測システムから出力される前記第1乃至第3の受光器の各出力値を用いた情報処理を行わせるためのプログラムであって、

前記演算手段に、

(a)前記第1乃至第3の受光器の各出力値を前記記憶手段に格納するステップ、

(b)前記第2の受光器の出力値に対して前記第1の受光器と前記第2の受光器との感

10

20

30

40

50

度差を補正する係数を乗算し、当該乗算結果を前記第 1 の受光器の出力値から減算するステップ、

- (c) 前記ステップ (b) の演算結果に対し、第 1 の感度常数を乗算するステップ、
 - (d) 前記第 3 の受光器の出力値に対し、第 2 の感度常数を乗算するステップ、
- を実行させることを特徴とする、日射計測用のプログラム。

【請求項 16】

少なくとも演算手段及び記憶手段を含むコンピュータに、請求項 14 に記載の日射計測システムから出力される前記第 1 乃至第 3 の受光器の各出力値を用いた情報処理を行わせるためのプログラムであって、

前記演算手段に、

(a) 前記シャドーブンド装置の前記帯体が回転した際に得られた前記第 1 の受光器乃至第 3 の受光器の各々の出力値を前記記憶手段に格納するステップ、

(b) 前記第 2 の受光器及び前記第 3 の受光器の各出力値に対してそれぞれ所定の感度常数を乗算するステップ、

(c) 前記ステップ (b) の各乗算結果を、それぞれ太陽高度角 h の正弦 $\sin(h)$ で除算するステップ、

の各々を実行させることによって、近赤外、長波長側のそれぞれの帯域の直達日射量を計測し、

(d) 前記第 2 の受光器の出力値に対応する直達日射量 () は、既知量である大気外における波長 における放射量 I_0 。に対して下記関係式によって表され、

【数 10】

$$\int_{695}^{1100} I_{\lambda} d\lambda = \frac{1}{R^2} \int_{695}^{1100} I_{0\lambda} \exp(-(\tau_{r\lambda} + \tau_{0\lambda} + \tau_{a\lambda} + \tau_{w\lambda})m) d\lambda \quad \cdots(10)$$

空気分子の散乱による光学的厚さ τ_r 、オゾンの吸収による光学的厚さ τ_0 。及びエアロゾルに起因する光学的厚さ τ_a の各々は既知量として扱い、前記 (10) 式に対して τ_r 、 τ_0 。及び τ_a のそれぞれを代入することにより当該 (10) 式における未知数が τ_w のみとなることに基いて、前記 (10) 式の左辺に前記第 2 の受光器の出力値を代入し、前記 (10) 式の左辺において τ_w の値を可変に設定しながら最小二乗法による演算を行うことにより前記 (10) 式における τ_w の最適値を算出するステップ、

(e) 前記第 3 の受光器の出力値に対応する直達日射量 () は、既知量である大気外における波長 における放射量 I_0 。に対して下記関係式によって表され、

【数 11】

$$\int_{900}^{1800} I_{\lambda} d\lambda = \frac{1}{R^2} \int_{900}^{1800} I_{0\lambda} \exp(-(\tau_{r\lambda} + \tau_{0\lambda} + \tau_{a\lambda} + \tau_{w\lambda})m) d\lambda \quad \cdots(11)$$

空気分子の散乱による光学的厚さ τ_r 、オゾンの吸収による光学的厚さ τ_0 。及びエアロゾルに起因する光学的厚さ τ_a の各々は既知量として扱い、前記 (11) 式に対して τ_r 、 τ_0 。及び τ_a のそれぞれを代入することにより当該 (11) 式における未知数が τ_w のみとなることに基いて、前記 (11) 式の左辺に前記第 3 の受光器の出力値を代入し、前記 (11) 式の左辺において前記 τ_w の値を可変に設定しながら最小二乗法による演算を行うことにより、前記 (11) 式における τ_w の最適値を算出するステップ、

を実行させる、日射計測用のプログラム。

【請求項 17】

前記演算手段に、

(f) 予め求められ、前記記憶手段に格納されている可降水量と τ_w との関係を示す検量線のデータを参照し、前記 (10) 式における τ_w の、前記 (11) 式における τ_w

10

20

30

40

50

のそれぞれに対応する可降水量を求めるステップ、
を更に実行させる、請求項 16 に記載の日射計測用のプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、日射計測技術に関する。

【背景技術】

【0002】

太陽放射は主に可視光領域と近赤外光領域からなる。このうち、可視領域は、植物の成長に欠かせない光合成有効放射（以後「PAR」と略記する）領域であり、一方、人の生活空間においては照度として考慮される。これらの量の取り扱いでは、可視領域日射に対してPARや照度に対応するスペクトル感度で重み付けが必要である。前者の場合はホトン（光子）の作用曲線であり後者の場合は比視感度曲線である。従来技術では、それぞれに対する測定法が開発され実用化されているが、基本は可視領域の日射量（エネルギー量）である。

【0003】

地上で受ける太陽放射は、直達日射と散乱日射により構成され、大気構成物質に依存してそのスペクトル特性および散乱光角度特性が異なる。このため精度の高い光環境の計測には、全天日射（直達日射＋散乱日射）のほかに両成分を別々に計測する必要がある場合がある。一方、大気構成要素による日射量への影響は、これらの量の計測から大気構成要素を推定することが可能になる。可視部の直達日射は大気構成要素による減衰を直接受けることから、これにより大気の光学的厚さ（減衰の指標）を決定する事が出来、さらに其の主要な要素であるエアロゾルの量の評価を行う事ができる。また、近赤外域の直達日射からは、同様に影響の大きな大気中の可降水量（大気カラムで積算した水蒸気量）の決定が可能となる。

【0004】

従来の技術では、PARや照度の計測に関して、直達、散乱、全天日射の各成分を別々に計測するか、又は単にその一部を共用する方法は実用化されているが、すべてをまとめて統一的に測定する手法と装置は存在しない。このため、従来の方法では対応するそれぞれの計測器が必要となり、システム価格が高価で、必然的に設置面積も大きく、しかも連続計測を行う為の保守にも莫大な人手とコストがかかった。

【0005】

全天日射量、直達日射量、散乱日射量（これらは、一部の気象官署で限定的に計測している）と、上述の照度やPARとの間には、大気構成要素に依存する非線形の関係が成り立つが、これらの一方を計測して他方を推定するには経験に基づく変換手段が必要となり、大気状態の適切な把握なしには、この段階で変換誤差を生じる不都合があった。また、これらの変換に影響を与えるエアロゾルや可降水量の計測では、通常の全天・散乱日射量から求めることは難しく、従来の技術では独立した専用の計測器を必要とした。

【0006】

【特許文献1】特開2003-254823号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

そこで、本発明は、簡素な構成の装置構成を用いて日射に関連する計測を行うことを可能とする技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の日射計測システムは、

可視光範囲における受光感度が高い第1及び第2の受光器と、前記第1の受光器の受光面の側面に配置され、前記可視光範囲の下限側の第1の値を超える波長の光を通過させる

10

20

30

40

50

第 1 の光学フィルターと、前記第 2 の受光器の受光面の upper 側に配置され、前記可視光範囲の upper 側の第 2 の値を超える波長の光を通過させる第 2 の光学フィルターと、を含む日射センサーと、

前記第 2 の受光器の出力値に対して前記第 1 の受光器と前記第 2 の受光器との感度差を補正する係数を乗算し、当該乗算結果を前記第 1 の受光器の出力値から減算する演算手段と、

を備えることを特徴とする。

【0009】

また、上記の日射計測システムは、

回動自在に構成された所定幅の半円状の帯体と、前記帯体を例えば一定の速度で回転させる制御手段と、を含むシャドーバンド装置を更に備え、

前記日射センサーが前記シャドーバンド装置の前記帯体の半円の中央に設置されることが好ましい。

【0010】

また、上記の日射計測システムの前記日射センサーは、近赤外範囲における受光感度が高い第 3 の受光器を更に含むことが好ましい。

【0011】

第 2 の態様の本発明は、

可視光範囲における受光感度が高い第 1 及び第 2 の受光器と、前記第 1 の受光器の受光面の upper 側に配置され、前記可視光範囲の lower 側の第 1 の値を超える波長の光を通過させる第 1 の光学フィルターと、前記第 2 の受光器の受光面の upper 側に配置され、前記可視光範囲の upper 側の第 2 の値を超える波長の光を通過させる第 2 の光学フィルターと、を含む日射センサーと、

回動自在に構成された所定幅の半円状の帯体と、前記帯体を例えば一定の速度で回転させる駆動手段と、を含むシャドーバンド装置と、

を備え、前記日射センサーが前記シャドーバンド装置の前記帯体の半円の中央に設置される、

ことを特徴とする日射計測システムである。

【0012】

第 3 の態様の本発明は、

少なくとも演算手段及び記憶手段を含むコンピュータに、上記第 2 の態様の日射計測システムから出力される前記第 1 及び第 2 の受光器の各出力値を用いた情報処理を行わせるためのプログラムであって、

前記演算手段に、

(a) 前記第 1 及び前記第 2 の受光器の各出力値を前記記憶手段に格納するステップと、
(b) 前記第 2 の受光器の出力値に対して前記第 1 の受光器と前記第 2 の受光器との感度差を補正する係数を乗算し、当該乗算結果を前記第 1 の受光器の出力値から減算するステップと、

を実行させることを特徴とする、日射計測用のプログラムである。

【0013】

上記の日射計測用プログラムは、

前記演算手段に、

(c) 前記ステップ (b) の演算結果に対し、所定の感度常数を乗算するステップ、
を更に実行させることが好ましい。

【0014】

上記の日射計測用プログラムは、

前記演算手段に、

(d) 前記第 1 及び第 2 の受光器の少なくとも一方の出力値の差分を算出するステップと、

(e) 前記ステップ (d) で算出した前記差分に基づいて、太陽光が遮蔽される際の前記

帯体の回転角度を求め、当該回転角度に基づいて太陽高度角 h を算出するステップと、
を更に実行させることが好ましい。

【0015】

また、上記のステップ(e)は、前記差分の極大値と極小値の間に挟まれた中間点に対応する前記回転角度を前記太陽光が遮蔽される際の前記帯体の回転角度とする、ことが更に好ましい。

【0016】

第4の態様の本発明は、

可視光範囲における受光感度が高い第1及び第2の受光器と、前記第1の受光器の受光面の
上側に配置され、前記可視光範囲の下限側の第1の値を超える波長の光を通過させる
第1の光学フィルターと、前記第2の受光器の受光面の
上側に配置され、前記可視光範囲
の上限側の第2の値を超える波長の光を通過させる第2の光学フィルターと、近赤外範囲
における受光感度が高い第3の受光器と、を含む日射センサーと、

10

回動自在に構成された所定幅の半円状の帯体と、前記帯体を例えば一定の速度で回転させる
駆動手段と、を含むシャドーバンド装置と、

を備え、

前記日射センサーが前記シャドーバンド装置の前記帯体の半円の中心に設置される、
ことを特徴とする日射計測システムである。

【0017】

第5の態様の本発明は、

少なくとも演算手段及び記憶手段を含むコンピュータに、上記第4の態様の日射計測シ
ステムから出力される前記第1及び第2の受光器の各出力値を用いた情報処理を行わせる
ためのプログラムであって、

20

前記演算手段に、

(a) 前記第1及び前記第2の受光器の各出力値を前記記憶手段に格納するステップと、
(b) 前記第2の受光器の出力値に対して前記第1の受光器と前記第2の受光器との感度
差を補正する係数を乗算し、当該乗算結果を前記第1の受光器の出力値から減算するス
テップと、

(c) 前記ステップ(b)の演算結果に対し、第1の感度常数を乗算するステップと、

(d) 前記第3の受光器の出力値に対し、第2の感度常数を乗算するステップと、

30

を実行させることを特徴とする、日射計測用のプログラムである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、本発明の好適な実施形態の一例について図面を参照しながら説明する。

【0019】

図1は、本発明を適用した一実施形態の日射センサー(日射計)の構成を示す模式断面
図である。図2は、日射センサー内における受光器の配置状態を示す模式平面図である。
図1に示すように、本実施形態の日射センサー10は、2つの受光器11、12と、これ
らの受光器11、12の上部にそれぞれ配置された光学フィルター13、14と、受光器
15と、各受光器11、12及び受光器15の検出信号を取り出すための端子を備えたコ
ネクタ部17と、受光器11、12、光学フィルター13、14および受光器15を収容
する筐体18と、これら筐体18等を支持する台座19と、台座19に取り付けられた水
準器20と、筐体18の上部に取り付けられた光拡散板21と、を含んで構成されている
。筐体18は遮光性の部材からなり、外界からの光は光拡散板21を通過して筐体18の内
部へ入射し、それ以外の箇所からは筐体18の内部へ入射しない構造となっている。各受
光器11、12、15は、太陽光が入射する側(図中、上側)、より詳細には光拡散板2
1の方向に受光面を向け、適当な間隔を空けて配置されている(図2参照)。光拡散板2
1は、各受光器11、12、15に入射する光の指向性を解消するために配置されている
。外界からの入射光はこの光拡散板21を通過することによって拡散された後に筐体18
内に入射する。

40

50

【 0 0 2 0 】

各受光器 1 1、1 2 は、主に可視光の領域を中心にして、概ね 3 5 0 ~ 1 1 0 0 n m 程度の波長領域に感光波長領域（第一の感光波長領域）を有する。各受光器 1 1、1 2 の好適な一例としては S i ホトダイオードを用いることができる。また、受光器 1 5 は、赤外光の領域（概ね 9 0 0 ~ 1 8 0 0 n m 程度の波長領域）に感光波長領域（第二の感光波長領域）を有する。受光器 1 5 の好適な一例としては I n G a A s ホトダイオードを用いることができる。各受光器 1 1、1 2、1 5 としてホトダイオードを採用した結果、日射センサー 1 0 の小型化が達成される。例えば、高さ約 6 c m、半径 4 c m の円筒状のコンパクトな日射センサー 1 0 を実現することができる。この日射センサー 1 0 の小型化は、後述する回転シャドーバンドをコンパクト化することにも直結する非常に重要なポイントとなる。

10

【 0 0 2 1 】

光学フィルター 1 3 は、受光器 1 1 の上部、より詳細には受光器 1 1 の受光面と拡散板 2 1 との間の適当な位置に配置されている。この光学フィルター 1 3 は、短波長側の第 1 の値（本例では 3 9 5 n m）よりも長い波長の光を透過するカットオフフィルターである。本実施形態では、概ね 3 9 5 n m ~ 2 3 0 0 n m の波長範囲の光を通す光学フィルター 1 3 を用いる。光拡散板 2 1 を通して筐体 1 8 内に入射した光は、この光学フィルター 1 3 を通って受光器 1 1 に受光される。なお、以後の説明においては、この光学フィルター 1 3 が装着された受光器 1 1 のことを「S i + 3 9 5」と標記する場合もある。

20

【 0 0 2 2 】

光学フィルター 1 4 は、受光器 1 2 の上部、より詳細には受光器 1 2 の受光面と拡散板 2 1 との間の適当な位置に配置されている。この光学フィルター 1 4 は、上記の第 1 の値よりも長波長側の第 2 の値（本例では 6 9 5 n m）よりも大きい波長の光を透過するカットオフフィルターである。本実施形態では、概ね 6 9 5 n m ~ 2 3 0 0 n m の波長範囲の光を通す光学フィルター 1 4 を用いる。光拡散板 2 1 を通して筐体 1 8 内に入射した光は、この光学フィルター 1 4 を通って受光器 1 2 に受光される。なお、以後の説明においては、この光学フィルター 1 4 が装着された受光器 1 2 のことを「S i + 6 9 5」と標記する場合もある。

【 0 0 2 3 】

ここで、各々の光学フィルター 1 3、1 4 の透過特性に各受光器 1 1、1 2 のスペクトル感度を掛け合わせたスペクトル特性を図 3 に示す。更に図 4 に、二種類の受光器 1 1、1 2（センサー“S i + 3 9 5”と“S i + 6 9 5”）の出力差により決まる可視部日射センサーのスペクトル特性を示す。これらの図からもわかる通り、各受光器 1 1、1 2 の出力の差分を求めることにより、可視部（可視領域）におけるスペクトル特性は近似的にフラット（平坦）となる。この出力差より決定される可視部の日射量 F_{vis} は次式で示される。

30

【数 1】

$$F_{vis} = \{E_{si+395} - C \times E_{si+695}\} \times K_{395,695} \quad \cdots(1)$$

40

【 0 0 2 4 】

上記（1）式において、 E_{si+395} は受光器 1 1 からの出力（例えば電圧値）、 E_{si+695} は受光器 1 2 からの出力（例えば電圧値）、を示す。C は各受光器 1 1、1 2 の感度を揃えるための係数であり、近赤外部のみ（受光器 1 2 のスペクトル領域に対応する）に強度を有する人工光源を用いて決定される。また、 $K_{395,695}$ は放射量に換算するための感度常数である。この感度常数 $K_{395,695}$ は全波長域にフラットな感度を持つ熱型の二台の全天日射計に各々 3 9 5 n m と 6 9 5 n m のカットオフフィルターを装着し、その差より得られる可視部の日射量を規準として決定される。その結果の一例を図 5 に示す。

【 0 0 2 5 】

50

次に、全波長域の日射 F_{total} は下記の (2) 式に基づいて求める事ができる。

【数 2】

$$F_{total} = F_{vis} + E_{InGaAs} \times K_{InGaAs} \quad \cdots(2)$$

【0026】

ここで上記 (2) 式において、 E_{InGaAs} は InGaAs ホトダイオードからなる受光器 15 の出力 (例えば電圧値)、 F_{vis} は先に求めた可視部の日射量である。 K_{InGaAs} は感度常数である。この感度常数 K_{InGaAs} は全天日射量を規準として可降水量の関数として決める事ができる。可視部及び全波長域における直達放射量に対しても同様な手法により感度常数を決める事ができる。

10

【0027】

次に、上述の図 2 に示した 3 個の受光器 11、12、15 により構成される日射センサー 10 を用いて、直達成分と散乱成分及び全天日射量を求める手法について説明する。本手法では、図 6 に示すように日射センサー 10 とシャドーバンド 30 とを組み合わせる。具体的には、図 6 に示すシャドーバンド 30 は、所定幅を有する帯状部材 (帯体) を半円状に成型したものであり、その一端が駆動機構 31 に固定されている。駆動機構 31 を介して駆動力を与えることにより、シャドーバンド 30 は予め設定した例えば一定周期で且つ例えば一定速度で 200 度回転し、全天を走査する。上記日射センサー 10 は、シャドーバンド 30 の回転軸の中心であって当該シャドーバンド 30 以外の機材の影響を受けない位置に水平受感面が配置される。この日射センサー 10 とシャドーバンド 30 とを組み合わせたシステム (日射計測システム) は、シャドーバンド 30 の回転軸が南北の方角に沿うように設置される。シャドーバンド 30 の幅は定義に基づき決められる。シャドーバンドについては、例えば文献 “Lee Harison, Josef Michalsky, and Jeery Berndt, Automated multifilter rotating shadow-band radiometer: an instrument for optical depth and radiation measurements. Appl.Opt. 33, 5118-5125 (1994)” に詳しい。

20

【0028】

シャドーバンド 30 は、予め設定したプログラムに従って動作する。この動作は制御ボックス 32 に組み込まれた制御部と制御モータ (後述する)、及びこの制御モータの動力をシャドーバンド 30 に伝達する駆動機構 31 により実現される。図 7 に、シャドーバンド 30 の回転軸方向に正対して見たとき (図 6 中の a 方向から見たとき) の観測時のバンドの動作状況の一例を示す。まず、シャドーバンド 30 は、水平面下 10 度の東位置 H_e に停止する。測定に要する時間 (例えば 30 秒間) の間はこの状態が保たれ、この間に上記の 3 個の受光器 11、12、15 を用いた全天日射量 (直達 + 散乱) の計測が行われる。次に、シャドーバンド 30 は例えば一定の回転速度で走査を始める (図示の T の状態)。このシャドーバンド 30 が走査中に太陽を捕える位置となった際には、シャドーバンド 30 によって直達光が遮られ、各受光器 11、12、15 に入射しなくなるので、散乱光部分のみが観測される。シャドーバンド 30 は更に回転し、反対側の水平面下 10 度の西位置 H_w に達して停止し、再度全天日射量を計測後、反転し元の東位置 H_e に戻る。この間の走査時間は例えば 16 秒程度である。よって、本実施形態の日射計測システムによれば、30 秒程度の時間ごとに一回の間隔でデータを収集する事ができる。この観測時間は、必要に応じて可変にすることが可能であり、各受光器 11、12、15 の時定数に対応して最適値を設定することが可能で、多様な受光器に対応するよう汎用性を持っている。

30

40

【0029】

ここで、日射センサー 10 及びシャドーバンド 30 を含んで構成される計測システムの制御系統の構成を図 8 に示すブロック図に基づいて説明する。シャドーバンド 30 を動作させる駆動機構 31 には、制御ボックス内の駆動モータ 34 から動力が伝達される (図 6 も参照)。この駆動モータ 34 には、制御部 33 から制御信号が与えられ、その動作が制

50

御される。制御部 33 は、例えばシャドールバンド 30 の制御用にカスタマイズされた専用マイクロプロセッサ等からなる演算部や、この演算部で実行される制御用のプログラムや各種データ等を記憶する記憶部などを含んで構成される。なお、CPU (central processing unit)、ROM (read only memory)、RAM (random access memory) 等を含んで構成される汎用的なコンピュータと、当該コンピュータに実行させるプログラムと、を含んで制御部 33 が構成されていてもよい。制御ボックス 32 には、上述のように日射センサー 10 に含まれる各受光器 11、12、15 の各々による検出信号が入力される。制御ボックス 32 内の制御部 33 は、各受光器 11、12、15 の出力信号をデジタルデータに変換する。この出力信号のデジタルデータは、制御ボックス 32 に接続されたコンピュータ 50 に送られる。制御ボックス 32 とコンピュータ 50 との間の接続には、例えば 10
USB、IEEE 1394、RS-232C 等の通信規格に適應した通信ケーブルが用いられる。コンピュータ 50 は、例えば汎用的なパーソナルコンピュータ (ノートブック型、デスクトップ型などのいずれでもよい) であり、演算部 (演算手段) としての CPU 51、記憶部 (記憶手段) としての ROM 52、RAM 53、メディアドライブ 54 及びハードディスクドライブ (HDD) 55、操作部 56、表示部 57、通信インタフェース (IF) 58、を含んで構成される。このコンピュータ 50 は、予めインストールされ、HDD 55 に記憶されている所定のプログラムが CPU 51 によって実行され、制御ボックス 32 から通信 IF 58 を介して取得されるデータを用いて各種の演算が行われる。演算内容については後述する。上記のメディアドライブ 54 は、例えば CD 或いは DVD 等の光学ディスクに対する情報の読み出し / 書き込み可能なディスクドライブからなる。 20

【0030】

次に、直達日射の有無の判定方法と太陽高度の決定方法について図 9 を参照しながら説明する。なお、以下の情報処理は、コンピュータ 50 の CPU 51 が所定のプログラムを実行することによって行われる。図 9 に黒点で示されるデータは、所定時間毎 (例えば 20 m 秒毎) に、受光器 11 又は受光器 12 から取り込まれる出力信号 (例えば電圧信号) の一例である。この出力信号のデジタルデータは、上記のように制御ボックス 32 からコンピュータ 50 に引き渡され、HDD 55 あるいは RAM 53 に格納される。

【0031】

CPU 51 は、HDD 55 又は RAM 53 から上記の黒点で示される出力信号のデータを読み出し、隣り合ったデータ間の差分 (すなわち微係数) を算出する。この算出結果のデータが図 9 に白抜き点で示されている。算出結果は、HDD 55 あるいは RAM 53 に格納される。なお、この微係数の算出は、少なくとも A 点より C 点まで (シャドールの実質的影響のないところ) について行われれば足りる。次に CPU 51 は、この差分 (微係数) のデータの最大値と最小値 (直達放射が遮蔽される状態) の差を算出し、当該算出結果が経験的に決まる閾値より大きい場合は直達日射あり (日照あり) と判定する。 30

【0032】

また、CPU 51 は、図 9 に示す A 点と C 点のそれぞれ近傍データの平均値 (例えば近傍各 3 点の平均値) と、そのほぼ中心点 B の平均値 (同様に例えば近傍 3 点の平均値) とを算出し、算出結果を HDD 55 または RAM 53 に格納する。この A 点または C 点における平均値と B 点における平均値との差分の算出結果が直達成分となる (図 9 参照)。より好ましくは、CPU 51 は、当該算出結果が所定の閾値より大きいかな否かを判定し、大きい場合に、算出結果を直達成分として HDD 55 あるいは RAM 53 に格納する。逆に低い (小さい) 場合は直達日射なしと判断し、0 と記録される。閾値を導入する事により直達日射の定義を明確にする事ができた。また、CPU 51 は、スキャン開始直後シャドールバンド 30 が水平面以下でのデータ (図 9 中の左端側に黒点で示すデータ) と 180 回転後のデータ (図 9 中の右端側に黒点で示すデータ) の各々を 10 点程度サンプリングし、それら平均することによって全天日射成分を求めるまた、CPU 51 は、散乱成分については、全天日射成分と直達成分の差を演算することにより散乱成分を求める。 40

【0033】

以上の手法を用いて、可視域、近赤外域および全波長域の各波長域ごとに、直達成分、 50

散乱成分および全天日射成分を求める。具体的には、可視域（可視部）については、CPU 51は、各受光器11、12の出力電圧を取得し、これらに基づいて上記手法によって直達成分、散乱成分および全天日射成分に対応する数値（電圧値）を求める。次にCPU 51は、上記（1）式に基づく演算（感度常数の乗算等）を各成分について行う。それにより、可視域に関しての直達成分、散乱成分および全天日射成分が得られる。また、CPU 51は、受光器15の出力電圧を取得し、これに基づいて上記手法によって直達成分、散乱成分および全天日射成分に対応する数値（電圧値）を求める。次にCPU 51は、上記（1）式に基づく演算を各成分について行う。それにより、近赤外域に関しての直達成分、散乱成分および全天日射成分が得られる。また、CPU 51は、可視域および近赤外域の各々に関する直達成分、散乱成分および全天日射成分をそれぞれ毎に足し合わせる。それにより、全波長域に関しての直達成分、散乱成分および全天日射成分が得られる。このように本実施形態によれば、3個の受光器11、12、15の各出力値を用いて、9種類の日射量（各波長域ごとの直達成分、散乱成分および全天日射成分）が容易に得られる。

【0034】

ところで、上記した方法によって求めた可視直達日射量の垂直成分に基づき、太陽に正対した方向よりの日射量である可視直達日射量 $F_{vis}(D)$ は次の関係より求めることができる。

【数3】

$$F_{vis}(D) = \{E_{si+395} - C \times E_{si+695}\} \times K_{395,695} \times \frac{1}{\sin(h)} \quad \cdots(3)$$

【0035】

ここで、上記関係式における h は太陽高度角である。本実施形態では、この太陽高度角 h について、図9に示す測定データに基づいて算出した結果と、測定地点の緯度と測定時間（この場合は直達日射を遮蔽した瞬間）及び予め用意されている当日の赤緯の情報から算出される結果と、を比較して、両者の一致性により最終的に高度角 h を決定する。例えば、CPU 51は、両者の誤差を求め、当該誤差が所定値より小さければ、測定データに基づいて得られた高度角 h が妥当なものと判断する。なお、図9のB点においては、シャドーバンド30が水平以下にある時に計測される全天日射量よりも僅かに少ない放射量が観測される。この減少量はシャドーバンド30によって天空の一部が遮蔽されるためである。

【0036】

まず、測定データに基づく場合の算出方法について説明する。CPU 51は、シャドーバンド30を回転させる際に、制御ボックス32の制御部33が駆動モータ34に対して与えたパルス数のデータを制御部33から取得する。そして、CPU 51は、水平から図9のB点までの間に相当するパルス数を計数し、この計数したパルス数に基づいて回転角度を求める。すなわち、シャドーバンド30が1パルスあたりどの程度回転するかは予め定まるので、CPU 51は、この1パルスあたりの回転角度と、B点までに与えたパルス数とを乗算することにより、回転角度を求める。このようにして求められた回転角度が太陽高度角 h となる。

【0037】

次に、当日の赤緯の情報等に基づく算出方法について説明する。この場合の太陽高度角 h は例えば次式によって求められる。

【数4】

$$\sin(h) = \sin(\delta) \sin(\theta) + \cos(\delta) \cos(\theta) \cos(\omega) \quad \cdots(4)$$

ここで、 h は上記のように太陽高度角である。 ϕ は赤緯であり測定日が決まれば理科年表等に基づいて定まる。 δ は測定地点の緯度である。 θ は時角であり、正午がゼロ、午前中はプラスの値、午後はマイナスの値となる。一計算例を示すと、12月27日における赤緯 ϕ は-23.37度、東京（測定地点）の緯度 δ は35.68度、午前11時10分における時角 θ は+13.5度であり、これを上記関係式に代入すると、太陽高度角は $h = 29.58$ 度と算出される。

【0038】

以上のようにして求めた太陽高度角 h と、各受光器 11、12 の出力値とを上記(3)式に代入することにより、可視部における日射量（直達日射成分）である $F_{vis}(D)$ が求められる。また、全波長域日射については式(2)と組合せる事により同様な関係が得られる。

【0039】

次に、上記のようにして求めた可視直達日射量 $F_{vis}(D)$ を用いて、エアロゾルの光学的厚さを求める手法について説明する。

【0040】

可視直達日射量 $F_{vis}(D)$ は、下記の式により表すことができる。

【数5】

$$F_{vis}(D) = \frac{1}{R^2} \int_{395}^{695} I_{0\lambda} \times \exp(-m\tau_{\lambda}) d\lambda \quad \dots(5)$$

20

ここで、 R は地球太陽間距離（天文単位）、 I_0 は大気外における波長 λ における放射量で既知の量である。 m は大気路程である。この m と太陽高度 h との間には近似的に $m = 1 / \sin(h)$ の関係がある。積分範囲395~695は可視部の波長範囲（単位：nm）を示す。なお、この波長範囲は一例であり、380~780程度の範囲内（単位：nm）において適宜設定することができる。また、 τ_{λ} は大気的光学的厚さ（消散係数の鉛直積分値）である。

【0041】

上記の τ_{λ} は下記の要因よりなる。

30

【数6】

$$\tau_{\lambda} = \tau_{r\lambda} + \tau_{o\lambda} + \tau_{a\lambda} + \tau_{w\lambda} \quad \dots(6)$$

ここで、 $\tau_{r\lambda}$ は空気分子の散乱による光学的厚さで、高度補正する事が可能で既知量として取り扱える。 $\tau_{o\lambda}$ はオゾンの吸収に因る光学的厚さで、場所的に大きな変動は少なく且つ極めて薄いので、TOMS等衛星から得られる月平均値で表現できる。 $\tau_{w\lambda}$ は水蒸気（可降水量）に起因する光学的厚さであり、可視部で顕著な吸収がないことから晴天時には無視する事ができる。そして、残る $\tau_{a\lambda}$ がエアロゾルによる光学的厚さである。 $\tau_{r\lambda}$ 、 $\tau_{o\lambda}$ 、 $\tau_{w\lambda}$ 及び $\tau_{a\lambda}$ の数値例を図10に示す。

40

【0042】

エアロゾルの波長 $0.5 \mu m$ （500nm）における光学的厚さ $\tau_{a0.5}$ と消散係数 β_a との間には下記の関係（Angstromの関係）がある。

【数7】

$$\tau_{a\lambda} = \beta_a \left(\frac{\lambda}{0.5} \right)^{-\alpha} \quad \dots(7)$$

ここで、 λ は波長、 α はエアロゾルの光学的厚さの波長依存性であり、過去のデータよ

50

り 0.5 ~ 1.5 程度の間で変動する事がわかっている。上記の (5) 式の左辺は観測される可視域での直達日射量であり、右辺の未知数は、オゾン、気圧が既知であれば、式 (7) の $\phi(\lambda)$ の 2 変数のみとなる。このことから、観測される可視域の直達日射量を利用してエアロゾルの光学的厚さ τ_a を推定することが可能となる。この時、 $\phi(\lambda)$ の値を変えながら得られる τ_a の変動の幅を、推定されるエアロゾルの光学的厚さの推定誤差とする。具体的には、一定の予想される範囲の $\phi(\lambda)$ の値を仮定し、(5) 式に基づき直達日射量 ($F_{vis}(\lambda, \tau_a)$) を推算することができる。CPU 51 は、変数 $\phi(\lambda)$ 及び τ_a に対する ($F_{vis}(\lambda, \tau_a)$) から最小二乗法を用いた演算を行い、測定した直達日射量から最適の光学的厚さ τ_a を決定する。 τ_a は 0.5 μm でのエアロゾルの光学的厚さであり、かつエアロゾルの大気カラムでの総量に直結する物理量である。

10

【0043】

以上に説明した、本実施形態の 0.5 μm におけるエアロゾルの光学的厚さを求める手法の流れを図 11 に示す。処理の流れを概説すると以下の通りである。まず、CPU 51 は、各受光器 11、12 の出力 (デジタルデータ) を制御ボックス 32 内の制御部 33 から取得する (ステップ S10)。次に、CPU 51 は、受け取った各受光器 11、12 の出力に基づいて、可視直達日射量 $F_{vis}(D)$ を算出する (ステップ S11)。算出方法の詳細は上述した通りである。その後、CPU 51 は、算出した可視直達日射量と上記の各関係式 (5) ~ (7) に基づいて、光学的厚さ τ_a を算出する (ステップ S12)。算出方法の詳細は上述した通りである。

20

【0044】

上記した本実施形態の手法により求められたエアロゾルの光学的厚さの妥当性を検証するために、波長別の直達日射量から光学的厚さの測定ができるサンフォトメータによる結果と比較した。その比較結果を図 12 に示す。それによると、本発明による結果はサンフォトメータを用いた測定結果とよい一致を示している。

【0045】

次に、光合成有効放射量 (PAR) 及び照度について求める手法を説明する。PAR および照度は、可視部の全天日射量そのものであり全エネルギーとして直接計測されるので、光子数や照度単位に変換するためには、この量に適切に変換係数を掛ければ容易に求めることができる。さらに精度よく求めるためには、求めた 0.5 μm におけるエアロゾルによる大気的光学的厚さを用いて波長別に放射量を計算し、このスペクトル放射量に PAR の作用曲線や照度に対する比視感度曲線を掛け合わせれば、正確にこれらを決定することができる。

30

【0046】

具体的には、上記のように $\phi(\lambda)$ が各波長について決まるので、上記 (5) 式の右辺の積分する前の量、すなわち分光日射量 ($I_0(\lambda)$) が各波長について既知となる。すなわち、上述したように、 $\phi(\lambda)$ が決まると式 (7) により各波長における τ_a が決まる。よって式 (6) により $I_0(\lambda)$ が計算できる。 m は計測されるので、各波長における分光日射量 ($I_0(\lambda)$) = $(1/R^2) \times I_0 \cdot \exp(-\tau_a \cdot m)$ が計算できる。これに波長に対する特性曲線 (比視感度曲線) を作用させ、単位変換のための常数 K_m (683 lx / W · m²) をかければ照度が決まる。比視感度 $V(\lambda)$ の波長ごとの数値例を図 13 に示す。CPU 51 は、以下の計算式に基づいて照度 L を算出する。

40

【数 8】

$$L = K_m \int_{380}^{780} \phi(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad \cdots(8)$$

【0047】

また、光子数 N は以下の計算式に基づいて CPU 51 によって算出できる。

【数 9】

$$N = \int_{400}^{700} \frac{\lambda}{hc} \phi(\lambda) d\lambda \quad \cdots(9)$$

ここで、 N は光子数、 h はプランクの常数 ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$)、 c は光速 ($2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$)、 λ は波長 (nm)、 $\phi(\lambda)$ は分光日射量である。ここで、 $\lambda / hc = 1/h$ であり、 $\phi(\lambda)$ は振動数である。上記(9)式は、分光日射量を波長で重み付けし、波長における光子としてのエネルギーで割り(除算し)、光子数を積分すると光合成有効放射量(PAR、すなわち可視部の日射量)内における光子の量となる。ただし、光子数 N は非常に大きい数となるので、実用的には、この光子数 N を常数 6.022×10^{17} で除算した数 $n (= N / \mu E)$ を用いることもできる。ここで、 $\mu E = 6.022 \times 10^{17}$ (マイクロアインシュタイン)であり、 $6.022 \times 10^{23} = 1 E$ (アボガドロ数)である。以上の演算はCPU51によって行われる。

【0048】

次に、可降水量の測定法について説明する。水蒸気は、 $0.94 \mu\text{m}$ (940 nm) 及び $1.4 \mu\text{m}$ (1400 nm) 前後の波長に顕著な吸収帯を持っている。これらの吸収帯は、本実施形態の日射センサー10に含まれる各受光器のうち、受光器12 (Si+695) 及び受光器15 (InGaAs) の中心感度内にそれぞれ含まれている。よって、可降水量はこれら両者の計測量、すなわち 695 nm 以上の直達日射量から、CPU51による演算によって決定することができる。すなわち、シャドーバンドを備えた受光器12及び受光器15の両センサーから得られる近赤外直達日射量は可降水量に第一義的に依存している。可降水量の測定フローを図14に示す。上述した(5)式及び(6)式をそれぞれの波長領域に適用すると、受光器12の出力からはこの領域の平均の $a_{\lambda} + w_{\lambda}$ が求められ、また受光器15の出力からは同様に w_{λ} (通常エアロゾルはこの領域でほとんど無視できる) が求められる。上記(6)式の a_{λ} が既に決められており更に a_{λ} (光学的厚さ) も決まっているので、残る w_{λ} が決定できる。この事は2種類の波長帯域においてそれぞれ w_{λ} が求まる事を意味する。この w_{λ} は可降水量のみによる直達日射量の減衰量(すなわち光学的厚さ)である。一方、マイクロ波放射計(WVR-1100)を用いることにより、可降水量を直接計測することができるので、両者で大気を同時観測することにより検量線を作成できる。すなわち、 w_{λ} と可降水量の回帰係数を求めて検量線を作成することができる。

【0049】

図14に示す可降水量の測定フローについて更に具体的に説明する。上述したように、分光日射量は $I(\lambda) = (1/R^2) \times I_0 \cdot \exp(-m)$ と表される。ここで、大気的路程 m は、太陽高度 h に対して、 $m = 1/\sin(h)$ と表される。また、 a_{λ} は、上記(6)式に示した通りに表される。その数値例は図10に示した通りである。ここでは、 a_{λ} (オゾンによる光学的厚さ) と r_{λ} (空気分子による散乱) は既知として取り扱う。具体的には、 a_{λ} および r_{λ} については図10に示した数値を用いる。また、 a_{λ} (エアロゾルによる光学的厚さ) については、上記(7)式に基づいて求められる数値を用いる。具体的には、上記のようにして求められた $0.5 \mu\text{m}$ でのエアロゾルの光学的厚さと、それを求めた際のエアロゾルの光学的厚さの波長依存性の各数値を(7)式に代入し、かつ、波長 λ を代入することにより、 a_{λ} が求められる。一方、 w_{λ} (水蒸気による光学的厚さ) については、図10に示したのは代表的な数値であり、この数値を日射センサーの出力値に基づいて求める方法を以下に説明する。

【0050】

上述した図10にも示したように、水蒸気による吸収は、 $0.7 \mu\text{m}$ (700 nm) より短波長域には存在せず、 $0.7 \mu\text{m}$ より長い帯域で起こる(図15参照)。上述したように、光学フィルター14が装着された受光器12 (Si+695) は概ね $0.695 \mu\text{m} \sim 1.1 \mu\text{m}$ の間に感度帯を有し、受光器15は概ね $0.9 \mu\text{m} \sim 1.8 \mu\text{m}$ の間に感度帯を有する。これらの

感度帯の帯域においては、図 1 5 に示したように、 $0.94\mu\text{m}$ と $1.1\mu\text{m}$ 及び $1.4\mu\text{m}$ を中心として水蒸気による吸収帯があり、かつ、可降水量に依存して吸収の深さが変わる。言い換えると、各々の帯域の日射量は可降水量に大きく依存することになる。

これを関係式で示すと、光学フィルター 1 4 が装着された受光器 1 2 (S i + 6 9 5) については以下ようになる。

【数 1 0】

$$\int_{695}^{1100} I_{\lambda} d\lambda = \frac{1}{R^2} \int_{695}^{1100} I_{0\lambda} \exp(-(\tau_{r\lambda} + \tau_{0\lambda} + \tau_{a\lambda} + \tau_{w\lambda})m) d\lambda \quad \cdots(10)$$

10

ここで、左辺は測定されるこの帯域での直達日射量、すなわち光学フィルター 1 4 が装着された受光器 1 2 の出力値に対して所定の感度常数を乗じ、太陽高度角 h の正弦 $\sin(h)$ で除算した値である。上述の (3) 式も参照されたい。また、右辺の a は上述したように (7) 式に基づいて決まる値であり、ここでは既知と扱う。また、 r および 0 は前述したように既知である。したがって (1 0) 式における未知数は w のみとなる。よって、受光器 1 2 の出力値と、既に求められた a 、既知の r および 0 のそれぞれの数値を用いて、C P U 5 1 が (1 0) 式に基づく数値計算を行うことにより w が求められる。具体的には、未知数が 1 つであるので、例えば最小二乗法に基づく数値計算を行うことによって、この帯域 (695 ~ 1100 n m) における w を求めることができる。

20

同様に、受光器 1 5 については以下の関係式で表される。

【数 1 1】

$$\int_{900}^{1800} I_{\lambda} d\lambda = \frac{1}{R^2} \int_{900}^{1800} I_{0\lambda} \exp(-(\tau_{r\lambda} + \tau_{0\lambda} + \tau_{a\lambda} + \tau_{w\lambda})m) d\lambda \quad \cdots(11)$$

ここで、左辺は測定されるこの帯域での直達日射量、すなわち受光器 1 5 の出力値に対して所定の感度常数を乗じ、太陽高度角 h の正弦 $\sin(h)$ で除算した値である。上述の (3) 式も参照されたい。右辺の a は上述したように (7) 式に基づいて決まる値であり、ここでは既知として扱う。また、 r および 0 は前述したように既知である。したがって (1 1) 式における未知数は w のみとなる。よって、受光器 1 5 の出力値と、既に求められた a 、既知の r および 0 のそれぞれの数値を用いて、C P U 5 1 が (1 1) 式に基づく数値計算を行うことによって w が求められる。具体的には、未知数が 1 つであるので、例えば最小二乗法に基づく数値計算を行うことにより、この帯域 (900 ~ 1800 n m) における w を求めることができる。

30

ただし、(1 0) 式、(1 1) 式のそれぞれに基づいて求められた各帯域ごとの w は、水蒸気による光学的厚さであるが可降水量そのものではない。そこで、予め、これらの日射量を計測する際に、可降水量を直接計測できるマイクロ波放射計で決定し、両者の相関関係 (検量線) をデータとして R O M 5 2、R A M 5 3 又は H D D 5 5 に記憶させておく。ここでいう「データ」とは、各日射量に対する数値そのものであってもよいし、相関関係を表す関係式 (例えば近似式) であってもよい。このように、予め求められた相関関係のデータ (数値又は関係式) を記憶手段としての R O M 5 2 等に記憶させておくことにより、本実施形態に係る日射計測システムのユーザは、高価なマイクロ波放射計を用いることなく、相関関係に基づいて、日射量測定より可降水量を求めることができる。

40

【 0 0 5 1】

以上説明したように、本実施形態によれば、受光器 (ホトダイオード) 3 個を組込んだ簡単な構成の日射センサーと回転シャドーバンドの組み合わせにより、直達、散乱、全天日射量及び各々の波長帯別 (全波長、可視、近赤外) の日射量、P A R、照度、エーロゾルの光学的厚さ、可降水量を求めることができる。

【 0 0 5 2】

50

また、受光器として応答速度の速いホトダイオードの採用により、30秒に一回の時間分解能の高い測定値が得られる。

【0053】

更に、従来使用されていた熱型（熱電堆型）の日射計に本質的に付きまとった感度劣化を避けることが可能となり、長期間安定した測定結果を得ることができる。

【0054】

また、装置（システム）全体の設置に必要な面積も狭く、かつ一般的な従来製品に比較して設置面積を約1/10程度に軽減できる。しかも、構造が簡易であるため保守も簡単である。

【0055】

更に、直達日射成分を検出するときに、受光器の出力の微係数を利用する方法を採用することにより、シャドーバンドによる直達日射計測の測定精度を向上させる事ができる。

【0056】

また、PARや照度をそれぞれに計測する専用センサーは実用化されているが各々の前記作用曲線に近似した光学フィルターを装着した製品で精度的に多少の不足があったが、本実施形態ではより精度の高い測定が実現化される。

【0057】

なお、上記した実施形態においてコンピュータ50において行われていた演算処理を制御ボックス32で行うようにシステムを構成してもよい。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図1】図1は、本発明を適用した一実施形態の日射センサー（日射計）の構成を示す模式断面図である。

【図2】図2は、日射センサー内における受光器の配置状態を示す模式平面図である。

【図3】図3は、各々の光学フィルターの透過特性に各受光器のスペクトル感度を掛け合わせたスペクトル特性を示す図である。

【図4】図4は、二種類の受光器の出力差により決まる可視部日射センサーのスペクトル特性を示す図である。

【図5】図5は、基準日射量と日射センサーの出力の関係を示す図である。

【図6】図6は、日射センサーとシャドーバンドを組み合わせたシステムの構成を示す模式図である。

【図7】図7は、シャドーバンドの回転軸方向に正対して見たとき（図6中のa方向から見たとき）の観測時のバンドの動作状況の一例を示す図である。

【図8】図8は、日射センサー及びシャドーバンドを含んで構成される計測システムの制御システムの構成を説明する図である。

【図9】図9は、直達日射の有無の判定方法と太陽高度の決定方法について説明する図である。

【図10】図10は、空気分子の散乱による光学的厚さ τ 、オゾンの吸収に因る光学的厚さ σ 、水蒸気に起因する光学的厚さ ω 、及びエアロゾルによる光学的厚さ α の数値例を示す図である。

【図11】図11は、0.5 μ mにおけるエアロゾルの光学的厚さを求める手法の流れを示す図である。

【図12】図12は、本実施形態の手法により求められたエアロゾルの光学的厚さの妥当性を検証するために、波長別の直達日射量から光学的厚さの測定ができるサンフォトメータによる結果と比較した結果を示す図である。

【図13】図13は、比視感度 $V(\lambda)$ の波長ごとの数値例を示す図である。

【図14】図14は、可降水量の測定フローを示す図である。

【図15】図15は、水蒸気による吸収について説明する図である。

【符号の説明】

【0059】

10

20

30

40

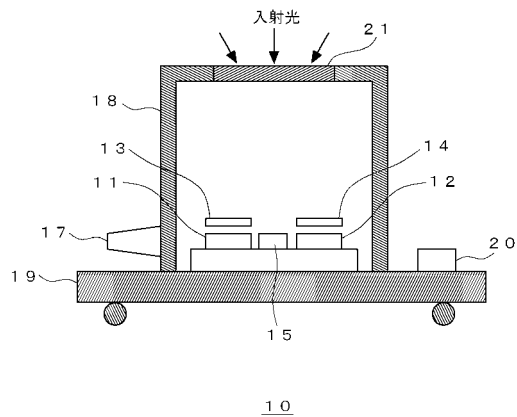
50

- 1 0 日射センサー
- 1 1 受光器
- 1 2 受光器
- 1 3 光学フィルター
- 1 4 光学フィルター
- 1 5 受光器
- 1 7 コネクタ部
- 1 8 筐体
- 1 9 台座
- 2 0 水準器
- 2 1 拡散板
- 3 0 シャドーバンド
- 3 1 駆動機構
- 3 2 制御ボックス
- 3 3 制御部
- 3 4 駆動モータ
- 5 0 コンピュータ
- 5 1 C P U
- 5 2 R O M
- 5 3 R A M
- 5 4 メディアドライブ
- 5 5 H D D (ハードディスクドライブ)
- 5 6 操作部
- 5 7 表示部

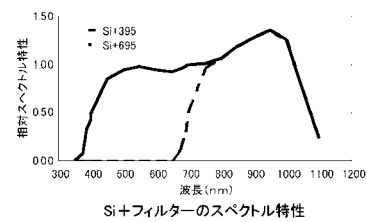
10

20

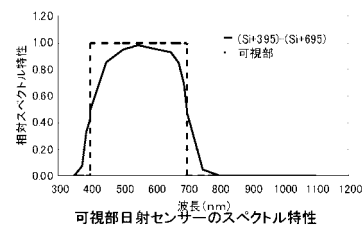
【図 1】



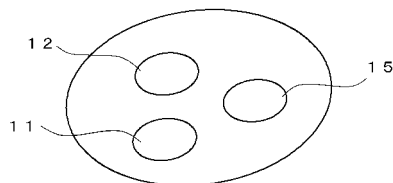
【図 3】



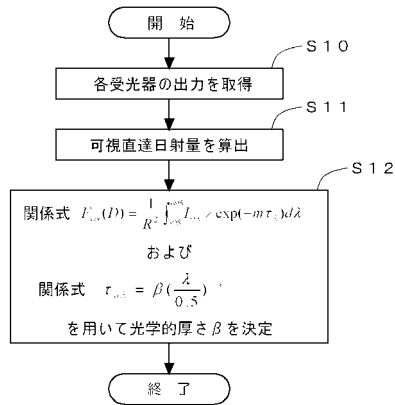
【図 4】



【図 2】



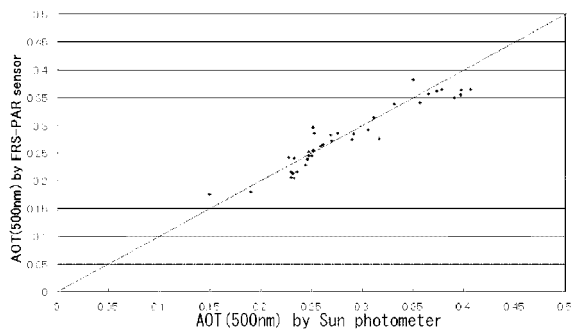
【図 1 1】



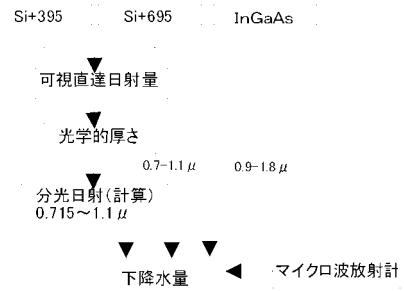
【図 1 3】

波長(nm)	比視感度V(λ)	波長(nm)	比視感度V(λ)
380	0.00004	590	0.757
390	0.00012	600	0.631
400	0.0004	610	0.503
410	0.0012	620	0.381
420	0.004	630	0.265
430	0.0116	640	0.175
440	0.023	650	0.107
450	0.038	660	0.061
460	0.06	670	0.032
470	0.091	680	0.017
480	0.139	690	0.0082
490	0.208	700	0.0041
500	0.323	710	0.0021
510	0.503	720	0.00105
520	0.71	730	0.00052
530	0.862	740	0.00025
540	0.954	750	0.00012
550	0.995	760	0.00006
560	0.995	770	0.00003
570	0.952	780	0.000015
580	0.87		

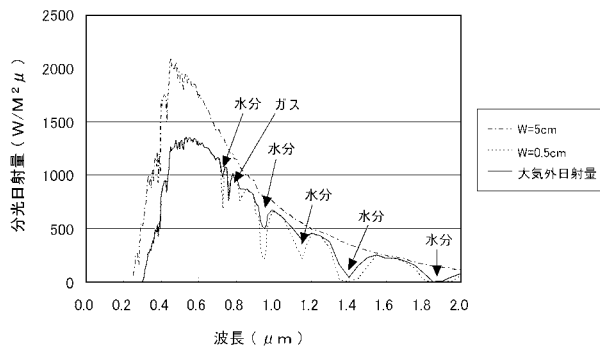
【図 1 2】



【図 1 4】



【図 1 5】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
G 0 1 W 1/12 D

(72)発明者 長谷川 壽一
東京都渋谷区笹塚 2 - 1 - 6 笹塚センタービル 英弘精機株式会社内

(72)発明者 平下 幸治
東京都渋谷区笹塚 2 - 1 - 6 笹塚センタービル 英弘精機株式会社内

(72)発明者 高村 民雄
千葉県千葉市緑区あすみが丘 7 - 2 9 - 1 3

F ターム(参考) 2G065 AA15 AB02 AB04 BA09 BA37 BB21 BB25 BC13 BC15 BC33
BC35