

(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
2017 年 3 月 2 日(02.03.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/033792 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 21/64 (2006.01) A01G 7/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/073845
- (22) 国際出願日: 2016 年 8 月 15 日(15.08.2016)
- (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 2015-167581 2015 年 8 月 27 日(27.08.2015) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人北海道大学 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION HOKKAIDO UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒0600808 北海道札幌市北区北 8 条西 5 丁目 Hokkaido (JP).
- (72) 発明者: 加藤 知道(KATO Tomomichi); 〒0600808 北海道札幌市北区北 8 条西 5 丁目 国立大学法人北海道大学内 Hokkaido (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命

ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

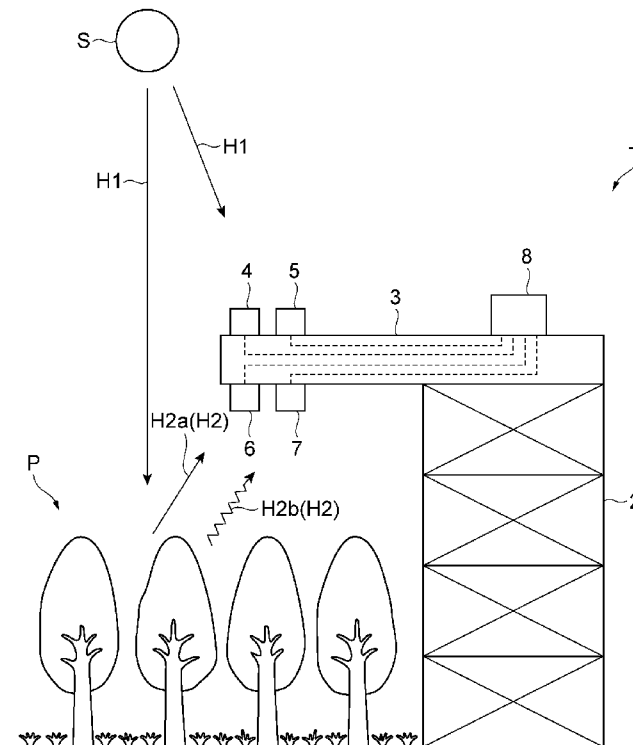
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: CHLOROPHYLL FLUORESCENCE MEASURING DEVICE

(54) 発明の名称: クロロフィル蛍光測定装置



(57) Abstract: This chlorophyll fluorescence measuring device 1 is provided with: first and second measuring units 4 and 5 which receive sunlight H1 and acquire the irradiance of the sunlight H1 in a first wavelength band B1 and a second wavelength band B2 respectively; third and fourth measuring units 6 and 7 which receive, from a plant P, light H2 containing chlorophyll fluorescence, and acquire the irradiance of the light H2 from the plant P in the first wavelength band B1 and the second wavelength band B2 respectively; and a calculating unit 8 which calculates a fifth irradiance F_s , which is the irradiance of the chlorophyll fluorescence, on the basis of each irradiance. The first wavelength band B1 is a wavelength band including a wavelength corresponding to a certain Fraunhofer line, and is a wavelength band included in the chlorophyll fluorescence wavelength region, and the second wavelength band B2 is a wavelength band contained within a region extending a specific wavelength region from the first wavelength band B1.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/033792 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

クロロフィル蛍光測定装置 1 は、太陽光 H 1 を受光して、太陽光 H 1 の第 1 及び第 2 の波長帯域 B 1, B 2 における各放射照度を取得する第 1 及び第 2 の測定部 4, 5 と、クロロフィル蛍光を含む植物 P からの光 H 2 を受光して、植物 P からの光 H 2 の第 1 及び第 2 の波長帯域 B 1, B 2 における各放射照度を取得する第 3 及び第 4 の測定部 6, 7 と、各放射照度に基づいて、クロロフィル蛍光の放射照度である第 5 の放射照度 F_s を算出する演算部 8 と、を備え、第 1 の波長帯域 B 1 は、 Fraunhofer 線に対応する波長を含む波長帯域であり、且つ、クロロフィル蛍光の波長範囲内に含まれる波長帯域であり、第 2 の波長帯域 B 2 は、第 1 の波長帯域 B 1 から所定の波長範囲内に含まれる波長帯域である。

明 細 書

発明の名称：クロロフィル蛍光測定装置

技術分野

[0001] 本発明は、クロロフィル蛍光測定装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、植物のクロロフィル（葉緑素）における光合成量を推定する方法として、植物から放射されるクロロフィル蛍光を用いることが知られている。一般に、植物は、太陽光のエネルギーの内の20～80%程度しか光合成に利用できない。植物は、その光合成に利用できなかった太陽光のエネルギーの一部をクロロフィル蛍光（SIF: Sun-Induced Fluorescence）として放射する。クロロフィル蛍光は、植物の光合成量に関する情報を含んでおり、光合成量を推定する方法に用いられる。例えば、特許文献1には、クロロフィル蛍光の強度から推定される植物の光合成量に基づいて、植物の健康状態を診断する方法が記載されている。

[0003] クロロフィル蛍光を用いて光合成量を推定する方法は、個葉や小規模な植物群に限らず、生態系レベルの大規模な植物群にも適用される。このため、上記方法によって、例えば生態系の光合成量を観測することで温室効果ガスであるCO₂の吸収量を正確に把握し、気候変動の予測精度を向上させることが期待されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2012／063455号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、従来の方法では、クロロフィル蛍光を含む光の放射照度が広い波長範囲に亘って測定され、その広い波長範囲の一部よりクロロフィル蛍光の放射照度が取得される。このため、高機能な分光放射計が必要となり

、例えば野外の森林等において分光放射計を多数用いた多点同時観測を行うためには、測定装置の構成が複雑化する場合がある。

[0006] また、従来の方法では、背景に強い太陽光がある場合に、微弱なクロロフィル蛍光のみを検出することが非常に困難である。

[0007] 本発明の一形態は、上記課題に鑑みて為されたものであり、装置構成を簡素化することができ、且つ、太陽光の影響下であっても使用することができるクロロフィル蛍光測定装置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] 上記課題を解決するため、本発明の一形態のクロロフィル蛍光測定装置は、太陽光を受光して、太陽光の第1の波長帯域における放射照度である第1の放射照度を取得する第1の測定部と、太陽光を受光して、太陽光の第2の波長帯域における放射照度である第2の放射照度を取得する第2の測定部と、太陽光が植物によって反射された反射光と、太陽光を受けた植物から放射されたクロロフィル蛍光と、を含んで植物から放射される植物からの光を受光して、植物からの光の第1の波長帯域における放射照度である第3の放射照度を取得する第3の測定部と、植物からの光を受光して、植物からの光の第2の波長帯域における放射照度である第4の放射照度を取得する第4の測定部と、第1、第2、第3及び第4の測定部からそれぞれ第1、第2、第3及び第4の放射照度を取得し、第1、第2、第3及び第4の放射照度に基づいて、クロロフィル蛍光の放射照度である第5の放射照度を算出する演算部と、を備え、第1の波長帯域は、所定のフラウンホーファー線に対応する波長を含む波長帯域であり、且つ、クロロフィル蛍光の波長範囲内に含まれる波長帯域であり、第2の波長帯域は、第1の波長帯域から所定の波長範囲内に含まれる波長帯域である。

[0009] このようなクロロフィル蛍光測定装置によれば、太陽光について、所定のフラウンホーファー線に対応した第1の波長帯域における吸収ピークでの第1の放射照度が、第1の測定部によって測定される。また、太陽光について、所定のフラウンホーファー線に対応していない第2の波長帯域における第

2の放射照度が、第2の測定部によって測定される。また、植物からの光について、所定のフラウンホーファー線に対応した第1の波長帯域における吸収ピークでの第3の放射照度が、第3の測定部によって測定される。また、植物からの光について、所定のフラウンホーファー線に対応していない第2の波長帯域における第4の放射照度が、第4の測定部によって測定される。第2の波長帯域は、第1の波長帯域から所定の波長範囲内に含まれる波長帯域である。従って、第2の波長帯域では、第1の波長帯域に比較して、植物における反射率、透過率及び吸収率が略同一である。このため、演算部は、測定された第1、第2、第3及び第4の放射照度に基づいて、クロロフィル蛍光の放射照度である第5の放射照度を算出できる。よって、装置構成を簡素化することができ、且つ、太陽光の影響下であっても使用することができる。

発明の効果

[0010] 本発明の一形態によれば、装置構成を簡素化することができ、且つ、太陽光の影響下であっても使用することができるクロロフィル蛍光測定装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、本発明の実施形態に係るクロロフィル蛍光測定装置を示す概略構成図である。

[図2]図2は、太陽光及び植物からの光の放射照度を示すグラフである。

[図3]図3は、図2の要部を拡大して模式的に示すグラフである。

[図4]図4は、図1のクロロフィル蛍光測定装置の動作を示す図である。

[図5]図5は、実施例に係るクロロフィル蛍光測定装置によって測定されたクロロフィル蛍光の放射照度の一例を示すグラフである。

[図6]図6は、微気象学的手法によって測定された生態系光合成速度の一例を示すグラフである。

[図7]図7は、図5に係るクロロフィル蛍光の放射照度と図6に係る生態系光合成速度との相関を示すグラフである。

[図8]図8は、変形例に係るクロロフィル蛍光測定装置における放射照度の算出方法を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、図面を参照しつつ本発明に係る観察システムの好適な実施形態について詳細に説明する。

[0013] 図1は、本発明の実施形態に係るクロロフィル蛍光測定装置を示す概略構成図である。図1に示すように、クロロフィル蛍光測定装置1は、太陽Sからの太陽光H1を受光した植物Pが放射するクロロフィル蛍光の放射照度を測定する装置である。クロロフィル蛍光測定装置1は、地表から上方へ立設されたタワー2と、タワー2の上部から側方へ延びるアーム3と、アーム3の先端側に設けられた第1、第2、第3及び第4の測定部4、5、6、7と、第1、第2、第3及び第4の測定部4、5、6、7に対して電氣的に接続された演算部8と、を備える。クロロフィル蛍光測定装置1の測定対象となる植物Pとして、本実施形態では、森林が例示されている。なお、植物Pは、クロロフィルを有し太陽光H1によって光合成を行うものであれば特に限定されず、例えば個葉や小規模な植物群であってもよく、生態系レベルの大規模な植物群であってもよい。

[0014] タワー2は、第1、第2、第3及び第4の測定部4、5、6、7を植物Pよりも鉛直方向に関して高い位置に配置するためのものである。タワー2は、特定の材料や構造に限定されるものではなく、例えば金属製、木製等の骨組みによって構成されていてもよい。

[0015] アーム3は、第1、第2、第3及び第4の測定部4、5、6、7を、植物Pの上方に配置するためのものである。アーム3は、先端側が植物Pの上方に位置するようにタワー2から延びている。

[0016] 第1の測定部4は、太陽光H1を受光して、太陽光H1の第1の波長帯域B1における放射照度である第1の放射照度 E_1 を取得する。第1の測定部4は、第1の波長帯域B1における放射照度のみを測定可能な放射照度計である。一例として、第1の測定部4は、バンドパスフィルタ、フォトダイオー

ド等の光検出素子、及び、オペアンプ等を含む回路を備える構成である。このような第1の測定部4は、バンドパスフィルタを介してフォトダイオードに入射した太陽光H1を電気信号に変換し、当該電気信号をオペアンプ等で構成された回路に入力することによって、第1の波長帯域B1における放射照度のみを測定可能な構成を有している。

[0017] 第1の測定部4は、植物Pの上方に配置されている。また、第1の測定部4は、その受光面がアーム3の先端側において鉛直方向上向きに配置され、水平方向の光よりも上方からの光に対する感度が大きい。つまり、第1の測定部4は、上方からの太陽光H1を受光する一方で、下方からの植物Pから放射される光（植物Pからの光H2）を受光しない。植物Pからの光H2とは、太陽光H1が植物Pによって反射された反射光H2aと、太陽光H1を受けた植物Pから放射されたクロロフィル蛍光H2bと、を含んで植物Pから放射される光である。

[0018] 図2は、太陽光及び植物からの光の放射照度を示すグラフ、図3は、図2の要部を拡大して模式的に示すグラフである。図2及び図3において、破線は、太陽光H1の放射照度のスペクトルを示し、実線は、植物Pからの光H2の放射照度のスペクトルを示す。図1～図3に示すように、植物Pからの光H2の放射照度のスペクトルは、太陽光H1が植物Pによって反射された反射光の放射照度のスペクトルと、太陽光H1を受けた植物Pから放射されたクロロフィル蛍光の放射照度のスペクトルと、を含む。太陽光H1及び植物Pからの光H2の放射照度のスペクトルは、フラウンホーファー線に対応する波長において吸収ピークを有しており、例えばフラウンホーファー線の内のO₂-A線に対応する波長である760nmに吸収ピークを有している。

[0019] 第1の波長帯域B1は、フラウンホーファー線の内のO₂-A線に対応する波長を含む波長帯域であり、より具体的には760nm波長帯域である。また、第1の波長帯域B1は、クロロフィル蛍光の波長範囲（すなわち、650nm～900nm程度の波長）内に含まれる波長帯域である。なお、図3中に示す第1の波長帯域B1は、実際には、760nmを中心波長として、例

例えば10nmの波長の幅を有している。

[0020] 第2の測定部5は、太陽光H1を受光して、太陽光H1の第2の波長帯域B2における放射照度である第2の放射照度 E_2 を取得する。第2の測定部5は、第2の波長帯域B2における放射照度のみを測定可能な放射照度計である。一例として、第2の測定部5は、第1の測定部4と同様な構成を採用することによって、第2の波長帯域B2における放射照度のみを測定可能とされる。

[0021] 第2の測定部5は、植物Pの上方に配置されている。また、第2の測定部5は、その受光面がアーム3の先端側において鉛直方向上向きに配置され、水平方向の光よりも上方からの光に対する感度が大きい。つまり、第2の測定部5は、上方からの太陽光H1を受光する一方で、下方からの植物Pからの光H2を受光しない。

[0022] 第2の波長帯域B2は、第1の波長帯域B1から所定の波長範囲内に含まれる波長帯域である。具体的に、クロロフィル蛍光測定装置1においては、第1の波長帯域B1が760nm波長帯域であることから、第2の波長帯域B2は、例えばその波長帯域から10nm離れた750nm波長帯域とされる。なお、図3中に示す第2の波長帯域B2は、実際には、750nmを中心波長として、例えば10nmの波長の幅を有している。

[0023] 第3の測定部6は、植物Pからの光H2を受光して、植物Pからの光H2の第1の波長帯域B1における放射照度である第3の放射照度 L_1 を取得する。第3の測定部6は、第1の波長帯域B1における放射照度のみを測定可能な放射照度計である。一例として、第3の測定部6は、第1の測定部4と同様な構成を採用することによって、第1の波長帯域B1における放射照度のみを測定可能とされる。

[0024] 第3の測定部6は、植物Pの上方に配置されている。また、第3の測定部6は、その受光面がアーム3の先端側において鉛直方向下向きに配置され、水平方向の光よりも下方からの光に対する感度が大きい。つまり、第3の測定部6は、下方からの植物Pからの光H2を受光する一方で、上方からの太

陽光H 1を受光しない。

[0025] 第4の測定部7は、植物Pからの光H 2を受光して、植物Pからの光H 2の第2の波長帯域B 2における放射照度である第4の放射照度 L_2 を取得する。第4の測定部7は、第2の波長帯域B 2における放射照度のみを測定可能な放射照度計である。一例として、第4の測定部7は、第1の測定部4と同様な構成を採用することによって、第2の波長帯域B 2における放射照度のみを測定可能とされる。

[0026] 第4の測定部7は、植物Pの上方に配置されている。また、第4の測定部7は、その受光面がアーム3の先端側において鉛直方向下向きに配置され、水平方向の光よりも下方からの光に対する感度が大きい。つまり、第4の測定部7は、下方からの植物Pからの光H 2を受光する一方で、上方からの太陽光H 1を受光しない。

[0027] 演算部8は、クロロフィル蛍光の放射照度である第5の放射照度 F_s を算出するためのものである。演算部8は、物理的には、CPU及びメモリを内蔵したパーソナルコンピュータ、マイクロプロセッサ等を含む演算装置等で実現される。演算部8は、タワー2の上部に配置され、第1、第2、第3及び第4の測定部4、5、6、7とケーブルで接続されている。なお、演算部8は、タワー2の上部に配置されていなくてもよく、例えば、タワー2の下部に配置され、第1、第2、第3及び第4の測定部4、5、6、7からタワー2の下部まで延びるケーブルによって第1、第2、第3及び第4の測定部4、5、6、7と接続されていてもよい。

[0028] 演算部8は、第1、第2、第3及び第4の測定部4、5、6、7からそれぞれ第1、第2、第3及び第4の放射照度 E_1 、 E_2 、 L_1 、 L_2 を取得し、第1、第2、第3及び第4の放射照度 E_1 、 E_2 、 L_1 、 L_2 に基づいて、クロロフィル蛍光の放射照度である第5の放射照度 F_s を算出する。演算部8は、第1及び第2の波長帯域B 1、B 2における太陽光H 1の放射照度である第1及び第2の放射照度 E_1 、 E_2 の比を用いて、第5の放射照度 F_s を算出する（比演算）。演算部8は、第1、第2、第3及び第4の放射照度 E_1 、 E_2 、 L_1

、 L_2 を演算式に代入して、第5の放射照度 F_s を算出する。具体的に、演算部8は、第1、第2、第3及び第4の放射照度 E_1 、 E_2 、 L_1 、 L_2 を下記式(1)；

[数1]

$$F_s = \frac{L_1 - \frac{E_1}{E_2} \cdot L_2}{1 - \frac{E_1}{E_2}} \dots (1)$$

に代入して第5の放射照度を算出する。

[0029] 続いて、クロロフィル蛍光測定装置1の動作について説明すると共に、クロロフィル蛍光測定装置1を用いたクロロフィル蛍光の測定方法について詳述する。

[0030] 図2及び図3に示すように、太陽光H1の放射照度は、フラウンホーファー線に対応する波長で吸収されている。これにより、太陽光H1の放射照度のスペクトルには、フラウンホーファー線に対応する波長に吸収ピークが存在している。第1の波長帯域B1は、フラウンホーファー線に対応する波長を含む波長帯域であることから、第1の放射照度 E_1 は吸収ピーク上の放射照度となる。

[0031] これに対し、第2の波長帯域B2は、フラウンホーファー線に対応する波長を含む波長帯域から所定の波長範囲内に含まれる波長帯域であり、特に、フラウンホーファー線に対応する波長とは異なる波長（本実施形態においては、フラウンホーファー線に対応する波長よりも10nm短い波長）を含む波長帯域である。このため、第2の放射照度 E_2 は、吸収ピーク上の放射照度ではない。

[0032] 植物Pからの光H2は、太陽光H1が植物Pによって反射された反射光H2aを含んでいる。この反射光H2aでは、太陽光H1と同様に、第1の波長帯域B1における放射照度は放射照度のスペクトルの吸収ピーク上の放射照度であり、第2の波長帯域B2における放射照度は放射照度のスペクトル

の吸収ピーク上の放射照度ではない。また、植物Pからの光H2は、太陽光H1を受けた植物Pから放射されたクロロフィル蛍光を含んでいる。このクロロフィル蛍光は、第1及び第2の波長帯域B1、B2において、波長に関わらず略一定の値である。以上により、植物Pからの光H2全体としても、太陽光H1と同様に、第1の波長帯域B1における第3の放射照度 L_1 は吸収ピーク上の放射照度となり、第2の波長帯域B2における第4の放射照度 L_2 は吸収ピーク上の放射照度とはならない。

[0033] 図4は、図1のクロロフィル蛍光測定装置の動作を示す図である。図1～図4に示すように、まず、第1及び第2の測定部4、5が太陽光H1を受光して、それぞれ第1及び第2の波長帯域B1、B2における第1及び第2の放射照度 E_1 、 E_2 を取得すると共に、第3及び第4の測定部6、7が植物Pからの光H2を受光して、それぞれ第1及び第2の波長帯域B1、B2における第3及び第4の放射照度 L_1 、 L_2 を取得する（ステップS11）。

[0034] 続いて、演算部8は、ケーブルを介して、第1、第2、第3及び第4の測定部4、5、6、7からそれぞれ第1、第2、第3及び第4の放射照度 E_1 、 E_2 、 L_1 、 L_2 を取得し、式（1）に基づいて演算を行うことにより、第5の放射照度 F_s を算出する（ステップS12）。

[0035] 続いて、演算部8は、算出した第5の放射照度 F_s を、例えば演算部8に接続されたディスプレイに出力する。なお、演算部8は、算出した第5の放射照度 F_s を、他のコンピュータ等に電子データとして出力してもよく、演算部8に接続されたプリンタ等を用いて紙媒体に印刷して出力してもよい（ステップS13）。

[0036] 本実施形態に係るクロロフィル蛍光測定装置1では、太陽光H1について、所定のフラウンホーファー線に対応した第1の波長帯域B1における吸収ピークでの第1の放射照度 E_1 が、第1の測定部4によって測定される。また、太陽光H1について、所定のフラウンホーファー線に対応していない第2の波長帯域B2における第2の放射照度 E_2 が、第2の測定部5によって測定される。また、植物Pからの光H2について、所定のフラウンホーファー線

に対応した第1の波長帯域B1における吸収ピークでの第3の放射照度 L_1 が、第3の測定部6によって測定される。また、植物Pからの光H2について、所定のフラウンホーファー線に対応していない第2の波長帯域B2における第4の放射照度 L_2 が、第4の測定部7によって測定される。第2の波長帯域B2は、第1の波長帯域B1から所定の波長範囲内に含まれる波長帯域である。従って、第2の波長帯域B2では、第1の波長帯域B1に比較して、植物Pにおける反射率、透過率及び吸収率が略同一である。このため、演算部8は、測定された第1、第2、第3及び第4の放射照度 E_1 、 E_2 、 L_1 、 L_2 に基づいて、クロロフィル蛍光の放射照度である第5の放射照度 F_s を算出できる。よって、装置構成を簡素化することができ、且つ、太陽光の影響下であっても使用することができる。

[0037] また、演算部8は、第1、第2、第3及び第4の放射照度 E_1 、 E_2 、 L_1 、 L_2 を演算式に代入して第5の放射照度 F_s を算出する。これにより、演算部8は、第1、第2、第3及び第4の放射照度 E_1 、 E_2 、 L_1 、 L_2 を用いて容易に第5の放射照度 F_s を算出することができる。このため、演算部8における演算量を削減することができる。

[0038] また、演算部8は、第1、第2、第3及び第4の放射照度 E_1 、 E_2 、 L_1 、 L_2 を上記式(1)に代入して第5の放射照度 F_s を算出する。これにより、演算部8は、クロロフィル蛍光測定装置1による上記作用効果を好適に奏することができる。

[0039] また、第1の波長帯域B1は、フラウンホーファー線の内の O_2 -A線に対応する波長を含む波長帯域である。 O_2 -A線に対応する波長では O_2 -A線以外の線に対応する波長に比較して、太陽光H1及び植物Pからの光H2の放射照度のスペクトルにおける吸収ピークの幅が狭い。従って、第1及び第3の放射照度 E_1 、 L_1 のスペクトルにおける吸収ピークの裾に第2の波長帯域B2が重なり難い。よって、第5の放射照度 F_s を精度良く取得することができる。

[0040] また、第1の波長帯域B1は、760nm波長帯域であり、第2の波長帯

域B 2は、750nm波長帯域である。760nm波長帯域はフラウンホーファー線の内のO₂-A線に対応する波長を含む波長帯域であり、O₂-A線に対応する波長ではO₂-A線以外の線に対応する波長に比較して、太陽光H 1及び植物Pからの光H 2の放射照度のスペクトルにおける吸収ピークの幅が狭い。従って、第1及び第3の放射照度E₁、L₁のスペクトルにおける吸収ピークの裾に第2の波長帯域B 2が重なり難い。また、第2の波長帯域B 2は、第1の波長帯域B 1から10nmの波長範囲内に含まれる比較的近い波長帯域であるため、第1の波長帯域B 1に比較して、植物Pにおける反射率、透過率及び吸収率が略同一である。以上により、第5の放射照度F_sを精度良く取得することができる。

[0041] 以下、本実施形態のクロロフィル蛍光測定装置の実施例を示す。本実施例において、クロロフィル蛍光測定装置は、第1の波長帯域B 1をフラウンホーファー線の内のO₂-A線に対応する760nmを中心とした波長帯域としており、第2の波長帯域B 2を750nmを中心とした波長帯域としている。また、クロロフィル蛍光測定装置は、測定対象である植物Pを、水田の稲としている。

[0042] 図5は、実施例に係るクロロフィル蛍光測定装置によって測定されたクロロフィル蛍光の放射照度の一例を示すグラフである。図5の横軸は時刻（日本標準時）を表し、縦軸は水田の稲が放射するクロロフィル蛍光の放射照度を表している。図5には、6月から9月までの各月において、毎日30分置きの同時刻にクロロフィル蛍光測定装置によって測定されたクロロフィル蛍光の放射照度を、時刻毎に平均した結果が示されている。クロロフィル蛍光の放射照度は、各月において放物線を描くように南中時刻をピーク位置として上昇・下降している。

[0043] 図6は、微気象学的手法によって測定された生態系光合成速度の一例を示すグラフである。ここでは、本実施例に係るクロロフィル蛍光測定装置によって測定されたクロロフィル蛍光の放射照度との比較対象として、生態系光合成速度を測定している。図6の横軸は時刻（日本標準時）を表し、縦軸は

水田の稲における生態系光合成速度を表している。図6には、図5と同時に、同じ水田において測定された生態系光合成速度が示されている。すなわち、図6には、6月から9月までの各月において、毎日30分置きの同時刻に測定された生態系光合成速度を、時刻毎に平均した結果が示されている。生態系光合成速度は、各月において放物線を描くように南中時刻をピーク位置として上昇・下降している。

[0044] 図7は、図5に係るクロロフィル蛍光の放射照度と図6に係る生態系光合成速度との相関を示すグラフである。図7の横軸は、図5に係るクロロフィル蛍光の放射照度を表し、縦軸は、図6に係る生態系光合成速度を表している。図7において、クロロフィル蛍光の放射照度と生態系光合成速度とが互いに強い正の相関を持つことが示されている。従って、クロロフィル蛍光測定装置が微気象学的手法によって測定された生態系光合成速度を高精度に再現可能であることが確認された。このことから、クロロフィル蛍光測定装置が、生態系光合成速度を代表する指標として非常に有用であるといえる。

[0045] 以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明は、上記一実施形態に限定されるものではない。例えば、第1の波長帯域B1は、フラウンホーファー線の内の O_2-A 線に対応する波長に代えて、フラウンホーファー線の内の O_2-A 線以外の線に対応する波長を含む波長帯域としてもよい。例えば、第1の波長帯域B1は、フラウンホーファー線の内の O_2-B 線に対応する波長を含む波長帯域であってもよく、この場合、第1の波長帯域B1は、680nm波長帯域であってもよい。

[0046] また、演算部8は、第1、第2、第3及び第4の測定部4, 5, 6, 7からそれぞれ第1、第2、第3及び第4の放射照度 E_1 , E_2 , L_1 , L_2 を取得して記憶するデータロガーと、当該データロガーから第1、第2、第3及び第4の放射照度 E_1 , E_2 , L_1 , L_2 を取得して、クロロフィル蛍光の第1の波長帯域B1における第5の放射照度 F_5 を算出する計算機とに分かれていてもよい。

[0047] また、図8は、変形例に係るクロロフィル蛍光測定装置における放射照度

の算出方法を説明するための図であり、図8に示すように、クロロフィル蛍光測定装置1は、例えば以下のような構成であってもよい。すなわち、クロロフィル蛍光測定装置1において、第2の測定部5は、太陽光H1の互いに異なる2つの第2の波長帯域B2a (B2), B2b (B2)における2つの第2の放射照度 E_{2a} (E_2), E_{2b} (E_2)を取得する。そして、演算部8は、2つの第2の放射照度 E_{2a} , E_{2b} に基づいて、太陽光H1の第1の波長帯域B1における吸収前の放射照度である第6の放射照度 E_3 を推定する。例えば、演算部8は、2つの第2の放射照度 E_{2a} , E_{2b} を線形内挿することによって、第6の放射照度 E_3 を推定する。具体的に、第6の放射照度 E_3 は、図8中において、太陽光H1の放射照度のスペクトルと、第2の波長帯域B2a, B2bを示す各線と、の交差する2点を直線で結んだ場合において、この直線と、第1の波長帯域B1を示す線と、の交差する点における放射照度とされる。同様に、第4の測定部7は、植物Pからの光H2の互いに異なる2つの第2の波長帯域B2a, B2bにおける2つの第4の放射照度 L_{2a} (L_2), L_{2b} (L_2)を取得する。そして、演算部8は、2つの第4の放射照度 L_{2a} , L_{2b} に基づいて、植物Pからの光H2の第1の波長帯域B1における吸収前の放射照度である第7の放射照度 L_3 を推定する。例えば、演算部8は、2つの第4の放射照度 L_{2a} , L_{2b} を線形内挿することによって、第7の放射照度 L_3 を推定する。具体的に、第7の放射照度 L_3 は、図8中において、植物Pからの光H2の放射照度のスペクトルと、第2の波長帯域B2a, B2bを示す各線と、の交差する2点を直線で結んだ場合において、この直線と、第1の波長帯域B1を示す線と、の交差する点における放射照度とされる。そして、演算部8は、第1、第3、第6及び第7の放射照度 E_1 , L_1 , E_3 , L_3 を用いて第5の放射照度 F_5 を算出してもよい。

[0048] ここで、例えば、第1の波長帯域B1としては、760nmが設定され、互いに異なる2つの第2の波長帯域B2a, B2bとしては、それぞれ750nm及び780nmが設定される。この場合、第1及び第3の放射照度 E_1 , L_1 のスペクトルにおける吸収ピークの裾に第2の波長帯域B2a, B2b

が重なり難い。このため、第5の放射照度 F_s を一層精度良く取得することができる。

[0049] また、演算部8は、第1、第3、第6及び第7の放射照度 E_1 , L_1 , E_3 , L_3 を下記式(2) ;

[数2]

$$F_s = \frac{L_1 - \frac{E_1}{E_3} \cdot L_3}{1 - \frac{E_1}{E_3}} \dots (2)$$

に代入して第5の放射照度 F_s を算出する。

[0050] この場合、第7の放射照度 L_3 が取得される波長帯域は、第1の放射照度 E_1 が取得される波長帯域である第1の波長帯域 B_1 と同一である。このため、第1の波長帯域 B_1 に比較して、植物Pにおける反射率、透過率及び吸収率が同一となる。よって、演算部8は、第1、第3、第6及び第7の放射照度 E_1 , L_1 , E_3 , L_3 に基づいて、第5の放射照度 F_s を精度良く算出できる。

[0051] ここで、演算部は、第1、第2、第3及び第4の放射照度を演算式に代入して第5の放射照度を算出してもよい。この場合、演算部は、第1、第2、第3及び第4の放射照度を用いて容易に第5の放射照度を算出することができる。このため、演算部における演算量を削減することができる。

[0052] また、演算部は、第1、第2、第3及び第4の放射照度を下記式(1) ;

[数3]

$$F_s = \frac{L_1 - \frac{E_1}{E_2} \cdot L_2}{1 - \frac{E_1}{E_2}} \dots (1)$$

(但し、 E_1 は第1の放射照度、 E_2 は第2の放射照度、 L_1 は第3の放射照度、 L_2 は第4の放射照度、 F_s は第5の放射照度を表す。)

に代入して第5の放射照度を算出してもよい。この場合、演算部は、上記作用効果を好適に奏することができる。

[0053] また、第2の測定部は、太陽光の互いに異なる2つの第2の波長帯域における2つの第2の放射照度を取得し、第4の測定部は、植物からの光の互いに異なる2つの第2の波長帯域における2つの第4の放射照度を取得し、演算部は、2つの第2の放射照度に基づいて、太陽光の第1の波長帯域における吸収前の放射照度である第6の放射照度を推定し、2つの第4の放射照度に基づいて、植物からの光の第1の波長帯域における吸収前の放射照度である第7の放射照度を推定し、第1、第3、第6及び第7の放射照度の放射照度を用いて第5の放射照度を算出してもよい。この場合、第6の放射照度が取得される波長帯域は、第1の放射照度が取得される波長帯域である第1の波長帯域と同一であるため、第1の波長帯域に比較して、植物における反射率、透過率及び吸収率が同一である。同様に、第7の放射照度が取得される波長帯域は、第1の放射照度が取得される波長帯域である第1の波長帯域と同一であるため、第1の波長帯域に比較して、植物における反射率、透過率及び吸収率が同一である。このため、演算部は、第1、第3、第6及び第7の放射照度に基づいて、第5の放射照度を精度良く算出できる。

[0054] また、演算部は、第1、第3、第6及び第7の放射照度を下記式(2)；
[数4]

$$F_s = \frac{L_1 - \frac{E_1}{E_3} \cdot L_3}{1 - \frac{E_1}{E_3}} \dots (2)$$

(但し、 E_1 は第1の放射照度、 L_1 は第3の放射照度、 E_3 は第6の放射照度、 L_3 は第7の放射照度、 F_s は第5の放射照度を表す。)

に代入して第5の放射照度を算出してもよい。この場合、演算部は、上記作用効果を好適に奏することができる。

[0055] また、第1の波長帯域は、フラウンホーファー線の内の O_2 -A線に対応する波長を含む波長帯域であってもよい。 O_2 -A線に対応する波長では O_2 -A線以外の線に対応する波長に比較して、太陽光及び植物からの光の放射照度のス

ペクトルにおける吸収ピークの幅が狭い。従って、第1及び第3の放射照度のスペクトルにおける吸収ピークの裾に第2の波長帯域が重なり難い。よって、第5の放射照度を精度良く取得することができる。

[0056] また、第1の波長帯域は、760nm波長帯域であり、第2の波長帯域は、750nm波長帯域であってもよい。760nm波長帯域はフラウンホーファー線の内のO₂-A線に対応する波長を含む波長帯域であり、O₂-A線に対応する波長ではO₂-A線以外の線に対応する波長に比較して、太陽光及び植物からの光の放射照度のスペクトルにおける吸収ピークの幅が狭い。従って、第1及び第3の放射照度のスペクトルにおける吸収ピークの裾に第2の波長帯域が重なり難い。また、第2の波長帯域は、第1の波長帯域から10nmの波長範囲内に含まれる比較的近い波長帯域であるため、第1の波長帯域に比較して、植物における反射率、透過率及び吸収率が略同一である。以上により、第5の放射照度を精度良く取得することができる。

符号の説明

[0057] 1…クロロフィル蛍光測定装置、4…第1の測定部、5…第2の測定部、6…第3の測定部、7…第4の測定部、8…演算部、H1…太陽光、H2…植物からの光、H2a…反射光、H2b…クロロフィル蛍光、P…植物、S…太陽。

請求の範囲

- [請求項1] 太陽光を受光して、太陽光の第1の波長帯域における放射照度である第1の放射照度を取得する第1の測定部と、
- 太陽光を受光して、太陽光の第2の波長帯域における放射照度である第2の放射照度を取得する第2の測定部と、
- 太陽光が植物によって反射された反射光と、太陽光を受けた前記植物から放射されたクロロフィル蛍光と、を含んで前記植物から放射される植物からの光を受光して、前記植物からの光の前記第1の波長帯域における放射照度である第3の放射照度を取得する第3の測定部と、
- 前記植物からの光を受光して、前記植物からの光の前記第2の波長帯域における放射照度である第4の放射照度を取得する第4の測定部と、
- 前記第1、第2、第3及び第4の測定部からそれぞれ前記第1、第2、第3及び第4の放射照度を取得し、前記第1、第2、第3及び第4の放射照度に基づいて、前記クロロフィル蛍光の放射照度である第5の放射照度を算出する演算部と、を備え、
- 前記第1の波長帯域は、所定のフラウンホーファー線に対応する波長を含む波長帯域であり、且つ、前記クロロフィル蛍光の波長範囲内に含まれる波長帯域であり、
- 前記第2の波長帯域は、前記第1の波長帯域から所定の波長範囲内に含まれる波長帯域である、
- クロロフィル蛍光測定装置。
- [請求項2] 前記演算部は、前記第1、第2、第3及び第4の放射照度を演算式に代入して前記第5の放射照度を算出する、
- 請求項1記載のクロロフィル蛍光測定装置。
- [請求項3] 前記演算部は、前記第1、第2、第3及び第4の放射照度を下記式
- (1) ；

[数1]

$$F_s = \frac{L_1 - \frac{E_1}{E_2} \cdot L_2}{1 - \frac{E_1}{E_2}} \dots (1)$$

(但し、 E_1 は前記第1の放射照度、 E_2 は前記第2の放射照度、 L_1 は前記第3の放射照度、 L_2 は前記第4の放射照度、 F_s は前記第5の放射照度を表す。)

に代入して前記第5の放射照度を算出する、

請求項2記載のクロロフィル蛍光測定装置。

[請求項4]

前記第2の測定部は、太陽光の互いに異なる2つの前記第2の波長帯域における2つの前記第2の放射照度を取得し、

前記第4の測定部は、前記植物からの光の互いに異なる2つの前記第2の波長帯域における2つの前記第4の放射照度を取得し、

前記演算部は、

2つの前記第2の放射照度に基づいて、太陽光の前記第1の波長帯域における吸収前の放射照度である第6の放射照度を推定し、

2つの前記第4の放射照度に基づいて、前記植物からの光の前記第1の波長帯域における吸収前の放射照度である第7の放射照度を推定し、

前記第1、第3、第6及び第7の放射照度の放射照度を用いて前記第5の放射照度を算出する、

請求項1記載のクロロフィル蛍光測定装置。

[請求項5]

前記演算部は、前記第1、第3、第6及び第7の放射照度を下記式

(2) ;

[数2]

$$F_s = \frac{L_1 - \frac{E_1}{E_3} \cdot L_3}{1 - \frac{E_1}{E_3}} \dots (2)$$

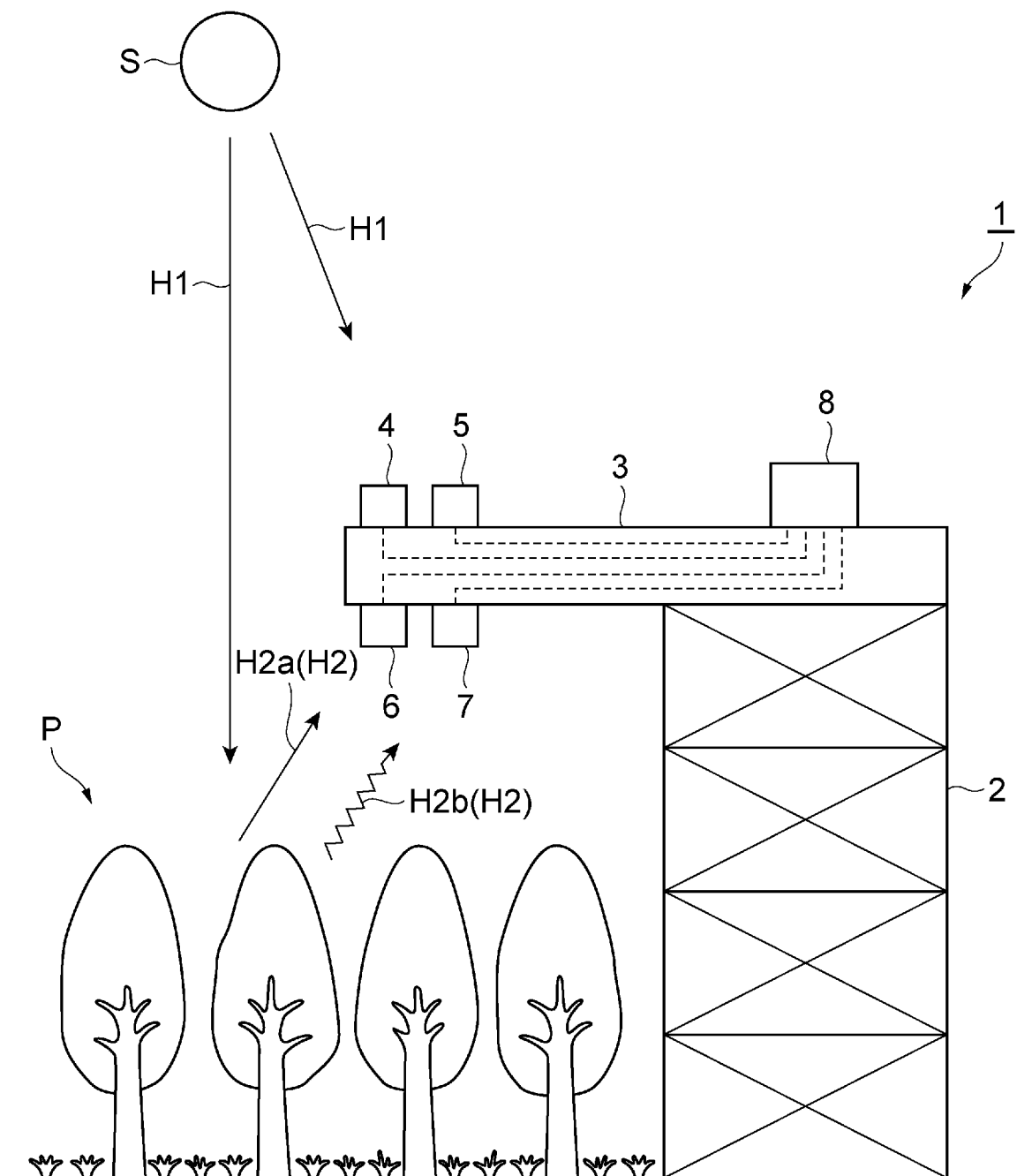
(但し、 E_1 は前記第1の放射照度、 L_1 は前記第3の放射照度、 E_3 は前記第6の放射照度、 L_3 は前記第7の放射照度、 F_5 は前記第5の放射照度を表す。)

に代入して前記第5の放射照度を算出する、
請求項4記載のクロロフィル蛍光測定装置。

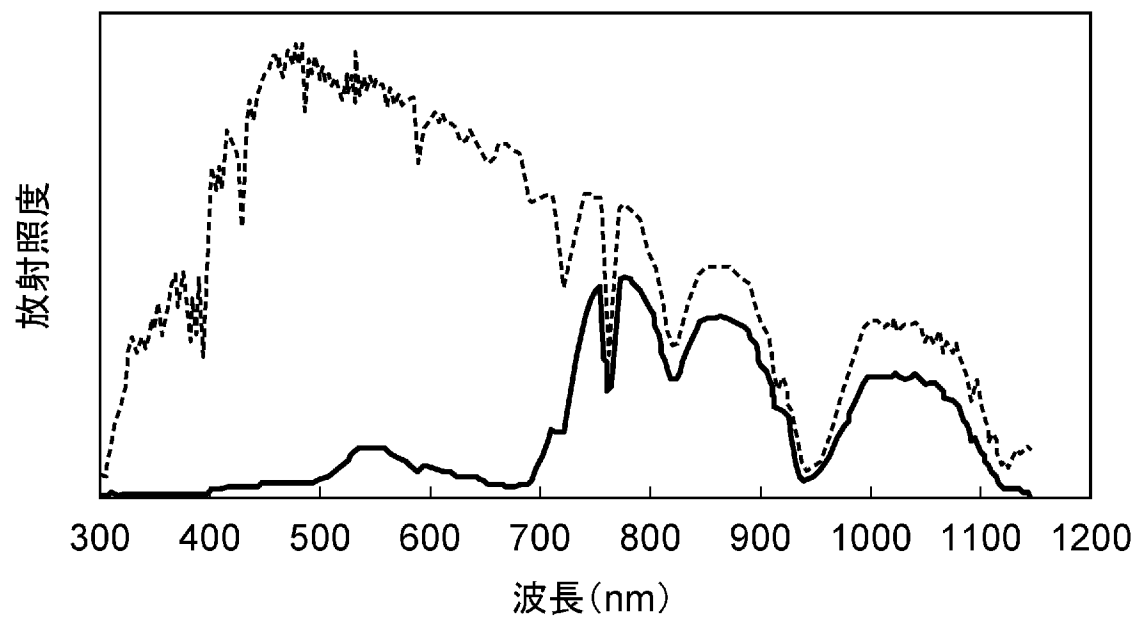
[請求項6] 前記第1の波長帯域は、フラウンホーファー線の内の O_2-A 線に対応する波長を含む波長帯域である、
請求項1～5の何れか一項記載のクロロフィル蛍光測定装置。

[請求項7] 前記第1の波長帯域は、760nm波長帯域であり、
前記第2の波長帯域は、750nm波長帯域である、
請求項1～3の何れか一項記載のクロロフィル蛍光測定装置。

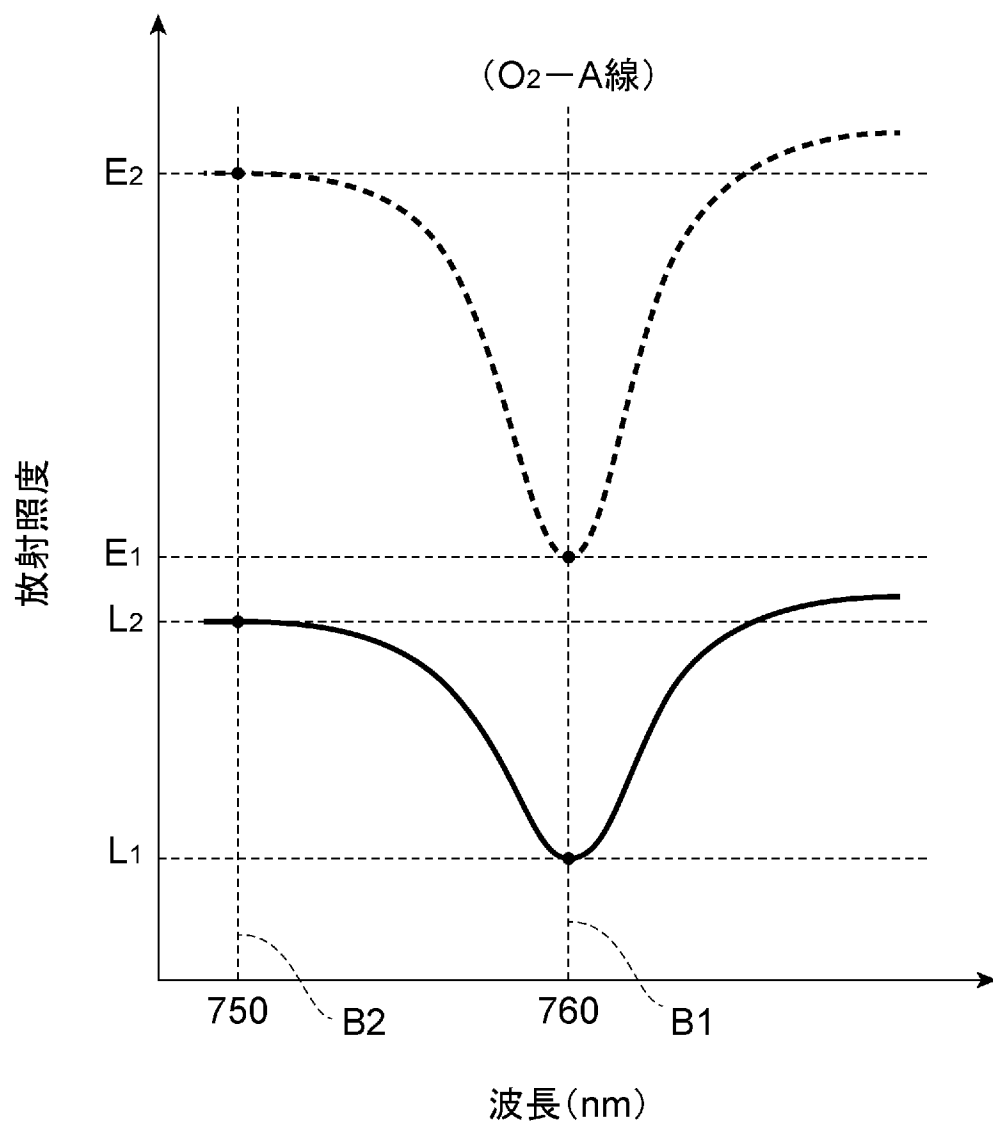
[図1]



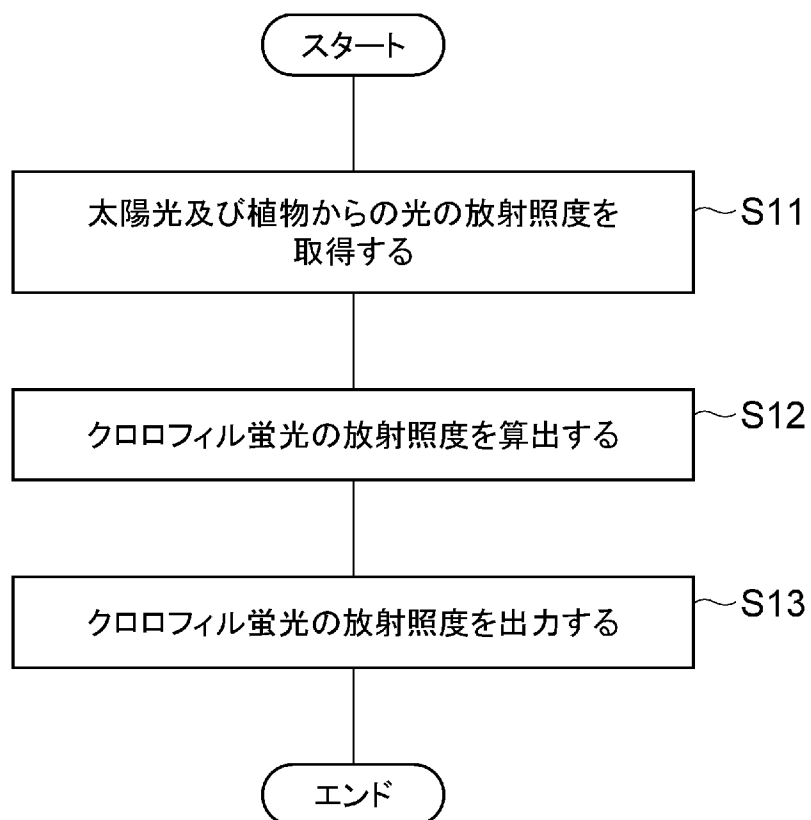
[図2]



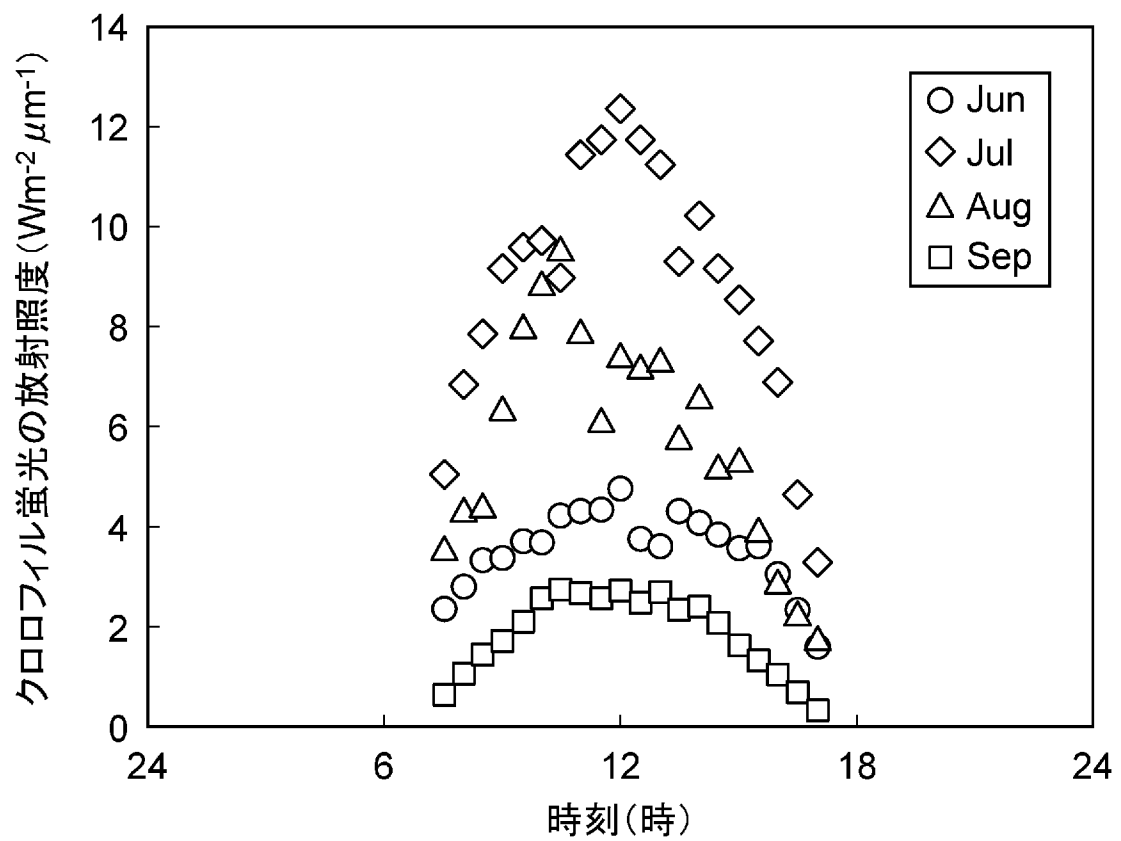
[図3]



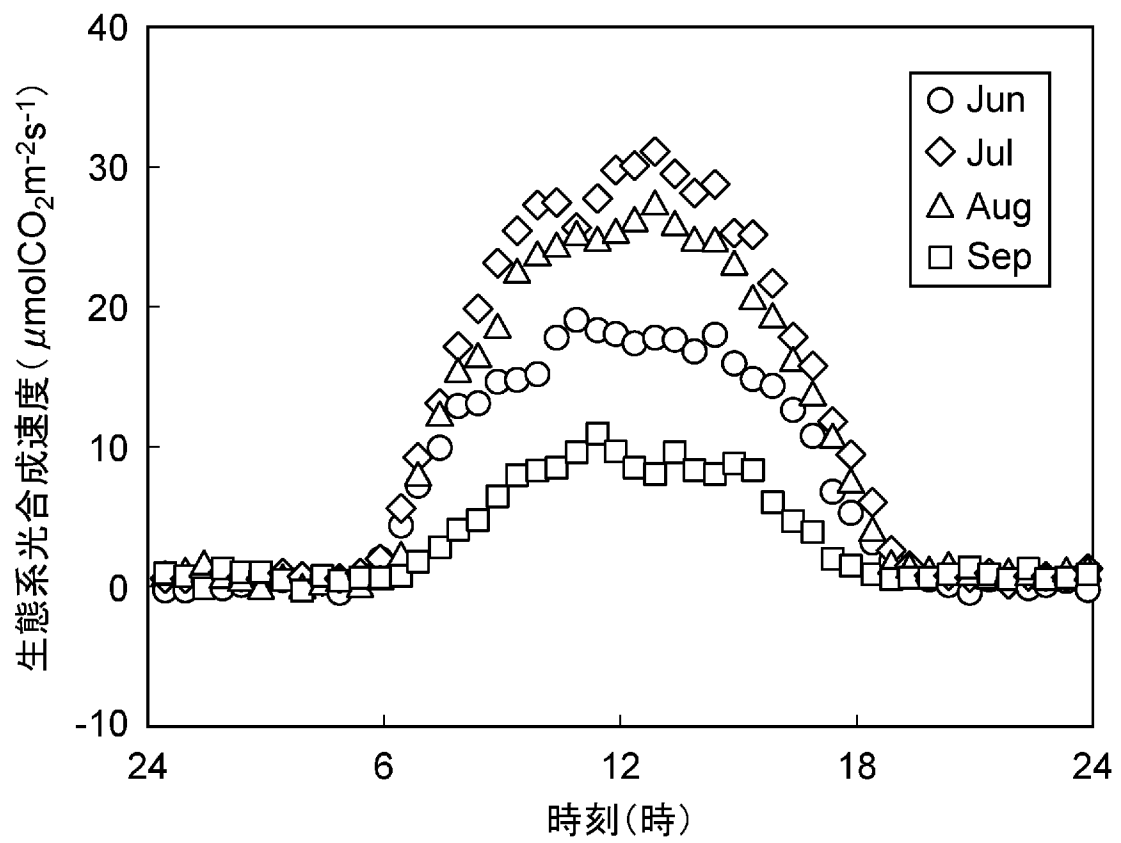
[図4]



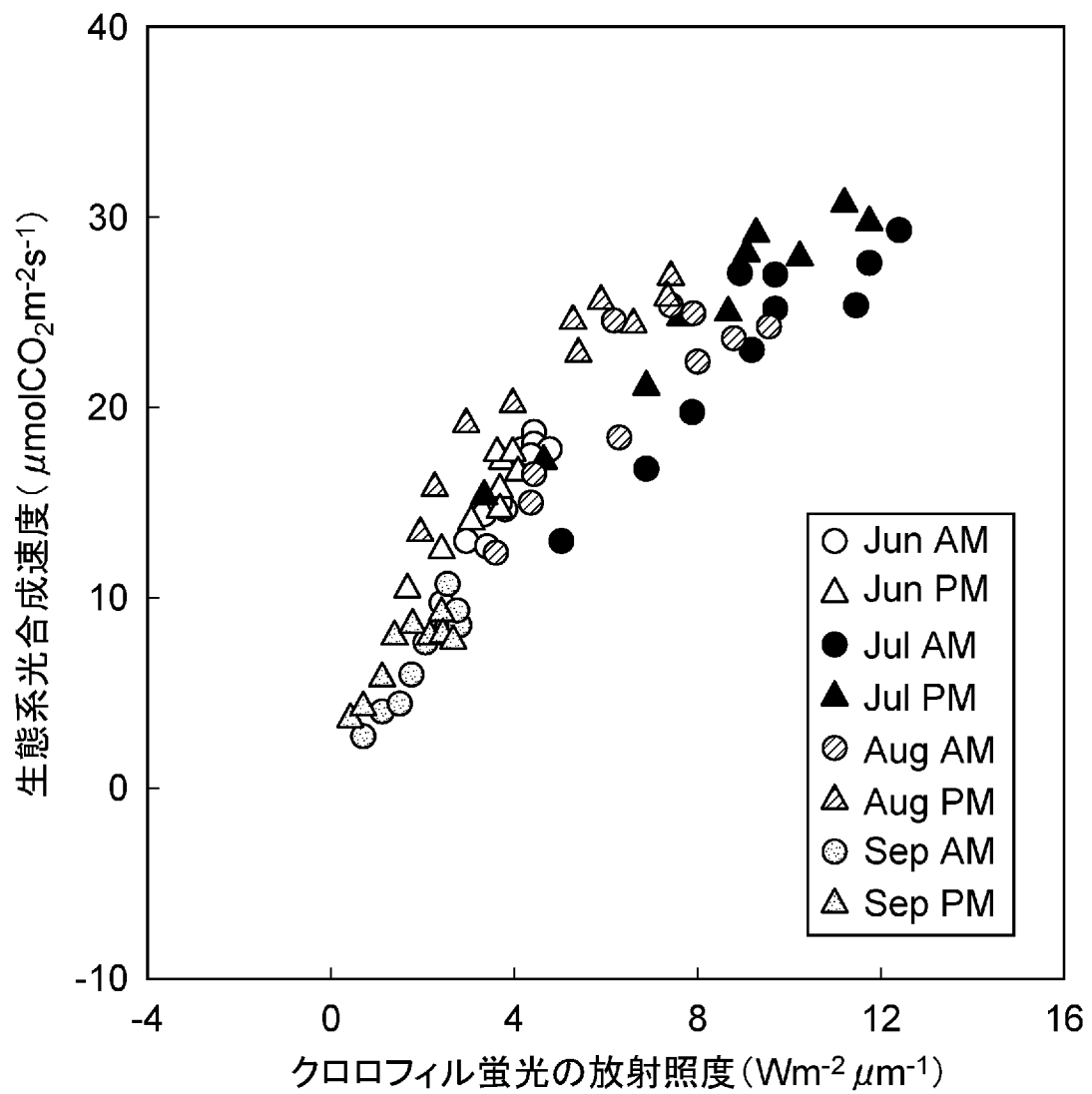
[図5]



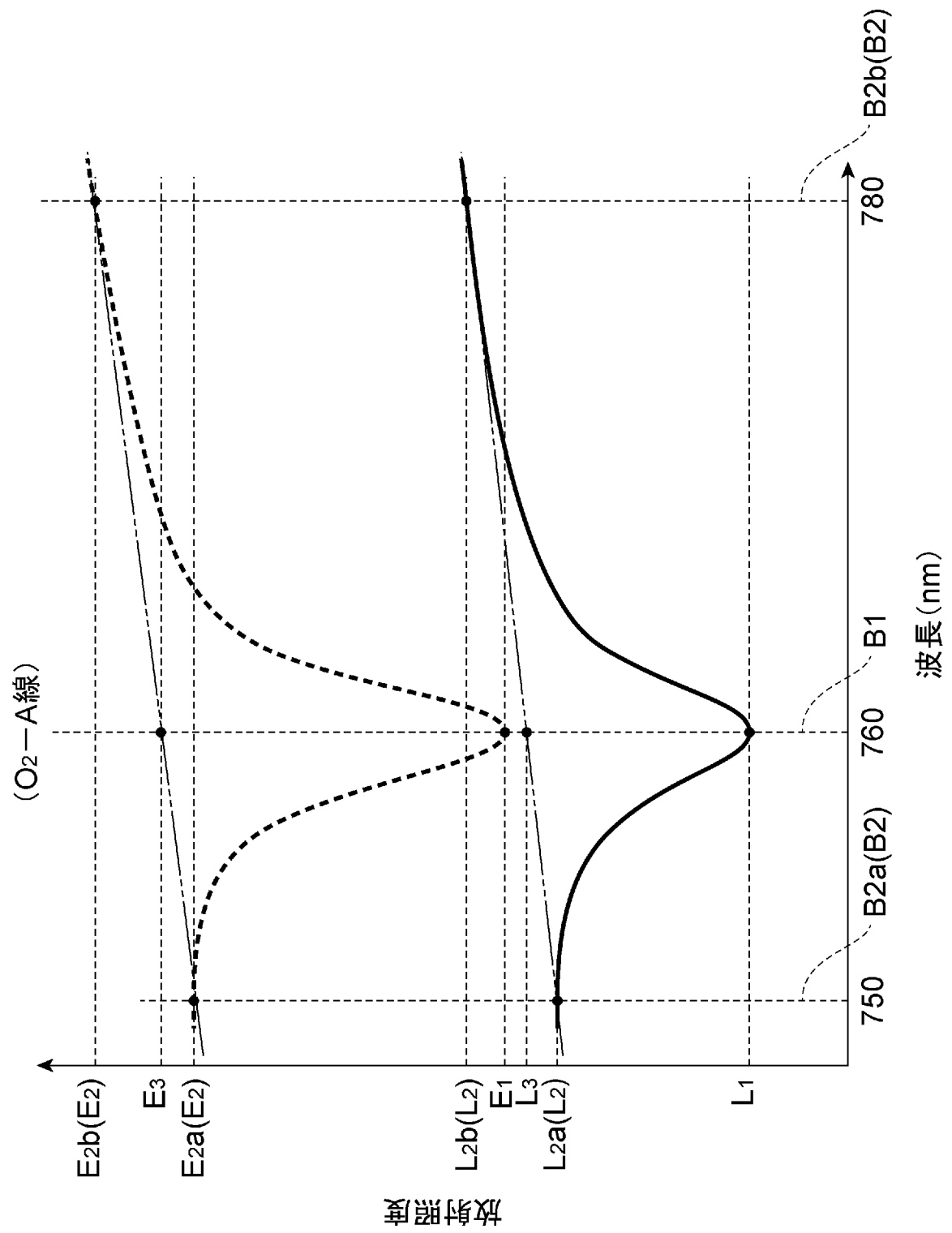
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/073845

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/64(2006.01)i, A01G7/00(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)

G01N21/64, A01G7/00

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	GUANTER, L., et al, Journal of geophysical research, 2010, 115, D19303	1, 2, 4, 6 3, 5, 7
X A	LIU, Liangyun et al, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 43/4, 827-832	1, 2, 4, 6 3, 5, 7
A	Kenji KURIYAMA et al., Dai 39 Kai Remote Sensing Symposium Koen Ronbunshu, 15 November 2013 (15.11.2013), pages 9 to 12	1-7
A	Kenji MASUDA, Hokkaido University Sogo Gijutsu Kenkyukai Hokokushu Heisei 26 Nendo (CD-ROM), 2014, 06-01	1-7

☐ 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
14 October 2016 (14.10.16)

Date of mailing of the international search report
08 November 2016 (08.11.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N21/64(2006.01)i, A01G7/00(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. G01N21/64, A01G7/00

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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）

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

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
X A	GUANTER, L., et al, Journal of geophysical research, 2010, 115, D19303	1, 2, 4, 6 3, 5, 7
X A	LIU, Liangyun et al, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 43/4, 827-832	1, 2, 4, 6 3, 5, 7
A	栗山健二他, 第39回リモートセンシングシンポジウム講演論文集, 2013.11.15, 第9-12頁	1-7

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

14.10.2016

国際調査報告の発送日

08.11.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

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）

伊藤 裕美

2W

9515

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
A	増田健二, 北海道大学総合技術研究会報告集 平成26年度(CD-ROM), 2014, 06-01	1-7