

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6653451号
(P6653451)

(45) 発行日 令和2年2月26日(2020.2.26)

(24) 登録日 令和2年1月30日(2020.1.30)

(51) Int.Cl.	F I
GO 1 N 21/3554 (2014.01)	GO 1 N 21/3554
GO 1 N 21/359 (2014.01)	GO 1 N 21/359
GO 1 N 21/27 (2006.01)	GO 1 N 21/27 A
AO 1 G 7/00 (2006.01)	AO 1 G 7/00 603

請求項の数 7 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2016-141786 (P2016-141786)	(73) 特許権者	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社
(22) 出願日	平成28年7月19日(2016.7.19)		大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(62) 分割の表示	特願2015-209231 (P2015-209231) の分割	(74) 代理人	110002000 特許業務法人栄光特許事務所
原出願日	平成27年10月23日(2015.10.23)	(72) 発明者	藤山 毅 大阪府門真市大字門真1006番地 パナ ソニック株式会社内
(65) 公開番号	特開2017-83425 (P2017-83425A)	(72) 発明者	寺島 祐二 大阪府門真市大字門真1006番地 パナ ソニック株式会社内
(43) 公開日	平成29年5月18日(2017.5.18)		
審査請求日	平成30年10月22日(2018.10.22)	審査官	小野寺 麻美子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 植物水分量評価装置及び植物水分量評価方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光学走査により、水分に吸収され難い特性を有する第1波長の近赤外レーザ参照光を、植物の水分量算出対象部位を含む予め設定された照射範囲に向けて照射する第1光源と、前記光学走査により、水分に吸収され易い特性を有する第2波長の近赤外レーザ測定光を前記照射範囲に向けて照射する第2光源と、

前記照射範囲の各照射位置において反射された前記近赤外レーザ参照光の反射光と前記照射範囲の各照射位置において反射された前記近赤外レーザ測定光の反射光とを基に、前記植物の水分量算出対象部位における水分量を算出する水分量算出部と、を備える、植物水分量評価装置。

【請求項2】

請求項1に記載の植物水分量評価装置であって、

前記各照射位置における前記近赤外レーザ参照光の反射強度と前記近赤外レーザ測定光の反射強度との比である反射強度比の閾値を保持する閾値保持部、を更に備え、

前記水分量算出部は、前記各照射位置の反射強度比を、前記水分量に相当する値としてそれぞれ算出するとともに、算出した前記各照射位置の反射強度比のうち前記閾値以上となる照射位置の反射強度比の値を加算した総和から、前記水分量に相当する水分指数を計算する、

植物水分量評価装置。

【請求項3】

請求項 2 に記載の植物水分量評価装置であって、
前記植物の可視光画像を取得する取得部と、
前記植物の可視光画像を用いて、前記閾値を算出する閾値算出部と、を更に備える、
植物水分量評価装置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のうちいずれか一項に記載の植物水分量評価装置であって、
前記照射範囲の非可視光画像を出力する出力部、を更に備える、
植物水分量評価装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の植物水分量評価装置であって、
前記出力部は、前記非可視光画像を、前記水分量算出部によって算出される前記各照射
位置の水分量に応じて、段階的に識別可能に表示する、
植物水分量評価装置。

10

【請求項 6】

請求項 4 又は 5 に記載の植物水分量評価装置であって、
前記各照射位置は、前記非可視光画像における所定数の画素に対応する、
植物水分量評価装置。

【請求項 7】

植物水分量評価装置における植物水分量評価方法であって、
第 1 光源が、光学走査により、水分に吸収され難い特性を有する第 1 波長の近赤外レー
ザ参照光を植物の水分量算出対象部位を含む予め設定された照射範囲に向けて照射し、
第 2 光源が、前記光学走査により、水分に吸収され易い特性を有する第 2 波長の近赤外
レーザ測定光を前記照射範囲に向けて照射し、
前記照射範囲の各照射位置において反射された前記近赤外レーザ参照光の反射光と前記
照射範囲の各照射位置において反射された前記近赤外レーザ測定光の反射光とを基に、前
記植物の水分量算出対象部位における水分量を算出する、
植物水分量評価方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、植物に含まれる水分量を測定する植物水分量評価装置及び植物水分量評価方
法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

従来、正常な植物では細胞の内外に電位差が存在し、起電力が発生することが知られて
いる。このような起電力が発生することのメカニズムは、例えば高等植物の軸性器官の電
気生理学的モデルに基づいて説明が可能である。特に、根と土壌との間の起電力を利用し
て、植物の根の状態（例えば水ストレス）を非破壊的に調べる方法が各種提案されている
。

【0003】

上記方法を利用して植物における水ストレスを測定する先行技術として、例えば特許文
献 1 が知られている。特許文献 1 では、植物に第 1 の非分極性電極が接続され、植物が植
生されている土壌に第 2 の非分極性電極が接続され、これら 2 つの非分極性電極間に電位
差計が設けられ、この電位差計によって両非分極性電極間の起電力が測定されたことによ
って植物が受けている水ストレスが測定可能となる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2001 - 272373 号公報

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

近年、植物の葉に近赤外光を照射して葉に含まれる水分量を測定し、植物の健全度を評価することが行われている。しかしながら、植物の葉を壊すことなく遠隔でその水分量を測定しようとする場合、特許文献1の構成では、次のような問題があった。植物の葉は、朝・昼・夕と、毎日に或いは時間刻みに、反ったり巻いたり、開いたり閉じたりして収縮等の動きを行う。

【0006】

近赤外光を照射して水分量を測定する場合、葉が動くことによって、光軸方向における葉の厚みが変化してしまう。例えば光軸に対して垂直方向に立っている葉が反りによって手前に角度 傾くと、光軸方向の葉の厚みは、 $(1 / \cos)$ 倍に増加してしまう。厚みが増えた分、葉には、水分量が実際より多く含まれた測定結果が得られることになる。また、近赤外光を葉の表面に所定のスポット径で照射して測定する際、葉の動きによって照射範囲の一部から葉が欠けてしまい、葉への照射面積（投影面積）が少なくなり、水分量が実際より少ない測定結果が得られることになる。

【0007】

このように、従来では、葉の水分量の測定精度に誤差が生じ、正確な水分量が得られないことから、植物の健全度を正しく評価することができなかった。

【0008】

本発明は、上述した従来状況に鑑みてなされたものであり、植物の健全度の指標となる植物に含まれる水分量を正確に測定することができる植物水分量評価装置及び植物水分量評価方法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】

【0009】

本発明は、光学走査により、水分に吸収され難い特性を有する第1波長の近赤外レーザー参照光を、植物の水分量算出対象部位を含む予め設定された照射範囲に向けて照射する第1光源と、前記光学走査により、水分に吸収され易い特性を有する第2波長の近赤外レーザー測定光を前記照射範囲に向けて照射する第2光源と、前記照射範囲の各照射位置において反射された前記近赤外レーザー参照光の反射光と前記照射範囲の各照射位置において反射された前記近赤外レーザー測定光の反射光とを基に、前記植物の水分量算出対象部位における水分量を算出する水分量算出部と、を備える、植物水分量評価装置である。

【0010】

また、本発明は、植物水分量評価装置における植物水分量評価方法であって、第1光源が、光学走査により、水分に吸収され難い特性を有する第1波長の近赤外レーザー参照光を植物の水分量算出対象部位を含む予め設定された照射範囲に向けて照射し、第2光源が、前記光学走査により、水分に吸収され易い特性を有する第2波長の近赤外レーザー測定光を前記照射範囲に向けて照射し、前記照射範囲の各照射位置において反射された前記近赤外レーザー参照光の反射光と前記照射範囲の各照射位置において反射された前記近赤外レーザー測定光の反射光とを基に、前記植物の水分量算出対象部位における水分量を算出する、植物水分量評価方法である。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、植物の健全度の指標となる植物に含まれる水分量を正確に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】第1の実施形態における植物検出カメラの使用状況の一例を示す概念説明図

【図2】植物検出カメラの内部構成の一例を詳細に示すブロック図

【図3】植物検出カメラの画像判定部の内部構成の一例を詳細に示す図

【図4】植物検出カメラの制御部における初期動作の一例を示すフローチャート

10

20

30

40

50

- 【図5】非可視光センサにおける水分の検出の原理説明図
- 【図6】水（ H_2O ）に対する近赤外光の分光特性を示すグラフ
- 【図7】（A）は葉全体の反射強度比を測定する動作の概要を説明する図、（B）はスポットが一定の面積である反射強度比を測定する動作の概要を説明する図
- 【図8】非可視光センサにおける植物の葉に含まれる水分の検出に関する詳細な動作手順を示すフローチャート
- 【図9】ステップS18-5における水分指数の算出手順を示すフローチャート
- 【図10】反射強度比に対応する階調色を示すテーブル
- 【図11】葉が占有している画素空間を含むフレーム画像の一部における反射強度比を示すテーブル 10
- 【図12】（A）はトマトの茎葉を撮像したフレーム画像、（B）は、（A）の可視光画像に対し、撮影距離3m、閾値を0.05に設定した場合に求められた葉の占有空間を示す図、（C）は、（A）の可視光画像に対し、撮影距離1m、閾値を0.3に設定した場合に求められた葉の占有空間を示す図
- 【図13】閾値設定手順を示すフローチャート
- 【図14】全画素における反射強度比の度数分布を示すグラフ
- 【図15】（A）は測定に際して様々な姿勢で固定された葉を示す図、（B）は葉の反射強度比を表す画像を示す図
- 【図16】平均含有率に対する反射強度比を示すグラフ
- 【図17】（A）は植物の萎凋過程を示すグラフ、（B）は復活過程を示すグラフ 20
- 【図18】萎凋を迎えた葉の含水量が徐々に増加する過程を示す図
- 【図19】比較例の測定方法を説明する図
- 【図20】（A）は蒸散による葉の重量の時間変化、つまり葉の平均含水率の時間変化を示すグラフ、（B）は葉中の12箇所測定された反射強度比 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ の時間変化を示すグラフ、（C）は、（A）及び（B）の測定データを元に得られる、反射強度比 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ と平均含水率との対応関係を示すグラフ
- 【図21】（A）は第2の実施形態における植物水分量評価装置の動作の概要を説明する図、（B）は葉の重なりを示す図
- 【図22】（A）は屋外において葉に向かって近赤外光を照射した際、近赤外光の波長に対する反射光の強度を示すグラフ、（B）は屋内及び屋外において白色背景板が設置された葉に向かって近赤外光を照射した際、近赤外光の波長に対する反射光の強度を示すグラフ 30
- 【図23】白色背景板への葉の取り付け方を説明する図
- 【図24】測定対象の葉の背面を覆うように配置される白色背景板の各種設置方法を示す図
- 【図25】（A）は屋外で水分量の測定対象となる葉を示す写真、（B）は葉の反射強度比 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ を示す図、（C）は葉の反射強度比 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ を示す図
- 【図26】（A）は白色背景板で背面が覆われた葉が占有している画素空間を含むフレーム画像の一部における反射強度比を示すテーブル、（B）は白色背景板で背面が覆われていない葉が占有している画素空間を含むフレーム画像の一部における反射強度比を示すテーブル 40
- 【図27】屋外で水分量の半減の測定対象となる葉を示す写真
- 【図28】（A）は第1の半減測定における葉及び第2の半減測定における葉の水分指数の時間変化を示すグラフ、（B）は第3の半減測定における葉の水分指数の時間変化を示すグラフ、（C）は第4の半減測定における葉群の水分指数の時間変化を示すグラフ
- 【発明を実施するための形態】
- 【0013】
- （第1の実施形態に至る経緯・課題）
- 植物の葉を壊すことなく遠隔で、その水分量を求める方法として、本発明者等は、葉の 50

表面に２種類の近赤外光を照射し、これらの反射強度比から水分を求める方法を提案している。２種類の近赤外光のうち、一方の近赤外光は、例えば905nmの波長を有するレーザー光であり、水分を透過する参照光として用いられる。他方の近赤外光は、例えば1550nmの波長を有するレーザー光であり、水分に吸収される測定光として用いられる。葉の表面に参照光と測定光とを２回照射し、これらの反射光を非可視光カメラで受光する。非可視光カメラで受光した、参照光の反射強度と測定光の反射強度との比である反射強度比 $L_n(I_{905} / I_{1550})$ は、照射位置における水分量に相当する値となる。

【0014】

図7(B)に示すように、葉PT3の表面より小さいスポット径(例えば20mm)の範囲内でレーザー光を順次走査しながら照射し、スポットsp1内における面平均の反射強度比を求める。この面平均の反射強度比から単位面積当たりの水分量を推測する。しかし、この単位面積当たりの水分量と水ポテンシャルとの相関は低いことが既に知られている(参考非特許文献)。水ポテンシャルは、植物の保水力(含水率)を表す値であり、植物の健全度(言い換えると、健康度合い)を測る指標とされている。

10

【0015】

(参考非特許文献) 「キュウリ葉における水ストレスの非破壊計測に関する研究」
分光反射率, 気孔コンダクタンス, $PSII$ Yieldおよび形状の変化の比較 藤野素子・遠藤亮輔・大政謙次 著, 農業情報研究11(2), pp.161-170, 2002.

【0016】

20

単位面積当たりの水分量と水ポテンシャルとの相関が低いことの大きな要因には、葉の形状が一定しておらず、萎れ・反り・巻き等による変化があると考えられる。植物の葉は、朝・昼・夕と、日毎に或いは時間刻みに、反ったり巻いたり、開いたり閉じたりして(収縮したりして)動いていく。

【0017】

近赤外光を照射して水分量を測定する場合、葉が動くことによって、光軸方向に葉の厚みが増えたり減ったりしてしまう。例えば光軸に対して垂直方向に立っている葉PT3が反りによって手前に角度傾くと、光軸方向の葉の厚みは、 $(1/\cos)$ 倍に増加してしまう。厚みが増えた分、葉PT3には、水分量が実際より多く含まれた測定結果が得られることになる。また、近赤外光を葉の表面に所定のスポット径で照射して測定する際、葉の動きによって照射範囲の一部vp1から葉PT3が欠けてしまい、葉への照射面積(投影面積)が少なくなり、水分量が実際より少ない測定結果が得られることになる。

30

【0018】

従って、スポット内で近赤外光(レーザー光)を照射し、葉の単位面積当たりの水分量を測定しても、葉の健全度がよく分からなかった。

【0019】

そこで、第1の実施形態では、植物の健全度の指標となる植物に含まれる水分量を正確に測定することができるようにする。

【0020】

(第1の実施形態)

40

以下、適宜図面を参照しながら、本発明に係る植物水分量評価装置及び植物水分量評価方法を具体的に開示した第1の実施形態を詳細に説明する。但し、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば既によく知られた事項の詳細説明や実質的に同一の構成に対する重複説明を省略する場合がある。これは、以下の説明が不必要に冗長になるのを避け、当業者の理解を容易にするためである。なお、添付図面及び以下の説明は、当業者が本開示を十分に理解するために提供されるのであって、これらにより特許請求の範囲に記載の主題を限定することは意図されていない。

【0021】

本実施形態の植物水分量評価装置の一例として、図1に示す植物検出カメラ1を例示して説明する。本実施形態は、植物検出カメラが行う各処理を実行する植物水分量評価方法

50

として表現することも可能である。本実施形態の植物検出カメラ1は、植物の水分の有無の分布状態を検出できる。

【0022】

ここで、本実施形態の植物検出カメラ1の観察対象は植物とし、より具体的な例を挙げるとすると果菜類を例示して説明する。例えばトマト等の果菜類の生育においては、トマトの果実の糖度を増すためには、根及び葉の水分や肥料が光合成において適量に消化された結果、十分に水分や肥料が供給された状態ではなく、水分や肥料が不足状態になることが必要であることが知られている。例えば葉に十分な水分が供給されていれば、葉は健全な状態として平坦な形状となる。一方、葉への水分が相当に不足していると、葉の形状が反る。一方、土壌への肥料が相当に不足していると、葉が黄色くなる等の症状が発生する。

10

【0023】

以下の本実施形態では、植物検出カメラ1は、植物（例えば葉）に波長の異なる複数種類のレーザ光を照射し、葉の照射位置において反射したそれぞれの拡散反射光の強度比を基に、葉の水分を検出する例を説明する。なお、本実施形態では、植物の葉を測定対象としたが、葉に限らず、実、茎、花等の他の部位であってもよい。このことは第2の実施形態においても同様である。

【0024】

（植物検出カメラの概要）

図1は、第1の実施形態における植物検出カメラ1の使用状況の一例を示す概念説明図である。植物検出カメラ1は、例えばトマト等の果菜類が植生されているビニールハウス内の定点に設置される。具体的には、植物検出カメラ1は、例えば地面から鉛直上方向に立伸している円柱状の支柱MT1を挟むように取り付けられた取付治具ZGに固定された基台BS上に設置されている。植物検出カメラ1は、支柱MT1に取り付けられた電源スイッチPWSから電源が供給されて動作し、観察対象の植物PTに向けて波長の異なる複数種類のレーザ光である参照光LS1、測定光LS2を照射範囲RNGにわたって照射する。

20

【0025】

植物PTは、例えばトマト等の果菜類の植物であり、土台BB上に設置された養土ポットSLPに充填された養土SLから根を生やしており、幹PT1、茎PT2、葉PT3、果実PT4、花PT5をそれぞれ有する。土台BB上には、肥料水供給装置WFが設置されている。肥料水供給装置WFは、LAN（Local Area Network）ケーブルLCB2を介して接続された無線通信システムRFSSYからの指示により、例えばケーブルWLを介して水を養土ポットSLPに供給する。これにより、養土SLに水が供給されることになるので、植物PTの根が水分を吸収し、植物PT内の各部（つまり、幹PT1、茎PT2、葉PT3、果実PT4、花PT5）に水分が伝達される。

30

【0026】

また、植物検出カメラ1は、参照光LS1、測定光LS2が照射された植物PTの照射位置において反射した拡散反射光RV1、RV2を受光し、更に、環境光RV0も受光する。後述するように、植物検出カメラ1は、通常のカメラ機能を有し、環境光RV0の入光によって既定の画角内の画像（つまり、図1に示すビニールハウス内の植物PTの画像）を撮像可能である。植物検出カメラ1は、拡散反射光RV1、RV2を基にした各種の検出結果（後述参照）や画像データを含む出力データをデータロガーDLに出力する。

40

【0027】

データロガーDLは、植物検出カメラ1からの出力データを、LANケーブルLCB1及び無線通信システムRFSSYを介して、ビニールハウスとは地理的に離れた位置にある事務所内制御室の管理PC（Personal Computer、不図示）に送信する。無線通信システムRFSSYは、特に通信仕様は限定されないが、ビニールハウス内のデータロガーDLと事務所内制御室内の管理PCとの間の通信を制御し、更に、養土ポットSLPへの水や肥料の供給に関する管理PCからの指示を肥料水供給装置WFに送信する。

50

【 0 0 2 8 】

事務所内制御室内の管理 P C にはモニタ 5 0 が接続され、管理 P C は、データロガー D L から送信された植物検出カメラ 1 の出力データをモニタ 5 0 に表示する。図 1 では、モニタ 5 0 は、例えば観察対象の植物 P T の全体と、植物 P T 全体の水分の有無に関する分布状態とを表示している。また、モニタ 5 0 は、植物 P T の全体のうち特定の指定箇所（つまり、管理 P C を使用する観察者のズーム操作によって、指定された指定箇所 Z M ）の拡大分布状態とその指定箇所に対応する画像データとを生成して対比可能に表示している。

【 0 0 2 9 】

植物検出カメラ 1 は、可視光カメラ V S C と、非可視光センサ N V S S とを含む構成である。可視光カメラ V S C （取得部）は、例えば既存の監視カメラと同様に、所定の波長（例えば $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ ）を有する可視光に対する環境光 R V 0 を用いて、ビニールハウス内の植物 P T を撮像する。以下、可視光カメラ V S C により撮像された植物の画像データを、「可視光カメラ画像データ」という。

10

【 0 0 3 0 】

非可視光センサ N V S S は、可視光カメラ V S C と同一の植物 P T に対し、複数種類の波長（後述参照）を有する非可視光（例えば赤外光）である参照光 L S 1、測定光 L S 2 を投射する。非可視光センサ N V S S は、参照光 L S 1、測定光 L S 2 が照射された植物 P T の照射位置において反射した拡散反射光 R V 1、R V 2 の強度比を用いて、観察対象である植物 P T の照射位置における水分の有無を検出する。

20

【 0 0 3 1 】

また、植物検出カメラ 1 は、可視光カメラ V S C が撮像した可視光カメラ画像データに、非可視光センサ N V S S の水分の検出結果に相当する出力画像データ（以下、「検出結果画像データ」という）又は検出結果画像データに関する情報を合成した表示データを生成して出力する。表示データは、検出結果画像データと可視光カメラ画像データとが合成された画像データに限定されず、例えば検出結果画像データと可視光カメラ画像データとが対比可能に生成された画像データでもよい。植物検出カメラ 1 からの表示データの出力先は、例えばネットワーク（不図示）を介して植物検出カメラ 1 に接続された外部接続機器であり、データロガー D L 又は通信端末 M T である（図 2 参照）。このネットワークは、有線ネットワーク（例えばイントラネット、インターネット）でも良いし、無線ネットワーク（例えば無線 L A N ）でもよい。

30

【 0 0 3 2 】

（植物検出カメラの各部の説明）

図 2 は、植物検出カメラ 1 の内部構成の一例を詳細に示すブロック図である。図 2 に示す植物検出カメラ 1 は、非可視光センサ N V S S と、可視光カメラ V S C とを含む構成である。非可視光センサ N V S S は、制御部 1 1 と、投射部 P J と、画像判定部 J G とを含む構成である。投射部 P J は、第 1 投射光源 1 3 と、第 2 投射光源 1 5 と、投射光源走査用光学部 1 7 とを有する。画像判定部 J G は、撮像光学部 2 1 と、受光部 2 3 と、信号加工部 2 5 と、検出処理部 2 7 と、表示処理部 2 9 とを有する。可視光カメラ V S C は、撮像光学部 3 1 と、受光部 3 3 と、撮像信号処理部 3 5 と、表示制御部 3 7 とを有する。通信端末 M T は、ユーザ（例えばトマト等の果菜類の植物 P T の生育の観察者。以下同様。）により携帯される。

40

【 0 0 3 3 】

植物検出カメラ 1 の各部の説明では、制御部 1 1、非可視光センサ N V S S、可視光カメラ V S C の順に説明する。

【 0 0 3 4 】

制御部 1 1 は、例えば C P U （Central Processing Unit）、M P U （Micro Processing Unit）又は D S P （Digital Signal Processor）を用いて構成され、可視光カメラ V S C や非可視光センサ N V S S の各部の動作制御を全体的に統括するための信号処理、他の各部との間のデータの入出力処理、データの演算処理及びデータの記憶処理を行う。また

50

、制御部 11 は、後述するタイミング制御部 11 a を含む（図 3 参照）。

【 0 0 3 5 】

制御部 11 は、非可視光センサ N V S S の検出対象となる植物 P T の検出閾値 M を後述する検出処理部 2 7 に設定する。制御部 11 の動作の詳細については、図 4 を参照して後述する。

【 0 0 3 6 】

タイミング制御部 11 a は、投射部 P J における第 1 投射光源 1 3 及び第 2 投射光源 1 5 の投射タイミングを制御する。具体的には、タイミング制御部 11 a は、第 1 投射光源 1 3 及び第 2 投射光源 1 5 に投射光を投射させる場合に、光源走査用タイミング信号 T R を第 1 投射光源 1 3 及び第 2 投射光源 1 5 に出力する。

10

【 0 0 3 7 】

また、タイミング制御部 11 a は、所定の投射周期の開始時に、光源発光信号 R F を第 1 投射光源 1 3 又は第 2 投射光源 1 5 に交互に出力する。具体的には、タイミング制御部 11 a は、奇数番目の投射周期の開始時に光源発光信号 R F を第 1 投射光源 1 3 に出力し、偶数番目の投射周期の開始時に光源発光信号 R F を第 2 投射光源 1 5 に出力する。

【 0 0 3 8 】

次に、非可視光センサ N V S S の各部について説明する。

【 0 0 3 9 】

第 1 光源の一例としての第 1 投射光源 1 3 は、制御部 11 のタイミング制御部 11 a から光源走査用タイミング信号 T R を受けると、奇数番目の投射周期（既定値）毎に、タイミング制御部 11 a からの光源発光信号 R F に応じて、所定の波長（例えば 9 0 5 n m）を有する非可視光のレーザ光である参照光 L S 1（例えば近赤外光）を、投射光源走査用光学部 1 7 を介して、植物 P T に投射する。

20

【 0 0 4 0 】

なお、植物 P T における水分の検出の有無は、所定の検出閾値 M と比較することで判断してもよい。この検出閾値 M は、予め決められた値でもよく、任意に設定された値でもよく、更に、水分が無い状態で取得された拡散反射光の強度を基にした値（例えば水が無い状態で取得された拡散反射光の強度の値に所定のマージンが加算された値）でもよい。即ち、水分の検出の有無は、水分が無い状態で取得された検出結果画像データと、その後取得された検出結果画像データとを比較することで、判断されてもよい。このように、水分が無い状態における拡散反射光の強度を取得しておくことで、水分の有無の検出閾値 M として、植物検出カメラ 1 の設置された環境に適する閾値を設定することができる。

30

【 0 0 4 1 】

第 2 光源の一例としての第 2 投射光源 1 5 は、制御部 11 のタイミング制御部 11 a から光源走査用タイミング信号 T R を受けると、偶数番目の投射周期（既定値）毎に、タイミング制御部 11 a からの光源発光信号 R F に応じて、所定の波長（例えば 1 5 5 0 n m）を有する非可視光のレーザ光である測定光 L S 2（例えば赤外光）を、投射光源走査用光学部 1 7 を介して、植物 P T に投射する。本実施形態では、第 2 投射光源 1 5 から投射される測定光 L S 2 は、植物 P T における水分の検出の有無の判定に用いられる。測定光 L S 2 の波長 1 5 5 0 n m は、水分に吸収され易い特性を有する波長である（図 6 参照）。

40

【 0 0 4 2 】

更に、植物検出カメラ 1 は、植物 P T の照射位置における水分を検出するための参照データとして参照光 L S 1 の拡散反射光 R V 1 を用い、測定光 L S 2 が照射された植物 P T の照射位置における拡散反射光 R V 2 と、参照光 L S 1 の拡散反射光 R V 1 とを用いて、参照光 L S 1 及び測定光 L S 2 が照射された植物 P T の照射位置における水分の有無を検出する。従って、植物検出カメラ 1 は、植物 P T における水分の検出に異なる 2 種類の波長の参照光 L S 1、測定光 L S 2 及びそれらの拡散反射光 R V 1、R V 2 を用いることで、植物 P T の水分を高精度に検出できる。

【 0 0 4 3 】

50

投射光源走査用光学部 17 は、非可視光センサ N V S S における検出エリアに存在する植物 P T に対し、第 1 投射光源 13 から投射される参照光 L S 1 又は第 2 投射光源 15 から投射される測定光 L S 2 を 2 次元的に走査する。これにより、植物検出カメラ 1 は、測定光 L S 2 が植物 P T の照射位置において反射した拡散反射光 R V 2 と上述した拡散反射光 R V 1 とを基に、参照光 L S 1 及び測定光 L S 2 が照射される植物 P T の照射位置における水分の有無を検出できる。

【 0 0 4 4 】

次に、画像判定部 J G の内部構成について、図 2 及び図 3 を参照して詳細に説明する。図 3 は、植物検出カメラ 1 の画像判定部 J G の内部構成の一例を詳細に示す図である。

【 0 0 4 5 】

撮像光学部 21 は、例えばレンズを用いて構成され、植物検出カメラ 1 の外部から入射する光（例えば拡散反射光 R V 1 又は拡散反射光 R V 2）を集光し、拡散反射光 R V 1 又は拡散反射光 R V 2 を受光部 23 の所定の撮像面に結像させる。

【 0 0 4 6 】

受光部 23 は、参照光 L S 1 及び測定光 L S 2 の両方の波長に対する分光感度のピークを有するイメージセンサである。受光部 23 は、撮像面に結像した拡散反射光 R V 1 又は拡散反射光 R V 2 の光学像を電気信号に変換する。受光部 23 の出力は、電気信号（電流信号）として信号加工部 25 に入力される。なお、撮像光学部 21 及び受光部 23 は、非可視光センサ N V S S における撮像部としての機能を有する。

【 0 0 4 7 】

信号加工部 25 は、I / V 変換回路 25 a と、増幅回路 25 b と、コンパレータ / ピークホールド処理部 25 c とを有する。I / V 変換回路 25 a は、受光部 23 の出力信号（アナログ信号）である電流信号を電圧信号に変換する。増幅回路 25 b は、I / V 変換回路 25 a の出力信号（アナログ信号）である電圧信号のレベルを、コンパレータ / ピークホールド処理部 25 c において処理可能なレベルまで増幅する。

【 0 0 4 8 】

コンパレータ / ピークホールド処理部 25 c は、増幅回路 25 b の出力信号（アナログ信号）と所定の閾値との比較結果に応じて、増幅回路 25 b の出力信号を 2 値化して閾値設定 / 水分指数検出処理部 27 a に出力する。また、コンパレータ / ピークホールド処理部 25 c は、A D C（Analog Digital Converter）を含み、増幅回路 25 b の出力信号（アナログ信号）の A D（Analog Digital）変換結果のピークを検出して保持し、更に、ピークの情報を閾値設定 / 水分指数検出処理部 27 a に出力する。

【 0 0 4 9 】

検出処理部 27 は、閾値設定 / 水分指数検出処理部 27 a と、メモリ 27 b と、検出結果フィルタ処理部 27 c とを有する。閾値設定 / 水分指数検出処理部 27 a（閾値保持部）は、予め度数分布データ（図 14 参照）を作成して登録する。度数分布データは、1 フレーム画像の全画素における反射強度比（水分指数）の度数分布を示す。閾値設定 / 水分指数検出処理部 27 a（閾値算出部）は、後述するように、この度数分布データを用いて、葉の形状を識別するための反射強度比の閾値 S h を算出して設定する。

【 0 0 5 0 】

また、閾値設定 / 水分指数検出処理部 27 a は、参照光 L S 1 の拡散反射光 R V 1 におけるコンパレータ / ピークホールド処理部 25 c の出力（ピークの情報）と、測定光 L S 2 の拡散反射光 R V 2 におけるコンパレータ / ピークホールド処理部 25 c の出力（ピークの情報）とを基に、植物 P T の参照光 L S 1 及び測定光 L S 2 の照射位置における水分の有無を検出する。

【 0 0 5 1 】

具体的には、閾値設定 / 水分指数検出処理部 27 a は、例えば参照光 L S 1 の拡散反射光 R V 1 におけるコンパレータ / ピークホールド処理部 25 c の出力（ピークの情報）をメモリ 27 b に一時的に保存し、次に、測定光 L S 2 の拡散反射光 R V 2 におけるコンパレータ / ピークホールド処理部 25 c の出力（ピークの情報）が得られるまで待機する。

10

20

30

40

50

閾値設定/水分指数検出処理部27aは、測定光LS2の拡散反射光RV2におけるコンパレータ/ピークホールド処理部25cの出力(ピークの情報)が得られた後、メモリ27bを参照して、画角内に含まれる植物PTの同一ラインにおける参照光LS1の拡散反射光RV1におけるコンパレータ/ピークホールド処理部25cの出力(ピークの情報)と、測定光LS2の拡散反射光RV2におけるコンパレータ/ピークホールド処理部25cの出力(ピークの情報)との比を算出する。

【0052】

例えば水分が存在する照射位置では、測定光LS2の一部が吸収され易いので、拡散反射光RV2の強度(つまり、振幅)が減衰する。従って、閾値設定/水分指数検出処理部27aは、画角内に含まれる植物PTのライン毎の算出結果(例えば拡散反射光RV1と拡散反射光RV2の各強度の差分(振幅の差分V)の算出結果、又は拡散反射光RV1と拡散反射光RV2の強度比)を基に、参照光LS1及び測定光LS2の照射位置における水分の有無を検出することができる。

10

【0053】

なお、閾値設定/水分指数検出処理部27aは、参照光LS1の拡散反射光RV1の振幅VAと、測定光LS2の拡散反射光RV2の振幅VBとの振幅差分(VA-VB)と振幅VAとの比RTと所定の検出閾値Mとの大小の比較に応じて、植物PTの参照光LS1及び測定光LS2の照射位置における水分の有無を検出して良い(図5参照)。

【0054】

更に、閾値設定/水分指数検出処理部27aは、拡散反射光RV1と拡散反射光RV2の強度比、つまり反射強度比(測定値ともいう)Ln(I₉₀₅/I₁₅₅₀)を算出し、この反射強度比Ln(I₉₀₅/I₁₅₅₀)の総和から葉に含まれる水分量に相当する水分指数を得る。反射強度比Ln(I₉₀₅/I₁₅₅₀)は、可視光カメラVSCで撮像されるフレーム画像における全画素において、例えば所定の画素数(4×4画素)毎に算出され、所定の画素数毎に反射強度比W1~Wkとして表現される。

20

【0055】

メモリ27bは、例えばRAM(RANDOM ACCESS MEMORY)を用いて構成され、参照光LS1の拡散反射光RV1におけるコンパレータ/ピークホールド処理部25cの出力(ピークの情報)を一時的に保存する。

【0056】

検出結果フィルタ処理部27cは、閾値設定/水分指数検出処理部27aの出力を基に、植物検出カメラ1からの水分の検出結果に関する情報をフィルタリングして抽出する。検出結果フィルタ処理部27cは、抽出結果に関する情報を表示処理部29に出力する。例えば検出結果フィルタ処理部27cは、植物PTの参照光LS1及び測定光LS2の照射位置における水分の検出結果に関する情報を表示処理部29に出力する。

30

【0057】

表示処理部29は、検出結果フィルタ処理部27cの出力を用いて、照射位置における水分に関する情報の一例として、植物検出カメラ1からの距離毎の照射位置における水分の位置を示す検出結果画像データを生成する。表示処理部29は、植物検出カメラ1から照射位置までの距離の情報を含む検出結果画像データを可視光カメラVSCの表示制御部37に出力する。

40

【0058】

次に、可視光カメラVSCの各部について説明する。撮像光学部31は、例えばレンズを用いて構成され、植物検出カメラ1の画角内からの環境光RV0を集光し、環境光RV0を受光部33の所定の撮像面に結像させる。

【0059】

受光部33は、可視光の波長(例えば0.4μm~0.7μm)に対する分光感度のピークを有するイメージセンサである。受光部33は、撮像面に結像した光学像を電気信号に変換する。受光部33の出力は、電気信号として撮像信号処理部35に入力される。なお、撮像光学部31及び受光部33は、可視光カメラVSCにおける撮像部としての機能

50

を有する。

【 0 0 6 0 】

撮像信号処理部 3 5 は、受光部 3 3 の出力である電気信号を用いて、人が認識可能な R G B (Red Green Blue) 又は Y U V (輝度・色差) 等により規定される可視光画像データを生成する。これにより、可視光カメラ V S C により撮像された可視光画像データが形成される。撮像信号処理部 3 5 は、可視光画像データを表示制御部 3 7 へ出力する。

【 0 0 6 1 】

表示制御部 3 7 は、撮像信号処理部 3 5 から出力された可視光画像データと、表示処理部 2 9 から出力された検出結果画像データとを用いて、水分が可視光画像データのいずれかの位置で検出された場合に、水分に関する情報の一例として、可視光画像データと検出結果画像データとを合成した表示データ、又は可視光画像データと検出結果画像データとを対比可能に表した表示データを生成する。表示制御部 3 7 (出力部) は、表示データを、例えばネットワークを介して接続されたデータロガー D L 又は通信端末 M T に送信して表示を促す。

10

【 0 0 6 2 】

データロガー D L は、表示制御部 3 7 から出力された表示データを通信端末 M T 又は 1 つ以上の外部接続機器 (不図示) に送信し、通信端末 M T 又は 1 つ以上の外部接続機器 (例えば図 1 に示す事務所内制御室内のモニタ 5 0) の表示画面における表示データの表示を促す。

【 0 0 6 3 】

通信端末 M T は、例えばユーザ個人が用いる携帯用の通信用端末であり、ネットワーク (不図示) を介して、表示制御部 3 7 から送信された表示データを受信し、通信端末 M T の表示画面 (不図示) に表示データを表示させる。

20

【 0 0 6 4 】

(非可視光センサの制御部における初期動作の一例の説明)

次に、本実施形態の植物検出カメラ 1 の非可視光センサ N V S S の制御部 1 1 における初期動作の一例について、図 4 を参照して説明する。図 4 は、植物検出カメラ 1 の制御部 1 1 における初期設定動作の一例を示すフローチャートである。

【 0 0 6 5 】

制御部 1 1 が、閾値設定 / 水分指数検出処理部 2 7 a に対し、葉の形状を識別するための反射強度比の閾値 S h の設定を指示すると、閾値設定 / 水分指数検出処理部 2 7 a は、閾値 S h を算出して設定する (S 1)。この閾値 S h を設定する処理の詳細については後述する。なお、閾値 S h が固定値である場合、ステップ S 1 の処理は省略可能である。

30

【 0 0 6 6 】

また、制御部 1 1 は、非可視光センサ N V S S の検出処理部 2 7 における水分の検出閾値 M を閾値設定 / 水分指数検出処理部 2 7 a に設定する (S 2)。検出閾値 M は、検出対象となる特定の物質に応じて適宜設けられることが好ましい。

【 0 0 6 7 】

ステップ S 2 の処理後、制御部 1 1 は、撮像処理を開始させるための制御信号を可視光カメラ V S C の各部に出力し (S 3 - 1)、更に、第 1 投射光源 1 3 又は第 2 投射光源 1 5 に参照光 L S 1 又は測定光 L S 2 の投射を開始させるための光源走査用タイミング信号 T R を非可視光センサ N V S S の第 1 投射光源 1 3 及び第 2 投射光源 1 5 に出力する (S 3 - 2)。なお、ステップ S 3 - 1 の動作とステップ S 3 - 2 の動作との実行タイミングはどちらが先でもよく、同時でもよい。

40

【 0 0 6 8 】

図 5 は、非可視光センサ N V S S における水分の検出の原理説明図である。閾値設定 / 水分指数検出処理部 2 7 a は、例えば $R T > M$ であれば水分を検出したと判定し、 $R T < M$ であれば水分を検出しないと判定してもよい。このように、閾値設定 / 水分指数検出処理部 2 7 a は、振幅差分 ($V A - V B$) と振幅 V A との比 R T と検出閾値 M との比較結果に応じて、水分の有無を検出することで、ノイズ (例えば外乱光) の影響を排除でき、水

50

分の有無を高精度に検出することができる。

【0069】

図6は、水(H₂O)に対する近赤外光の分光特性を示すグラフである。図6の横軸は波長(nm)であり、図6の縦軸は透過率(%)を示す。図6に示すように、波長905nmの参照光LS1は、水(H₂O)の透過率がほぼ100%に近い為、水分に吸収され難い特性を有することがわかる。同様に、波長1550nmの測定光LS2は、水(H₂O)の透過率が10%に近い為、水分に吸収され易い特性を有することがわかる。そこで、本実施形態では、第1投射光源13から投射される参照光LS1の波長を905nm、第2投射光源15から投射される測定光LS2の波長を1550nmとしている。

【0070】

図7(A)は、葉全体の反射強度比を測定する動作の概要を説明する図である。近赤外光の照射範囲は、葉の表面全体を含むような範囲に設定される。葉の厚み方向の深さ約数十μmまでに存在する水による、近赤外光(測定光)の光吸収量が反射強度比に反映される。

【0071】

葉が萎れることで近赤外光の投影範囲が減少する場合、葉が反れたり巻いたりすることで葉の厚みが増す場合でも、本実施形態では、葉の全画素における反射強度比の総和(以下、水分指数と称する)を水分量の指標とする。従って、水分指数は、 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ で表され、水ポテンシャルと相関を有する。

【0072】

図7(B)は、スポットが一定の面積である反射強度比を測定する動作の概要を説明する図である。前述したように、葉の表面より小さな範囲内で近赤外光を順次走査しながら照射して単位面積当たりの水分量を求めても、この単位面積当たりの水分量と水ポテンシャルとの相関は低い。

【0073】

(非可視光センサの水分やうねりの検出に関する詳細な動作の説明)

次に、植物検出カメラ1の非可視光センサNVSSにおける水分の検出に関する詳細な動作手順について、図8を参照して説明する。図8は、非可視光センサNVSSにおける植物PTの葉PT3に含まれる水分の検出に関する詳細な動作手順を示すフローチャートである。図8に示すフローチャートの説明の前提として、タイミング制御部11aは、光源走査用タイミング信号TRを第1投射光源13及び第2投射光源15に出力しており、植物検出カメラ1から参照光LS1及び測定光LS2が植物PTの葉PT3に向けて照射されるとする。

【0074】

図8において、制御部11は、奇数番目の投射周期における光源発光信号RFがタイミング制御部11aから出力されたか否かを判別する(S12)。奇数番目の投射周期における光源発光信号RFがタイミング制御部11aから出力された場合には(S12、YES)、第1投射光源13は、タイミング制御部11aからの光源発光信号RFに応じて、参照光LS1を投射する(S13)。投射光源走査用光学部17は、植物検出カメラ1の画角内に含まれる植物PTのX方向のライン上に参照光LS1を1次元的に走査する(S15)。参照光LS1が照射されたX方向のライン上のそれぞれの照射位置において、参照光LS1が拡散反射したことで生じた拡散反射光RV1が撮像光学部21を介して受光部23により受光される(S16)。

【0075】

信号加工部25では、拡散反射光RV1の受光部23における出力(電気信号)が電圧信号に変換され、この電圧信号のレベルがコンパレータ/ピークホールド処理部25cにおいて処理可能なレベルまで増幅される(S17)。コンパレータ/ピークホールド処理部25cは、増幅回路25bの出力信号と所定の閾値との比較結果に応じて、増幅回路25bの出力信号を2値化して閾値設定/水分指数検出処理部27aに出力する。コンパレータ/ピークホールド処理部25cは、増幅回路25bの出力信号のピークの情報を閾値

10

20

30

40

50

設定 / 水分指数検出処理部 27a に出力する。

【0076】

閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a は、参照光 LS1 の拡散反射光 RV1 に対するコンパレータ / ピークホールド処理部 25c の出力 (ピークの情報) をメモリ 27b に一時的に保存する (S18-2)。また、閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a は、メモリ 27b に保存された前回のフレーム (投射周期) における参照光 LS1 又は測定光 LS2 に対する拡散反射光 RV1 又は拡散反射光 RV2 における同一ラインに関するコンパレータ / ピークホールド処理部 25c の出力をメモリ 27b から読み出す (S18-3)。

【0077】

閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a は、同一ラインにおける参照光 LS1 の拡散反射光 RV1 におけるコンパレータ / ピークホールド処理部 25c の出力 (ピークの情報) と、測定光 LS2 の拡散反射光 RV2 におけるコンパレータ / ピークホールド処理部 25c の出力 (ピークの情報) と、所定の検出閾値 M とを基に、同ライン上における水分の有無を検出する (S18-4)。

【0078】

閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a は、反射強度比の総和 $Ln(I_{905} / I_{1550})$ である水分指数を算出する (S18-5)。この水分指数の算出の詳細については後述する。

【0079】

表示処理部 29 は、検出結果フィルタ処理部 27c の出力を用いて、水分の検出位置を示す検出結果画像データを生成する。表示制御部 37 は、表示処理部 29 で生成された検出結果画像データ、及び可視光カメラ VSC で撮像された可視光画像の可視光カメラ画像データを出力する (S19)。ステップ S15、S16、S17、S18-2 ~ S18-5、S19 の各動作は、1 回のフレーム (投射周期) の検出エリア内のライン毎に実行される。

【0080】

つまり、1 つの X 方向のラインに対するステップ S15、S16、S17、S18-2 ~ S18-5、S19 の各動作が終了すると、次の X 方向のラインに対するステップ S15、S16、S17、S18-2 ~ S18-5、S19 の各動作が行われ (S20、NO)、以降、1 フレーム分のステップ S15、S16、S17、S18-2 ~ S18-5、S19 の各動作が終了するまで、図 7 の拡大図 EPG に示す Y 方向の走査に関してステップ S15、S16、S17、S18-2 ~ S18-5、S19 の各動作が繰り返される。

【0081】

一方、1 フレームの全てのラインに対してステップ S15、S16、S17、S18-2 ~ S18-5、S19 の各動作の実行が終了した場合には (S20、YES)、投射光の走査が継続する場合には (S21、YES)、非可視光センサ NVSS の動作はステップ S12 に戻る。一方、参照光 LS1 及び測定光 LS2 の走査が継続しない場合には (S21、NO)、非可視光センサ NVSS の動作は終了する。

【0082】

図 9 は、ステップ S18-5 における水分指数の算出手順を示すフローチャートである。閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a は、フレーム画像から全画素における反射強度比 $Ln(I_{905} / I_{1550})$ を算出する (S31)。ここで、各画素の反射強度比 $Ln(I_{905} / I_{1550})$ の測定値を反射強度比 $W1 \sim Wk$ で表す。例えば近赤外光の画像が $76, 800 (= 320 \times 240)$ 画素から構成される場合、 Wk の添え字 k は $1 \sim 76, 800$ を表す変数である。

【0083】

閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a は、画素毎の反射強度比 Wk が葉 PT3 を識別するための閾値 Sh より大きいか否かを判別する (S32)。閾値 Sh の初期値は、経験値として閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a にあらかじめ登録されている。経験値は、植物水分量評価装置の仕様 (照射レーザー光の強度、受光素子の感度等)、測定対象の葉の含

10

20

30

40

50

水率（90%前後）、葉の厚み（例えば200 μ m）、屋内/屋外等によって決定される。特に、屋外の場合、太陽光の当たり方や葉群としての茂り具合によって変化し、その都度変更される。

【0084】

例えば経験値として、撮影距離1mの場合、屋内撮影時の閾値Shは約0.3に設定される。屋外撮影時の閾値Shは、約0.9に設定される。また、撮影距離3mの場合、屋内撮影時の閾値Shは約0.05に設定される。これらの閾値Shを初期値として設定し、実際の葉の形状と照らし合わせて、最適であるか否かを判断し、最適でない場合、閾値Shを変更することが好ましい。また、後述するように、閾値Shの算出処理を行い、算出された閾値Shを初期値として登録しておくことも可能である。

10

【0085】

ステップS32で、反射強度比Wkが閾値Sh未満である場合、この画素は、葉以外の背景を表す画素であるとして、表示処理部29は、この画素を単色で表示するための単色表示データを生成する（S36）。

【0086】

一方、ステップS32で反射強度比Wkが閾値Sh以上（閾値以上）である場合、表示処理部29は、この画素を、反射強度比Ln（ I_{905} / I_{1550} ）に対応する階調色で表示する（S33）。ここでは、反射強度比Ln（ I_{905} / I_{1550} ）に対応する階調色をn階調で表示可能である。nは任意の正数である。図10は、反射強度比に対応する階調色を示すテーブルである。このテーブルTbには、反射強度比Ln（ I_{905} / I_{1550} ）及び強度比換算値（905nmの反射光/1550nmの反射光）が階調色毎に区分けされている。

20

【0087】

具体的に、反射強度比Ln（ I_{905} / I_{1550} ）が0.3未満である場合、つまり、葉の閾値Sh以下である場合、その画素は、例えば白色（単色）で表示される。一方、反射強度比Ln（ I_{905} / I_{1550} ）が0.3以上0.4未満である場合、その画素は例えば深緑色で表示される。同様に、0.4以上0.5未満である場合、その画素は緑色で表示される。0.5以上0.55未満である場合、その画素は黄色で表示される。0.55以上0.6未満である場合、その画素はオレンジ色で表示される。0.6以上0.75未満である場合、その画素は赤色で表示される。0.75以上である場合、その画素は紫色で表示される。このように、葉に属する画素の色は、6階調のいずれかに設定される。

30

【0088】

なお、実際の葉の形状と照らし合わせて、葉が占有している画素空間が適切でない場合、ユーザが閾値Shを所定刻み（例えば0.01）毎にアップ又はダウンするように設定してもよい。或いは、ユーザが後述する閾値Shを自動設定する処理（図13参照）を起動させて適切な閾値Shを設定してもよい。

【0089】

閾値設定/水分指数検出処理部27aは、葉が占有している画素空間として任意のエリアを特定する（S34）。図11は、葉が占有している画素空間を含むフレーム画像の一部における反射強度比を示すテーブルである。このテーブルでは、フレーム画像の一部として、21画素 \times 9画素分の反射強度比Ln（ I_{905} / I_{1550} ）が示されている。背景が緑色（ドット表示）である画素は葉の画素に相当する。前述したように、葉の画素は、反射強度比Ln（ I_{905} / I_{1550} ）が閾値Sh（ここでは、0.3）を超える画素である。また、葉の画素を囲むように、矩形（A \times B）のエリアAREが特定される。このエリアAREは、葉の大きさを判断する値として用いられる。なお、葉の大きさは、閾値Shを超える画素数で表してもよい。

40

【0090】

閾値設定/水分指数検出処理部27a（水分量算出部）は、エリアARE内で、測定値（反射強度比Ln（ I_{905} / I_{1550} ））が閾値Shよりも大きい、反射強度比Ln

50

(I_{905} / I_{1550}) の総和である水分指数 $L_n(I_{905} / I_{1550})$ を計算する (S35)。この水分指数 $L_n(I_{905} / I_{1550})$ が得られることで、葉全体に含まれる水分量が分かる。

【0091】

更に、ステップ S35 では、閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a は、エリア AREA 内で、測定値 (反射強度比 $L_n(I_{905} / I_{1550})$) が閾値 S_h よりも大きい画素の数を計算し、この計算された画素の数で反射強度比の総和 $L_n(I_{905} / I_{1550})$ を除して平均値を算出することができる。この平均値は、閾値 S_h によって葉の外形が決定された葉の面積で反射強度比の総和が除された値であり、スポットの一定面積でスポット内の反射強度比の総和が除された値や、可視画像における葉の外形で囲まれた面積で反射強度比の総和が除された値とは異なる。この後、水分指数の算出動作が終了する。

10

【0092】

このように、本実施形態では、照射位置毎の反射強度比を求めるのではなく、フレーム画像における画素毎の反射強度比を求め、画素毎の反射強度比の総和から、水分指数を正確に算出できる。従って、葉、即ち植物の健全度を正確に判断することができる。

【0093】

ここでは、前述したように、葉の閾値 S_h は、初期値として次のような値に設定されている。屋内に植物検出カメラ 1 を設置し、屋内で葉 PT3 を撮像する場合、経験的に撮影距離が 1 m である場合、閾値 S_h は約 0.3 に設定される。撮影距離が 3 m である場合、閾値 S_h は約 0.05 に設定される。一方、屋外で撮像する場合、太陽光の条件が変動するので、経験的に閾値 S_h は約 0.9 に設定される。図 12 は葉の占有範囲を示す図である。図 12 (A) は、トマトの茎葉を撮像したフレーム画像である。葉間距離は約 1 cm である。図 12 (B) は、図 12 (A) の可視光画像に対し、撮影距離 3 m、閾値 S_h を 0.05 に設定した場合に求められた葉の占有空間を示す。この場合、葉が一部重なっており、閾値 $S_h (= 0.05)$ は不適切に設定された値であることが分かる。図 12 (C) は、図 12 (A) の可視光画像に対し、撮影距離 1 m、閾値 S_h を 0.3 に設定した場合に求められた葉の占有空間を示す。この場合、葉の外形は他の葉と重なり合うことなく、また、葉の占有空間は可視光画像の葉の外形と大まかに同じである。この場合、閾値 $S_h (= 0.3)$ は正しく設定された値であることが分かる。

20

【0094】

また、葉の閾値 S_h は、次のような処理を行い、図 9 に示す水分指数の算出処理を実行する前に登録されてもよい。図 13 は、閾値設定手順を示すフローチャートである。

30

【0095】

閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a は、可視光カメラ VSC で撮像されたフレーム画像 (例えば図 12 (A) 参照) に対し、葉の色と判断される緑色 (G) の画素が占有する出現割合 (G 画素数 / 全画素数) を求める (S41)。

【0096】

閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a は、水分指数の度数分布データを元に、出現割合に対応する水分指数を求める (S42)。図 14 は、全画素における反射強度比の度数分布を示すグラフである。度数分布データは、閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a に登録されている。この度数分布データを用いると、例えば出現割合が 52% である場合、水分指数は約 0.3 である。

40

【0097】

閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a は、ステップ S42 で求められた水分指数を閾値 S_h に設定する (S43)。この後、閾値設定 / 水分指数検出処理部 27a は本処理を終了する。

【0098】

このように、可視光カメラ VSC で撮像された可視光画像を利用することで、葉の緑色 (特定色) の占有画素数と、同じ画素数になるように測定値である $L_n(I_{905} / I_{1550})$ の累積度数に対応する閾値 S_h を求めることで、つまり、葉に含まれていると判

50

断される画素毎の水分量の閾値を変更することによって、葉の外形を正しく決定することができる。従って、葉の外形が正しく判断されることで、画素単位の平均値を正確に算出できる。これに対し、スポットの一定面積や可視光画像の外形を用いる場合、葉の外形が正しく捉えられないと、画素単位の平均値に大きな誤差が生じてしまう。

【 0 0 9 9 】

図 1 5 (A) は、測定に際して様々な姿勢で固定された葉を示す図である。葉の水分測定では、平らな面を有する板材として、白色背景板 b d を用意し、この板材の面に葉 P T 3 の裏面が重なるように、両面テープで葉 P T 3 を貼り付ける。第 1 の水分測定では、植物検出カメラ 1 の光軸に対して垂直な平面になるように板材がセットされる。第 2 の水分測定では、植物検出カメラ 1 の光軸に対してチルト角 4 5 ° に倒すように、板材がセットされる。第 3 の水分測定では、植物検出カメラ 1 の光軸に対してパン角 4 5 ° に傾くように、板材がセットされる。

【 0 1 0 0 】

図 1 5 (B) は、葉の反射強度比を表す画像を示す図である。第 1 の水分測定では、反射強度比が閾値 S h を超える領域は、正面から見た葉の外形に近くなっている。また、葉の中央部の反射強度比が最も高く、葉の内側から外側に向かっていく程、反射強度比が徐々に下がっていることが分かる。第 2 の水分測定では、反射強度比が閾値 S h を超える領域は、葉をチルト方向に倒すように見た葉の外形に近くなっている。また、葉の内側の広範囲に亘って、反射強度比が高くなっている。これは、葉を光軸に対して倒したことで、光軸方向の葉の厚みが増し、見かけ上、葉の水分量が多くなったことによると考えられる。第 3 の水分測定では、反射強度比が閾値 S h を超える領域は、葉をパン方向に傾けるように見た葉の外形に近くなっている。また、葉の内側の広範囲に亘って、反射強度比が高くなっている。これは、葉を光軸に対して傾けたことで、第 2 の水分測定の場合と同様、光軸方向の葉の厚みが増し、見かけ上、葉の水分量が多くなったことによると考えられる。

【 0 1 0 1 】

図 1 6 は、平均含有率に対する反射強度比を示すグラフである。このグラフによると、第 1、第 2、第 3 の水分測定でそれぞれ得られた反射強度比の総和（水分指数）は、葉の平均含水率が大きい程、大きな値となっており、平均含水率に対して高い相関を有する。第 1 の測定では、相関係数の二乗（ R^2 ）は、0.9943 である。第 2 の水分測定では、相関係数の二乗（ R^2 ）は、0.9973 である。第 3 の水分測定では、相関係数の二乗（ R^2 ）は、0.963 である。このように、いずれの水分測定の場合でも、水分指数は、平均含水率に対して高い相関を有する。

【 0 1 0 2 】

次に、トマトの苗を用いて、灌水を停止した（断水）後の萎凋過程及び根吸水（復活）過程を示す。図 1 7 (A) は、植物の萎凋過程を示すグラフである。縦軸は葉 1 枚の水分指数（ $= Ln(I_{905} / I_{1550})$ ）を示し、横軸は断水を始めてからの経過時間を示す。曲線 L f 1 1 は、1 日につき朝・夕の 2 度、灌水を行った場合の参照としての葉の水分指数を示す。曲線 L f 1 2 は、灌水を停止した（断水した）場合で、萎凋点に達した後も、再灌水を行わない場合を示す。また、図 1 7 (A) において、曲線 L f 1 1 や曲線 L f 1 2 の各種マークは、そのマークの始まりが午前 9 時頃で、そのマークの終わりが午後 1 7 時頃を示し、各種マークの数個の塊が 1 日の午前 9 時頃から午後 1 7 時頃までの範囲を示す。

【 0 1 0 3 】

葉の平均含水率は、断水時間の時間の経過とともに、86% から徐々に低下し、断水時間が 330 時間を経過すると、含水率 50% 以下の萎凋点に達する。断水をせず、定期的に朝・夕の 2 度、毎日灌水を行った場合の葉では、曲線 L f 1 1 に示すように、葉の平均含水率は測定初期とほぼ同じ値（水分指数：値 110）に維持される。一方、断水を継続した葉では、見かけ上、茎葉が萎れる萎凋点後も葉の平均含水率は下がり続け、断水時間が 350 時間になると、水分指数は値 20 にまで下がる。

【0104】

図17(B)は、復活過程を示すグラフである。葉の水分指数が値20まで下がった後、再灌水を行うと、再灌水後の時間の経過とともに、葉の平均含水率は徐々に上昇する。経過時間が280分に達すると、断水していた葉の平均含水率は、断水が行われる前の葉の平均含水率に近い値(水分指数:100)にまで達する。

【0105】

図18は、図17(B)の復活過程のグラフをプロットする際に用いた、実際の測定データで(フレーム画像の反射強度比テーブルを階調表示した図)、萎凋を迎えた葉の含水量が徐々に増加する過程を示している。再灌水から経過時間が0分である場合、反射強度比 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ が閾値 S_h を超える葉の領域は小さいが、60分を経過すると、やや増加し、300分を経過すると、更に増加する。そして断水していない(朝夕に定期的に灌水を施した(曲線 L_{f11} に相当する図中左)と同等レベルまで葉の含水量が復活していることが分かる。

10

【0106】

このように、葉に含まれる水分量を測定することで、萎凋過程及び根吸水(復活)過程を視覚的に捉えることが可能である。

【0107】

(比較例)

図19は、比較例の測定方法を説明する図である。ビニル袋 f_k で密封包装された大葉の葉 $PT3$ を取り出し、ホワイトボード w_b に葉 $PT3$ が動かないように固定する。葉 $PT3$ ががっしりと固定されたホワイトボード w_b を重量計 g_m に載せ、その重さを計る。このとき、ホワイトボード w_b の重さは、あらかじめ測定され、0点調整されているので、重量計 g_m のメータには、葉の重さが表示される。葉の蒸散による重量の変化を、時間の経過とともに測定する。全ての測定を完了した後、葉を完全に枯らし、その重量を求める。測定時の葉の重量から枯渇時の葉の重量を差し引くことで、測定時における葉の平均含水量を求める。図20(A)は、蒸散による葉の重量の時間変化、つまり葉の平均含水率の時間変化を示すグラフである。葉の平均含水率は、時間の経過とともに徐々に下がっていく。

20

【0108】

また、葉 $PT3$ が固定されたホワイトボード w_b を立てた状態で置く。この状態で、可視光カメラ $VSC1$ は葉を撮像する。更に、非可視光カメラ $NVSS1$ は、葉中の12箇所に対し、905nmの波長及び1550nmの波長を有する近赤外光をそれぞれ照射し、これらの反射強度比 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ を測定する。葉中の12箇所は、葉全体に亘って設定されたエリアであり、4x4画素の大きさを有する。図20(B)は、葉中の12箇所で測定された反射強度比 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ の時間変化を示すグラフである。

30

【0109】

図20(C)は、図20(A)及び図20(B)の測定データを元に得られる、反射強度比 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ と平均含水率との対応関係を示すグラフである。葉中の12箇所のいずれにおいても、反射強度比 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ と平均含水率とは比例関係を有する。従って、葉が動かないように、がっしりと固定された場合には、反射強度比 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ を測定することで、葉中の平均含水率が分かる。

40

【0110】

このように、第1の実施形態における植物水分量評価装置では、植物検出カメラ1の第1投射光源13は、光学走査により、水分に吸収され難い特性を有する第1波長(905nm)の近赤外光(参照光)を植物PTの葉 $PT3$ に向けて照射する。植物検出カメラ1の第2投射光源15は、光学走査により、水分に吸収され易い特性を有する第2波長(1550nm)の近赤外光(測定光)を植物PTの葉 $PT3$ に向けて照射する。閾値設定/水分指数検出処理部27aは、葉 $PT3$ の全照射位置において反射した905nmの反射

50

光と葉PT3の全照射位置において反射した1550nmの反射光とを元に、反射強度比の総和 $L_n(I_{905}/I_{1550})$ である葉1枚の水分指数を算出する。これにより、植物の健全度の指標となる植物に含まれる水分量を正確に測定することができる。

【0111】

また、閾値設定/水分指数検出処理部27aは、水分量を示しかつ単一の植物の形状を識別する閾値Shを保持し、閾値Sh以上となる少なくとも1つの照射位置における水分量を加算する。これにより、閾値Shによって植物の水分量を適切に算出できる。

【0112】

また、可視光カメラVSCは、植物の可視光画像を取得し、閾値設定/水分指数検出処理部27aは、取得された植物の可視光画像を用いて、閾値Shを算出する。これにより、植物の形状を正しく識別できる閾値Shを設定することができる。

10

【0113】

また、表示制御部37は、植物の葉、実、茎及び花のうちいずれか1つの非可視光画像を出力する。これにより、出力された非可視光画像によって植物の形状が正しいか否かを確認できる。

【0114】

また、閾値設定/水分指数検出処理部27aは、照射位置毎に水分量を算出するとともに、算出した水分量を加算して植物の全照射位置における水分量を算出する。表示制御部37は、非可視光画像を、照射位置毎に算出される水分量に応じて、段階的に識別可能に表示する。これにより、植物全体の水分量その他、植物に含まれる水分量の分布を視認することができる。

20

【0115】

また、各々の照射位置は、非可視光画像における所定数の画素に対応する。これにより、植物の位置と非可視光画像の位置とを対応付けることができる。

【0116】

(第2の実施形態に至る経緯・課題)

植物である葉の表面に2種類の近赤外光を照射し、これらの反射強度比から水分を求めるとき、次のような課題があった。近赤外光を照射して測定する時、測定対象の葉に近赤外光(例えばパルス光)を照射し、葉の表面であらゆる方向に拡散反射する光の一部を、照射したタイミングと少しずらして(例えばμSECオーダーずらして)近赤外光用の検出器にて受光して計測する。また、ここで照射する光はレーザー光であるがゆえに波長が単波長で905nm、1550nmのみで波長幅は狭い。更に、近赤外光用の検出器は、単波長用ではなく(905nm, 1550nmのみを通すフィルタなどは付いておらず)、広い範囲の近赤外域の光を電流に変える光電変換器(フォトセンサ)である。

30

【0117】

ここで、近赤外光の検出器における受光時に問題となるのが、外光である太陽光である。太陽光は、上記レーザー光とは異なって、幅広い波長領域を有し、近赤外光領域においてもあらゆる波長を有しています。これらの太陽光は、図22の(A)に示されているように太陽光が測定対象の葉にあたってその一部が直接戻ってくる光と、周囲の葉との間で多重散乱を行って戻ってくる光とに分けられます。そして、この両者は、タイミング的には905nmの近赤外光の照射時も1550nmの近赤外光の照射時も同じように、水が吸収する波長が散乱によりさらに吸収されて減少した図6に示したスペクトルとして戻ってきて、その905nm/1550nmの反射強度比を著しく上昇させます。ここで、バックグラウンドとしては905nmの近赤外光の照射時と1550nmの近赤外光の照射時とは、同じようなスペクトルで戻ってくるので共通であるといえるが、バックグラウンドの著しい上昇があると、測定対象の葉と周辺の葉との個体を区別することが難しくなる。

40

【0118】

また、圃場の苗では、葉が生い茂り、葉群となっている。葉群では、複数枚の葉がそれぞれの向きに重なり合っており、例えば風が吹くと、これらの葉は相対的に動くことにな

50

る。例えば図21(A)に示すように、測定対象の葉PT3tに向かって、近赤外光を照射した場合、照射された近赤外光は、測定対象の葉PTtの周囲にある葉PT3oによっても吸収・散乱される。例えば照射された近赤外光は、矢印b1に示すように、測定対象の葉PT3tで吸収される他、矢印b2に示すように、左側の葉PT3oにも照射され、一部が吸収される。左側の葉PT3oに照射され、左側の葉PT3oで散乱された近赤外光は測定対象の葉PT3tに拡散される。また、矢印b3に示すように、右側の葉PT3r1に照射され、右側の葉PT3r1で散乱された拡散光は更に別の葉PT3r2に拡散して測定対象の葉PT3tに拡散されるといふ、多重散乱も起こる。対象の葉PT3tの水分量は、周辺の葉で吸収された水分量を含め、実際より多く測定されることになる。また、図21(B)に示すように、複数枚の葉が重なったり、離れたりして、葉の面積が変わる。

10

【0119】

従って、水分量の有無を測定しても、対象の葉と周辺の葉との個体を区別することが難しかった。

【0120】

そこで、多数の葉が生い茂った葉群の中にあっても、周辺の葉からの散乱光(例えば太陽光等の外光の散乱)による影響を排除し、測定対象の葉の水分量を正確に測定することができるようにする。

【0121】

(第2の実施形態)

20

第2の実施形態の植物水分量評価装置の構成は前記第1の実施形態とほぼ同一の構成を有する。前記第1の実施形態と同一の構成要素については同一の符号を用いることで、その説明を省略する。

【0122】

測定対象となる植物の葉、例えばビニールハウス内で、温度、湿度、照度、風通し、CO₂濃度が異なる場所において、代表する植物の葉である。

【0123】

図21(A)は、第2の実施形態における植物水分量評価装置の動作の概要を説明する図である。図21(B)は、葉の重なりを示す図である。この植物水分量評価装置では、測定対象の葉の背面(裏側)を覆うように、背景物が配置される。

30

【0124】

背景物の材質としては、水分を含まず、農薬・散水・CO₂噴霧で変形しないもの、例えばプラスチック、コート紙、アルミ箔(板)等のシート、板、或いはブロックが挙げられる。また、背景物の大きさは、測定対象の葉を覆うような大きな面を有し、測定対象の葉の投影面積の2倍以内であり、他の葉の光合成を妨げない大きさであることが望ましい。また、背景物の厚みは、自己支持性でカールしない厚さ50μm~1mmであり、特に50~200μmであることが好ましい。また、背景物の重量は、葉の茎で支持される場合、葉が萎れない程度の重さであることが好ましい。また、背景物の色は、可視光及び近赤外光の反射率が高い白色や銀色であることが好ましい。

【0125】

40

本実施形態では、背景物として、白色背景板が用いられる場合を示す。なお、白色背景板は、白色プラスチック板、アルミ板、標準白色板、白色紙等が挙げられる。

【0126】

図22(A)は、屋外において葉に向かって近赤外光を照射した際、近赤外光の波長に対する反射光の強度を示すグラフである。縦軸は非可視光センサNVSSで検知される近赤外光の強度を示し、横軸は近赤外領域の波長を示す。非可視光センサNVSSで検知される近赤外光の強度には、太陽光による光の強度の他、周辺の葉で散乱された光の強度が含まれる。つまり、検知される近赤外光の強度には、太陽光が周辺の葉で多重散乱されたことによるバックグラウンドの上昇分が含まれる。また、周辺の葉によって1550nmの波長を有する近赤外光が吸収されることで、非可視光センサNVSSで検知される光の強

50

度は小さくなる。従って、反射強度比 $L_n(I_{905} / I_{1550})$ の値は大きくなる。このため、屋外で葉の水分量を測定する場合、反射強度比 $L_n(I_{905} / I_{1550})$ と比較される閾値 S_h の値を大きく設定する必要がある。

【0127】

図22(B)は、屋内及び屋外において白色背景板 b_d が設置された葉に向かって近赤外光を照射した際、近赤外光の波長に対する反射光の強度を示すグラフである。縦軸は非可視光センサ NVS で検知される近赤外光の強度を示し、横軸は近赤外領域の波長を示す。白色背景板 b_d が測定対象の葉 $PT3t$ の背面(裏側)を覆うように配置されたことで、周辺の葉 $PT3o$ からの多重散乱が起きなくなる。従って、 1550nm の波長を有する近赤外光の強度が低下することは起きない。また、屋内の場合、バックグラウンドの上昇も生じない。なお、屋外で測定する場合、閾値 S_h は約 0.5 に設定される。また、屋内で測定する場合、閾値 S_h は約 0.3 に設定される。

10

【0128】

測定対象の葉 $PT3t$ の背面に白色背景板 b_d を配置する場合、葉を固定することなく配置してもよいし、白色背景板 b_d に葉 $PT3t$ を取り付けて固定してもよい。ここでは、白色背景板 b_d に葉 $PT3t$ を取り付ける場合を示す。

【0129】

図23は、白色背景板 b_d への葉 $PT3t$ の取り付け方を説明する図である。白色背景板 b_d は、縦長の長方形を有する白色プラスチック板である。白色背景板 b_d の中央部には、矩形状にくり抜かれた開口部 b_{d1} が形成されている。また、白色背景板 b_d の上部には、円形の孔部 b_{d2} が形成されている。孔部 b_{d2} には、上端面にまで達するスリット b_{d21} が形成されている。また、白色背景板 b_d に形成された開口部 b_{d1} の下側及び両側には、それぞれ3本のスリット b_{d3} , b_{d4} , b_{d5} が形成されている。

20

【0130】

葉 $PT3t$ を白色背景板 b_d に取り付ける場合、葉 $PT3t$ の先端を3本のスリット b_{d3} の1本に挿し込み、スリット b_{d21} を中心に左右の白色背景板 b_d を前後方向にずらして空隙を作り、その内側に葉の茎 $PT2$ を通して、孔部 b_{d2} に茎 $PT2$ を固定する。

【0131】

図24は、測定対象の葉 $PT3t$ の背面を覆うように配置される白色背景板 b_d の各種設置方法を示す図である。図中、左側の植物 PT では、白色背景板 b_d は、土台 BB の上に立てられた棒材 p_1 の先端に取り付けられ、立札として設置される。また、中央の植物 PT では、白色背景板 b_d は、誘引線 rp_1 から誘引紐 rp_2 によって吊り下げられた状態で保持される。また、図中、右側の植物 PT では、白色背景板 b_d は、円形の孔部 b_{d2} に通された茎 $PT2$ によって保持される。

30

【0132】

図25(A)は、屋外で水分量の測定対象となる葉 $PT3t$ を示す写真である。ここでは、白色背景板 b_d は立札として設置されている。また、白色背景板 b_d の孔部 b_{d2} から突出する茎 $PT2$ には、複数枚の葉 $PT3$ が突出しており、そのうちの1枚の葉(図中、枠 e で囲まれた葉) $PT3t$ を測定対象とする。また、比較例として、白色背景板が背面に配置されていない葉(図中、枠 f で囲まれた葉) $PT3h$ を測定対象とする。

40

【0133】

図25(B)は、葉 $PT3t$ の反射強度比 $L_n(I_{905} / I_{1550})$ を示す図である。図25(C)は葉 $PT3h$ の反射強度比 $L_n(I_{905} / I_{1550})$ を示す図である。葉 $PT3h$ では、白色背景板 b_d が存在しないので、太陽光による周囲の葉の散乱光によって葉 $PT3h$ の反射強度比は大きくなっている。

【0134】

図26(A)は、白色背景板 b_d で背面が覆われた葉 $PT3t$ が占有している画素空間を含むフレーム画像の一部における反射強度比を示すテーブルである。葉 $PT3t$ の反射強度比 $L_n(I_{905} / I_{1550})$ が閾値 $S_h (= 0.3)$ を超える領域 $ARE1$ は、

50

葉 P T 3 t の形状に近く、葉の外形を表現していると考えられる。一方、図 2 6 (B) は、白色背景板 b d で背面が覆われていない葉 P T 3 h が占有している画素空間を含むフレーム画像の一部における反射強度比を示すテーブルである。葉 P T 3 h の反射強度比 L_n (I_{905} / I_{1550}) は、周辺の葉 P T 3 o からの散乱光によって大きくなっており、誤差を含むと考えられる。また、葉 P T 3 h の反射強度比 L_n (I_{905} / I_{1550}) が閾値 $S_h (= 0.9)$ を超える領域 A R E 2 は、やや縦長の形状をした葉 P T 3 h の外形と似ておらず、葉 P T 3 h の外形を表現していないと考えられる。

【 0 1 3 5 】

図 2 7 は、屋外で水分量の半減の測定対象となる葉を示す写真である。第 1 の半減測定では、枠 g 1 で囲まれた、高所にある葉 P T 3 t が測定対象であり、その背面には、白色背景板 b d が配置される。第 2 の半減測定では、枠 g 2 で囲まれた、低所にある葉 P T 3 i 1 が測定対象であり、その背面には、白色背景板 b d が配置される。第 3 の半減測定では、枠 g 3 で囲まれた、数枚の葉 P T 3 i 2 が測定対象であり、その背面には、何も配置されていない。第 4 の半減測定では、大きな枠 g 4 で囲まれた、多数生い茂った葉群 P T 3 i 3 が測定対象であり、その背面には、何も配置されていない。

【 0 1 3 6 】

図 2 8 (A) は、第 1 の半減測定における葉 P T 3 t 及び第 2 の半減測定における葉 P T 3 i 1 の水分指数の時間変化を示すグラフである。縦軸は反射強度比 L_n (I_{905} / I_{1550}) で表される水分指数であり、横軸は時間 (単位: 分) である。また、半減の有無は、植物に供給される液肥を絶ってから (破線 h 1 参照)、水分指数が $1/2$ にまで半減したか否かによって判定される。これらのことは、図 2 8 (B)、(C) においても同様である。

【 0 1 3 7 】

白色背景板 b d が背面に配置された、高所の葉 P T 3 t 及び低所の葉 P T 3 i 1 のいずれも、液肥の供給を絶ってから約 1 2 0 0 分が経過すると、水分指数の半減が確認された。

【 0 1 3 8 】

図 2 8 (B) は、第 3 の半減測定における葉 P T 3 i 2 の水分指数の時間変化を示すグラフである。背部に白色背景板 b d が配置されていない、葉 P T 3 i 2 では、周辺の葉からの乱反射によって反射強度比 L_n (I_{905} / I_{1550}) のバックグラウンドは、葉 P T 3 t, P T 3 i 1 と比べて多少大きくなるものの、液肥の供給を絶ってから約 1 2 0 0 分が経過すると、水分指数の半減が確認された。

【 0 1 3 9 】

図 2 8 (C) は、第 4 の半減測定における葉群 P T 3 i 3 の水分指数の時間変化を示すグラフである。背面に白色背景板 b d が配置されていない、葉群 P T 3 i 3 では、周辺の葉からの乱反射 (外光散乱) によって反射強度比 L_n (I_{905} / I_{1550}) のバックグラウンドが著しく大きくなり、液肥の供給を絶ってから約 1 2 0 0 分が経過しても、水分指数の半減が確認できなかった。従って、葉群では、重なり葉 (図 2 1 (B) 参照) が出現したり、消失したりして、反射強度比 L_n (I_{905} / I_{1550}) を測定しても、その誤差は大きいことが分かる。

【 0 1 4 0 】

このように、第 2 の実施形態における植物水分量評価装置では、植物の水分量を評価する際、植物 P T の葉 P T 3 の背面を覆うように、白色背景板 b d (背景物) を配置しておく。第 1 投射光源 1 3 が、光学走査により、水分に吸収され難い特性を有する波長 9 0 5 n m の近赤外光 (参照光) を葉 P T 3 に向けて照射する。第 2 投射光源 1 5 が、光学走査により、水分に吸収され易い特性を有する波長 1 5 5 0 n m の近赤外光 (測定光) を葉 P T 3 に向けて照射する。閾値設定 / 水分指数検出処理部 2 7 a は、葉 P T 3 の全照射位置において反射した参照光の反射光と葉 P T 3 の全照射位置において反射した測定光の反射光とを基に、葉 P T 3 の全照射位置における反射強度比の総和 L_n (I_{905} / I_{1550}) である葉 1 枚の水分指数を算出する。これにより、多数の葉が生い茂った葉群の中

10

20

30

40

50

にあっても、周辺の葉から散乱光（外光散乱）による影響を排除し、重なり等の影響を除外することで測定対象の葉の水分量を正確に測定することができる。

【0141】

また、白色背景板 b d は、植物の葉 P T 3 の前に立てられた立札である。これにより、植物と独立に設置した状態で白色背景板 b d を配置することができ、しっかりと固定できる。従って、風や雨等の外力や芽かき、葉がき作業時の人為的外力がある程度加わっても、白色背景板 b d の姿勢を維持できる。

【0142】

また、白色背景板 b d は、誘引紐 r p 2 によって植物の上方から吊り下げられる。これにより、植物の葉 P T 3 と切り離れた状態で白色背景板 b d を配置することができ、また、白色背景板 b d の取り付けが簡単で茎の成長（トマト苗の成長速度は約 1 c m / 日）にもある程度追従できる。

【0143】

また、白色背景板 b d は、植物の茎 P T 2 に支持される。これにより、他の支持部材を用いることなく、白色背景板 b d を簡単に葉の裏側に配置でき、茎の成長（トマト苗の成長速度は約 1 c m / 日）にもある程度追従できる。

【0144】

以上、図面を参照しながら各種の実施形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範囲内において、各種の変更例又は修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【産業上の利用可能性】

【0145】

本発明は、植物に含まれる水分量を測定する際、植物の健全度の指標となる植物に含まれる水分量を正確に測定することができる植物水分量評価装置及び植物水分量評価方法として有用である。

【符号の説明】

【0146】

- 1 植物検出カメラ
- 1 1 制御部
- 1 1 a タイミング制御部
- 1 3 第 1 投射光源
- 1 5 第 2 投射光源
- 1 7 投射光源走査用光学部
- 2 1、3 1 撮像光学部
- 2 3、3 3 受光部
- 2 5 信号加工部
- 2 5 a I / V 変換回路
- 2 5 b 増幅回路
- 2 5 c コンパレータ / ピークホールド処理部
- 2 7 検出処理部
- 2 7 a 閾値設定 / 水分指数検出処理部
- 2 7 b メモリ
- 2 7 c 検出結果フィルタ処理部
- 2 9 表示処理部
- 3 5 撮像信号処理部
- 3 7 表示制御部
- A R E エリア
- A R E 1 , A R E 2 領域
- B B 土台

10

20

30

40

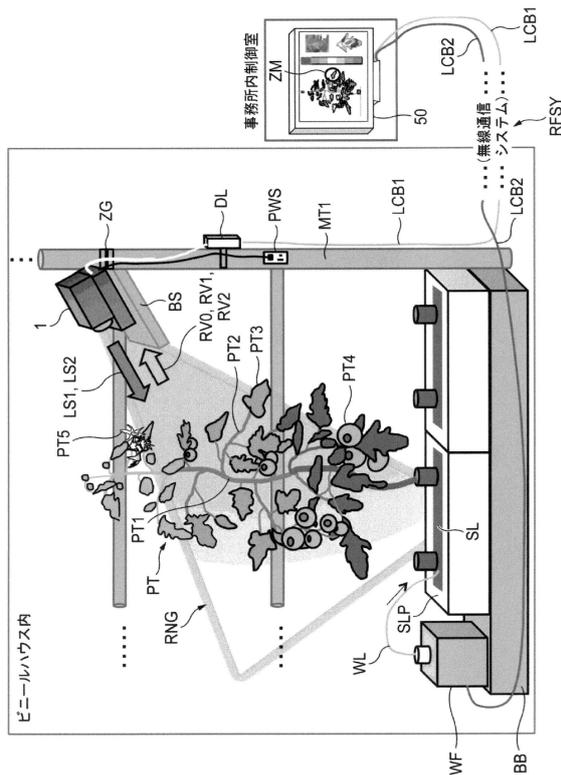
50

- b d 白色背景板
- b d 1 開口部
- b d 2 孔部
- b d 3 , b d 4 , b d 5 , b d 2 1 スリット
- J G 画像判定部
- I₉₀₅ 参照光の反射強度
- I₁₅₅₀ 測定光の反射強度
- PT3 , PT3 t , PT3 o , PT3 h , PT3 r 1 , PT3 r 2 葉
- LS1 参照光
- LS2 測定光
- MT 通信端末
- NVSS 非可視光センサ
- PJ 投射部
- TR 光源走査用タイミング信号
- RF 光源発光信号
- RV0 環境光
- RV1、RV2 拡散反射光
- Sh 閾値
- sp1 スポット
- VSC 可視光カメラ
- W1 , Wk 反射強度比

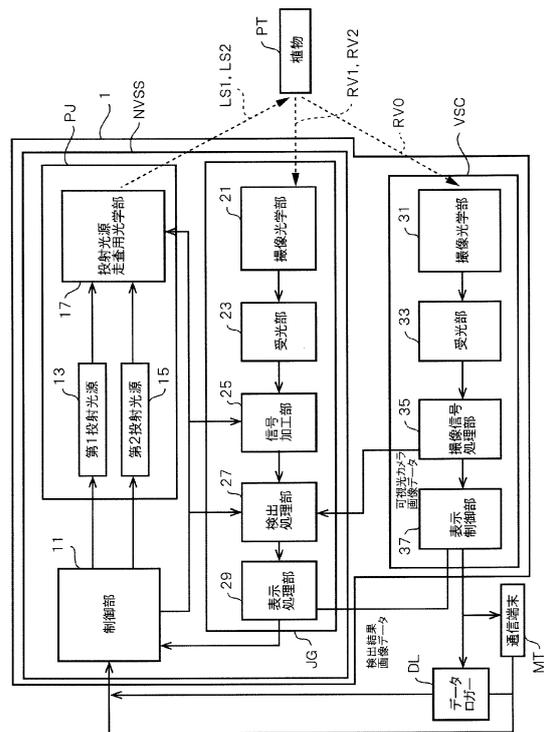
10

20

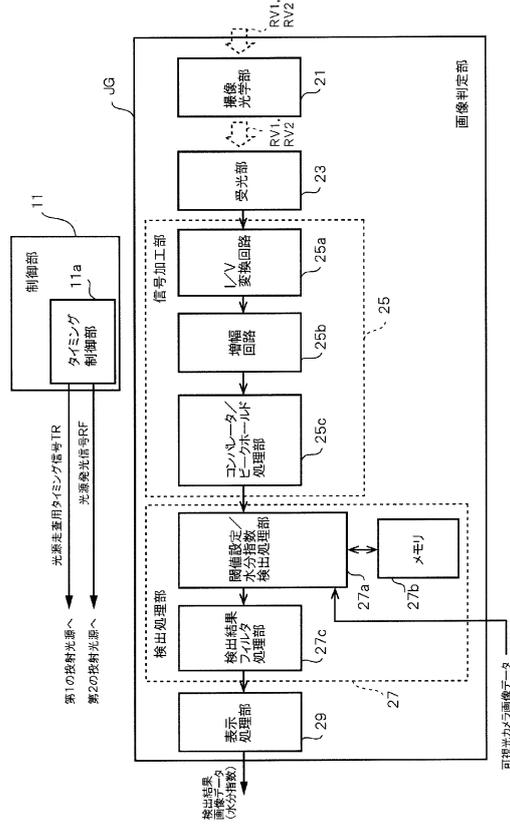
【図1】



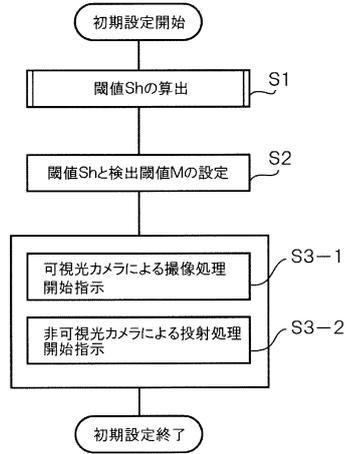
【図2】



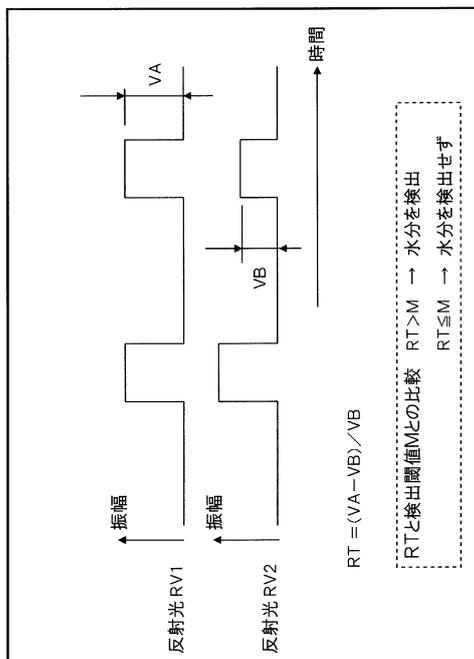
【図3】



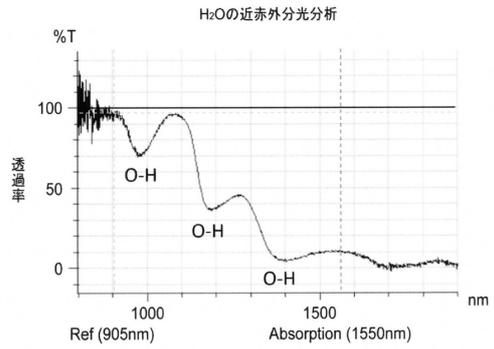
【図4】



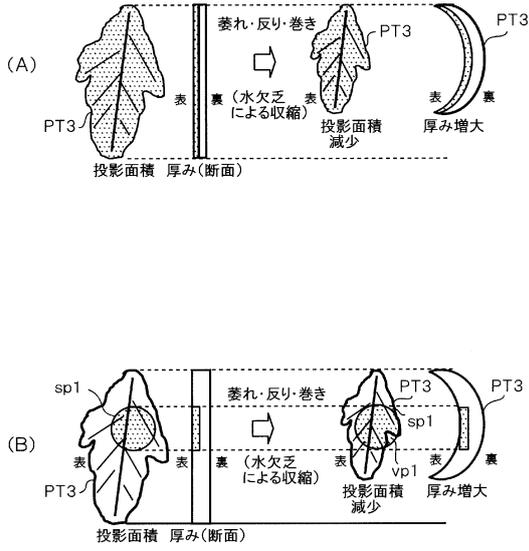
【図5】



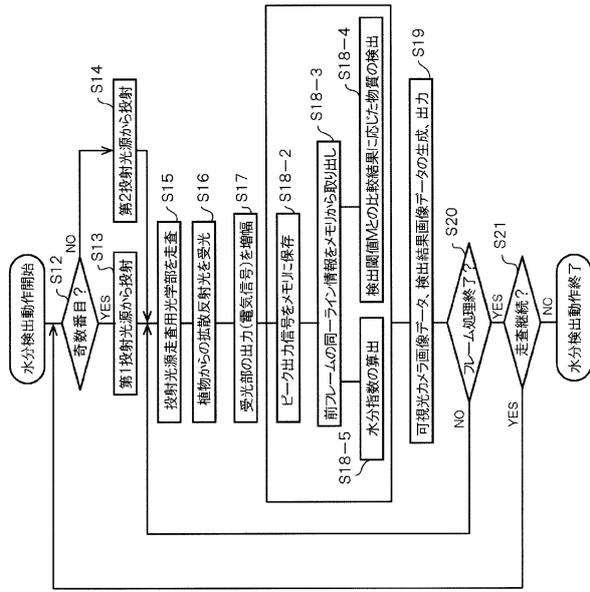
【図6】



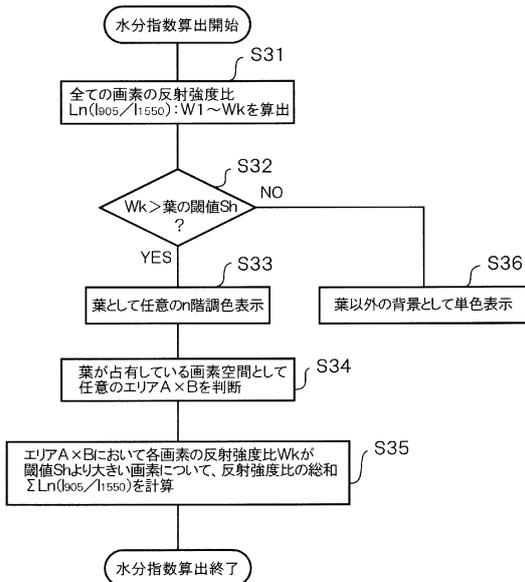
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

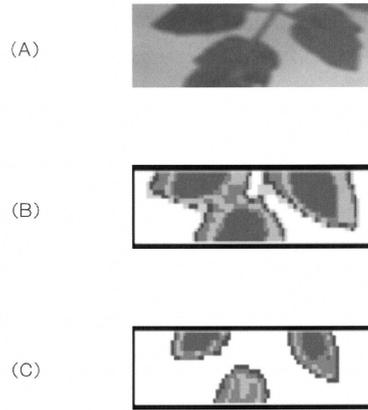
反射強度比 $\ln(I_{905}/I_{1550})$	強度比換算 I_{905}/I_{1550}
< 0.3	< 1.349
0.3~0.4	1.349~1.492
0.4~0.5	1.492~1.649
0.5~0.55	1.649~1.733
0.55~0.6	1.733~1.822
0.6~0.75	1.822~2.117
0.75<	2.117<

【 図 1 1 】

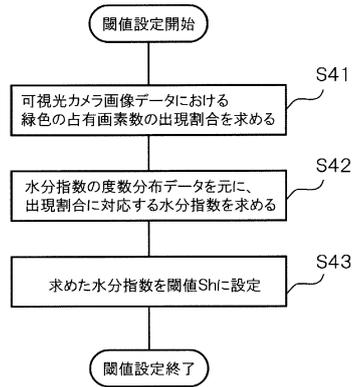
0.120811	0.149614	0.137343	0.114148	0.076093	0.011674	-0.01163	-0.05523	-0.03757
0.125248	0.172965	0.15948	0.126022	0.089612	0.01949	0.011873	-0.03391	-0.01574
0.148199	0.199904	0.17691	0.133531	0.111832	0.044927	0.052822	0.008977	0.022246
0.194251	0.227869	0.198172	0.156277	0.154876	0.102169	0.119502	0.074724	0.075352
0.247982	0.262199	0.239976	0.215673	0.229191	0.182649	0.214218	0.156125	0.136483
0.276739	0.287192	0.295587	0.296681	0.326487	0.302588	0.32026	0.237615	0.191142
0.254568	0.276097	0.324702	0.364308	0.412217	0.409069	0.410649	0.302116	0.230083
0.199545	0.234741	0.302885	0.394193	0.454575	0.470076	0.453364	0.329293	0.250862
0.158115	0.197794	0.272265	0.394631	0.455677	0.485935	0.461736	0.330715	0.251775
0.161212	0.206592	0.282619	0.409233	0.458335	0.474655	0.45055	0.321021	0.242244
0.204409	0.269788	0.342894	0.450824	0.474401	0.460903	0.427522	0.301546	0.219295
0.266744	0.348575	0.412386	0.497288	0.490421	0.435941	0.390092	0.270651	0.186504
0.292105	0.406767	0.453507	0.506656	0.495508	0.402278	0.333888	0.226336	0.146093
0.295668	0.42312	0.463995	0.481857	0.449536	0.350517	0.26229	0.180638	0.103744
0.265075	0.399231	0.445507	0.423915	0.374375	0.281667	0.181745	0.129034	0.062051
0.214678	0.344589	0.393603	0.348589	0.277132	0.203423	0.103611	0.077881	0.01823
0.169447	0.275706	0.315009	0.261335	0.175947	0.124205	0.031069	0.018942	-0.01898
0.141768	0.214221	0.230803	0.178572	0.093177	0.062106	-0.02083	-0.01928	-0.02509
0.1265	0.162033	0.189463	0.116279	0.041841	0.020169	-0.03136	-0.01469	0.004509
0.094079	0.112334	0.093124	0.074864	0.023198	0.023857	-0.00217	0.025928	0.059011
0.043546	0.055988	0.032287	0.046581	0.024701	0.045375	0.056402	0.089247	0.11396

ARE

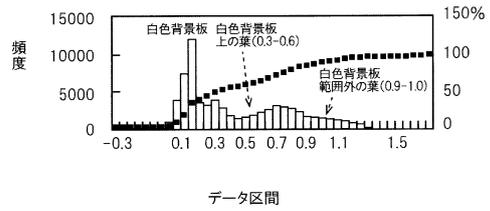
【 図 1 2 】



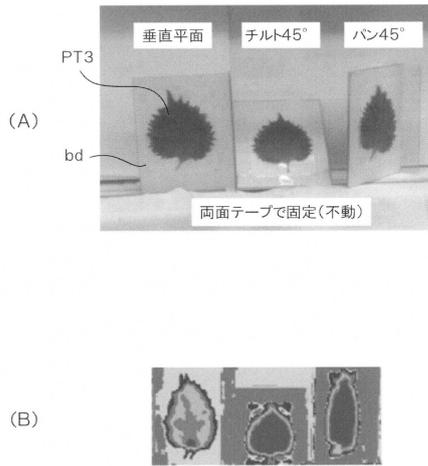
【 図 1 3 】



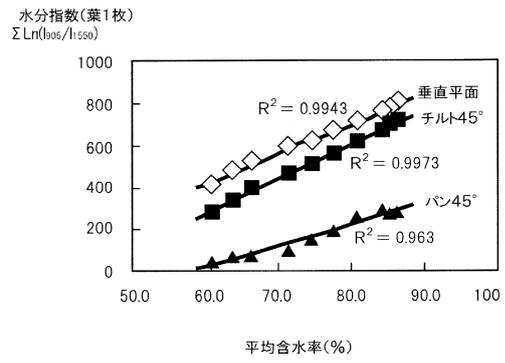
【 図 1 4 】



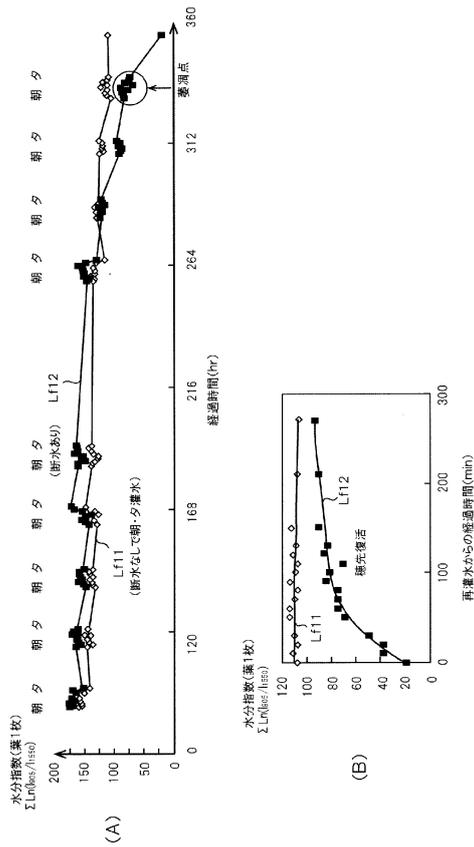
【図15】



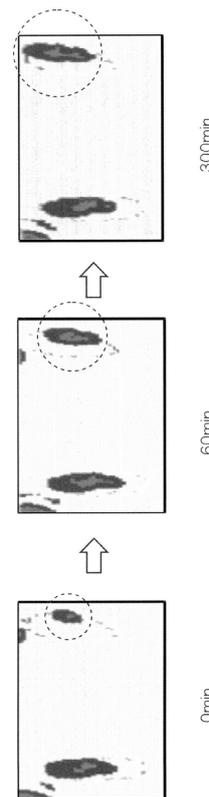
【図16】



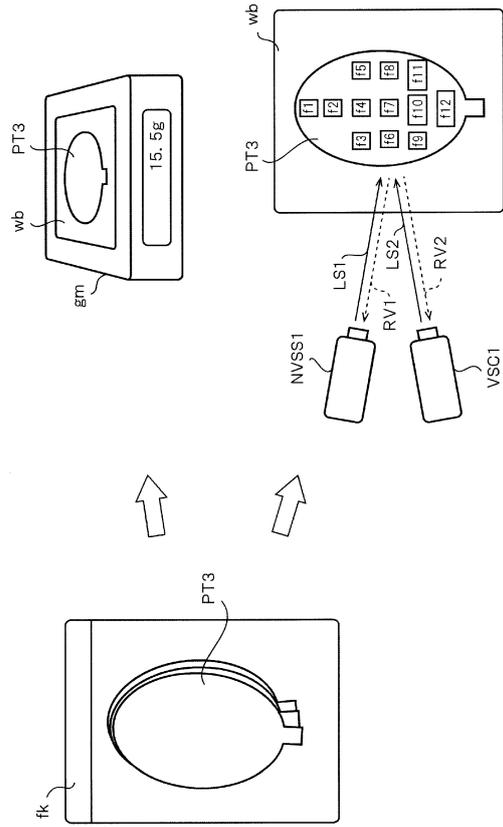
【図17】



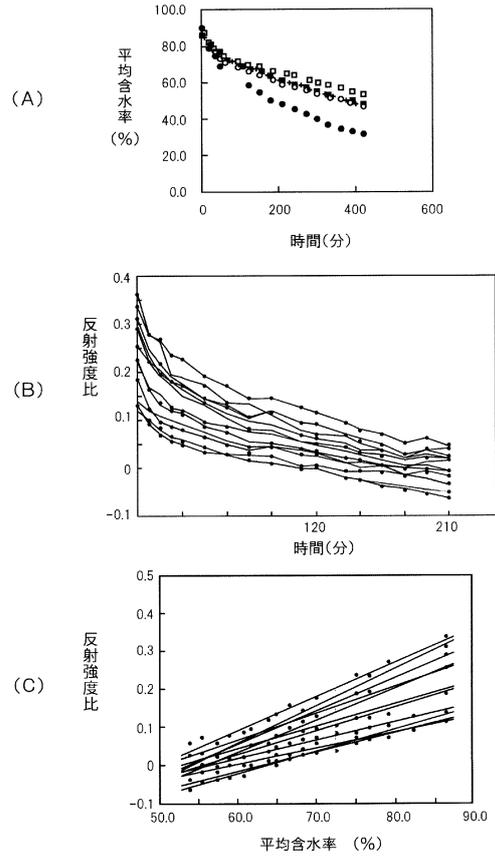
【図18】



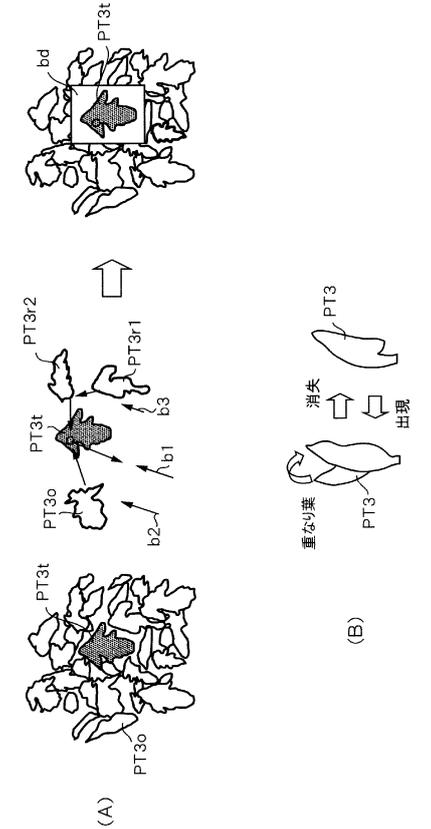
【図19】



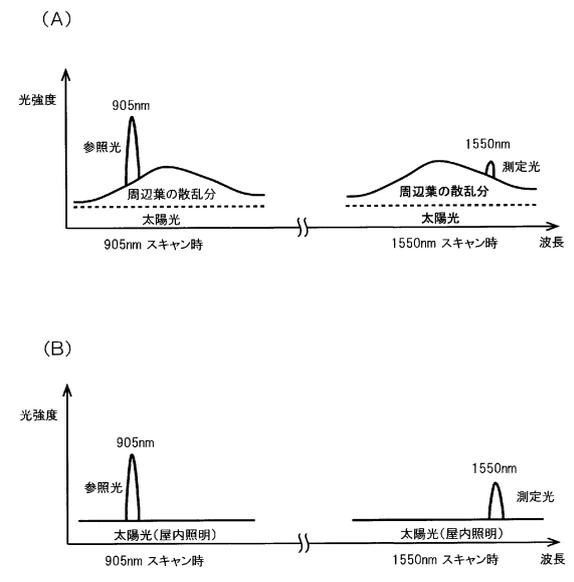
【図20】



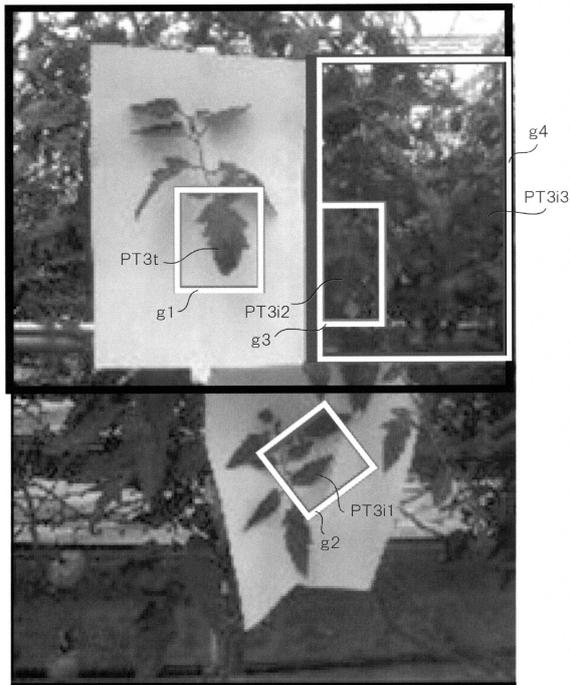
【図21】



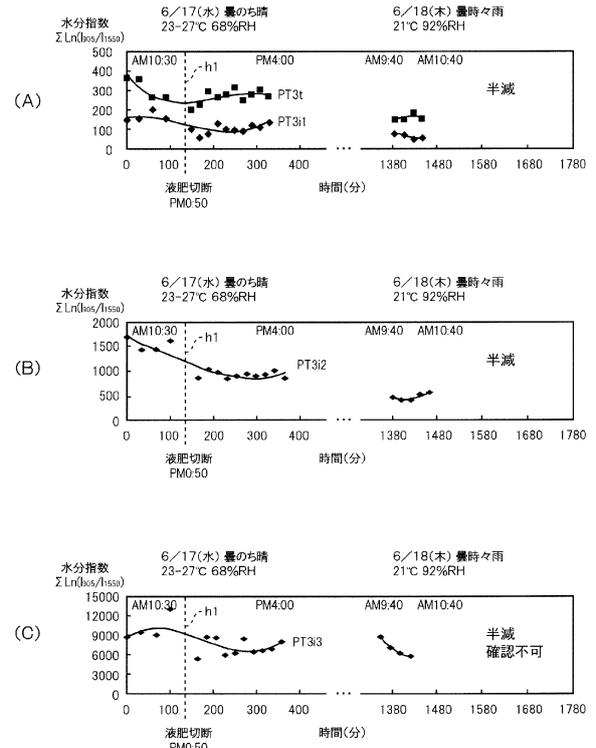
【図22】



【 図 27 】



【 図 28 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平07-243966(JP,A)
特開平03-221843(JP,A)
特開平03-176645(JP,A)
米国特許出願公開第2006/0290933(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N	21/00	-	G01N	21/01
G01N	21/17	-	G01N	21/61
A01G	2/00	-	A01G	2/38
A01G	5/00	-	A01G	7/06
A01G	9/28			
A01G	17/00	-	A01G	17/02
A01G	17/18			
A01G	20/00	-	A01G	22/67
A01G	24/00	-	A01G	24/60

JSTPlus/JST7580/JSTChina(JDreamIII)
Scopus