

(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
2025年5月8日(08.05.2025)



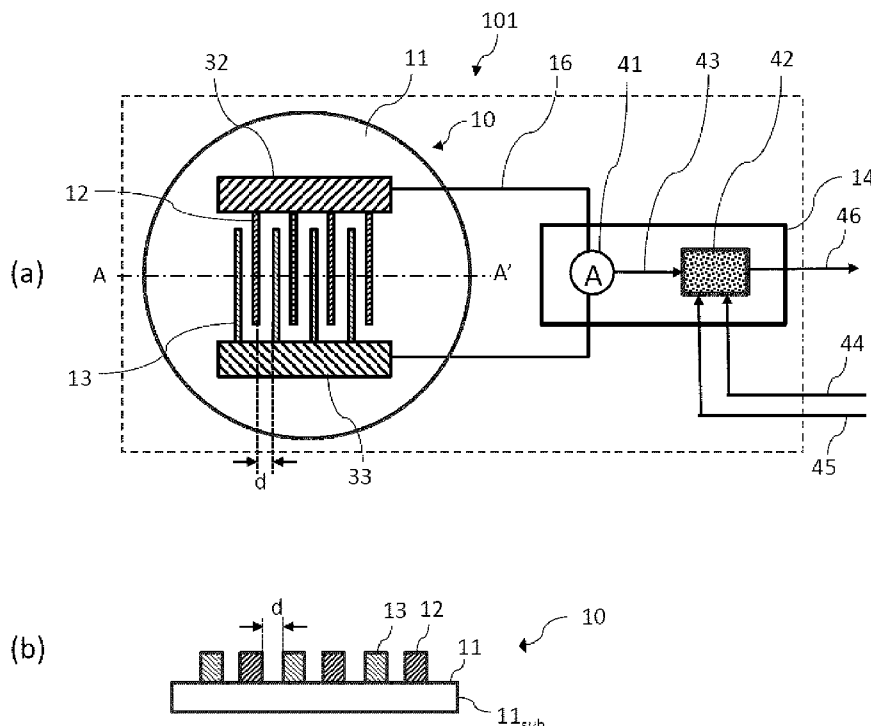
(10) 国際公開番号

WO 2025/094861 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 27/416 (2006.01) G01N 27/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/038255
- (22) 国際出願日: 2024年10月28日(28.10.2024)
- (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 2023-187336 2023年11月1日(01.11.2023) JP
- (71) 出願人: 国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 (JP).
- (72) 発明者: 川喜多 仁(KAWAKITA Jin); 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内 (JP).
- (74) 代理人: 續 成朗(TSUZUKI Noriaki); 〒1010044 東京都千代田区鍛冶町1-10-4 丸石ビル3階 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,

(54) Title: TRANSPIRATION MEASUREMENT SENSOR, TRANSPIRATION MEASUREMENT DEVICE, AND TRANSPIRATION MEASUREMENT METHOD

(54) 発明の名称: 蒸散計測センサ、蒸散計測装置および蒸散計測方法



(57) Abstract: According to one aspect, the present invention provides a transpiration measurement device with which it is possible to easily measure transpiration speed and transpiration amount from a state in which substantially no transpiration occurs to a state in which a large amount of moisture is released or a large amount of droplets are generated in a supersaturated environment in which relative humidity exceeds 100%. A transpiration measurement device according to an embodiment of the present invention comprises a sensor having a structure in which first thin wire electrodes composed



WO 2025/094861 A1

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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

of a material containing a first metal and/or carbon and second thin wire electrodes composed of a material containing a second metal different from the first metal are alternately arranged in at least a partial region on a substrate in which at least the surface thereof has insulating properties. The transpiration measurement device is configured to measure a current flowing between the first and second thin wire electrodes.

(57) 要約: 一局面において、本発明は、ほとんど蒸散が起こらない状態から、相対湿度が100%を超える過飽和の環境で雫が多量に発生するようもしくは水分が多量に放出されている状態まで、簡便に、蒸散速度および蒸散量を計測することが可能な蒸散計測装置を提供する。本発明の一実施形態に係る蒸散計測装置は、第1の金属および炭素の少なくとも何れか1つを含む材料からなる第1の細線電極と、第1の金属とは異なる金属である第2の金属を含む材料からなる第2の細線電極とが、少なくとも表面が絶縁性の基板上の少なくとも一部の領域で交互に並置されている構造を有するセンサを備え、第1の細線電極と第2の細線電極間を流れる電流を測定するように構成される。

明 細 書

発明の名称：蒸散計測センサ、蒸散計測装置および蒸散計測方法
技術分野

[0001] 本発明は、蒸散計測センサ、蒸散計測装置および蒸散計測方法に関する。

背景技術

[0002] 植物の生育は、葉等からの水蒸気（水分とも表現され得る）の放出速度や放出量、すなわち蒸散速度や蒸散量に大いに依存する。このため、植物からの蒸散速度や蒸散量を正確に計測することは、作物の生育管理、品質管理等が行き届いた、農業の高度化を行う上で極めて重要である。

例えば、ハウス内の植物からの蒸散量を正確に計測し、その計測値を用いて蒸散量のモニタリングを行うことができれば、ハウス栽培における灌水量や湿潤状態などを制御することができる。また、果実や野菜の高糖度化のために、生育段階で与える水分を、作物を枯らさないレベルで少なめに管理して水ストレスを与える栽培方法があるが、この場合も蒸散量を正確に計測できれば、高糖度化と収穫量の確保との両立を図ることが可能になる。

[0003] 従来、特許文献1に開示があるように、湿度センサを用いて蒸散量を求める方法が検討されており、葉一枚および覆いに囲まれた一株の植物からの蒸散量を評価する装置が市販されている。しかしながら、ハウス全体のマクロな蒸散量を評価する方法および装置は見当たらない。

ハウス内の飽差（絶対湿度の飽和値と測定値の差）を蒸散量の目安にする方法も提案されているが、この方法は、相対湿度100%以上、すなわち結露発生条件以上の高湿度環境では蒸散量を見積もることができないという問題がある。さらに、この方法は、あくまでも蒸散の傾向を把握することができる程度であって、精緻な生育管理への適用は容易ではない。

したがって、蒸散がほとんど起こらない状態から、相対湿度が100%を超える過飽和の環境で雫が多量に発生するような状態まで、幅広いレンジで、しかも簡便に、蒸散速度および蒸散量を計測することができる方法および

そのための装置が強く求められていた。

先行技術文献

特許文献

- [0004] 特許文献1：特開2014-215215号公報
特許文献2：国際公開第2016/013544号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 本発明が解決しようとする課題は、蒸散がほとんど起こらない状態から、相対湿度が100%に達し、さらに100%を超えて過飽和になり、雫が多量に発生するようもしくは水分が多量に放出されている状態まで、簡便に、蒸散速度および蒸散量を計測することが可能なセンサおよび装置、並びに、これらを用いた計測方法を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0006] 本発明の構成を以下に示す。

(構成1)

第1の金属および炭素の少なくとも何れか1つを含む材料からなる第1の細線電極と、前記第1の金属とは異なる金属である第2の金属を含む材料からなる第2の細線電極とが、少なくとも表面が絶縁性の基板上の少なくとも一部の領域で交互に並置されている構造を有する、蒸散計測センサ。

(構成2)

第1の金属および炭素の少なくとも何れか1つを含む材料からなる第1の細線電極と、前記第1の金属とは異なる金属である第2の金属を含む材料からなる第2の細線電極とが、少なくとも表面が絶縁性の基板上の少なくとも一部の領域で交互に並置されている構造を有するセンサと、前記第1の細線電極と前記第2の細線電極間を流れる電流を測定する信号処理装置を有する、被測定物からの蒸散を計測する蒸散計測装置。

(構成3)

前記蒸散は、蒸散速度である、構成 2 記載の蒸散計測装置。

(構成 4)

前記領域において、前記第 1 の細線電極と前記第 2 の細線電極の間隔が一定である、構成 2 または 3 記載の蒸散計測装置。

(構成 5)

前記間隔は、100 nm 以上 10 μ m 以下である、構成 4 記載の蒸散計測装置。

(構成 6)

前記第 1 の金属は金、白金、銀、チタンおよびこれらの合金からなる群から選択される、構成 2 から 5 の何れかに記載の蒸散計測装置。

(構成 7)

前記第 2 の金属を含む材料は銀、銅、鉄、亜鉛、ニッケル、コバルト、アルミニウム、スズ、クロム、モリブデン、マンガン、マグネシウムおよびこれらの合金からなる群から選択される、構成 2 から 6 の何れかに記載の蒸散計測装置。

(構成 8)

前記第 1 の細線電極と前記第 2 の細線電極の少なくとも一方は複数本設けられ、

前記第 1 の細線電極と前記第 2 の細線電極とは互いに対向する方向から相手側に向かって伸びることにより、互いに平行に併走する、構成 2 から 7 の何れかに記載の蒸散計測装置。

(構成 9)

前記被測定物は植物である、構成 2 から 8 の何れかに記載の蒸散計測装置。

(構成 10)

構成 2 から 8 の何れかに記載の蒸散計測装置を使用した、被測定物からの蒸散量および蒸散速度の少なくとも 1 つを計測する蒸散計測方法。

(構成 11)

湿度センサとガルバニー電流検知型の液滴センサを準備するステップと、
前記湿度センサを相対湿度 100% 以下の実験環境に置いて湿度および温度の異なる複数の条件で前記湿度センサからの出力データを取得して前記実験環境の相対湿度の変化を測定するステップと、

前記相対湿度と前記温度から絶対湿度を算出するステップと、
前記絶対湿度の変化データを基に、前記実験環境中の水蒸気量の変化速度データからなる教師データを取得するステップと、

測定環境に前記液滴センサを置いて前記測定環境における前記液滴センサの出力データを取得するステップと、

前記教師データと前記液滴センサの出力データを比較して相関性を求めるステップと、

前記教師データと前記液滴センサの出力データとの相関性が認められた前記液滴センサの出力データの傾きから、前記液滴センサの出力値 P を測定環境中の水蒸気量の変化速度 S に換算する変換係数 α を算出するステップと、

被測定物の測定対象環境に前記液滴センサを置いて前記液滴センサの出力 P_{measure} を求めるステップと、

$$S_{\text{measure}} = \alpha \times P_{\text{measure}}$$

から前記被測定物の蒸散速度 S_{measure} を求めるステップからなる、前記被測定物からの蒸散速度を計測する蒸散計測方法。

(構成 12)

前記相関性を求める方法は、回帰分析、 t 検定、および z 検定からなる群より選ばれる 1 つである、構成 11 記載の蒸散計測方法。

(構成 13)

構成 11 または 12 記載の蒸散計測方法に従って、前記被測定物の測定対象環境における前記液滴センサを用いた前記蒸散速度 S_{measure} の計測を、予め定めた所定の時間 t 以上の時間継続して実施するステップと、

計測された前記蒸散速度 S_{measure} を前記所定の時間 t で時間積分して前記所定の時間 t における蒸散量 V を算出するステップからなる、前記被測定

物からの蒸散量を計測する蒸散計測方法。

(構成14)

前記液滴センサは、第1の金属および炭素の少なくとも何れか1つを含む材料からなる第1の細線電極と、前記第1の金属とは異なる金属である第2の金属を含む材料からなる第2の細線電極とが、少なくとも表面が絶縁性の基板上の少なくとも一部の領域で交互に並置されている構造を有する、構成11から13の何れかに記載の蒸散計測方法。

(構成15)

水蒸気を放出する蒸散体が複数群生している群生領域と、蒸散体が存在しない空白領域とからなる空間が外気から隔離された密閉空間を形成しており、

前記液滴センサを、少なくとも1つは前記群生領域、少なくとも1つは前記空白領域に設置して、構成11から14の何れかに記載の蒸散計測方法による計測を行う、蒸散計測方法。

発明の効果

[0007] 本発明により、蒸散がほとんど起こらない状態から、相対湿度が100%に達し、さらに100%を超えて過飽和になり、雫が多量に発生するようないしは水分が多量に放出されている状態まで、簡便に、蒸散速度および蒸散量を計測することが可能なセンサおよび装置、並びに、これらを用いた蒸散計測方法が提供される。

[0008] さらに、本発明の蒸散計測方法は、植物の(例えばハウス内の作物の)群落内といった局所的な状況から、ハウス全体といったマクロな状況まで、蒸散量を計測することが可能であるという特徴を有する。

本発明によって計測される蒸散量の単位は $[g/m^3]$ であり、この単位が示すように、特定の群落内などの局所的な蒸散量 $[g]$ は、センサ周囲の局所的空間の体積 $[m^3]$ を掛け算して求めることができる。一方、ハウス全体というようなマクロ的な蒸散量 $[g]$ は、1個のセンサから得られる蒸散量 $[g/m^3]$ にハウス全体の体積 $[m^3]$ を掛け算する、あるいはハウスを仮

想的にいくつかの区画に区切り、その区画内に設置したセンサから得られる蒸散量 $[g/m^3]$ に区画毎の体積 $[m^3]$ を掛け算し、全区画で得られる値を合計して求めることができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の蒸散計測装置の構成の概要を示す図であり、(a)は平面図であり、(b)は液滴センサ部のA-A'断面図である。

[図2]本発明の蒸散計測装置の液滴センサ部の動作原理を説明する図である。

[図3]本発明の蒸散計測方法を示すフローチャート図である。

[図4] (a) ~ (d) 本発明の蒸散計測方法を説明する図である。

[図5A]実施例による測定例であり、バブラー温度 $[^{\circ}C]$ の時間変化を示す図である。

[図5B]実施例による測定例であり、環境温度 $[^{\circ}C]$ と、センサ表面上の相対湿度 $[\%RH]$ を示す図である。

[図5C]実施例による測定例であり、細線電極間隔が異なる2種類の液滴センサによる電流値 $[pA]$ の測定結果をデジタル信号として処理したものと、細線電極の抵抗値 $[\Omega]$ を示す図である。

[図5D]実施例による測定例であり、図5Cに示す電流値の測定結果を得る前の、アナログ信号データ(生データ)を示す図である。

[図6] (a)、(b) 実施例による計測例であり、ハウス内で蒸散計測を行っている様子を示す写真である。

発明を実施するための形態

[0010] <装置構成>

本発明の蒸散計測装置101は、図1(a)に示すように、液滴センサ部10とセンサ信号処理、解析部14を具備する装置である。

[0011] 本発明の蒸散計測装置101は、蒸散計測用センサとして、後述のガルバニ電流検知型の液滴センサ10を用いることを第1の特徴とする。

液滴センサ10は、第1の細線電極と第2の細線電極間に形成される液滴を、第1の細線電極と第2の細線電極間に流れる電流で感知して検出するセ

ンサである。本発明者は、液滴センサ10で検出される液滴の大きさ、数と蒸散量との間には相関があることを発見して、本発明を創案した。液滴センサ10は、蒸散量の増加に伴ってセンサ応答の頻度が増加する傾向を示すことに加えて、相対湿度が100%を超えるような過飽和の状態でも、液滴の大きさ、数の増加を検出することができるので、本発明の蒸散計測装置101の液滴センサ部10を構成するセンサ（蒸散計測用センサ）として用いるのに好適である。このため、実施例でも示されるように、液滴センサ10を備える蒸散計測装置101は、相対湿度が100%を超えるような過飽和の状態でも、蒸散速度および蒸散量を計測することが可能であり、植物の生育・品質管理や、農業の高度化に求められる性能を満たすものである。

[0012] 本発明の蒸散計測装置101の第2の特徴は、液滴センサ10の出力値（出力電流値）を蒸散量（蒸散速度）に結びつけるに当たって、相対湿度100%以下の実験環境で、相対湿度と環境温度から算出した絶対湿度から求めた実験環境中の水蒸気量と対比させて、変換係数を求めることである。この技術的特徴を言い換えると、ガルバニー電流検知型の液滴センサの動作原理（後述する図2参照）を考慮すると、一見、細線電極間に形成される液滴（水滴）が植物の蒸散による水蒸気であっても（すなわち、植物の蒸散に由来する水蒸気に起因して細線電極間に水滴が形成される場合であっても）、環境中の乾湿状態をモニターするのと同様にして、蒸散量もしくは蒸散速度を見積もることは可能である、と推測されるかもしれないが、本発明者は、当該推測は模擬的・限定的な環境においてのみ当てはまり得ることであり、実際に植物が生育している環境（実環境）においては、液滴センサの応答（液滴検出・測定信号）から蒸散量もしくは蒸散速度を一義的に評価することは困難であることを知見した。そして、上述の通り、所定の実験環境において得られた当該環境中の水蒸気量と、マクロ（平均）的なセンサ応答との相関関係を評価し、変換係数を求めることで、実環境におけるミクロ（局所）的なセンサ応答から、対象の植物の蒸散量もしくは蒸散速度を算出する手法を考案し、本発明を完成させた。ここで、相対湿度が100%を超えるような

過飽和の条件に対しては、上述したように、当該過飽和の条件でも液滴センサ10が液滴の大きさ、数の増加を検出することができるという特徴を利用して、名目上100%を超えた（結露分を含む）値を見積もることにより、補外を行う。このことにより、幅広いレンジにおいて精度、確度を担保して蒸散量が計測される。

[0013] 蒸散計測装置101は、図1(a)に示すように、液滴センサ部10とセンサ信号処理、解析部14の間が信号線16で電氣的に繋がれた、液滴センサ部10とセンサ信号処理、解析部14とを有する一体型の計測装置としてもよいし、液滴センサ部10を有するセンサ装置と、信号処理、解析部14を有する信号処理装置に分かれた分離型（セパレート型）の計測装置としてもよい。分離型の場合は、液滴センサ部10からの出力信号を信号処理、解析部14に伝える手段として無線が意図されるが、無線の代わりにSSD（Solid State Drive）、メモリカードなどのメディアを用いてもよい。

ここで、一体型は装置の取り扱いが容易になるという特徴があり、分離型は複数のセンサを用いる場合に、信号処理部と解析部を共有化できて効率がよく、装置全体の価格を抑えることが可能になるという特徴がある。

[0014] 液滴センサ部（液滴センサ）10は、ガルバニー電流検知型の液滴センサからなる。

ガルバニー電流検知型の液滴センサは、図2に示すように、基板11_{sub}の表面11に、金属Aからなる第1の細線電極12および金属Bからなる第2の細線電極13が並置されており、第1の細線電極12および第2の細線電極13に跨って水滴などの導電性の液滴が触れることで両細線電極間を流れるガルバニー電流を検知して、当該液滴の存在や生成を検出するセンサである。このようなガルバニー電流検知型の液滴センサは、例えば特許文献2に開示がある。ここで、基板11_{sub}は、少なくともその表面11が絶縁性の材料からなる。基板11_{sub}としては、シリコン上のシリコン酸化膜基板、合成石英やガラスからなる基板、ポリカーボネートなどからなるプラスチック基

板、アルミニウムなどの金属板上に酸化膜や有機絶縁膜などが形成された金属絶縁基板などを挙げることができる。第1の細線電極12および第2の細線電極13を構成する金属A、Bは、互いに異なる金属であり、各々金属単体であってもよく、合金であってもよい。なお、金属AとBのどちらかは、炭素であっても、炭化金属であっても、炭化合金であってもよい。

[0015] ここで、第1の細線電極12と第2の細線電極13の間隔d（図1（b）参照）は一定であることが好ましい。間隔dが一定であることにより、液滴の検出安定性や感度が向上するので、蒸散計測装置101による蒸散の計測安定性や感度が向上する。また、間隔dは、100nm以上10 μ m以下が好ましく、500nm以上10 μ m以下がさらに好ましい。間隔dがこの範囲にあると、液滴の検出安定性を確保しやすいため、蒸散計測装置101による蒸散の計測をより安定させることが可能になる。

[0016] 第1の細線電極12と第2の細線電極13としては、金属、合金、炭化金属、炭化合金および炭素の何れかからなる材料が用いられ、互いに電気化学ポテンシャルが異なるように選択される。

例えば、第1の細線電極12を構成する第1の金属を含む材料としては、金（Au）、白金（Pt）、銀（Ag）、チタン（Ti）およびこれらの合金からなる群から選択される材料を挙げることができる。また、第1の金属として、金属に代わって炭素（C）を用いることも、炭化金属を用いることも、炭化合金を用いることもできる。

第2の細線電極13を構成する第2の金属を含む材料としては、銀（Ag）、銅（Cu）、鉄（Fe）、亜鉛（Zn）、ニッケル（Ni）、コバルト（Co）、アルミニウム（Al）、スズ（Sn）、クロム（Cr）、モリブデン（Mo）、マンガン（Mn）、マグネシウム（Mg）およびこれらの合金からなる群から選択される材料を挙げることができる。

[0017] 第1の細線電極12と第2の細線電極13の少なくとも一方は、図1（a）に示すように、複数本設けられ、第1の細線電極12と第2の細線電極13とは互いに対向する方向から相手側に向かって伸びることにより、互いに

平行に併走する構造となっていることが好ましい。これにより、センサデバイスのパッキング密度（素子密度）を高め、液滴検出の感度、信頼性および安定性を高めることができる。

[0018] 液滴センサ部10の電極（集電体）は、図1（a）に示すように、第1の細線電極12と電氣的に繋がれている第1の電極32、第2の細線電極13と電氣的に繋がれている第2の電極33からなる。ここで、前述のように、第1の細線電極12を構成する金属（材料）は、第2の細線電極13の金属（材料）とは異なる。配線の作製上は、第1の細線電極12と第1の電極32、および第2の細線電極13と第2の電極33は、各々同じ材料から構成されることが好ましい。一方、液滴センサ部10から引き出される引き出し配線の利便性の観点に立つと、第1の電極32および第2の電極33は、同じ材料で構成されるのが好ましい。後者の観点に立つと、第1の電極32および第2の電極33としては、例えば電気抵抗が低く、コストも比較的安く抑えることが可能なアルミニウムを好んで用いることができる。

[0019] 液滴センサ部10は、前述の一体型計測装置の場合、信号線16を介してセンサ信号処理、解析部14に電氣的に接続される（図1（a）参照）。センサ信号処理、解析部14は、図1（a）に示すように、電流値測定部41と電流値判定、解析部42の2つの機能部を少なくとも有し、電流値測定部41と電流値判定、解析部42は信号線43で電氣的に繋がれている。

[0020] 電流値測定部41では、第1の細線電極12と第2の細線電極13間に流れるガルバニー電流値を測定する。測定方式としては、ガルバニー電流を直接測る電流計を用いて測っても、ガルバニー電流をアンプで増幅して測ってもよい。前者の直接電流を測る方式は、シンプルかつコストを抑えて作製できる方式であり、後者のアンプを用いる方式は、測定精度を高めるのに適した方式である。アンプの方式としては、代表的には、チャージアンプ方式およびアナログアンプ方式を挙げることができる。ここで、アナログアンプ方式は、片方からのチャンネルの信号を位相反転させた上で、もう片方のチャンネルの信号との差分をとる手法であり、コストを抑えつつS/N比を10

倍以上に高めることが可能であるので、特に好んで用いることができる。

[0021] 電流値判定、解析部42は、以下の機能を有する。

- ・液滴センサ部10からの出力信号である液滴検出・測定信号、湿度センサからの相対湿度測定信号、および液滴センサ10の設置場所の環境温度測定信号の各信号の入力機能、
- ・前記相対湿度測定信号および前記環境温度測定信号から絶対湿度を算出する機能、
- ・前記絶対湿度の時間変化 Δ_H を求める機能、ここで、得られる絶対湿度の時間変化 Δ_H は、環境中の水蒸気量の変化速度に対応する、
- ・液滴センサ10の出力信号の時間変化 Δ_W を求める機能、
- ・前記液滴センサ10の出力信号の時間変化 Δ_W に対する前記絶対湿度の時間変化 Δ_H から、液滴センサ10の出力信号の時間変化 Δ_W を環境中の水蒸気量の変化速度 Δ_H に換算する変換係数 α を求める機能、
- ・環境条件と前記変換係数 α をリスト化して記憶、保存しておく変換係数記憶機能、
- ・以下の式(1)より、液滴センサ10の出力信号 P_{measure} から前記変換係数 α を用いて蒸散速度 S_{measure} を求める機能。

$$S_{\text{measure}} = \alpha \times P_{\text{measure}} \quad \dots (1)$$

[0022] このため、図1(a)に模式的に示すように、電流値判定、解析部42は、電流値測定部41からの信号線43用入力部、湿度センサ(図示なし)からの信号線44用入力部、任意的な温度センサ(図示なし)からの信号線45用入力部、および出力線46用出力部を備える。図1(a)では、電流値判定、解析部42に向かう矢印が入力部を意味し、電流値判定、解析部42から出ていく矢印が出力部を意味している。なお、温度センサからの温度データは、信号線45を介した電気信号で電流値判定、解析部42に入力する方式に代えて、温度の数値を入力する方式としてもよい。また、各信号の伝達手段は、信号線に代わって無線としてもよく、各信号の形態は、アナログでもデジタルでもよい。

[0023] 電流値判定、解析部42は、具体的にはCPU (Central Processing Unit)、MPU (Micro Processing Unit) およびマイコンなどの演算機能デバイス、DRAM、SRAM、Flashメモリなどのメモリ、およびSSD、Flashメモリ、HDDなどのストレージからなる。例えば、電流値判定、解析部42としては、PCを用いることができる。

[0024] 本発明の蒸散計測装置101で直接計測されるものは蒸散速度である。蒸散量は、各測定時刻tにおける蒸散速度の計測値 $\Delta V(t)$ から、時間積分を行って算出することができる。

[0025] <計測方法>

本発明の蒸散計測方法を、図3および図4を参照しながら説明する。

[0026] 最初に、湿度センサとガルバニー電流検知型の液滴センサ10を準備する(工程S11)。ここで、湿度センサは少なくとも相対湿度を測定するセンサであり、特に限定されない。一般に市販されている相対湿度センサを用いて問題はなく、例えば、ハウス用としては、ThinkingFarm (合同会社アグロインフォ製)、あぐりログ (株式会社IT工房Z製)、およびプロファーム (株式会社デンソー)、汎用品としては、おんどとりシリーズ (株式会社ティアンドデイ製) およびHygroFlexシリーズ (ロトロニック社製)、素子レベルとしては、SHT3xシリーズ (センシリオン株式会社製) を挙げることができる。なお、湿度センサは、温度を測定する機能も備えていることが好ましい。あるいは、湿度センサとは別に、温度センサを準備してもよい。

[0027] 次に、前記湿度センサを相対湿度100%以下の実験環境に置いて湿度および温度の異なる複数の条件で前記湿度センサからの出力データを取得して、前記実験環境の相対湿度の変化を測定する(工程S12、図4(a))。実験環境は、相対湿度が100%以下であり、湿度および温度の異なる複数の条件で湿度センサからの出力データが取得可能な環境であれば、特に制限されない。例示的には、一定の容積を有する部屋の中(実験室内)や空間内

(実験ボックス内)等が挙げられる。あるいは、後述する測定環境がハウス内(例えば、農業用ハウス内)である場合には、当該ハウス内や当該ハウス内の環境を模した空間内を実験環境としてもよい。ここで、図4(a)は、環境温度(気温) [°C] と相対湿度 [%RH] が時刻 t により変化する様子を模式的に例示している。なお、測定の時間間隔は任意の値を設定することができる。

[0028] その後、前記相対湿度と前記温度から絶対湿度を算出する(工程S13)。ここで、絶対湿度の算出は、一般的な換算手法に沿って、飽和水蒸気圧を求め、相対湿度を乗じて実際の水蒸気分圧を求め、この値をさらに物理的な公式に当てはめて計算するようにしてもよい。本明細書において、絶対湿度は、特にことわりのない限り容積(容量)絶対湿度 [g/m³] を意味するものとし、典型的には、以下の計算式：

$$\text{絶対湿度 [g/m}^3\text{]} = 217 \times \text{水蒸気分圧 [hPa]} / (273.15 + \text{温度 [°C]})$$

を用いて算出することができる。なお、飽和水蒸気圧および水蒸気分圧は、例えば、以下の計算式を用いて算出することができる。

$$\text{飽和水蒸気圧 [hPa]} = 6.11 \times 10^{(7.5 \times \text{温度 [°C]} / (237.3 + \text{温度 [°C]}))}$$

$$\text{水蒸気分圧 [hPa]} = \text{飽和水蒸気圧 [hPa]} \times \text{相対湿度 [\%]} / 100$$

[0029] しかる後、前記絶対湿度の変化データを基に、前記実験環境中の水蒸気量の変化速度データからなる教師データを取得する(工程S14、図4(b))。ここで、図4(b)は、絶対湿度 [g/m³] が時刻 t により変化する様子を模式的に例示しており、単位時間あたりの絶対湿度の変化量 [g/m³/min] が、実験環境中の水蒸気量の変化速度であることを示している。

[0030] 次に、測定環境に液滴センサ10を置いて前記測定環境における液滴センサ10の出力データを取得する(工程S15、図4(c))。測定環境は、蒸散を計測する対象物(被測定物)が存在しているまたは存在する予定であ

る環境であることが意図され、典型的には、対象の植物が生育されているまたは生育される予定である環境である。例示的な一態様では、測定環境はハウス内であり、より具体的には農業用ハウス内である。ここで、図4(c)は、液滴センサ10の出力値（センサ値[A]）が時刻tにより変化する様子を模式的に例示しており、単位時間あたりのセンサ値の変化量[A/min]が得られることを示している。

[0031] その後、前記教師データと液滴センサ10の出力データを比較して相関性を求める（工程S16）。相関性を求める方法としては、回帰分析、t検定、およびz検定からなる群より選ばれる1つを挙げることができる。ここで、回帰分析は多変量解析への拡張が可能であり、t検定は母分散が未知な場合に適して用いることができ、z検定は母分散が既知な場合に適して用いることができるという特徴を有する。

[0032] しかる後、前記教師データと液滴センサ10の出力データとの相関性が認められた液滴センサ10の出力データの傾きから、液滴センサ10の出力値Pを測定環境中の水蒸気量の変化速度Sに換算する変換係数 α を算出する（工程S17、図4(d)）。ここで、図4(d)は、図4(c)に示した単位時間あたりのセンサ値の変化量（センサ値の時間変化[A/min]）を横軸とし、図4(b)に示した単位時間あたりの絶対湿度の変化量（環境中の水蒸気量の変化速度[g/m³/min]）を縦軸として得られるグラフを模式的に例示しており、このグラフの傾き[g/m³/A]が、上述の変換係数 α であることを示している。なお、上述のグラフは、近似直線（回帰直線）であってもよい。

[0033] 次に、被測定物の測定対象環境に液滴センサ10を置いて液滴センサ10の出力 P_{measure} を求める（工程S18）。ここで、測定対象環境は、被測定物（すなわち、蒸散を計測する対象物）が存在している環境であることが意図され、典型的には、対象の植物が生育されている環境である。また、本発明において、測定対象環境は、上記の測定環境よりも狭い空間を意味し得る。例えば、上で例示した態様において、測定環境はハウス内（農業用ハウ

ス内)であるのに対して、測定対象環境は、被測定物の一部分(例えば、植物もしくは作物の葉)、または、当該部分を含む一定の空間であり得る。言い換えると、本発明において、測定対象環境は、被測定物において、蒸散が生じやすい部分を含む空間であることが好ましく、そのような測定対象環境に液滴センサ10を置くことにより、数枚の葉もしくは一枚の葉の周囲というようなマイクロ(局所)的な空間において得られるセンサ応答から、対象の被測定物(植物もしくは作物)の蒸散量もしくは蒸散速度を算出することができる。

[0034] 最後に、前述の式(1) ($S_{\text{measure}} = \alpha \times P_{\text{measure}}$) を用いて前記被測定物の蒸散速度 S_{measure} を求める(工程S19)。例えば、液滴センサ10の出力 P_{measure} を z [A] とすると、変換係数 α [g/m³/A] を掛け算することにより、被測定物の蒸散速度 S_{measure} は、 αz [g/m³] となる。

[0035] さらに、本発明の蒸散計測方法は、上述のようにして、被測定物の測定対象環境における液滴センサ10を用いた蒸散速度 S_{measure} の計測を、予め定めた所定の時間 t 以上の時間継続して実施し、計測された蒸散速度 S_{measure} を所定の時間 t で時間積分して所定の時間 t における蒸散量 V [g/m³] を算出することができる。

[0036] 要約すると、本発明の蒸散計測方法は、相対湿度100%以下の実験環境で湿度センサを用いて教師データを取得し、その教師データと、測定環境で液滴センサ10を用いて取得したデータが相関性を有することを分析し、相関性が認められた液滴センサ10の出力データを用いて変換係数 α を求めて、被測定物の測定対象環境での液滴センサ10の出力から被測定物の蒸散速度を算出する。本発明の蒸散計測方法は、上述の教師データと液滴センサ10を用いて取得したデータの相関性の高さを確かめるステップを有するため、計測の精度、確度、安定性が高く、さらに相対湿度が100%を超える過飽和の環境でも蒸散速度および蒸散量を計測できるという特徴を有し、植物の生育・品質管理や、農業の高度化、効率化に大変有効な方法である。

[0037] また、実施例でも示されるように、本発明の蒸散計測方法は、液滴センサ 10 による微小な液滴の検出に基づいて蒸散計測が可能な局所計測方法であり、空間分解能が高いという特徴をもつ。この特徴から、本発明の蒸散計測方法は、ハウス栽培で多見されるように、水蒸気を放出する蒸散体が複数群生している群生領域と、蒸散体が存在しない空白領域とからなり、前記群生領域と前記空白領域からなる空間は外気から隔離された密閉空間を形成している状況での蒸散のモニタリングに向いている。すなわち、そのような環境において、液滴センサ 10 を、少なくとも 1 つは前記群生領域、少なくとも 1 つは前記空白領域に設置することにより、群生領域と空白領域間の比較だけでなく、群生領域の任意の位置における蒸散速度および蒸散量の変化を計測するなど、ハウス内の空間的蒸散分布を把握することが可能となるため、ハウス栽培の管理を高度化することができる。

[0038] なお、例えばある特定のハウスでの栽培を仮定した場合、当該ハウスを測定環境として上記工程 S 11 から工程 S 17 までを行って得られた変換係数 α は、同一のハウスにおけるその後の計測でも利用することができる。つまり、被測定物の測定対象環境（本例ではハウス）が同一である場合には、その前の計測において既に工程 S 11 から工程 S 17 までが行われたものと見なし、当該測定対象環境に置かれた液滴センサ 10 の出力 $P_{\text{measurement}}$ を求め（工程 S 18）、上記式（1）を用いて被測定物の蒸散速度 $S_{\text{measurement}}$ を求める（工程 S 19）ことにより、被測定物の蒸散量の計測を簡略化することができる。もちろん、計測の度に、工程 S 11 から工程 S 17 までを行って変換係数 α を算出してもよく、この場合には、より精緻な栽培管理が可能となることが期待される。さらには、例えばある特定の農地（より広義には地区もしくは地域と読み替えてもよい）において設置された複数のハウスでの栽培を仮定した場合、各ハウスを測定環境として上記工程 S 11 から工程 S 17 までを行って得られた変換係数 α を統計分析することで、当該農地（地区もしくは地域）および／またはハウスの容積に応じた変換係数の基準値を設定することが可能であり得る。そのような場合には、あるハウスでの第

1回目の計測において、既に工程S11から工程S17までが行われたものと見なして、当該ハウス（測定対象環境）に置かれた液滴センサ10の出力 $P_{\text{measurement}}$ を求め（工程S18）、上記式（1）における α の値として上述の基準値を用いて被測定物の蒸散速度 $S_{\text{measurement}}$ を求める（工程S19）ことにより、被測定物の蒸散量の計測をさらに簡略化することも可能であり得る。

実施例

[0039] （実施例1）

実施例1では、液滴センサ10、およびそのセンサと電流値判定、解析部42としてのPCを用いた蒸散計測装置101を試作して、上述の蒸散速度計測の概念の実証実験を行った。

[0040] 試作した液滴センサ10は、表面がシリカからなる基板11_{sub}上に、第1の細線電極12と第2の細線電極13が形成されたガルバニー電流検知型センサである。第1の細線電極12は金（Au）からなり、その線幅は $2\mu\text{m}$ 、厚さは 150nm 、本数は165本である。第2の細線電極13はアルミニウム（Al）からなり、その線幅は $2\mu\text{m}$ 、厚さは 150nm 、本数は165本である。第1の細線電極12と第2の細線電極13の間隔 d は一定とし、 500nm （ $0.5\mu\text{m}$ ）のものと、 $10\mu\text{m}$ のものを、それぞれ複数個作製した。

また、液滴センサ10にはケーブルまたは無線を介して、電流測定装置（電流値測定部41）が繋がれており、電流測定装置の出力は信号線43もしくは無線を介してPCに送られる構成とした。ここで、電流測定装置は自家製（特注）であり、PCとしてはThinkPad L570（Lenovo製）を用いた。

[0041] 測定手順を以下に示す。

最初に、温湿度センサとガルバニー電流検知型の上記液滴センサ10を準備した（図3の工程S11）。ここで、温湿度センサとしては、E+E Elektronik製/EE23を用いた。また、実験ボックス（容量 50mL の閉鎖空間）内に

、冷却蒸気飽和方式のバブラー $me-40DPRT$ （マイクロ・イクイップメント株式会社製）を配置し、その飽和槽に熱電対温度計を設置し、さらに、この実験ボックス内に上記温湿度センサと液滴センサ 10 を配置した。ここで、各センサからの出力信号は、アナログ信号の場合は有線で PC に送られるように構成し、デジタル信号の場合は無線で PC に送られるように構成した。なお、液滴センサ 10 の出力信号は、前述のアナログアンプ方式のアンプを介して電流測定装置から送り出されるように構成した。加えて、液滴センサ 10 の表面温度（基板 11_{sub} の表面 11 の温度）をモニターできるように構成した。

次に、熱電対温度計で飽和槽の温度をモニターしながら上記バブラーを動作させて、実験ボックス内（相対湿度 100% 以下の実験環境）の相対湿度の時間変化を温湿度センサで測定した（工程 S 12）。

その後、相対湿度と温度から絶対湿度を算出し（工程 S 13）、引き続き、得られた絶対湿度の変化データを基に、実験環境中の水蒸気量の変化速度データからなる教師データを取得した（工程 S 14）。ここで、工程 S 13 における温度は、温湿度センサによる実験ボックス内の温度（の時間変化）の測定結果である。

次に、同じ実験環境を測定環境として、液滴センサ 10 の出力データを取得した（工程 S 15）。

その後、前記教師データと液滴センサ 10 の出力データを比較して相関性を t 検定によって求めた（工程 S 16）。

その結果、相関度が 95% 以上となる $t > +2.0$ が得られ、高い相関性が得られていることが確認された。

[0042] 測定データの例を図 5 A ~ 図 5 D に示す。ここで、図 5 A はバブラー温度 [°C] の時間変化を示す図であり、図 5 B は環境温度（実験ボックス内の温度） [°C] と、センサ表面上の相対湿度 [%RH] を示す図であり、図 5 C は細線電極間隔が異なる 2 種類の液滴センサ 10 による電流値 [pA] の測定結果をデジタル信号として処理したものと、細線電極の抵抗値 [Ω] を示

す図であり、図5Dは図5Cに示す電流値の測定結果を得る前の、アナログ信号データ（生データ）を示す図である。これらのデータは、バブラーの条件を1200秒ごとに変化させて測定して得られたものである。

[0043] より具体的には、バブラー温度とは、バブラーを構成する飽和槽の温度であり、飽和槽の温度が定まることで、槽内の空気部分の水蒸気分圧 P_b [hPa]が定まり、これを飽和水蒸気圧 [hPa] に等しいと仮定する。そして、この水蒸気分圧 P_b を含む空気が一定温度 T [°C]になると、 T [°C]における飽和水蒸気圧 P_T [hPa]が理論上定まるため、相対湿度 [%RH] は、 P_b [hPa] / P_T [hPa] × 100として算出されることになる。本実施例では、バブラーの条件、すなわち飽和槽の温度を1200秒ごとに段階的に上げることで、上述の水蒸気分圧 P_b が高くなるようにした。

また、センサ表面上の相対湿度 [%RH] は、温湿度センサによる相対湿度と環境温度の測定結果から実験環境の水蒸気分圧 P_E [hPa]を計算し、液滴センサ10の表面温度 T_s [°C]からセンサ表面での飽和水蒸気圧 P_s [hPa]を求め、 P_E [hPa] / P_s [hPa] × 100として算出した。

[0044] その結果、時間の推移とともに、バブラーから供給される水蒸気が増えるため、センサ表面上の相対湿度と液滴センサ10からの各出力値は上昇したが、センサ表面上の相対湿度は名目上100%超の値で飽和した（図5B）。一方、液滴センサ10からの出力値は、センサ表面上の相対湿度が100%超で飽和した後（約13000s以降）も上昇していることがわかる（図5C）。このことから、本発明の液滴センサ10を用いた蒸散計測装置および蒸散計測方法は、相対湿度が100%を超えるような過飽和の状態の場合でも蒸散を計測できる方法であることが実証された。

[0045] 本実施例は実証実験であるため、実験環境と同じ実験ボックス内を測定環境としているが、例えばハウス内を測定環境とした場合にも、上述の手順に沿って変換係数 α を算出することができる。そして、液滴センサ10を被測定物の測定対象環境（例えば、対象の植物が生育されているハウス内）に置き、液滴センサ10の出力 $P_{\text{measurement}}$ を求め（工程S18）、上記式（1）

($S_{\text{measure}} = \alpha \times P_{\text{measure}}$) を用いて当該被測定物の蒸散速度 S_{measure} を求めることができる (工程 S 1 9)。さらに、液滴センサ 1 0 の周囲の局所的空間の体積を掛け算することにより、液滴センサ 1 0 を設置した特定の群落内などの局所的な蒸散量を求めることができ、また、ハウス全体というようなマクロ的な蒸散量は、1 個の液滴センサ 1 0 から得られる蒸散量にハウス全体の体積を掛け算する、あるいはハウスを仮想的にいくつかの区画に区切り、その区画内に設置した液滴センサ 1 0 から得られる蒸散量に区画毎の体積を掛け算し、全区画で得られる値を合計して求めることができる。

[0046] (実施例 2)

実施例 2 では、実施例 1 で作製した蒸散計測装置 (細線電極間隔 $d = 0.5 \mu\text{m}$) を農業用ハウスに計 1 2 個設置して測定を行った。実験環境での測定については、上記実施例 1 で工程 S 1 1 から工程 S 1 4 が行われたものと見なした。測定環境での測定については、実施例 1 と同様の手順で、ハウス内で液滴センサ 1 0 の出力データを取得し (工程 S 1 5)、上述の教師データと液滴センサ 1 0 の出力データを比較して相関性を t 検定によって求めることにより (工程 S 1 6)、高い相関性が得られていることを確認した。加えて、当該ハウスには、温湿度センサとして Thinking Farm (合同会社アグロインフォ製) も設置していたことから、ハウス内を実験環境として扱って、工程 S 1 1 から工程 S 1 4 を行って教師データを取得し、当該教師データと液滴センサ 1 0 の出力データを比較して相関性を t 検定によって求めた場合でも、高い相関性が得られていることが確認された。このようにして相関性が認められた液滴センサ 1 0 のデータの傾き、すなわち、液滴センサ 1 0 の出力の時間変化量に対する実験環境中の水蒸気量の変化速度を表す絶対湿度の変化速度の関係から、液滴センサ 1 0 の出力値 P を測定環境中の水蒸気量の変化速度 S に換算する変換係数 α を算出した (工程 S 1 7)。変換係数 α は、センサ毎に $0.55 - 0.68$ (全センサの平均値: 0.67) であった。

[0047] ハウスの大きさは約 $50\text{m} \times 40\text{m} \times 3.5\text{m}$ で、キュウリを栽培してい

る。植物は15列からなる群落単位で栽培され、群落間には幅約1mの通路が配置されている。

[0048] 本実施例では、図6に示すように、液滴センサ10を群落内(図6(a))と群落外(図6(b))にそれぞれ複数個設置して蒸散を計測し、群落内に設置したセンサ(計10個)同士、群落外に設置したセンサ(計2個)同士、および群落内に設置したセンサと群落外に設置したセンサとで、計測値の差を比較した。

その結果、相関度が95%以上となる $t > +2.0$ が計測期間(日数)の9割程度に及び、高い相関性が得られていることが確認された。

[0049] 本実施例では、群落内と群落外での液滴センサ10のセンサ応答の差分が、栽培植物からの蒸散を表すと考えられる。各液滴センサ10の出力 $P_{measured}$ を基に、群落内と群落外でのセンサ応答の差分を得て、上記式(1)に当てはめて栽培植物の蒸散速度および蒸散量を求めた結果、本発明の液滴センサ10を用いた蒸散計測装置および蒸散計測方法は、ハウスという実栽培環境中で栽培植物からの蒸散を計測することができることが確認された。なお、本実施例で用いた蒸散計測装置の構成に関し、電流測定装置を自家製のものから市販品に変更した場合にも、目的の蒸散の計測が可能であることを確認した。

産業上の利用可能性

[0050] 以上述べてきたように、本発明によれば、蒸散がほとんど起こらない状態から、相対湿度が100%を超える過飽和の環境で雫が多量に発生するようなもしくは水分が多量に放出されている状態まで、広いダイナミックレンジで、植物からの蒸散速度および蒸散量を簡便に計測することが可能になる。蒸散速度および蒸散量は植物の生育や糖の蓄積に直結するので、本発明の方法を農業に適用すると、収穫量が増え、収穫物の美味しさが増すことが期待される。

符号の説明

[0051] 10：液滴センサ部、液滴センサ

- 1 1 : 基板表面
- 1 1_{sub} : 基板
- 1 2 : 第 1 の細線電極 (白金)
- 1 3 : 第 2 の細線電極 (アルミニウム)
- 1 4 : センサ信号処理、解析部
- 1 6 : 信号線
- 3 2 : 第 1 の電極 (アルミニウム)
- 3 3 : 第 2 の電極 (アルミニウム)
- 4 1 : 電流値計測部
- 4 2 : 電流値判定、解析部
- 4 3 : 信号線 (液滴センサ出力信号)
- 4 4 : 信号線 (湿度センサ信号)
- 4 5 : 信号線 (温度信号)
- 4 6 : 出力線
- 1 0 1 : 蒸散計測装置

請求の範囲

- [請求項1] 第1の金属および炭素の少なくとも何れか1つを含む材料からなる第1の細線電極と、前記第1の金属とは異なる金属である第2の金属を含む材料からなる第2の細線電極とが、少なくとも表面が絶縁性の基板上の少なくとも一部の領域で交互に並置されている構造を有する、蒸散計測センサ。
- [請求項2] 第1の金属および炭素の少なくとも何れか1つを含む材料からなる第1の細線電極と、前記第1の金属とは異なる金属である第2の金属を含む材料からなる第2の細線電極とが、少なくとも表面が絶縁性の基板上の少なくとも一部の領域で交互に並置されている構造を有するセンサと、前記第1の細線電極と前記第2の細線電極間を流れる電流を測定する信号処理装置を有する、被測定物からの蒸散を計測する蒸散計測装置。
- [請求項3] 前記蒸散は、蒸散速度である、請求項2記載の蒸散計測装置。
- [請求項4] 前記領域において、前記第1の細線電極と前記第2の細線電極の間隔が一定である、請求項2または3記載の蒸散計測装置。
- [請求項5] 前記間隔は、100nm以上10 μ m以下である、請求項4記載の蒸散計測装置。
- [請求項6] 前記第1の金属は金、白金、銀、チタンおよびこれらの合金からなる群から選択される、請求項2から5の何れかに記載の蒸散計測装置。
- [請求項7] 前記第2の金属を含む材料は銀、銅、鉄、亜鉛、ニッケル、コバルト、アルミニウム、スズ、クロム、モリブデン、マンガン、マグネシウムおよびこれらの合金からなる群から選択される、請求項2から6の何れかに記載の蒸散計測装置。
- [請求項8] 前記第1の細線電極と前記第2の細線電極の少なくとも一方は複数本設けられ、
前記第1の細線電極と前記第2の細線電極とは互いに対向する方向

から相手側に向かって伸びることにより、互いに平行に併走する、請求項2から7の何れかに記載の蒸散計測装置。

[請求項9] 前記被測定物は植物である、請求項2から8の何れかに記載の蒸散計測装置。

[請求項10] 請求項2から8の何れかに記載の蒸散計測装置を使用した、被測定物からの蒸散量および蒸散速度の少なくとも1つを計測する蒸散計測方法。

[請求項11] 湿度センサとガルバニー電流検知型の液滴センサを準備するステップと、

前記湿度センサを相対湿度100%以下の実験環境に置いて湿度および温度の異なる複数の条件で前記湿度センサからの出力データを取得して前記実験環境の相対湿度の変化を測定するステップと、

前記相対湿度と前記温度から絶対湿度を算出するステップと、

前記絶対湿度の変化データを基に、前記実験環境中の水蒸気量の変化速度データからなる教師データを取得するステップと、

測定環境に前記液滴センサを置いて前記測定環境における前記液滴センサの出力データを取得するステップと、

前記教師データと前記液滴センサの出力データを比較して相関性を求めるステップと、

前記教師データと前記液滴センサの出力データとの相関性が認められた前記液滴センサの出力データの傾きから、前記液滴センサの出力値Pを測定環境中の水蒸気量の変化速度Sに換算する変換係数 α を算出するステップと、

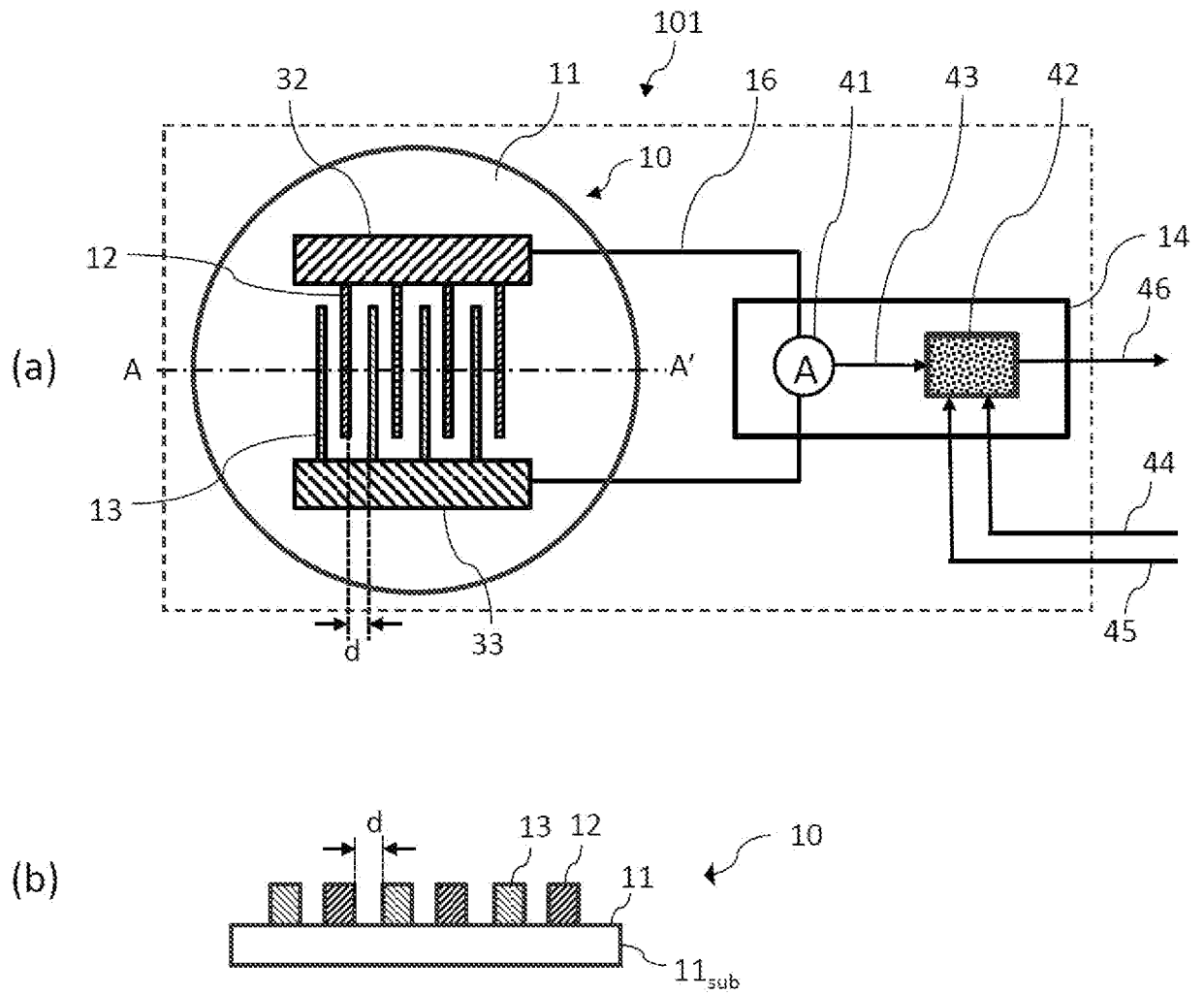
被測定物の測定対象環境に前記液滴センサを置いて前記液滴センサの出力 P_{measure} を求めるステップと、

$$S_{\text{measure}} = \alpha \times P_{\text{measure}}$$

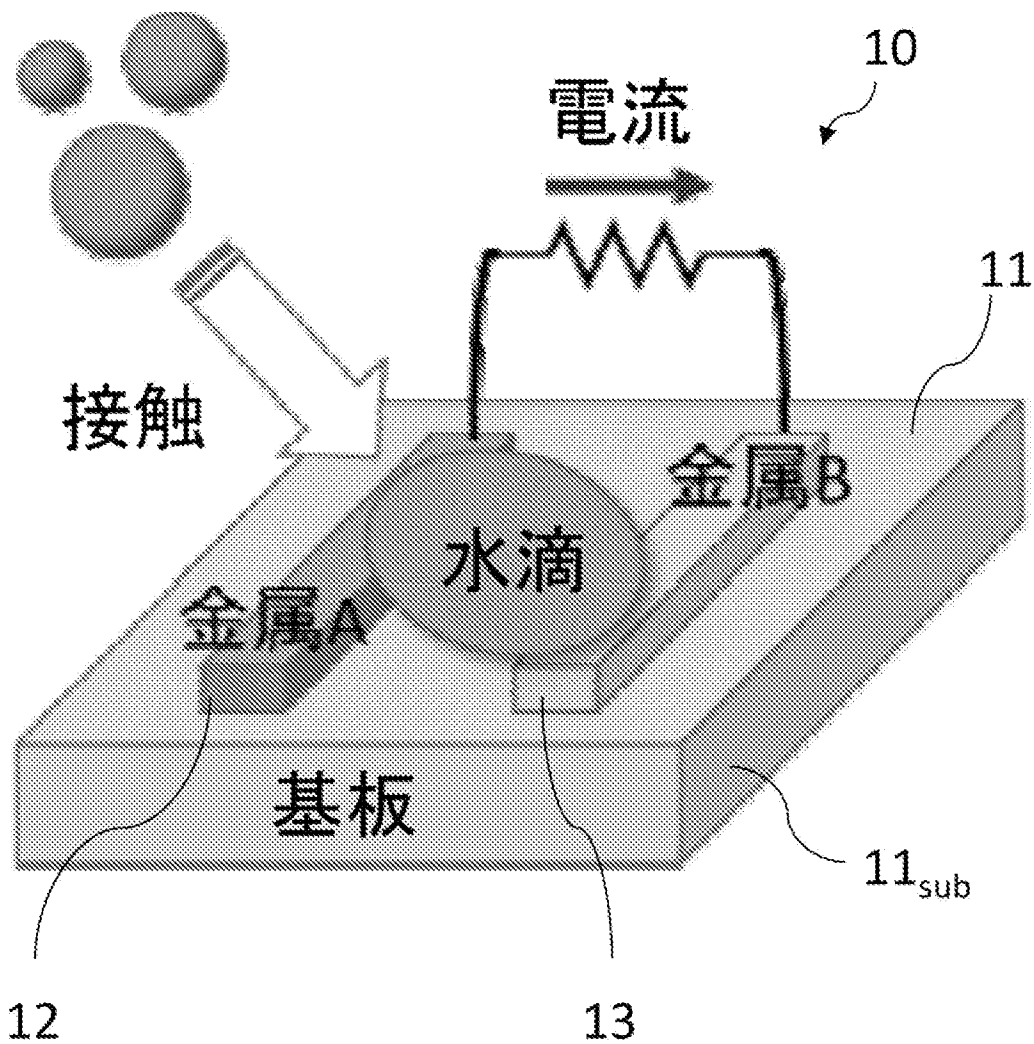
から前記被測定物の蒸散速度 S_{measure} を求めるステップからなる、前記被測定物からの蒸散速度を計測する蒸散計測方法。

- [請求項12] 前記相関性を求める方法は、回帰分析、 t 検定、および z 検定からなる群より選ばれる 1 つである、請求項 11 記載の蒸散計測方法。
- [請求項13] 請求項 11 または 12 記載の蒸散計測方法に従って、前記被測定物の測定対象環境における前記液滴センサを用いた前記蒸散速度 $S_{\text{measurement}}$ の計測を、予め定めた所定の時間 t 以上の時間継続して実施するステップと、
- 計測された前記蒸散速度 $S_{\text{measurement}}$ を前記所定の時間 t で時間積分して前記所定の時間 t における蒸散量 V を算出するステップからなる、前記被測定物からの蒸散量を計測する蒸散計測方法。
- [請求項14] 前記液滴センサは、第 1 の金属および炭素の少なくとも何れか 1 つを含む材料からなる第 1 の細線電極と、前記第 1 の金属とは異なる金属である第 2 の金属を含む材料からなる第 2 の細線電極とが、少なくとも表面が絶縁性の基板上の少なくとも一部の領域で交互に並置されている構造を有する、請求項 11 から 13 の何れかに記載の蒸散計測方法。
- [請求項15] 水蒸気を放出する蒸散体が複数群生している群生領域と、蒸散体が存在しない空白領域とからなる空間が外気から隔離された密閉空間を形成しており、
- 前記液滴センサを、少なくとも 1 つは前記群生領域、少なくとも 1 つは前記空白領域に設置して、請求項 11 から 14 の何れかに記載の蒸散計測方法による計測を行う、蒸散計測方法。

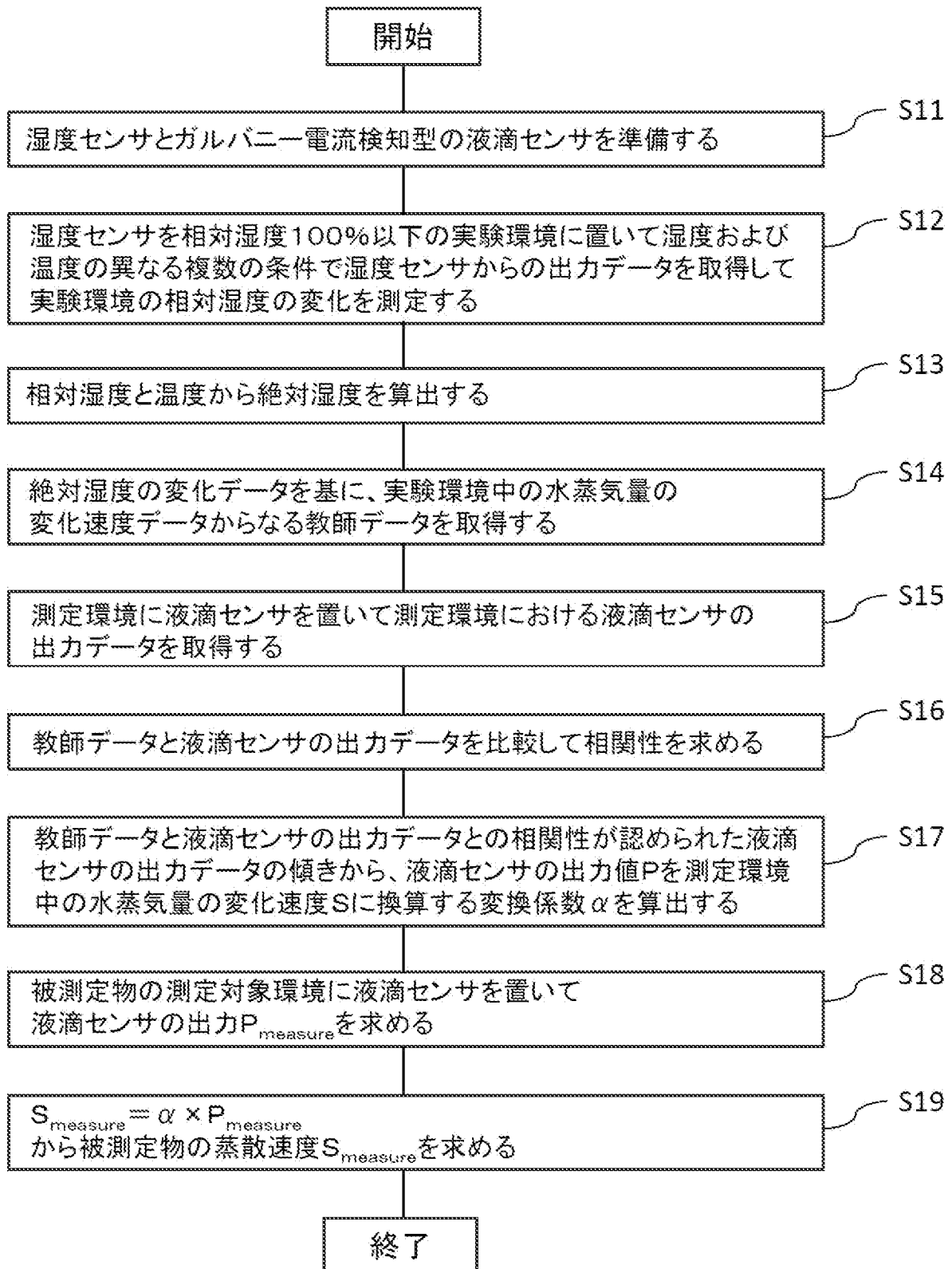
[図1]



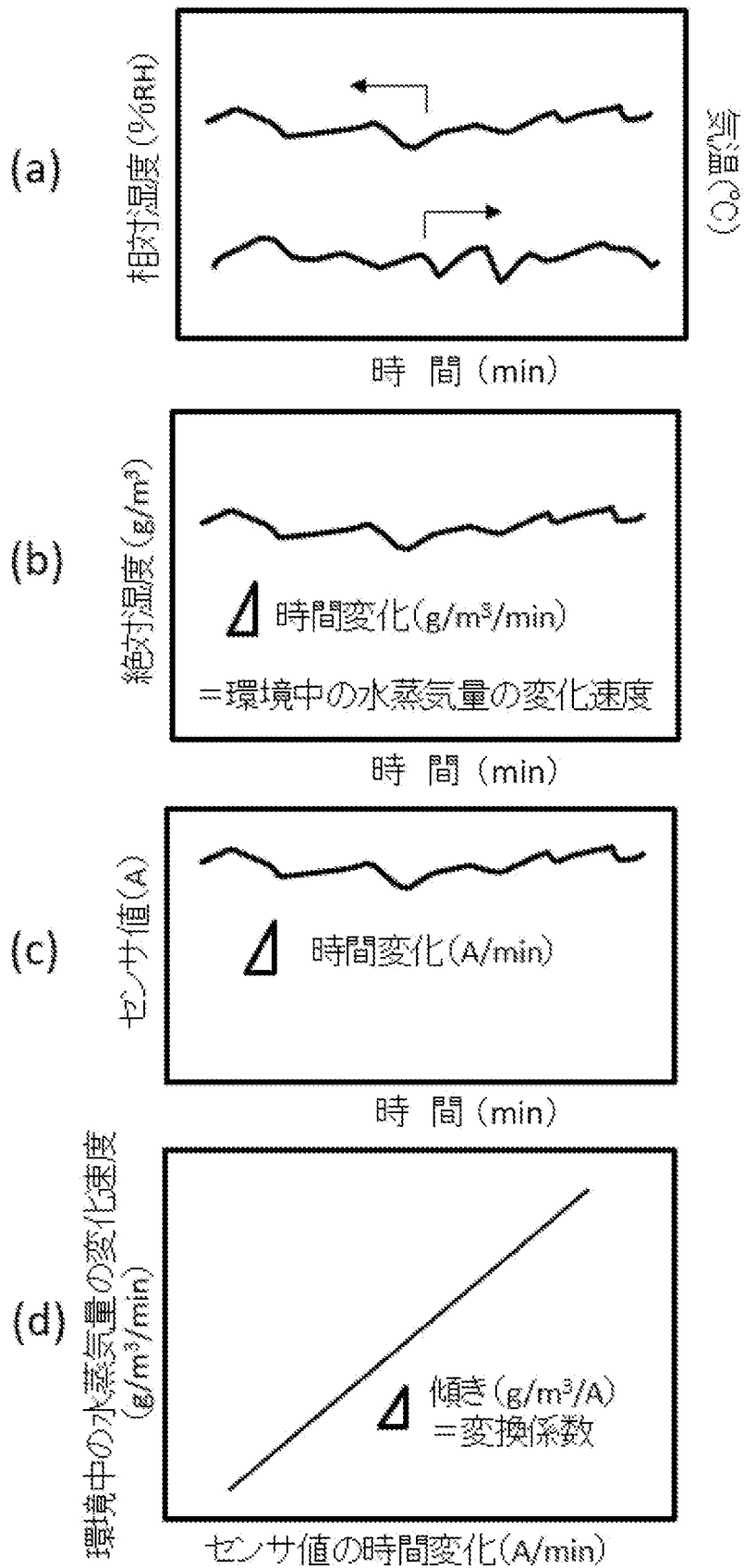
[図2]



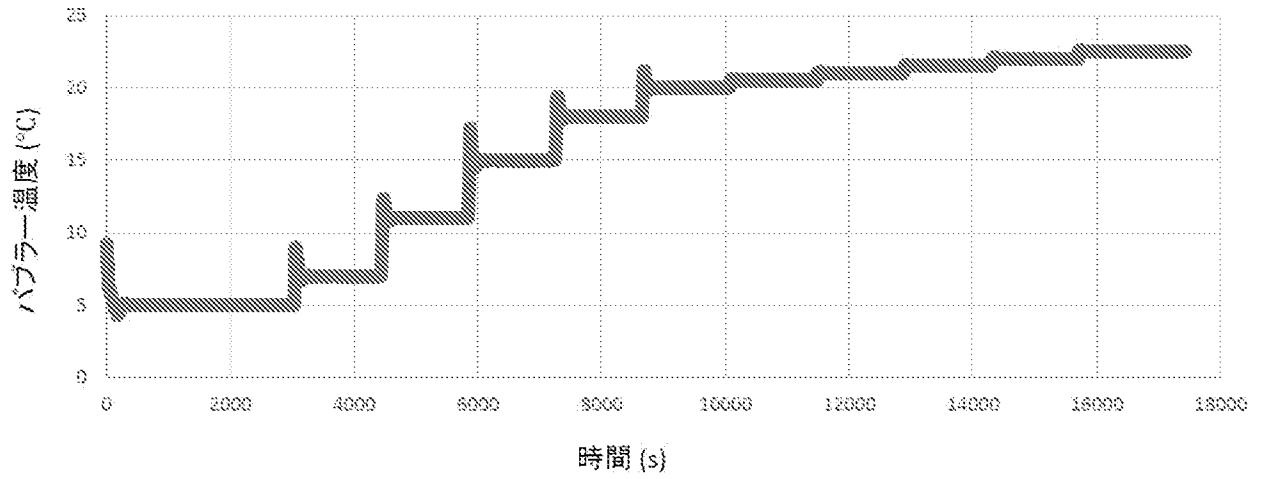
[図3]



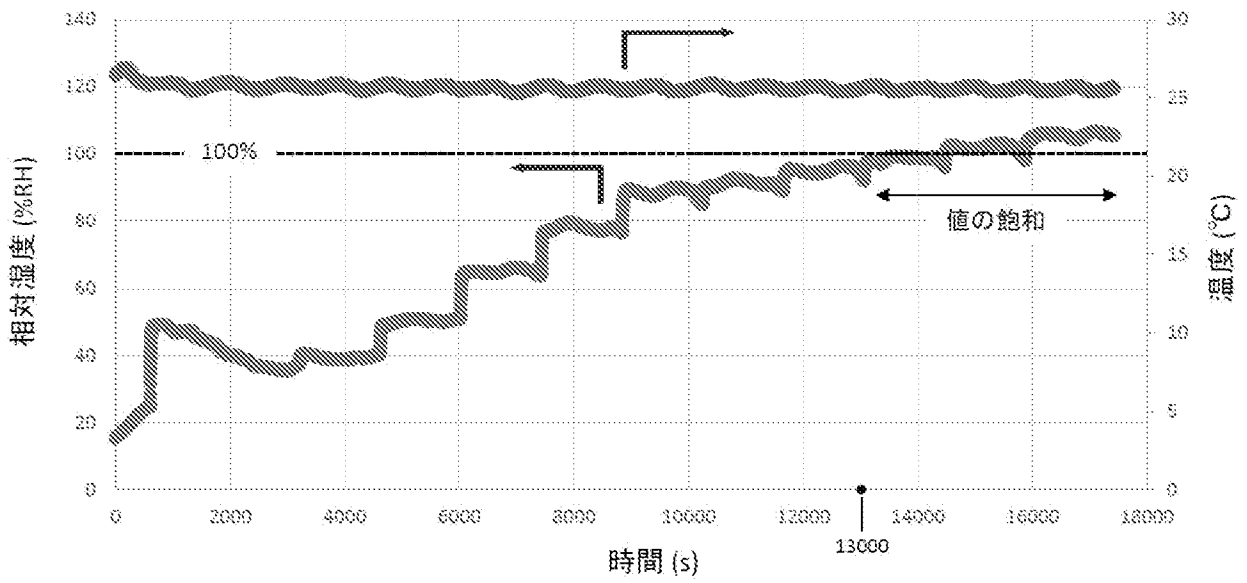
[図4]



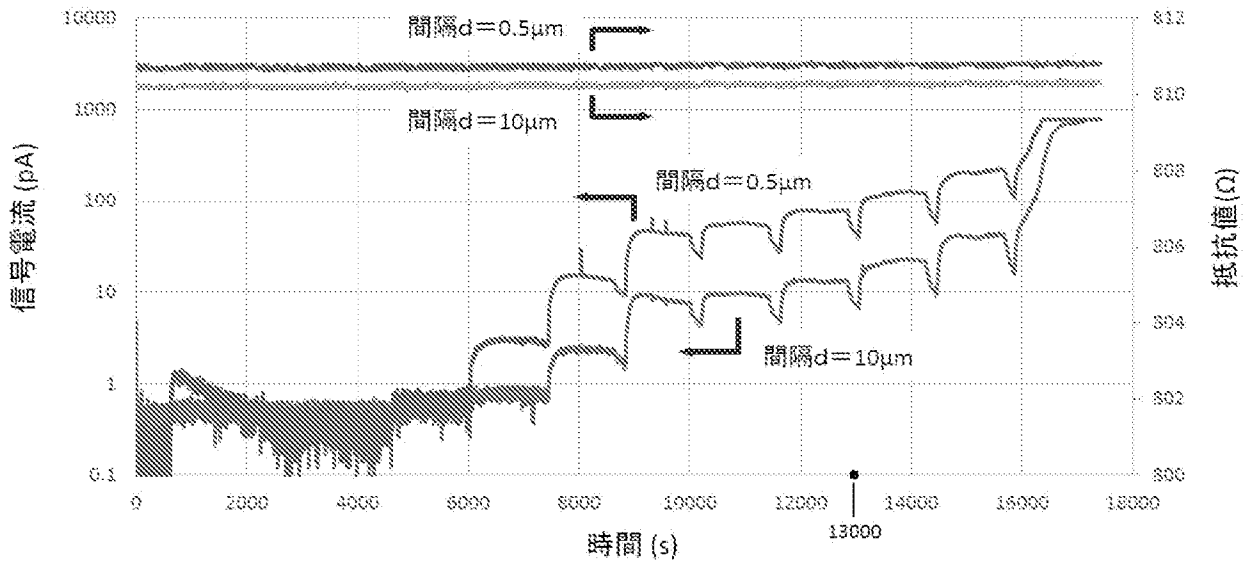
[図5A]



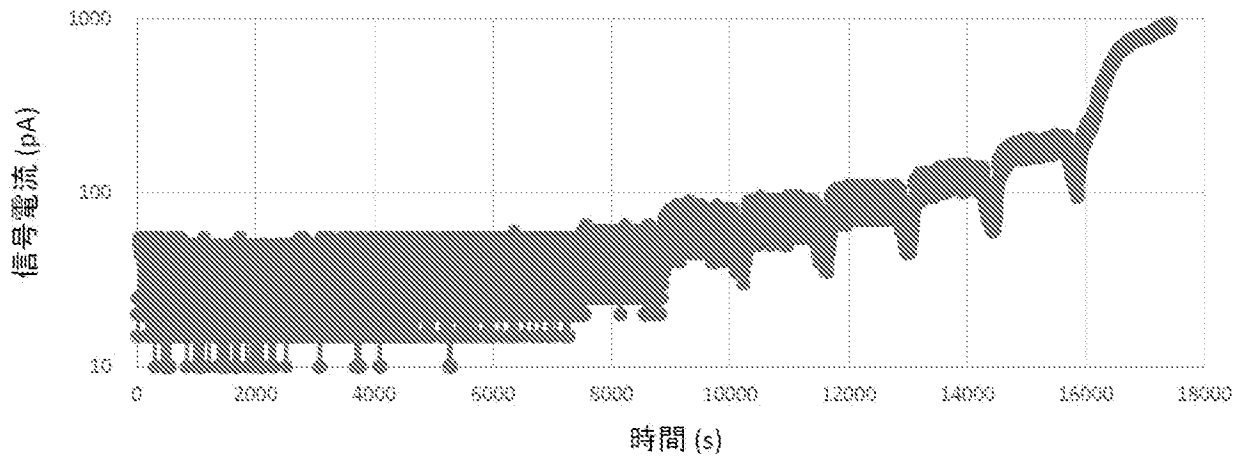
[図5B]



[図5C]



[図5D]



[図6]



(a) 群落内設置

(b) 群落外(通路)設置

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/038255

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G01N 27/416</i> (2006.01)i; <i>G01N 27/00</i> (2006.01)i FI: G01N27/416 336M; G01N27/00 B		
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) G01N27/00-27/49, A01G7/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/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	WO 2022/196600 A1 (NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE) 22 September 2022 (2022-09-22) paragraphs [0014]-[0035], fig. 1-3	1-8, 10
Y	paragraphs [0014]-[0035], fig. 1-3	9
A		11-15
Y	JP 2009-115671 A (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 28 May 2009 (2009-05-28) claims	9
Y	Lu, Yuyao et al., Multimodal Plant Healthcare Flexible Sensor System, ACS NANO, 2020, vol. 14, pp. 10966-10975	9
A	WO 2020/100778 A1 (NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE) 22 May 2020 (2020-05-22) entire text, all drawings	1-15
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 12 December 2024		Date of mailing of the international search report 07 January 2025
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/038255

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2022-158030 A (KOCHI UNIV) 14 October 2022 (2022-10-14) entire text, all drawings	1-15
A	JP 56-100315 A (NORIN SUISANSYO NOGYO GIJUTSU KENKYUSHO) 12 August 1981 (1981-08-12) entire text, all drawings	1-15
A	WO 2023/048076 A1 (NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE) 30 March 2023 (2023-03-30) entire text, all drawings	1-15
A	MEKWY, Moataz et al., Quantitative Correlation of Droplets on Galvanic-Coupled Arrays with Response Current by Image Processing, ACS OMEGA, 2021, vol. 6, pp. 30818-30825	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2024/038255

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2022/196600 A1	22 September 2022	(Family: none)	
JP 2009-115671 A	28 May 2009	(Family: none)	
WO 2020/100778 A1	22 May 2020	US 2022/0003701 A1 entire text, all drawings	
JP 2022-158030 A	14 October 2022	(Family: none)	
JP 56-100315 A	12 August 1981	(Family: none)	
WO 2023/048076 A1	30 March 2023	EP 4407308 A1 entire text, all drawings	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 27/416(2006.01)i; G01N 27/00(2006.01)i FI: G01N27/416 336M; G01N27/00 B		
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）） G01N27/00-27/49, 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 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024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/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)		
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	WO 2022/196600 A1 (国立研究開発法人物質・材料研究機構) 22.09.2022 (2022 - 09 - 22) [0014] - [0035]、第1-3図	1-8,10
Y	[0014] - [0035]、第1-3図	9
A		11-15
Y	JP 2009-115671 A (独立行政法人産業技術総合研究所) 28.05.2009 (2009 - 05 - 28) 特許請求の範囲	9
Y	Lu, Yuyao et al., Multimodal Plant Healthcare Flexible Sensor System, ACS NANO, 2020, Vol.14, pp.10966-10975	9
A	WO 2020/100778 A1 (国立研究開発法人物質・材料研究機構) 22.05.2020 (2020 - 05 - 22) 全文、全図	1-15
A	JP 2022-158030 A (国立大学法人高知大学) 14.10.2022 (2022 - 10 - 14) 全文、全図	1-15
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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抵触するものではなく、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	12.12.2024	国際調査報告の発送日 07.01.2025
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 黒田 浩一 2J 9218 電話番号 03-3581-1101 内線 3252	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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	JP 56-100315 A (農林水産省農業技術研究所長) 12.08.1981 (1981 - 08 - 12) 全文、全図	1-15
A	WO 2023/048076 A1 (国立研究開発法人物質・材料研究機構) 30.03.2023 (2023 - 03 - 30) 全文、全図	1-15
A	MEKWY, Moataz et al., Quantitative Correlation of Droplets on Galvanic- Coupled Arrays with Response Current by Image Processing, ACS OMEGA, 2021, Vol.6, pp.30818-30825	1-15

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/038255

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2022/196600	A1	22.09.2022	(ファミリーなし)	
JP	2009-115671	A	28.05.2009	(ファミリーなし)	
WO	2020/100778	A1	22.05.2020	US 2022/0003701 A1	
				全文、全図	
JP	2022-158030	A	14.10.2022	(ファミリーなし)	
JP	56-100315	A	12.08.1981	(ファミリーなし)	
WO	2023/048076	A1	30.03.2023	EP 4407308 A1	
				全文、全図	