(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7701032号
(P7701032)

(45)発行日　令和7年7月1日(2025.7.1)

(24)登録日　令和7年6月23日(2025.6.23)

(51)国際特許分類

		FI		
A01G 9/18 (2006.01)		A01G	9/18	
A01G 9/24 (2006.01)		A01G	9/24	Z
A01G 9/00 (2018.01)		A01G	9/00	C

請求項の数　6　（全16頁）

(21)出願番号　特願2021-108896(P2021-108896)
(22)出願日　令和3年6月30日(2021.6.30)
(65)公開番号　特開2023-6344(P2023-6344A)
(43)公開日　令和5年1月18日(2023.1.18)
審査請求日　令和6年1月31日(2024.1.31)

(73)特許権者　390039907
株式会社クレアテラ
東京都世田谷区松原６丁目３９番１８号
(74)代理人　100179431
弁理士　白形 由美子
(72)発明者　柳田 友隆
東京都世田谷区松原６－３９－１８ 株式会社クレアテラ内
審査官　家田 政明

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　植物の微小環境を制御する環境制御システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

農業用ハウスにおける環境制御システムであって、

農業用ハウス内には垂直方向に移動可能な吊りベッドが栽培ベッドとして設けられており、二酸化炭素濃度、温度、湿度を所定の範囲内に調整した調整空気を植物の葉裏に供給し、前記調整空気を１時間に対象とする植物群落容積の０．５～１０倍の容積で供給し植物群落内全体に微風を送ることにより気流を生じさせ植物群落内全体の微小環境を調整し、

植物群落を覆うように上下に移動可能な環境維持用カーテンを設けていることを特徴とする環境制御システム。

【請求項２】

請求項１記載の環境制御システムは、

栽培用空気を調整する混合キャビンと、

二酸化炭素を供給する二酸化炭素供給装置と

除湿機と、

加湿器とを備え、

前記混合キャビン内で二酸化炭素濃度、温度、湿度を所定の範囲内に調整し、

送風チューブによって調製空気を供給する環境制御システム。

【請求項３】

前記二酸化炭素供給装置が、

燃焼式二酸化炭素発生器であり、

二酸化炭素の供給及び植物群落の温度管理に用いることができる請求項２記載の環境制御システム。
【請求項４】
前記加湿器がミスト発生装置である請求項２又は３記載の環境制御システム。
【請求項５】
農業用ハウス内及び農業用ハウス外に少なくとも温度、湿度を測定するセンサを設け、
制御装置によって混合される調製空気を調整し供給する請求項１～４いずれか１項記載の環境制御システム。
【請求項６】
草丈の低い植物を栽培する場合には送風チューブを株元に配置し、
長茎植物を栽培する場合には送風チューブから送風サブチューブを垂直方向に分岐させて配置し、
各植物に調整空気を供給する請求項２～５いずれか１項記載の植物栽培用調製空気施用システム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、植物の栽培に適した空気を局所的に施用する農業用ハウス用の環境制御システムに関する。具体的には、二酸化炭素濃度、温度、湿度を調製した空気を送風することにより気流を発生させ、植物の生育環境を整える環境制御システムに関する。また、単位面積あたりの栽培株数を増加させるとともに、施用した二酸化炭素の散逸や栽培ベッドの温度低下を抑制することができるシステムに関する。
【背景技術】
【０００２】
野菜や花卉等の施設栽培は、露地では栽培不可能な低温の時期から気温、地温、光量、土壌水分などの植物の生育環境を人工的に制御し、一年を通じて安定した品質の作物を栽培することを目的としている。また、植物の成長に必要な光合成は雰囲気中の二酸化炭素濃度を高くすることによって加速することから、二酸化炭素を供給し、収量、栽培期間を短縮する技術の開発が行われている。
【０００３】
植物が二酸化炭素と水を材料として光エネルギーを利用して糖を合成するのが光合成である。施設栽培は、閉鎖環境、あるいは半閉鎖環境であることから、光合成の盛んになる日中に二酸化炭素が不足することがある。二酸化炭素が不足すると光合成の効率が下がり、その結果、作物の収量が下がると言われている。そこで、二酸化炭素を施用し、光合成効率を高く保つ工夫が行われている。
【０００４】
また、日本における施設栽培は、温度の調整が重要である。特に夏場や、日照が強い地域では１年を通して、農業用ハウス（以下、農業用ハウス、ハウス、温室、園芸施設など施設園芸に用いる建造物の名称は相互に互換的に使用される。）内が高温になるため、植物の生育には適さない状態となり高温障害を生じやすく、適切な温度管理を行うことが重要となっている。ハウス内の室温を冷却するために、パッドアンドファンシステム、ミストシステムなど様々な設備があるが、効果、コストの上で必ずしも満足できるものとはなっていない。
【０００５】
特許文献１には、密閉された園芸施設だけではなく、雨除けハウス、トンネルハウスなどのように外気に開放された施設においても、作物群落内に二酸化炭素を施用する二酸化炭素施用装置が記載されている。園芸施設内に設置された燃焼式二酸化炭素発生器により発生した二酸化炭素を、送風機を用いて園芸施設内の栽培植物の群落内に配設されたダクトから噴出し、群落内の二酸化炭素濃度を上昇させる装置が開示されている。
【０００６】

特許文献２には、ハウス内の温度を一定に保つために換気を行う場合であっても、二酸化炭素がハウス外に流出しないように制御するシステムが開示されている。具体的には、二酸化炭素供給装置を駆動する工程、及びこれに続く二酸化炭素供給装置の駆動を禁止し、二酸化炭素を拡散させる工程をハウス内の温度が一定以上になるまで繰り返し、その間は換気扇を停止することによって、ハウス外への二酸化炭素の流出を抑制しようとするものである。

【０００７】

特許文献３には、外気と温室内空気とを空気混合部で混合した混合空気を栽培植物の株元に供給する温室用空気供給装置が開示されている。外気と温室内空気との混合割合を制御することによって、温度、湿度、二酸化炭素を効率的に制御する装置である。さらに、混合空気に二酸化炭素発生器により生成された二酸化炭素を取り込み、二酸化炭素を制御することも開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００８】

【文献】特開２００９－１５３４５９号公報

【文献】特開２０１６－０００００１０号公報

【文献】特開２０１４－０４２４８３号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

特許文献１に記載の発明は、開放型のハウスにおいても、作物の群落内の二酸化炭素濃度を上昇させることが可能な装置が記載されている。しかし、日本など温帯に属する地域では、冬期は密閉型の温室栽培を行う必要があっても、春から夏にかけては、高温障害を生じることから換気が必要となる。換気を行うとハウス外に二酸化炭素が流出してしまう。そのため、二酸化炭素を施用していても非常に効率が悪い。さらに、特許文献１の装置では、ハウス内に燃焼式の二酸化炭素発生装置を設置していることから、気温の高い時期においては使用することができないという問題も生じる。

【００１０】

特許文献２に記載の発明は、二酸化炭素のハウス外への流出を抑制することは可能であるが、気温が高い時期においては常時換気が必要となることから、二酸化炭素供給装置を使用することができない。また、二酸化炭素生成器から供給される二酸化炭素は園芸植物の株元近傍に形成された吹出口から供給される構成となっているため、トマトやナスのような長茎植物の場合には光合成を行う葉の近傍には二酸化炭素が供給されない。

【００１１】

特許文献３には、外気と温室内空気を混合し、温度、湿度、二酸化炭素を制御する装置が開示されている。特許文献３に記載の発明は、日中の換気を行わない閉鎖型、又は日中室温が所定の温度を超えた場合のみ換気を行う半閉鎖型栽培を実施するのに適しているが、わが国の栽培環境は換気が必要となる期間が多く、使用することのできない期間が長いという問題がある。また、ハウス内湿度は外気の湿度と連動していることから、外気と温室内空気を混合することにより湿度を調整できる余地は少ない。さらに、温室用空気が株元に供給される構成となっているため、特許文献２の発明と同様に、長茎植物の場合には、植物の上部には二酸化炭素が供給されないという問題があった。

【００１２】

上記のように、いずれの発明も、閉鎖型、開放型を問わず、あらゆる園芸施設に対応し、温度、湿度、二酸化炭素を総合的に調整し、植物の生育環境を制御するシステムとはなっていない。施設栽培は、ハウス内の温度が高くなることから、高温障害を避けるため換気の必要性が生じるが、換気を行いながらの二酸化炭素施用は外気への二酸化炭素の流出が避けられず効率が悪い。適切な温度、湿度管理を行いながら、一年を通して無駄なく二酸化炭素を一定濃度に維持するシステムの開発が望まれている。

【課題を解決するための手段】
【００１３】
本発明は植物の生育に適した二酸化炭素濃度、温度、湿度に調整した空気を植物の群落内に局所的に供給し、植物の生育環境を制御するシステムに関する。また、施用された二酸化炭素の散逸の抑制や保温を図り、一定の環境を維持するシステムに関する。
（１）農業用ハウスにおける環境制御システムであって、植物群落内全体に微風を送ることにより気流を生じさせ植物群落内全体の微小環境を調整することを特徴とする環境制御システム。
（２）（１）記載の環境制御システムは、栽培用空気を調整する混合キャビンと、二酸化炭素を供給する二酸化炭素供装置と除湿機と、加湿器とを備え、前記混合キャビン内で二酸化炭素濃度、温度、湿度を所定の範囲内に調整し、送風チューブによって調製空気を供給する環境制御システム。
（３）前記二酸化炭素供給装置が、燃焼式二酸化炭素発生器であり、二酸化炭素の供給及び植物群落の温度管理に用いることができる（２）記載の環境制御システム。
（４）前記加湿器がミスト発生装置である（２）又は（３）記載の環境制御システム。
（５）農業用ハウス内及び農業用ハウス外に少なくとも温度、湿度を測定するセンサを設け、制御装置によって混合される調製空気を調整し供給する（１）～（４）いずれか１つ記載の環境制御システム。
（６）農業用ハウス内に設けられている栽培ベッドは吊りベッドであり、垂直方向に移動可能であることを特徴とする（１）～（５）いずれか１つ記載の環境制御システム。
（７）移動可能な環境維持用カーテンが設けられていることを特徴とする（１）～（６）いずれか１つ記載の環境制御システム。
（８）草丈の低い植物を栽培する場合には送風チューブを株元に配置し、長茎植物を栽培する場合には送風チューブから送風サブチューブを垂直方向に分岐させて配置し、各植物に調整空気を供給する（２）～（５）いずれか１つ記載の植物栽培用調製空気施用システム。
【発明の効果】
【００１４】
温度、湿度、二酸化炭素濃度を植物の生育に適切な範囲内になるように調整した植物栽培用調整空気を植物群落内、特に光合成を行う葉の近傍に供給することが可能なシステムであることから、低コストでありながら、収量が増加するとともに、病気を抑制することができる。従来は換気が必要となる夏期には二酸化炭素を供給することが困難であったが、以下の実施形態に示すシステムは、換気が必要な気候条件であっても二酸化炭素を効率的に供給することが可能となる。また、吊りベッド、カーテン展張システムを採用することによって、供給された二酸化炭素を栽培植物の群落内に留めて散逸を抑制し、単位あたりの栽培面積を増やすことができる。その結果、より生産性の良い、収益性の高い施設とすることができるだけではなく、二酸化炭素排出量の削減にもつなげることができる。
【図面の簡単な説明】
【００１５】
【図１】植物栽培用調製空気施用システムの栽培用調整空気混合部を模式的に示す図。
【図２】植物群落内における調整空気の施用の例を示す図。
【図３】植物群落内における調整空気の施用の他の例を示す図。
【図４】吊りベッド、カーテン展張システムの例を示す図。
【図５】吊りベッド、カーテン展張システムの機構を示す図。
【図６】植物栽培用調製空気施用システムを模式的に示す図。
【図７】環境制御システムを用いた際の二酸化炭素濃度の日内変化計測値を示すグラフ。
【発明を実施するための形態】
【００１６】
以下の実施形態で詳細に説明するが、植物栽培用調製空気施用システムは密閉型ハウスであっても、開放型ハウスであっても、どのような形態の園芸施設であっても適用可能で

ある。植物体の近傍に調整空気を施用し、微小環境を整えるシステムであることから、開放型ハウスであっても施設外への二酸化炭素の流出はさほど気にする必要はなく、低コストで植物の生育環境を適切に維持することができる。

【００１７】

植物栽培用調製空気施用システムは、どのような園芸作物に使用してもよいが、例えばトマト、ナス、キウリ、ピーマン、パプリカなどの野菜、イチゴ、メロンなどの果物、さらに、キク、バラ、カーネーションなどの花卉を対象作物とすることができる。作物ごとに、適した環境になるように、二酸化炭素濃度、温度、飽差、土壌水分を設定し、調整することができる。

【００１８】

最初に、植物の栽培に適した調整空気について説明する。局所に施用する調整空気は、植物群落の活発な光合成と病害の発生を抑制することを目的としており、二酸化炭素濃度、気温、飽差（湿度）を適切な範囲になるように空気を調整し送風する。送風することにより気流を生じさせ、生育に必要な管理を行うことができる。

【００１９】

ハウス内の空気環境（状態）は常に変動しているので、二酸化炭素濃度、温度、飽差（湿度）を自動的に逐次計測し、その結果に基づいて空気を調整しハウス内に供給する。生育に適した温度に管理するとともに、二酸化炭素濃度を調整し光合成量を増やし、さらに湿度を調整することにより病害を抑制することができる。また、二酸化炭素濃度、温度管理のために使用する化石燃料は、局所施用であることから施設全体を制御する場合に比べて少なくて済み、低コストで生産量の増加を図ることができる。以下に本システムで管理する項目について説明する。

【００２０】

［気流］

栽培用調整空気は、ダクトから微風として供給することにより、植物群落内に気流が生じる状態を実現する。日中植物の気孔が開いているときには、気流速度が数ｃｍ／ｓ～数１０ｃｍ／ｓの範囲内では気流速度が速いほど光合成効率が良いと言われている。また、夜間は植物群落内の湿度と温度が一定の範囲に保たれる程度に気流速度を設定することが好ましい。気流が生じることにより、日中は二酸化炭素が供給され、また、適切な温度、湿度範囲に植物群落が保たれることから、高い光合成効率が得られるだけではなく、病害を抑制することができる。

【００２１】

施設園芸では、ハウス内の空気中に揮散することによって微気象を利用し、簡単に防除できることから、近年燻煙剤が利用されるようになってきている。うどんこ病、葉かび病、すすかび病、灰色かび病、白さび病、乾腐病、球根腐敗病、べと病、黒枯病などの原因となる病原菌の防除や、アブラムシ類、アザミウマ類、コナジラミ類、ミカンキイロアザミウマ、ミナミキイロアザミウマなどのアザミウマ類、カイガラムシ類、コナカイガラムシ類、ホソオビツチイロノメイガ、ノシメマダラメイガ、チャマダラメイガ、ヒラタコクヌストモドキ、コクゾウムシ、タバコシバンムシ、ミカンハダニなどのハダニ類、ハスモンヨトウなどの病害虫の駆除に用いられているシフルフェナミド、トリフルミゾール、メバニビリム、テトラクロロイソフタロニトリル、アセタミプリド、ビフェントリン、フルバリネート、テブフェンピラド、フェノブカルブ（ＢＰＭＣ）などを有効成分とする燻煙剤を以下で説明する空気を調整するための混合キャビンに置いて燻煙すれば、植物群落内で有効成分を分散させることが可能であり、高い燻煙効果を得ることができる。また、ハウス内の植物群落に送風することにより燻煙を行うので、均一な効果を得ることができる。

【００２２】

［二酸化炭素濃度］

光合成には、二酸化炭素と水が必要であることから、日中の二酸化炭素濃度の制御が重要である。ハウスで二酸化炭素管理を行わずに植物を栽培すると、日中は光合成により二酸化炭素が消費され外気の二酸化炭素濃度（約４００ｐｐｍ）以下になることも多い。二

酸化炭素が１００～７００ｐｐｍの範囲では正味光合成速度は直線的に増加し、１０００～１５００ｐｐｍでは光合成量が最も高くなると言われている。例えば、トマトの場合は二酸化炭素濃度が４００ｐｐｍから１０００ｐｐｍになると収量が８４％増加するというデータがある。しかし、二酸化炭素濃度を７００～１０００ｐｐｍで施用しても、施設の隙間から流出してしまい、二酸化炭素利用率は極めて少ないと言われている。二酸化炭素を施用せず気流が生じていない場合には、植物群落内の裏面近傍の二酸化炭素濃度は４００ｐｐｍ以下になっていることを考えると、常に植物群落内に気流を発生させ、外気と同程度の４００ｐｐｍに二酸化炭素濃度を維持しても収量は増加する。したがって、少なくとも４００ｐｐｍ以上の二酸化炭素濃度に調整した空気を送風し、植物群落内の二酸化炭素濃度を４００ｐｐｍ以上に維持することが好ましい。

【００２３】

二酸化炭素濃度は２０００ｐｐｍまでは、収量の増加が見られることから、密閉型ハウスであって、外部への二酸化炭素の流出がさほど起こらない場合には２０００ｐｐｍに設定することができる。しかし、非密閉型ハウス、あるいは夏期に換気が必要な場合には、少なくとも外気と同程度の二酸化炭素濃度、すなわち４００ｐｐｍかそれよりも高い二酸化炭素濃度に維持することが好ましい。二酸化炭素の外部への流出と光合成量を鑑みて、日中は４００ｐｐｍ～１０００ｐｐｍ、より好ましくは５００ｐｐｍ～９００ｐｐｍに二酸化炭素濃度を維持できるように設定することが好ましい。二酸化炭素濃度は植物の周囲、特に気孔が多数存在する葉裏において一定以上の濃度となれば良く、ハウス全体の二酸化炭素濃度を一定に保つ必要はない。さらに、二酸化炭素施用は光合成を行う日中には必要であるが、植物が光合成を行わない夜間は施用する必要がない。以下のデータで示すように、日の出とともに光合成が開始され、二酸化炭素施用を行わない場合には、急激にハウス内の二酸化炭素濃度が減少することから、日の出直後から午前中は９００ｐｐｍから１５００ｐｐｍ程度の高濃度で二酸化炭素施用を行うことが好ましい。また、午後は、大気の二酸化炭素濃度である４００ｐｐｍよりも２００ｐｐｍ高い６００ｐｐｍ程度に維持できる濃度、具体的には８００～９００ｐｐｍ程度で施用すればよい。

【００２４】

［温度］

温度管理は各植物に適した温度になるように管理を行う。また、植物によっては、ハウス全体の温度を管理する必要がない。葉の近く、あるいは地温の管理をすればよく、株元に供給する空気で温度管理を行ってもよい。特にイチゴでは、クラウンと呼ばれる成長点のある株基部の温度が重要であり、一定の温度範囲に収まればよいことが知られている。したがって、イチゴでは株元に送風する空気で温度管理を行えば良い。あるいは、栽培ベッドに電熱ケーブルを配置し、加温してもよい。例えば、イチゴの場合は、年間を通じて栽培ベッドが１５～２０℃に維持されるように管理すればよい。また、夏期には湿度９０～９５％の冷風を植物上方より施用することにより温度の上昇を抑えたり、潅水を行うことによって温度管理をしてもよい。

【００２５】

［飽差（湿度）］

植物に効率良く光合成を行わせるためには飽差による湿度管理が重要となる。飽差とはある温度と湿度において、水蒸気が飽和するまでに必要な量を示す指標であり、植物は相対湿度よりも飽差により強く影響を受けている。そのため、飽差値によって湿度管理を行うことが望ましい。

【００２６】

植物は、日中は気孔を開き、水分の蒸散が行われる。植物は蒸散により失われる水分を根から吸収するとともに、土壌中の養分も吸収する。根からの水分の吸収量と蒸散量のバランスが取れていればいいが、飽差値が大きく吸水が追いつかない状態では、植物は気孔を閉じてしまう。その結果、気孔からの二酸化炭素の取り込みも行われなくなり、光合成の効率が低下する。二酸化炭素を施用していても、気孔からの取り込みが行わなければ、光合成量の増加にはつながらない。したがって、飽差管理は光合成量の増加にとって重要

である。植物によって適切な飽差範囲は異なるが、一般に３～８ｇ／ｍ^{3}に管理することが良いとされている。

【００２７】

また、湿度は、光合成の効率だけではなく、病害の発生にも強く関わっている。特に、夜間の湿度管理は病害発生の抑制のために重要であり、結露しないような状態に管理する。病害は結露すると急増することから、湿度を９５％以下の範囲に調整する。

【００２８】

次に、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。図１は本実施形態の植物栽培用調製空気施用システムの概略を示した図である。

【実施態様】

【００２９】

［植物栽培用調製空気混合部］

植物栽培用調製空気混合部１は、温度、湿度、二酸化炭素濃度が最適になるように空気を混合する混合キャビン２、二酸化炭素発生装置３、除湿機４、加湿器５を備えている。二酸化炭素発生装置は、ＦＦ式石油ストーブのような燃焼装置を用いればよく、燃焼ガス中の二酸化炭素の供給とともに、気温が低い場合には温風を供給し、温室内の植物群落の温度を一定以上に保つことができる。図には示していないが、気温が高い場合には温風を送風するパイプを混合キャビンの外に向け、高温の燃焼ガスの混合キャビンまでの配管を空冷もしくは水冷することにより、温室内の温度を殆ど上昇させることなく、二酸化炭素を供給することができる。現在使用されている二酸化炭素施用装置は、大量の二酸化炭素を供給する装置であり熱交換量が多いため、気温が高くなると使用することができない。これに対し、本実施形態では、少量の二酸化炭素のみを供給する方式なので熱交換による冷却が容易であり、栽培期間を通して二酸化炭素を制御することができる。また、ここでは二酸化炭素発生装置３、除湿機４を混合キャビン２の外側に配置する構成としているが、混合キャビン２の中に配置することもできる。

【００３０】

湿度は潅水、換気によって調節されるとともに、除湿機４、加湿器５によって、適切な範囲に調整される。加湿器５は、水を供給するためのタンク、あるいは給水装置（図示せず）と接続し、常に水が供給されている。飽差／湿度は、日中及び夜間で適切な範囲が異なることから、日内で適切な範囲内となるように適宜制御されている。加湿器５は、どのようなものを用いてもよいが、ミスト発生装置、特に超音波式ミスト発生装置を用いることが好ましい。ミストは１０～３０μｍ程度のミストを発生させることにより、湿度を増加させる。混合キャビン２内には、空気混合用ファン６が設けられ、二酸化炭素、温度、湿度が適切な範囲内になるように混合される。夜間は植物が光合成を行わないので、二酸化炭素施用を行う必要はない。したがって、ハウスの換気窓を開けるなど積極的に換気を行いながら、温度と湿度の管理を行えばよい。

【００３１】

混合キャビン２内で混合された調整空気は、調整空気送風ファン７によって調整空気送風パイプ８を介して植物群落内に送られる。ここでは混合キャビン２から１つの調整空気送風パイプ８によって、調整空気がハウス内に送風される構成を示しているが、複数の調整空気送風パイプによってハウス内に送風する機構としてもよい。１時間に対象とする植物群落容積の０．５～１０倍、好ましくは１～８倍、より好ましくは３～５倍の容積の調整空気を供給することにより、植物近傍の空気が常時調整空気により換気されて交換し、植物の生育環境を制御することができる。例えば、イチゴの場合群落容積はイチゴ群落の幅５０ｃｍ、高さ４０ｃｍ、総畝延長６００ｍとすると、１２０ｍ^{3}となり、１時間に６０～１２００ｍ^{3}の調整空気を植物群落内に送風すればよい。なお、群落容積を１として、１時間に群落容積の何倍の調整空気で換気を行ったかを換気速度とし、これを群落内換気速度という。例えば、群落容積１２０ｍ^{3}のイチゴ群落を、１時間に２４０ｍ^{3}の調整空気で換気をした場合、群落内換気速度２回／時間で換気を行ったという。

【００３２】

［農業用ハウス内の送風システム］
図２及び図３にハウス内の調整空気の送風機構を示す。図２はイチゴのように草丈の低い植物に対する調整空気の施用を示している。調整空気送風パイプ８はハウス内で分岐させ植物の株元に配置されている送風チューブ９に接続する。送風チューブ９はポリエチレンなどの可撓性のあるチューブを用いることにより土壌の上を自由に這わせることができる。送風チューブは、ここでは直径５ｃｍのものを用いているが、植物群落容積や調節空気を供給する量などによって直径４～８ｃｍ程度のチューブを適宜選択することができる。図２（Ａ）は送風チューブの斜視図を示しているが、送風チューブ上面には、直径０．０５～１．０mm程度の送風孔１０が開いており、調整空気が植物の葉裏に供給される。上述のように、植物は葉裏に気孔が多数存在し、蒸散、二酸化炭素の取り込みを行っている。したがって、葉裏に微風として調整空気が供給されることにより、光合成効率を上げることができる。

【００３３】
図２（Ｂ）は、送風チューブ９の上面図であり、上面に２箇所の送風孔１０を開けた形態を示しているが、施用する植物、畝の間隔によって、送風孔の個数、位置は適宜設定することができる。調整空気は、送風チューブの送風孔から植物群落内に供給されるが、植物体、特に葉にあたることで、気流を発生する。図２（Ｃ）、（Ｄ）の矢印は供給された調整空気が植物にあたって生じる気流を模式的に示している。調整空気は送風孔から微風として供給され、常に植物周辺で微風が生じている状態となる。植物は調整空気により、適切な温度、湿度が維持され、日中は二酸化炭素が供給されることになる。

【００３４】
また、イチゴでは上述のようにクラウンの温度を一定範囲に保つことが生育に重要である。品種によっても異なるが、クラウン付近の温度が１５℃以下では展葉速度の低下、出蕾の遅延、草勢の低下が生じると言われている。また、２３℃以上では花芽分化が遅れる品種があることも知られている。送風チューブ９を図２（Ｃ）、（Ｄ）に示すように、株と株の間に配置することにより、温風、あるいは冷風をクラウン付近に循環させ、温度を生育に適切な一定範囲に調整することができる。クラウン周囲の温度を調整するだけでよく、ハウス内全体を暖房、あるいは冷房する必要がないので、低コストで適切な温度に調整することができる。また、冬季に栽培ベッドの温度が低くなり、送風チューブからの温風だけでは効果的な加温ができない地域では、栽培ベッド内に電熱ケーブルを配置し、ベッド温が１５℃～１８℃になるように加温してもよい。

【００３５】
トマトのような長茎植物に対する施用の例を図３に示す。調整空気送風パイプ（図示せず）が、ハウス内で送風チューブ９に接続されるのは、草丈の短い植物に調整空気を施用する場合と同様である。図３（Ａ）は送風チューブ９、送風サブチューブ１１の斜視図、図３（Ｂ）は上から見た平面図を示す。送風チューブ９は植物の株元に配置され（図３（Ｃ）、（Ｄ）参照）、送風チューブ９から送風サブチューブ１１が垂直方向に分岐している。送風サブチューブ１１もポリエチレン等の可撓性の非常に軽い素材で製造されているので、送風チューブ９からの空気圧によって直立し、両側に開口している送風孔１０から植物体に対して横方向に調整空気を供給する（図３（Ａ）、（Ｃ））。送風サブチューブ１１は、各株の近傍に配置されており、送風サブチューブ１１に開口している送風孔１０から調整空気が供給されている。直立した送風サブチューブ１１から水平方向に供給された調整空気（図３（Ａ）、黒い矢印）は、植物体に当たることによって方向が変化し（図３（Ｃ））長茎植物の植物体近傍に微風として調整空気を供給することができる。

【００３６】
さらに、草丈が短い時期には、送風サブチューブの上端を作物の高さに合うようにクリップやテープで閉じ、成長に応じた長さにして使用することができる。成長に合わせて垂直方向に送風サブチューブの長さを簡単に調節可能であることから、無駄なく調整空気を施用することができる。

【００３７】

［吊りベッド・カーテン展張システムを用いた環境制御システム］
イチゴなどの栽培に用いる高設栽培は、作業通路が施設面積の６～７割を占め、土耕栽培に比べると２～３割程度少なくなると言われている。栽培面積の増加を図ることができれば、単位面積あたりの収量が増加する。そこで、温室内に上下に移動する吊りベッド方式を採用し、栽培面積の増加を図った。
【００３８】
図４（Ａ）に吊りベッドシステム２１の斜視図、（Ｂ）に吊りベッドを移動させたところを示す。吊りベッド２２は吊りロープ２３によって、栽培ベッドの両端を吊るし、上方のフレーム梁２４上の電動ウインチ２５に連結したシャフト２６に巻き付けた吊りロープ２３で吊り下げられて支持されている。吊りベッド２２は、作業内容とハウス内環境に合わせて、電動ウインチ２５によって、地表面から、頭上までシャフト２６により巻き上げ、巻き下げすることによって上下に移動できる。具体的には、作業時は、吊りベッドを上に移動させることで通路幅と作業空間を確保し（図４（Ｂ）、矢印）、また、作業を行う吊りベッドは高設栽培と同等の高さに移動させ作業を行うことができる。高設栽培では通路として使用している場所にも栽培ベッドを設けることができるので、栽培面積を増やし収穫を増やすことができる。吊りベッド位置は、毎日の作業に応じて位置を制御するとともに、日当たりの良い高さに自動的に位置を制御することも可能である。また、効率的な二酸化炭素施用、あるいは保温が必要な場合には、地表面まで吊りベッドを降ろし、後述の環境維持用カーテンで覆うことによって保温、あるいは効率的な二酸化炭素施用を行うことができる。
【００３９】
カーテン展張システムは、地表面に降ろした栽培ベッドに移植された植物群落上を環境維持用カーテン２７で覆うことによって、二酸化炭素の散逸や温度低下を防ぐシステムである。図５は吊りベッド・カーテン展張システムの一部断面を模式的に示している。環境維持用カーテン２７には、断熱シート、透明シート、カーテンを張っていない巻取り用フレームのみの３種類のカーテンが用意されており、カーテン巻取機２８によって、適切なカーテンによって植物上面を覆うことができる。カーテンは保温が必要な夜間は断熱シート、二酸化炭素施用が必要な昼間は透明カーテンで植物群落を覆うことができる。
【００４０】
作業をしているときには、環境維持用カーテン２７は最上部であるフレーム梁直下まで巻き上げる（図４（Ｂ））。また、作業を行わない場合には、栽培ベッドを地表面まで下ろし、カーテンを下げて使用すればよい（図４（Ａ）、図５）。地表面まで栽培ベッドを下すことにより、カーテンで仕切られている空間がハウス全体の１／５程度になることから、施用に必要な二酸化炭素は農業用ハウス全体を施用する場合と比較して１／５程度に抑制することができる。また、夜間の保温が必要な時期には、断熱カーテンを使用すればよい。さらに、フレームの外周を側壁２９で囲うことにより、植物群落上を環境維持用カーテンとともに覆うことができるので、二酸化炭素の散逸の抑制し、保温効果を上げることができる。具体的には冬季の保温が必要な時期には、断熱素材の側壁と断熱カーテンで覆うことにより外気へ熱が逃げるのを防ぐことができる。また、保温が必要とされない時期には、側壁を透光性のシートに代え、透明な環境維持用カーテンとともに植物群落を覆うことにより二酸化炭素の散逸を防ぐことができる。
【００４１】
混合キャビンで調整された植物栽培用調整空気は、ダクトから送風チューブ３０に送られ、植物株元から送風される。また、冬季のベッド温を管理するために、吊りベッド２２には、電熱ケーブル３１を設けても良い。電熱ケーブルによって土壌温度の管理をすることにより少ないエネルギーでベッド温を一定の温度に管理することが可能である。また、潅水チューブ３２を送風チューブに沿って這わせることにより、自動的に潅水することができる。
【００４２】
［植物栽培用調製空気施用システム］

次に、植物栽培用調製空気施用システムについて説明する。植物に適した調整空気を供給するためには、ハウス内及びハウス外の温度、湿度を測定し、供給する空気の温度、湿度、二酸化炭素を調整する制御システムが必要である。複数の農業用ハウスで作物を栽培している場合には、１つの農業用ハウスに親機を設置し、栽培する植物の最適な温度、飽差等の生育条件を入力し、子機を通じて各ハウスを制御すればよい。

【００４３】

図６は、植物栽培用調製空気施用システム４１を模式的に示した図である。図６（Ａ）は植物栽培用調製空気施用システム４１の概要を、図６（Ｂ）は親機及び子機のコントローラ４５（マスターコントローラ）、４６（スレーブコントローラ）による調節機構を模式的に示している。混合キャビン２に接続された二酸化炭素供給装置３、除湿機４、加湿器５によって、温度、湿度、二酸化炭素濃度が適切に調整された調整空気が各ハウス４２に調整空気送風パイプ８、送風チューブ１０を介して供給される。ハウス内の温度、湿度、二酸化炭素濃度はハウス内センサ４３、外気の温度、及び湿度はハウス外センサ４４によって測定され、各ハウスのコントローラにデータが送られる。図６は制御装置に親機、子機がある場合を図示しているが、各ハウスのデータはハウス内に設置されているマスターコントローラ４５あるいはスレーブコントローラ４６に送信される。

【００４４】

親機であるマスターコントローラ４５には、栽培する作物に関する温度、飽差等の最適条件や、日の出、日の入り時刻などを操作端末４７から入力することができる。マスターコントローラ４５で入力した栽培条件によって、マスターコントローラが設置してあるハウスだけではなく、スレーブコントローラが設置してあるハウスも管理することができる。しかし、ハウスによって日当たり等細かい条件が異なることから、温度、湿度、二酸化炭素濃度、及び外気の状態についてはハウス毎に測定することが望ましい。ハウス内センサ４３で測定されたデータはマスターコントローラ４５、スレーブコントローラ４６のハウス内データ管理装置４８に送信され、ハウス外センサで測定されたハウス外データ管理装置４９に送信される。いずれのデータもハブ５０を介してマスターコントローラに送信される（図６（Ｂ））。

【００４５】

マスターコントローラ４５では受信したデータをもとに、調整空気の温度、湿度、二酸化炭素濃度をどのように調整すればよいか演算が行われ、ハブを介して制御装置５１に信号が送信され、二酸化炭素供給装置３、除湿機４、加湿器５が司令によって駆動し、混合キャビン内で適切な温度、湿度、二酸化炭素濃度に空気が調整される。混合キャビン２内で混合された調整空気は調整空気送風パイプ、送風チューブを介してハウス内の植物群落内に供給される。

【実施例１】

【００４６】

実際に微風を常時送風し、栽培を行った例を示す。２０１９年の９月下旬にイチゴを定植し、高設栽培しているビニールハウスで３月３０日から５月２３日まで試験を行った。直径５ｃｍのポリエチレンシート製の送風チューブから、直径０．６ｍｍの送風孔を介して終日送風のみを行い、データを取得している。実施例１の試験では、同一ハウス内に試験区を設定しており、ハウス全体に石油燃焼ガス中の二酸化炭素を施用して試験を行っているため、送風チューブを介して湿度の調節のみを行っている。送風の有無による温度、飽差、二酸化炭素濃度の１週間の平均データを表１に示す。温度は、昼は８時から１６時まで、夜は１９時から翌日の５時までの１０分おきの測定値の週平均を示している。外気温以外の温度、湿度、二酸化炭素濃度は植物群落内、葉の近傍でデータを取得している。

【００４７】

【表１】

項目	昼/夜	場所	送風	3月30日	4月6日	4月13日	4月20日	4月27日	5月4日	5月11日	5月18日	平均
温度	昼	群落内	有	26.2	26.4	26.4	23.6	25.7	25.2	27.2	26.5	25.9
		群落内	無	29.1	30.2	29.6	26.5	28.8	27.7	29.6	29.7	28.9
		外気		18.2	20.2	20.0	19.0	24.2	24.6	26.6	26.4	22.4
	夜	群落内	有	12.8	10.9	12.8	12.5	14.6	17.1	17.4	17.8	14.5
		群落内	無	12.1	10.2	12.1	11.7	13.8	16.2	16.6	16.9	13.7
		外気		11.0	9.3	11.1	11.8	14.0	15.9	16.3	16.6	13.3
飽差	昼	群落内	有	6.5	8.2	6.3	5.2	5.4	3.7	4.8	3.7	5.5
		群落内	無	8.3	10.1	7.7	7.0	6.9	4.7	6.5	5.2	7.1
	夜	群落内	有	0.8	1.4	1.1	1.3	1.1	0.8	1.1	0.9	1.0
		群落内	無	0.7	1.1	1.1	1.1	0.9	0.5	0.8	0.7	0.9
CO_2	昼	群落内	有	437	417	451	497	569	550	486	446	481
		群落内	無	382	378	311	348	413	294	368	280	347
	夜	群落内	有	534	595	609	594	736	858	633	554	639
		群落内	無	545	598	602	600	745	876	645	572	648

【００４８】

イチゴは昼の気温の最高限界が３０℃、夜の気温の最低限界が３℃と言われている。夜の気温が最低限界以下となることはなかったが、昼の気温は送風無しの試験区では４月６日の週では３０．２℃と３０℃を超えている。また、飽差は３～６ｇ／ｍ^{3}に管理するのが良いとされているが、送風無しの試験区域では３月３０日、４月６日、１３日、２０日、２７日の５月１１日の６週にわたり、至適範囲を超えた値となっている。これに対し、送風有りの試験区域では４月６日、１３日、２０日のみが至適範囲を超えているが、その場合であっても、送風無しの区域と比較すると乾燥の程度は弱いものとなっている。さらに、二酸化炭素濃度に関しては、送風無しの場合にはいずれの期間も日中は外気の二酸化炭素濃度である４００ｐｐｍよりも低い値を示している。微風により植物群落内に気流を生じさせることにより、温度、飽差、二酸化炭素いずれの生育環境も改善することが明らかとなった。

【００４９】

【表２】

項目	送風	4月13日	4月20日	5月11日	5月18日	総重量/平均糖度
重量	有	1420	900	800	2300	5420
	無	1180	800	700	1960	4640
糖度	有	11.0	13.5	13.7	11.6	12.1
	無	11.7	11.5	12.5	11.7	11.8

【００５０】

送風区域中央の３ｍ内の３０株、及び送風を行わなかった区域の３０株について試験期間中の収量と糖度の平均を週毎にまとめた（表２）。植物の生育環境の改善に伴い、収量が２０％近く増加しただけではなく、糖度の増加も見られた（表２）。限られた期間内で２０％程度収量の増加が確認されたことから、長期間に渡ればより高い収量の増加が期待される。

【実施例２】

【００５１】

実施例１と同様に高設栽培でイチゴを栽培しているビニールハウスで、２０２０年３月３０日から４月２日までの４日間、混合キャビンで植物栽培用調整空気を調整し、１０時

から１８時まで１４００ｐｐｍで送風チューブから群落内換気速度５回／時間の条件で株元へ二酸化炭素施用を行い、施用区、無施用区の二酸化炭素濃度を測定した（図７）。外気の二酸化炭素は４５０～４８０ｐｐｍであった。３月３０日、３１日はほぼ無風状態で快晴、ビニールハウス内の空気はあまり換気されていない状況であった。無施用区の群落内はイチゴが二酸化炭素を吸収するため日中は外気より二酸化炭素濃度が１００ｐｐｍ程度低くなっている。一方、二酸化炭素施用区は日中でも濃度が高く保たれている。施用区、無施用区ともに夜になると植物の呼吸により二酸化炭素濃度は上昇する。４月１日、２日は、風が強く曇天、換気により全体的に二酸化炭素濃度が外気と近い値となっている。施用区では、無施用区よりも二酸化炭素濃度は高いが、風により二酸化炭素が散逸するため施用区、無施用区で大きな差は認められなかった。

【実施例３】

【００５２】

カーテン展張システムの効果を検討するために、シートで被覆しカーテン展張システムを模した略密閉空間を作り、二酸化炭素濃度１７６０ｐｐｍ、湿度３０％に除湿した空気を上記と同じ群落内換気速度５回／時間の条件で送風チューブから施用し、二酸化炭素濃度、湿度を測定した。結果を表３に示す。

【００５３】

【表３】

カーテン被覆	測定項目	10分後	30分後	90分後	240分後	外気
あり	CO_2 ppm	760	1180	1540	1500	410
なし		600	660	600	680	
あり	湿度%	86	——	66	55	93
なし		93	——	91	91	

【００５４】

この結果からカーテンをして略密閉状態にした空間に二酸化炭素を施用し続ければ二酸化炭素濃度は高く維持されること、湿度は顕著に低下することが分かった。炭疽病や灰色かび病など多くの病害は９５％以上の高湿度状態で発生し繁殖するので、カーテン展張の病害予防効果が高いと考えられる。

【００５５】

以上示してきたように、本発明の環境制御システムは、二酸化炭素濃度、湿度、温度が制御された植物栽培用空気を群落に施用し、さらにカーテン展張システムによって、制御された環境を維持することができる。また、吊りベッドを使用することにより、面積当たりの栽培株数を増やし、収量の増加を図ることも可能となる。従来の二酸化炭素施用システムは、春先から気温が高くなると換気が必要となり、二酸化炭素施用を行うことができない期間が長かった。本システムは、温度の上昇を抑制しつつ、環境維持用カーテンによって二酸化炭素濃度を維持することができるので、ハウスの換気が必要な時期になっても二酸化炭素施用を行うことが可能となる。

【符号の説明】

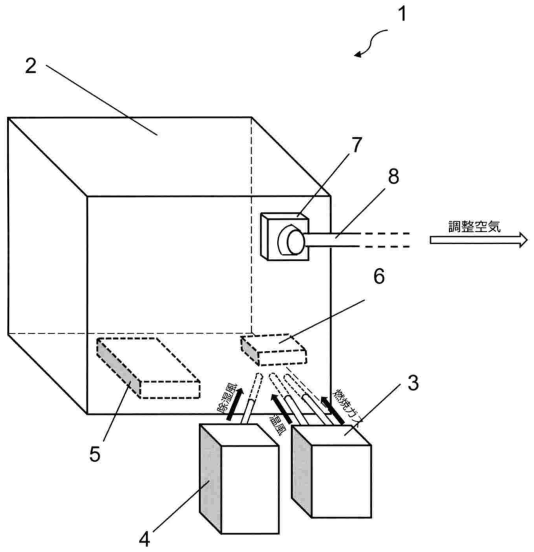
【００５６】

１…植物栽培用調製空気混合部、２…混合キャビン、３…二酸化炭素供給装置、４…除湿機、５…加湿器、６…空気混合用ファン、７…調整空気送風ファン、８…調整空気送風パイプ、９…送風チューブ、１０…送風孔、１１…送風サブチューブ、２１…吊りベッドシステム、２２…吊りベッド、２３…吊りロープ、２４…フレーム梁、２５…電動ウインチ、２６…シャフト、２７…環境維持用カーテン、２８…カーテン巻取機、２９…側壁、３０…送風チューブ、３１…電熱ケーブル、３２…潅水チューブ、４１…植物栽培用調製空気施用システム、４２…ハウス、４３…ハウス内センサ、４４…ハウス外センサ、４５…マスターコントローラ、４６…スレーブコントローラ、４７…操作端末、４８…ハウス内

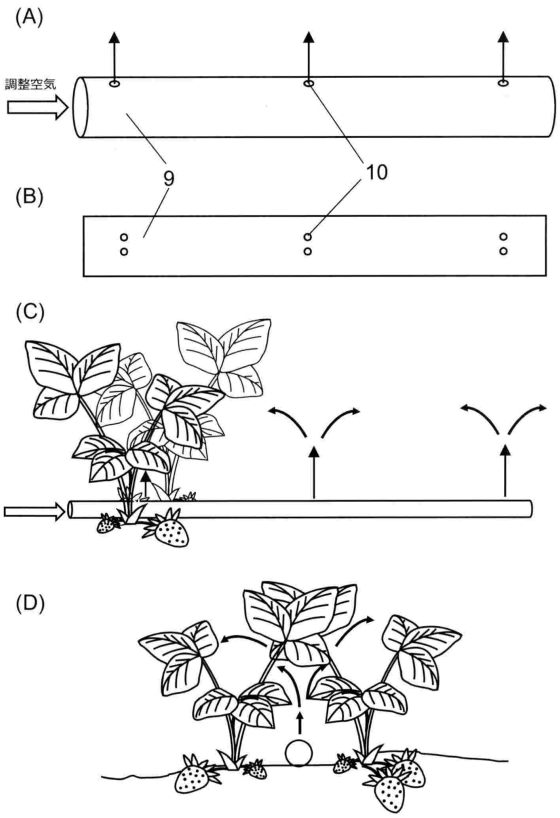
データ管理装置、４９…ハウス外データ管理装置、５０…ハブ、５１…制御装置

【図面】

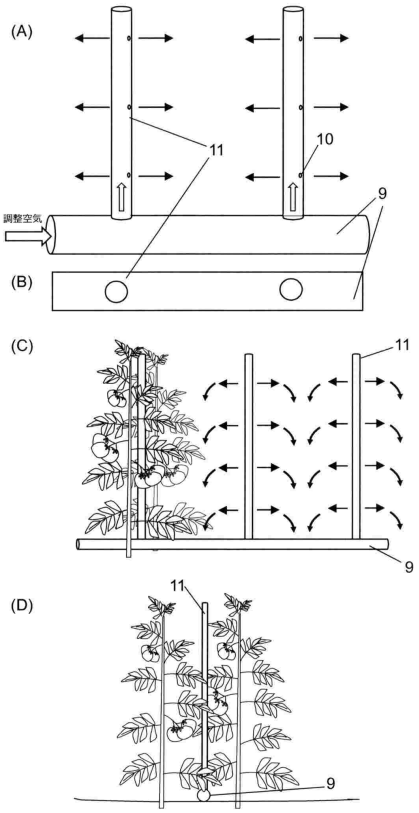
【図１】



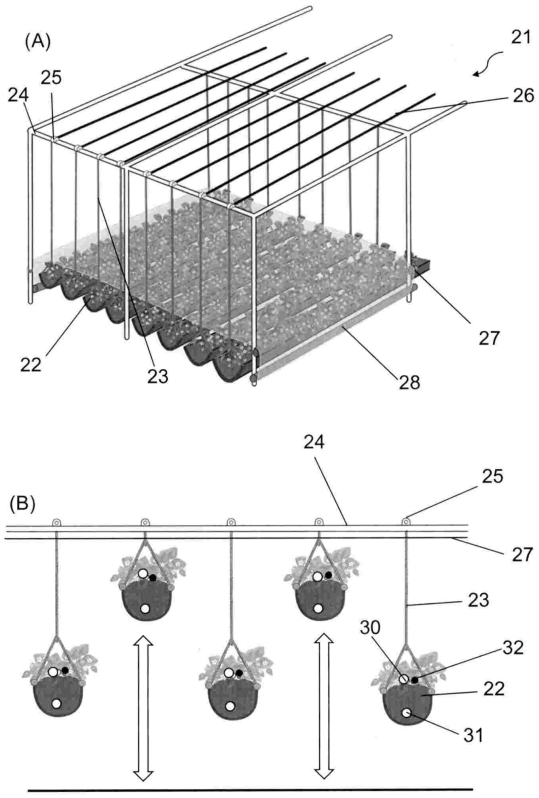
【図２】



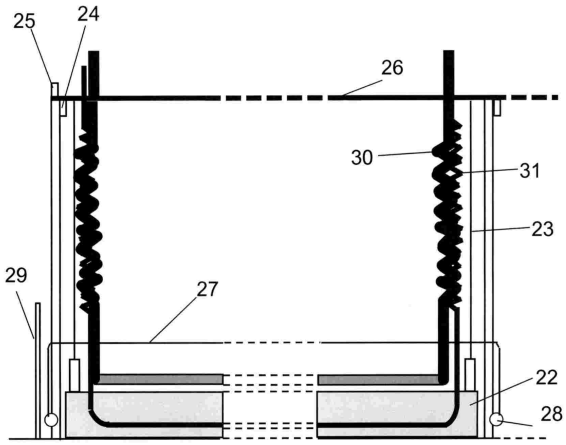
【図３】


(A)
11
10
9
調整空気
(B)
(C)
11
9
(D)
11
9

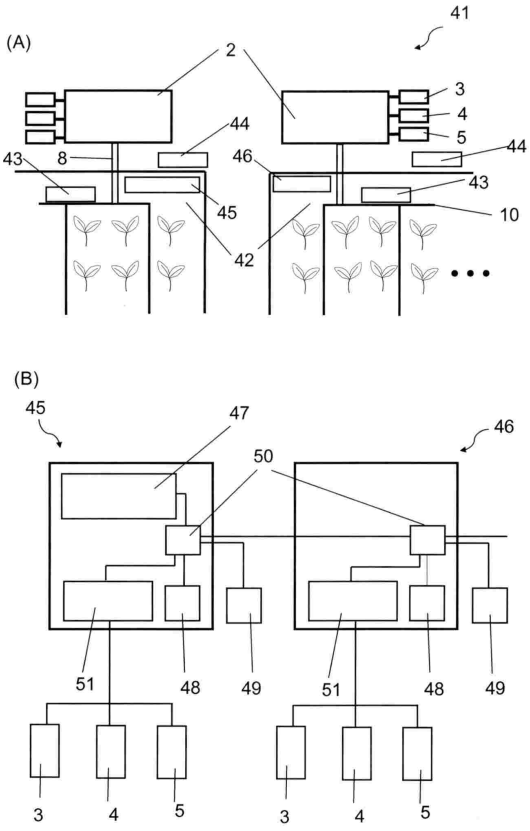
【図４】


(A)
21
25
24
26
27
22
23
28
(B)
24
25
27
23
30
32
22
31

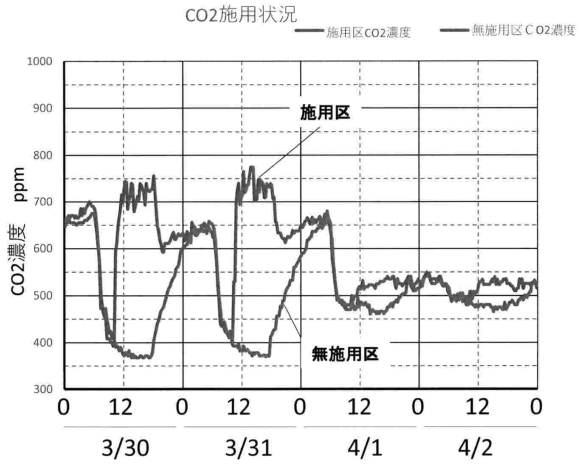
【図５】


25
24
26
30
31
23
29
27
22
28

【図６】


(A)
41
2
3
4
5
44
44
43
8
46
43
45
10
42
(B)
45
47
46
50
51
48
49
51
48
49
3
4
5
3
4
5

【図７】


CO2施用状況
施用区CO2濃度
無施用区CO2濃度
CO2濃度 ppm
1000
900
800
700
600
500
400
300
施用区
無施用区
0 12 0 12 0 12 0 12 0
3/30
3/31
4/1
4/2

フロントページの続き

(56)参考文献 特開２０１７－２０５０７２（ＪＰ，Ａ）
特開２０２０－１３００６４（ＪＰ，Ａ）
特開２０１９－１９８２９９（ＪＰ，Ａ）
特開２０１４－０８３０５１（ＪＰ，Ａ）
特開２０１７－１５８４８３（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－２９９１０９（ＪＰ，Ａ）
実開昭５９－１３６９４５（ＪＰ，Ｕ）
特開２０１５－２２８８１３（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０４８８４３６６（ＵＳ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ａ０１Ｇ　９／１４－９／２６