

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6746867号
(P6746867)

(45) 発行日 令和2年8月26日(2020.8.26)

(24) 登録日 令和2年8月11日(2020.8.11)

(51) Int.Cl.

A01G 7/00 (2006.01)

F 1

A01G 7/00 601C

請求項の数 36 (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2015-561614 (P2015-561614)
 (86) (22) 出願日 平成26年3月5日 (2014.3.5)
 (65) 公表番号 特表2016-518106 (P2016-518106A)
 (43) 公表日 平成28年6月23日 (2016.6.23)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2014/020809
 (87) 國際公開番号 WO2014/138262
 (87) 國際公開日 平成26年9月12日 (2014.9.12)
 審査請求日 平成29年3月6日 (2017.3.6)
 審判番号 不服2018-15969 (P2018-15969/J1)
 審判請求日 平成30年11月30日 (2018.11.30)
 (31) 優先権主張番号 61/772,856
 (32) 優先日 平成25年3月5日 (2013.3.5)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 米国(US)

(73) 特許権者 515243718
 シャント テクノロジーズ, インコーポ
 レイテッド
 X I A N T T E C H N O L O G I E S,
 I N C.
 アメリカ合衆国, コロラド州, グリー
 リー, 54番 アベニュー 532
 (74) 代理人 100107456
 弁理士 池田 成人
 (74) 代理人 100162352
 弁理士 酒巻 順一郎
 (74) 代理人 100123995
 弁理士 野田 雅一
 (74) 代理人 100154656
 弁理士 鈴木 英彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光子変調管理システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

生物における応答を誘発する方法であって、当該方法は、
 ・少なくとも 2 つの光子放出器を設けるステップと、
 ・前記少なくとも 2 つの光子放出器と通信する少なくとも 1 つの光子放出変調制御器を設けるステップと、
 ・前記少なくとも 1 つの光子放出変調制御器から前記少なくとも 2 つの光子放出器へコマンドを伝達するステップと、
 ・前記生物に光子信号を提供するステップであって、
 前記光子信号が、互いに独立したパルスパターンを有する 2 つ以上の独立した要素を含み、

前記 2 つ以上の独立した要素は、第 1 の色スペクトルから成る繰り返しの第 1 の変調光子パルスの群のうちの第 1 の独立した要素を含み、前記第 1 の変調光子パルスの群は、1 つ以上の第 1 の強度を有する 1 つ以上の第 1 の光子パルスオン期間を有するとともに、1 つ以上の第 1 の光子パルスオフ期間と、第 1 の波長色とを有し、前記第 1 の光子パルスオンの前記 1 つ以上の期間は、0.01マイクロ秒～5000ミリ秒であり、前記第 1 の光子パルスオフの前記 1 つ以上の期間は、0.1マイクロ秒～24時間であり、前記第 1 の変調光子パルスの群の前記 1 つ以上の第 1 の光子パルスオン期間は、前記第 1 の変調光子パルスの群の前記 1 つ以上の第 1 の光子パルスオフ期間と異なり、

前記 2 つ以上の独立した要素は、前記第 1 の色スペクトルとは異なる第 2 の色スペ

10

20

クトルから成る繰り返しの第 2 の変調光子パルスの群のうちの第 2 の独立した要素を含み、前記第 2 の変調光子パルスの群は、1 つ以上の第 2 の強度を有する 1 つ以上の第 2 の光子パルスオン期間を有するとともに、1 つ以上の第 2 の光子パルスオフ期間と、第 2 の波長色とを有し、前記第 2 の光子パルスオンの前記 1 つ以上の期間は、0.01 マイクロ秒～5000 ミリ秒であり、前記第 2 の光子パルスオフの前記 1 つ以上の期間は、0.1 マイクロ秒～24 時間であり、前記第 2 の変調光子パルスの群の前記 1 つ以上の第 2 の光子パルスオン期間は、前記第 2 の変調光子パルスの群の前記 1 つ以上の第 2 の光子パルスオフ期間と異なり、

前記第 1 の独立した要素及び前記第 2 の独立した要素は前記光子信号内で同時に存在し、10

前記第 2 の変調光子パルスの群は前記第 1 の変調光子パルスの群とは異なっており、前記第 1 の変調光子パルスの群の前記 1 つ以上の第 1 の光子パルスオン期間のうちの少なくとも 1 つと、前記第 2 の変調光子パルスの群の前記 1 つ以上の第 2 の光子パルスオン期間のうちの少なくとも 1 つとは、異なるタイミングにずれており、

前記第 1 の変調光子パルスの群は、前記少なくとも 2 つの光子放出器のうちの第 1 の光子放出器から放出され、前記第 2 の変調光子パルスの群は、前記少なくとも 2 つの光子放出器のうちの第 2 の光子放出器から放出される、ステップと、

・前記光子信号を前記生物に向けて放出するステップであって、前記光子信号における前記第 1 の変調光子パルスの群と前記第 2 の変調光子パルスの群との合成効果は前記生物からの応答を生成する、ステップと、20
を含み、

前記生物の前記応答は、光合成応答、屈光性応答、光周応答、成長、修復及び破壊からなるグループから選ばれ、

前記生物は、バクテリア、担子菌、子嚢菌、酵母菌、被子植物、シダ植物、裸子植物、シアノバクテリア、珪藻、光合成単細胞、真核緑藻類、及びこれらの組織からなるグループから選ばれる、方法。

【請求項 2】

当該方法は、前記 2 つ以上の独立した要素に含まれる第 3 以上の独立した要素であって、前記第 1 の色スペクトル及び前記第 2 の色スペクトルとは異なる第 3 以上の色スペクトルから成る繰り返しの第 3 以上の変調光子パルスの群のうちの第 3 以上の独立した要素をさらに含み、30

前記第 3 以上の変調光子パルスの群は、1 つ以上の第 3 以上の強度を有する 1 つ以上の第 3 以上の光子パルスオン期間を有するとともに、1 つ以上の第 3 以上の光子パルスオフ期間と、第 3 以上の波長色とを有し、

前記第 3 以上の光子パルスオンの前記 1 つ以上の期間は、0.01 マイクロ秒～5000 ミリ秒であり、前記第 3 以上の光子パルスオフの前記 1 つ以上の期間は、0.1 マイクロ秒～24 時間であり、

前記第 1 の独立した要素、前記第 2 の独立した要素及び前記第 3 以上の独立した要素は前記光子信号内で同時に存在し、

前記第 3 以上の変調光子パルスの群は前記第 2 の変調光子パルスの群及び前記第 1 の変調光子パルスの群とは異なっており、40

当該方法は、前記光子信号を前記生物に向けて放出するステップであって、前記光子信号における前記第 3 以上の変調光子パルスの群、前記第 1 の変調光子パルスの群及び前記第 2 の変調光子パルスの群の合成効果は前記生物からの応答を生成する、ステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 3 以上の変調光子パルスの群における前記 1 つ以上のさらなる光子パルスオフ期間の各々は異なっている、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第 3 以上の変調光子パルスの群における前記 1 つ以上のさらなる光子パルスオン期50

間の各々は異なっている、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 3 以上の変調光子パルスの群における前記要素は前記生物からの応答に合わせて詳しく調節される、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 3 以上の変調光子パルスの群におけるさらなる各波長色は、近赤、遠赤、青、赤外、黄、橙、及び紫外からなるグループから選ばれる、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 7】

前記第 3 以上の変調光子パルスの群におけるさらなる各波長色は 0.1 nm ~ 1 cm の波長を有する、請求項 2 に記載の方法。

10

【請求項 8】

前記第 3 以上の変調光子パルスの群は 1 つ以上のさらなる強度をさらに含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 9】

前記第 3 以上の光子パルスオンの前記 1 つ以上の期間は、前記第 3 以上の光子パルスオフの前記 1 つ以上の期間と異なっている、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 10】

当該方法は、前記少なくとも 1 つの光子放出変調制御器と通信するマスターロジック制御器を設けるステップをさらに含み、

前記マスターロジック制御器は、前記少なくとも 2 つの光子放出器からの、前記 1 つ以上の第 1 の光子パルスオン期間、前記 1 つ以上の第 1 の光子パルスオフ期間、前記第 1 の光子パルス強度、前記第 1 の光子パルス波長色、前記 1 つ以上の第 2 の光子パルスオン期間、前記 1 つ以上の第 2 の光子パルス遅延オフ期間、前記第 2 の光子パルス強度、及び前記第 2 の光子パルス波長色を制御する前記少なくとも 1 つの光子放出変調制御器にコマンドを送信する、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 11】

当該方法は、前記少なくとも 1 つの光子放出変調制御器と通信するマスターロジック制御器を設けるステップをさらに含み、

前記マスターロジック制御器は、前記第 3 以上の変調光子パルスの群の前記要素を制御する前記少なくとも 1 つの光子放出変調制御器にコマンドを送信する、請求項 2 に記載の方法。

30

【請求項 12】

前記少なくとも 2 つの光子放出器は、白熱（タンクステンハロゲン及びキセノン）、螢光（CFL）、高輝度放電（メタルハライド、高圧ナトリウム、低圧ナトリウム、水銀蒸気）、太陽光、及び発光ダイオードからなるグループから選ばれる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

前記マスターロジック制御器と通信する電力消費量センサーを設けるステップと、

前記少なくとも 2 つの光子放出器の電力使用量を監視するステップと、

前記電力消費量センサーから前記マスターロジック制御器の外部にあるホストへ前記電力消費量を伝達するステップと

40

をさらに含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 14】

前記少なくとも 1 つの光子放出変調制御器は、ソリッドステートリレー、金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ、電界効果トランジスタ、ツェナーダイオード、オプティカルチョッパー、及び前記第 1 の変調光子パルスの群と前記第 2 の変調光子パルスの群の変調を誘発する装置からなるグループから選ばれる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 15】

前記第 1 の変調光子パルスの群の前記第 1 の波長色は、近赤、遠赤、青、赤外、黄、橙、及び紫外からなるグループから選ばれる、請求項 1 に記載の方法。

50

【請求項 1 6】

前記第2の変調光子パルスの群の前記第2の波長色は、近赤、遠赤、青、赤外、黄、橙、及び紫外からなるグループから選ばれる、請求項1に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記第1の変調光子パルスの群の前記第1の波長色は、0.1nm～1cmの波長を有する、請求項1に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記第2の変調光子パルスの群の前記第2の波長色は、0.1nm～1cmの波長を有する、請求項1に記載の方法。

【請求項 1 9】

少なくとも1つのセンサーを設けるステップと、

前記生物に関わる少なくとも1つの条件を監視するステップであって、前記生物に関わる少なくとも1つの条件は、前記生物に関わる環境条件である、又は前記生物に関わる生理的条件である、ステップと、

前記少なくとも1つのセンサーから前記マスターロジック制御器へ前記条件に関するデータを伝達するステップと

をさらに含む、請求項10に記載の方法。

【請求項 2 0】

前記少なくとも2つの光子放出器からの、前記1つ以上の第1の光子パルスオン期間、前記1つ以上の第1の光子パルスオフ期間、前記第1の光子パルス強度、前記第1の光子パルス波長色、前記1つ以上の第2の光子パルスオン期間、前記1つ以上の第2の光子パルス遅延オフ期間、前記第2の光子パルス強度、及び前記第2の光子パルス波長色を、前記少なくとも1つのセンサーからの前記データに基づいて調整するステップをさらに含む、請求項19に記載の方法。

【請求項 2 1】

前記マスターロジック制御器と通信する注水源を設けるステップをさらに含み、

前記注水源は前記生物に注水イベントを提供する、請求項19に記載の方法。

【請求項 2 2】

前記少なくとも1つのセンサーからの前記データに基づいて前記注水源から前記生物に対し注水イベントを開始するステップを含む、請求項21に記載の方法。

【請求項 2 3】

前記マスターロジック制御器は前記少なくとも1つのセンサーからの前記データに基づいて前記注水イベントのタイミングを判断する、請求項22に記載の方法。

【請求項 2 4】

前記マスターロジック制御器は前記少なくとも1つのセンサーからの前記データに基づいて前記注水イベントの期間を判断する、請求項22に記載の方法。

【請求項 2 5】

前記マスターロジック制御器と通信する栄養源を設けるステップをさらに含み、

前記栄養源は前記生物に栄養イベントを提供する、請求項19に記載の方法。

【請求項 2 6】

前記少なくとも1つのセンサーからの前記データに基づいて前記栄養源から前記生物に対し栄養イベントを開始するステップをさらに含む、請求項25に記載の方法。

【請求項 2 7】

前記マスターロジック制御器は前記少なくとも1つのセンサーからの前記データに基づいて前記栄養イベントのタイミングを判断する、請求項26に記載の方法。

【請求項 2 8】

前記マスターロジック制御器は前記少なくとも1つのセンサーからの前記データに基づいて前記栄養イベント中に前記生物へ誘導される栄養の量を判断する、請求項26に記載の方法。

【請求項 2 9】

10

20

30

40

50

前記少なくとも 1 つのセンサーは、茎直径センサー、果実直径センサー、温度センサー、樹液相対速度センサー、赤外線センサー、ガスセンサー、光呼吸センサー、呼吸センサー、近赤外線センサー、カメラ、pH センサー、及びこれらの組み合わせからなるグループから選ばれる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3 0】

前記生物に対する全てのさらなる又は補助的な光が遮られる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3 1】

前記第 1 の変調光子パルスの群における前記 1 つ以上の第 1 の強度を有する前記第 1 の光子パルスオン期間、前記第 1 の光子パルスオフ期間及び第 1 の波長帯域は、前記生物の前記応答が誘発されるように調節される、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 3 2】

前記第 2 の変調光子パルスの群における前記 1 つ以上の第 2 の強度を有する前記第 2 の光子パルスオン期間、前記第 2 の光子パルスオフ期間、第 2 の波長帯域、デューティサイクルは、前記生物の前記応答が誘発されるように調節される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3 3】

前記第 1 の変調光子パルスの群の前記 1 つ以上の第 1 の光子パルスオフ期間の各々は異なる期間である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3 4】

前記第 2 の変調光子パルスの群の前記 1 つ以上の第 2 の光子パルスオフ期間の各々は異なる期間である、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 3 5】

前記第 1 の変調光子パルスの群の前記 1 つ以上の第 1 の光子パルスオン期間の各々は異なる期間である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3 6】

前記第 2 の変調光子パルスの群の前記 1 つ以上の第 2 の光子パルスオン期間の各々は異なる期間である、請求項 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0001】

本願は、参照により全文が本願に援用される 2013 年 3 月 5 日に出願された米国仮出願第 61/772,856 号の優先権と 2014 年 1 月 21 日に出願された米国仮出願第 61/929,872 号の優先権を主張する。

30

【背景技術】

【0002】

温室や組織培養研究所等の建物では、生物の成長を促進するため、例えば植物の成長を促進するため、人工光がしばしば使われる。建物や垂直農場の中で生物を成長させるには電気照明を使って成長に必要な光を供給する必要がある。これらの照明は多くの場合電気式であり、光合成等の生物学的過程に使われる光子を発する。種々光源または光子源の例は、メタルハライド灯、蛍光灯、高圧ナトリウム灯、白熱灯、及び LED (発光ダイオード) を含み、ただしこれらに限定されない。

40

【0003】

前述した従来技術とその限界の例は排他でなく例示を目的としており、ここで説明する発明の限界を示唆するものではない。明細書を読み図面を検討した当業者には、従来技術のその他の限界が明らかになるであろう。

【発明の概要】

【0004】

例示的且つ例証的であり範囲を限定しないシステム、ツール、及び方法と併せて実施形態とその態様を説明し、例証する。

【0005】

本発明の一実施形態は、生物の成長、破壊、または修復を促進するシステムを備え、該

50

システムは光子放出変調制御器と通信する少なくとも1つの光子放出器を備え、前記少なくとも1つの光子放出器は少なくとも1つの第1の光子パルスを放出するよう構成され、前記少なくとも1つの第1の光子パルスは期間、強度、波長帯域、及びデューティサイクルを有し、前記少なくとも1つの光子放出器は少なくとも1つのさらなる光子パルスを放出するよう構成され、前記少なくとも1つのさらなる光子パルスは期間、強度、波長帯域、及びデューティサイクルを有し、前記少なくとも1つのさらなる光子パルスの前記期間、強度、波長帯域、及びデューティサイクルは前記少なくとも1つの第1の光子パルスの前記期間、強度、波長帯域、及びデューティサイクルと異なり、前記光子放出変調制御器は前記光子放出器からの光子の放出を制御し、前記少なくとも1つの第1の光子パルスと前記少なくとも1つのさらなる光子パルスは前記生物で所望の応答を誘発する。

10

【0006】

本発明の別の実施形態は、生物で所望の応答を誘発する方法を備え得、前記方法は、少なくとも1つの光子放出器を設けることと、前記少なくとも1つの光子放出器と通信する少なくとも1つの光子放出変調制御器を設けることと、前記少なくとも1つの光子放出変調制御器から前記少なくとも1つの光子放出器へコマンドを伝達することと、期間、強度、波長帯域、及びデューティサイクルを有する少なくとも1つの第1の光子パルスを前記少なくとも1つの光子放出器から前記生物に向けて放出することと、期間、強度、波長帯域、及びデューティサイクルを有する少なくとも1つのさらなる光子パルスを前記少なくとも1つの光子放出器から前記生物に向けて放出することとを備え、前記少なくとも1つのさらなる光子パルスの前記期間、強度、波長帯域、及びデューティサイクルは前記少なくとも1つの第1の光子パルスの前記期間、強度、波長帯域、及びデューティサイクルと異なる。

20

【0007】

上述した実施形態に加え、図面を参照し、以降の説明を検討することにより、本発明の範囲内にあるさらなる態様及び実施形態が明らかとなるであろう。上記の概要は例示的実装を列挙するものであり、本発明の範囲を制限する文章ではない。

【0008】

本書に編入され明細書の一部を成す添付の図面は、いくつかの例示的実施形態及び/または特徴を図解するものであって、唯一の、または排他的な、例示的実施形態及び/または特徴を図解するものではない。ここで開示される実施形態と図は制限ではなく例示とみなすべきものである。

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】図1は、光子変調生育システムの一例を示す図である。

【図2】図2は、それぞれ異なる特定波長帯域光を放出する個別色光子変調生育システムの一例を示す図である。

【図3】図3は、例示的LEDアレイを有する複数の光子放出器と通信する光子放出変調制御器を示す図である。

【図4】図4は、マスター/スレーブLEDアレイによる光子放出変調を示す図である。

【図5】図5は、一連の光子放出器と通信し、且つ一連の光子放出器を制御する、マスター/ロジック制御器を示す図である。

40

【図6】図6は、一連の植物センサーと通信する光子放出生育システムを示す図である。

【図7】図7は、様々なSSR(ソリッドステートリレー)またはFETSと通信する例示的LEDアレイを示す図である。

【図8】図8は、光子パルス変調サイクルのグラフである。

【図9】図9は、それぞれ異なるタイミングにそれぞれ異なる波長帯域を各々有する3つの個別光子パルスから成るサイクルの例示的グラフである。

【図10】図10は、それぞれ異なるタイミングにそれぞれ異なる波長帯域を各々有する3つの個別光子パルスから成るサイクルの例示的グラフである。

【図11】図11は、生物育成のため様々な波長帯域を放出する光子変調方法を示す流れ

50

図である。

【図12】図12は、植物センサーを使用する生物成長、修復、または破壊方法を示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本開示の実施形態は、生物の成長、破壊、及び／または修復に必要な入力電力を最小限に抑える独特の頻度またはパターンを使用し、生物で所望の応答や光化学活性を促すにあたって十分な強度で個別色スペクトルの電磁波放出パルス（光子）を生成することによって生物で所望の作用を誘発し、その上さらにシステムの電力消費量やその他の変数も監視できる、システム、装置、及び方法を提供する。後ほど詳述するように、生物に対する光子放出のデューティサイクルと波長帯域と頻度を制御することにより、ヒトが生物の発芽、成長、及び繁殖率に働きかけることができるばかりでなく、青、黄、近赤、遠赤、赤外、及び紫外光子変調の循環により、生物の発芽、成長、繁殖率、修復、及び破壊を操作し、向上させることができる。

10

【0011】

植物が効率よく成長するには、8～16時間の光とその後に続く8～16時間の暗闇が必要と長らく考えられてきた。この植物成長の基本的原理が本質的に誤りであるというのだが、本開示の重要な実証済みの見解である。植物は明サイクル中に投与される一定量の光子を利用できないため、光子の過剰投与から自身を守るために多大なエネルギーを費やす。

20

【0012】

本開示は、光子を利用する植物の能力に時限式照明システムによる植物への光子投与を同期させる。具体的に述べると、複数の光子波長を一定の混合率で混合することにより、生物における吸収作用を最適化でき、且つ操作できる。例えば、過度の熱やスーパーオキシド等の副作用に対抗するため植物が費やすエネルギーは減り、光子パルスのタイミングを電子伝達鎖による電子への光子エネルギー伝達や発色団吸収のタイミングに同期させることにより、植物の成長は最大限に促進される。この植物への光子投与は約数マイクロ秒行われ、その後ほぼ同じ長さの暗サイクルが続く。こうすることで植物はほぼ全てのエネルギーを成長と基本的生命機能に当てることができる。また、遅い「ホルモン様」調節機構と考えられていた特定の発色団が実際に速く応答でき、成長をさらに操作できる。

30

【0013】

本開示の実施形態の多くが従来のグローライトシステムより成長が速く、丈夫で、多くの栄養を必要としない植物を作ることは、実験で立証されている。光の「レシピ（色周波数、変調サイクル、デューティサイクル、及び期間の組み合わせ）」は各種の生物に望まれる応答に合わせて最適化できる。

【0014】

本開示の方法、システム、及び装置のさらなる主要利点は次の通りである。

a. 発熱が少ない：LEDライトは本質的に従来のグローライトより発熱が少ない。LEDライトが投与に使われる場合、LEDライトのオン時間はオフ時間より短い。これはLEDライトによる公称発熱環境を形成する。これは、システムから熱を逃がすためにエネルギーを使わずに済むという点で有利であるばかりでなく、植物は熱から自身を守るためにエネルギーを使わずに済み、そのエネルギーを成長に当てることができるため、植物にとっても有利である。

40

b. 蒸散が少ない（水消費量が少ない）- 植物の蒸散率は温度と光量の増加にともない上昇する。これらの変数が増加すると、水を大気へ放出する開口部（気孔）を制御する植物細胞が開く。光子生育管理システムによって植物の熱ストレスと光ストレスは最小限に抑えられるため、気孔の開放も最小限に抑えられ、植物が蒸散で失う水は少なくなる。

【0015】

照明は光子変調生育システムの主要部品であるが、単なる植物生育の基本的要素としてではなく植物活動を根本的に操作する手段として利用されるこのシステムは、従来の照明

50

技術や最先端の照明技術と異なる。同様に、LED技術はこの新しいシステムにおける照明の核となるものであるが、これは他の技術と結び付いた独自のLED技術応用であり、田畠であれ屋内であれ、商業規模であれ家庭消費者用であれ、野菜、観賞植物、薬剤等の既存商業生産に比べてコスト削減、産出量増大、操作性向上の可能性を劇的に拡大する。これまでに行われた実験から、この照明システムを使って発芽や開花等を含む多くの植物機能を操作できることが判明している。

【0016】

本開示のシステム、装置、及び方法は単独の色スペクトルや色スペクトル範囲を含むエネルギーを一定の頻度と強度とデューティサイクルで供給する。システムで使われるエネルギーを最小限に抑えながら成長、破壊、及び／または修復を最大限に促進するため、頻度と強度とデューティサイクルは、対象となる生物に求められる最良の成長、破壊、及び／または修復特性に合わせて調整、監視、最適化できる。生物に対する変調光子エネルギーの効率と比率を制御することによって生物の光化学反応の様々な局面が最大限に促進され、最良の成長や望ましい応答（生物の修復、生物の破壊等）が可能となるほか、生物応答の操作も可能となる。

【0017】

光子は電荷を持たない無質量素粒子である。光子は、分子及び核過程、光の量子、その他電磁放射等、様々なものから放出される。色素と呼ばれる分子は、例えば生命体に見られる発色団は、光子エネルギーを吸収し、電位に変換する。

【0018】

励起された色素分子は不安定で、3通りの方法のいずれか1つでエネルギーを消散させなければならない。1. 熱として消散、2. 光として再放出、または3. 本開示の焦点にあたる光化学反応への関与により利用。例えば植物で光を利用するには、初めに光を吸収しなければならない。光が吸収されると、吸収された光子のエネルギーが色素分子内の電子へ移される。光子は、そのエネルギー含量が電子のエネルギーをより高い許容エネルギー状態のいずれか1つまで上げるのに必要なエネルギーに一致する場合に限り、吸収できる。一致する場合、電子は非励起状態からより高い単一状態のいずれか1つまで上げられる。例えばクロロフィル色素は様々な電子を有し、それぞれの電子はエネルギーレベルと波長が異なる光子を吸収し得る。また、それぞれの電子は様々な励起状態で存在し得る。

【0019】

通常の励起分子の寿命は非常に短く（約1ナノ秒）、その環境の中で他の分子との化学的相互作用がなければ、自身から余分なエネルギーを取り除き、基底（非励起）状態に戻らなければならない。この余分なエネルギーの消散は数通りの方法で達成されるが、本開示の主たる機序は三重項状態か準安定状態への変換である。励起電子は受容体分子か光酸化へ移される。このエネルギーはその後、フィトクロム分子の構造変化や光合成の一次光化学作用に使われる。

【0020】

色素によって吸収される光子エネルギーのほとんどは、光化学過程で利用される状態に達しない。このため、光子投与を植物の吸収能力に同期させ、植物が利用できるものだけを与えることが理にかなっている。生理的過程に使われる光を吸収する色素は光受容体と呼ばれる。これらの分子は光子のエネルギーと情報内容を生物で利用できる形に加工する。この利用されるエネルギーは光合成（または二酸化炭素から炭水化物への還元）を推進するために使われる。反応では様々な量とエネルギースペクトル（または波長）が重要な役割を果たす。

【0021】

植物の成長に利用される最も一般的な色素はクロロフィルa、b、c、及びd、フィコビリン、テルペノイド、カロテノイド、クリプトクロム、UV-B受容体（リボフラビノイド等）、フラビノイド、ベタシアニンである。これらの光受容体は電気化学的エネルギーを電子伝達鎖へ送る。クロロフィル、テルペノイド、カロテノイド等の光子を吸収する光受容体は、光子を電位に変換できる発色団と呼ばれる共役分子である。発色団は、ヒト

10

20

30

40

50

の視覚で色を感じる細胞や黒色細胞腫等、多くの生体機能に存在する。

【0022】

この現象はヒトの視覚のオプシン発色団に見ることができる。光の光子の吸収によって11-シスから全トランス構造に至る発色団の光異性化が起こる。光異性化はオプシン蛋白質の構造変化を誘発し、光情報伝達カスケードの起動を引き起こす。その結果、ロドプシンは全トランス発色団を含むプレルミロドプシンに変換される。オプシンはトランス型で光に対し非感受性に保たれる。この変化の後にいくつかの急速なオプシン構造変化とオプシンに対する発色団の関係変化が続く。これは網膜上皮細胞から提供される新たに合成された11-シスレチナールによる全トランスレチナールの置換によって再生される。この急速な可逆性化学サイクルがヒトにおける色の識別と受容を担当している。植物にも同様の生化学過程がある。フィトクロムとフェオフィチンは、様々な光波長の投与によって急速に調整されてシス構造とトランス構造を切り替えることができるという点において、オプシンによく似た挙動を示す。

【0023】

昼夜の長さの変化に対する植物の応答は、視覚サイクルのそれによく似た光子吸収分子の変化をともなう。キクやカラチョクはその好例である。これらは秋が近づいて夜が長くなるにつれて開花する。実験的に夜を短くすると、これらの植物は開花しなくなる。これらの植物を近赤色光(660 nm)に晒すと開花しなくなる。これらの植物を近赤色に晒した後に遠赤色(730 nm)に晒すと開花する。小麦や大豆等の商品作物が明暗の長さがそれぞれ異なる特定の緯度に適していることは、あるいは特定の緯度で成長することは、よく知られている。近赤色素(シス)の吸収は、この色素を遠赤色吸収状態(トランス)に変換する。近赤色/遠赤色の化学的反転も種の発芽や成長のサイクルを操作する。植物にあるこれらの光吸収発色団はフィトクロムと名付けられている。フェオフィチン(Mg²⁺ + イオンを欠くクロロフィルa、b、及びc)が植物に自然に存在することも知られている。二重結合環を欠くフェオフィチンもシストラנס構造変化を呈することができる。これらは成長サイクルと繁殖サイクルを誘発し制御する制御機構である。自然の光源や通常の人工光源に比べて、これらの制御誘因は、光子投与を調整して急速シストラنس構造変化を引き起こすことによって変えることができる、及び/または操作できる。

【0024】

フォトクロム分子はクロロフィル分子内の環に密接に関係した開放原子団から成る。これは特定の光パルスによって励起されたときにシス型からトランスに変化できる2つの側基を有するが、分子の水素原子の位置変化のほうが見込みが高い。閃光による励起後のフィトクロム分子の変化はロドプシンのそれに似ている。ロドプシンの蛋白質であるオプシンの形態に変化があるように、これらの中間段階はフィトクロムと結合した蛋白質の分子形態の変化をともなう。最終形態におけるフィトクロムは、フィトクロムの分子が蛋白質から解離されるのではなく蛋白質に結合された状態に保たれるという点において、ロドプシンと異なる。遠赤色光はこのプロセスを逆転させ、フィトクロムの最終形態を一連の中間分子形態を経て最初の赤色吸収形態に戻す。これらは、変調光パルス放出を制御することで生命体の成長、修復、及び破壊を操作/促進できることを示すほんの数例に過ぎない。

【0025】

また、生物が様々な量の光に過度に晒されると、光合成の効率が低下し、電子伝達鎖の構成要素を損傷することもある。例えばクロロフィルは過剰な光の存在下でその励起エネルギーを別の色素分子に速やかに移せなくなることがあるため、分子酸素と反応して反応性に富む有害な遊離基スーパーオキシドを生成する。そして植物は、本来ならば成長のために確保されるエネルギーを、余分なスーパーオキシドを吸収するカロテノイドやスーパーオキシドジスムターゼ等の防護分子を作るために費やさなければならない。生物に対する変調光子エネルギーの効率と比率を制御することにより、光化学反応の様々な局面を最大限に促進でき、その過程で使われる電力量を減らすことができる。

【0026】

10

20

30

40

50

従来の光源や太陽光は生物におけるエネルギー伝達の点で障害をもたらす。例えばクロロフィルの発色団は光子を吸収し、電子伝達鎖と酸化還元反応によりエネルギーを糖に変換する。全 500 のクロロフィル分子で、このエネルギーのため平均 1 つのシンクがクロロフィルの各ラメラ構造にある。これはエネルギー伝達の点で生物に障害が発生する一例である。植物により多くの光を与えても植物が余分な光を処理できるとは限らない。ごく簡単に説明すると、フィトクロム分子は種々生物の発芽、成長、及び繁殖率への非常にゆっくりとした（よりホルモンベースの）作用に関与しているばかりでなく、ラメラ内で非常に速い膜及びエネルギーシンク反応を遂行し、調整すると考えられている。したがって、自然のタイミングを制御、変更し、フォトクロミック応答に光子パルスを同期させることで、様々な生物の発芽、成長、及び繁殖率が達成されると想定できる。

10

【 0027 】

本開示はまた、生物の成長、破壊、または修復過程に使われる電力量を監視し、且つ削減する方法及びシステムを提供する。供給されるエネルギーの量は、時間の経過にともなう電力のグラフで総面積を計算することによって決めることができる。本開示はさらに、生物の成長、破壊、または修復に使われる電力量の監視、報告、及び制御を可能にし、エンドユーザー やエネルギー供給業者がエネルギー使用の傾向を把握できるようにする方法及びシステムを提供する。

【 0028 】

本開示のシステムの一実施形態は、デジタル出力信号またはソリッドステートリレーを含み、ただしこれらに限定されない、光子放出変調制御器と通信する、発光ダイオード等の少なくとも 1 つの光子放出器を備える。光子放出器は光子パルスを放つよう変調され、それぞれのパルスは、少なくとも 1 つの色スペクトルまたは波長を有し、あるいは複数の色スペクトルまたは波長帯域を有する。それぞれの光子パルスは一定の期間にわたって、例えば 2 ミリ秒にわたって、生物に差し向けられ、光子パルスの合間にには一定の遅延時間が、例えば 200 ミリ秒～24 時間が、設けられる。

20

【 0029 】

本書で使われる「生物」は、生命の特性を呈するある程度安定した統一体として機能する分子の集合を含む。後ほど説明するように、生物は、単細胞及び多細胞生命体、ウイルス、動物（脊椎動物、（鳥類、哺乳類、爬虫類、魚類を含み、ただしこれらに限定されない）、軟体動物（二枚貝、カキ、タコ、イカ、カタツムリ）、節足動物（ヤスデ、ムカデ、昆虫、クモ、サソリ、カニ、ロブスター、エビ）、環形動物（ミミズ、ヒル）、海綿動物、クラゲ、微生物、藻類、バクテリア、菌類、裸子植物、被子植物、シダ植物、シアノバクテリア、または真核緑藻類を含み得、ただしこれらに限定されない。

30

【 0030 】

本書で使われる「デューティサイクル」とは、装置がオン / オフサイクルを一通り通過するのにかかる時間の長さである。デューティサイクルは、或る実体が稼動状態に費やす時間の割合を合計時間の分数で表したものである。デューティサイクルという用語はスイッチング電源等の電気装置の関係で使われることが多々ある。電気装置における 60 % デューティサイクルは、電力が時間の 60 % オンで時間の 40 % オフであることを意味する。本開示のデューティサイクルは 0 % から 93 % に及び得る。遠赤色光はこのプロセスを逆転させ、フィトクロムの最終形態を一連の中間分子形態を経て最初の赤色吸収形態に戻す。一説によると、これは細胞核で遺伝物質を操作することによって酵素の生成を調整する。別の説によると、分子の脂溶性により、分子は細胞内の膜に、例えば細胞壁や核の膜に、付着する。核への付着は膜の浸透性に影響を及ぼし、ひいては細胞の働きに影響を及ぼす。自然界で植物等の生物が可視スペクトル内の青 / 近赤及び遠赤波長に連続的に晒されると、遠赤色吸収形態のフィトクロム分子の活動が妨げられると考えられている。遠赤色光による励起により、細胞膜から遠赤色吸収分子が連続的に移動することがある。この種の連続励起は、例えば長い光期間中にモミの木（A b i e s s p . ）の生長に著しい影響を及ぼす。間に 12 時間、光に 12 時間晒されるモミの木は休眠状態に保たれる。ただし日中の長さが増すとモミの木は継続的に成長する。これが本質的に正しければ、植物

40

50

に対する色スペクトル投与を操作することで、自然の太陽光で成長する植物の自然なサイクルを妨げたり、操作したり、変えたりすることが可能である。例えば、植物に遠赤色光を投与した後に自然界より短い期間にわたって植物に近赤色光を投与すれば、より多くの近赤色光を受け付ける形に遠赤色吸収分子の移動を調整し、一部の植物の休眠サイクルに働きかけることができる。

【0031】

本書で使われる「頻度」は単位時間当たりに反復する事象の回数であり、本開示のシステムではどのような頻度でも使用できる。頻度は時間周波数を指す場合もある。反復期間は反復する事象の1サイクルの長さであり、したがって期間は頻度の逆数である。

【0032】

図1は光子変調生育システム100の一例を示すブロック図である。藻類培養、組織培養、発芽及び栽培室、温室、水生生物、かかる施設等における補助的照明、または組織生産を含みた、ただしこれらに限定されない幅広い生育用途で生物に対する光子放出を変調するため、光子放出変調制御器104と通信する光子放出器106、108、110、112、114、及び116が一定の期間にわたって図1に図示されている。1つ以上の頻度の光子パルスと、その後に1つ以上の別の頻度のパルスを、パルスの合間に遅延をはさみながら、一定の期間にわたって提供する、生物に対する変調光子投与により、光合成生物の気孔、クロロフィル色素、その他成長調整要素等、生物の生体要素に対する最大限の刺激と応答が可能となる。さらに、光子の変調は気孔や色素の過飽和をなくして光合成中の光子吸収の最適化を可能にする。後ほど説明するように、本開示のシステムによる総消費電力は60ワットグローライト等の従来の生育システムと比べて99%以上削減されるため、光子パルスの変調は現在の生育システムのエネルギー及び熱効率を向上させ、生物の成長に要する電力とコストを削減する。本開示のシステムによる省エネの可能性の一例において、システムは49.2ワットの光子を200マイクロ秒毎に2マイクロ秒間放出し、電力計にして0.49 watt - hrs / hrの実効消費電力を、あるいは60ワット標準白熱電球の電力の0.82%を、達成する。また、光子放出器は連続的には光子を放出しないため、光子放出器から発生する熱の量は大幅に減り、照明によって増加する熱を打ち消すため施設を冷房するコストは大幅に削減される。特定の生物で、例えば特定の植物種で、最良の成長や破壊を促進するため、本開示のシステムでは、光子強度、パルスオン期間、パルスオフ(デューティサイクル)、白、近赤、黄、青、橙、遠赤、赤外、及び紫外を含み、ただしこれらに限定されないパルスの光スペクトルを、生物毎に異なる所要条件に応じて調整できる。

【0033】

図1に見られるように、マスターロジック制御器(MLC)102は、例えばデジタル出力制御方式のソリッドステート回路や中央演算処理装置(CPU)等であり、通信信号134を用いて光子放出変調制御器104と通信する。MLC102は、適切な命令やパラメータの入出力を、あるいは光子放出器106、108、110、112、114、及び116からの光子を変調するための特殊機能を、本開示のシステムに提供する。

【0034】

さらなる実施形態では、ホスト等の外部装置へMLC102を有線または無線接続でき、ホストからMLC102への外部アクセスが可能となる。この場合、ユーザーは遠隔アクセスによりMLC102の入出力を監視し、システムへ命令や制御を与えることができるほか、MLC102の遠隔プログラミング及び監視も可能となる。

【0035】

さらなる実施形態において、MLC102には電力測定または電力消費量センサーを集積回路の形で組み込むことができ、本開示のシステムの電圧や電流引き込みに基づいてシステムの電力消費量を測定し、報告することが可能となる。その後、システムの電力消費量はMLCから無線か有線でホストへ伝達できる。電力消費量を含むデータは、外部の受信器にも、例えばシステムへ接続されていないデータベースにも、送信できる。

【0036】

10

20

30

30

40

50

光子放出変調制御器 104 は、光子放出器 106、108、110、112、114、及び 116 からの光子パルス 118 の強度、デューティサイクル、波長帯域、及び頻度を含み、ただしこれらに限定されないコマンド及び命令を、MLC 102 から受信する。光子放出変調制御器 104 は、量子を変調し、且つ光子放出器 106、108、110、112、114、及び 116 からの光子パルスの強度、デューティサイクル、波長帯域、及び頻度に関する制御及びコマンドを提供する、何らかの装置であつてよい。Magnacraft Inc. の Magnacraft 7052 3V ソリッドステートリレー等のソリッドステートリレー (SSR)、白熱 (タンクスチンハロゲン及びキセノン)、蛍光 (CFL)、高輝度放電 (メタルハライド、高圧ナトリウム、低圧ナトリウム、水銀蒸気)、太陽光、発光ダイオード、オプティカルチョッパー、及び光子パルスの変調を誘発する装置を含み、ただしこれらに限定されない様々な装置を、光子放出変調制御器 104 として使用できる。本発明の原理を理解した当業者によって理解されるように、光源または光子源のオン / オフを循環し、且つ異なる時、期間、及び強度で近赤、青、遠赤等の 1 つ以上の色またはスペクトルの光を循環し、或る 1 つのスペクトルから成る複数パルスの後に別のスペクトルを放出する別の方法を備える、他種光子放出変調制御器を有するシステムにも、この説明が当てはまることを理解されたい。10

【0037】

図 1 に見られるように、光子放出変調制御器 104 は MLC 102 からの命令に応じて光子放出器 106 または 112 へ光子放出制御信号 136 を送信する。光子放出器 106 または 112 へ送信される光子放出制御信号 136 がオンになると、光子放出器 106 または 112 は少なくとも 1 つの光子パルス 118 を放出し、放出された光子パルス 118 は生物 122 へ送られる。それぞれの光子パルスは、光の 1 つの色部分から成り、あるいは光の複数の色スペクトルから成る。MLC 102 からの命令に基づき、光子放出器 108、110、112、114 または 116 へ送信される光子放出制御信号 136 がオフになると、光子放出器 108、110、112、114 または 116 は光子パルスを放出しないため、生物 122 へ光子は送られない。図 1 に見られるように、光子 118 の放出と植物 122 の成長が図 1 の左側から一定の期間 120 にわたって図示されている。図 1 の例では、光子放出器 106 から光子パルス 118 が二 (2) ミリ秒間放出され、二百 (200) ミリ秒の遅延期間をはさみ、その後同じ光子放出器 112 から第 2 の光子パルス 118 が 2 ミリ秒間放出される (図 1 が時間の経過に沿って放出される光子パルスの説明的な例であることに注意されたい。図 1 は一定の縮尺で描かれておらず、図 1 におけるパルス間の生物の成長量は必ずしも正確ではない)。20

【0038】

当業者によって理解されるように、さらなる実施形態においては、図 1 のシステムを個々の光子放出器に完全に収容でき、この場合はそれぞれの光子放出器が自立型となり、外部制御またはロジック装置は不要となる。例示的自立型光子放出器は、照明ソケットへ接続され得る装置の形をとり得、あるいは 1 つ以上の生物の上に吊り下げられ電源へ接続され得る照明設備の形をとり得る。30

【0039】

図 1 に見られるシステムは、図 4 で説明するマスター / スレーブシステムの形をもとり得、例えばマスター光子放出器は、マスター光子放出器からの光子放出ばかりでなく、マスター光子放出器と通信する別の光子放出器からの光子放出に必要なあらゆるロジック及び制御機構を内蔵する。40

【0040】

本開示には様々な電源を使用でき、その多くは当業者にとって明白であろう。これらの電源は、バッテリー、回線電力、太陽光発電電力、及び / または風力発電電力の変換器を含み得、ただしこれらに限定されない。当業者によって理解されるように、光子パルスの強度は明確なオン / オフサイクルで固定され得、あるいは強度は光子パルスの量子の 5 % 以上の変化であり得る。光子放出器からの光子パルスの強度は、電源から光源へ送られる電圧及び / または電流の変化で制御できる。光子放出器制御装置と光子放出器を含む、本50

開示のシステムに必要となる支援回路も当業者によって理解されるであろう。また、必要な部品と支援回路の構成、設置、操作が当技術で周知であることも理解されるであろう。ここで開示する操作を遂行するためプログラムコードが使われる場合、このプログラムコードは、本開示のシステムに使われる特定のプロセッサやプログラミング言語しだいで決まる。本開示からのプログラムコードの生成が当業者の技能の範囲内であることは理解されよう。

【0041】

図2は光子変調生育システム200の一例を示す第2のブロック図である。図1と同様、生物に対し、0.1nm～1cm波長の白、近赤、青、黄、橙、遠赤、赤外、及び紫外色スペクトルを含み、ただしこれらに限定されない個別の色スペクトルから成る個別の光子パルスを変調するため、光子放出変調制御器104と通信する光子放出器106、108、110、112、114、及び116が一定の期間にわたって図2に図示されている。当業者によって理解されるように、本開示は、0.1nm～1.0cmの特定の単独波長の色スペクトルを含み得、あるいは本書で「波長帯域」と呼ばれる幅が0.1～20nmの波長範囲または帯域を含み得る。

10

【0042】

特定の色スペクトルパルスをパルスの合間に遅延をはさみながら一定の期間にわたって提供する、生物に対する個別色スペクトル光子変調により、光合成生物の気孔、発色団、クロロフィル色素、屈光性、その他成長調整要素等、生物の生体要素に対する最大限の刺激と応答が可能となる。個別の色スペクトル、特定の色波長、または一定範囲の色波長を放出して生物の生体要素や応答を操作する例は、下記を含み得、ただし下記に限定されない。

20

a. 特定の遠赤色波長（例えば730nm、例示的波長範囲は710～850nmを含み得る）のパルスを一定の期間にわたり投与し、その後青色光（例示的範囲は450～495nmを含み得る）と近赤色光（例えば660nm、例示的範囲は620～710nmを含み得る）のパルスを投与することにより、一部の高等植物で種子発芽を操作する。

b. 近赤色波長のパルスと青色波長及び遠赤色波長のパルスから成るサイクルで高等植物の成長を増進する。

c. 植物を短い青色光パルスに晒し、その後長い近赤色光パルスに晒して高等植物の種子を生産する。

30

d. 花の生産。種々高等植物を近赤色光と青色光のパルスに晒した後に、遠赤色光（730nm）のパルスに晒して開花が起こる場合。

e. バクテリアやウイルス等の生物の破壊。243nm等の紫外線波長パルスに生物を晒す。紫外線のスペクトルは当業者によって理解されるであろう。例示的範囲は200～275nmを含み得る。

【0043】

特定の色スペクトルのパルスをパルスの合間に遅延をはさみながら一定の期間にわたり提供し、生物に対する光子の個別色スペクトル、特定の波長、及び一定範囲の波長を変調することにより、非光合成成長または応答を、例えば菌類等の生物の屈光性を、操作することも可能である。一例は1つのライトか多数のライトの組み合わせを使用し、ライトのオン／オフサイクルを循環して生物の伸長や成長を操作することを含み得、例えばキノコの柄の伸長成長やキノコの傘の成長を誘発させる。別の例は、植物の片側にある側面光源を反対側の側面光源より頻繁に使用して植物を照らされた側に向けて成長させ、その後反対側の側面光源をオンにして植物をその光に向けて成長させることを含み得る。これを繰り返すことで全体的な成長が高められる。

40

【0044】

図1と同様、図2のマスターロジック制御器（MLC）102は通信信号134を用いて光子放出変調制御器104と通信する。MLC 102は、適切な命令やパラメータの入出力を、あるいは光子放出器106、108、110、112、114、及び116からの光子の個別色スペクトルを変調するための特殊機能を、本開示のシステムに提供する

50

。

【0045】

光子放出変調制御器104は、それぞれの特定色スペクトル光子パルス202及び204の、または光子放出器106、108、110、112、114、及び116から出る特定色スペクトルから成る複数パルスの、強度、デューティサイクル、色スペクトル、及び頻度を含み、ただしこれらに限定されないコマンド及び命令を、MLC 102から受信する。光子放出変調制御器104は、それぞれの特定色スペクトル光子パルス202及び204の、または光子放出器106、108、110、112、114、及び116から出る複数パルスの、強度、デューティサイクル、色スペクトル、及び頻度に関する制御及びコマンドを提供する。

10

【0046】

図2に見られるように、光子放出変調制御器104はMLC 102からの命令に応じて光子放出器106、108、112、または114へ光子放出制御信号136を送信する。光子放出器106、108、112、または114へ送信される光子放出制御信号136がオンになると、光子放出器106、108、112、または114は特定の色スペクトルから成る1つ以上の光子パルス202または204を放出し、放出された光子パルス202または204は生物122へ送られる。MLC 102からの命令に基づき、光子放出器110または116へ送信される光子放出器制御信号136がオフになると、光子放出器110または116は光子パルスを放出しないため、生物122へ光子は送られない。図2に見られるように、特定の色スペクトルから成る光子202（近赤色）及び204（遠赤色）の放出と植物122の成長が図2の左側から一定の期間120にわたって図示されている。図2の例では、光子放出器106から近赤色スペクトルから成る1つまたは複数のパルス202が二（2）ミリ秒間放出され、その後遠赤色スペクトルから成る1つまたは複数のパルス204が二（2）ミリ秒間放出され、二百（200）ミリ秒の遅延期間をはさみ、同じ光子放出器112から第2の1つまたは複数のパルス202が2ミリ秒間放出され、その後同じ光子放出器114から遠赤色スペクトルから成る第2の1つまたは複数のパルス204が2ミリ秒間放出される（図2が時間の経過に沿って放出される光子パルスの説明的な例であることに注意されたい。図2は一定の縮尺で描かれておらず、図2におけるパルス間の生物の成長量は必ずしも正確ではない）。

20

【0047】

30

図1及び2で説明する本開示のシステムは、異なる時、期間、及び強度で近赤、青、遠赤等の1つ以上の光の色またはスペクトルを循環し、或る1つのスペクトルから成る1つまたは複数のパルスの後に別のスペクトルを放出することで、生物による様々な応答を操作できる。個別の色スペクトルを一斉に、または別々に、パルスの合間に遅延をはさみながら一定の期間にわたって放出することで、発芽の促進により種子から収穫／終了までの速度と効率を向上できるほか、或る1つの植物成長段階から次の植物成長段階へ至る経過を操作でき、例えば成長から開花、種子生産へ至る経過を操作できる。ここで説明するシステムは、植物を或る特定の成長段階に維持する能力を提供する。

【0048】

40

一例として、特定の色スペクトルから成るパルスを植物に使用することで、複数のグループから成る豆植物の種まきと発芽を同じ日に行い、「最初の開花」まで同等に管理できることが研究で証明されている。この時点で或る1つのグループで手順を変更し、果実生産までのさらなる発育を促進できる。また、別のグループの手順を変更し、完全に開花した状態に「維持」することもできる。数日以内に最初のグループは豆を収穫できる状態になり、別のグループは引き続き開花段階にあった。

【0049】

50

光子を供給するため様々な光子放出器を使用できるが、その多くは当技術で周知である。ただし、ここでの説明に適した光子放出器の一例は発光ダイオード（LED）であり、発光ダイオードは、望ましい光子スペクトルを生成するよう設計されたLEDアレイにまとめることができる。この例ではLEDを説明するが、メタルハライド灯、蛍光灯、高圧

ナトリウム灯、白熱灯、及びLED（発光ダイオード）を含み、ただしこれらに限定されない様々な光源を光子の放出に使用できることは当業者によって理解されるであろう。尚、ここで説明する方法、システム、及び装置にメタルハライド灯、蛍光灯、高圧ナトリウム灯、白熱灯を使用する場合、これらの光子放出器を適切に使用するには、光を変調してから光をフィルタし、どの波長をどれくらいの期間にわたって通すかを操作するべきである。

【0050】

本開示の実施形態は、特定の色スペクトル及び強度の光子の放出期間を含む、様々な光子放出期間を有するLEDに応用できる。特定の色スペクトルによるパルス状光子放出は、対象となる生物と、生物の年齢と、生物成長の生化学的過程の促進に放出をどのように役立てるかによって、長くすることも短くすることもできる。

10

【0051】

レタスの成長やトマトの成長等、特定の生物の成長にとって最適な1つ以上のスペクトルから成る光子パルスを提供するため、LEDアレイの運用は操作できる。ユーザーは或る種の生物に対し光子パルスの強度、色スペクトル、頻度、及びデューティサイクルを選ぶだけで、植物の光合成過程をはじめとする生物応答を効率よく促進できる。LEDパッケージはそれぞれの生物に特有の所要条件に合わせて特化できる。パルス状光子放出方式が特化されたパッケージ型LEDアレイをここで説明する実施形態に使用し、光を制御することにより、対象となる生物でビタミン、塩、酸、抗酸化物質、フラボノイド、カロテノイド、水、葉緑体、及び補助色素と吸収レベルを変えることができる。

20

【0052】

図3は、LEDアレイを有する複数の光子放出器106、108、110、及び112の一例300の図である。図3に見られるように、光子放出変調制御器104は複数の光子放出器制御信号136を用いて複数の光子放出器106、108、110、及び112（図1に図示された光子放出器と同じ）と通信する。さらに図3に見られるように、それぞれの光子放出器106、108、110、及び112はLEDアレイ302、304、306、及び308と、LEDアレイが光子放出変調制御器104と通信するための回路は、LEDアレイ筐体310、312、314、及び316に内蔵されている。

30

【0053】

図3に見られるように、LEDアレイは円形だが、当業者によって理解されるように、植物等の生物のニーズと、光子パルスを受け取る植物等の生物の体積と、様々なその他条件に応じて、アレイは様々な形状をとり得る。アレイの形状は、円形、正方形、長方形、三角形、八角形、五角形、及び様々なその他形状を含み得、ただしこれらに限定されない。

【0054】

光子放出器106、108、110、及び112のLEDアレイ筐体310、312、314、及び316は、プラスチック、サーモプラスチック、及び他種高分子材料を含み、ただしこれらに限定されない適当な種々材料で作ることができる。複合材料や他の加工材料を使用することもできる。いくつかの実施形態において、筐体はプラスチック射出成形製造工程で作ることができる。いくつかの実施形態において、筐体は透明または半透明であってよく、どんな色であってもよい。

40

【0055】

図4は、マスター光子放出器が1つ以上のスレーブ光子放出器と通信し、且つ1つ以上のスレーブ光子放出器を制御する、複数光子放出器の一例400の図である。図4に見られるように、マスター光子放出器402は光子制御信号136を用いて一連のスレーブ光子放出器404、406、及び408と通信する。マスター光子放出器402は、MLC（図1及び2の102）等の制御器と光子放出変調制御器（図1及び2で104として図示）とを内蔵しており、光子放出変調制御器は、マスター光子放出器402内に収容されたLEDアレイから出る特定色スペクトル光子パルスの強度、デューティサイクル、及び

50

頻度を制御するほか、マスター光子放出器がそれぞれのスレーブ光子放出器 404、406、及び408から出る特定色スペクトル光子パルスの強度、デューティサイクル、及び頻度を制御できるようにする。

【0056】

一方、それぞれのスレーブ光子放出器 404、406、及び408は、マスター光子放出器 402 からコマンド信号 136 を受信するための回路と、それぞれのスレーブ光子放出器 404、406、及び408 に収容された LED アレイから特定のスペクトル（近赤、遠赤、青、または黄）から成るパルスを放出するのに必要な回路とを、内蔵している。分かりやすくするため、スレーブ光子放出器は MLC 等の制御器を内蔵しておらず、またスレーブ光子放出器 404、406、及び408 は光子放出変調制御器を内蔵していない。スレーブ光子放出器 404、406、及び408 向けのコマンド及び制御は全てマスター光子放出器 402 から届く。このマスター / スレーブシステムは単一の電源及びマイクロコントローラの共有を可能にする。マスターは電源を有し、その電力はスレーブにも送られる。マスター / スレーブシステムを利用し、植物の応答や他生物における光周性や光栄養応答を刺激するパターンで光子を放出することもできる。

10

【0057】

マスター光子放出器 402 による各スレーブ光子放出器 404、406、及び408 の詳しい制御を可能にするため、マスター光子放出器 402 の MLC に、または各スレーブ光子放出器 404、406、及び408 に、バスシステムを含めることができる。例えば、マスター光子放出器 402 は特定のスレーブ光子放出器 404 へ信号 136 を送信し、このスレーブ光子放出器 404 に遠赤色パルスを一定の期間にわたって放出することを命令でき、それと同時にマスター光子放出器 402 は、近赤色パルスを一定の期間にわたって放出するコマンド信号 136 を第 2 のスレーブ光子放出器 406 へ送信できる。本発明の原理を理解した当業者によって理解されるように、この説明的な例ではマスター光子放出器 402 と通信する 3 つのスレーブ光子放出器 404、406、及び408 から成る配列または連鎖を説明しているが、マスター光子放出器と通信し且つマスター光子放出器によって制御されるいくつものスレーブ光子放出器を含むシステムにも、この説明が当てはまるこことを理解されたい。

20

【0058】

さらなる実施形態では、ホストからマスター光子放出器 402 への外部アクセスを可能にするため、マスター光子放出器 402 を有線または無線接続できる。これにより、遠隔アクセスでマスター光子放出器 402 の入出力を監視することが可能となるばかりでなく、マスター光子放出器の遠隔プログラミングも可能となる。

30

【0059】

図 5 は、1 つ以上の光子放出器と通信し、且つ 1 つ以上の光子放出器を制御する、マスター・ロジック制御器の一例 500 の図である。図 5 に見られるように、マスター・ロジック制御器 102 は、光子放出制御信号 136 を用いて 4 つの植物 512、514、516、または 518 の上に配置された一連の光子放出器 106、502、504、及び 506 と通信する。この例において、マスター・ロジック制御器すなわち MLC 102（図 1、2、及び 3 で説明）は光子放出変調制御器 104（図 1、2、及び 3 で説明）をも内蔵しており、光子放出変調制御器 104 は、MLC 102 がそれぞれの光子放出器 106、502、504、及び 506 に収容された LED アレイから出る特定色スペクトル光子パルスの強度、デューティサイクル、及び頻度を制御できるようにする。

40

【0060】

MLC 102 は光子放出変調制御器 104 を通じて、それぞれの光子放出器 106、502、504、及び 506 から出る特定色スペクトル光子パルス 508 及び 510 の強度、デューティサイクル、及び頻度を含み、ただしこれらに限定されないコマンド及び命令を、それぞれの光子放出器 106、502、504、及び 506 へ伝達する。MLC 102 はまた、システムへの電力供給を管理し、且つそれぞれの光子放出器 106、502、504、及び 506 への送電を制御する。

50

【0061】

図5に見られるように、光子放出変調制御器104はMLC 102からの命令に応じてそれぞれの光子放出器106、502、504、及び506へ光子放出制御信号136を送信する。それぞれの光子放出器106、502、504、及び506へ送信される具体的命令に応じ、光子放出器106または506は生物512、514、516、または518へ1つ以上の特定色スペクトル508及び510を放出できる（例えば、様々な期間510にわたり遠赤色及び近赤色パルス508を放出、または様々な期間510にわたり遠赤色、近赤色、及び青色パルスを放出）。さらに図5に見られるように、MLC 102からの命令に応じ、他の光子放出器502または504は一定の期間にわたり生物122へ光子パルスを放出できない。

10

【0062】

それぞれの光子放出器106、502、504、及び506から出力すなわち放出される光子を制御するMLC 102の能力により、本開示のシステムは、生物に特有のニーズや所要条件に合わせて生物への光子放出を調整できる。図2で説明したように、一例では、一部の高等植物で種子の発芽を操作するため、一定期間に及ぶ遠赤色光パルスの後に青色光及び近赤色光パルスに変調する信号を特定の放出器へ送出するようMLCをプログラムでき、あるいはMLCは、特定の植物の成長を増進するため、近赤色光パルスと青色光及び遠赤色パルスを循環するコマンドを特定の光子放出器へ送出できる。別の例において、MLCは、植物に種をつけさせるため、近赤色光パルスに繰り返し晒した後に青色光パルスを放出する信号を特定の光子放出器へ送出でき、あるいはMLCは、植物を開花させるため、近赤色光パルスに繰り返し晒した後に遠赤色光パルスを放出する信号を特定の光子放出器へ送信できる。

20

【0063】

図5に見られる例で、光子放出器106、502、504、及び506向けのコマンド及び制御は全てMLC 102から届く。ただし当業者によって理解されるように、MLC 102のロジック及びハードウェアと光子放出変調制御器104を個々の光子放出器に収容することもでき、この場合はそれぞれの光子放出器が自立型となり、外部制御またはロジック装置は不要となる。

【0064】

さらなる実施形態では、MLC 102を有線または無線接続でき、ユーザーによるMLC 102への外部アクセスが可能となる。こうすることで、ユーザーが遠隔アクセスでMLC 102の入出力を監視できるばかりでなく、MLCの遠隔プログラミングも可能となる。

30

【0065】

図6は、さらなる実施形態の一例を提示するものであり、1つ以上のセンサーを用いて生物の環境条件と生物の応答を監視する本開示の光子変調システム600を示している。図6に見られるように、植物618、620、622、及び624に関わる様々な条件を監視するため、それぞれの植物618、620、622、及び624には1つ以上のセンサー602、604、606、及び608が対応している。監視し得る植物すなわち生物に関わる条件は、土壤水分、気温、葉温、pH、茎または果実の直径、ガス、光呼吸、生物の呼吸、植物内の樹液流動を含み、ただしこれらに限定されない。当業者によって理解されるように、センサーは、茎直径センサー、果実直径センサー、葉温センサー、樹液相対速度センサー、赤外線センサー、ガス、光呼吸センサー、呼吸センサー、カメラ、近赤外線センサー、またはpHセンサーを含み、ただしこれらに限定されない。

40

【0066】

センサー602、604、606、及び608は植物すなわち生物618、620、622、及び624に関わる1つ以上の条件を監視し、そのデータ610、612、614、または616をMLC 102へ送信する。1つ以上のセンサー602、604、606、及び608からMLC 102へ至るデータ伝送は、無線または有線により数通りの方法で達成できる。当業者によって理解されるように、植物618、620、622、及

50

び 6 2 4 から M L C 1 0 2 へ至るセンサー由来情報の送達には様々な通信システムを使用できる。

【 0 0 6 7 】

1つ以上のセンサー 6 0 2、6 0 4、6 0 6、及び 6 0 8 からのデータは M L C 1 0 2 によって解析される。M L C 1 0 2 は、センサーからの情報に基づき、光子放出変調制御器 1 0 4 を通じてそれぞれの光子放出器 1 0 6、6 0 2、6 0 4、及び 6 0 6 の特定色スペクトル光子パルス 6 0 8 及び 6 1 0 の強度、デューティサイクル、及び頻度を調整でき、あるいは特定のセンサー 6 0 2、6 0 4、6 0 6、及び 6 0 8 に対応する個々の植物 6 1 8、6 2 0、6 2 2、及び 6 2 4 のニーズに基づき、または植物全体のニーズに基づき、一群の光子放出器の強度、デューティサイクル、及び頻度を調整できる。一例は、様々な期間に青色及び近赤色となるようパルス 6 0 8 を調整することを、または遠赤色、近赤色、及び青色パルス 6 1 0 の期間を調整することを、含み得る。

【 0 0 6 8 】

さらなる実施形態において、本開示のシステムは、M L C 1 0 2 または独立したロジック制御器と通信し、且つ M L C 1 0 2 または独立したロジック制御器によって制御される、水やりシステム、施肥システム、及び / または養液栽培システム（図 7 に図示せず）をも含み得る。M L C 1 0 2 は、それぞれの植物すなわち生物に対応するセンサー 6 0 2、6 0 4、6 0 6、及び 6 0 8 からの情報に基づき、注水システム、栄養システム、栄養源、または養液栽培システムと通信し、植物すなわち生物に対する注水、施肥、または養液供給イベントを開始及び停止できるほか、植物すなわち生物に対する水やり、施肥、または養液供給イベントのタイミングや濃度を調整できる。電力を含むデータは、外部の受信器へ、例えばシステムへ接続されていないデータベースへ、送信できる。

【 0 0 6 9 】

注水システムの例は、ドリップ注水、架空噴霧、またはフォグシステムを含み得る。栄養システムまたは栄養源の例は、栄養注入、栄養フィルム、栄養ドリップ、または養液供給（肥料と注水の組み合わせ）を含み得、栄養源は、生物へ栄養を誘導することによって生物に栄養イベントを提供する。

【 0 0 7 0 】

図 7 は、一連のソリッドステートリレーすなわち S S R と通信する L E D アレイの一実施形態の一例 7 0 0 である。図 1 と同様、図 7 の M L C 1 0 2 は通信信号 1 3 4 を用いて光子放出変調制御器 1 0 4 と通信する。この例の光子放出変調制御器 1 0 4 は 3 つのソリッドステートリレーを内蔵している。M L C 1 0 2 は S S R を制御する信号を出力する。第 1 のソリッドステートリレー 7 0 2 は近赤色 L E D アレイを制御し、第 2 のソリッドステートリレー 7 0 4 は遠赤色 L E D アレイを制御し、第 3 のソリッドステートリレー 7 0 6 は青色 L E D アレイを制御する。それぞれのソリッドステートリレー 7 0 2、7 0 4、及び 7 0 6 は光子放出信号 1 3 6 を用いて L E D アレイ 7 1 4、7 1 6、及び 7 1 8 と通信する。図 7 に見られるように、近赤色ソリッドステートリレー 7 0 2 は、近赤色 L E D 7 1 4 の光子パルスを起動するため、近赤色電圧 7 0 8 を有する光子放出信号 1 3 6 を近赤色 L E D アレイ 7 1 4 へ送信する。その後、近赤色電圧 7 0 8 は近赤色 L E D アレイ 7 1 4 から一連の抵抗器 7 2 0、7 4 2、7 3 8 へ、例えば 6 8 オーム抵抗器へ、伝送される。それぞれの抵抗器 7 2 0、7 4 2、及び 7 3 8 はアース 7 4 4 へ接続されている。

【 0 0 7 1 】

さらに図 7 に見られるように、遠赤色ソリッドステートリレー 7 0 4 は、遠赤色 L E D の光子パルスを起動するため、遠赤色電圧 7 1 0 を有する光子放出信号 1 3 6 を赤色 L E D アレイ 7 1 8 へ送信する。その後、赤色電圧 7 1 0 は赤色 L E D アレイ 7 1 8 から一連の抵抗器 7 2 4、7 2 8、7 3 2、及び 7 3 4 へ、例えば 3 9 0 オーム抵抗器へ、伝送される。それぞれの抵抗器 7 2 4、7 2 8、7 3 2、及び 7 3 4 はアース 7 4 4 へ接続されている。図 8 には、青色 L E D の光子パルスを起動するため、青色電圧 7 1 2 を有する光子放出信号 1 3 6 を青色 L E D アレイ 7 1 6 へ送信する青色ソリッドステートリレー 7 0 6

10

20

30

40

50

も見られる。その後、青色電圧 712 は青色 LED アレイ 716 から一連の抵抗器 722、726、730、736、及び 740 へ、例えば 150 オーム抵抗器へ、伝送される。それぞれの抵抗器 722、726、730、736、及び 740 はアース 744 へ接続されている。

【0072】

本開示のシステムは、様々な藻類、バクテリア、菌類、裸子植物、被子植物、及びシダ植物、シアノバクテリア、または真核緑藻類を含み得、ただしこれらに限定されない様々な生物に良好に使用できる。この生物のリストは、*Arthrosphaera* spp.、*Spirulina* spp.、*Calothrix* spp.、*Anabaena* flos-aquae、*Aphanizomenon* spp.、*Anabaena* spp.、*Gleotrichia* spp.、*Oscillatoria* spp.、*Nostoc* spp.、*Synechococcus* elongatus、*Synechococcus* spp.、*Synechosystis* spp. PCC 6803、*Synechosystis* spp.、*Spirulina* plantensis、*Chaetoceros* spp.、*Chlamydomonas* reinhardii、*Chlamydomonas* spp.、*Chlorella* vulgaris、*Chlorella* spp.、*Cyclotella* spp.、*Didymosphenia* spp.、*Dunaliella* tertiolecta、*Dunaliella* spp.、*Botryococcus* braunii、*Botryococcus* spp.、*Gelidium* spp.、*Gracilaria* spp.、*Hantscia* spp.、*Hematococcus* spp.、*Isochrysis* spp.、*Laminaria* spp.、*Navicula* spp.、*Pleurochrysis* spp. 及び *Sargassum* spp.、カンキツ類、テーブルグレープ、ワイン用ブドウ、バナナ、パパイヤ、*Cannabis* spp.、コーヒー、ゴジベリー、イチジク、アボカド、グアバ、パイナップル、ラズベリー、ブルーベリー、オリーブ、ピスタチオ、ザクロ、アーティチョーク、及びアーモンド、アーティチョーク、アスパラガス、豆、ビート、プロッコリー、メキヤベツ、ハクサイ、ヘッドキャベツ、マスター豆キャベツ、カントロープ、ニンジン、カリフラワー、セロリ、チコリ、コラードグリーン、キュウリ、ダイコン、ナスピ、エンダイブ、ニンニク、ハーブ、ハネデュームロン、ケール、レタス(ヘッド、リーフレタス、ロメイン)、カラシナ、オクラ、タマネギ(ドライ、グリーン)、パセリ、エンドウ(シュガー、スノー、グリーン、ササゲ、クローダー等)、カラシ(ベル、チリ)、ピメント、カボチャ、ラディッシュ、ダイオウ、ホウレンソウ、スクオッシュ、スイートコーン、トマト、カブ、カブロ菜、オランダガラシ、及びスイカ等の野菜、*Ageratum*、*Alyssum*、*Begonia*、*Celosia*、*Coleus*、ダスティーミラー、*Fuchsia*、*Gazania*、ゼラニウム、ガーベラディジー、インパチェンス、マリーゴールド、*Nicotiana*、パンジー/Viola、*Petunia*、*Portulaca*、*Salvia*、キンギョソウ、バーベナ、*Vinca*、及び百日草を含み、ただしこれらに限定されない花壇用開花植物、アフリカスミレ、*Alstroemeria*、*Anthurium*、*Azalea*、*Begonia*、*Bromeliad*、*Chrysanthemum*、*Cineraria*、*Cyclamen*、ダッフォディル/スイセン、エキザカム、クチナシ、グロキシア、ハイビスカス、ヒヤシンス、アジサイ、カランコエ、ユリ、ラン、ポインセチア、サクラソウ、リーガルペラルゴニウム、バラ、チューリップ、*Zygocactus* / *Schlumbergera*を含み、ただしこれらに限定されない鉢植用開花植物、*Aglaonema*、*Anthurium*、*Bromeliad*、*Opuntia*、サボテン及び多肉植物、クロトン、*Dieffenbachia*、*Dracaena*、*Epipremnum*、シダ、イチジク、ヘデラ(ツタ)、*Maranta* / *Calathea*、ヤシ、*Philodendron*、*Schefflera*、*Spathiphyllum*、及び *Syngonium*を含み、ただしこれらに限定されない観葉植物、*Alstroemeria*、*Anthurium*、アスター、ゴクラクチョウカ/ストレリチア、カラーリリ 50

一、カーネーション、*Chrysanthemum*、ダッフォディル／スイセン、デイジー、ヒエンソウ、フリージア、ガーベラデイジー、ジンジャー、グラジオラス、ゴデチア、カスミソウ、ヘザー、アイリス、レプトスペルマム、リアトリス、ユリ、リモニウム、リシアンサス、ラン、プロテア、バラ、スターチス、シタキソウ、ストック、ヒマワリ、チューリップを含み、ただしこれらに限定されない切り花、ブルモーサス、ツリーファーン、ツゲ、ソニフェラスグリーン、コルディリネ、ユーカリ、ヘデラ／ツタ、ホーリー、レザーリーフファーン、リリオペ／リリーターフ、ギンバイカ、ピットスピルム、マキを含み、ただしこれらに限定されないカット栽培葉、セイヨウトネリコ、カバノキ、アメリカサイカチ、シナノキ、カエデ、オーク、ボプラ、モミジバフウ、ヤナギを含み、ただしこれらに限定されない落葉性緑陰樹、アメランキエル、カレリーピー、クラブアップル、サルスベリ、ハナミズキ、開花するサクラ、開花するプラム、ゴールデンレイン、サンザシ、モクレン、アメリカハナズオウを含み、ただしこれらに限定されない落葉性開花樹、ツツジ、コトネアステル、ニシキギ、ホーリー、モクレン、ピエリス、イボタノキ、シャクナゲ、及びビバーナムを含み、ただしこれらに限定されない広葉常緑樹、アーボビテ、シーダー、サイプレス、モミ、アメリカツガ、ジュニパー、マツ、トウヒ、イチイを含み、ただしこれらに限定されない針葉常緑樹、フジウツギ、ハイビスカス、ライラック、バイバーナム、Weigela、被覆植物、ブーゲンビリア、クレマチス及び他のつる植物、及びランドスケープパームを含み、ただしこれらに限定されない落葉性灌木及び他の観賞植物、カンキツ類及び亜熱帯果樹、落葉性果樹及び堅果樹、ブドウの木、イチゴ植物、他の小型果実植物、他の果樹及び堅果樹、カットフレッシュ、イチゴ、野草、商業生産用トランスplant、及び水生植物を含み、ただしこれらに限定されない果実及び堅果植物、シダを含み、ただしこれらに限定されないシダ植物、及び担子菌、子囊菌、酵母菌を含み、ただしこれらに限定されない菌類をさらに含み得、ただしこれらに限定されない。本開示のシステムはC3及びC4光化学系と「CAM」植物（ベンケイソウ型有機酸代謝）のための光子パルスを提供する。

【0073】

図8は、光子パルス期間と光子パルス間の遅延期間の一例を示すグラフ800である。図1～7で既に説明したように、図8に見られる本開示の光子パルスの一例では、光子放出器から光子パルスが二(2)ミリ秒間放出され、二百(200)ミリ秒の遅延期間をはさみ、その後第2の光子パルスが2ミリ秒間放出される。図8に見られるように、第2の2ミリ秒光子パルスの後には、再び二百(200)ミリ秒の遅延期間をはさみ、第3の光子パルスが放出される。この二(2)ミリ秒光子パルスと200ミリ秒の光子パルス間遅延から成るサイクルは無限に繰り返すことができ、あるいは光子パルスを受け取り光子パルスのもとで成長する生物が所望のサイズか成熟度に達するまで、または破壊されるまで、または修復されるまで、繰り返すことができる。この説明的な例では光子パルスが2ミリ秒で光子パルス間隔が200ミリ秒だが、米国の60Hzとヨーロッパの50Hzの標準アナログ周波数照明放射規格を除き、一定の期間にわたって別の光子パルス放出を行うシステムにもこの説明が当てはまるこを理解されたい。光子パルス期間の例は、0.01マイクロ秒から5000ミリ秒までとその間の全整数を含み得、ただしこれらに限定されない。本開示のシステムでは、1マイクロ秒から24時間（自然の暗サイクルを模擬）までとその間の全整数を含み、ただしこれらに限定されない、別の光子パルス間隔も可能である。長時間暗サイクル等のイベントに対応するため、本開示のシステムは、光子放出に変化をつけたり光子放出遅延に変化をつけるようプログラムできる。

【0074】

図9は、光子パルス期間と3つの色スペクトルから成る光子パルス間の遅延期間の一例を示すグラフ900である。このグラフの時間尺度は一定の縮尺で描かれていないが、例1～7でオプション10及び11として提示される、生物の成長または破壊に利用できる色スペクトル、頻度、及びデューティサイクルのバリエーションを示す例示的実施形態として役立つ。図1～7で既に説明したように、図9には、本開示の様々な色スペクトルから成る光子パルスを循環する別の例が提示されており、ここでは3つの色スペクトルから

成る光子パルスが光子放出器から放出されている。グラフに見られるように、まずは遠赤色スペクトルが放出され、その後に遅延をはさみ、近赤色スペクトルと青色スペクトルから成る二重パルスが投与され、その後に遅延が続くことで、第1の光子パルスセットが形成される。次に、近赤色スペクトルと青色スペクトルから成る第2の二重パルスセットが再び放出され、その後に遅延が続く。遅延の後には近赤色スペクトルと青色スペクトルが再び放出され、その後に長い遅延が続く。このサイクルは無限に繰り返すことができ、あるいは光子パルスを受け取り光子パルスのもとで成長する生物が所望のサイズか成熟度に達するまで繰り返すことができ、あるいは新たな成長期や破壊のために変化が望まれる場合は、破壊されるまで、または修復されるまで、繰り返すことができる。この説明的な例では光子パルスセットが1つの色スペクトルと2つの色スペクトルの離隔放出から成るが、米国の60Hzとヨーロッパの50Hzの標準アナログ周波数照明放射規格を除き、近赤、遠赤、赤外、青、黄、橙、及び紫外を含み、ただしこれらに限定されない色スペクトルを様々に組み合わせた光子パルスを一定の期間にわたって放出するシステムにもこの説明が当てはまることを理解されたい。単一の色スペクトルから成る、または複数色スペクトルの組み合わせから成る、パルスの光子パルス期間の例は、0.01マイクロ秒から5000ミリ秒までとその間の全整数を含み得、ただしこれらに限定されない。本開示のシステムでは、単一の色スペクトルから成る、または複数色スペクトルの組み合わせから成るパルスの、別のパルス間隔も可能であり、これは0.1マイクロ秒から24時間までとその間の全整数を含み、ただしこれらに限定されない。長時間暗サイクル等のイベントに対応するため、本開示のシステムは、光子放出に変化をつけたり光子放出遅延に変化をつけるようプログラムできる。

【0075】

図10は、光子パルス期間と3つの色スペクトルから成る光子パルス間の遅延期間の一例を示すグラフ1000である。このグラフの時間尺度は一定の縮尺で描かれていないが、生物の成長または破壊に利用できる色スペクトル、頻度、及びデューティサイクルのバリエーションを示す例示的実施形態として役立つ。図1～7で既に説明したように、図10には、本開示の様々な色スペクトルから成る光子パルスを循環する別の例が提示されており、ここでは3つの色スペクトルから成る光子パルスが光子放出器から放出されている。グラフに見られるように、遠赤色スペクトルは青色スペクトルパルスと同時に放出される。遠赤色スペクトルが放出される時間は青色スペクトルの2倍である。その後に短い遅延をはさんで近赤色スペクトルのパルスが投与され、その後に遅延が続くことで、第1の光子パルスセットが形成される。次に、遠赤色スペクトル、近赤色スペクトル、青色スペクトルの順から成る第2のパルスセットが再び立て続けに放出され、その後に遅延が続く。遅延の後には、近赤色スペクトルと青色スペクトルが再び放出され、その後に長い遅延が続く。このサイクルは無限に繰り返すことができ、あるいは光子パルスを受け取り光子パルスのもとで成長する生物が所望のサイズか成熟度に達するまで繰り返すことができ、あるいは新たな成長期や破壊のために変化が望まれる場合は、破壊されるまで、または修復されるまで、繰り返すことができる。上述したように、この例は様々な植物で種子の発芽率を高めるのに役立てることもできる。この説明的な例では光子パルスセットが1つの色スペクトルと2つの色スペクトルの離隔放出から成るが、米国の60Hzとヨーロッパの50Hzの標準アナログ周波数照明放射規格を除き、近赤、遠赤、赤外、青、黄、橙、及び紫外を含み、ただしこれらに限定されない色スペクトルパルスを様々に組み合わせた光子パルスを一定の期間にわたって放出するシステムにもこの説明が当てはまることを理解されたい。単一の色スペクトルから成る、または複数色スペクトルの組み合わせから成る、パルスの光子パルス期間の例は、0.01マイクロ秒から5000ミリ秒までとその間の全整数を含み得、ただしこれらに限定されない。本開示のシステムでは、単一の色スペクトルから成る、または複数色スペクトルの組み合わせから成るパルスの、別のパルス間隔も可能であり、これは0.1マイクロ秒から24時間までとその間の全整数を含み、ただしこれらに限定されない。長時間暗サイクル等のイベントに対応するため、本開示のシステムは、光子放出に変化をつけたり光子放出遅延に変化をつけるようプログラムでき

る。

【0076】

図11は、生物育成のため放出される個別色スペクトルを変調する方法1100を示す流れ図である。図11に見られるように、ステップ1102では、マスターロジック制御器が、放出すべきそれぞれの個別色スペクトルと、それぞれの色スペクトルから成るそれぞれのパルスの期間と、放出すべき色の組み合わせと、それぞれの色スペクトルパルス間の遅延期間とに関する命令を受信する。スターロジック制御器へ送信される命令と情報は、放出すべき各色の光子パルス期間、光子パルス遅延、強度、頻度、デューティサイクル、生物の種類、生物の成熟状態、ならびに芽及び花形成、種子形成、変異、菌類子実体、及び菌糸形成等の誘発させるべき成長、破壊、または修復の種類に関係し得る。ステップ1104では、マスターロジック制御器が、放出すべきそれぞれの色スペクトルと、それぞれの色スペクトルから成るそれぞれのパルスの期間と、放出すべき色の組み合わせと、種々色スペクトル間の遅延とに関する命令を、光子放出変調制御器へ送信する。ステップ1106では、光子放出変調制御器が、生物に向けて1つ以上の個別色スペクトルを放出できる1つ以上の光子放出器へ、例えば近赤色LED、遠赤色LED、青色LED、及び黄色LEDへ、少なくとも1つの信号を送信する。ステップ1108では、1つ以上の光子放出器が個別の色スペクトルから成る1つ以上の光子パルスを生物に向けて放出する。

【0077】

図12は、本開示のさらなる実施形態1200を提示するものであり、植物センサーからの情報に基づく生物の成長、修復、または破壊の流れ図を示している。ステップ1202では、植物センサーが生物の生育環境に関わる1つ以上の条件を監視する。監視される条件は、植物すなわち生物に関わる気温または土壤温度、土壤水分、湿度、土壤pH、果実の直径、茎の直径、葉のサイズ、葉の形、または葉の温度を含み、ただしこれらに限定されない。ステップ1204では、植物センサーが生物の生育状態に関するデータをMLCへ送信する。その後MLCは植物センサーから送信されたデータを解析する。解析はシステムから離れたサードパーティソフトウェアプログラムによって行われる場合もある。ステップ1206では、MLCが植物センサーからの情報に基づき、注水イベントのタイミング及び/または期間に関する命令を、注水システムへ、例えばドリップまたはフォグシステムへ、送信する。ステップ1208では、注水システムが、植物センサーからのデータの解析に基づき、1つ以上の生物に対し注水イベントを開始する。当業者によって理解されるように、注水イベントの調整は小規模であってよく、例えば或る1つの特定生物に対する注水の調整であってよく、あるいは調整は大規模であってよく、例えば栽培室または栽培作業全体に対する注水の調整であってよい。ステップ1210では、MLCが植物センサーからの情報に基づき、栄養イベントのときに生物へ分配される栄養のタイミング及び/または濃度に関する命令を、栄養システムまたは栄養源へ、例えばドリップ、栄養フィルム、または栄養注入システムへ、送信する。ステップ1212では、栄養システムが栄養イベントを開始する。栄養は植物センサーからのデータの解析に基づいて生物へ誘導される。当業者によって理解されるように、栄養イベントの調整は小規模であってよく、例えば或る1つの特定生物に対する栄養の調整であってよく、あるいは調整は大規模であってよく、例えば栽培室または栽培作業全体に対する栄養の調整であってよい。ステップ1214では、MLCが、植物センサーからのデータの解析に基づき、特定の生物に対する、または複数生物から成る集団に対する、種々色スペクトルから成る各光子パルスの期間、強度、色スペクトル、及び/またはデューティサイクルを調整する命令を、光子放出変調制御器へ送信する。ステップ1216では、光子放出変調制御器が、特定の生物に対する、または複数生物から成る集団に対する、種々色スペクトルから成る各光子パルスの期間、強度、色スペクトル、及び/またはデューティサイクルを調整する信号を、1つ以上の光子放出器へ送信する。ステップ1218では、1つ以上の光子放出器が、光子放出変調制御器から受信した信号に基づき、1つの生物に向けて、または複数生物から成る集団に向けて、個別色スペクトルから成る1つ以上の光子パルスを放出する。

【実施例】

10

20

30

40

50

【0078】

以降の実施例は様々な応用を詳しく説明するためのものであり、添付の請求項に記載された限界を越えて本発明を限定するものではない。

実施例 1

【0079】

表1は2組の植物の成長率を時間の経過に沿って示すものである(豆、Phaseolus vulgaris var. nanus)。1組の植物は本発明の生育システムのもとで生育され、1組の植物は従来の植物用グローライトシステム(60ワット白熱グローライト)のもとで生育された。植物の成長は各植物の高さをミリメートル単位で測定することによって測定した。植物は自動化されたシステムのもとで生育され、本発明の光子変調システムでは、2ミリ秒の近赤色、青色、及び黄色光子パルスと200ミリ秒のパルス間隔延期間で植物の生育が行われた。その後、100ミリ秒ずらして2ミリ秒の遠赤色光子パルスと200ミリ秒のパルス間隔延期間を続けた。このサイクルを24時間/日無期限に繰り返した。この光子パルス率と光子パルス遅延により、エネルギー使用量は従来のグローライトで使用されるエネルギーの1%未満になると推定される。従来のグローライトのもとで生育された植物は従来のグローライトの光に毎日12時間晒された。植物は底部に排水のための小さな穴がある(9)オンスのプラスチックカップで生育された。種は混合土(Miracle Gro Moisture Control Potting Mix)に植えた。

【0080】

手動水やりシステムが植物に十分な水分を供給した。植物の容器は蓋が付いた黒い箱の中に入れた。蓋を外さない限り、光は蓋で遮られるようになっていた。LEDアレイを備える光子放出器と60ワットグローライトをそれぞれの黒箱の上部に取り付けた。LEDは、赤色LED(640nm及び700nm)のアレイと、円い黄色LED(590nm)のアレイと、丸い青色LED(450nm)のアレイで構成されていた。光子放出器とソリッドステートリレーの通信を可能にするため、Magnacraft 70S2 3 Vソリッドステートリレーに光子放出器を配線した。ソリッドステートリレーと通信する中央演算処理装置によってソリッドステートリレーへ入出力命令を与えた。中央演算処理装置は、光子放出器に対する信号を変調して200ミリ秒毎に2ミリ秒の光子パルスを生成することをソリッドステートリレーに命じるようプログラムした。

【0081】

表1に見られるように、列1には使用した生育システムの種類が記載されている。列2には植物の種類と各植物の植物番号が記載されている。列3~8には最初の種まきからの植物測定日が記載されている。表1に見られるように、光子変調生育システムを使用した場合、豆1、豆2、及び豆3は種まきから8日以内に77mm~136mmの高さまで成長した。豆1、豆2、及び豆3は光子変調生育システムのもとで14日目までに200mm~220の高さまで成長した。これと比べて、従来の60ワットグローライトのもとでは8日目までに豆1及び豆2が155mm~185mm成長し、14日目には豆1、豆2、及び豆3が160mm~220mm成長した。このデータから、光子変調生育システムが従来の生育システムの1%未満のエネルギー使用量で、豆植物を従来の生育システムと同等に、あるいは従来の生育システムより良好に、生育できることが分かる。

【表1】

表1 従来のグローライトに比較した、200ミリ秒毎に2ミリ秒光子パルスの光子変調率のもとで生育された植物のミリメートル単位による高さ							
		第6日	第7日	第8日	第12日	第13日	第14日
光子変調システム	豆1	データ無し	31	136	205	210	220
	豆2	データ無し	77	133	190	195	200
	豆3	データ無し	データ無し	77	195	210	210
60ワット白熱グローライト	豆1	120	153	185	220	220	220
	豆2	87	135	155	180	160	160
	豆3	データ無し	データ無し	データ無し	150	160	160

10

実施例2

【0082】

表2は2組の植物の葉の寸法を時間の経過に沿って示すものである（豆、Phaseolus vulgaris var. nanus）。1組の植物は本発明の光子変調生育システムのもとで生育され、1組の植物は従来のグローライト（60ワット白熱グローライト）のもとで生育された。それぞれの植物の葉の寸法はミリメートル単位で測定した。実施例1と同様、表2にはミリメートル単位による葉の寸法の測定値が記載されており、列1には使用した生育システムの種類が記載されている。列2には植物の種類と植物の番号が記載されている。列3～8には最初の種まきの日からの葉測定日が記載されている。表2に見られるように、光子変調生育システムを使用した場合、豆1、豆2、及び豆3の葉の寸法は種まきから8日以内に50mm×47mm～59mm×55mmになり、豆1、豆2、及び豆3の葉の寸法は14日目までに55×52mm～64mm×58mmになった。これと比べて、従来の60ワットグローライトのもとでは8日目までに豆1及び豆3の葉の寸法が26mm×22mm～57mm×50mmになり、14日目までには豆1及び豆3の葉の寸法が33mm×30mm～62mm×55mmになった。このデータから、光子変調生育システムが従来の生育システムの1%未満のエネルギー使用量で、豆を従来の生育システムと同等に、あるいは従来の生育システムより良好に、生育できることが分かる。

20

【表2】

表2 従来のグローライトに比較した、200ミリ秒毎に2ミリ秒光子パルスの光子変調率のもとで生育された植物のミリメートル単位による葉の寸法							
		第6日	第7日	第8日	第12日	第13日	第14日
光子変調システム	豆1	データ無し	データ無し	50×47	51×48	55×50	55×52
	豆2	データ無し	30×25	59×55	59×55	61×55	64×58
	豆3	データ無し	データ無し	52×50	54×51	56×52	56×55
60ワット白熱グローライト	豆1	32×25	38×31	57×50	59×53	62×55	62×55
	豆2	31×23	34×30	50×43	53×45	55×45	57×45
	豆3	データ無し	データ無し	26×22	28×23	30×27	33×30

30

実施例3

【0083】

下表3は第1葉節までの豆（Phaseolus vulgaris var. nanus）の高さをミリメートル単位で示すものである。表3に見られるように、箱1はオプション11の色スペクトル光子放出のもとで生育された豆を示している。オプション11は図9に図示された例示的光子放出に基づいているが、近赤色パルスの期間は延長されており、全3つのパルス（遠赤色、近赤色、及び青色）の頻度は一定の縮尺で描かれていない。箱2と箱3はオプション10の色スペクトル放出のもとで生育された豆を示している。オプション10は図9に図示された例示的光子放出に基づいているが、遠赤色パルスの期間は延長されており、オプション10の全3つのパルス（遠赤色、近赤色、及び青色

40

50

)のデューティサイクルは一定の縮尺で描かれていません、及びオプション 10a。箱 4 は対照系の色スペクトル放出のもとで生育された豆を示しています。これらは個別色スペクトルパルスの変調を行わない従来のグローライト(60ワット白熱グローライト)で生育された植物から成る。

【0084】

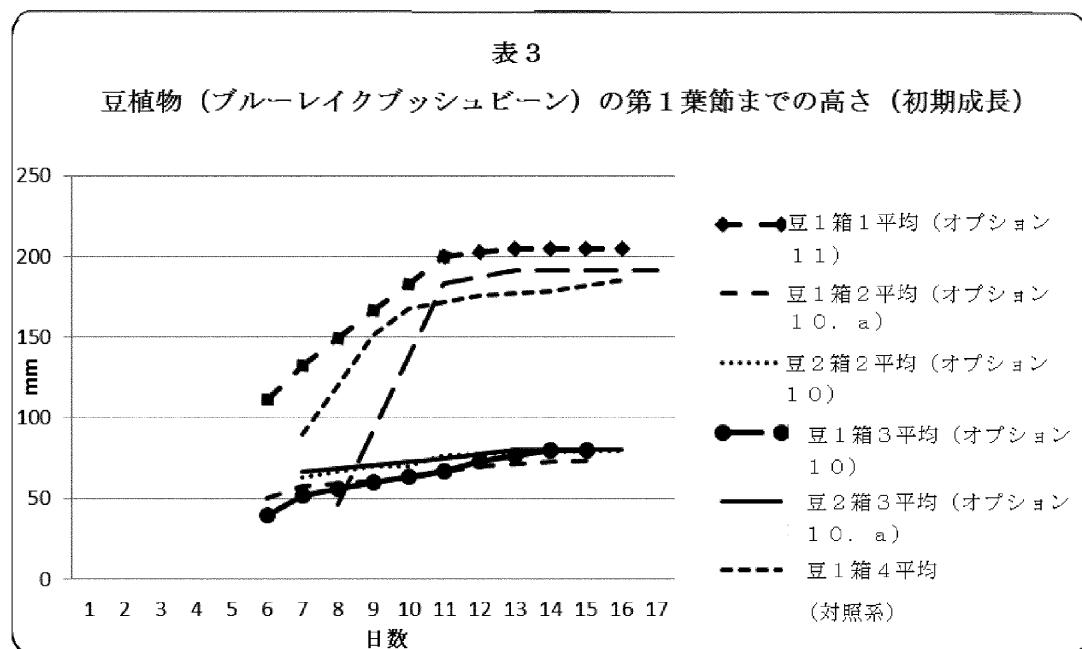
表3に見られるように、第1葉節までの測定値に関するデータは種まきの6日後に始まりました。対照系とオプション11のもとで生育された植物は16日にわたり着実に成長し、高さは最大200mmに達しました。しかし、オプション10とオプション10aのもとで生育された植物は全測定期間にわたって第1葉節までの高さが一貫して短く、最初の高さは50mmに満たなく、最大の高さは100mmに満たない。

10

【0085】

表3のデータは、植物に対する個別色スペクトルパルスの変調によって植物の成長を操作する本開示のシステムの能力を証明している。

【表3】



実施例4

【0086】

表4は、対照系、オプション10、及びオプション11の色スペクトル光子放出のもとで生育されたトウモロコシ(Zea mays)の高さをミリメートル単位で示すものである。既に述べたように、オプション10とオプション11はいずれも図9に図示された例示的光子放出に基づいています。箱2と箱3はオプション10の色スペクトル放出のもとで生育された豆を示しています。箱1の植物はオプション11の色スペクトル光子放出で生育された。箱2と箱3の植物はオプション10の色スペクトル放出のもとで生育された豆を示している。箱4の植物は対照系の色スペクトル放出で生育されたものであり、個別色スペクトルパルスの変調を行わない従来のグローライト(60ワット白熱グローライト)で生育された植物から成る。

20

【0087】

表4に見られるように、全4つの箱で生育された植物は植えつけの5日後に著しい成長を見せた。オプション10とオプション11で生育された植物は着実に成長し、13日後には対照系で生育された植物を凌ぐ著しい成長の伸びを見せた。オプション10とオプション11で生育された植物の最大高さは450mmを上回り、低い最大高さでも400mmを僅かに下回る程度であった。逆に、対照系のもとで生育された植物の最大高さは30

40

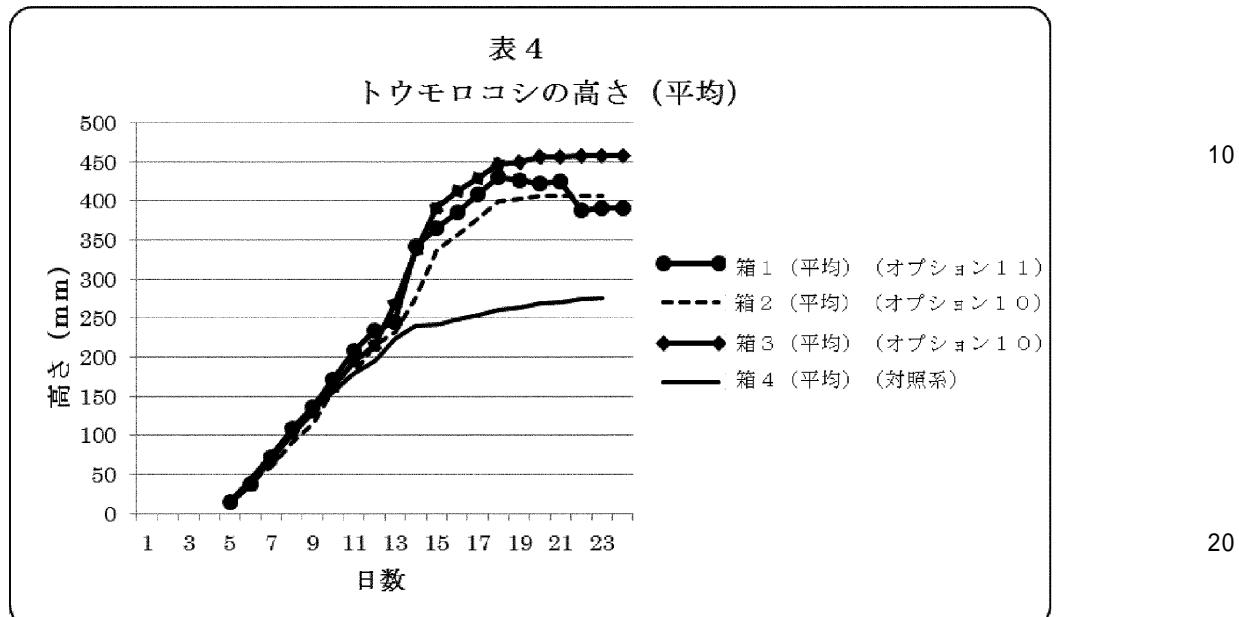
50

0 mmを下回った。

【0088】

表4のデータは、植物に対する個別色スペクトルパルスの変調によって植物の成長を増進する本開示のシステムの能力を証明している。

【表4】



実施例5

【0089】

下表5は豆 (*Phaseolus vulgaris* var. *nanus*) の第1節の寸法をミリメートル単位で示すものである。表5に見られるように、箱1はオプション11の色スペクトル光子放出のもとで生育された豆を示している。既に述べたように、オプション10とオプション11はいずれも図9に図示された例示的光子放出に基づいている。箱2と箱3はオプション10とオプション10aの色スペクトル光子放出のもとで生育された豆を示している。箱4は対照系の色スペクトル放出のもとで生育された豆を示している。これらは個別色スペクトルパルスの変調を行わない従来のグローライト (60ワット白熱グローライト) で生育された植物から成る。

【0090】

表5に見られるように、第1葉節寸法の測定値に関するデータは種まきの約6日後に始まった。オプション10、オプション10a、及びオプション11のもとで生育された植物は16日にわたって第1節が着実に成長し、第1節の寸法は最大10000 mmに達した。しかし、対照系のもとで生育された植物の第1節の寸法は大幅に小さく、第1節の寸法は4000 mm以下だった。

【0091】

表5のデータは、植物に対する個別色スペクトルパルスの変調によって良質な植物の成長を増進する本開示のシステムの能力を証明している。

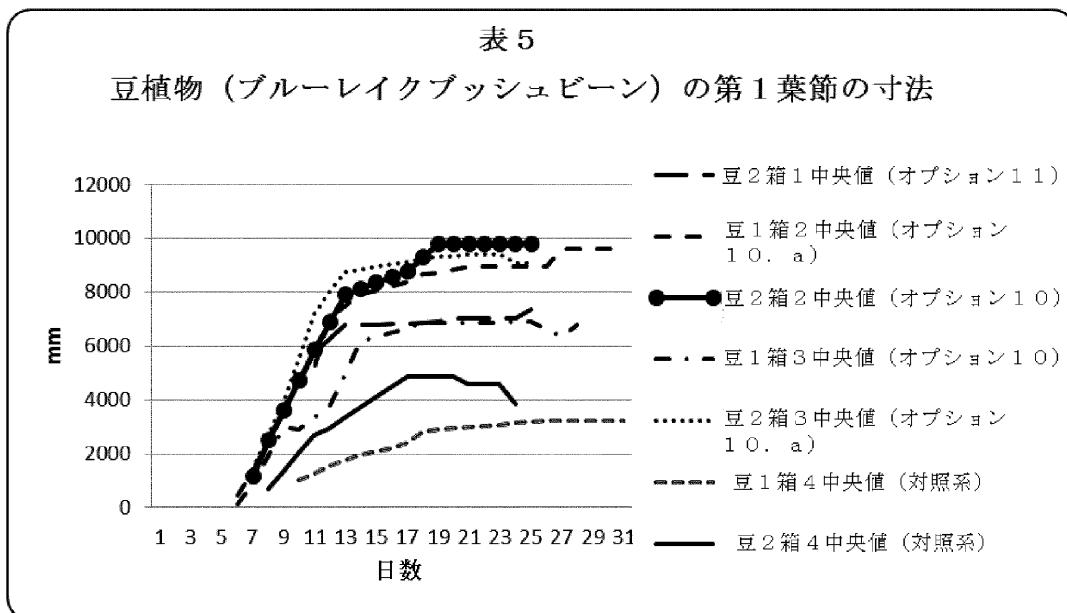
10

20

30

40

【表5】

実施例 6

【0092】

表6はカラシ（赤唐辛子）の第1葉節の寸法をミリメートル単位で示すものである。表6に見られるように、箱1はオプション11の色スペクトル光子放出のもとで生育されたカラシを示している。既に述べたように、オプション10とオプション11はいずれも図9に図示された例示的光子放出に基づいている。箱2と箱3はオプション10とオプション10aの色スペクトル放出のもとで生育されたカラシを示している。箱4は対照系の色スペクトル放出で生育されたカラシを示している。これらは個別色スペクトルパルスの変調を行わない従来のグローライト（60ワット白熱グローライト）で生育された植物から成る。

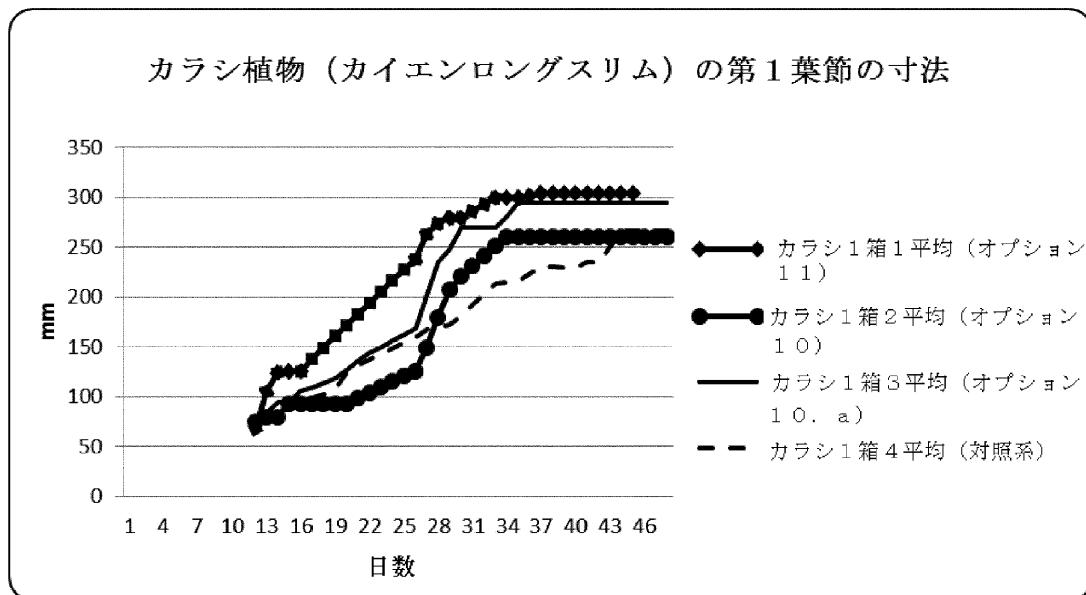
【0093】

表6に見られるように、第1葉節寸法の測定値に関するデータは種まきの約10日後に始まった。オプション10、オプション10a、及びオプション11のもとで生育された植物は16日にわたって第1節が着実に成長し、第1葉節の寸法は最大300mmに達した。しかし、対照系のもとで生育された植物の第1節の寸法は大幅に小さく、第1節の寸法は250mm以下だった。

【0094】

表6のデータは、植物に対する個別色スペクトルパルスの変調によって良質な植物の成長を増進する本開示のシステムの能力を証明している。

【表6】



実施例 7

10

【0095】

20

下表7は、豆(*Phaseolus vulgaris* var. *nanus*)の第2葉節までの高さをミリメートル単位で示すものである。表7に見られるように、箱1はオプション11の色スペクトル光子放出のもとで生育された豆を示している。既に述べたように、オプション10とオプション11はいずれも図9に図示された例示的光子放出に基づいている。箱2と箱3はオプション10とオプション10aの色スペクトル放出のもとで生育された豆を示している。箱4は対照系の色スペクトル放出で生育された豆を示している。これらは個別色スペクトルパルスの変調を行わない従来のグローライト(60ワット白熱グローライト)で生育された植物から成る。

【0096】

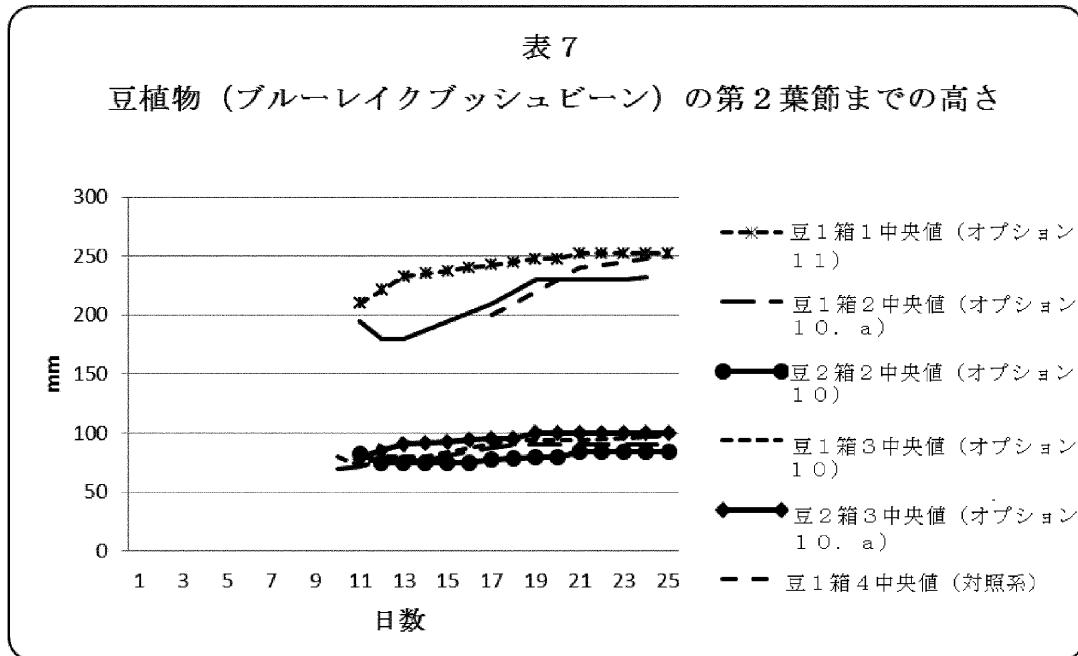
30

表7に見られるように、第2葉節までの測定値に関するデータは種まきの約10日後が始まった。対照系とオプション11のもとで生育された植物は25日にわたり着実に成長し、高さは最大250mmに達した。しかし、オプション10とオプション10aのもとで生育された植物は全測定期間にわたって第2葉節までの高さが一貫して短く、高さの平均は50mm~100mmだった。

【0097】

表7のデータは、植物に対する個別色スペクトルパルスの変調によって植物の成長を操作する本開示のシステムの能力を証明している。

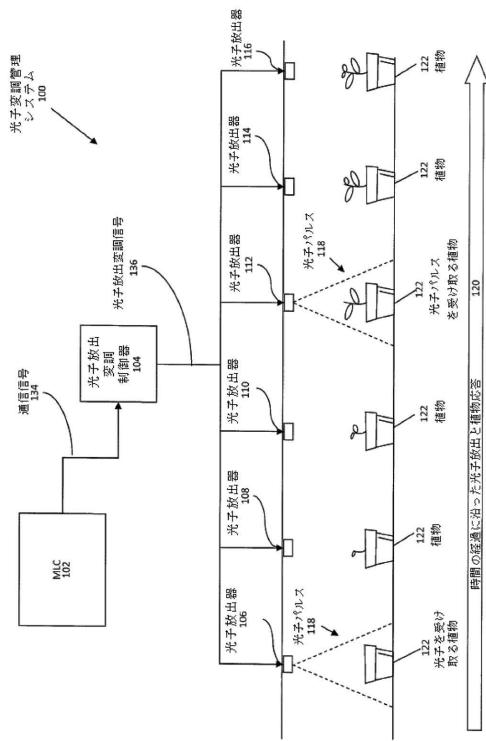
【表7】



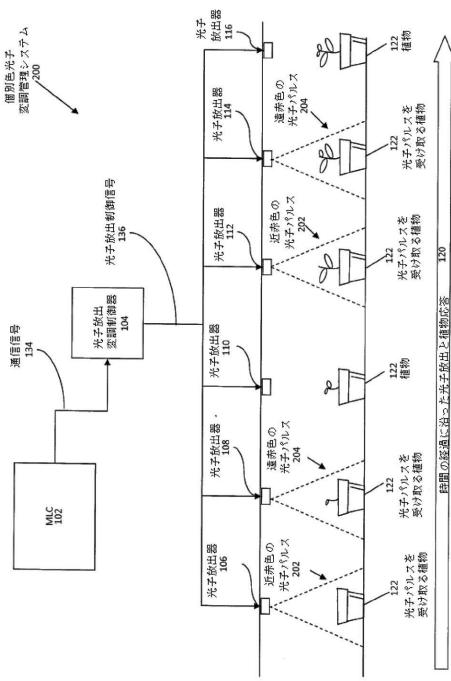
【0098】

本発明の上記説明は例証と説明の目的で提示されている。これは網羅的でなく、本発明を開示された通りの形態に限定するものでもなく、上記の教示を踏まえれば別の修正やバリエーションも可能である。本発明の原理とその実用的応用を十分に説明し、当業者が目的とする特定の用途に応じて様々な実施形態と様々な修正で本発明を十分に利用できるようにするため、実施形態を選び、説明した。従来技術によって制限される場合を除き、添付の請求項は本発明の他の代替実施形態を含むものとして解釈すべきものである。

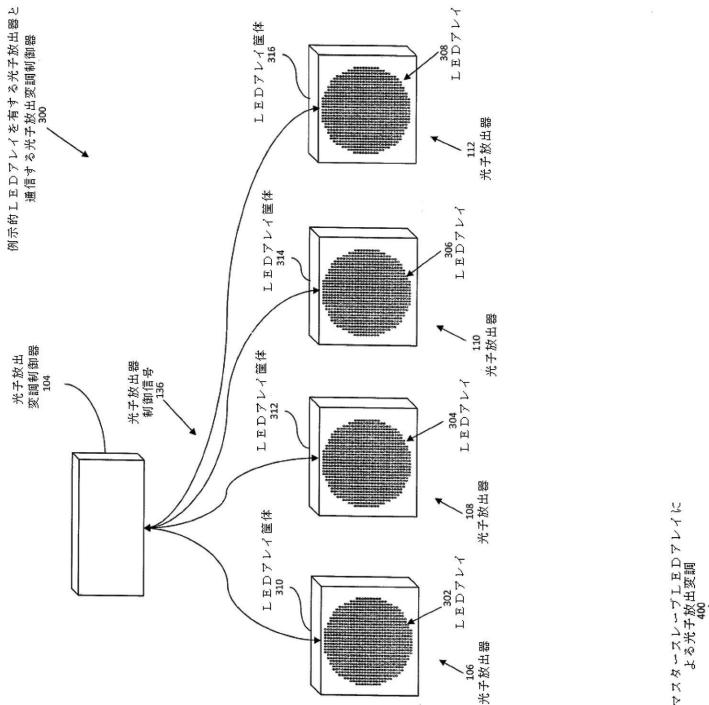
【図1】



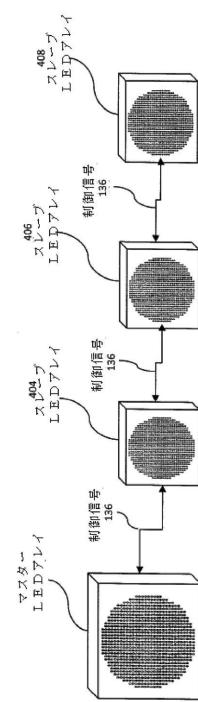
【図2】



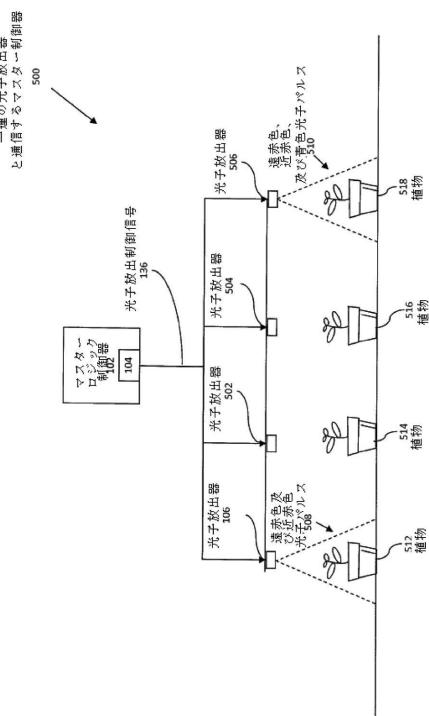
【図3】



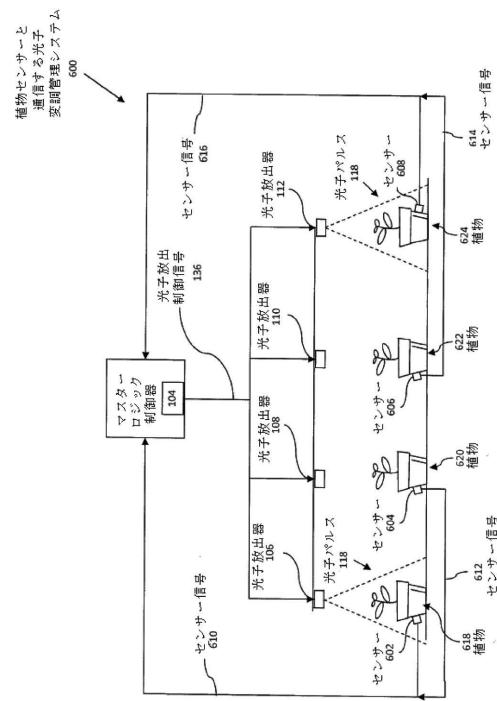
【図4】



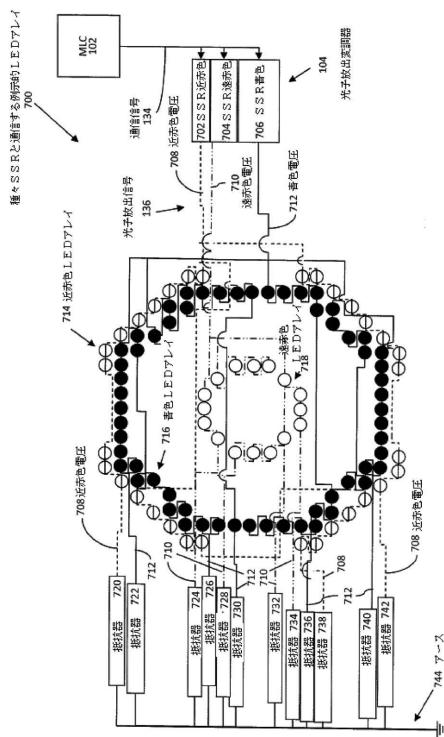
【図5】



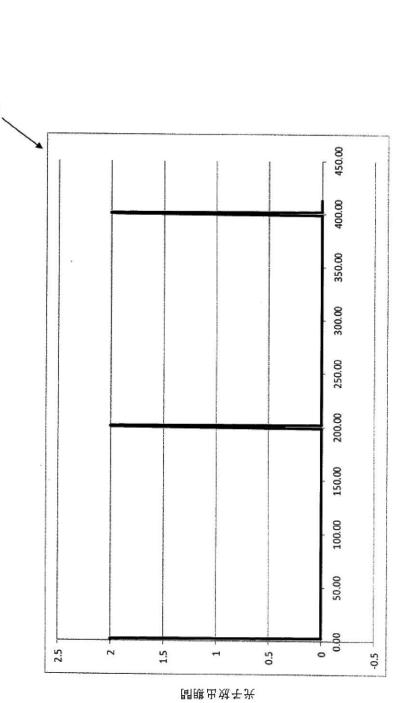
【図6】



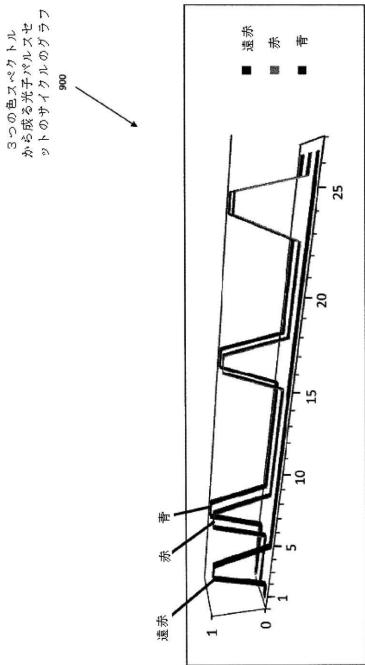
【図7】



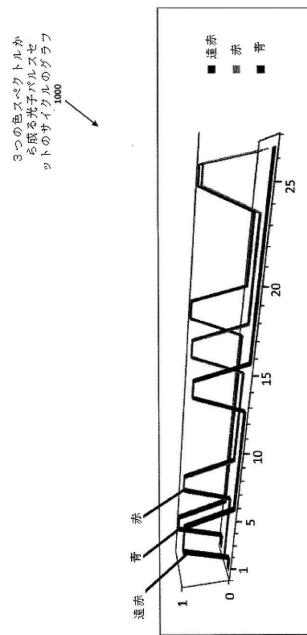
【図8】



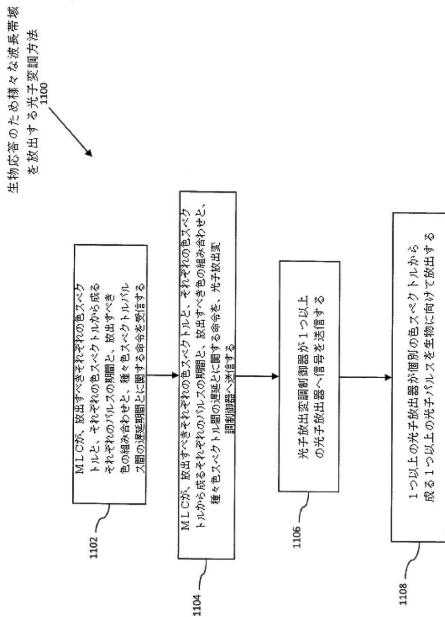
【図 9】



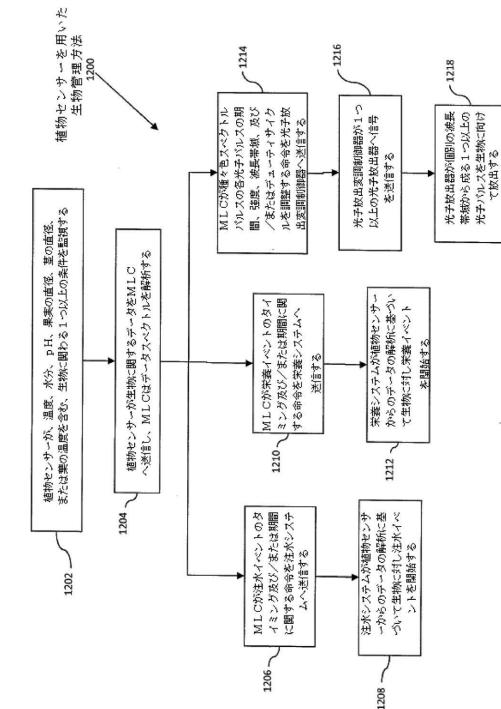
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 61/929,872

(32)優先日 平成26年1月21日(2014.1.21)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

早期審査対象出願

(74)代理人 100165526

弁理士 阿部 寛

(72)発明者 サンティク, ジョン ダレン

アメリカ合衆国, コロラド州, グリーリー, 54番 アベニュー 532

合議体

審判長 秋田 将行

審判官 有家 秀郎

審判官 西田 秀彦

(56)参考文献 国際公開第01/62070(WO, A1)

特開2005-13056 (JP, A)

特開2006-333744 (JP, A)

特開2004-146 (JP, A)

米国特許出願公開第2009/0047722(US, A1)

国際公開第2011/115123(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A01G7/00